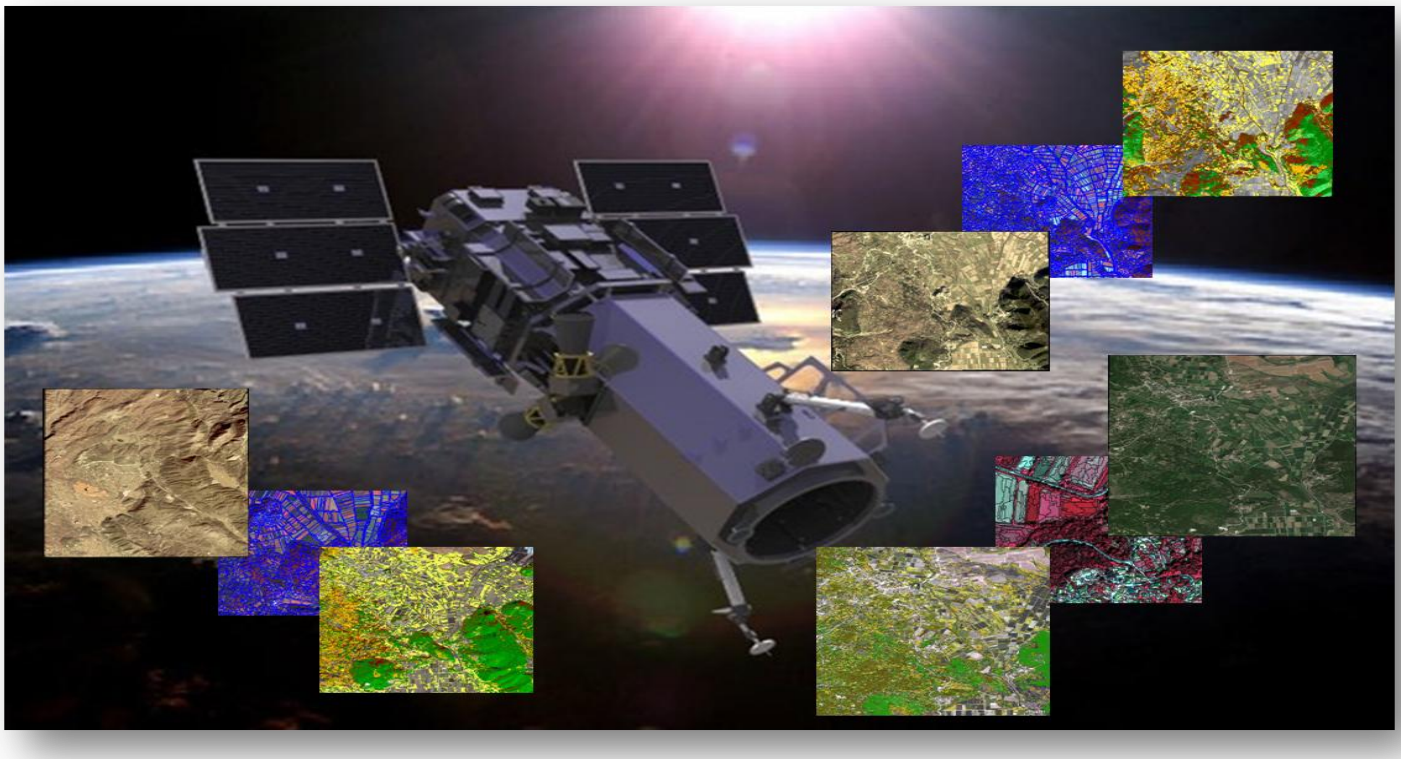
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
School of Rural & Surveying Engineering
GEOINFORMATICS
POST-GRADUATE PROGRAMME

«Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS και WorldView2 στην ταξινόμηση τύπων βλάστησης με την ανάπτυξη Αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης: Εφαρμογή στην περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Πωγωνίου»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αικατερίνη Αϊναλή

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Αργιαλάς
Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
School of Rural & Surveying Engineering
GEOINFORMATICS
POST-GRADUATE PROGRAMME

«Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS και WorldView2 στην ταξινόμηση τύπων βλάστησης με την ανάπτυξη Αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης: Εφαρμογή στην περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Πωγωνίου»

Επιμέλεια: Αικατερίνη Αϊναλή, Δασολόγος/ Περιβαλλοντολόγος
Επιβλέπων: Δημήτριος Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....	.....	.....
Δ. Αργιαλάς	Κ. Κασσιός	Β. Καραθανάση
Καθηγητής ΕΜΠ	Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ	Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στα πλαίσια της Μεταπτυχιακής διατριβής με τίτλο μεταπτυχιακού προγράμματος «Γεωπληροφορική», έχοντας ως στόχο την προβολή των τύπων βλάστησης από πολύ υψηλής ανάλυσης δεδομένων από τους δορυφόρους IKONOS και WordlView 2 με την εφαρμογή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα της ταξινόμησης των ειδών μεταξύ των δορυφόρων.

Για την περάτωση της μελέτης θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους, οι οποίοι συνέβαλλαν σημαντικά στην ολοκλήρωση της έρευνας. Καταρχήν, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτριο Αργιαλά, ο οποίος με τη σημαντική υποστήριξη του, την εμβάθυνση των γνώσεων μου στο αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης και τις εύστοχες παρατηρήσεις του καθ' όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της έρευνας, βοήθησε σημαντικά στην ολοκλήρωση της. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ Πολυχρόνη Κολοκούση, για την αμέριστη υπομονή του και την πολύτιμη καθοδήγηση του ανά πάσα στιγμή σε κάθε δυσκολία ολοκλήρωσης της έρευνας. Σημαντική ήταν επίσης η συμβολή των καθηγητών, της κ. Βασιλεία Καραθανάση και τον κ. Κωνσταντίνο Κασσιό για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους επί του κειμένου. Ιδιαίτερη ήταν και η βοήθεια των συναδέλφων του εργαστηρίου, αναφέροντας τον Υ.Δ. Άγγελο Τζώτσο, ο οποίος με τις ιδιαίτερες γνώσεις του στο λογισμικό του eCognition με συμβούλεψε σε κάποια βήματα. Επιπροσθέτως, ευχαριστώ ιδιαίτερα τους ανθρώπους της εταιρίας Inforest Research o.c., με ιδιαίτερη μνεία για την κα. Μαρουλιώ Χανιώτη, οι οποίοι συνέβαλαν σημαντικά διαθέτοντας μου τις εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης, ώστε να πραγματοποιηθεί η έρευνα και τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν, ώστε να επεξεργαστώ την εικόνα WorldView 2 στην εταιρία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να αφιερώσω την μελέτη μου στην οικογένεια μου, στον πατέρα μου Απόστολο, τη μητέρα μου Μαρία και την αδερφή μου Χρυσάνθη, οι οποίοι με στήριξαν όλο αυτό το διάστημα και με στηρίζουν σε κάθε βήμα εξέλιξης μου και φυσικά τους φίλους μου, οι οποίοι με την παρουσία τους δίπλα μου με εμψύχωναν να την υλοποιήσω.

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

Περίληψη

Ο διαχωρισμός και η ακριβής ανάλυση των τύπων βλάστησης στο φυσικό οικοσύστημα αποτελεί βασική λειτουργία για την οργάνωση και το σχεδιασμό της διαχείρισης και προστασίας του. Η Τηλεπισκόπηση προσέφερε προηγμένες τεχνικές με σκοπό τη δημιουργία μιας τράπεζας πληροφοριών που αποτελεί και την αρχή άντλησης στοιχείων. Η αύξηση των εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης και η δημιουργία σύγχρονων τηλεπισκοπικών δεκτών που δίνουν εικόνες με πολύ υψηλή διακριτική/διαχωριστική και ραδιομετρική ικανότητα πρόσφερε τη δυνατότητα σύγκρισης των εικόνων ώστε να προκύπτει το πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα. Η εφαρμογή της Αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης κρίνεται στο συνδυασμό των κατάλληλων κανόνων εντοπισμού αντικειμένων με συγκεκριμένη ταυτότητα. Η ανάπτυξη ενός καλά δομημένου συστήματος απαιτεί τη γνώση και την εφαρμογή των τεχνικών σχεδίασης, ώστε να αποδώσει στο βέλτιστο το σκοπό της δημιουργίας του. Στην παρούσα έρευνα εντοπίζονται οι τύποι της βλάστησης με την ανάπτυξη της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης και τη χρήση πολύ υψηλής ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων από τους δορυφόρους IKONOS και WorldView 2 και τη σύγκριση της ποιότητας των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης των ειδών μεταξύ των δορυφόρων.

Η ανάπτυξη της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, για την επίτευξη των στόχων της, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος eCognition 8.64 της εταιρίας DEFINIENS Imaging GmbH δημιουργώντας μια βάση γνώσης σε αντικειμενοστρεφές περιβάλλον. Η χρησιμοποίηση πολύ υψηλής ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων από τους δορυφόρους IKONOS και WorldView 2 σε συνδυασμό με τη ιεραρχική αναπαράσταση και η δημιουργία γειτνίασης των αντικειμένων εξυπηρετεί στη λεπτομερή απεικόνιση των χρήσεων γης σε ένα τμήμα του Δ. Πωγωνίου, βορειοδυτικά του Ν. Ιωαννίνων, όπου επικρατεί έντονη βλάστηση. Για την επίτευξη της σύγκρισης μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες IKONOS σε διαφορετική χρονική περίοδο (του 2008 και 2011) και μια WorldView 2 του 2010. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης των δύο διαφορετικών δορυφορικών δεδομένων εστιάζεται κυρίως στον εντοπισμό των τύπων βλάστησης, οι οποίοι επικρατούν στην περιοχή έρευνας.

Για την επίτευξη της σύγκρισης των διαφορετικών δορυφορικών δεδομένων χρησιμοποιείται παρόμοια λογική επεξεργασία τους, ώστε να εντοπιστούν τα καλύτερα αποτελέσματα. Η ανάλυση των απεικονίσεων IKONOS και WorldView 2 περιέλαβε τέσσερα επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης. Στο πρώτο επίπεδο πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των τύπων βλάστησης που επικρατούν στην περιοχή, ανάλογα με το είδος τους (δέντρα, θάμνοι, λιβάδια), τα οποία καθορίστηκαν στο τρίτο επίπεδο. Στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης εντοπίζονται οι πρωτογενείς χρήσεις γης, τις οποίες αντιλαμβάνεται ο χρήστης κατά την πρώτη φωτοερμηνεία της εικόνας. Στο τρίτο επίπεδο γίνεται η γενίκευση των ήδη ταξινομημένων κατηγοριών του δευτέρου επιπέδου σε υποκατηγορίες. Το ανώτερο επίπεδο κατάτμησης λειτουργεί ως βοηθητικό για να διαχωρίσει τη

βλάστηση από τις υπόλοιπες κατηγορίες. Με το συνδυασμό των κατάλληλων κανόνων ανάλογα με την φασματική υπογραφή κάθε αντικειμένου και τη γενίκευση των κατηγοριών κληρονομώντας τα χαρακτηριστικά τους, παρουσιάστηκαν τα κατάλληλα αποτελέσματα για τον εντοπισμό κάθε τύπου βλάστησης.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε στο τρίτο και στο πρώτο επίπεδα ταξινόμησης για κάθε εικόνα χωριστά. Η απόδοση της συνολικής ακρίβειας της ταξινόμησης εξυπηρετεί τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από διαφορετικά δορυφορικά δεδομένα. Η ταξινόμηση στα επίπεδα αυτά πραγματοποιήθηκε με το συνδυασμό ανάπτυξης βάσης γνώσης που δημιουργείται από τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών με τη δημιουργία γειτνίασης των αντικειμένων, θέτοντας τις φασματικές τους υπογραφές. Η ποικιλία των φασματικών καναλιών στα δορυφορικά δεδομένα της WorldView2, τα οποία εμφανίζονται σε μικρότερα διαστήματα μηκών κύματος, εξυπηρετεί στο διαχωρισμό των χαρακτηριστικών των κατηγοριών κάλυψης γης, όπως είναι οι κατηγορίες Θαμνώδης βλάστηση και Δενδρώδης βλάστηση. Η σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων προερχόμενων από δορυφόρους IKONOS και WorldView2 απέδειξε ότι η χρησιμοποίηση εικόνων WorldView2 δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση της βλάστησης από τις IKONOS.

Λέξεις Κλειδιά: Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, Αντικειμενοστρεφή ανάλυση, Ασαφή λογική, Λογισμικό eCgnition, Δορυφορικά δεδομένα, Τύποι βλάστησης, Δείκτες εντοπισμού κάλυψης γης

Abstract

The identification and analysis of different types of vegetation in the environment play a major role in the organisation of its management and security. Remote Sensing (RS) offers solutions by the construction of a knowledge base that provides information to be used by researchers. The increase of the applications in Remote Sensing (RS) and the creation of new remote sensing indices that extract images with high discretionary/dividing and radiometric ability provide comparison of images by achieving a better and more efficient result. Object oriented analysis succeed in combining the appropriate rules of object based detection with specific identity. Similarly, the development of a well-structured system requires the knowledge and application of the appropriate techniques in order to achieve the result to the highest standard. In this study, the types of vegetation are discovered by applying object oriented analysis, using very high resolution analysis of satellite data from the IKONOS and WorldView 2 satellites and comparing the quantity of the results from the data classification attained between the two satellites.

The research was done using the eCognition 8.64 program from the company DEFINIENS Imaging GmbH by creating an object oriented database. High standard analysis of satellite data from IKONOS and WorldView 2 in combination with the hierarchical structure and the generation of adjacency data produce detailed picture of how the land was used in a part of the Pogoniou Municipality, northwest of the Ioannina County, with intense vegetation. For the comparison between the satellite data were used two images IKONOS captured in different time points (one in 2008 and one in 2011) and one image from WorldView 2 taken in 2010. The comparison of classification results focus mainly on the characterisation of different vegetation types that are found in the region of research.

The different satellite data were analysed with the same procedures in order to find the best results. The analysis of IKONOS and WorldView 2 images included four levels of classification. In the first level, the different types of vegetation that have being developed in the region are being classified according to (i) trees, (ii) shrubland and (iii) natural grassland. In the second level, the primary uses of land are being classified according to what the user is seen from the first image interpretation of the image and then, in the third level, are further classified in sub-groups. The fourth level is used to separate the vegetation from the other categories. The results for the recognition of the different types of vegetation were established with the combination of the appropriate association rules according to the multi-resolution derived from the different objects.

The evaluation of the results occurred in the first and third level of classification for each image separately. The efficiency of the overall accuracy of the classification serves to compare the results from different satellite data. The classifications in levels are performed by combining development knowledge basis that is created from the characteristics of the categories with the creation

proximity of objects, setting their spectral signatures. The variety of spectral channels in satellite data of WorldView2, which appear in smaller wavelength intervals, serves to separate the characteristics of land cover classes, such as categories vegetation of shrubs and vegetation of trees. A comparison of satellite data from satellites IKONOS and WorldView2 proved that the use of images WorldView2 gives better results in the classification of vegetation from IKONOS.

Key words: Remote sensing, Object Oriented Analysis, Fuzzy logic, eCognition, Satellite images, Vegetation types, Land cover indexes

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 23
2. ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ 25
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 26
3.1 Θέση περιοχής έρευνας 26
3.2 Υδρογραφικό Δίκτυο Περιοχής Έρευνας 27
3.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά – Πετρώματα - Έδαφος 27
3.4 Κλίμα 28
3.5 Φυσική βλάστηση 29
3.6 Χλωρίδα 29
Πηγή: Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) , Κλίμακα 1:50.000 32
3.7 Πανίδα 32
4. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ 34
4.1 Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση 34
4.2 ENVI Image Analysis Software 36
4.2.1 Ορθοαναγωγή εικόνων (Γεωμετρική διόρθωση και αποκατάσταση) 36
4.2.1.1 Βήματα ορθοαναγωγής εικόνων με τη χρήση ENVI 37
4.3 Τηλεπισκοπικά δεδομένα WorldView 2 και IKONOS 39
4.3.1 Χαρακτηριστικά δορυφόρου WorldView 2 40
4.3.2 Χαρακτηριστικά δορυφόρου IKONOS 42
4.4 Αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας (Object – oriented analysis image) 43
4.4.1 Διαφορές αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης με ανάλυση στηριζόμενη σε εικονοστοιχεία 44
4.5 Εισαγωγή στο λογισμικό eCognition 45
3.5.1 Διαδικασία ταξινόμησης με τη χρήση του eCognition 47
4.5.1.1 Κατάτμηση Πολλαπλών Επιπέδων 48
4.5.1.2 Ιεραρχία πολλαπλών επιπέδων και κλάσεων ταξινόμησης 50
4.5.1.3 Ταξινόμηση εικόνας 52
4.5.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ταξινόμησης 54
4.5.2.1 Σταθερότητα της ταξινόμησης (Classification Stability) 55
4.5.2.2 Καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης (Best Classification Result) 56

4.5.2.3 Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου (Error Matrix Based on TTA Mask) 57
4.5.2.4 Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα (Error Matrix Based on Samples) 58
4.6 Υπολογισμός δεικτών 59
4.6.1 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI 59
4.6.2 Πράσινος δείκτης βλάστησης GVI 61
4.6.3 Δείκτης Νερού Water Index 62
4.6.4 Δείκτης Νερού NDWI (εφαρμογή με WorldView2) 63
4.6.5 Δείκτης Εδάφους NDSI 63
4.6.6 Δείκτης Κανονικοποιημένης διαφοράς στέγης NDBRI 63
4.7 Συμπεριφορά βλάστησης στις φασματικές υπογραφές 64
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 68
5.1 Δεδομένα μελέτης 68
5.1.1 Περιγραφή των δεδομένων μελέτης 68
5.2 Επιτόπια έρευνα στην περιοχή μελέτης 72
5.2.1 Τμήμα Ρεπετίστα- Μονάδα Σιάστης 72
5.2.2 Τμήμα Μαζαράκο- Μονάδα Ριάχοβο (Λεπροβούνι) 75
5.2.3 Τμήμα Βροντισμένη- Μονάδα Πετροβούνια (Αγ. Παρασκευή) 80
5.3 Προεπεξεργασία των δεδομένων 81
5.3.1 Ορθοαναγωγή των εικόνων 81
5.4 Υλοποίηση Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης Εικόνας 84
5.4.1 Φωτοερμηνεία της εικόνας – Κατηγορίες ταξινόμησης 84
5.4.2 Ταξινόμηση εικόνας IKONOS 2008 86
5.4.2.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης της εικόνας 86
5.4.2.1.1 Κατάτμηση 1ου Επιπέδου 87
5.4.2.1.2 Κατάτμηση 2ου Επιπέδου 90
5.4.2.1.3 Κατάτμηση 3ου Επιπέδου 92
5.4.2.1.4 Κατάτμηση 4ου Επιπέδου 94
5.4.2.2 Ταξινόμηση επιπέδων κατάτμησης 96

5.4.2.2.1 Ταξινόμηση 2ου Επιπέδου 98
5.4.2.2.2 Ταξινόμηση 4ου Επιπέδου 104
5.4.2.2.3 Ταξινόμηση 3ου Επιπέδου 106
5.4.2.2.4 Ταξινόμηση 1ου Επιπέδου 115
5.4.3 Ταξινόμηση εικόνας WorldView 2 2010 124
5.4.3.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης της εικόνας 124
5.4.3.1.1 Κατάτμηση 1ου Επιπέδου 125
5.4.3.1.2 Κατάτμηση 2ου Επιπέδου 128
5.4.3.1.3 Κατάτμηση 3ου Επιπέδου 129
5.4.3.1.4 Κατάτμηση 4ου Επιπέδου 130
5.4.3.2 Ταξινόμηση επιπέδων κατάτμησης 130
5.4.3.2.1 Ταξινόμηση 2ου Επιπέδου 132
5.4.3.2.2 Ταξινόμηση 4ου Επιπέδου 136
5.4.3.2.3 Ταξινόμηση 3ου Επιπέδου 138
5.4.2.3.4 Ταξινόμηση 1ου Επιπέδου 150
5.4.4 Ταξινόμηση εικόνας IKONOS 2011 158
5.4.4.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης της εικόνας 158
5.4.4.1.1 Κατάτμηση 1ου Επιπέδου 159
5.4.4.1.2 Κατάτμηση 2ου Επιπέδου 160
5.4.4.1.3 Κατάτμηση 3ου Επιπέδου 161
5.4.4.1.4 Κατάτμηση 4ου Επιπέδου 162
5.4.4.2 Ταξινόμηση επιπέδων κατάτμησης 163
5.4.4.2.1 Ταξινόμηση 2ου Επιπέδου 165
5.4.4.2.2 Ταξινόμηση 4ου Επιπέδου 168
5.4.4.2.3 Ταξινόμηση 3ου Επιπέδου 169
5.4.4.2.4 Ταξινόμηση 1ου Επιπέδου 176
6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 182
6.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εικόνας IKONOS'08 182
6.1.1 Αξιολόγηση 3ου επιπέδου 182

6.1.2 Αξιολόγηση 1ου επιπέδου 184
6.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εικόνας WorldView 2 190
6.2.1 Αξιολόγηση 3ου επιπέδου 191
6.2.2 Αξιολόγηση 1ου επιπέδου 192
6.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εικόνας IKONOS 2011 197
6.3.1 Αξιολόγηση 3ου επιπέδου 197
6.3.2 Αξιολόγηση 1ου επιπέδου 199
6.4 Σύγκριση δορυφόρων IKONOS και WorldView 2 στην ταξινόμηση της βλάστησης 204
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ 207
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 210
8.1 Ελληνική Βιβλιογραφία 210
8.2 Ξένη Βιβλιογραφία 211

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Μέση θερμοκρασία (oC) Ιωαννίνων 2011 28

Πίνακας 2. Μέσος όρος ολικού ύψους υετού(χιλ) Ιωαννίνων 2011 28

Πίνακας 3. Ταχύτητα ανέμου (χλμ/ω) στα Ιωάννινα 2011 28

Πίνακας 4. Το διάστημα μήκους κύματος στο οποίο εκπέμπει κάθε κανάλι του δορυφόρου Worldview 2 40

Πίνακας 5. Το διάστημα μήκους κύματος στο οποίο εκπέμπει κάθε κανάλι του δορυφόρου IKONOS 42

Πίνακας 6. Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά στου δορυφόρου IKONOS 43

Πίνακας 7. Πίνακας συντεταγμένων – Υπολογισμός σφάλματος 83

Πίνακας 8. Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τις συναρτήσεις συμμετοχής, τα χαρακτηριστικά και τα όρια ασάφειας για τις ταξινομήσεις των τεσσάρων επιπέδων της εικόνας IKONOS '08 123

Πίνακας 9. Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τις συναρτήσεις συμμετοχής, τα χαρακτηριστικά και τα όρια ασάφειας για τις ταξινομήσεις των τεσσάρων επιπέδων της εικόνας WorldView 2 2010 157

Πίνακας 10. Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τις συναρτήσεις συμμετοχής, τα χαρακτηριστικά και τα όρια ασάφειας για τις ταξινομήσεις των τεσσάρων επιπέδων της εικόνας IKONOS 2011 180

Πίνακας 11. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2008 188

Πίνακας 12. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου της εικόνας WorldView2 2010 196

Πίνακας 13. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2011 203

Πίνακας 14. Συγκεντρωτικός πίνακας κανόνων που χρησιμοποιήθηκαν για τη ταξινόμηση των κατηγοριών του τρίτου επιπέδου στις εικόνες IKONOS και WorldView 2 206

Πίνακας 15. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε τύπο βλάστησης σε κάθε εικόνα έπειτα από την αξιολόγηση των ταξινομήσεων 207

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Πωγωνίου 26

Εικόνα 2. Γενική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας 30

Εικόνα 3. Γενική απεικόνηση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας(A&B) 30

Εικόνα 4. Γενική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας (A&B) 31

Εικόνα 5. Γενική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας (A&B) 31

Εικόνα 6. Διακριτικές μονάδες καταγραφής χαρακτηριστικών περιοχής Άνω Καλαμά 32

Εικόνα 8. Εισαγωγή και επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων για την εξαγωγή χρήσεων γης του εδάφους 35

Εικόνα 7. Τα μήκη κύματος που ορίζουν την κάθε φασματική υπογραφή 35

Εικόνα 9. Προβολή εικόνων με τα κανάλια τους 37

Εικόνα 10. Αντιστοιχία συντεταγμένων σημείου στον ορθοφωτοχάρτη και στην εικόνα για την ορθοαναγωγή της εικόνας 38

Εικόνα 11. Πίνακας αντιστοιχίας συντεταγμένων σημείων και ποσοστό σφάλματος 38

Εικόνα 12. Γραφική αναπαράσταση του μήκους κύματος που εκπέμπει κάθε κανάλι 41

Εικόνα 13. Διαγραμματική απεικόνιση του αλγόριθμου κατάτμησης πολλαπλών αναλύσεων 49

Εικόνα 14. Παράθυρο καθορισμού χαρακτηριστικών των αντικειμένων στο επίπεδο για τον αλγόριθμο πολλαπλής κατάτμησης 50

Εικόνα 15. Ιεραρχικό επίπεδο εικόνας από το ανώτερο επίπεδο των εικονοστοιχείων στο κατώτερο των αντικειμένων 51

Εικόνα 16. Συλλογή δειγμάτων και εύρος τιμών των στατιστικών παραμέτρων ανάλογα με το χρώμα των αντικειμένων 53

Εικόνα 17. Παράθυρο εκτίμησης ακρίβειας 55

Εικόνα 18. Πίνακας σταθερότητας ταξινόμησης 56

Εικόνα 19. Πίνακας καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης 57

Εικόνα 20. Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου (Error Matrix Based on TTA Mask) 58

Εικόνα 21. Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα (Error Matrix Based on Samples) 59

Εικόνα 22. Με την ανάπτυξη των φύλλων παρουσιάζεται μικρότερη ανακλαστικότητα στο ορατό (περίπου -5%) και μεγαλύτερη στο εγγύς υπέρυθρο (περίπου +15%) 60

Εικόνα 23. Ποσοστό απορρόφησης και εκπομπής του υπέρυθρου και ορατού φάσματος σε ένα ζωντανό και ένα ασθενές φυτό 60

Εικόνα 24. Η κυτταρική δομή των φύλλων και η αλληλεπίδρασή τους με την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Η μεγαλύτερη ποσότητα του ορατού φωτός απορροφάται, ενώ περίπου το μισό της ενέργειας ανακλάται στο κοντινό υπέρυθρο 66

Εικόνα 25. Μετακίνηση της κόκκινης ακμής, λόγω της αλλαγής στην συγκέντρωση χλωροφύλλης. Η υψηλή χλωροφύλλη αυξάνει την απορρόφηση στην κόκκινη περιοχή και ωθεί την κόκκινη ακμή προς τα μεγαλύτερα μήκη κύματος 67

Εικόνα 26. Εικόνα IKONOS του 2008 69

Εικόνα 27. Εικόνα IKONOS του 2011 της περιοχής Άνω Καλαμά, του Δήμου Πωγωνίου 70

Εικόνα 28. Εικόνα WorldView-2 του 2010 της περιοχής Άνω Καλαμά, του Δήμου Πωγωνίου 71

Εικόνα 29. Ορθοφωτοχάρτης της περιοχής Άνω Καλαμά, του Δήμου Πωγωνίου 72

Εικόνα 30. Πλατύφυλλος Δρυς ή Πυκνοβελονιά (A&B) 73

Εικόνα 31. Φράξος ο κοινός, Άνθος – Καρπός (A&B) 74

Εικόνα 32. Παλιούρι το ακανθώδες, Άνθος – Φυτό (A&B) 75

Εικόνα 33. Πλάτανος ο ανατολικός, Φυτό – Καρπός (A&B) 76
Εικόνα 34. Φτελιά ή Πτελέα η πεδινή ή Καραγάτσι 77
Εικόνα 35. Ιτιά η λευκή ή Ασημοϊτιά 78
Εικόνα 36. Πουρνάρι ή Δρυς η κοκκοφόρος 79
Εικόνα 37. Γκορτσιά ή γκορτζιά, Άνθος – Δένδρο με καρπούς 79
Εικόνα 38. Λιγαριά, Θάμνος - Άνθος 80
Εικόνα 39. Δεδομένα για την ορθοαναγωγή της εικόνας 82
Εικόνα 40. Προβολή μεθόδου λήψης σημείων για ορθοαναγωγή της εικόνας WorldView2 83
Εικόνα 41. Παράθυρο ορισμού παραμέτρων για την εξαγωγή της γεωαναφερμένης εικόνας 84
Εικόνα 42. Γενικές χρήσεις γης της περιοχής έρευνας (πρωτογενής ταξινόμηση) 85
Εικόνα 43. Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι περιορισμοί που τίθεται για τη δημιουργία τους 87
Εικόνα 44. Μεταβολή των αντικειμένων στα τέσσερα επίπεδα ταξινόμησης 87
Εικόνα 45. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο πρώτο επίπεδο (Level 1) στην εικόνα IKONOS '08 88
Εικόνα 46. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο πρώτο επίπεδο (Level 1) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 89
Εικόνα 47. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) 91
Εικόνα 48. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 92
Εικόνα 49. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο τρίτο επίπεδο (Level 3) 93
Εικόνα 50. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 94
Εικόνα 51. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο τρίτο επίπεδο (Level 3) 95
Εικόνα 52. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 96
Εικόνα 53. Απεικόνιση της βλάστησης σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης NDVI στις τιμές ασάφειας 0.2 έως 0.23 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης 98
Εικόνα 54. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά «shadow (L2)» 99
Εικόνα 55. Απεικόνιση της σκιάς σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη «GVI» στις τιμές ασάφειας 0.55 έως 0.6 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 99
Εικόνα 56. Απεικόνιση της σκιάς σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του «HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)» στις τιμές ασάφειας 0.2 έως 0.25 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 100
Εικόνα 57. Απεικόνιση της σκιάς σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή Mean Blue στις τιμές ασάφειας 270 έως 280 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 100
Εικόνα 58. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το νερό «water (2)» 101
Εικόνα 59. Απεικόνιση του νερού «water» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή «Water Index» στις τιμές ασάφειας 0.34 έως 0.36 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης 101
Εικόνα 60. Απεικόνιση του νερού «water» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή «Mean Blue» στις τιμές ασάφειας 200 έως 210με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης 102
Εικόνα 61. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα αδιαπέρατα υλικά «impervious (L2)» 102
Εικόνα 62. Προβλήματα που προκύπτουν κατά την ταξινόμηση της εικόνας 103
Εικόνα 63. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας IKONOS '08 104
Εικόνα 64. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση «vegetation (L4)» 105

Εικόνα 65. Συνάρτηση και όρια συμμετοχής, τα οποία δηλώνουν ότι το 60% ενός αντικειμένου έχει χαρακτηρισθεί ως βλάστηση στο δεύτερο επίπεδο 105

Εικόνα 66. Ταξινόμηση στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) της εικόνας IKONOS '08 105

Εικόνα 67. Δείγματα εκαπαίδευσης με τη μέθοδος του Εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor) στο τρίτο επίπεδο «Level 3» 107

Εικόνα 68. Προβολή των αποστάσεων μεταξύ των δειγμάτων εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία.....107

Εικόνα 69. Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας «urban area» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή «Standard deviation Blue» στις τιμές ασάφειας 23 έως 25με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.....108

Εικόνα 70. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά σε τεχνητή επιφάνεια «impervious shadow (L3)» 108

Εικόνα 71. Συνάρτηση και όρια συμμετοχής για την εφαρμογή του κανόνα γειτνίασης με τη τεχνητή επιφάνεια «Border to urban area (L3)» 109

Εικόνα 72. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά της βλάστησης «*Vegetaion shadow (L3)*» 109

Εικόνα 73. Απεικόνιση της σκιάς της βλάστησης «*Vegetation shadow (L3)*» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του πράσινου δείκτη βλάστησης «*GVI*» με τιμές ασάφειας 0.5 έως 0.53 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.....110

Εικόνα 74. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τις καλλιεργήσιμες γεωργικές εκτάσεις «*cultivation land (L3)*».....110

Εικόνα 75. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων γεωργικών εκτάσεων «*cultivation land (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι «*Mean Blue*» με τιμές ασάφειας 260 έως 265 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης 111

Εικόνα 76. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων γεωργικών εκτάσεων «cultivation land (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «*Standard deviation NIR*» με τιμές ασάφειας 35 έως 40 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.....111

Εικόνα 77. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων γεωργικών εκτάσεων «cultivation land (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «Standard deviation NIR» με τιμές ασάφειας 35 έως 40 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.....112

Εικόνα 78. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το δάσος «*forest (L3)*».....112

Εικόνα 79. Απεικόνιση του δάσους «*forest (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα μετασχηματισμού έντασης χρωμάτων RGB «*HIS Transformation Intensity(R= NIR, G=Red, B=Green)*» με τιμές ασάφειας 0.15 έως 0.18 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 113

Εικόνα 80. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση σε κατοικημένη περιοχή «green urban area (L3)».....113

Εικόνα 81. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα λιβάδια «natural grassland (L3)».114

Εικόνα 82. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας IKONOS '08.....114

Εικόνα 83. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία.....116

Εικόνα 84. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη Δρυ «Quercus fraineto (L1)».....116

Εικόνα 85. Απεικόνιση της Δρυός «*Quercus fraineto (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής φωτεινότητας «*Brightness*» με τιμές ασάφειας 195 έως 200 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 117

Εικόνα 86. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν του Πλατάνου «*Platanus orientalis (L1)*» 117

Εικόνα 87. Προβολή των Πλατάνιων «*Platanus orientalis (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της γειτνίασης με νερό «*Border to water (L1)*» με τιμές ασάφειας 0 έως 1 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.....118

Εικόνα 88. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν την υπόλοιπη βλάστηση και το Φράξο «*Other vegetation (Fraxinus ornus) (L1)*»....118

Εικόνα 89. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα λιβάδια σε βραχώδη επιφάνεια «*highland natural grassland (L1)*»....119

Εικόνα 90. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής του ύψους «*Mean Height*» με τιμές ασάφειας 400 έως 410 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε βραχώδης εκτάσεις «*highland natural grassland (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας....119

Εικόνα 91. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα λιβάδια σε πεδινή επιφάνεια «*lowland natural grassland (L1)*» 120

Εικόνα 92. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής της κλίσης «*Mean Slope*» με τιμές ασάφειας 20 έως 25 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε πεδινή επιφάνεια «*lowland natural grassland (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας....120

Εικόνα 93. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» 121

Εικόνα 94. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*» 121

Εικόνα 95. Ταξινόμηση στο πρώτο επίπεδο (Level 1) της εικόνας IKONOS '08....122

Εικόνα 96. Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι περιορισμοί που τίθεται για τη δημιουργία τους....124

Εικόνα 97. Μεταβολή των αντικειμένων στα τέσσερα επίπεδα ταξινόμησης 125

Εικόνα 98. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο πρώτο επίπεδο (Level 1) στην εικόνα WorldView2 2010....126

Εικόνα 99. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο πρώτο επίπεδο (Level 1) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 127

Εικόνα 100. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 128

Εικόνα 101. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 129

Εικόνα 102. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 130

Εικόνα 103. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση «*vegetation (L2)*» 132

Εικόνα 104. Απεικόνιση της βλάστησης «vegetation (L2)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης «*NDVI*» με τιμές ασάφειας -0.73 έως -0.7 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης....133

Εικόνα 105. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν της σκιάς «shadow (L2)» 133

Εικόνα 106. Απεικόνιση της σκιάς «shadow (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή της μέσης τιμής του καναλιού red-edge «*Mean Red-edge*», με τιμές ασάφειας 250 έως 350 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης....134

Εικόνα 107. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το νερό «water (L2)» 134

Εικόνα 108. Απεικόνιση του νερού «water (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη νερού «*NDWI*», με τιμές ασάφειας 0.39 έως 0.41 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης....135

Εικόνα 109. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν την αδιαπέραστη επιφάνεια «impervious (L2)» 135

Εικόνα 110. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας WorldView2 2010 136

Εικόνα 111. Περιγραφή των αντικειμένων που κληρονομούνται από υποαντικείμενα για την εξαγωγή της βλάστησης «*vegetation (L4*)» 137

Εικόνα 112. Προβολή της συνάρτησης συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης, με τιμές ασάφειας 0.1 έως 0.32, με τον κανόνα κληρονομικότητας των αντικειμένων της βλάστησης από το δεύτερο επίπεδο «Rel. Area of sub object vegetation (L2) (2)»..... 137

Εικόνα 113. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας WorldView2 2010 138

Εικόνα 114. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία 139

Εικόνα 115. Κληρονομικότητα χαρακτηριστικών των κατηγοριών του επιπέδου από τις κατηγορίες άλλου επιπέδου, τις οποίες γενικεύουν 140

Εικόνα 116. Απεικόνιση του γυμνού εδάφους με την εφαρμογή του δείκτη εδάφους "*NDSI*", τιμές ασάφειας 0.05 έως 0.07 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης..... 141

Εικόνα 117. Περιγραφή των χαρακτηριστικών των αντικειμένων που ανήκουν στην κατηγορία της τεχνητής επιφάνειας «urban area (L3)»..... 141

Εικόνα 118. Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας με την εφαρμογή του δείκτη εδάφους "*NDBRI*", τιμές ασάφειας 0.03 έως 0.04 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης..142

Εικόνα 119. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης των υποκατηγοριών της σκιάς 143

Εικόνα 120. Απεικόνιση της σκιάς «vegetation shadow (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της αναλογίας στο κανάλι coastal «Ratio coastal», με τιμές ασάφειας 0.11 έως 0.12 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης..... 143

Εικόνα 121. Προβολή της σκιάς από τεχνητή επιφάνεια «*impervious shadow (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της γειτνίασης με νερό «*Border to Urban area (L3)*» με τιμές ασάφειας 0 έως 1 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης..... 144

Εικόνα 122. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*cultivated land (L3)*» 145

Εικόνα 123. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων «*cultivated land (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα υφής σύμφωνα με τον Haralick «GLCM StdDev (45^{o})», του οποίου οι τιμές ασάφειας καθορίζονται από 20 έως 22 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 145

Εικόνα 124. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων «cultivated land (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της τυπικής απόκλισης στις ακραίες τιμές του κόκκινου καναλιού «*Standard deviation red-edge*», του οποίου οι τιμές ασάφειας καθορίζονται από 17 έως 19 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης..... 146

Εικόνα 125. Απεικόνιση του δάσους «*forest (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης «*NDVI*», του οποίου οι τιμές ασάφειας καθορίζονται από -0.83 έως -0.84 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης..... 147

Εικόνα 126. Εντολή για τον εντοπισμό της βλάστησης, η οποία βρίσκεται σε κατοικημένη περιοχή «green urban area (L3)» με την εφαρμογή του κανόνα της γειτνίασης με νερό «*Border to Urban area (L3)*» με τιμές ασάφειας 0.5 έως 0.7 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης..... 147

Εικόνα 127. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*natural grassland (L3)*» 148

Εικόνα 128. Απεικόνιση των λιβαδιών «*natural grassland (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής στο κίτρινο κανάλι «*Mean yellow*», του οποίου οι τιμές ορίζονται μεταξύ των ορίων 200 έως 320 148

Εικόνα 129. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «shrubland (L3)»..... 149

Εικόνα 130. Απεικόνιση των θαμνότοπων «*shrubland (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής στο κανάλι coastal «*Mean coastal*», του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 315 έως 317 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης..... 149

Εικόνα 131. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας WorldView2 2010..... 150

Εικόνα 132. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία 151

Εικόνα 133. Κληρονομικότητα χαρακτηριστικών των κατηγοριών του επιπέδου από τις κατηγορίες άλλου επιπέδου, τις οποίες γενικεύουν 152

Εικόνα 134. Βάση γνώσης για την ταξινόμηση των κατηγοριών Δρυς «*Quercus fraineto (L1)*» και λοιπή δασική βλάστηση (Φράξος) «*Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)*» αντίστοιχα 153

Εικόνα 135. Βάση γνώσης για τον εντοπισμό των πλατανιών «*Platanus orientalis (L1)*» και τιμές ασάφειας για τον καθορισμό της θέσης του 153

Εικόνα 136. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*highland natural grassland (L1)*» 154

Εικόνα 137. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής του υψομέτρου «Mean Height» με τιμές ασάφειας 400 έως 450 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε βραχώδης εκτάσεις «highland natural grassland (L1)» σε όλο το εύρος της εικόνας 154

Εικόνα 138. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*lowland natural grassland (L1)*» 155

Εικόνα 139. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής της κλίσης «*Mean Slope*» με τιμές ασάφειας 20 έως 25 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε πεδινές εκτάσεις «lowland natural grassland (L1)» σε όλο το εύρος της εικόνας 155

Εικόνα 140. Βάση γνώσης για την ταξινόμηση των κατηγοριών Παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» και Πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*» αντίστοιχα 156

Εικόνα 141. Ταξινόμηση στο πρώτο επίπεδο (Level 1) της εικόνας WorldView2 2010 156

Εικόνα 142. Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι περιορισμοί που τίθεται για τη δημιουργία τους 158

Εικόνα 143. Μεταβολή των αντικειμένων στα τέσσερα επίπεδα ταξινόμησης 159

Εικόνα 144. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο πρώτο επίπεδο (Level 1) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα. 160

Εικόνα 145. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 161

Εικόνα 146. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 162

Εικόνα 147. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα 163

Εικόνα 148. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση «vegetation (L2)» 165

Εικόνα 149. Απεικόνιση της βλάστησης «vegetation (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη νερού «NDWI», με τιμές ασάφειας 0.39 έως 0.41 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης 165

Εικόνα 150. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά «shadow (L2)» 166

Εικόνα 151. Απεικόνιση της σκιάς «shadow (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του πράσινου δείκτη βλάστησης «GVI», με τιμές ασάφειας 0.5 έως 0.52 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 166

Εικόνα 152. Απεικόνιση της σκιάς «shadow (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του μετασχηματισμού της έντασης των καναλιών «*HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)*», με τιμές ασάφειας 0.004 έως 0.005 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 167

Εικόνα 153. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το νερό «water (L2)» και απεικόνιση του νερού «water (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα «*Ratio NIR*», τιμές ασάφειας 0.09 έως 0.1 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 167

Εικόνα 154. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά «shadow (L2)» 168

Εικόνα 155. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας IKONOS 2011 168

Εικόνα 156. Περιγραφή της κατηγορίας βλάστησης στο τέταρτο επίπεδο (L4) και απεικόνιση των ορίων συμμετοχής της 169

Εικόνα 157. Ταξινόμηση στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) της εικόνας IKONOS 2011 169

Εικόνα 158. Δημιουργία μήτρας για τον έλεγχο των αποστάσεων διαχωρισμού για τα δείγματα εκπαίδευσης των κατηγοριών του τρίτου επιπέδου 170

Εικόνα 160. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη γυμνή επιφάνεια «bare land (L3)»171

Εικόνα 159. Εμφάνιση δειγμάτων "Nearest Neighbor" για την ταξινόμηση των αντικειμένων του τρίτου επιπέδου. (Λειτουργία: «Activate Sample Navigation») 171

Εικόνα 161. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν την τεχνητή επιφάνεια «*urban area (L3)*» 172

Εικόνα 162. Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας «*urban area (L3*)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της τυπικής απόκλισης στο μπλε κανάλι «*Standard deviation Blue*», με τιμές ασάφειας 13 έως 15 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης 172

Εικόνα 163. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*» και τη σκιά αδιαπέρατων υλικών «impervious shadow», αντίστοιχα 173

Εικόνα 164. Τιμές ορίων του πράσινου δείκτη βλάστησης «GVI» για τον εντοπισμό της σκιάς βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*» 173

Εικόνα 165. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις «*cultivation land (L3)*» 174

Εικόνα 166. Απεικόνιση του δάσους «*forest (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα μετασχηματισμού έντασης χρωμάτων RGB «*HIS Transformation Intensity(R= NIR, G=Red, B=Green)*» με τιμές ασάφειας από 0.005 έως 0.006 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 175

Εικόνα 167. Απεικόνιση των θαμνώδη εκτάσεων «*shrubland (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής στο Μπλε κανάλι «*Mean Blue*» με τιμές ασάφειας από 200 έως 201 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.....176

Εικόνα 168. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας IKONOS 2011.....176

Εικόνα 169. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία 177

Εικόνα 170. Απεικόνιση της Δρυός «*Quercus fraineto (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα εντοπισμού δέντρων «*Trees*» με τιμές ασάφειας από 35000 έως 35500 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης 178

Εικόνα 171. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας IKONOS 2011.....179

Εικόνα 172. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS'08 183

Εικόνα 173. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS'08.....184

Εικόνα 174. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS'08 185

Εικόνα 175. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS'08.....186

Εικόνα 176. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, με τα δείγματα ελέγχου, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask».....187

Εικόνα 177. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, με τα δείγματα ελέγχου, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based Samples» 190

Εικόνα 178. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο (Level 3) ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» στην εικόνα WorldView 2.....191

Εικόνα 179. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο (Level 3) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» 192

Εικόνα 180. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» 193

Εικόνα 181. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» 194

Εικόνα 182. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask», η οποία δημιουργείται από τα δείγματα ελέγχου της εικόνας WorldView 2.....195

Εικόνα 183. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη στα νέα δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based on Samples».....197

Εικόνα 184. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS 2011 198

Εικόνα 185. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο (Level 3) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS 2011 199

Εικόνα 186. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS 2011 200

Εικόνα 187. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS 2011 201

Εικόνα 188. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask», η οποία δημιουργείται από τα δείγματα ελέγχου της εικόνας IKONOS 2011 202

Εικόνα 189. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη στα νέα δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based on Samples» στην εικόνα IKONOS 2011.....204

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Διάγραμμα ροής ορθοαναγωγής.....39
Διάγραμμα 2. Ιεραρχία κατηγοριών ταξινόμησης.....86
Διάγραμμα 3. Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας IKONOS '08 97
Διάγραμμα 4. Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας WorldView 2 2010.....131
Διάγραμμα 5. Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας IKONOS 2011.....164

ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1. Ποσοστιαία ακρίβεια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2008.....188

Γράφημα 2. Ποσοστιαία ακρίβεια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της εικόνας WorldView2 2010.....196

Γράφημα 3. Ποσοστιαία ακρίβεια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2011.....203

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απογραφικές μέθοδοι των χρήσεων γης στηριζόταν κυρίως στην επίγεια παρατήρηση. Οι μέθοδοι αυτοί λειτουργούσαν δυσμενέστερα στην έρευνα και στην αποτύπωση των χρήσεων, διότι χρειαζόταν μεγάλος χρόνος απογραφής, υψηλό κόστος, μεγαλύτερη προσπάθεια του ερευνητή και πολλές φορές πιθανότητα σφάλματος λόγω έλλειψης στοιχείων.

Η εξέλιξη τη τεχνολογίας και οι γρήγοροι ρυθμοί ανάπτυξης έχουν προχωρήσει σε νέους τρόπους συλλογής, καταγραφής, ταξινόμησης και ανάλυσης των χρήσεων γης. Αρχικά, η ανακάλυψη αεροφωτογραφιών, δηλαδή φωτογραφίες της επιφάνειας της γης κάποιο ύψος πάνω από αυτή. Ο εντοπισμός των χρήσεων γης με τη φωτοερμηνεία διευκόλυνε τον ερευνητή και μείωσε τη πιθανότητα σφαλμάτων, όπως και το κόστος εργασίας. Έπειτα, με την τεχνολογική ανάπτυξη ανακαλύφθηκαν νέοι τρόποι λήψης εικόνων με τη χρήση προηγμένων τεχνικών για τον εντοπισμό των χρήσεων γης. Η επιστήμη αυτή ονομάστηκε **Τηλεπισκόπηση** και αναφέρεται στη συλλογή και ανάλυση στοιχείων χωρίς να έρθουμε σε φυσική επαφή με τα αντικείμενα.

Τα φυσικά οικοσυστήματα θεωρούνται ως τα περισσότερα πολύπλοκα συστήματα στα οποία επιδρούν συγχρόνως σημαντικοί παράγοντες (όπως το νερό, το φώς, το έδαφος και ο αέρας), οι οποίοι δημιουργούν προβλήματα στον εντοπισμό και την επεξεργασία των χρήσεων γης. Οι νέες μέθοδοι αποτύπωσης του εδάφους και συλλογής στοιχείων έχουν μειώσει αυτό το πρόβλημα και έχουν ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα σφαλμάτων.

Η αύξηση των εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης και η δημιουργία σύγχρονων τηλεπισκοπικών δεκτών που δίνουν εικόνες με πολύ υψηλή διακριτική/διαχωριστική και ραδιομετρική ικανότητα, οδήγησαν στη διάθεση πολυάριθμων Τηλεπισκοπικών δεδομένων με αυξημένη τη χωρική και φασματική διακριτική τους ικανότητα, ώστε με τη χρήση των προηγμένων τεχνικών, να εξάγουν πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Η ανάγκη του ανθρώπου για εξέλιξη και η αύξηση των απαιτήσεων του, οδήγησαν στην ανάπτυξη της έρευνας και στον τομέα της Τηλεπισκόπησης με τη δημιουργία νέων αλγορίθμων με περισσότερες δυνατότητες. Οι δυνατότητες επεξεργασίας εικόνων πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας, με σκοπό τον εντοπισμό σημαντικών σημασιολογικών ή χωρικών πληροφοριών, δεν εξηγείται pixel προς pixel με αλγόριθμους ταξινόμησης. Μια νέα μέθοδος ταξινόμησης που αναπτύχθηκε και αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια είναι η μέθοδος της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης. Τα αντικείμενα ταξινομούνται με επιτυχία χρησιμοποιώντας αλγόριθμους, οι οποίοι βασίζονται στα εννοιολογικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων, όπως είναι η υφή και άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση έχει τη δυνατότητα να σκιαγραφεί τα φυσικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων και να ενσωματώνει την κοινή πληροφορία. Ο αντικειμενοστρεφής τρόπος ανάλυσης και σχεδίασης αποτελεί την ιδανική μεθοδολογία για το

διαχωρισμό και την οργάνωση ενός μεγάλου έργου το οποίο θα αναπτυχθεί σε τμήματα (Χατζηγεωργίου 2005).

Σκοπός της εργασίας είναι ο εντοπισμός τύπων βλάστησης με την εφαρμογή αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης και τη χρήση πολύ υψηλής ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων από τους δορυφόρους IKONOS και WordlView 2 και σύγκριση της ποιότητας των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης των ειδών μεταξύ των δορυφόρων.

2. ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Fraxinus ornus: Φράξος, Μελιά (Ήπειρος)

Paliourus aculeatus: Πάλιουρος, Παλιούρι, Πάλιουρας (Ήπειρος)

Platanus orientalis: Πλατάνι

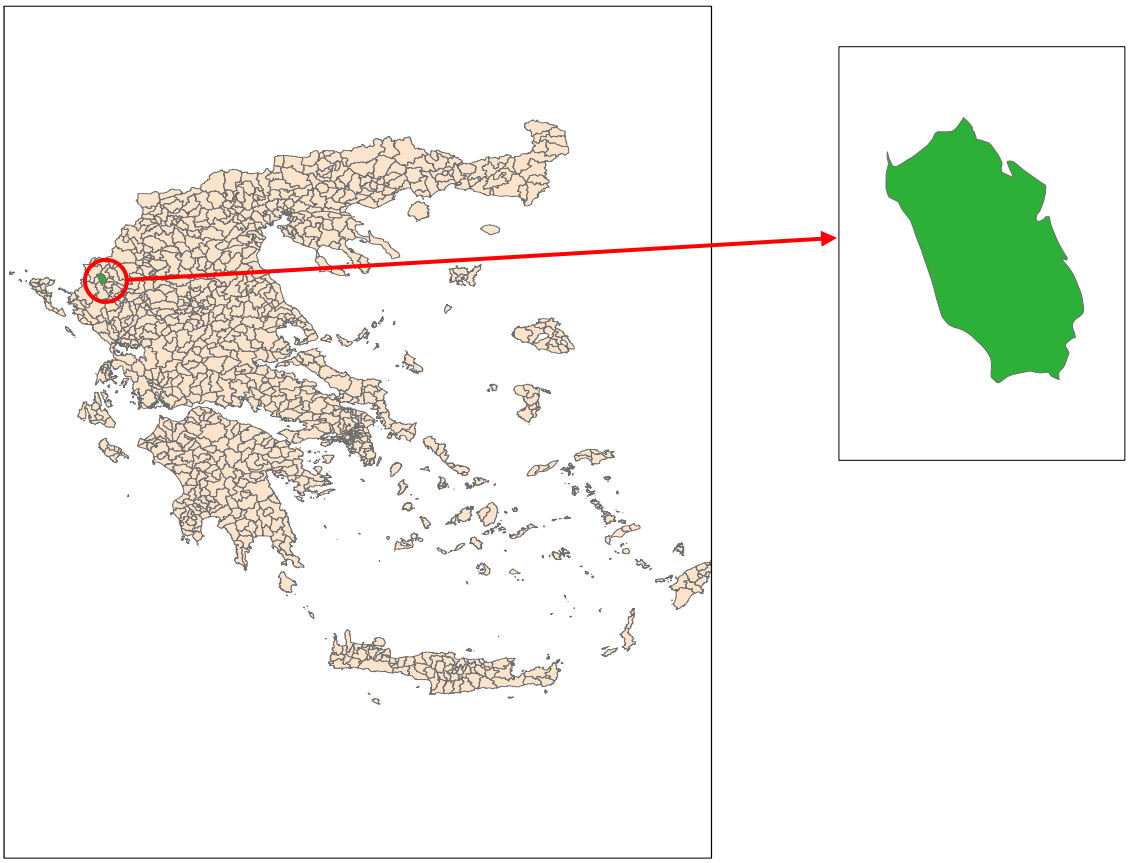
Quercus coccifera: Πουρνάρι, Πρίνος

Quercus fraineto 'conferta': Πλατύφυλλος Δρυς, Δέντρο

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Θέση περιοχής έρευνας

Η περιοχή έρευνας ανήκει στο Δήμο Πωγωνίου της περιφέρειας Ηπείρου και πιο συγκεκριμένα στη Δημοτική Ενότητα Άνω Καλαμά. Η Δημοτική Ενότητα συγκαταλέγεται στο Νομό Ιωαννίνων και βρίσκεται Βορειοδυτικά της πόλης των Ιωαννίνων. Η Δημ. Ενότητα λειτούργησε ως αυτοτελής Δήμος από το 1999-2010, στα πλαίσια του προγράμματος Καποδίστριας από την συσπείρωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής. Από το 2011 και σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης έγινε η συνένωση του Άνω Καλαμά με άλλους τρεις Δήμους και δύο κοινότητες, οι οποίοι συγκρότησαν το Δήμο Πωγωνίου. Ο Δήμος Πωγωνίου έχει έδρα το Καλπάκι και ιστορική έδρα το Δελβινάκι. Ο Δήμος χαρακτηρίζεται ως ορεινός, αποτελούμενος από τους πρώην Δήμους Καλπακίου, Δερβινακίου, Άνω Πωγωνίου και Άνω Καλαμά και τις πρώην κοινότητες Πωγωνιανής και Λάβδανης.



Εικόνα 1. Περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Πωγωνίου

Η περιοχή έρευνας καλύπτει τα διοικητικά όρια των των δημοτικών κοινοτήτων Βροντισμένης, Αρετής, Ρεπετίστας, Μοσχομάντσας, Σταυροδρομίου και Παρακάλαμου, ο οποίος αποτελούσε και την έδρα του πρώην Δήμου Άνω Καλαμά.

3.2 Υδρογραφικό Δίκτυο Περιοχής Έρευνας

Από την περιοχή έρευνας διέρχεται ο ποταμός Καλαμάς. Η λεκάνη απορροής του ποταμού σχηματίζεται ανάμεσα στα όρη Κασιδιάρη (δυτικά) και Μητσικέλι (ανατολικά). Από τους ορεινούς όγκους της Νεμέρτσικας και του Κουτσόκρανου (1.324 m) απορρέουν μικρότεροι χείμαρροι που συγκλίνουν και συγκεντρώνονται στο ποταμό Γορμό. Ο ποταμός Γορμός πηγάζει στο ύψος του Ωραιοκάστρου, διαρρέει το βόρειο τμήμα του δήμου Πωγωνίου, κυλά προς τα νότια ώσπου στο ύψος του κάμπου του Παρακαλάμου συναντά τα νερά του ποταμού Νεζερού (δυτικά) και των πηγών Δολιανών, Λιμπούσδα, Καλπακίου και Βελάς (ανατολικά). Ο ποταμός Γορμός εκβάλλει στον ποταμό Καλαμά. Ο ποταμός Καλαμάς στη συνέχεια διασχίζει τον νόμο Θεσπρωτίας και τελικά εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος.

3.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά – Πετρώματα - Έδαφος

Γενικά στο Δήμο Πωγωνίου τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά είναι όμοια με αυτά που γενικά επικρατούν στον Νομό Ιωαννίνων και καλύπτουν ψηλές και επιμήκεις οροσειρές που συνδυάζονται με στενές κοιλάδες. Το μορφολογικό ανάγλυφο οφείλεται αφενός στη γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής και αφετέρου στη λιθολογική αντίθεση που υπάρχει μεταξύ των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και του φλύσχη. Γεωλογικά, οι οροσειρές αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους, ενώ οι κοιλάδες αποτελούνται από φλύσχη. Η περιοχή έρευνας ανήκει στην Ιόνια γεωτεκτονική ζώνη. Η στρωματογραφική ακολουθία της περιοχής είναι(Karymbalis and Gaki-Papanastassiou 2008, Σαγιάς και Πορίκης 2008).:

Εβαποριτική σειρά και τριαδικά λατυποπαγή: εμφανίζονται κοιτάσματα γύψου και ανυδρίτη και σχηματισμοί που αποτελούνται από λατύπες μαύρων δολομιτιωμένων ασβεστολίθων μέσα σε αργιλικό συνδετικό υλικό.

Ανθρακική σειρά: αποτελείται κυρίως από Δολομίτες και ασβεστολίθους.

Φλύσχης αδιαίρετος: χαρακτηρίζεται από εναλλαγές ιλυωδών μαργών και μεσόκοκκων έως χονδρόκοκκων ψαμμιτών.

Στην περιοχή έρευνας εντοπίζονται κυρίως γύψοι και τριαδικά λατυποπαγή στην περιοχή Παρακαλάμου και άνω Καλαμά, και αλλουβιακές αποθέσεις. Σε ότι αφορά τη σεισμικότητα της περιοχής, η περιοχή εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ, ενώ από τα ελληνοαλβανικά σύνορα ως το Δυρράχιο και στην περιοχή της Κόνιτσας εντοπίζονται σεισμικές πηγές.

Τα εδάφη ορφνά και ερυθρά είναι ελαφριάς μηχανικής σύστασης. Επίδραση στην ποιότητα των εδαφών ασκούν η βαρύτητα και τα βρόχινα νερά που βοηθούν στην απόπλυση και μεταφορά του εδάφους. Δεν υπάρχει λεπτομερής εδαφολογική μελέτη για την περιοχή.

3.4 Κλίμα

Στο Δήμο Πωγωνίου δε λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός και κατ' ανάγκη για την περιοχή έρευνας θα χρησιμοποιηθούν στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Ιωαννίνων. Ο μετεωρολογικός σταθμός Ιωαννίνων βρίσκεται σε γεωγραφικό Μήκος 20ο49'1", Γεωγραφικό Πλάτος 39ο42'0" και Υψόμετρο 483μ..

Στους Πίνακες 1, 2 και 3 φαίνεται η μέση Θερμοκρασία, το μέσο ύψος βροχόπτωσης και η ταχύτητα του ανέμου για το έτος 2011.

Πίνακας 1. Μέση θερμοκρασία (^{o}C) Ιωαννίνων 2011

Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μα.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.
3,8	5,6	7,5	11,7	15,1	19,5	22,8	23,7	20,8	11,3	5,3	4,4

Πηγή: Μετεωρολογικός σταθμός Ιωαννίνων

Ετήσια Μέση θερμοκρασία (^{o}C) Ιωαννίνων 2011: 12,7 ^{o}C

Πίνακας 2. Μέσος όρος ολικού ύψους υετού(χιλ) Ιωαννίνων 2011

Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μα.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.
86,3	63,0	89,6	23,6	79,2	62,0	4,2	7,8	56,4	101,0	14,8	216,6

Πηγή: *Μετεωρολογικός* σταθμός Ιωαννίνων

Συνολικό ύψος βροχόπτωσης (χιλ) Ιωαννίνων 2011: 804,6 χιλ.

Πίνακας 3. Ταχύτητα ανέμου (χλμ/ω) στα Ιωάννινα 2011

Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μα.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.
1,2	3,0	4,5	4,0	2,7	2,2	2,8	3,4	3,3	2,2	2,2	1,6

Πηγή*: Μετεωρολογικός σταθμός Ιωαννίνων*

Ετήσια Μέση Ταχύτητα Ανέμου Ιωαννίνων 2011: 2,8 χλμ/ω

Το κλίμα στην περιοχή έρευνας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ηπειρωτικό με έντονο χειμώνα επηρεασμένο από τις ψυχρές βόρειες μάζες, ήπια άνοιξη με σχετική μείωση των βροχών και χαμηλή θερμοκρασία, ξηρό καλοκαίρι με σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας και ήπιο φθινόπωρο με αντίστοιχη αύξηση των βροχοπτώσεων και της σχετικής υγρασίας.

3.5 Φυσική βλάστηση

Όσον αφορά την κατανομή των χρήσεων γης στην περιοχή του Δήμου Πωγωνίου, σύμφωνα με στοιχεία του χωροταξικού δικτύου του Ν. Ιωαννίνων (Αναπτυξιακή Ηπείρου 2003), κυριαρχούν οι Βοσκότοποι με ποσοστό 70%, τα Δάση με ποσοστό 21% και τις Καλλιεργήσιμες εκτάσεις με ποσοστό 5%.

3.6 Χλωρίδα

Από την κατανομή των χρήσεων γης διαπιστώνεται η μεγάλη συμμετοχή των βοσκοτόπων και η μικρή των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Αυτό αποδίδεται στην εγκατάλειψη των γεωργικών εκτάσεων στις ημιορεινές και ορεινές περιοχές και τον περιορισμό τους στις πλέον γόνιμες πεδινές περιοχές. Αντίστοιχα η ανάπτυξη της κτηνοτροφίας και η αύξηση του ζωικού κεφαλαίου, ιδιαίρετα σε πρόβατα και βοοειδή τις τελευταίες δεκαετίες, σύμφωνα με στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. (2001) οδήγησε στην αξιοποίηση των βοσκοτόπων.

Στη φυσική βλάστηση διαπιστώνεται η κυριαρχία των θάμνων με την ασφάκα (Φλωμίς η θαμνώδης, Phlomis fruticosa) να επικρατεί σε πολλές βοσκήσιμες εκτάσεις. Επίσης συναντώνται και άλλα θαμνώδη είδη, όπως η αγριοτριανταφυλλιά (Rosa masalis), το Παλιούρι (Paliourus aculeatus), η κρανιά (Cornus mass), το πουρνάρι (Quercus coccifera),κ.α. Όσον αφορά την ποώδη φυσική βλάστηση σε αυτή επικρατεί μια πληθώρα ειδών μεταξύ των οποίων συναντώνται συχνότερα το φασκόμηλο (Salvia officinalis), το πεντάνευρο (Plantago masor), η ρίγανη (Origanum vulgare), η δακτυλίδα (Dactulis glomerata), το αγριοκρίθαρο (Hordeum murinum), η βούλπια (Vulpia myurus), κ.α.

Στα Δάση και τις Δασικές εκτάσεις της περιοχής επικρατεί κυρίως η πλατύφυλλος δρυς (Quercus fraineto ‘conferta’). Επίσης, άλλα είδη που συναντώνται στα Δάση της περιοχής είναι ο Φράξος (Fraxinus ornus), η Φτελιά ή Πτελέα ή Καραγάτσι (Ulmus campestris), το Πλατάνι (Platanus orientalis), η αγριαχλαδιά ή γκορτσιά (Pirus amygdaliformis), η κουμαριά (Arbutus unedo), κ.α.. Τα δάση της περιοχής είναι δημόσια, κοινοτικά και μερικά είναι σε αγροκτήματα (ιδιωτικά).

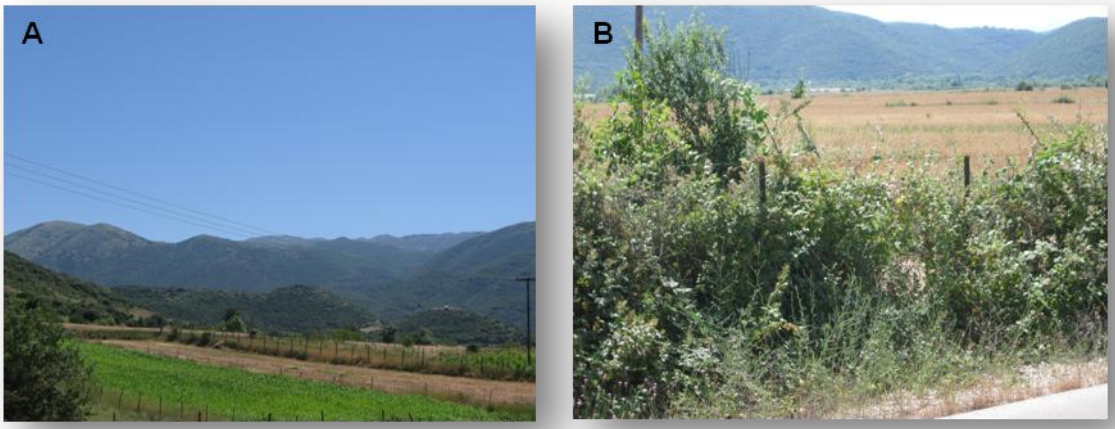
Την περιοχή έρευνας που καλύπτεται από τις υπό διαχείριση εικόνες, επισκεφθήκαμε και καταγράψαμε τη φυσική βλάστηση που επικρατεί. Για την ορθή καταγραφή επί τόπου διαχωρίσαμε τη περιοχή σε τέσσερις (4) μονάδες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά η καθεμία. Οι

μονάδες διαχωρίστηκαν στην ***περιοχή Παρακάλαμου του πρώην Δήμου Άνω Καλαμά***, όπως παρακάτω περιγράφονται:

Μονάδα Σιάστης – Ρεπετίστα

Υπερθαλάσσιο ύψος: 550 μέτρα, Έκθεση: Βόρεια, Μέση κλίση: 30-60%.

Γεωργικές καλλιέργειες και Δασώδης περιοχή. Επικράτηση των ειδών που αναφέρονται παραπάνω.



Εικόνα 2. Γενική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας

Μονάδα Ριάχοβο (λεπροβούνι) - Μαζαράκια

Υπερθαλάσσιο ύψος: 500 μέτρα, Έκθεση: Βόρειοδυτική, Μέση κλίση: 30-50%.

Δασώδης – Θαμνώδης περιοχή. Επικράτηση των ειδών που αναφέρονται παραπάνω.

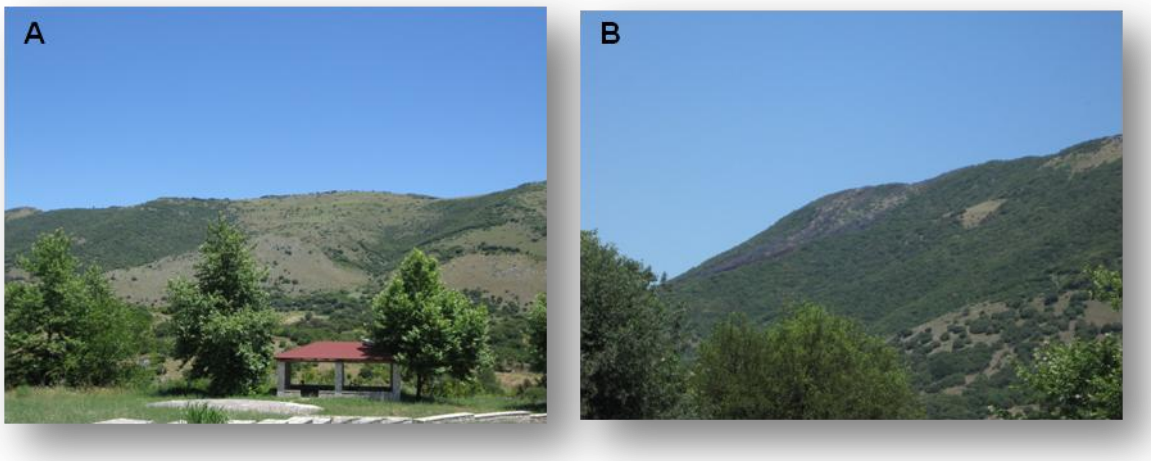


Εικόνα 3. Γενική απεικόνηση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας(A&B)

Μονάδα Πετροβούνια – Αγ. Παρασκευή - Βροντισμένη

Υπερθαλάσσιο ύψος: 760 μέτρα, Έκθεση: Δυτική, Βόρεια, Ανατολική, Μέση κλίση: 40-60%.

Γεωργικές καλλιέργειες και Θαμνώδης περιοχή (βοσκήσιμες εκτάσεις). Επικράτηση των ειδών που αναφέρονται παραπάνω.

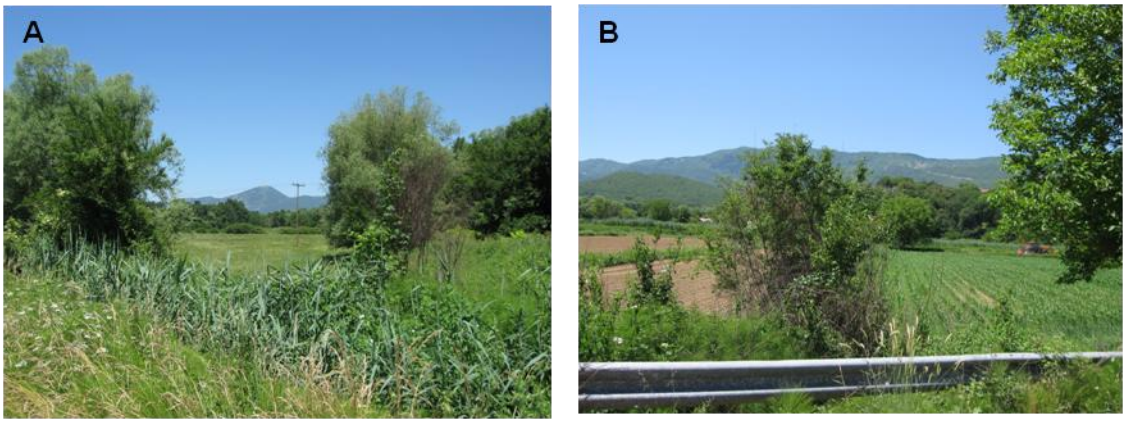


Εικόνα 4. Γενική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας (A&B)

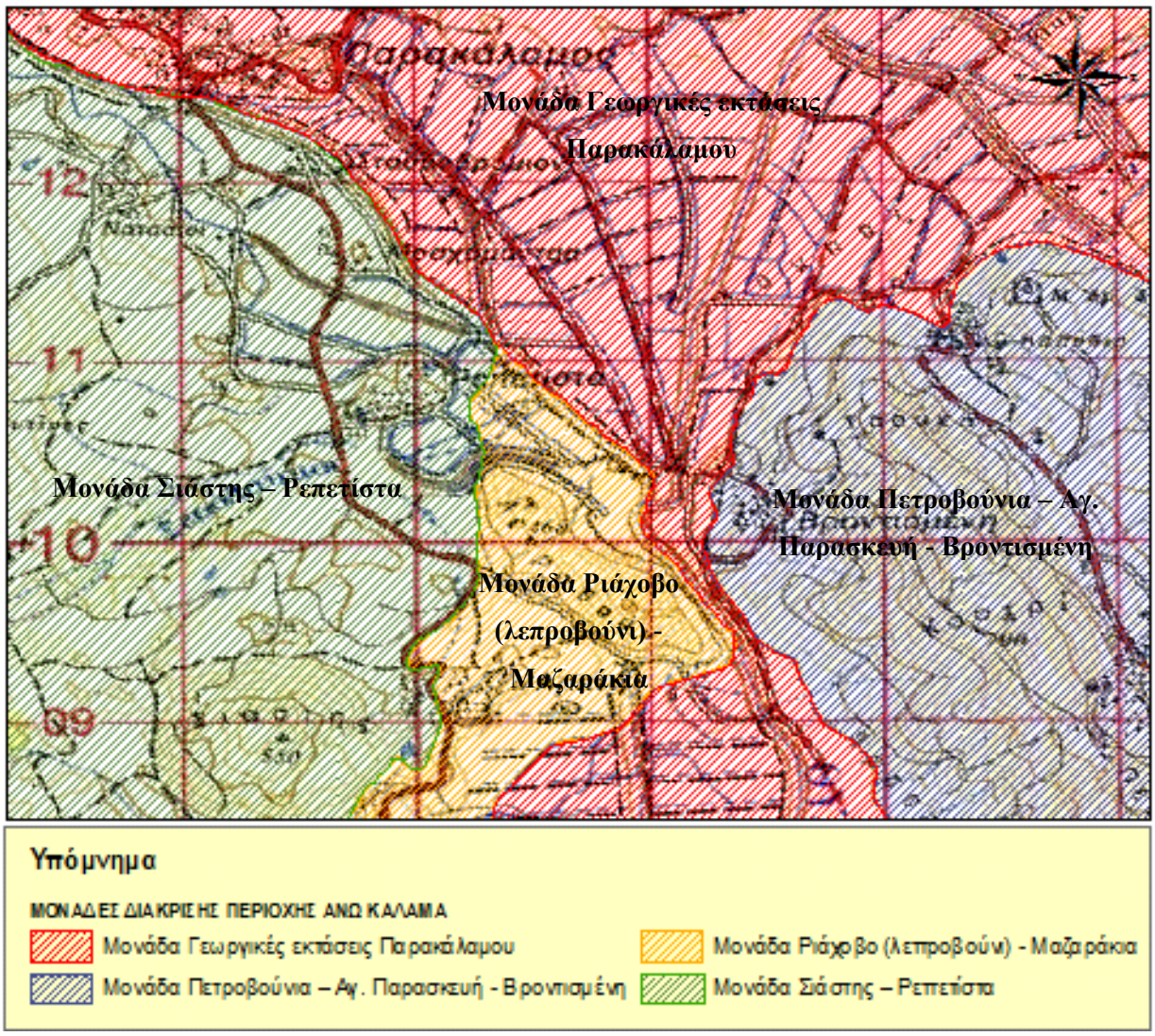
Μονάδα Γεωργικές εκτάσεις Παρακάλαμου

Υπερθαλάσσιο ύψος: 350 μέτρα, Μέση κλίση: 5-20%.

Γεωργικές εκτάσεις που καλλιεργούνται με ετήσια ποτιστικά είδη (καλαμπόκι, βαμβάκι, κλπ.) και πολυετείς δενδροκομικές καλλιέργειες.



Εικόνα 5. Γενική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής της μονάδας (A&B)



Πηγή: *Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) , Κλίμακα 1:50.000*

Εικόνα 6. Διακριτικές μονάδες καταγραφής χαρακτηριστικών περιοχής Άνω Καλαμά

3.7 Πανίδα

Η άγρια πανίδα είναι πλούσια στην περιοχή του Δήμου Πωγωνίου. Τα οικοσυστήματα της περιοχής αποτελούν σημαντικές περιοχές για την άγρια πανίδα στην Ελλάδα. Αρκετά σπάνια και απειλούμενα είδη έχουν καταγραφεί. Σήμερα στους ορεινούς όγκους της επαρχίας, υπάρχουν λύκοι (Canis lupus), η καφέ αρκούδα (η περιοχή του βορειοδυτικού Πωγωνίου μάλιστα, αποτελεί τη δυτικότερη περιοχή εξάπλωσης της αρκούδας στον ελλαδικό χώρο), αγριογούρουνα, ζαρκάδια και λαγοί (Νεμέρτσικα – Κασσιδιάρης). Όσο αφορά τα θηλαστικά της περιοχής, τα περισσότερα ανήκουν στην τάξη των τρωκτικών (ποντίκια, αρουραίοι, σκίουροι και άλλα είδη). Αρκετά πλούσια είναι και η τάξη των σαρκοφάγων όπου παρατηρούνται κουνάβια, νυφίτσες, αγριόγατες και αλεπούδες. Σε ορισμένες περιοχές έχουν μείνει ελάχιστα αγριοκάτσικα (Rupicapra rupicapra).

Επίσης η περιοχή παρουσιάζει αξιόλογο ορνιθολογικό ενδιαφέρον. Τα σχετικά ψηλά βουνά, τα ανοίγματα στα βράχια, τα οροπέδια, η άφθονη τροφή καθώς και οι μικρών εκτάσεων καλλιεργήσιμες εκτάσεις, προσφέρουν στα πουλιά και ιδιαίτερα στα αρπακτικά ασφαλή μέρη για φωλιές και ποικιλία τροφών. Στον ευρύτερο χώρο περιλαμβάνονται είδη όπως ο Ασπροπάρης, ο Κραυγαητός, ο Σταυραητός, το Σαΐνι, η Μεσοτσικλητάρα, ο Τσίφτης, κ.α. Η περιοχή είναι πέρασμα αποδημητικών πουλιών κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Στο βιότοπο της λίμνης Ζαραβίνας υπάρχουν οστειχθύες και υδρόβια πουλιά. Πλούσια είναι και η πανίδα των αμφίβιων και των ερπετών (οχιές Vipera ursinii graeca και Vipera benus bosniensis) (Σαγιάς και Πορίκης 2008).

4. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

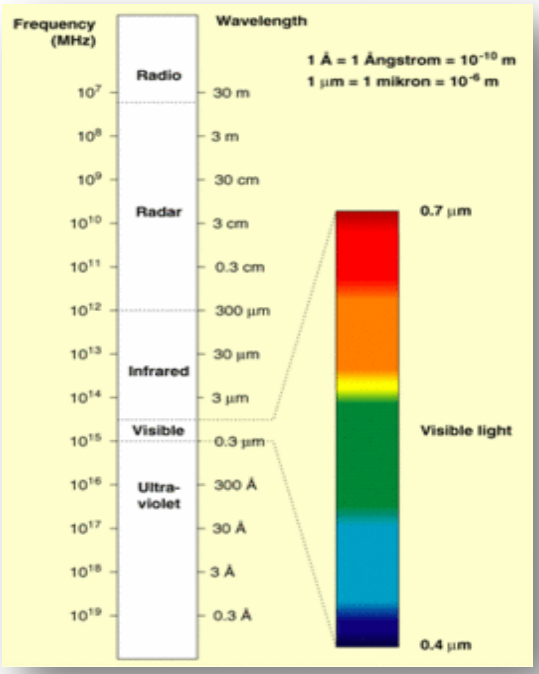
Η εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης στον εντοπισμό των χρήσεων γης εξυπηρετεί τον ερευνητή στην ανάλυση των εικόνων, χωρίς να έρθει σε φυσική επαφή με το αντικείμενο, στη μείωση των σφαλμάτων κατά την καταγραφή των αντικειμένων και στην οικονομικότερη πραγματοποίηση της έρευνας. Η ταξινόμηση των εικόνων με τη μέθοδο της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης δίνει τη δυνατότητα διάκρισης των φασματικών χαρακτηριστικών σύμφωνα με τον καθορισμό της υφής και της μορφής των αντικειμένων.

4.1 Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση

Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και τεχνική που εξετάζει τις αρχές, μεθόδους, όργανα και συστήματα με τα οποία επιτυγχάνεται η εκ του μακρόθεν συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία των πληροφοριών που σχετίζονται με τις συγκεκριμένες ιδιότητες αντικειμένων ή φαινομένων. Η τηλεπισκόπηση έχει εφαρμοσθεί στη γεωργία, δασολογία, γεωλογία, υδρολογία, θαλάσσιους πάγους, ωκεανογραφία και παράκτια παρακολούθηση, κάλυψη και χρήσεις γης, χαρτογράφηση και γενικά παρακολούθηση των φυσικών και ανθρώπινων διαθεσίμων (Hatzopoulos κ.α, 2010).

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο, το οποίο μελετά από το διάστημα τη γήινη επιφάνεια, τους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και τη δυναμική της. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται σε μετεωρολογικά και υδρολογικά ζητήματα, στη μελέτη της ατμόσφαιρας και του κλίματος, στη μελέτη της βλάστησης και του κύκλου του CO2, στην αντιμετώπιση φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών, στη μελέτη της κάλυψης γης και των χρήσεων γης, στη γεωλογία και μορφολογία, στην τοπογραφία και την χαρτογράφηση, στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον και στο αστικό περιβάλλον (Χρυσουλάκης, 2011). Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης συλλέγει τις πληροφορίες για τα διάφορα αντικείμενα, χρησιμοποιώντας αισθητήρες (δέκτες) υψηλής τεχνολογίας, χωρίς να έρθουν σε φυσική επαφή με αυτά.

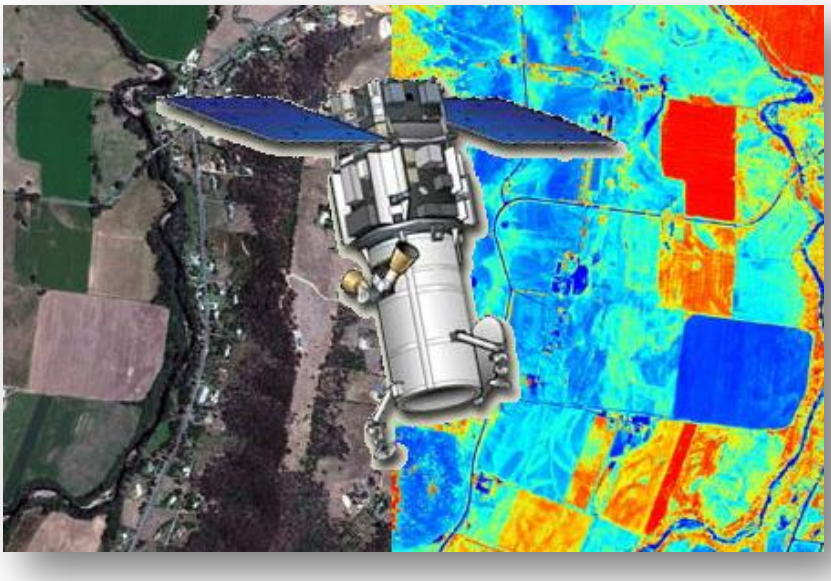
Κατά την παρατήρηση ενός αντικειμένου, το μάτι έχει τη δυνατότητα να καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (το φως) που ανακλάται από την επιφάνεια του αντικειμένου. Η ακτινοβολία αυτή περιέχει πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια του αντικειμένου και εξυπηρετεί στο διαχωρισμό των αντικειμένων σύμφωνα με το χρώμα και την υφή τους. Σύμφωνα με τους επιστήμονες, η καταγραφή φασματικής απόκρισης ενός αντικειμένου, δηλαδή το εύρος ενός της φασματικής περιοχής στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει, σε διαφορετικά μήκη κύματος, ορίζει τη φασματική του υπογραφή, η οποία είναι μοναδική σε κάθε αντικείμενο (Εικόνα 6). Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη διακριτική ικανότητα των αντικειμένων στο χώρο και τη μετέπειτα ταξινόμηση του σε κατηγορίες έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων. (ESA eduspace, http://www.esa.int/SPECIALS/ Eduspace_GR/index.html)



Εικόνα 7. Τα μήκη κύματος που ορίζουν την κάθε φασματική υπογραφή

Πηγή *: (ESA eduspace: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/index.html)*

Η συλλογή και η επεξεργασία χαρτογραφικών και τηλεπισκοπικών δεδομένων εξυπηρετεί στην εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών για τα αντικείμενα και το περιβάλλον τους (Εικόνα 8). Τέτοια θέματα είναι ο εντοπισμός των χρήσεων γης, η διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών, οι φυσικές καταστροφές, η διαχείριση φυσικού περιβάλλοντος και άλλα ζητήματα που παρουσιάζονται και είναι δυνατόν να υλοποιηθούν με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων.



Πηγή*: Inforest Research O.C., http://www.inforest.gr/*

Εικόνα 8. Εισαγωγή και επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων για την εξαγωγή χρήσεων γης του εδάφους

Στις μέρες μας η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης έχει προχωρήσει με ραγδαίους ρυθμούς. Η εκτόξευση δορυφόρων στο διάστημα, οι οποίοι είναι πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας (ικανότητα λεπτομέρειας μέχρι το μισό μέτρο), οδήγησε στην εξέλιξη των γεωεπιστημών, για τη μελέτη και διαχείριση του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Τα διαθέσιμα, πολυάριθμα πλέον Τηλεπισκοπικά δεδομένα με την αυξανόμενη χωρική και φασματική τους διακριτική ικανότητα και σε συνδυασμό με προηγμένες τεχνικές εξαγωγή της πληροφορίας αποτελούν μία πολύτιμη πηγή πληροφοριών για την ανάπτυξη και βιώσιμη διαχείριση του παράκτιου περιβάλλοντος.

4.2 ENVI Image Analysis Software

Σύμφωνα με τους δημιουργούς του ENVI, η ανάγκη για επεξεργασία εικόνας και απεικόνιση δεδομένων οδήγησε στη δημιουργία του συγκεκριμένου λογισμικού. Το ENVI εξυπηρετεί στην επεξεργασία εικόνας και στην απεικόνιση γεωχωρικών δεδομένων. Οι εικόνες που έχει τη δυνατότητα να στηρίξει είναι από όλους τους σημερινούς πιο δημοφιλής δορυφόρους, ακόμη και εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης. Οι ενέργειες που μπορεί να γίνουν με τη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού είναι η ορθοαναγωγή, η επεξεργασία δύο ή περισσοτέρων εικόνων, η βαθμονόμηση, η ατμοσφαιρική διόρθωση, ο εντοπισμός της περιοχής ενδιαφέροντος, η δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους και η αλλαγή, η περιστροφή και η μετατροπή του τύπου των δεδομένων.

Στην προκειμένη εργασία έγινε η χρήση του προγράμματος για την ορθοαναγωγή (orthorectification) των εικόνων, για τη σωστή αναγωγή τους στο Ελληνικό σύστημα συντεταγμένων. Η επιλογή του συγκεκριμένου προγράμματος για τη γεωμετρική διόρθωση των εικόνων έγινε διότι οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της έρευνας ήταν πολύ υψηλής ευκρίνειας και οι δυνατότητες του λογισμικού μπορούσαν να πραγματοποιήσουν αυτή τη διαδικασία.

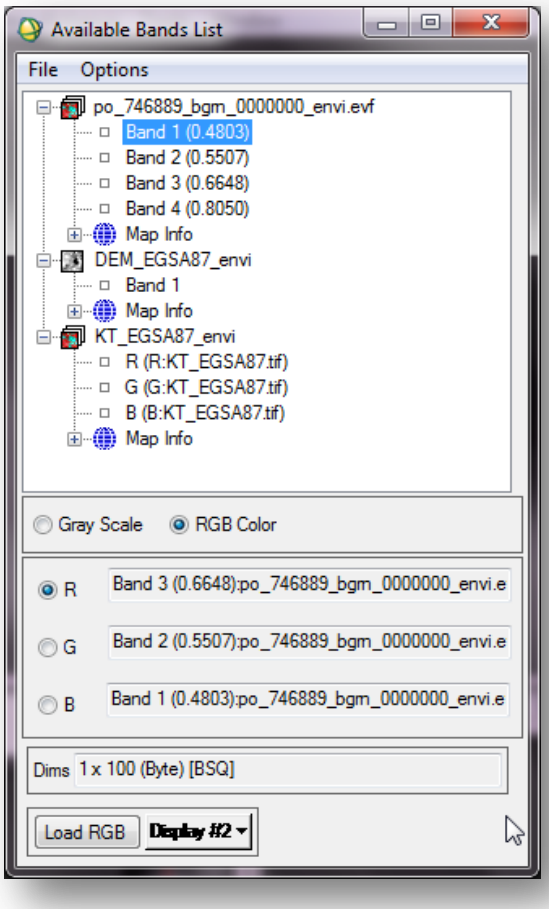
4.2.1 Ορθοαναγωγή εικόνων (Γεωμετρική διόρθωση και αποκατάσταση)

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες (δέκτες) τυγχάνει να εμφανίζουν γεωμετρικές παραμορφώσεις, ώστε η μετέπειτα επεξεργασία τους σε χαρτογραφικά δεδομένα να μην είναι εφικτή. Η αλληλεπίδραση του συστήματος του δορυφόρου με την κίνηση του δορυφόρου, την περιστροφή της γης, την καμπυλότητα της γης, την επίδραση του ανάγλυφου της και άλλους εξωγενείς παράγοντες, έχει σαν αποτέλεσμα τη γεωμετρική παραμόρφωση της δορυφορικής εικόνας κατά τη λήψη της.

4.2.1.1 Βήματα ορθοαναγωγής εικόνων με τη χρήση ENVI

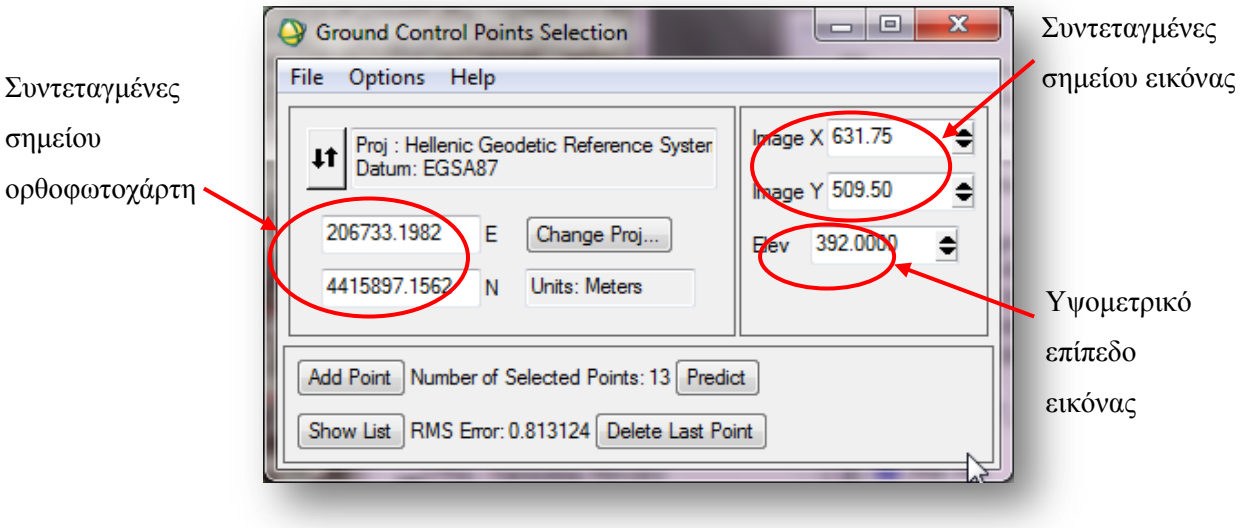
Κατά τη διαδικασία της ορθοαναγωγής της εικόνας χρειαζόμαστε ένα ορθοφωτοχάρτη, ο οποίος έχει σωστές συντεταγμένες και ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής, το οποίο εξυπηρετεί στις υψομετρικές διαφορές του εδάφους.

Αρχικά επιλέγουμε “Open external file” και το δορυφόρο, από τον οποίο έχει ληφθεί η εικόνα, για να ανοίξουμε το RCP της εικόνας προς επεξεργασία (Εικόνα 8). Εφόσον έχουν ανοίξει όλες οι εικόνες επιλέγουμε από το Map -> Orthorectifiction και το δορυφόρο από τον οποίο είναι η εικόνα για ορθοαναγωγή και κάνουμε «Orthorectify “δορυφόρου” with ground control».



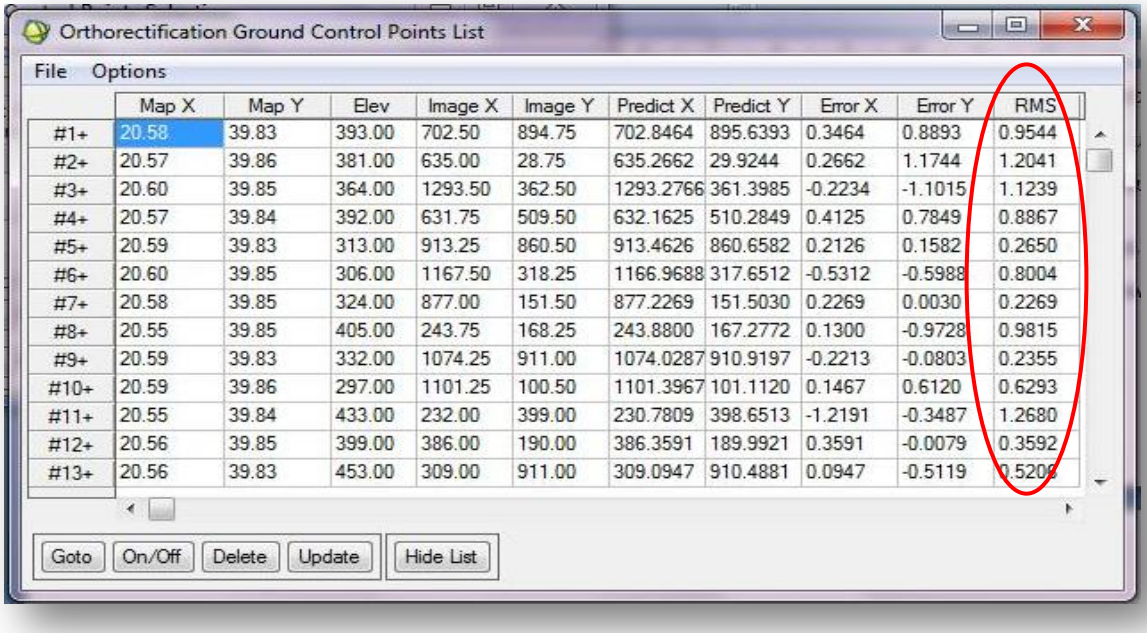
Εικόνα 9. Προβολή εικόνων με τα κανάλια τους

Έπειτα βρίσκουμε τον κοινό γεωμετρικό τόπο των σημείων του ορθοφωτοχάρτη με την εικόνα (X, Y) και έχουν οριζοντιογραφικές συντεταγμένες που εξαρτώνται από το υψόμετρο Z (Εικόνα 9). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται διαδοχικά για όλα τα εικονοστοιχεία, οπότε προσδιορίζονται σ αυτά οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες.



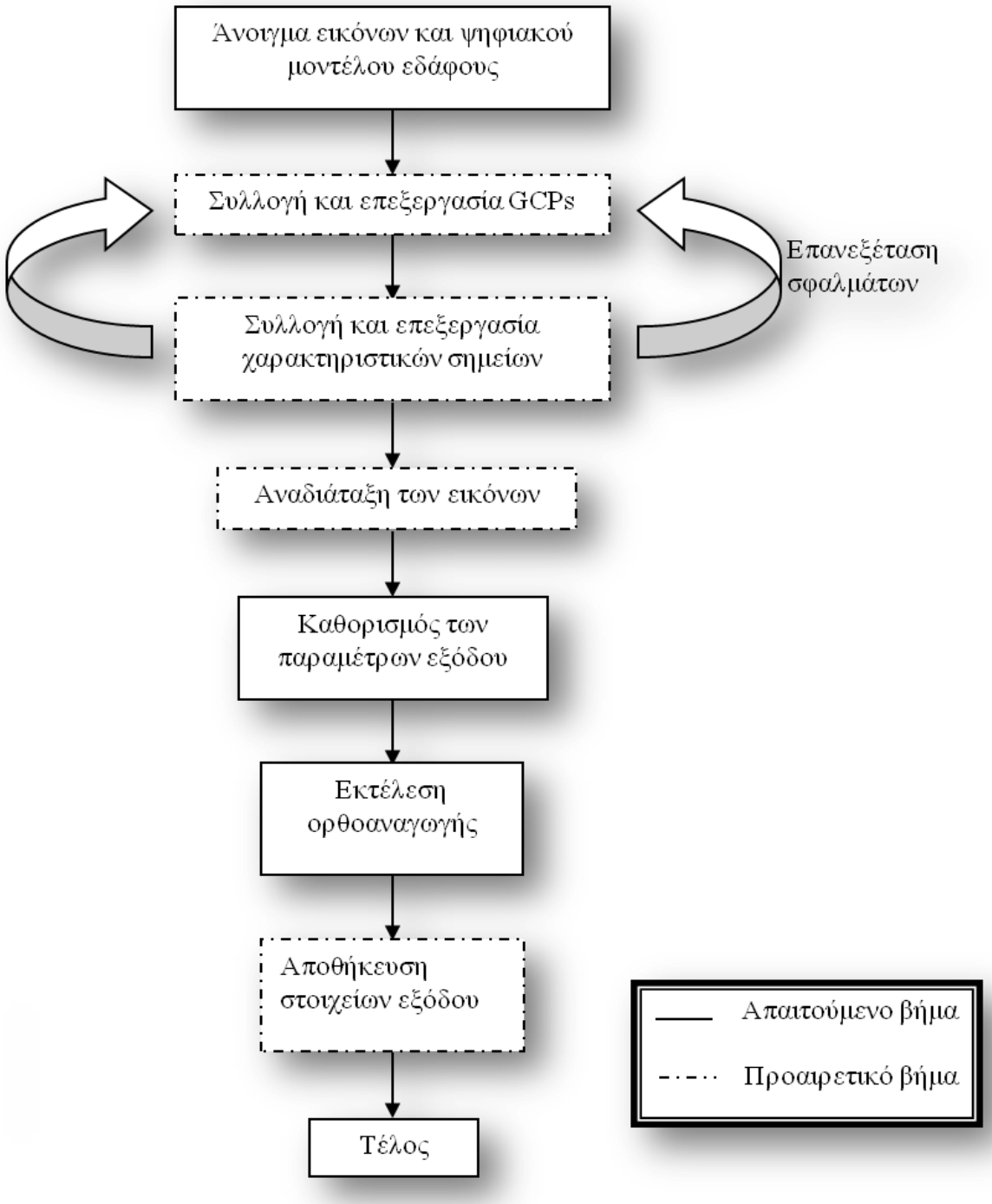
Εικόνα 10. Αντιστοιχία συντεταγμένων σημείου στον ορθοφωτοχάρτη και στην εικόνα για την ορθοαναγωγή της εικόνας

Ο έλεγχος της εικόνας γίνεται από τον πίνακα σημείων, ο οποίος δείχνει το ποσοστό σφάλματος που έχει το σημείο (RMS) (Εικόνα 10). Η τιμή του θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν κοντά στο 0, ώστε η ορθοαναγωγή της εικόνας να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Η πιθανότητα σφάλματος εξαρτάται από την στόχευση των σημείων τα οποία επιλέγει ο χρήστης, από τη μορφή του εδάφους και από τα πολύ διαφορετικά υψόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των συντελεστών.



	Map X	Map Y	Elev	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	20.58	39.83	393.00	702.50	894.75	702.8464	895.6393	0.3464	0.8893	0.9544
#2+	20.57	39.86	381.00	635.00	28.75	635.2662	29.9244	0.2662	1.1744	1.2041
#3+	20.60	39.85	364.00	1293.50	362.50	1293.2766	361.3985	-0.2234	-1.1015	1.1239
#4+	20.57	39.84	392.00	631.75	509.50	632.1625	510.2849	0.4125	0.7849	0.8867
#5+	20.59	39.83	313.00	913.25	860.50	913.4626	860.6582	0.2126	0.1582	0.2650
#6+	20.60	39.85	306.00	1167.50	318.25	1166.9688	317.6512	-0.5312	-0.5988	0.8004
#7+	20.58	39.85	324.00	877.00	151.50	877.2269	151.5030	0.2269	0.0030	0.2269
#8+	20.55	39.85	405.00	243.75	168.25	243.8800	167.2772	0.1300	-0.9728	0.9815
#9+	20.59	39.83	332.00	1074.25	911.00	1074.0287	910.9197	-0.2213	-0.0803	0.2355
#10+	20.59	39.86	297.00	1101.25	100.50	1101.3967	101.1120	0.1467	0.6120	0.6293
#11+	20.55	39.84	433.00	232.00	399.00	230.7809	398.6513	-1.2191	-0.3487	1.2680
#12+	20.56	39.85	399.00	386.00	190.00	386.3591	189.9921	0.3591	-0.0079	0.3592
#13+	20.56	39.83	453.00	309.00	911.00	309.0947	910.4881	0.0947	-0.5119	0.5208

Εικόνα 11. Πίνακας αντιστοιχίας συντεταγμένων σημείων και ποσοστό σφάλματος



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα ροής ορθοαναγωγής

4.3 Τηλεπισκοπικά δεδομένα WorldView 2 και IKONOS

Στην πραγματοποίηση της προκειμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν εξελιγμένα τηλεπισκοπικά δεδομένα πολύ υψηλής διακριτικής και ραδιομετρικής ικανότητας. Αυτά ήταν εικόνες από τους δορυφόρους IKONOS και WorldView 2, οι οποίοι έχουν ευκρίνεια που φτάνει το μισό μέτρο.

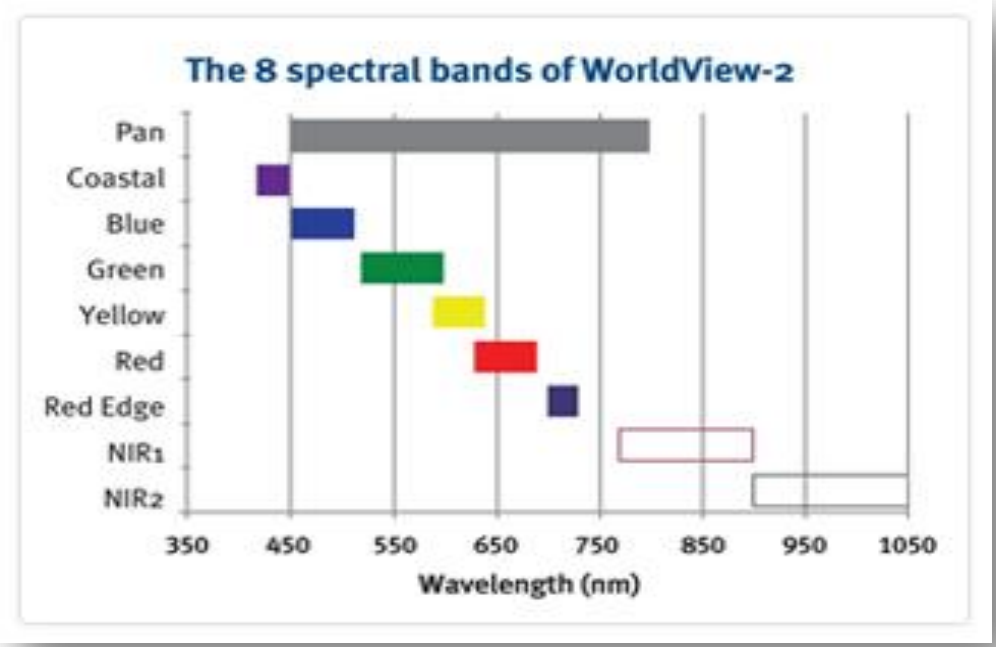
Παρακάτω περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των δορυφόρων και των εικόνων τους, καθώς επίσης και οι δυνατότητες που προσφέρουν το καθένα.

4.3.1 Χαρακτηριστικά δορυφόρου WorldView 2

Στις 8 Οκτωβρίου του 2009, από το Vandenburg Air Force Base στην Καλιφόρνια, άρχισε τη δράση του, ο δορυφόρος Worldview 2 (WV2). Η διάκριση του σε σχέση με τους άλλους δορυφόρους έγκειται στο γεγονός ότι είναι ο πρώτος δορυφόρος πολύ υψηλής ευκρίνειας με οχτώ πολυφασματικά κανάλια. Ο WV2 παρέχει 0.46 m πανχρωματική ανάλυση και 1.85 m πολυφασματική ανάλυση. Τα φασματικά κανάλια από τα οποία αποτελείται ο δορυφόρος είναι τα συνήθη τέσσερα (μπλε, πράσινο, κόκκινο, κοντινό υπέρυθρο 1) και τέσσερα νέα κανάλια (coastal, yellow, red edge, near- IR2). (http://www.landinfo.com/WorldView2.htm)

Πίνακας 4. Το διάστημα μήκους κύματος στο οποίο εκπέμπει κάθε κανάλι του δορυφόρου Worldview 2

Κανάλια Δορυφόρου	
Παγχρωματικό	450 - 800 nm
8 Πολυφασματικά κανάλια	
Coastal	400 - 450 nm
Blue	450 - 510 nm
Green	510 - 580 nm
Yellow	585 - 625 nm
Red	630 - 690 nm
Red-Edge	705 -745 nm
NIR-1	770 - 895 nm
NIR-2	860 – 1040 nm



***Πηγή**: "Landinfo", Worldwide Mapping LLC, http://www.landinfo.com/ WorldView2.htm*

Εικόνα 12. Γραφική αναπαράσταση του μήκους κύματος που εκπέμπει κάθε κανάλι

Τα οχτώ φασματικά κανάλια και η υψηλή χωρική ανάλυση του δορυφόρου βελτιώνει την ταξινόμηση των αντικειμένων, τις αναλύσεις της βλάστησης, διευκολύνει τον εντοπισμό νέων χρήσεων γης και στη βελτίωση του προσδιορισμού τους. Τα επιπλέον κανάλια που διαθέτει ο δορυφόρος είναι τα coastal, yellow, red-edge και Near Infrared 2 Band, οι λειτουργίες των οποίων είναι (http://www.satimagingcorp.com/ satellite-sensors/worldview-2.html):

- **Coastal Band** (400 - 450 nm): Το κανάλι αυτό απορροφάται από τη χλωροφύλλη σε υγιή φυτά και έχει τη δυνατότητα εντοπισμού χαρακτηριστικών του νερού σε βάθος, διότι το μεγαλύτερο ποσοστό του αντανακλάται από αυτό. Επηρεάζεται ουσιαστικά από την ατμόσφαιρα και χρησιμοποιείται για να βελτιώσει τεχνικές ανίχνευσης ατμοσφαιρικής σκέδασης.
- **Yellow Band** (585 - 625 nm): Χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές της βλάστησης. Ανιχνεύει το κιτρίνισμα των φύλλων.
- **Red Edge Band** (705 - 745 nm): Ενισχύει τον εντοπισμό της βλάστησης. Το κανάλι αυτό είναι πολύ πολύτιμο για την ανάλυση υγιών φυτών και συνδέεται με την παραγωγή χλωροφύλλης από τα φυτά.
- **Near Infrared 2 Band** (860 - 1040 nm): Παρουσιάζει τις ίδιες λειτουργίες με την NIR 1, αλλά χρησιμοποιείται επιπλέον σε ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Υποστηρίζει την ανάλυση της βλάστησης και μελέτες βιομάζας.

4.3.2 Χαρακτηριστικά δορυφόρου IKONOS

Στις 24 Σεπτεμβρίου 1999 από το Space Launch Complex 6 (SLC-6) στο Vandenberg Air Force Base στην Καλιφόρνια εκτοξεύθηκε ο δορυφόρος IKONOS. Το όνομα του προέρχεται από τη ελληνική λέξη «εικόνα» και είναι της εταιρείας GeoEye. Ο IKONOS είναι δορυφόρος πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας και είναι ο πρώτος που λαμβάνει εμπορικά διαθέσιμα δεδομένα ανάλυσης 1m.

Οι δυνατότητες χρησιμοποίησης του δορυφόρου σε διάφορες εφαρμογές είναι ποικίλες, διότι διαθέτει παγχρωματικό κανάλι με ανάλυση 0,82 m και 4 πολυφασματικά κανάλια με ευκρίνεια στα 3,2 m (μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο). Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές χαρτογράφησης αστικών και αγροτικών περιοχών, των φυσικών πόρων και φυσικών καταστροφών, στην δασοκομική ανάλυση, στην εξόρυξη, στη μηχανική, σε κατασκευές και στην ανίχνευση διαχρονικών αλλαγών. Τα δορυφορικά δεδομένα από IKONOS καλύπτουν πολλές εφαρμογές για περιβαλλοντικές μελέτες. Επίσης, ο IKONOS έχει συγκεντρώσει περισσότερα από 300 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα πάνω από κάθε ήπειρο και έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιείται για την εθνική ασφάλεια και για στρατιωτικούς χάρτες, όπως επίσης σε αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές. (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html)

Πίνακας 5. Το διάστημα μήκους κύματος στο οποίο εκπέμπει κάθε κανάλι του δορυφόρου IKONOS

Κανάλια Δορυφόρου	
Παγχρωματικό	450 - 900 nm
4 Πολυφασματικά κανάλια	
Blue	445 - 516 nm
Green	506 - 595 nm
Red	632 - 698 nm
NIR-1	757 - 893 nm

Η συχνότητα λήψης εικόνων από το δορυφόρο εξυπηρετεί το χρήστη να προμηθεύεται δεδομένα πρόσφατων περιόδων, ώστε να απεικονίζουν τη σημερινή πραγματικότητα και να παρακολουθούν διαχρονικές αλλαγές και άλλες μελετητικές ανάγκες τους. Επιπλέον, η δυνατότητα λήψης στερεοζεύγων εντός τροχιάς δίνουν τη δυνατότητα επεξεργασίας και παραγωγής Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) και εξαγωγή πληροφορίας στην Τρίτη διάσταση, το οποίο δίνει ανάλυση και ακρίβειες πρωτοποριακές στα δορυφορικά δεδομένα. (Satellite Imaging Corporation, http://www.satimagingcorp.com)

Πίνακας 6. Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά στου δορυφόρου IKONOS

Χαρακτηριστικά Δορυφόρου IKONOS				
Εικόνα			**Δορυφόρος**	
	Παγχρωματικό	**Πολυφασματικό**	**Πλάτος λωρίδας**	11.3 km
Διακριτική ικανότητα	0.82 m	3.2 m	**Απεικόνιση ναδίρ**	Περισσότερο από 60 degrees
Εύρος φάσματος	450 - 900 nm		**Βάθος τόνου λήψης**	11 bits per pixer
Έκταση κάλυψης μιας πλήρους εικόνας	11.3 km x 11.3 km		**Χρόνος ζωής**	12+ χρόνια
Συλλογή εικόνας	240,000 sq km/day (Pan + MSI)		**Χρόνος επανεξέτασης**	Περίπου 3 χρόνια
			Υψόμετρο τροχιάς	681 km
			Κομβικός χρόνος λήψης	10:30 προ μεσημβρίας

4.4 Αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας (Object – oriented analysis image)

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση (Object-oriented analysis) έχει αναχθεί τα τελευταία χρόνια σε εξαιρετικά δημοφιλή τεχνολογία ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων. Αποτελεί μια νέα προσέγγιση στο αντικείμενο της ταξινόμησης των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Η διαρκή εξέλιξη και ανάπτυξη των ανθρώπινων αναγκών και των δυνατοτήτων εκπαίδευσης, οδηγούν στην ανασυγκρότηση των λογισμικών αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να εξελίσσονται.

Η χρήση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης αποτελεί μια μεθοδολογία, στην οποία η τηλεπισκοπική απεικόνιση προβάλλεται ως ένα σύνολο αντικειμένων (ομοιογενών περιοχών). Η μέθοδος αυτή είναι πολύ ευέλικτη στην ανάλυση εικόνων πολύ υψηλής ευκρίνειας, όπου τα αντικείμενα προσφέρουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον από τα pixel (Τζώτσος και Αργιαλάς).

Η αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνας έχει ως στόχο την κατάτμηση της εικόνας σε αντικείμενα και τη δημιουργία ενός αντικειμενοστρεφούς περιβάλλοντος αναπαράστασης της γνώσης. Πρώτο βήμα για την πραγματοποίηση της μεθόδου ανάλυσης εικόνας είναι ο προσδιορισμός των απαιτήσεων της εικόνας, ώστε να γίνει η κατάτμηση πολλαπλής κλίμακας και ακολουθεί ο

καθορισμός των κατηγοριών και ο διαχωρισμός τους σε επίπεδα. Κατόπιν, δημιουργείται η βάση γνώσης με την προσθήκη κανόνων στις κατηγορίες, ώστε να γίνει η ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων σε εννοιολογικά αντικείμενα. Ένα αντικείμενο αποτελεί μια διαχωριστική οντότητα, η οποία διαθέτει δική του φασματική και μορφολογική ταυτότητα. Τέλος, μετά τον έλεγχο της ταξινόμησης γίνονται κάποια βήματα μετα-κατάτμησης και μετα-ταξινόμησης για την βελτίωση των αποτελεσμάτων.

Για την ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων που φέρουν κάποιες ιδιότητες (φασματικές, τοπολογικές, ιεραρχικές) συντάσσονται κανόνες και υλοποιούνται βάσεις γνώσης, οι οποίες αναλαμβάνουν την ταξινόμηση τους. Η διαδικασία στηρίζεται σε τεχνικές και μεθόδους τεχνητής ευφυΐας, όπως τα έμπειρα συστήματα ή τα νευρωνικά δίκτυα. (Αργιαλάς Δ., κ.ά 2005)

Η χρησιμότητα της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης της εικόνας έγκειται στον ακριβή καθορισμό των αντικειμένων από τον χρήστη για την ανάλυση της εικόνας με μια ασαφή λογική σύμφωνα με τις απαιτήσεις της. Ο χρήστης καθορίζει τη μελέτη του τρόπου εισαγωγής των κανόνων που περιγράφουν την ταυτότητα των αντικειμένων.

4.4.1 Διαφορές αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης με ανάλυση στηριζόμενη σε εικονοστοιχεία

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση (object based analysis) και η ανάλυση εικονοστοιχείων (pixel based analysis) αποτελούν μεθόδους ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων. Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση είναι μια σύγχρονη μέθοδος επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων. Για την εκτέλεση της ταξινόμησης πολυφασματικών δεδομένων χρησιμοποιείται και συνεχίζει να είναι ευέλικτη σε κάποιες τεχνικές η μέθοδος κατηγοριοποίησης των χρήσεων γης διαχωρίζοντας τα pixel της εικόνας (pixel- based analysis). Η προσέγγιση της μεθόδου στην εικόνα γίνεται με στατιστικές τεχνικές επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση κατατάσσονται τα εικονοστοιχεία της πολυφασματικής εικόνας σε καθορισμένες θεματικές κατηγορίες σύμφωνα με τα δεδομένα εκπαίδευσης που επιλέγονται από τον χρήστη. Αντίθετα στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ο διαχωρισμός των κατηγοριών γίνεται αυτόματα από το σύστημα ακολουθώντας κάποιον αλγόριθμο και στη συνέχεια ο χρήστης επεξεργάζεται τα αποτελέσματά τους.

Οι βασικές διαφορές μεταξύ object based και pixel based analysis είναι:

1. Στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση (object based analysis) η βασική μονάδα επεξεργασίας της εικόνας είναι τα σημασιολογικά αντικείμενα, ενώ στην ανάλυση εικονοστοιχείων (pixel based analysis) τα pixel της εικόνας.
2. Η ταξινόμηση της εικόνας στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση στηρίζεται στην ασαφή λογική (fuzzy logic). Αντίθετα, η pixel based analysis γίνεται με δείγματα εκπαίδευσης ή

με καθορισμένο αλγόριθμο που υπάρχει στο λογισμικό και εξαρτάται από τα pixel της εικόνας.

3. Στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνας έπειτα από την κατάτμηση της εικόνας και το διαχωρισμό της σε επίπεδα κλάσεων, προσφέρεται η δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει τις συσχετίσεις μεταξύ τους, τις συσσωματώσεις και συνθέσεις, τις εξαρτήσεις, τους περιορισμούς, τη γενίκευση της πληροφορίας κάθε κατηγορίας (δηλαδή κληρονομικότητα) και τις διασυνδέσεις μεταξύ επιπέδων.
4. Η ανάλυση εικονοστοιχείων εξαρτάται αποκλειστικά από τη φωτοερμηνεία που θα κάνει ο χρήστης θέτοντας κάποια δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία καθώς και στη λειτουργία του αλγόριθμου που υπάρχει στο σύστημα και θα αναλύσει τα στοιχεία της εικόνας (pixel).
5. Σύμφωνα με μια μελέτη που έκανε ο Ρηγόπουλος το 2008 διαπίστωσε ότι με τη μέθοδο ταξινόμησης με εικονοστοχεία εμφανίζεται έντονο το φαινόμενο του θορύβου «αλατοπίπερο», δηλαδή στην ταξινομημένη εικόνα διακρίνονται απομονωμές ανακρίβειες σε διάφορα σημεία.
6. Σύμφωνα με άλλη έρευνα του 2007 από τους H.R. Matinfar κ.α. κατά την αξιολόγηση ακρίβειας των αποτελεσμάτων βρέθηκε ότι η αντικεμενοστρεφή ανάλυση εικόνας πετυχαίνει υψηλότερη συνολική ακρίβεια στην ταξινόμηση των χρήσεων γης και υψηλότερη ακρίβεια από το χρήστη που καθορίζει την κάθε κατηγορία χρήσης γης χωριστά. Στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση δημιουργούνται αντικείμενα, τα οποία αποτελούν μέρη των pixel, έπειτα από μια ορθή κατάτμηση της εικόνας.

4.5 Εισαγωγή στο λογισμικό eCognition

Το eCognition αποτελεί ένα σύγχρονο λογισμικό το οποίο επεξεργάζεται τηλεπισκοπικά δεδομένα με τη μέθοδο της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης. Το λογισμικό αυτό δημιουργήθηκε και διατίθεται από τη γερμανική εταιρία DEFiNiENS Imaging GmbH (www.ecognition.com). Σκοπός του eCognition είναι να βελτιώσει την ποιότητα ταξινόμησης και να επιταχύνει την ταξινόμηση των εικόνων με μεγαλύτερη ακρίβεια. Βασική αρχή που την διέπει 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 (Baatz and Schäpe 2000, Hofman 2001). Οι Baatz και Schäpe (2000) ήταν οι πρώτοι που παρουσίασαν αυτό το λογισμικό κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει τη δυνατότητα να εισάγει δεδομένα raster, LIDAR και πολυφασματικές εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης, δηλαδή σύγχρονα τηλεπισκοπικά δεδομένα.

Η ανάλυση των εικόνων με τη χρήση του eCognition γίνεται με κατάτμηση της εικόνας σε σημασιολογικά αντικείμενα, το διαχωρισμό των αντικειμένων σε κλάσεις και την εισαγωγή σε

αυτά κανόνες, οι οποίοι καθορίζονται από τον χρήστη και περιγράφουν την ταυτότητα των αντικείμενων σε κάθε κλάση. Η εισαγωγή κάποιου κανόνα σε μια κλάση μπορεί ή να περιλαμβάνει τη συμπεριφορά άλλων κανόνων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάποια άλλη κατηγορία ή να αποτελεί τμήμα της δικής της συμπεριφοράς. Αυτός ο τρόπος διευκολύνει την ταχύτητα επεξεργασίας και ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων.

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 Τζώτσος, 2002).

Τα στάδια μιας πλήρης ταξινόμησης με τη χρήση του eCognition είναι:

1. Αρχικό στάδιο κατά την πλήρη ταξινόμηση της εικόνας θεωρείται η φωτοερμηνεία της υπό μελέτη εικόνας, ώστε ο μελετητής να διερευνήσει την περιοχή και να εξετάσει τα κριτήρια με τα οποία θα γίνει η κατάτμηση και η ταξινόμηση της εικόνας.

2. Σύμφωνα με τον καθορισμό των κλάσεων και τον καθορισμό του στόχου έρευνας γίνεται η κατάτμηση της εικόνας σε αντικείμενα. Τα αντικείμενα διαχωρίζονται ανάλογα με την κλίμακα που καθορίζεται από το χρήστη, το σχήμα και το χρώμα της εικόνας, καθώς και την ομαλότητα ή οξύτητα της οριογραμμής των αντικειμένων. Επίσης στο στάδιο αυτό δίνεται η δυνατότητα να οριστεί στον αλγόριθμο ο βαθμός συμμετοχής του κάθε καναλιού (πολυφασματικό, πανχρωματικό, κανάλια που ορίζουν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους).

3. Για την ταξινόμηση της εικόνας απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο καθορισμός των κλάσεων και η ιεραρχία τους. Στο στάδιο αυτό ο ερευνητής καθορίζει την ιεραρχία των κλάσεων σε πολλαπλά επίπεδα ως προς τον τόνο των αντικειμένων της εικόνας και καθορίζει τις κατάλληλες κλάσεις, που διέπουν τα επίπεδα, για την επίτευξη του στόχου. Ταυτόχρονα γίνεται υπολογισμός στατιστικών παραμέτρων που αφορούν στις τιμές χρώματος των αντικειμένων (μέσες τιμές τόνου, τυπικές αποκλίσεις, υφή κ.α.), αλλά και ιδιοτήτων που αφορούν στο σχήμα των αντικειμένων (προσανατολισμός, μήκος, πλάτος, επιμήκυνση, καμπυλότητα, συμπαγότητα κ.α.) (Αργιαλάς και Τζώτσος, 2002).

4. Έπειτα από μια ορθή κατάτμηση έχουν δημιουργηθεί τα αντικείμενα και οι πρώτες σχέσεις γειτνίασης και ιεραρχίας. Με βάση τις σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων καθορίζονται τα χαρακτηριστικά τους και ακολουθεί η διαδικασία ανάπτυξης μιας βάσης γνώσης που περιγράφει την ταυτότητα των αντικειμένων και στοχεύει στην ορθή τους ταξινόμηση. Για τη δημιουργία της βάσης τίθενται κάποιοι κανόνες/κριτήρια που προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου σύμφωνα με τα φασματικά και μορφολογικά τους χαρακτηριστικά. Με αυτό τον τρόπο τα αντικείμενα συγχέονται σε κάποια κλάση και

ξεχωρίζουν από τα άλλα. Η εμπειρία του ερευνητή στη φωτοερμηνεία και οι γνώσεις για τον προσδιορισμό των αντικειμένων εξυπηρετούν στη σωστή κατηγοριοποίηση τους.

5. Καθώς έχουν τεθεί οι ανάλογοι κανόνες και έχουν προσδιοριστεί για κάθε κλάση τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που συγκαταλέγονται σε αυτή, ακολουθεί η ταξινόμηση της εικόνας. Αυτή γίνεται με την ασαφή λογική (fuzzy logic), δηλαδή έναν αλγόριθμο, ο οποίος ενσωματώνει κάθε αντικείμενο σε μια κατηγορία και προσδιορίζει το ποσοστό συμμετοχής της σε αυτή. Με αυτό τον τρόπο ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από μια κατηγορίες αλλά να υπερνικά εκείνη με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής. Ο αλγόριθμος της ασαφούς λογικής υπολογίζει με μια συνάρτηση τις τιμές που προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου με το ποσοστό συμμετοχής τους στην κατηγορία.

6. Τέλος γίνεται ο έλεγχος αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Στο περιβάλλον του eCognition η αξιολόγηση καθορίζεται ανάλογα με τον αριθμό των αντικειμένων που έχουν τιμή ίση ή κοντά στο 1, οπότε και η ταξινόμηση θεωρείται ορθή. Οι τιμές που είναι κοντά στο 0 θεωρούνται αναμφίβολα ότι ανήκουν σε κάποια άλλη κατηγορία. Επίσης στον πίνακα αξιολόγησης υπολογίζονται στατιστικά η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής, καθώς και η τυπική απόκλιση.

Τα στάδια της κατάτμησης και της ταξινόμησης επαναλαμβάνονται συνεχώς (αλληλεσύνδετες) από το χρήστη μέχρι να καταλήξει σε ένα επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο καλύτερος συνδυασμός εξαρτάται από το χρήστη ο οποίος μεταβάλλοντας την κατάτμηση και τους κανόνες προσεγγίζει το στόχο του αποτελέσματος.

Η δημιουργία ενός τέτοιου λογισμικού ήταν κάτι πρωτοποριακό στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης. Μέχρι πρότινος, δεν υπήρχε κάποιο λογισμικό που να επιτρέπει το χρήστη να επεξεργάζεται την εικόνα και να καθορίζει τα σημασιολογικά αντικείμενα μέσω ασαφούς λογικής ώστε να υπάρχουν σχέσεις γειτνίασης μεταξύ τους και να αναπαρίσταται στατιστικά το χρώμα και το σχήμα τους ως προς το περιβάλλον. Σχετικά με τη λειτουργικότητα του λογισμικού, οι δυνατότητες που παρέχονται για ταξινόμηση (ιεραρχία τάξεων, ασαφής λογική, γεωμετρικά και χωρικά κριτήρια) προσφέρουν ευελιξία και διευκολύνουν τη δημιουργία σχετικά πολύπλοκων εννοιολογικών περιγραφών για τις θεματικές κατηγορίες (Αργιαλάς, κ.α., 2005).

3.5.1 Διαδικασία ταξινόμησης με τη χρήση του eCognition

Για την επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων το eCognition ακολουθεί μια σειρά λειτουργιών. Όπως αναφέρθηκαν παραπάνω οι λειτουργίες αυτές είναι η κατάτμηση της εικόνας σε αντικείμενα, ο ορισμός των κατηγοριών ταξινόμησης της εικόνας, ο καθορισμός των κανόνων εισαγωγής στις κατηγορίες, η ταξινόμηση των αντικειμένων και ο έλεγχος αξιοπιστίας της ταξινόμηση

4.5.1.1 Κατάτμηση Πολλαπλών Επιπέδων

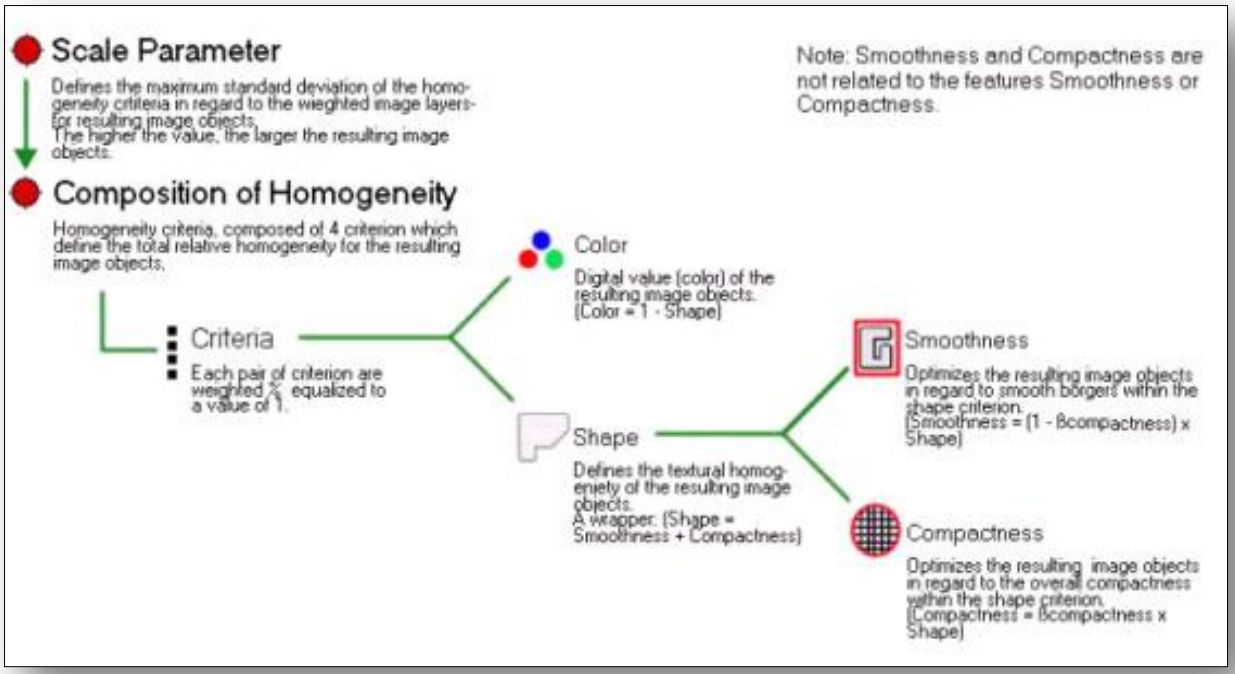
Μια εικόνα αποτελείται από εικονοστοιχεία. Το eCognition, όπως αναφέρθηκε παραπάνω έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνει τα εικονοστοιχεία, δημιουργώντας σημασιολογικά αντικείμενα, με βάση τα οποία γίνεται η ταξινόμηση της εικόνας. η διαδικασία αυτή ονομάζεται κατάτμηση και αποτελεί τη βάση για μια ορθή αντικειμενοσρτεφή ταξινόμηση.

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. Οι απαιτήσεις του ερευνητή για την παραγωγή πληροφοριών από την εικόνα, δηλαδή το βάθος της ανάλυσης και επεξεργασίας της εικόνας, καθορίζουν και την κλίμακα των αντικειμένων. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα εξαρτώνται από το δορυφόρο, από τον οποίο προέρχονται. Κάθε δορυφόρος έχει διαφορετική ευκρίνεια και διαφορετικό αριθμό φασματικών καναλιών. Τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το βάθος της κατάτμησης. Δηλαδή, τηλεπισκοπικά δεδομένα από το δορυφόρο WorldView 2 διαθέτουν 8 πολυφασματικά κανάλια, ένα πανχρωματικό και η ανάλυση των εικόνων είναι στο ένα μέτρο τα φασματικά και στο μισό μέτρο το πανχρωματικό κανάλι. Εικόνες οι οποίες διαθέτουν πολύ υψηλή ανάλυση προσφέρουν τη δυνατότητα κάλυψης των απαιτήσεων της έρευνας που έγκειται στην λεπτομέρεια, έτσι ώστε η κατάτμηση να γίνεται σε πολύ μικρά αντικείμενα. Ο αριθμός των αντικειμένων που δημιουργείται από την κατάτμηση εξαρτάται και από το μέγεθος της εικόνας.

Οι τρείς βασικοί αλγόριθμοι κατάτμησης της εικόνας σε αντικείμενα είναι: με τη μορφή σκακιέρας (Chessboard Segmentation), του τετραδικού δένδρου (Quad Tree Segmentation) και των πολλαπλών αναλύσεων (Multiresolution Segmentation). Στην προκειμένη μελέτη η κατάτμηση έγινε με τη μορφή πολλαπλών αναλύσεων. Η μέθοδος αυτή είναι χαρακτηριστική, εξαιτίας της δυνατότητας διάκρισης της από τις παλαιότερες μεθόδους αντικειμενοσρτεφούς ταξινόμησης.

Στη μέθοδο κατάτμησης πολλαπλών αναλύσεων (Multiresolution Segmentation), η εικόνα διαχωρίζεται σε αντικείμενα ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα που ορίζει ο χρήστης. Ο αριθμός των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από την κλίμακα που ορίζει ο χρήστης, όσο πιο υψηλή είναι τόσο λιγότερα είναι τα αντικείμενα, καθώς και από το μέγεθος και την ανάλυση της εικόνας. Επίσης, ο αλγόριθμος δίνει τη δυνατότητα διάκρισης της ομοιογένειας ή ανομοιογένειας των αντικειμένων σύμφωνα με τα φασματικά χαρακτηριστικά τους και το σχήμα τους. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον κατά την τμηματοποίηση των αντικειμένων έχουν τα φασματικά τους χαρακτηριστικά, δηλαδή το χρώμα (color) και λιγότερο το σχήμα (shape), το οποίο διατηρείται πάντα σε χαμηλές τιμές. Επιπλέον, καθορίζεται η ομαλότητα (smoothness) και η οξύτητα

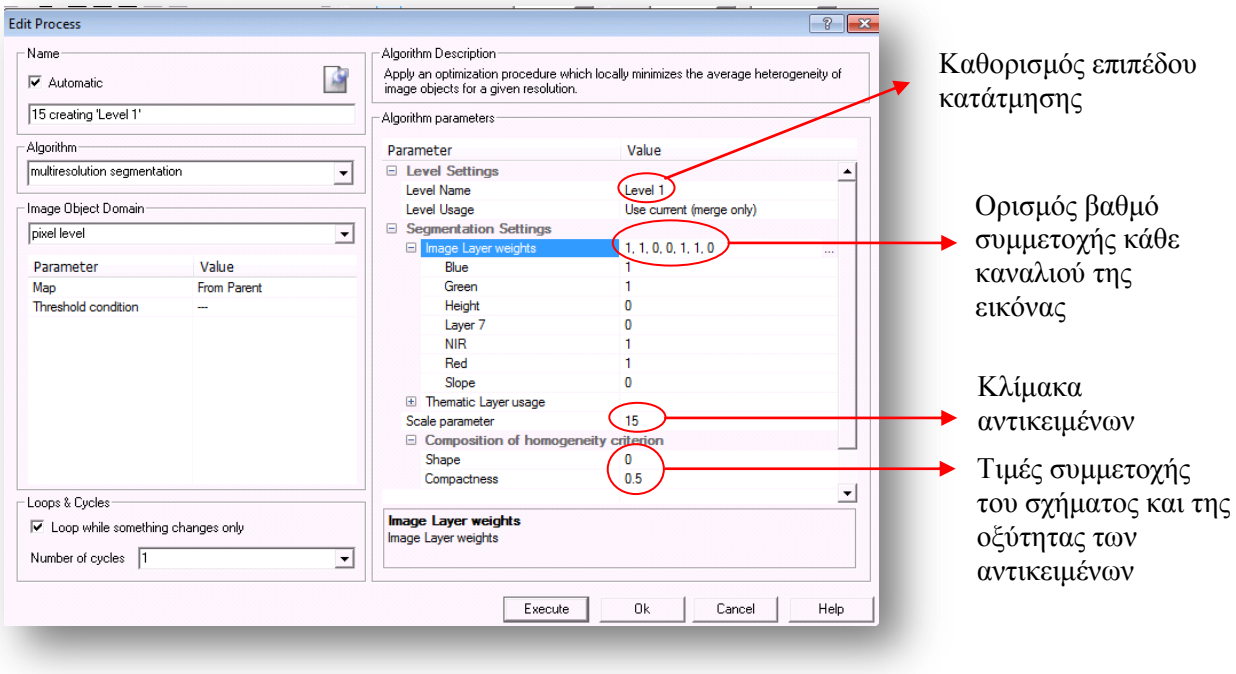
(compactness) της οριογραμμής των αντικειμένων. Οι τιμές αυτές είναι ανεξάρτητες από τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Συνήθως οι τιμές αυτές βρίσκονται σε ισορροπία ή συνήθως δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στην οξύτητα των αντικειμένων, χαρακτηριστικό το οποίο δημιουργεί συμπαγή αντικείμενα και όχι ιδιαίτερα επιμήκη. Τέλος, κατά την κατάτμηση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει το βαθμό συμμετοχής του κάθε φασματικού καναλιού.



Πηγή: *Trimble. Manual – User guide eCognition*

Εικόνα 13. Διαγραμματική απεικόνιση του αλγόριθμου κατάτμησης πολλαπλών αναλύσεων

Ο αλγόριθμος κατάτμησης που ορίζει τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων προβάλλεται παρακάτω:



Εικόνα 14. Παράθυρο καθορισμού χαρακτηριστικών των αντικειμένων στο επίπεδο για τον αλγόριθμο πολλαπλής κατάτμησης

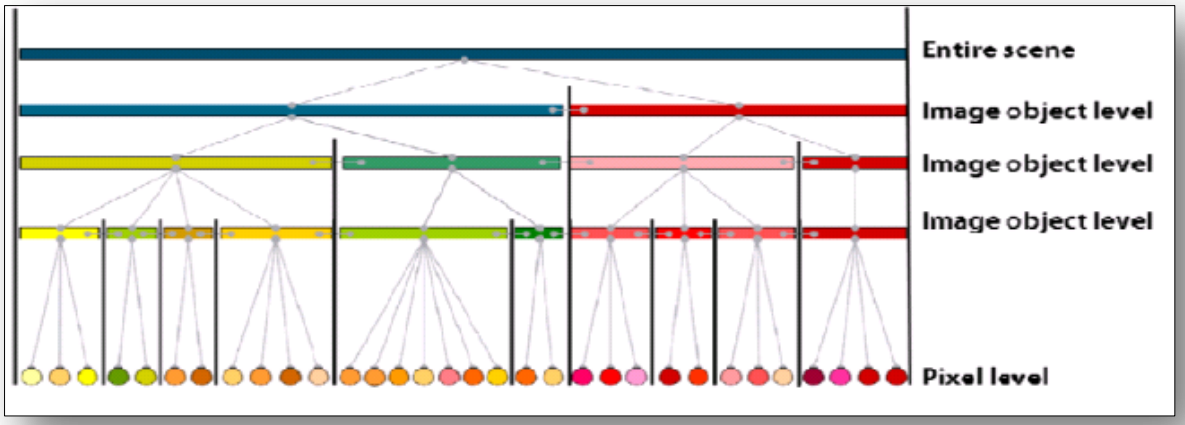
4.5.1.2 Ιεραρχία πολλαπλών επιπέδων και κλάσεων ταξινόμησης

Η ευέλικτη λειτουργία του λογισμικού eCognition, δίνει τα δυνατότητα δημιουργίας μια ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων. Στα επίπεδα ενσωματώνονται τα αντικείμενα ανάλογα με την ομοιογένεια τους και τα οποία κάθε στιγμή γνωρίζουν τόσο τους γείτονες τους στο ίδιο επίπεδο, όσο και τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από αυτά. Στο στάδιο αυτό, σύμφωνα με τα φασματικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων, γίνεται υπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων που αφορούν στις τιμές χρώματος των αντικειμένων (μέση τιμή τόνου, τυπική απόκλιση, υφή, κ.α.), αλλά και ιδιοτήτων που αφορούν στο σχήμα των αντικειμένων (προσανατολισμός, μήκος, πλάτος, επιμήκυνση, καμπυλότητα, αδιάσπαστη συνοχή κ.α.).

Οι κλάσεις αποτελούν τον πυρήνα της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης. Μια κλάση είναι μια κατηγορία, στην οποία ανήκουν τα αντικείμενα με παρόμοια δομή, συμπεριφορά και σχέσεις (Χατζηγεωργίου 2005). Ο καθορισμός των κλάσεων γίνεται από το χρήστη και εξαρτάται από τις ανάγκες της έρευνας και από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που διαθέτει.

Ένας ολοκληρωμένος ορισμός που παρουσιάζει τη λειτουργία των κλάσεων είναι: Κάθε αντικείμενο μιας κλάσης περιλαμβάνει μέλη δεδομένων (ιδιότητες) που συνιστούν την εσωτερική κατάσταση του αντικειμένου και μεθόδους (που δηλώνονται σε επίπεδο κλάσης) και καθορίζουν τη συμπεριφορά μιας οικογένειας αντικειμένων (Χατζηγεωργίου 2005).

Σε ένα αντικειμενοστρεφές σύστημα τα δομικά στοιχεία του είναι οι κλάσεις και οι σχέσεις μεταξύ των κλάσεων, οι οποίες επιτρέπουν τη συνεργασία των αντικειμένων που δημιουργούνται ως στιγμιότυπα των κλάσεων. Η ιεραρχία των κλάσεων καθορίζεται από τις ιδιότητες και τις λειτουργίες τους, τις σχέσεις κληρονομικότητας μεταξύ τους καθώς και τις εξαρτήσεις μεταξύ τους. Σύμφωνα με αυτά τα χαρακτηριστικά τα αντικείμενα ιεραρχούνται σε πολλαπλά επίπεδα.



Πηγή: *Μιχαηλίδου Σταματία, Διπλωματική εργασία*

Εικόνα 15. Ιεραρχικό επίπεδο εικόνας από το ανώτερο επίπεδο των εικονοστοιχείων στο κατώτερο των αντικειμένων

Μεταξύ των κλάσεων υπάρχουν συσχετίσεις βάσει των οποίων τα αντικείμενα διαφόρων κλάσεων μπορούν να αλληλεπιδρούν και να ανταλλάσουν πληροφορία. Οι συσχετίσεις μεταξύ των κλάσεων μπορεί να έχουν κατεύθυνση, δηλαδή να αλληλεπιδρούν με πιο γενικές ή πιο ειδικές κλάσεις, αλλά παράλληλα έχουν τη δυνατότητα συσχέτισης μόνο προς μία κατεύθυνση. Μια απλή συσχέτιση είναι μεταξύ δυο κλάσεων Α και Β με κατεύθυνση από την Α στην Β, όπου τίθενται τα κριτήρια της κλάσης Α προς το αντικείμενο της κλάσης Β. Η δυνατότητα δημιουργίας κλάσης συλλογής αποτελεί δημιουργία αντίστοιχης κλάσης σε διαφορετικό επίπεδο, η οποία περιλαμβάνει ένα σύνολο κλάσεων που συσχετίζονται. Επίσης, μεταξύ διαφόρων επιπέδων που κατατάσσονται οι κλάσεις μπορεί να υπάρχουν συσσωματώσεις, δηλαδή μια κλάση ενός επιπέδου να εμπεριέχει το σύνολο ή τμήμα της πληροφορίας ενός ανώτερου ή κατώτερου επιπέδου της αντίστοιχης κλάσης (αμφίδρομη λογική σχέση). Ακόμη, μεταξύ των κλάσεων υπάρχει και η σχέση κληρονομικότητας, όπου επεκτείνεται η σχέση μιας γενικότερης περιγραφής σε μια ειδικότερη. Τέλος σε κάθε κλάση τίθενται κάποιοι περιορισμοί με μια λογική συνθήκη από το χρήστη, η οποία περιγράφει τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.

4.5.1.3 Ταξινόμηση εικόνας

Έπειτα από την κατάτμηση μιας εικόνας και τον καθορισμό της ιεραρχίας των τάξεων, ακολουθεί η ταξινόμηση των αντικειμένων στις κατάλληλες κατηγορίες. Η επεξεργασία της ταξινόμησης έχει ως στόχο τη δημιουργία σημασιολογικών αντικειμένων. Τα χαρακτηριστικά των σημασιολογικών αντικειμένων αναπαριστούν τον πραγματικό κόσμο. Στο στάδιο αυτό αναπτύσσεται μια βάση γνώσης που περιλαμβάνει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά.

Στο eCognition, ταξινόμηση είναι η διαδικασία που συνδέει μέσω μιας ιεραρχίας τάξεων, τις κατηγορίες με τα διάφορα αντικείμενα της εικόνας (Definiens, 2000). Η δημιουργία κανόνων ασαφούς λογικής (fuzzy logic) και η ταξινόμηση βάσει του εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor), αποτελούν δύο μεθόδους ταξινόμησης στο συγκεκριμένο πακέτο.

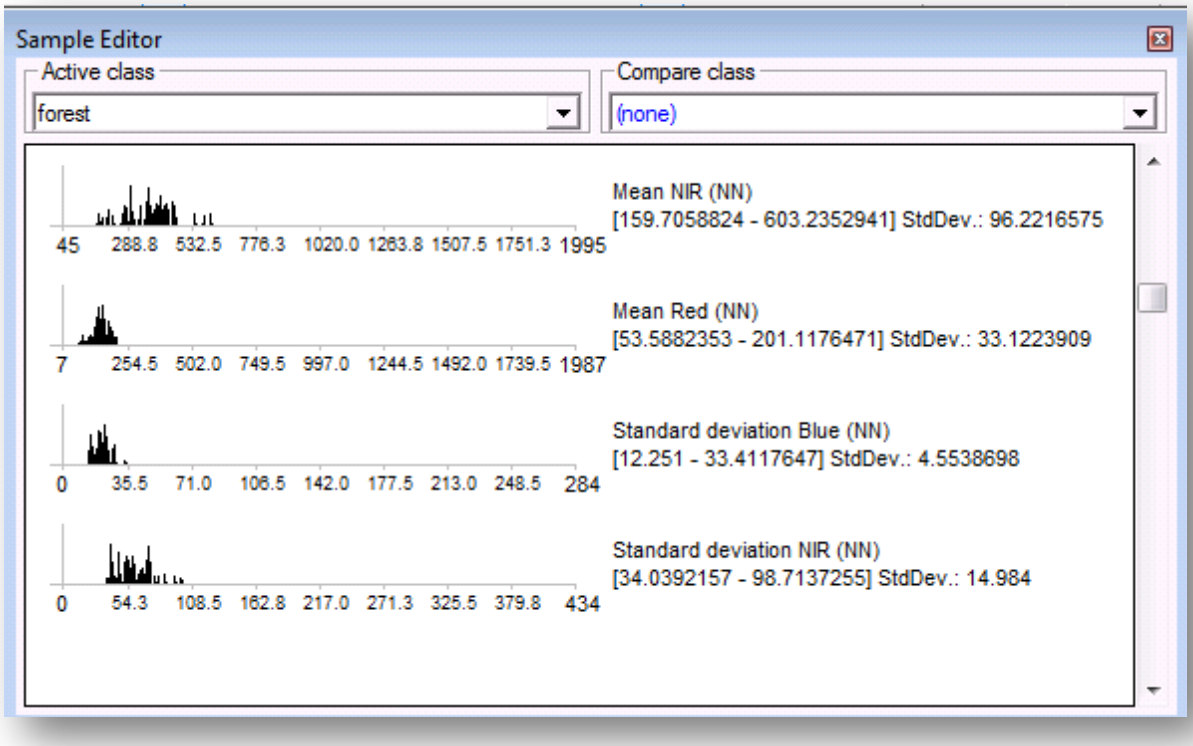
- **Εγγύτερος γείτονας (Nearest Neighbor)**

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 των αντικειμένων που ανήκουν σε κάποιες κατηγορίες. Η γνώση του ερευνητή για τη περιοχή μελέτης εξυπηρετεί στον ακριβή καθορισμό του αντικειμένου, με τις συγκεκριμένες φασματικές υπογραφές, ότι αντιπροσωπεύουν την κατηγορία που τις καθορίζει.

Κατά συνέπεια, η μέθοδος είναι πολύ διαδραστική και χρειάζεται πολλές περιοχές εκπαίδευσης, που να αφήνουν πολύ μικρό περιθώριο για την αυτοματοποίηση (Juan C. Suarez). 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.

Η χρήση ιεραρχημένων επιπέδων κατηγοριοποίησης των κλάσεων, βελτιώνει τη διαδικασία του εγγύτερου γείτονα, διότι η επιλογή των δειγμάτων και η ταξινόμηση μπορεί να περιοριστεί στα όρια των αντικειμένων που βρίσκονται μέσα στο συγκεκριμένο επίπεδο.

Το λογισμικό του eCognition 8.64 διαθέτει μια λειτουργία στην οποία ενσωματώνονται οι τιμές των αντικειμένων ανάλογα με τις στατιστικές παραμέτρους που αφορούν στις τιμές χρώματος των αντικειμένων (Εικόνα 15). Το παράθυρο αυτό εξυπηρετεί στη σύγκριση των δειγμάτων και δείχνει το βαθμό ομοιογένειας των αντικειμένων, όπως επίσης και το εύρος τιμών σε κάθε στατιστική παράμετρο.



Εικόνα 16. Συλλογή δειγμάτων και εύρος τιμών των στατιστικών παραμέτρων ανάλογα με το χρώμα των αντικειμένων

- **Ασαφής λογική (Fuzzy logic)**

Το eCognition διακρίνεται για την ταξινόμηση του με τη χρήση ασαφούς λογικής (Fuzzy logic). Η ασαφής λογική είναι μια πολύπλοκη λειτουργία, η οποία είναι δομημένη με τέτοιο τρόπο από το χρήστη έτσι ώστε ακολουθώντας μια σειρά βημάτων, να αναπαριστά τα χωρικά δεδομένα. Η μέθοδος αυτή καθορίζει το βαθμό συμμετοχής ενός αντικειμένου όχι μόνο σε μια κατηγορία (κλάση), αλλά σε κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Οι τιμές που ορίζουν το αντικείμενο για κάθε κατηγορία κυμαίνονται στο διάστημα [0,1]. Όταν ο βαθμός συμμετοχής είναι 0 τότε ορίζει την απόλυτη μη συμμετοχή του αντικειμένου στην κατηγορία. Αντίθετα, όταν ο βαθμός συμμετοχής είναι 1 ορίζει την απόλυτη συμμετοχή του αντικειμένου στην κατηγορία. Ο βαθμός συμμετοχής κάθε αντικειμένου στη κατηγορία εξαρτάται από τις ιδιότητες που αντιπροσωπεύουν την κάθε κατηγορία. Οι ιδιότητες των αντικειμένων καθορίζονται από καθορισμένους κανόνες ασάφειας. Οι κανόνες αυτοί προσδιορίζουν τα φασματικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των κατηγοριών. Τα αντικείμενα συγχέονται σε κάποια κατηγορία και ξεχωρίζουν από τα άλλα. Η τιμή συμμετοχής υπολογίζεται από τον αντίστοιχο ταξινομητή, δηλαδή τις στατιστικές παραμέτρους κάθε καναλιού και πως αυτά επηρεάζουν τις κατηγορίες. Η ασαφής λογική χρησιμοποιεί κάποιους τελεστές, οι οποίοι καθορίζουν τη συσχέτιση μεταξύ των ταξινομητών, δηλαδή καθορίζουν εάν πρέπει ή όχι να συνυπάρχουν κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης. Οι τελεστές αυτοί είναι το AND, το OR, το MEAN κ.α..(eCognition 8.64 User Guide 2011). Ο τελεστής AND δηλώνει ότι οι κανόνες που

εισάγονται για να δηλώσουν ότι το αντικείμενο ανήκει στην συγκεκριμένη κατηγορία πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα, στον τελεστή OR πρέπει να ισχύει ο ένας από τους δύο.

Με αυτό τον τρόπο τα αντικείμενα συγχέονται σε κάποια κλάση και ξεχωρίζουν από τα άλλα, έτσι ώστε να γίνει μια ορθή ταξινόμηση. Η εμπειρία του ερευνητή στη φωτοερμηνεία και οι γνώσεις για τον προσδιορισμό των αντικειμένων εξυπηρετούν το σωστό διαχωρισμό τους.

4.5.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ταξινόμησης

Εφόσον ολοκληρωθεί η ταξινόμηση, ακολουθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Το στάδιο αυτό θεωρείται πολύ σημαντικό για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, διότι εκφράζει κατά πόσο λειτουργούν σωστά οι αλγόριθμοι και οι κανόνες για την παραγωγή της επεξεργασμένης εικόνας.

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, οπότε υπάρχει η πιθανότητα λάθους αξιολόγησης. Το λογισμικό του eCognition διαθέτει λειτουργίες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται με στατιστικά στοιχεία (μέγιστη και ελάχιστη τιμή, μέση τιμή, τυπική απόκλιση), που ερμηνεύουν την κάθε κατηγορία, σε σύγκριση της συμπεριφοράς των κλάσεων μεταξύ τους και με σαφή δειγματοληπτικά αντικείμενα για κάθε κατηγορία αξιολόγησης.

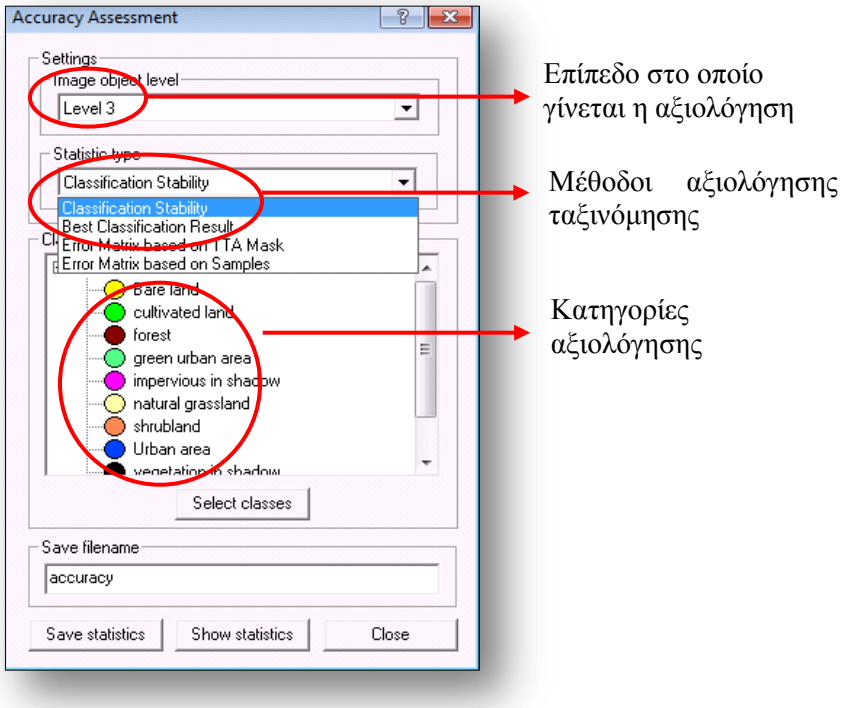
Μια μέθοδος αξιολόγησης, η οποία είναι πλήρως αξιόπιστη, είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων με επίγειους χάρτες που έχουν γίνει στην περιοχή έρευνας ή άλλες ταξινομήσεις που έχουν γίνει έπειτα από προσεκτική επίγεια παρατήρηση και έχουν τις ίδιες κατηγορίες. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί ένα τρόπο ελέγχου της ταξινόμησης και διαπίστωσης τυχόν σφαλμάτων, τα οποία κρίνονται να διορθωθούν.

Ο έλεγχος αξιοπιστίας μπορεί να γίνει χωριστά για κάθε επίπεδο ταξινόμησης. Το στάδιο αυτό είναι σημαντικό για μια ολοκληρωμένη και αξιόπιστη έρευνα και δίνει τη δυνατότητα περαιτέρω εξέτασης της μελέτης.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων με τη χρήση του eCognition στηρίζονται σε στατιστικά και γραφικά αποτελέσματα των κατηγοριών και είναι:

- Σταθερότητα της ταξινόμησης (Classification Stability)
- Καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης (Best Classification Result)

- Μήτρα σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου (Error Matrix Based on TTA Mask)
- Μήτρα σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα (Error Matrix Based Samples)



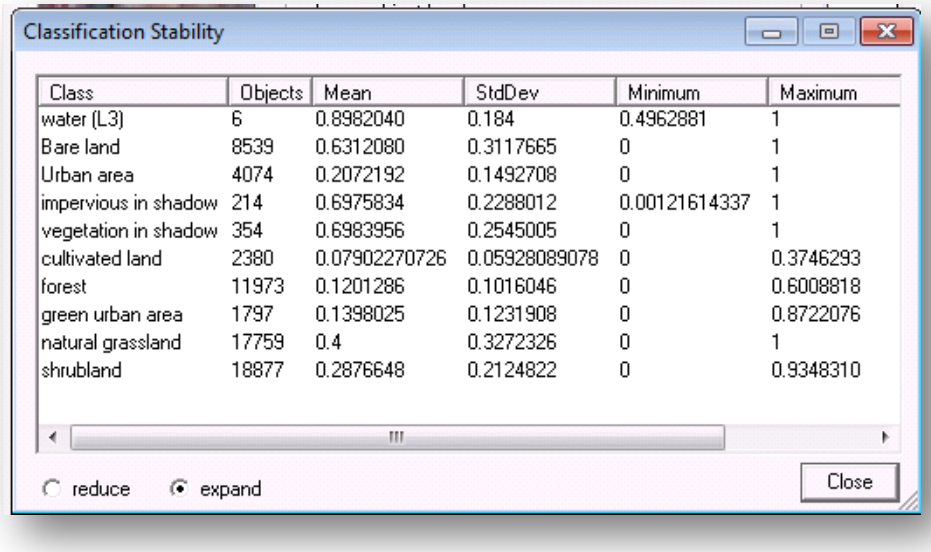
Εικόνα 17. Παράθυρο εκτίμησης ακρίβειας

4.5.2.1 Σταθερότητα της ταξινόμησης (Classification Stability)

Η μέθοδος σταθερότητας ταξινόμησης αποτελεί το πρώτο εργαλείο για τον έλεγχο αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Η ταξινόμηση των αντικειμένων με τη χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης βασισμένη σε ασαφή λογική, παρουσιάζει μεγάλη πιθανότητα σφάλματος εφόσον ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μια κατηγορίες. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί ένα πίνακα στον οποίο υπολογίζεται ο βαθμός συμμετοχής κάθε αντικειμένου σε μια κατηγορία σε σύγκριση με την αμέσως επόμενη υποψήφια κατηγορία. Η σύγχυση ανάμεσα στις καθορισμένες κατηγορίες αναδεικνύεται με την απόκλιση των δυο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής του αντικειμένου. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας διακρίνεται και γραφικά, με την αναπαράσταση του οποίου καθορίζεται από το έγχρωμο σύνθετο, στο οποίο κάθε τμήμα ορίζεται με μια ποιοτική κλίμακα χρωμάτων από σκούρο πράσινο για το σαφές [1,1] και έντονο κόκκινο για το απολύτως σαφές [0,0].

Ο πίνακας που δημιουργείται παρουσιάζει τα βασικά στατιστικά στοιχεία των αντικειμένων που αντιπροσωπεύουν μια κατηγορία. Αυτά είναι ο αριθμός των αντικειμένων για κάθε κατηγορία, η

μέση τιμή και η τυπική απόκλιση συμμετοχής των αντικειμένων στην κατηγορία, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή.

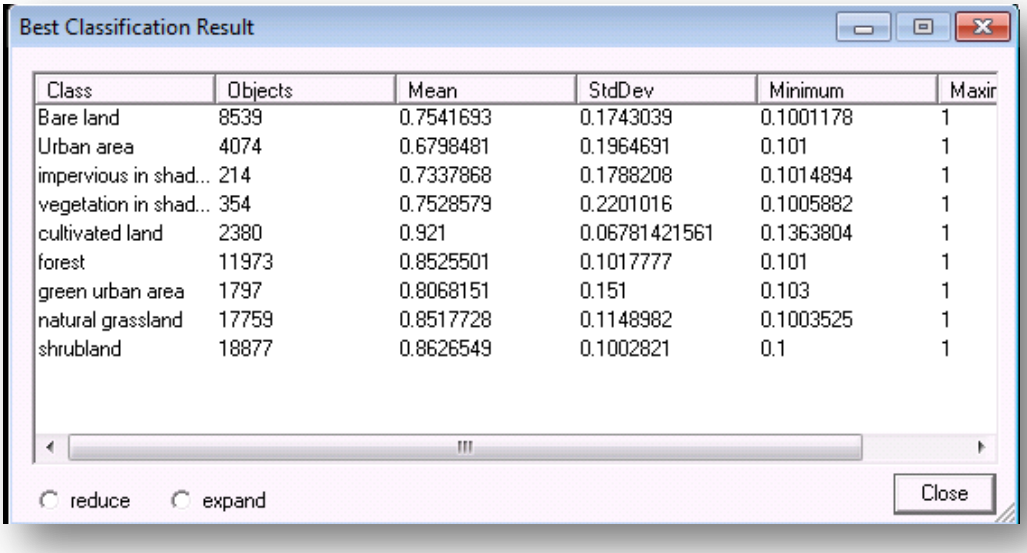


Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
water (L3)	6	0.8982040	0.184	0.4962881	1
Bare land	8539	0.6312080	0.3117665	0	1
Urban area	4074	0.2072192	0.1492708	0	1
impervious in shadow	214	0.6975834	0.2288012	0.00121614337	1
vegetation in shadow	354	0.6983956	0.2545005	0	1
cultivated land	2380	0.07902270726	0.05928089078	0	0.3746293
forest	11973	0.1201286	0.1016046	0	0.6008818
green urban area	1797	0.1398025	0.1231908	0	0.8722076
natural grassland	17759	0.4	0.3272326	0	1
shrubland	18877	0.2876648	0.2124822	0	0.9348310

Εικόνα 18. Πίνακας σταθερότητας ταξινόμησης

4.5.2.2 Καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης (Best Classification Result)

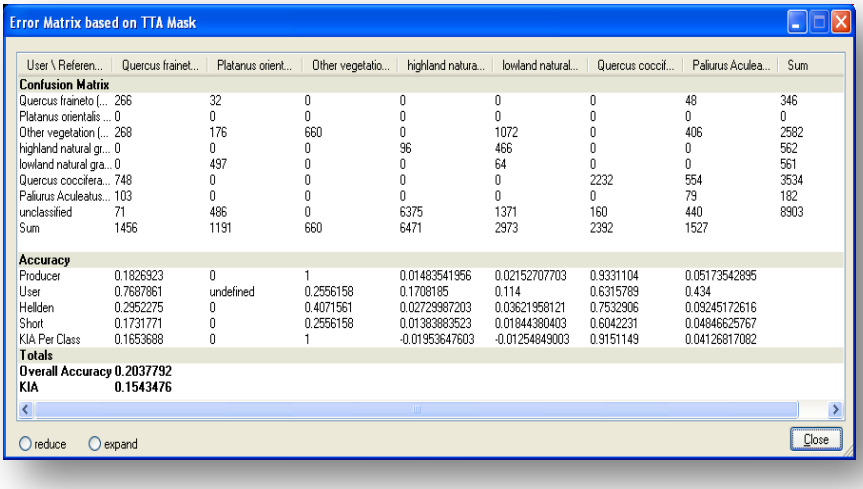
Η μέθοδος του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης προβάλλεται γραφικά και στατιστικά για τα αντικείμενα της εικόνας στο επιλεγμένο επίπεδο ταξινόμησης. Από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι η ταξινόμηση με την υψηλότερη τιμή, θεωρείται ως το καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης. Το στατιστικό εξαγόμενο προβάλλεται με τη μορφή πίνακα, στον οποίο οι τιμές προέρχονται από τις στατιστικές συναρτήσεις του μέγιστου βαθμού συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία. 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].



Εικόνα 19. Πίνακας καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης

4.5.2.3 Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου (Error Matrix Based on TTA Mask)

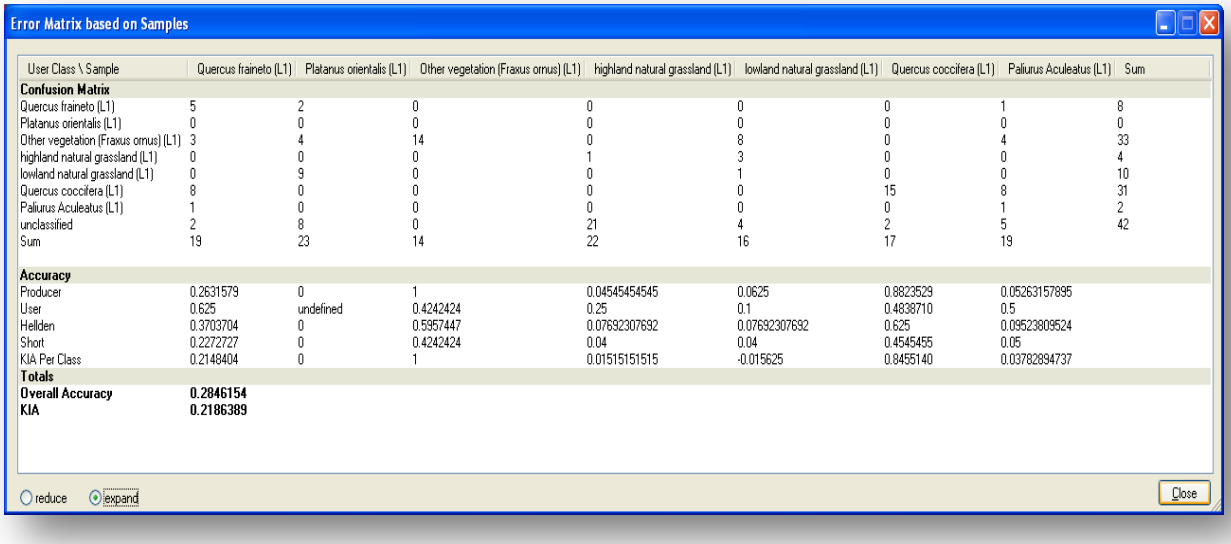
Στη συγκεκριμένη μέθοδο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συλλογή δειγματοληπτικών αντικειμένων για κάθε κατηγορία, ώστε να γίνει η σωστή αξιολόγηση της ποιότητας της ταξινόμησης. Τα δείγματα αυτά, αποτελούν δείγματα ελέγχου και απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η γνώση του χρήστη, ότι ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία. Επιπλέον, ο αριθμός των δειγμάτων ελέγχου πρέπει να είναι ανάλογος και ισομεγέθης για κάθε κατηγορία. Έπειτα από τη συλλογή των αντικειμένων το λογισμικό έχει τη δυνατότητα δημιουργίας μάσκας επίγειου ελέγχου για να συγκρίνει την ταξινόμηση με μια αληθή εικόνα βασισμένη στα εικονοστοιχεία. Οι κατηγορίες της μάσκας αντιστοιχίζονται με τις κατηγορίες της ταξινόμησης και ο πίνακας που προκύπτει, λεγόμενος πίνακας σύγχυσης, παρουσιάζει το πλήθος των εικονοστοιχείων της ταξινόμησης που καλύπτονται από το πλήθος των εικονοστοιχείων της μάσκας. 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). Στην τελευταία στήλη του πίνακα δίνεται το άθροισμα των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν στην εξεταζόμενη ταξινόμηση, ενώ στην τελευταία γραμμή δίνονται τα αθροίσματα των εικονοστοιχείων από τη μάσκα ανά κατηγορία.



Εικόνα 20. Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου (Error Matrix Based on TTA Mask)

4.5.2.4 Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα (Error Matrix Based on Samples)

Η μέθοδος αυτή της αξιολόγησης ταξινόμησης, όπως και η προηγούμενη βασίζεται σε περιοχές εκπαίδευσης, με τη διαφορά ότι τα δείγματα ελέγχου αξιολογούνται σύμφωνα με τα αντικείμενα. Τα δειγματοληπτικά αυτά αντικείμενα είναι διαφορετικά από τα αντικείμενα του εγγύτερου γείτονα. Είναι σημαντικό ο μελετητής να έχει γνώση της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε τα δειγματοληπτικά αντικείμενα να προσδιορίζουν με ακρίβεια την κατηγορία. Έπειτα από τη συλλογή των αντικειμένων το λογισμικό έχει τη δυνατότητα δημιουργία μάσκας επίγειου ελέγχου για να συγκρίνει την ταξινόμηση με μια αληθή εικόνα βασισμένη στα αντικείμενα. Αντίστοιχα, οι κατηγορίες της μάσκας αντιστοιχίζονται με τις κατηγορίες της ταξινόμησης και προκύπτει ο πίνακας σύγχυσης. Στην πρώτη στήλη του πίνακα εμφανίζονται οι κατηγορίες της προς εκτίμηση ταξινόμησης, στη δεύτερη το πλήθος των αντικειμένων για κάθε κατηγορία και στις επόμενες ο λόγος των δειγμάτων που καταχωρήθηκαν σε αυτή την κατηγορία.



User Class \ Sample	Quercus fraineto (L1)	Platanus orientalis (L1)	Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)	highland natural grassland (L1)	lowland natural grassland (L1)	Quercus coccifera (L1)	Paliurus Aculeatus (L1)	Sum
Confusion Matrix								
Quercus fraineto (L1)	5	2	0	0	0	0	1	8
Platanus orientalis (L1)	0	0	0	0	0	0	0	0
Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)	3	4	14	0	8	0	4	33
highland natural grassland (L1)	0	0	0	1	3	0	0	4
lowland natural grassland (L1)	0	9	0	0	1	0	0	10
Quercus coccifera (L1)	8	0	0	0	0	15	8	31
Paliurus Aculeatus (L1)	1	0	0	0	0	0	1	2
unclassified	2	8	0	21	4	2	5	42
Sum	19	23	14	22	16	17	19	
Accuracy								
Producer	0.2631579	0	1	0.04545454545	0.0625	0.8823529	0.05263157895	
User	0.625	undefined	0.4242424	0.25	0.1	0.4838710	0.5	
Hellden	0.3703704	0	0.5957447	0.07692307692	0.07692307692	0.625	0.09523809524	
Short	0.2272727	0	0.4242424	0.04	0.04	0.4545455	0.05	
KIA Per Class	0.2148404	0	1	0.01515151515	-0.015625	0.8455140	0.03782894737	
Totals								
Overall Accuracy	**0.2846154**							
KIA	**0.2186389**							

Εικόνα 21. Πίνακας σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα (Error Matrix Based on Samples)

4.6 Υπολογισμός δεικτών

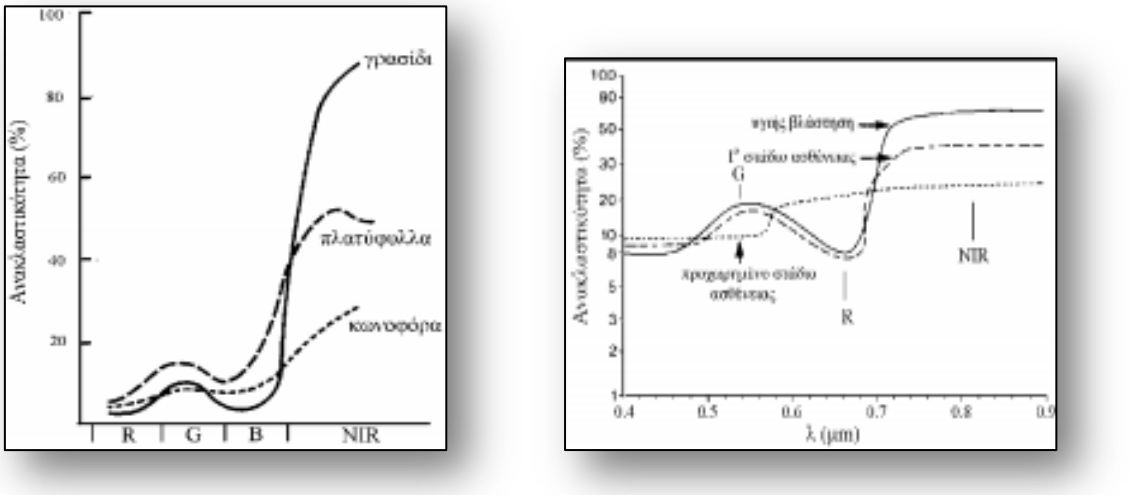
Για την πραγματοποίηση της μελέτης και την εξαγωγή της βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι δείκτες βλάστησης που δεν υπάρχουν ενσωματωμένοι στο λογισμικό, αλλά που δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού του στατιστικού τύπου τους χρησιμοποιώντας τα στατιστικά δεδομένα των φασματικών υπογραφών που είναι ενσωματωμένα στο σύστημα. Αυτοί οι δείκτες είναι ο Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI, ο Πράσινος δείκτης βλάστησης GVI και περιγράφονται παρακάτω, ο δείκτης Νερού Water Index, ο δείκτης Νερού NDWI, ο δείκτης Εδάφους NDSI και ο δείκτης Κανονικοποιημένης διαφοράς στέγης NDBRI.

4.6.1 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI

Στην Τηλεπισκόπηση εδώ και πολλά χρόνια η ανάγκη εντοπισμού της βλάστησης με τεχνική ψηφιακής επεξεργασίας, οδήγησε στη δημιουργία ενός κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης με το όνομα NDVI. Ο NDVI αποτελεί τα αρχικά της φράσης Normalized Difference Vegetation Index, που σημαίνει Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης. Η ανάγκη των ερευνητών να εξετάσουν την πυκνότητα της ζωντανής φυσικής βλάστησης, οδήγησε σε τρόπους εντοπισμού της από νέες μεθόδους Τηλεπισκόπησης.

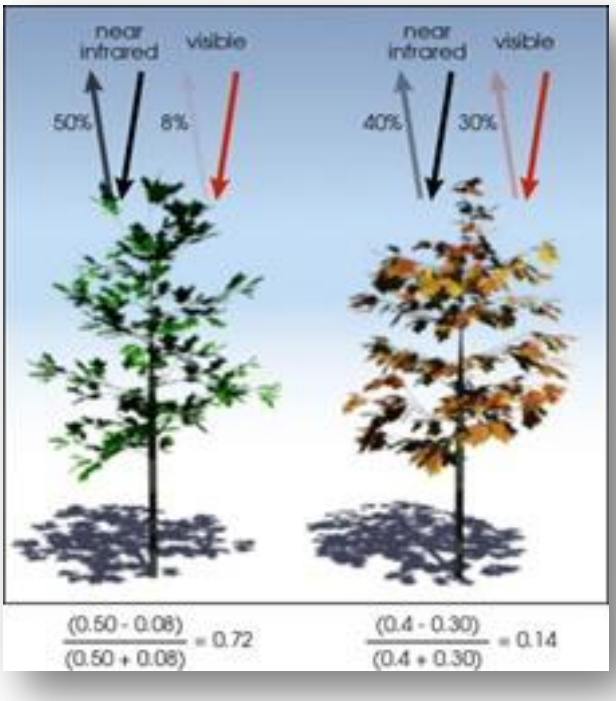
Δεδομένου ότι η χλωροφύλλη, η πράσινη χρωστική ουσία που χρησιμοποιούν τα φυτά για να μετατρέψουν το φως του ήλιου σε υδατάνθρακες και, ως εκ τούτου σε ενέργεια, απορροφά το ορατό φως (0.4 έως 0.7 μm), δηλαδή τα υγιή φυτά ανακλούν λιγότερο κόκκινο φως και ως εκ τούτου έχουν μεγαλύτερη NDVI από εκείνα με αραιή φυλλική μάζα ή με μη υγιή φύλλα (Εικόνα 22) (Adam Voiland, NASA's Goddard Space Flight Center). Η κυτταρική δομή των φύλλων

αντανακλά έντονα στο εγγύς υπέρυθρο φώς (0.7 έως 1.1 μm). (Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index)



Πηγή: *Φειδάς, 2005*

Εικόνα 22. Με την ανάπτυξη των φύλλων παρουσιάζεται μικρότερη ανακλαστικότητα στο ορατό (περίπου -5%) και μεγαλύτερη στο εγγύς υπέρυθρο (περίπου +15%)



Πηγή: *Adam Voiland, NASA's Goddard Space Flight Center, (http://www.nasa.gov/topics/earth/features/obscure_data.html)*

Εικόνα 23. Ποσοστό απορρόφησης και εκπομπής του υπέρυθρου και ορατού φάσματος σε ένα ζωντανό και ένα ασθενές φυτό

Τα καλύτερα στοιχεία για NDVI μετρήσεις προέρχονται από προηγμένα δεδομένα που προήλθαν από προχωρημένους πολύ υψηλής ευκρίνειας ραδιόμετρα (Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)), τα οποία έχουν αναπτυχθεί από μετεωρολογικούς δορυφόρους σε πολική τροχιά NOAA.

Ο τύπος που δίνει τον Κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI εξαρτάται από το υπέρυθρο κανάλι αφενός και το έγχρωμο κόκκινο κανάλι αφετέρου. Δίνεται:

$$\mathbf{NDVI} = \frac{\mathbf{NIR - RED}}{\mathbf{NIR + RED}}$$

Όπου RED = η τιμή στο κόκκινο κανάλι και

NIR = η τιμή στο εγγυς υπέρυθρο κανάλι

Η τιμή της εξίσωσης του NDVI ανά pixel, για μια δεδομένη NDVI εικόνα, κυμαίνεται από -1 έως +1. Σε αυτό το διάστημα όσα pixel έχουν τιμή αρνητική δείχνουν περιοχές που δεν έχουν καθόλου βλάστηση, αντίθετα θετικές τιμές δηλώνουν περιοχές με βλάστηση και όσο πιο κοντά στο +1 είναι τόσο πιο πυκνή βλάστηση υπάρχει στην περιοχή.

Ο δορυφόρος WorldView 2 διαθέτει τηλεπισκοπικά δεδομένα με 8 διαφορετικά πολυφασματικά κανάλια, τέσσερα από τα οποία είναι νέα, όπως ήδη αναφέρθηκαν στην ανάλυση των χαρακτηριστικών του δορυφόρου. Ο δείκτης NDVI μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας αυτά τα κανάλια και δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα. Η χρήση του κόκκινου καναλιού, το οποίο αντιπροσωπεύει το χαμηλό επίπεδο ανάκλασης της βλάστησης και το υπέρυθρο κανάλι NIR2, το οποίο αμτιπροσωπεύει τις υψηλές τιμές ανακλαστικότητας με μεγαλύτερη αξία στις ζώνες του υπερύθρου, προσδίδεται υψηλότερη τιμή στον NDVI (Wolf, 2010). Ο τύπος κατά τον οποίο εκφράζεται ο δείκτης με τη χρήση των καναλιών είναι:

$$\frac{(\boldsymbol{Red - NIR2})}{(\boldsymbol{Red + NIR2})} = \mathbf{NDVI}$$

Όπου RED = η τιμή στο κόκκινο κανάλι και

NIR2 = η τιμή στο υπέρυθρο κανάλι (υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας)

4.6.2 Πράσινος δείκτης βλάστησης GVI

Ο δείκτης βλάστησης GVI αποτελεί τα αρχικά της έκφρασης Green Vegetation Index. Ο δείκτης αυτός επινοήθηκε για τον εντοπισμό της βλάστησης χρησιμοποιώντας n κανάλια (ανάλογα με το

δορυφόρο) και συσχετίζοντας τις γραμμές βλάστησης με τις γραμμές του εδάφους. Επειδή η γραμμή του εδάφους έχει αυθαίρετο προσανατολισμό στο χώρο το εύρος των τιμών κυμαίνεται από -1 έως +1. Η απόσταση του εικονοστοιχείου στο χώρο της ζώνης του φάσματος από τη γραμμή του εδάφους κατά μήκος του άξονα «πρασινότητας» είναι η αξία του δείκτη βλάστησης. Ο δείκτης ελαχιστοποιεί την επίδραση του γυμνού εδάφους και ενισχύει την ανακλαστικότητα της βλάστησης στο υπέρυθρο κανάλι.

Για τον υπολογισμό του δείκτη GVI χρησιμοποιείται το ratio όλων των καναλιών της εικόνας. Το ratio υπολογίζει την αξία του χαρακτηριστικού ενός αντικειμένου της εικόνας και τη μέση τιμή του αντικειμένου με τα γειτονικά της επιλεγμένης κατηγορίας. Σημειώνεται ότι κατά μέσο όρο οι τιμές του χαρακτηριστικού σταθμίζονται με το χώρο που καταλαμβάνει το αντικείμενο στην εικόνα.

Ο τύπος του Green Vegetation Index (GVI) για μια εικόνα IKONOS (με τέσσερα πολυφασματικά κανάλια) είναι:

GVI = Ratio Blue + Ratio Green + Ratio Red + Ratio Nir

Όπου Blue = η τιμή στο μπλέ κανάλι

Green = η τιμή στο πράσινο κανάλι

NIR = η τιμή στο εγγυς υπέρυθρο κανάλι και

RED = η τιμή στο κόκκινο κανάλι

4.6.3 Δείκτης Νερού Water Index

Ο δείκτης νερού Water Index εντοπίζει τα στάσιμα ύδατα σε μια εικόνα. Για να πετύχει ο σκοπός αυτός, ο δείκτης εκφράζει το λόγο του πράσινου καναλιού με το εγγύς υπέρυθρο. Η διαφορά απόκρισης του πάρινου καναλιού (Green layer) με το εγγύς υπέρυθρο (NIR) αναδεικνύεται η ανίχνευση του νερού.

Water Index= (Green-NIR)/(Green+ NIR)

Όπου, Green= η τιμή στο πράσινο κανάλι

NIR= η τιμή στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι

4.6.4 Δείκτης Νερού NDWI (εφαρμογή με WorldView2)

Ο δείκτης νερού NDWI αποτελεί τα αρχικά της έκφρασης Normalized Diference Water Index. Ο δείκτης αυτός προσδιορίζει τα στάσιμα ύδατα σε μέγεθος μεγαλύτερο από ένα εικονοστοιχείο. Δεδομένου ότι το μπλε κανάλι κανονικοποιείται σε σχέση με το εγγύς υπέρυθρο, η διαφορά της απόκρισης είναι πολύ προφανής. Σε αυτή τη περίπτωση, στα τηλεπισκοπικά δεδομένα που προέρχονται από το δορυφόρο WV2, χρησιμοποιείται το κανάλι coastal σε σχέση με το NIR2, δηλαδή τη διαφορά που μας δίνουν καθένα από τα μοναδικά κανάλια, προβάλλεται ακόμα πιο διακριτό αποτέλεσμα στην ανίχνευση στάσιμου νερού.(Wolf, 2010)

$$\frac{(Coastal - NIR2)}{(Coastal + NIR2)} = \text{NDWI}$$

Όπου Coastal= η τιμή στο παράκτιο κανάλι

NIR2= η τιμή στο υπέρυθρο κανάλι

4.6.5 Δείκτης Εδάφους NDSI

Ο δείκτης εδάφους NDSI αποτελεί τα αρχικά της έκφρασης Normalized Diference Soil Index. Ο δείκτης αυτός προσδιορίζει επιφάνειες εδάφους. Συνήθως τα κανάλια SWIR (Sensing in the shortwave infrared) και NIR (Near infrared) χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν τις τιμές ανακλαστικότητας στις περιοχές του εδάφους. Σε τηλεπισκοπικά δεδομένα που προέρχονται από το δορυφόρο WV2, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κανάλι SWIR, εμφανίζουν έντονη διαφορά στις τιμές απόκρισης του εδάφους στο πράσινο και το κίτρινο κανάλι, οπότε αυτός ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό του εδάφους. (Wolf, 2010)

$$\frac{(Green - Yellow)}{(Green + Yellow)} = \text{NDSI}$$

Όπου, Green= η τιμή στο πράσινο κανάλι

Yellow= η τιμή στο κίτρινο κανάλι

4.6.6 Δείκτης Κανονικοποιημένης διαφοράς στέγης NDBRI

Ο δείκτης Κανονικοποιημένης διαφοράς στέγης NDBRI προέρχεται από τα αρχικά **Normalized Difference Brick Roof Index** και εντοπίζει κυρίως στέγες από τούβλο. Ο δείκτης εκφράζεται από

το κίτρινο (yellow) και το πράσινο (green) φασματικά κανάλια του δορυφόρου WorldView 2 MS δεδομένα. Ο τύπος κατά τον οποίο εκφράζεται ο δείκτης είναι (Zhou etal., 2012):

$$\mathrm{NDBRI} = \frac{b4_{\mathrm{yellow}} - b3_{\mathrm{green}}}{b4_{\mathrm{yellow}} + b3_{\mathrm{green}}}$$

Όπου, $b3_{Green}$= η τιμή στο πράσινο κανάλι

$b4_{Yellow}$= η τιμή στο κίτρινο κανάλι

4.7 Συμπεριφορά βλάστησης στις φασματικές υπογραφές

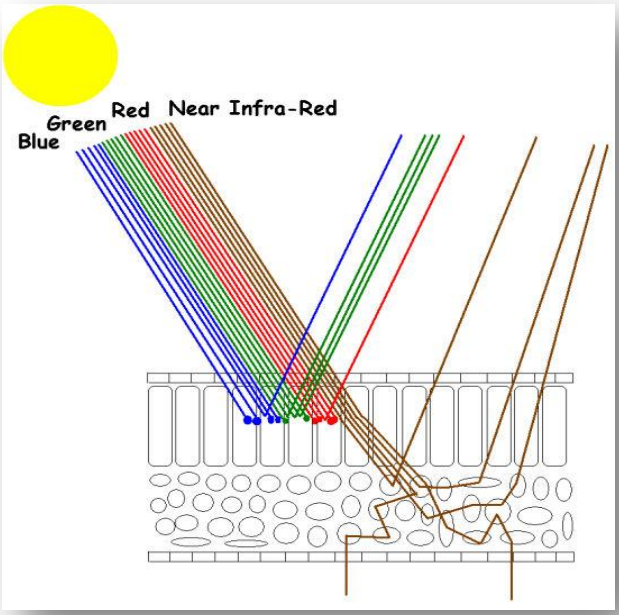
Περίπου το 70% της επιφάνειας της γης καλύπτεται από βλάστηση. Ο ρόλος της βλάστησης σχετικά με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του πλανήτη, την απορρόφηση του CO2 και άλλες σημαντικές λειτουργίες, την κάνουν ένα πολύ σημαντικό και ενδιαφέρον είδος που καλύπτει την επιφάνεια της Γης (Γεωργιάδης, 2010). Για όλους αυτούς τους λόγους η βλάστηση αποτελεί μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες των οικοσυστημάτων. Είναι άμεση η ανάγκη σήμερα να αξιοποιούνται οι σύγχρονες τεχνολογίες και η τεχνογνωσία για την καταγραφή, τη χαρτογράφηση, την αξιολόγηση και θεσμικά να θωρακιστεί η προστασία των τοπίων μας πριν είναι αργά (Κασσιός, 2010).

Οι επιστήμονες έχουν αφιερώσει ένα σημαντικό μέρος της προσπάθειας τους για να αναπτύξουν αισθητήρες καθώς επίσης οπτικούς και ψηφιακούς αλγορίθμους επεξεργασίας εικόνας, με σκοπό να εξάγουν σημαντικές βιοφυσικές πληροφορίες της βλάστησης από τηλεπισκοπικά δεδομένα (Frohn, 1998, Huete and Justice, 1999) (http://ecourses.dbnet.ntua. gr/fsr/16091/ekt 6.pdf). Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης είναι πολύ σημαντική για τη μελέτη της βλάστησης, και ιδιαίτερα όσον αφορά την διαχείριση της, την προστασία και την αειφόρο ανάπτυξή της. Η χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων διευκολύνει τη διαχείριση της βλάστησης και βελτιώνει την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

Τα πολυφασματικά συστήματα καταγράφουν εικόνες στην πανχρωματική και πολυφασματική ζώνη. Η πολυφασματική εικόνα συνίσταται από επιμέρους εικόνες, έκαστη των οποίων καταγράφει στενές περιοχές μηκών κύματος (φασματικά κανάλια). Η αλληλεπίδραση μεταξύ των υλικών της γήινης επιφάνειας και της ηλιακής ακτινοβολίας διαφοροποιείται με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Κατ' επέκταση, το ίδιο υλικό εμφανίζεται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε κανάλι (π.χ. η βλάστηση εμφανίζεται σκουρόχρωμη στα κανάλια του ορατού και ανοιχτόχρωμη στο εγγύς υπέρυθρο). Συνεπώς, οι πολυφασματικές εικόνες επιτρέπουν τον ποιοτικό διαχωρισμό επιφανειών ή αντικειμένων (π.χ. γυμνά ή πρόσφατα καλλιεργημένα εδάφη, δασικές περιοχές, στάδια

ανάπτυξης και κατάσταση υγείας φυτών). Το μειονέκτημα των ψηφιακών εικόνων που καταγράφονται από κάθε κανάλι των πολυφασματικών αισθητήρων είναι η χαμηλή χωρική ανάλυση. (Ιερωνυμίδη Ε., 2009)

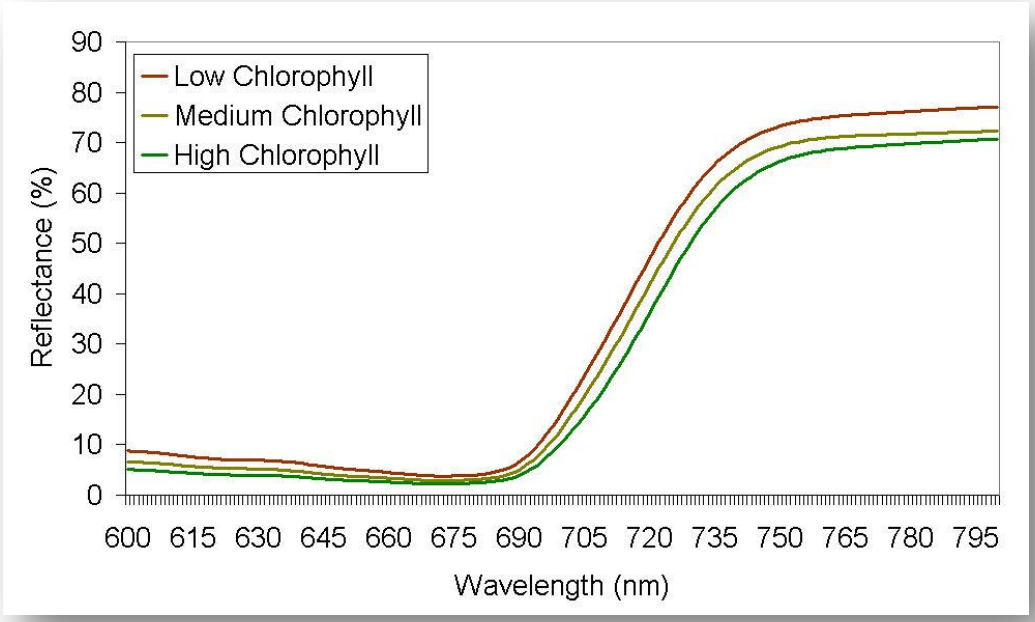
Κάτω από την άνω φυλλική επιδερμίδα, το λεπτό στρώμα των κυττάρων που αποτελεί την άνω επιφάνεια του φύλλου, υπάρχουν κυρίως δύο στρώσεις κυττάρων. Η πάνω στρώση είναι το δρυφακτοειδές παρέγχυμα και αποτελείται από επιμήκη κύτταρα, τοποθετημένα κατακόρυφα και παράλληλα σε ένα επίπεδο. Σε αυτό το στρώμα βρίσκεται και η μεγαλύτερη ποσότητα της χλωροφύλλης , μια πρωτεΐνη που είναι υπεύθυνη για τη συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας και την παροχή ενέργειας με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Το δεύτερο επίπεδο κυττάρων είναι το σπογγώδες παρέγχυμα, που αποτελείται από κύτταρα με ακανόνιστο σχήμα και με πολλά κενά μεταξύ τους, μέσα στα οποία γίνεται η κυκλοφορία των αερίων. Εκτός από τη χλωροφύλλη, το δρυφακτοειδές παρέγχυμα περιέχει και άλλες χρωστικές ουσίες, όπως τα καροτενοειδή, τις ανθοκυανίνες και άλλα, τα οποία είναι επίσης υπεύθυνα για την απορρόφηση του φωτός. Λόγω αυτών των χρωστικών, η περισσότερη από την ορατή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια απορροφάται, ειδικά στη μπλε και κόκκινη περιοχή του ορατού φάσματος. Η απορρόφηση στις πράσινες περιοχές είναι λίγο πιο χαμηλή, και αυτός είναι ο λόγος που η βλάστηση φαίνεται πράσινη με το ανθρωπινό μάτι. Έτσι, πολύ λίγη ενέργεια ξεφεύγει από το δρυφακτοειδές παρέγχυμα και αντανακλάται πίσω προς την ατμόσφαιρα. Αντιθέτως, στην κοντινή υπέρυθρη περιοχή του φάσματος (NIR) η ενέργεια δεν επηρεάζεται από αυτές τις χρωστικές ουσίες και σχεδόν πλήρως διαπερνά το δρυφακτοειδές παρέγχυμα. Όταν φτάνει στο σπογγώδες παρέγχυμα, η παρουσία των κενών προκαλεί τη διάθλαση της ενέργειας στο κοντινό υπέρυθρο σε διάφορες κατευθύνσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα περίπου το μισό της ενέργειας να περνάει μέσα από το φύλλο και να διαφεύγει από την κάτω επιδερμίδα και προς το έδαφος, ενώ το άλλο μισό ανακλάται και εξέρχεται από την πάνω επιδερμίδα, προς την ατμόσφαιρα. (http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s01.gr.html).



***Πηγή**: SEOS, Τηλεπισκόπηση και GIS στη Γεωργία. (http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s01.gr.html)*

Εικόνα 24. Η κυτταρική δομή των φύλλων και η αλληλεπίδρασή τους με την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Η μεγαλύτερη ποσότητα του ορατού φωτός απορροφάται, ενώ περίπου το μισό της ενέργειας ανακλάται στο κοντινό υπέρυθρο

Συμπερασματικά των παραπάνω, η βλάστηση έχει χαμηλή ανάκλαση στην ορατή περιοχή του φάσματος και υψηλή ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο. Τα περισσότερα είδη βλάστησης έχουν διαφορετική συμπεριφορά στο βαθμό ανακλαστικότητας του φάσματος, διότι έχουν διαφορετικό ποσοστό χλωροφύλλης και για το λόγο αυτό είναι εφικτό να γίνει η διάκριση μεταξύ τους.



***Πηγή**: SEOS, Τηλεπισκόπηση και GIS στη Γεωργία. (http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s02.gr.html)*

Εικόνα 25. Μετακίνηση της κόκκινης ακμής, λόγω της αλλαγής στην συγκέντρωση χλωροφύλλης. Η υψηλή χλωροφύλλη αυξάνει την απορρόφηση στην κόκκινη περιοχή και ωθεί την κόκκινη ακμή προς τα μεγαλύτερα μήκη κύματος

Το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους σε σχέση με την κατόπτευση της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρούν στη συμπεριφορά των φασματικών υπογραφών στη βλάστηση. Οι παρατηρούμενες ψηφιακές τιμές για τον κάθε τύπο κάλυψης γης είναι σημαντικά χαμηλότερες στη σκιασμένη περιοχή, από ότι είναι στη φωτισμένη πλευρά. Η τιμή του λόγου για κάθε κατηγορία κάλυψης γης είναι σχεδόν ανεξάρτητη των συνθηκών φωτισμού. Η μέθοδος αυτή αντισταθμίζει τη διακύμανση των ψηφιακών τιμών, η οποία οφείλεται στο τοπογραφικό ανάγλυφο. Η βελτιωμένη διάκριση οφείλεται στο γεγονός ότι οι εικόνες, που δημιουργούνται από τους λόγους των φασματικών υπογραφών, σαφώς απεικονίζουν τις διακυμάνσεις στις κλίσεις των καμπυλών φασματικής ανακλαστικότητας μεταξύ των δυο καναλιών, ανεξαρτήτως των απολύτων τιμών ανακλαστικότητας που παρατηρούνται στα κανάλια. Η διαφορετική συμπεριφορά των ειδών επηρεάζει τις κλίσεις σε ορισμένα κανάλια. Για παράδειγμα ο λόγος του εγγύς υπερύθρου προς το κόκκινο, για την υγιή βλάστηση είναι συνήθως πολύ υψηλός, ενώ στις περιπτώσεις της βλάστησης υπό κάμψη είναι τυπικά χαμηλότερος, καθώς η υπέρυθρη ανακλαστικότητα μειώνεται, ενώ η κόκκινη ανακλαστικότητα αυξάνεται. (Αργιαλάς, 1998)

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τον εντοπισμό της βλάστησης στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα πολύ υψηλής ευκρίνειας. Για την επεξεργασία των δεδομένων έγινε μια πρώτη επεξεργασία των εικόνων, όπου προσδιορίστηκαν οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες. Η χρήση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης στον εντοπισμό των ειδών της βλάστησης, εξυπηρέτησε τη βέλτιστη εκμετάλλευση της ευκρίνειας των εικόνων και την όσο το δυνατόν καλύτερη ταξινόμηση των εικόνων.

5.1 Δεδομένα μελέτης

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της μελέτης καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της περιοχής Άνω Καλαμά, του Δήμου Πωγωνίου. Η περιοχή αυτή βρίσκεται βορειοδυτικά του Νομού Ιωαννίνων και οι χρήσεις γης που εμφανίζονται στην περιοχή είναι τεχνητή επιφάνεια, καλλιέργειες, γυμνή επιφάνεια και δασική, θαμνώδης και χορτολιβαδική βλάστηση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δόθηκαν για χρήση από την εταιρία Inforest Research O.C., μια εταιρία που διαθέτει και επεξεργάζεται Τηλεπισκοπικά δεδομένα και Λογισμικά επεξεργασίας των δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη είναι:

1. Μια εικόνα πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS του 2008
2. Μια εικόνα πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS του 2011
3. Μια εικόνα πολύ υψηλής ανάλυσης WorldView 2 του 2010
4. Ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) από δορυφόρο ASTER
5. Ένας ορθοφωτοχάρτης της περιοχής.

5.1.1 Περιγραφή των δεδομένων μελέτης

- **IKONOS 2008**

  Η εικόνα IKONOS λήφθηκε από το δορυφόρο IKONOS τον Οκτώβριο του 2008 κατά τις ώρες μετά μεσημβρίας. Είναι ένα σύγχρονο τηλεπισκοπικό δεδομένο, το οποίο χαρακτηρίζεται από την υψηλή του ευκρίνεια. Διαθέτει τέσσερα πολυφασματικά κανάλια (μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο). Αποτελεί μια εικόνα pansharpen, στην οποία το πανχρωματικό κανάλι έχει ενσωματωθεί στα πολυφασματικά κανάλια. Ο δορυφόρος IKONOS, όπως και ο Quickbird, διαθέτουν ειδικές εφαρμοσμένες επιλογές βαθμονόμησης πολυφασματικής και πανχρωματικής δέσμης εικόνας, η οποία επιτρέπει την παραγωγή pan-sharpen φυσικών χρωμάτων ή εγγύς υπερύθρου ή σύνολο RGB raster με σωστή ισορροπία χρωμάτων και σχετική φασματική βαθμονόμηση (MicroImages, Inc., 2006). Μια εικόνα pan-sharpen προσφέρει βέλτιστη ισορροπία χρωμάτων και υψηλότερη χωρική λεπτομέρεια (MicroImages, Inc., 2006). Η μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα που προσφέρει στο χρήστη μπορεί να παρέχει καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση των

χρήσεων γης (Bryant, 2003). Οι εικόνες Pan Sharpening διατηρούν το πολυφασματικό δυναμικό εύρος και είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται για την ακριβή εξαγωγή λεπτομερών χαρακτηριστικών (Bryant, 2003). Η ανάλυση της εικόνας δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει διακριτική ικανότητα στο 1 m. Ο διαχωρισμός των ειδών βλάστησης απαιτεί τη χρήση εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης.



***Πηγή**: Inforest Research O.C: http://www.inforest.gr/*

Εικόνα 26. Εικόνα IKONOS του 2008

- **IKONOS 2011**

  Η δεύτερη εικόνα IKONOS προέρχεται από τον ίδιο δορυφόρο με την προηγούμενη και λήφθηκε στις 3 Σεπτεβρίου του 2011 κατά τις ώρες μετά μεσημβρίας. Παρουσιάζει την πρόσφατη κατάσταση της περιοχής. Η εικόνα αυτή αποτελείται από τέσσερα πολυφασματικά κανάλια (μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο) και ένα πανχρωματικό. Η ανάλυση της εικόνας φτάνει στα 1 m στο πανχρωματικό κανάλι και στα 4 m στα πολυφασματικά κανάλια. Διαφέρει από την προηγούμενη εικόνα IKONOS, διότι δεν έχει γίνει αυτόματη βαθμονόμηση των καναλιών και έχει διαφορετική ανάλυση στα πολυφασματικά κανάλια, διότι δεν είναι ενσωματωμένο το πανχρωματικό. Η χρήση εικόνων, όπως η IKONOS, με υψηλή ανάλυση προτείνονται για τον εντοπισμό των ειδών βλάστησης στη χαρτογράφηση μιας περιοχής.

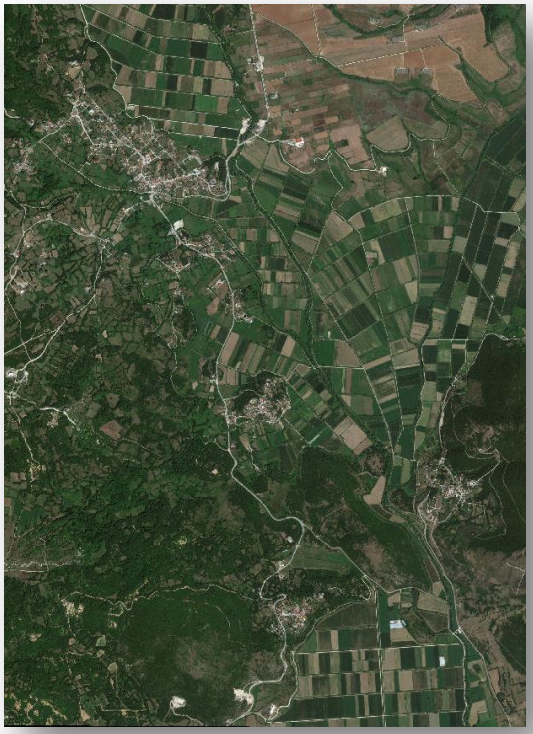


***Πηγή**: Inforest Research O.C: http://www.inforest.gr/*

Εικόνα 27. Εικόνα IKONOS του 2011 της περιοχής Άνω Καλαμά, του Δήμου Πωγωνίου

- **WorldView 2 2010**

  Η Τρίτη εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της μελέτης προέρχεται από το δορυφόρο WorldView 2 και λήφθηκε στις 16 Ιουλίου του 2010 κατά τις ώρες μετά μεσημβρίας. Ο δορυφόρος αποτελεί ένα σύγχρονο μοντέλο τηλεπισκοπικών δεκτών διαθέτοντας τηλεπισκοπικά δεδομένα πολύ υψηλής ευκρίνειας. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα αποτελούνται από οχτώ πολυφασματικά κανάλια, από τα οποία τα τέσσερα είναι αυτά που υπάρχουν στις εικόνες IKONOS και επιπλέον διαθέτει άλλα τέσσερα (coastal, yellow, re-edge και NIR-2), και ένα πανχρωματικό κανάλι. Η ανάλυση της εικόνας που παρέχει ο δορυφόρος είναι 1.85m στα πολυφασματικά κανάλια και 0.46m στο πανχρωματικό. Ο δορυφόρος αποτελεί μια νέα πλατφόρμα, η οποία παρέχει διαφορετικά κανάλια σε διαφορετική αναλογία μηκών κύματος (Wolf, 2010). Οι εικόνες του προσφέρουν καλύτερη ποιότητα διαχωρισμού της σκιάς από το νερό και τη βλάστηση (Marchisio, 2010).



***Πηγή**: Inforest Research O.C: http://www.inforest.gr/*

Εικόνα 28. Εικόνα WorldView-2 του 2010 της περιοχής Άνω Καλαμά, του Δήμου Πωγωνίου

- **Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)**

  Χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους GDEM, το οποίο προέρχεται από επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων του δορυφόρου Aster. Τα DEM που προέρχονται από στερεοσκοπικά δεδομένα ASTER μπορούν να παρέχουν χρήσιμα αποτελέσματα για πολλές απομακρυσμένες περιοχές ανεξαρτήτως ποιότητας δεδομένων DEM (Paul, 2003). Από το υψομετρικό μοντέλο εδάφους υπολογίστηκαν χάρτες κλίσεων και προσανατολισμών.

- **Ορθοφωτοχάρτης**

  Στην προκειμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε ένας ορθοφωτοχάρτης της περιοχής για να διορθώσει γεωμετρικά τις εικόνες. Ο ορθοφωτοχάρτης προέρχεται από δεδομένα του Κτηματολογίου. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που λαμβάνονται από τους δορυφόρους έχουν υποστεί γεωμετρική παραμόρφωση λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η ορθοαναγωγή των εικόνων και για την πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκε ο ορθοφωτοχάρτης με ορθές συντεταγμένες.



***Πηγή**: Κτηματολόγιο Α.Ε..*

Εικόνα 29. Ορθοφωτοχάρτης της περιοχής Άνω Καλαμά, του Δήμου Πωγωνίου

5.2 Επιτόπια έρευνα στην περιοχή μελέτης

Η έρευνα σε μια συγκεκριμένη περιοχή απαιτεί την καλή γνώση της περιοχής που πραγματοποιείται η μελέτη. Η Τηλεπισκόπηση δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού, επεξεργασίας και ανάλυσης των χρήσεων γης μιας περιοχής χωρίς να έρθουμε σε επαφή με αυτή. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης έγινε επιτόπια αυτοψία και καταγραφή της περιοχής, ώστε να σημειωθούν τα είδη της βλάστησης που επικρατούν στην περιοχή, σε ποια μέρη αναπτύσσονται, με σκοπό να γίνει ακριβής αποτύπωση της περιοχής. Η επιτόπια έρευνα προτιμήθηκε να γίνει στα μέσα της άνοιξης – τέλος Απριλίου του 2012, περίοδο κατά την οποία η βλάστηση βρίσκεται στη φάση της πλήρους ανάπτυξης. Οι χρήσεις γης που επικρατούν στην περιοχή είναι τεχνητή επιφάνεια, γυμνή έκταση, καλλιέργειες και ποικιλία δασικής, θαμνώδης και χορτολιβαδικής βλάστησης.

Έπειτα από την παρατήρηση, έγινε ο εντοπισμός και διαχωρισμός της περιοχής έρευνας σε μονάδες, για τον ορθολογικότερο προσδιορισμό της βλάστησης.

5.2.1 Τμήμα Ρεπετίστα- Μονάδα Σιάστης

Η μονάδα Σιάστης βρίσκεται στα 550 m υπερθαλάσσιο ύψος, με Βόρεια έκθεση και κλίση 30- 60 %. Αποτελεί μια δασώδης περιοχή, στην οποία η βλάστηση που επικρατεί είναι:

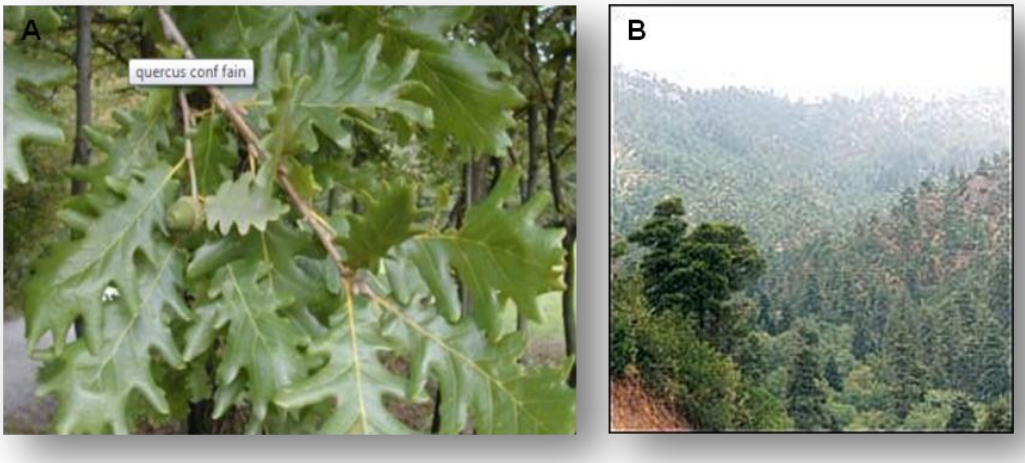
Δενδρώδης βλάστηση:

- Πλατύφυλλη Δρυς (Quercus fraineto (conferta))

  Κύρια χαρακτηριστικά της Πλατύφυλλης Δρυός ή Πυκνοβελονιάς (Ελευθεριάδης 1997).

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Ευρώπη, Ελλάδα
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος** : 15-25 (30)m **διάμετρος** : 9-12 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή** : πλατιά και πυκνή **χρώμα** : βαθύ πράσινο
  - ✓ **Φλοιός: χρώμα**: καφετί
  - ✓ **Φύλλο: σχήμα**: Οδοντωτό - σφηνοειδές με βαθύς και στενούς κόλπους

    μήκος: 10-18 cm **πλάτος**: 6-10 cm**.**
  - ✓ **Άνθος:** μονογενή **ταξιανθία** : Ίουλοι πρασινωποί
  - ✓ **Καρπός: σχήμα** : Κυπελλοφόρο κάρυο. Το κύπελλο με χνουδωτά λέπια καλύπτει κατά το 1/3 το βάλανο.
  - ✓ **Αυξητικότητα**: Βραδυαυξές
  - ✓ **Απαιτήσεις:** Ζει ανάμεσα σε άλλα φυλλοβόλα δένδρα ή θάμνους της ορεινής ή ημιορεινής ζώνης.



Εικόνα 30. Πλατύφυλλος Δρυς ή Πυκνοβελονιά (A&B)

- Φράξος ο κοινός ή ο όρνος (Fraxinus ornus)

  Κύρια χαρακτηριστικά του Φράξου (Σφήκας, 1990):

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Ευρώπη, Δ Ασία, Ελλάδα
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος** : 10-15 m **διάμετρος** : 7-10 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή** : Σφαιρική **χρώμα** : Γλαυκοπράσινο
  - ✓ **Φλοιός: χρώμα** : Σταχτύς **υφή** : Λείος

- ✓ **Φύλλο: σχήμα** : Σύνθετο με 5-9 φυλλάρια εως 20 cm, ωοειδή, ελλειψοειδώς λογχοειδή **μήκος** : 5 - 9 cm **πλάτος** : 4 - 6 cm**.**
- ✓ **Άνθος:** διγενές **ταξιανθία** : Φόβη (10-20 cm) **μέγεθος:** 1 cm
- ✓ **Καρπός: σχήμα** : Πτερυγιοφόρο κάρυο **μέγεθος :** 25 mm **χρώμα**: Καστανό **ωρίμανση** : Ιούλιο
- ✓ **Αυξητικότητα**: Ταχυαυξές
- ✓ **Απαιτήσεις: φως** : Φωτόφυτο **θερμοκρασία** : Ψυχρόβιο **υγρασία** : Απαιτητικό **έδαφος** : Ξηρά, αργιλλώδη, ασβεστώδη, όχι αμμώδη
- ✓ **Αντοχή σε: παγετό**: Ανθεκτικό (-15^{o} C) **άνεμο**: Ευαίσθητο **ρύπανση ατμ.**: Μέτρια ανθεκτικό **ξηρασία**: Ευαίσθητο
- ✓ **Λοιπά χαρακτ.** : Από τους κλαδίσκους και το φλοιό εξάγονται ουσίες που χρησιμοποιούνται στη φαρμακευτική, βαφική.



Εικόνα 31. Φράξος ο κοινός, Άνθος – Καρπός (A&B)

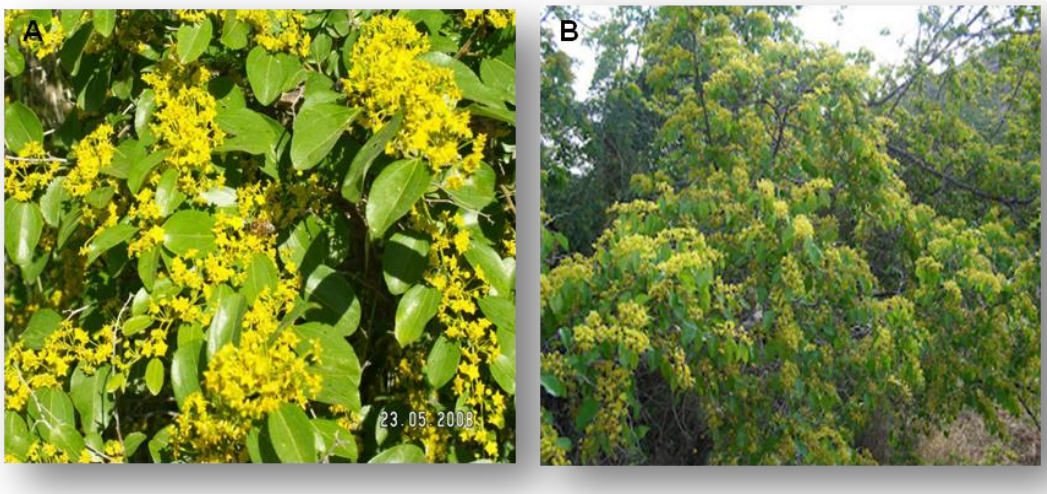
Θαμνώδης βλάστηση:

- Παλιούρι (Paliurus aculeatus)

  Κύρια χαρακτηριστικά του Παλιουριού (Βολιώτης – Αθανασιάδης 1971).

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Κοινό φυτό στη ζώνη των θαμνοτόπων μέσου και χαμηλού υψομέτρου.
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος** : 2-3 (5) m **διάμετρος** : 3-4 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή** : πλατιά με διακλαδώσεις τεθλασμένες και ακανθώδεις.
  - ✓ **Φλοιός:** λείος

- ✓ **Φύλλο: σχήμα**: ωοειδές και στη βάση του μίσχου έχουν δύο μυτερά αγκάθια**.**
- ✓ **Άνθος:** μικρά κίτρινα σε μπουκέτα
- ✓ **Καρπός:** ημισφαιρικός που περιβάλλεται από ένα μεγάλο στρογγυλό πτερύγιο.
- ✓ **Αυξητικότητα**: Βραδυαυξές



Εικόνα 32. Παλιούρι το ακανθώδες, Άνθος – Φυτό (A&B)

- Άλλοι αείφυλλοι θάμνοι

5.2.2 Τμήμα Μαζαράκο- Μονάδα Ριάχοβο (Λεπροβούνι)

Η μονάδα Σιάστης βρίσκεται στα 500 m υπερθαλάσσιο ύψος, με Βορειοδυτική έκθεση και κλίση 30- 50 %. Αποτελεί μια δασώδης και θαμνώδης περιοχή, στην οποία η βλάστηση που επικρατεί είναι:

Δενδρώδης βλάστηση:

- Πλατύφυλλη Δρυς (Quercus fraineto (conferta)
- Φράξος (Fraxus ornus)
- Πλατάνια (Platanus orientalis)

  Κύρια χαρακτηριστικά του Πλατάνου του ανατολικού (Ελευθεριάδης 1997):

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: ΝΑ Ευρώπη, Μ Ασία, Ελλάδα
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος**: 25 - 35 m **διάμετρος**: 16 - 25 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή**: Σφαιρική **χρώμα**: Πράσινο
  - ✓ **Φλοιός: χρώμα**: Τεφρωπός **υφή**: Λεία στα νεαρά, αργότερα με σχισμές
  - ✓ **Φύλλο: σχήμα**: 5-7λοβα, ισχυρώς οδοντωτά **μήκος**: 10 - 20 cm **πλάτος** : 10-20 cm **χρώμα άνοιξης:** Πράσινο **φθινοπ.**: Κίτρινο

- ✓ **Άνθος:** μονογενή **ταξιανθία**: σφαιρικά κεφάλια και ανά 1-3 σε μακρύ ποδίσκο
- ✓ **Καρπός: σχήμα**: Αχαίνιο, με σφαιρική ταξιανθία **μέγεθος :**1-2cm **χρώμα** :καφεκίτρινο **ωρίμανση** : Φθινόπωρο - χειμώνα
- ✓ **Αυξητικότητα**: Ταχυαυξές
- ✓ **Απαιτήσεις: φως**: Φωτόφυτο **θερμοκρασία**: Θερμόβιο **υγρασία**: Απαιτητικό **έδαφος**: Υγρά, βαθιά, δροσερά
- ✓ **Αντοχή σε: παγετό**: Ανθεκτικό (-15^{o} C) **άνεμο**: Ανθεκτικό **ρύπανση ατμ.**: Ανθεκτικό **ξηρασία**: Ευαίσθητο
- ✓ **Λοιπά χαρακτ.**: Αντέχει σε κακώσεις και εναλλαγές στην υγρασία του εδάφους.



Εικόνα 33. Πλάτανος ο ανατολικός, Φυτό – Καρπός (A&B)

- Φτελιά ή πεδινή (Ulmus campestris ή minor)

  Κύρια χαρακτηριστικά της φτελιάς ή Πτελέας ή Καραγάτσι (Σφήκας, 1990):

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Μεσόγειο, Ελλάδα
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος** : 15-20 (25)m **διάμετρος** : 6-8 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή** : σφαιρική, φυλλοβόλο **χρώμα** : βαθύ πράσινο
  - ✓ **Φλοιός: χρώμα**: σταχτόχρουν - καφετί
  - ✓ **Φύλλο: σχήμα**: ωοειδές, μυτερό και πριονωτό **μήκος**: 5-8 cm **πλάτος**: 4-7 cm**.**
  - ✓ **Άνθος:** ερμαφρόδιτα βαθυκόκκινα που βγαίνουν νωρίς την Άνοιξη πριν τα φύλλα.
  - ✓ **Καρπός: σχήμα** : Κάρυο μονόσπερμο που περιβάλλεται από λείο, μεμβρανώδες πτερύγιο.

- ✓ **Απαιτήσεις:** Είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στην ρύπανση της πόλης, σε ανέμους, σε έντονα ασβεστώδη εδάφη, την ξηρασία αλλά παγώνει σε θερμοκρασίες κάτω των -20C°.

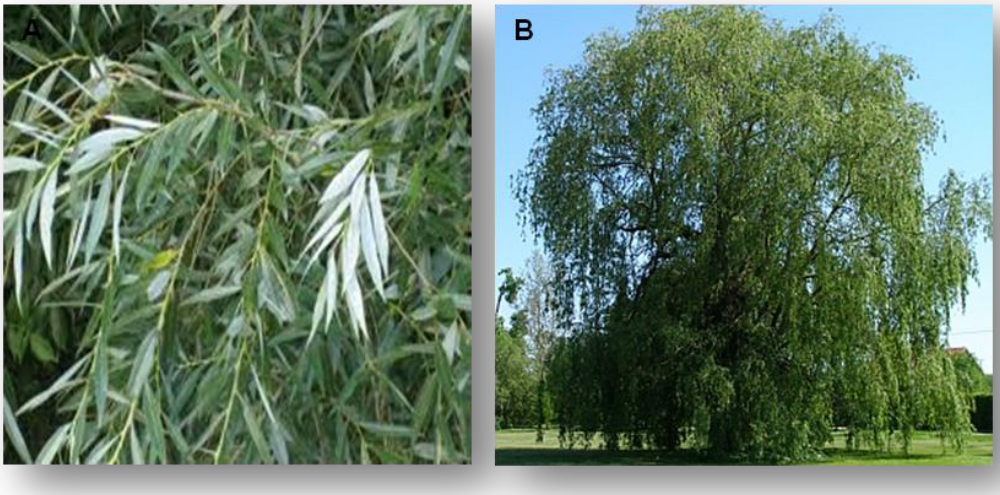


Εικόνα 34. Φτελιά ή Πτελέα η πεδινή ή Καραγάτσι

- Ιτιά η λευκή ή ασημοϊτιά (Salix alba)

  Κύρια χαρακτηριστικά της Ιτιάς (Ελευθεριάδης 1997).

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Μεσόγειο, Ελλάδα
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος** : 5-25 (30)m **διάμετρος** : 8-12 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή** : ωοειδής **χρώμα** : ανοικτό πράσινο
  - ✓ **Φλοιός: χρώμα**: καστανοκίτρινο, κλαδιά χνουδωτά
  - ✓ **Φύλλο: σχήμα**: λογχοειδή, στενά, γκριζόλευκα και χνουδωτά. **μήκος**: 5-10 cm **πλάτος**: 1,5-3 cm**.**
  - ✓ **Άνθος:** μονογενές, σε όρθιους ίουλους.
  - ✓ **Καρπός:** Κάψα λεία
  - ✓ **Απαιτήσεις:** ζει στις όχθες των ποταμών και ρυακιών.



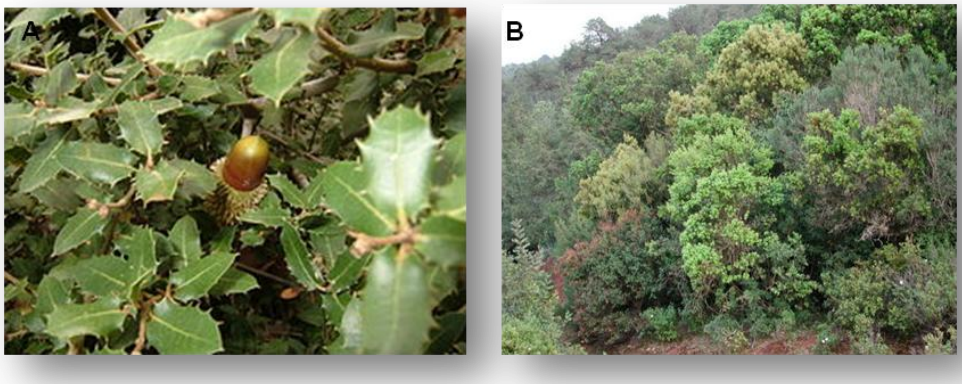
Εικόνα 35. Ιτιά η λευκή ή Ασημοϊτιά

Θαμνώδης βλάστηση:

- Πουρνάρι (Quercus coccifera)

  Κύρια χαρακτηριστικά του Πουρναριού (Βολιώτης – Αθανασιάδης 1971, Σφήκας, 1990).

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Κοινό φυτό σε ξηρές και πετρώδεις πλαγιές μέσου και χαμηλού υψομέτρου.
  - ✓ **Διαστάσεις: ως θάμνος: ύψος** : 2-3 (5) m **πλάτος** : 4-6 m
    ως δένδρο: ύψος : 12-15 (20) m **πλάτος** : 8-12 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή** : αείφυλλος, πυκνόφυλλος και πυκνόκλαδος.
  - ✓ **Φλοιός:** ρικνός (γηρασμένος)
  - ✓ **Φύλλο:** σκληρό, γυαλιστερό και αγκαθωτό.
  - ✓ **Άνθος:** μονογενή, σε ιούλους
  - ✓ **Καρπός:** κυπελλοφόρο κάρυο. Κύπελλο με λέπια ακανθώδη, όρθια, σκληρά και μυτερά.
  - ✓ **Αυξητικότητα**: Βραδυαυξές



Εικόνα 36. Πουρνάρι ή Δρυς η κοκκοφόρος

- Παλιούρι (Paliurus aculeatus)
- Γκορτσιά ή Γκορτζιά (Pyrus amygdaliformis)

  Κύρια χαρακτηριστικά της Γκορτσιάς (Σφήκας, 1990):

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Κοινό φυτό σε γυμνές και άγονες τοποθεσίες μέσου υψομέτρου.
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος** : 3-6 (10) m **διάμετρος** : 3-5 m
  - ✓ **Κόμη: μορφή** : στρεβλή, ακανόνιστος.
  - ✓ **Φλοιός:** καφετί με σχισμές
  - ✓ **Φύλλο:** στενόμακρο, προμήκες, λείο στην επάνω επιφάνεια.
  - ✓ **Άνθος:** λευκό κατά κορύμβους
  - ✓ **Καρπός:** μικρός, στυφός, ραγοειδής, υποσφαιρικός.
  - ✓ **Αυξητικότητα**: Βραδυαυξές.



Εικόνα 37. Γκορτσιά ή γκορτζιά, Άνθος – Δένδρο με καρπούς

- Λιγαριά (Vitex agnus cactus)

  Κύρια χαρακτηριστικά της Λιγαριάς (Σφήκας, 1990):

  - ✓ **Προέλευση – Εξάπλωση**: Κοινό φυτό σε ρεματιές, υγρές και ζεστές τοποθεσίες.
  - ✓ **Διαστάσεις: ύψος** : 1-3 (4) m **διάμετρος** : 1-2 m
  - ✓ **Κόμη:** ποικιλόμορφος με βλαστούς τρυφερούς.
  - ✓ **Φλοιός:** καφετί
  - ✓ **Φύλλο:** παλαμοσχιδή με 5 ή 7 στενά φυλλάρια.
  - ✓ **Άνθος:** σταχυόμορφος βότρυς μικρός σε χρώμα μωβ ή σπάνια ρόδινο, λευκό ή γαλάζιο.
  - ✓ **Καρπός:** μικρή κοκκινόμαυρη δρύπη, σφαιρική.
  - ✓ **Αυξητικότητα**: Ταχυαυξές.



Εικόνα 38. Λιγαριά, Θάμνος - Άνθος

5.2.3 Τμήμα Βροντισμένη- Μονάδα Πετροβούνια (Αγ. Παρασκευή)

Η μονάδα Σιάστης βρίσκεται στα 760 m υπερθαλάσσιο ύψος, με Δυτική- Βόρεια- Ανατολική έκθεση και κλίση 40- 60 %. Αποτελεί μια θαμνώδης περιοχή, στην οποία η βλάστηση που επικρατεί είναι:

Δενδρώδης βλάστηση:

- Φράξος (Fraxus ornus)
- Πλατύφυλλη Δρυς (Quercus fraineto (conferta))

Θαμνώδης βλάστηση:

- Πουρνάρι (Quercus coccifera)
- Παλιούρι (Paliurus aculeatus)

- Γκορτσιά ή Γκορτζιά (Pyrus amygdaliformis)
- Λιγαριά (Vitex agnus cactus)

Ποώδης βλάστηση:

Hordeum- Aegilops- Vulpia- Poa- Phalaris- Avena- Carlina

5.3 Προεπεξεργασία των δεδομένων

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της έρευνας δεν είχαν υποστεί προηγούμενη επεξεργασία. Τα δεδομένα που λαμβάνουμε από τους δορυφόρους, όπως ήδη έχει αναφερθεί, εμφανίζουν γεωμετρικές παραμορφώσεις και απαιτούν προεπεξεργασία για τη σωστή αναγωγή τους στο Ελληνικό σύστημα συντεταγμένων και τη μετέπειτα επεξεργασία τους σε χαρτογραφικά δεδομένα.

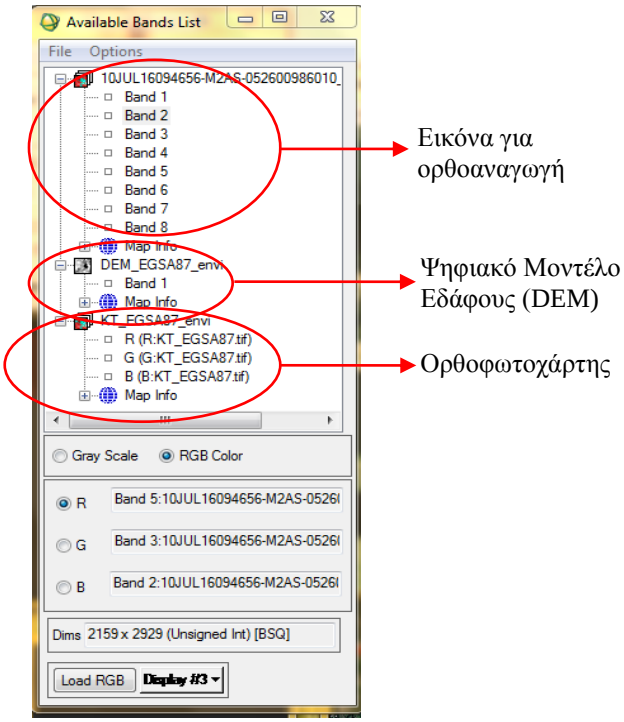
Για την προεπεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ENVI 4.7, το οποίο έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται σύγχρονα τηλεπισκοπικά δεδομένα, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα.

5.3.1 Ορθοαναγωγή των εικόνων

Για την πραγματοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες, δύο IKONOS και μια WorldView 2. Στην ορθοαναγωγή των εικόνων χρειάστηκαν ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) με τα υψόμετρα και ένας ορθοφωτοχάρτης της περιοχής.

Αρχικά, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, μετατράπηκαν σε format envi BSQ για να εισαχθούν στο πρόγραμμα και να γίνει η ορθοαναγωγή των εικόνων. Οι εικόνες στις οποίες υλοποιήθηκε η ορθοαναγωγή είναι μια εικόνα pan-sharpen IKONOS του 2008, μια πολυφασματική εικόνα IKONOS του 2011 και η πανχρωματική της και μια πολυφασματική εικόνα WorldView 2 και η πανωχρωματική της. Παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία της ορθοαναγωγής στην εικόνα WorldView 2 2010, σύμφωνα με την οποία γεωαναφέρθηκαν και οι υπόλοιπες εικόνες.

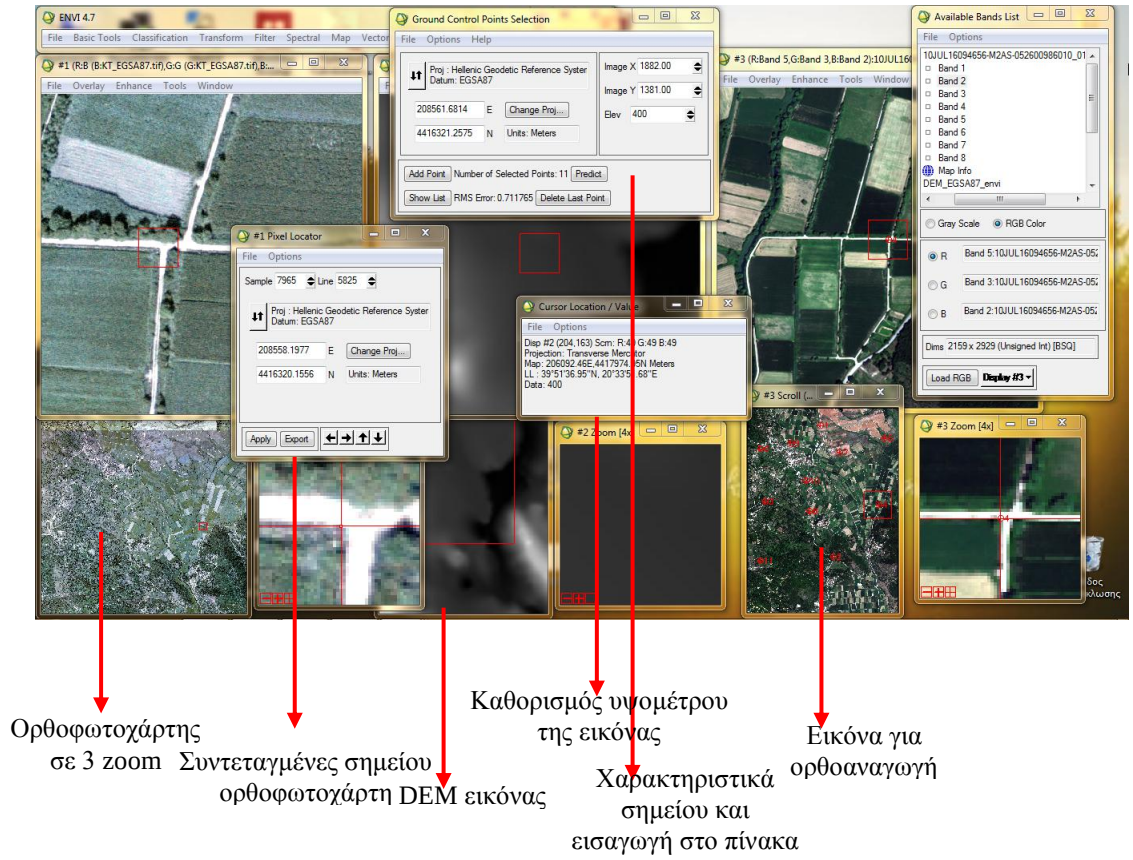
Πρώτο στάδιο είναι η εισαγωγή του ορθοφωτοχάρτη, του DEM και της εικόνας στο λογισμικό.



Εικόνα 39. Δεδομένα για την ορθοαναγωγή της εικόνας

Έπειτα ακολουθεί η επιλογή για ορθοαναγωγή της εικόνας (Orthorectify IKONOS with Ground Control) και επιλέγεται το παράθυρο της εικόνας, στην οποία θα γίνει η ορθοαναγωγή. Η ορθοαναγωγή γίνεται στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα συντεταγμένων (Hellenic Geodetic Reference System- EGSA87). Θα πρέπει το σύστημα των συντεταγμένων του ορθοφωτοχάρτη να συμπίπτει με αυτό της εικόνας. Εφόσον γίνει ο έλεγχος των συντεταγμένων, καθορίζονται χαρακτηριστικά κοινά σημεία του ορθοφωτοχάρτη και της εικόνας, έτσι ώστε να προσαρμοστούν οι συντεταγμένες της εικόνας με αυτές του ορθοφωτοχάρτη. Η επιλογή των σημείων είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για μια σωστή ορθοοαναγωγή. Τα σημεία που επιλέγονται πρέπει να είναι κανονικά κατανεμημένα σε όλη την έκταση της εικόνας, ώστε να μην δημιουργούνται τοπικές παραμορφώσεις της εικόνας. Ο αριθμός των επιλεγμένων σημείων εξαρτάται από το μέγεθος της εικόνας.

Οι εικόνες γεωαναφέρθηκαν με κοινό παράγοντα τις συντεταγμένες των σημείων, ώστε να επικαλύπτονται και να μην συμβαίνουν αποκλίσεις μεταξύ τους.



Εικόνα 40. Προβολή μεθόδου λήψης σημείων για ορθοαναγωγή της εικόνας WorldView2

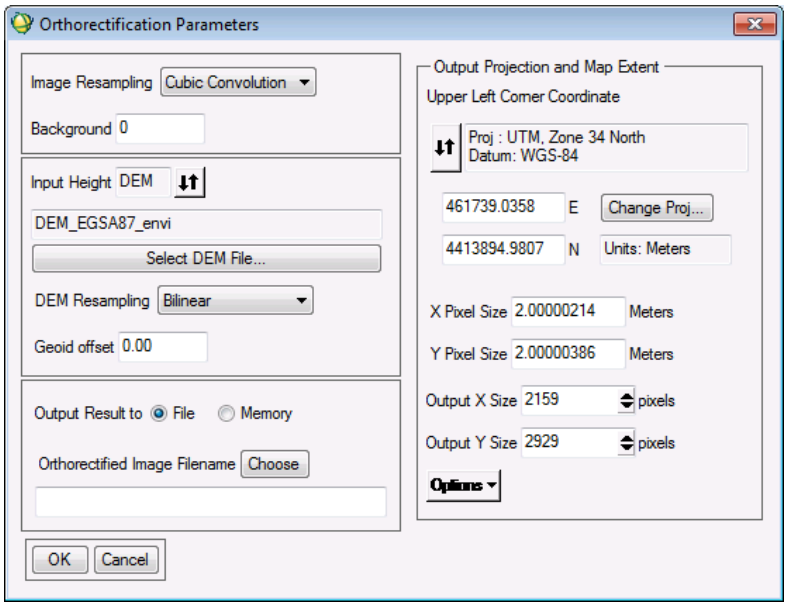
Για την πραγματοποίηση της ορθοαναγωγής των εικόνων επιλέχθηκαν 11 σημεία, στα οποία δεν έγινε τυχαία επιλογή, αλλά αποτελούν κοινά σημεία που δεν έχουν υποστεί μεταβολή με το χρόνο. Τα κοινά σημεία εισάγονται σε ένα πίνακα, ο οποίος συγκεντρώνει τις συντεταγμένες των σημείων του ορθοφωτοχάρτη και της εικόνας, το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το σημείο, το προβλέψιμο σημείο και το σφάλμα το οποίο παρουσιάζει το κάθε σημείο.

Πίνακας 7. Πίνακας συντεταγμένων – Υπολογισμός σφάλματος

	Map X	Map Y	Elev	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	20.57	39.87	400.00	1051.00	241.75	1050.6313	242.0285	-0.3687	0.2785	0.4621
#2+	20.58	39.83	330.00	1233.50	2121.75	1233.2973	2122.0587	-0.2027	0.3087	0.3693
#3+	20.56	39.85	414.00	255.75	1333.75	256.7704	1332.6669	1.0204	-1.0831	1.4881
#4+	20.59	39.85	298.00	1882.00	1381.00	1881.9276	1380.8640	-0.0724	-0.1360	0.1541
#5+	20.60	39.86	343.00	1961.75	430.50	1961.6862	430.4583	-0.0638	-0.0417	0.0762
#6+	20.55	39.86	397.00	187.25	583.00	186.9485	582.7299	-0.3015	-0.2701	0.4048
#7+	20.58	39.86	409.00	1326.75	637.00	1327.2024	636.4862	0.4524	-0.5138	0.6846
#8+	20.57	39.84	395.00	890.75	1476.00	890.8318	1475.5559	0.0818	-0.4441	0.4516
#9+	20.56	39.86	384.00	621.25	496.75	620.7577	497.6471	-0.4923	0.8971	1.0233
#10+	20.57	39.85	389.00	837.75	1041.75	838.2662	1042.2491	0.5162	0.4991	0.7180
#11+	20.56	39.83	444.00	189.25	2175.25	188.6805	2175.7555	-0.5695	0.5055	0.7615

Ο έλεγχος σφαλμάτων των σημείων που επιλέχθηκαν καθορίζει το βαθμό ορθότητας της αναγωγής. Η τιμή του σφάλματος δηλώνεται στη στήλη του RMS και όσο η τιμή αυτή τείνει να

είναι κοντά στο 0, τόσο η γεωμετρική διόρθωση των συντεταγμένων προσεγγίζει την πραγματικότητα. Έπειτα από την επιλογή των σημείων και τη παρατήρηση τυχόν μεγάλου σφάλματος σε κάποιο σημείο, έχουμε τη δυνατότητα να διορθώσουμε τη θέση του σημείου για την επίτευξη καλύτερης ορθοαναγωγής. Με την ολοκλήρωση της επιλογής των σημείων γίνεται η ορθοαναγωγή της εικόνας (Orthorectify WorldView). Θέτονται όλες οι παράμετροι ορθοαναγωγής, δηλαδή προσδιορίζεται το σύστημα αναφοράς, ορίζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το όνομα της εικόνας που έγινε ορθοαναγωγή.



Εικόνα 41. Παράθυρο ορισμού παραμέτρων για την εξαγωγή της γεωαναφερμένης εικόνας

Για τις ορθοεικόνες που παρήχθησαν χρησιμοποιήθηκε το σύστημα αναφοράς WGS84, UTM ζώνη 34, επειδή το πρόγραμμα eCognition δεν αναγνωρίζει σωστά το ΕΓΣΑ'87.

5.4 Υλοποίηση Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης Εικόνας

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη και οι ανάγκη ταξινόμησης της βλάστησης που υπάρχει στην περιοχή, οδήγησαν στην χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης για την εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία χρήσης αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης για την ταξινόμηση της βλάστησης στην περιοχή έρευνας.

5.4.1 Φωτοερμηνεία της εικόνας – Κατηγορίες ταξινόμησης

Η επιλογή των κατηγοριών ταξινόμησης υλοποιήθηκε έπειτα από τη φωτοερμηνεία της εικόνας, την επιτόπια έρευνα της περιοχής, τις επίγειες φωτογραφίες της περιοχής και πηγές από προηγούμενες έρευνες για την κατάσταση της περιοχής.

Το πρώτο στάδιο πριν από την επεξεργασία της εικόνας είναι η φωτοερμηνεία της και ο εντοπισμός των χρήσεων γης στην περιοχή. Έπειτα από την πρώτη παρατήρηση της εικόνας, οι γενικές χρήσεις γης που εντοπίσθηκαν στην περιοχή είναι:

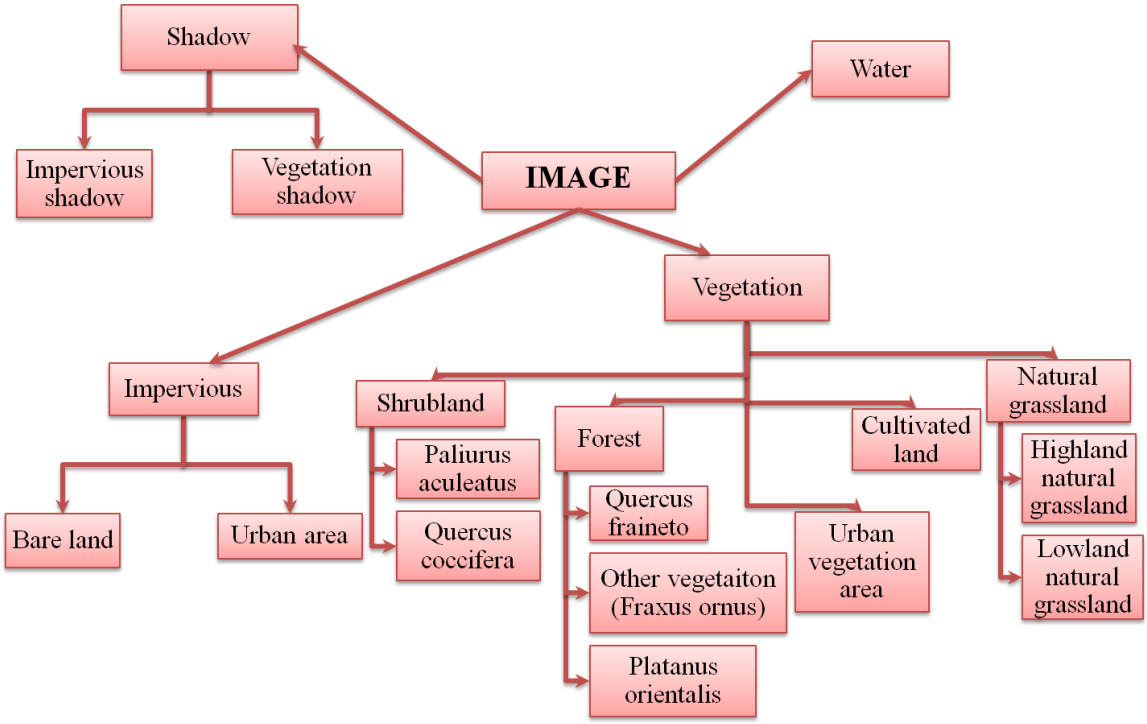


1. Τεχνητή επιφάνεια
2. Βλάστηση
3. Καλλιέργειες
4. Γυμνή επιφάνεια
5. Νερό

Εικόνα 42. Γενικές χρήσεις γης της περιοχής έρευνας (πρωτογενής ταξινόμηση)

Στόχος της μελέτης είναι ο εντοπισμός της βλάστησης που επικρατεί στην περιοχή και η ταξινόμηση του με αντικειμενοστρεφή ανάλυση. Για την πραγματοποίηση του στόχου εντοπίσθηκαν τα κύρια είδη βλάστησης που υπάρχουν στην περιοχή, έπειτα από επιτόπια έρευνα και καθορισμό των σημείων όπου εντοπίζονται. Εφόσον έγινε η επιτόπια έρευνα οι περιοχές επικράτησης της βλάστησης, ώστε να δοθούν τα βέλτιστα αποτελέσματα για τις κατηγορίες.

Τα είδη βλάστησης που ευδοκιμούν στην περιοχή είναι Δρυς (Quercus fraineto), Πλατάνια (Platanus orientalis), Φράξος (Fraxus ornus), Πουρνάρια (Quercus coccifera) και Παλιούρι (Paliurus aculeatus). Για την ταξινόμηση αυτών των ειδών βλάστησης διαχωρίστηκαν πρώτα οι υποκατηγορίες της βλάστησης (δάσος, θαμνότοποι, λιβαδικές εκτάσεις, βλάστηση σε κατοικημένες εκτάσεις και καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Επίσης, οι λιβαδικές εκτάσεις διαχωρίστηκαν σε ορεινές και πεδινές. Ο καθορισμός των κατηγοριών έγινε έπειτα από πολλές δοκιμές κατάτμησης και ταξινόμησης και τη μελέτη της περιοχής για τον καλύτερο διαχωρισμό του. Έτσι δημιουργήθηκαν τέσσερα επίπεδα, όπου στο καθένα υπάρχει μια ιεραρχία κατηγοριών που δημιουργούν σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων. Τα ονόματα των κατηγοριών καθορίστηκαν σύμφωνα με τα ονόματα των κατηγοριών των χρήσεων γης του CORINE 2000.



Διάγραμμα 2. Ιεραρχία κατηγοριών ταξινόμησης

5.4.2 Ταξινόμηση εικόνας IKONOS 2008

5.4.2.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης της εικόνας

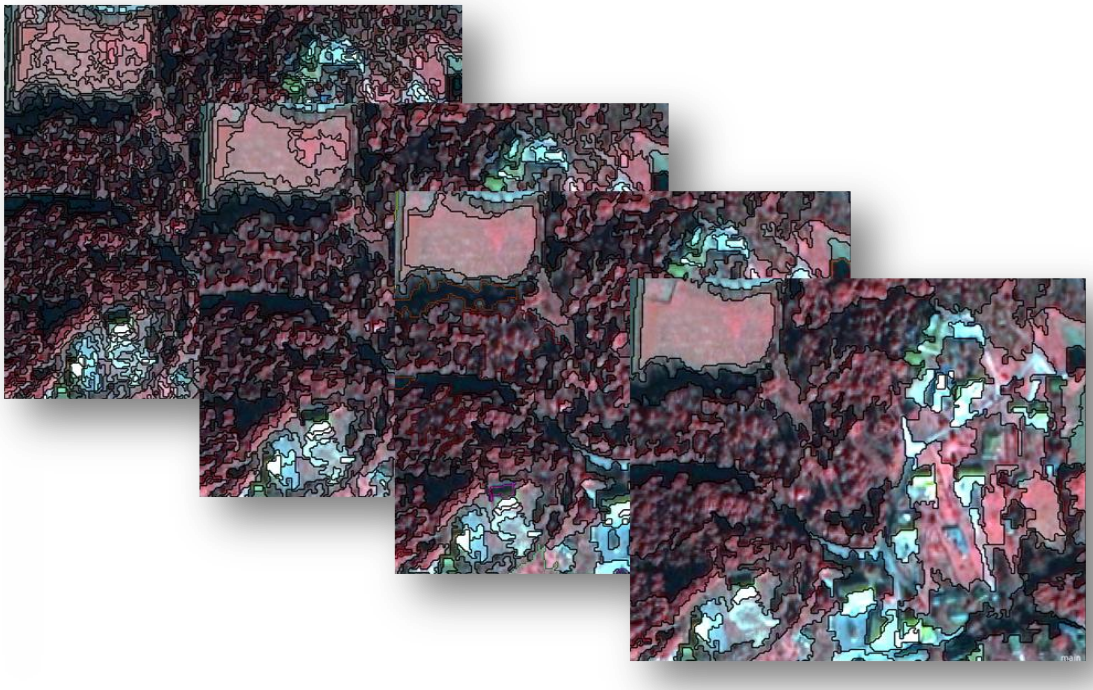
Για την επίτευξη του στόχου της έρευνας καθορίστηκε η κατάλληλη κατάτμηση της εικόνας. Κυρίαρχος σκοπός της κατάτμησης είναι ο εντοπισμός πρωτογενών αντικειμένων και η επίτευξη του ιεραρχικού δικτύου, ώστε να προκύψουν τα επίπεδα κατάτμησης. Η κατάτμηση έγινε έπειτα από αλλεπάλληλες δοκιμές, ώστε να προκύψει σαφής διαχωρισμός των ειδών βλάστησης και γενικότερα της φυσικής βλάστησης από τις υπόλοιπες χρήσεις γης της περιοχής έρευνας. Οι δοκιμές έγιναν με αλλαγές της κλίμακας των αντικειμένων, του σχήματος τους, της ομαλότητας των ορίων τους και του βαθμού βαρύτητας των φασματικών τους υπογραφών.

Η πολλαπλή κατάτμηση καθορίστηκε σε μια ιεραρχία τεσσάρων επιπέδων. Για τη δημιουργία του χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος της κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης «*Multiresolution Segmentation*». Το πρώτο επίπεδο (*Level 1*) αποτελεί το επίπεδο με τη μικρότερη κλίμακα της κατάτμησης στο οποίο δημιουργούνται τα μικρότερα αντικείμενα για τον εντοπισμό λεπτομερών χαρακτηριστικών της εικόνας. Το επίπεδο αυτό δημιουργήθηκε με σκοπό τον εντοπισμό των ειδών βλάστησης που επικρατούν στην περιοχή. Τα υπόλοιπα επίπεδα διαμορφώνονται πάνω από το πρώτο «*Create above*». Το δεύτερο επίπεδο (*Level 2*) δημιουργήθηκε πάνω από το πρώτο με σκοπό τη διάκριση των γενικών κατηγοριών της εικόνας. Οι κατηγορίες οι οποίες ταξινομήθηκαν στο επίπεδο αυτό είναι η αδιαπέρατα υλικά (γυμνή επιφάνεια, τεχνητή επιφάνεια), η βλάστηση, η

σκιά (δέντρων και κτιρίων) και το νερό (ποταμός). Το τρίτο επίπεδο (*Level 3*) παράγεται από επέκταση του δεύτερου και δημιουργήθηκε για να διακρίνει τις υποκατηγορίες γυμνή επιφάνεια, τεχνητή επιφάνεια, σκιά βλάστησης, σκιά κτιρίων, καλλιέργειες, κήπους, λιβάδια, θαμνότοπους και δάσος. Το τέταρτο επίπεδο (*Level 4*) εξιδανικεύει το προηγούμενο σε πολύ μεγαλύτερα αντικείμενα με βοηθητικό σκοπό την εύρεση ύπαρξης βλάστησης στην περιοχή.



Εικόνα 43. Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι περιορισμοί που τίθεται για τη δημιουργία τους



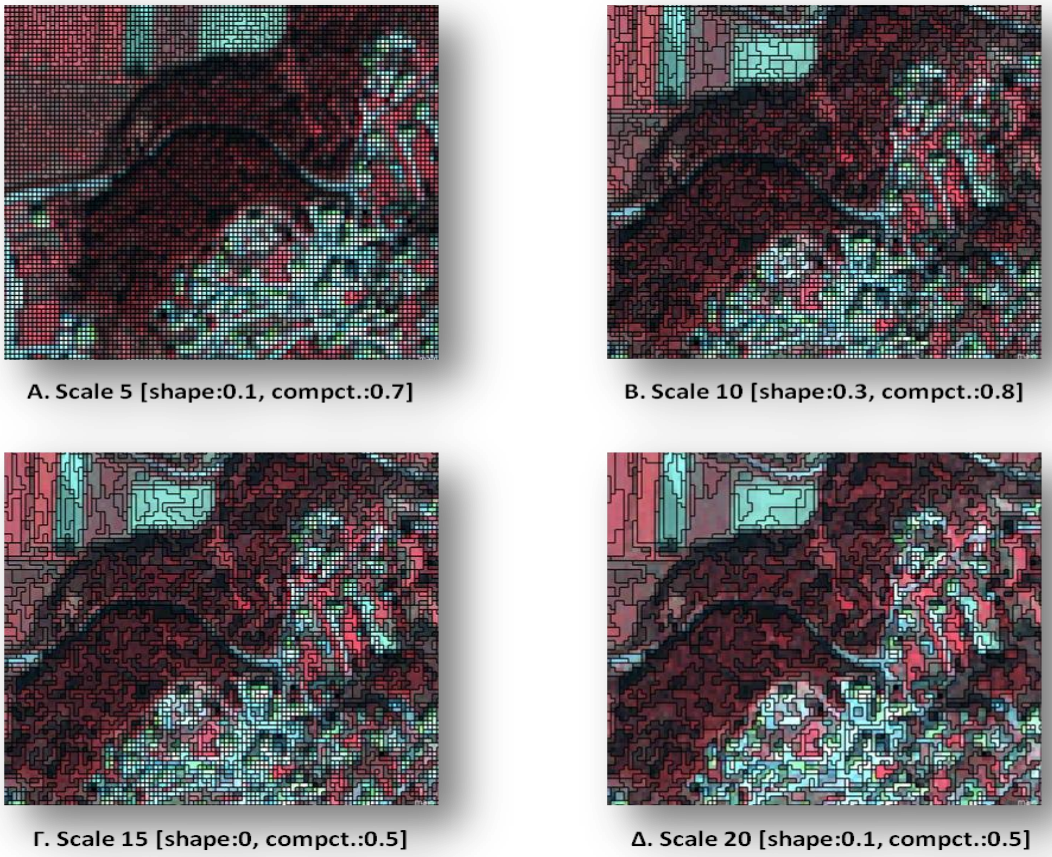
Εικόνα 44. Μεταβολή των αντικειμένων στα τέσσερα επίπεδα ταξινόμησης

5.4.2.1.1 Κατάτμηση 1ου Επιπέδου

Η κατάτμηση του 1ου επιπέδου αποτελεί το χαμηλότερο επίπεδο δημιουργίας αντικειμένων, σύμφωνα με το οποίο καθορίστηκαν οι υψηλότερες κατατμήσεις με τα μεγαλύτερα αντικείμενα. Σκοπός της κατάτμησης είναι η δημιουργία μικρών αντικειμένων, στα οποία προσδιορίζονται τα είδη βλάστησης που επικρατούν στην περιοχή.

Κατά το στάδιο εύρεσης καταλληλότερης κατάτμησης στο πρώτο επίπεδο έγιναν διάφορες δοκιμές κατατμήσεων με πολύ μικρή κλίμακα. Επίσης, για να πετύχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα σημαντική επιρροή ήταν ο καθορισμός του ποσοστού βαρύτητας χρώματος- σχήματος των αντικειμένων και ομαλότητας των ορίων τους, στα οποία δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές. Σύμφωνα με τις δοκιμές καθορίστηκαν οι κατάλληλοι παράγοντες δημιουργίας τμημάτων, τα οποία διαχωρίζουν τις χρήσεις γης ανάλογα με τις ανάγκες της έρευνας και το σκοπό του επιπέδου.

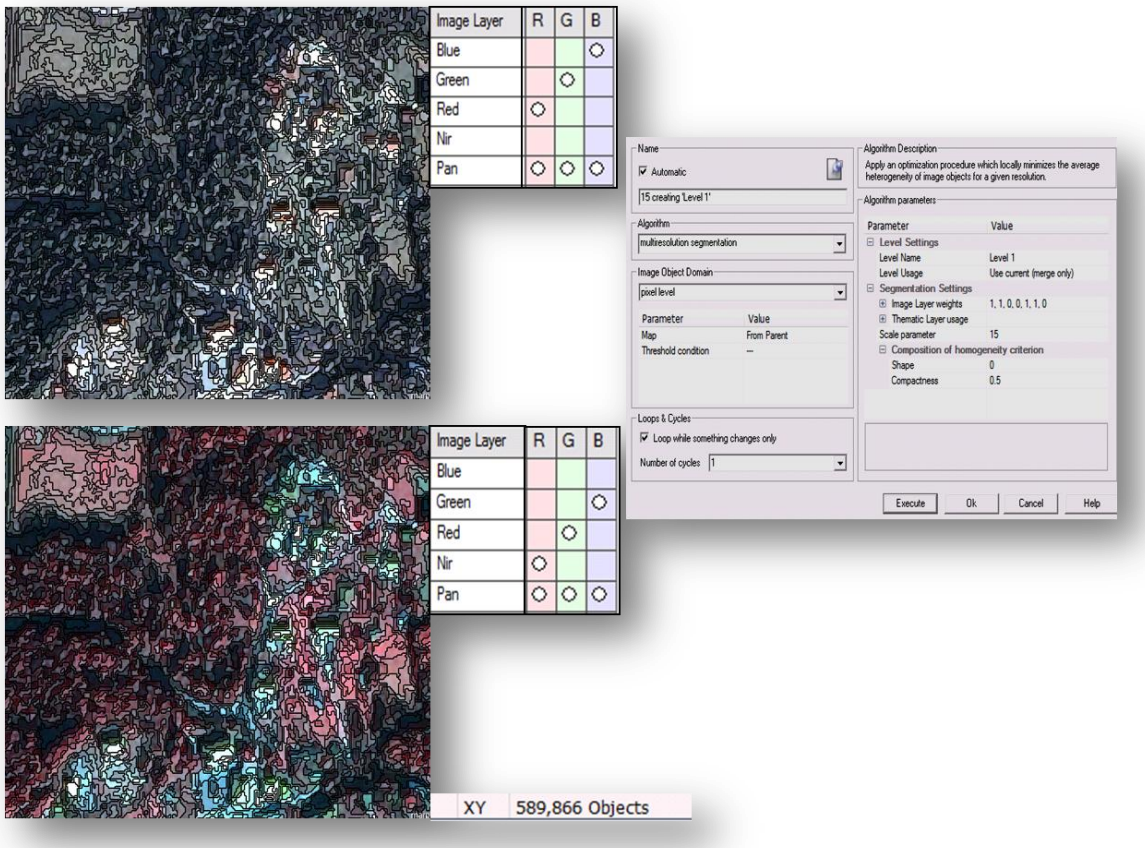
Στην Εικόνα 45 παρουσιάζονται κάποιες από τις δοκιμές που έγιναν για την επιλογή της κατάτμησης στο επίπεδο αυτό. Παρατηρείται ότι η κατάτμηση Α με κλίμακα 5 θεωρείται πολύ μικρή διότι δημιουργεί μεγάλο πλήθος αντικειμένων στο μέγεθος των εικονοστοιχείων, οπότε δεν εξυπηρετεί στη ταξινόμηση των αντικειμένων. Η κατάτμηση Β σε σύγκριση με τη Α δημιουργεί μεγαλύτερα αντικείμενα, αλλά στη κατάτμηση Γ τα αντικείμενα εσωκλείουν καλύτερα την πληροφορία για τον εντοπισμό των ειδών βλάστησης. Η κατάτμηση Δ εμφανίζεται με πολύ μεγάλο μέγεθος αντικειμένων, όπου γίνεται συγχώνευση των ειδών βλάστησης, οπότε χάνεται η πληροφορία. Για τον προσδιορισμό των ειδών βλάστησης καλύτερη επιλογή θεωρείται η Γ, σύμφωνα με την οποία υλοποιείται ο σκοπός του επιπέδου κατάτμησης.



Εικόνα 45. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο πρώτο επίπεδο (Level 1) στην εικόνα IKONOS '08

Στην Εικόνα 45 προβάλλεται η τελική επιλογή της κατάτμησης της εικόνας στο έγχρωμο σύνθετο RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα, το παράθυρο των περιορισμών που τίθενται για την κατάτμηση και τον αριθμό των αντικειμένων που δημιουργούνται. Για την κατάτμηση του πρώτου επιπέδου *(Level 1)* θεωρείται η κλίμακα (*scale*) να έχει την τιμή **15**. Λόγω του σκοπού της κατάτμησης, το σχήμα (*shape*) στο επίπεδο αυτό δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και επιλέγεται να πάρει την τιμή **0** και δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο χρώμα των αντικειμένων. Στα όρια των αντικειμένων κρίνεται κατάλληλη η επιλογή ίσης βαρύτητας της ομαλότητας (*smoothness*) και συμπαγότητας (*compactness*) με τιμή **0.5**.

Η εικόνα IKONOS 2008 αποτελεί μια pan- sharpen εικόνα, δηλαδή το πανχρωματικό κανάλι είναι ενσωματωμένο στα φασματικά κανάλια και η ανάλυση της εικόνας φτάνει στο 1 m. Η ανάλυση όλων των καναλιών που εμπεριέχονται στην εικόνα είναι η ίδια, οπότε καθορίζεται η ίδια τιμή βαρύτητας να είναι 1. Στην εικόνα είναι ενσωματωμένο και το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας της περιοχής (DEM), το οποίο διαθέτει 3 κανάλια που δεν συμμετέχουν στη διαδικασία της κατάτμησης, οπότε τους δίνεται η τιμή 0.

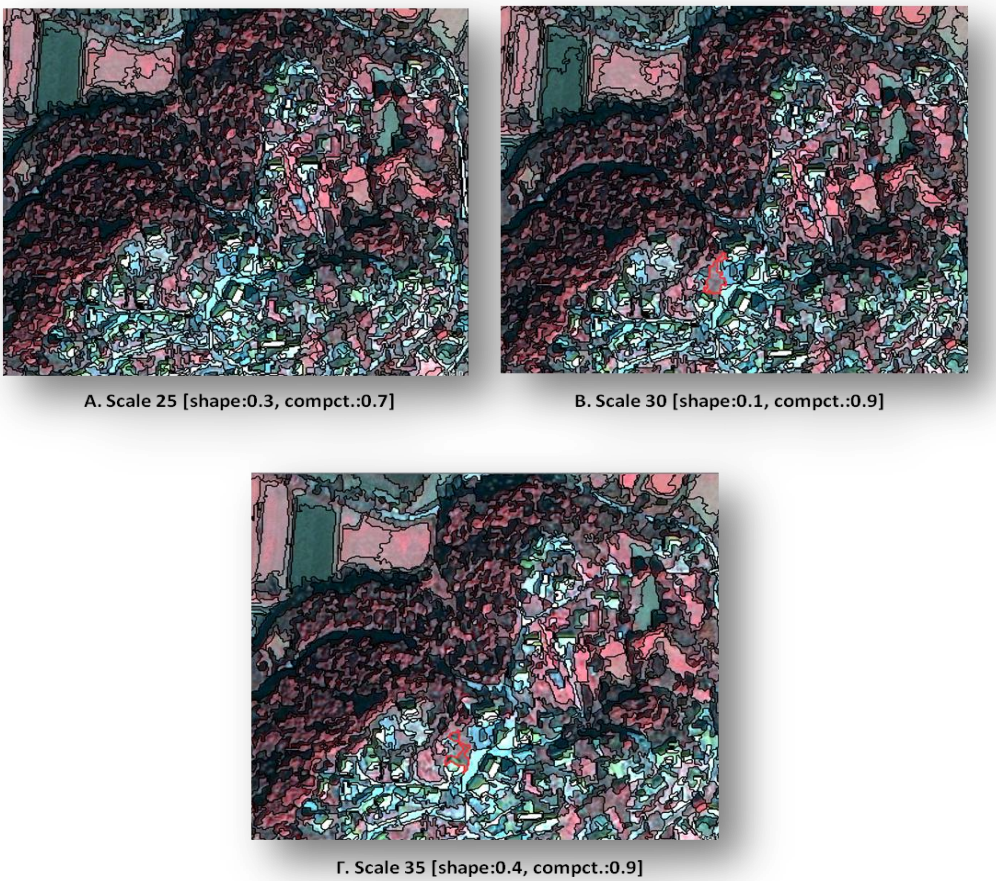


Εικόνα 46. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο πρώτο επίπεδο (Level 1) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.2.1.2 Κατάτμηση 2ου Επιπέδου

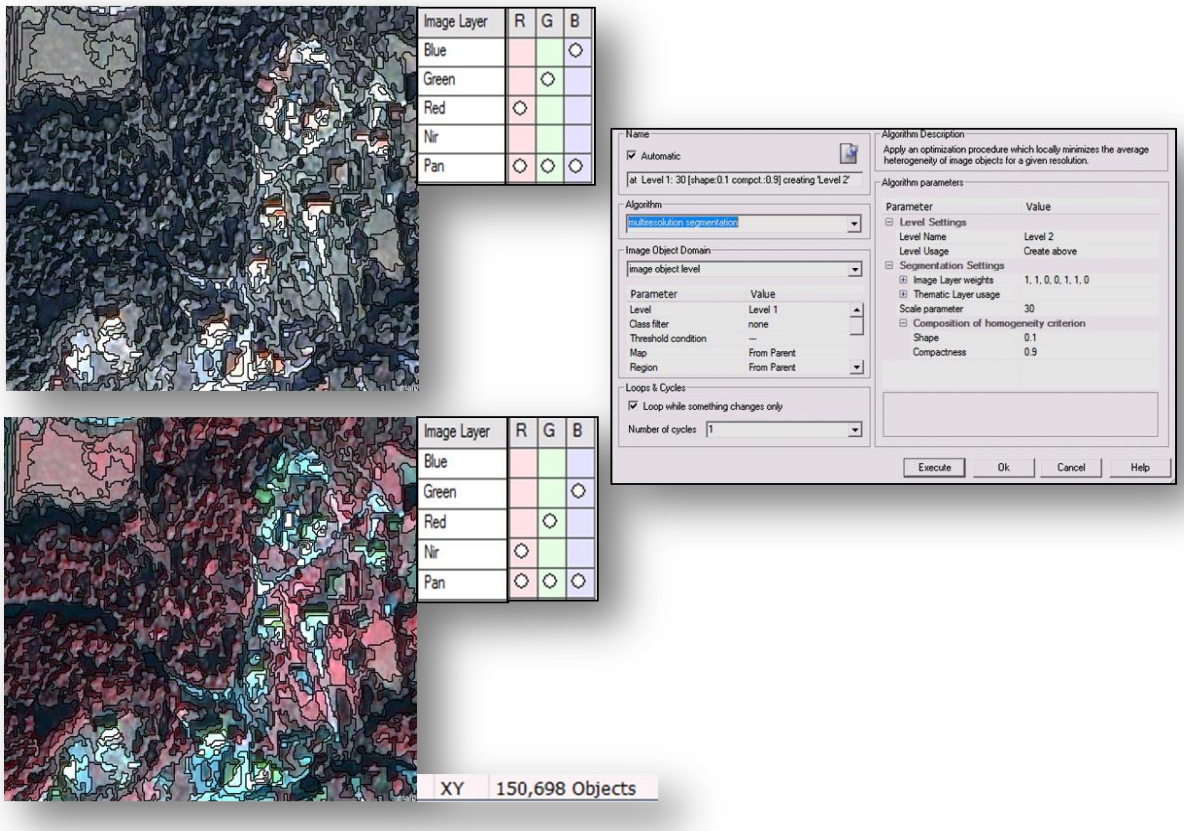
Το δεύτερο επίπεδο κατάτμησης διαμορφώνεται από ήδη παραγόμενα αντικείμενα του πρώτου επιπέδου. Η κλίμακα των αντικειμένων του επιπέδου αυτού είναι μεγαλύτερη από το προηγούμενο. Σκοπός της κατάτμησης του επιπέδου είναι η ταξινόμηση των γενικών χαρακτηριστικών των χρήσεων γης στην περιοχή. Για τη δημιουργία των αντικειμένων τίθενται περιορισμοί στη μετέπειτα ταξινόμηση του επιπέδου στις κατηγορίες της βλάστησης, των αδιαπέρατων υλικών, της σκιάς και του νερού. Για τη δημιουργία της κατάλληλης κατάτμησης σε αυτό το επίπεδο, η οποία να εξυπηρετεί το σκοπό του και να παράγει αντικείμενα από τα οποία καθορίζεται το τρίτο επίπεδο, έγιναν δοκιμές και καθορίστηκαν οι παράγοντες προσδιορισμού τους.

Στην Εικόνα 47 προβάλλονται κάποιες από τις δοκιμές που έγιναν στις παραμέτρους της κατάτμησης του επιπέδου, για την επιλογή της πιο κατάλληλης. Η κατάτμηση Α δίνει μεγάλη βαρύτητα στο σχήμα και εμφανίζει περισσότερο ευδιάκριτα τις καλλιέργειες, οι οποίες δεν συμμετέχουν στην ταξινόμηση του επιπέδου, οπότε το σχήμα δεν θεωρείται σημαντικός συντελεστής για το σκοπό της κατάτμησης. Η κατάτμηση Β συνενώνει περισσότερα αντικείμενα με όμοια πληροφορία, χωρίς να δώσει μεγάλη βαρύτητα στο σχήμα τους και παρατηρείται σαφή διάκριση των αντικειμένων σύμφωνα με το σκοπό της κατάτμησης. Στην κατάτμηση Γ, η κλίμακα των αντικειμένων είναι μεγαλύτερη, αλλά παρατηρείται στο επιλεγμένο αντικείμενο συγχώνευση σκιάς κτιρίου με τη βλάστηση, κάτι το οποίο αποσαφηνίζεται πλήρως στην κατάτμηση Β. Οι συντελεστές, οι οποίοι ορίζονται στην κατάτμηση Β διαθέτουν μεγαλύτερη ευκρίνεια στο σαφή διαχωρισμό των αντικειμένων.



Εικόνα 47. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο δεύτερο επίπεδο (Level 2)

Στην Εικόνα 48 παρουσιάζεται η επιλογή της ορθότερης κατάτμησης της εικόνας στο έγχρωμο σύνθετο RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα, το παράθυρο των περιορισμών που τίθενται για την κατάτμηση και ο αριθμός των αντικειμένων που δημιουργούνται. Για την κατάτμηση του δευτέρου επιπέδου (*Level 2*) ορίζεται η κλίμακα (*scale*) να έχει την τιμή **30**. Λόγω του σκοπού της κατάτμησης, το σχήμα (*shape*) στο επίπεδο αυτό δεν επηρεάζεται ο σκοπός της κατάτμησης, οπότε επιλέγεται να πάρει την τιμή **0.1** και δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο χρώμα (*color*) των αντικειμένων με τιμή **0.9**. Τα όρια των αντικειμένων επιλέγεται να είναι περισσότερο συμπαγή (*compactness*), χωρίς να επηρεάζεται η ομαλότητα του σχήματος των αντικειμένων, οπότε δίνεται η τιμή **0.9**. Η τιμή του βαθμού συμμετοχής των καναλιών στην κατάτμηση δεν μεταβάλλεται σε σύγκριση με το πρώτο επίπεδο.



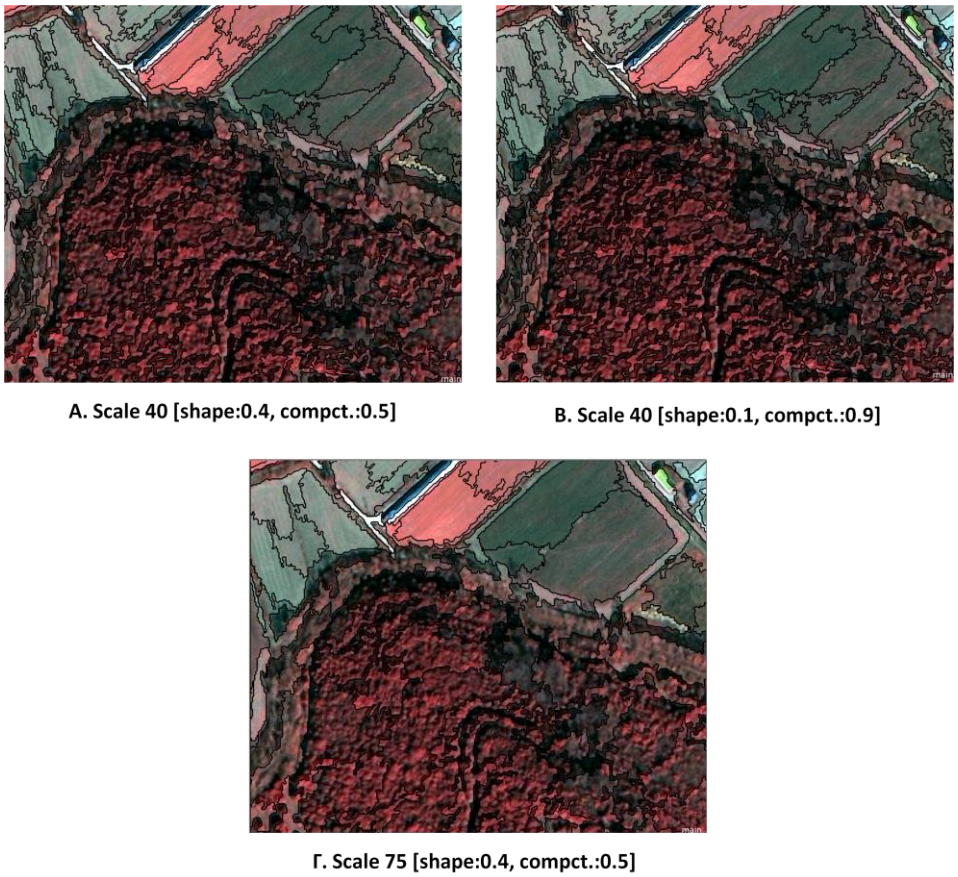
Εικόνα 48. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.2.1.3 Κατάτμηση 3^{ου} Επιπέδου

Το τρίτο επίπεδο κατάτμησης παράγεται πάνω από το δεύτερο επίπεδο. Τα αντικείμενα, τα οποία δημιουργούνται στο επίπεδο είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος από το προηγούμενο. Σκοπός του επιπέδου είναι να δημιουργήσει αντικείμενα τα οποία να ταξινομηθούν μετέπειτα σε γυμνή έκταση, τεχνητή επιφάνεια, σκιά κτιρίων, σκιά βλάστησης, καλλιέργειες, δάσος, κήπους σπιτιών, λιβαδότοπος και θαμνότοπος. Για την επίτευξη του σκοπού του επιπέδου τέθηκαν συντελεστές που προσδιορίζουν τις χρήσεις γης δημιουργώντας κατάλληλα αντικείμενα. Όπως και στα προηγούμενα επίπεδα έγιναν κάποιες δοκιμές στις τιμές των περιορισμών, για την επιλογή της περισσότερο ευκρινούς κατάτμησης.

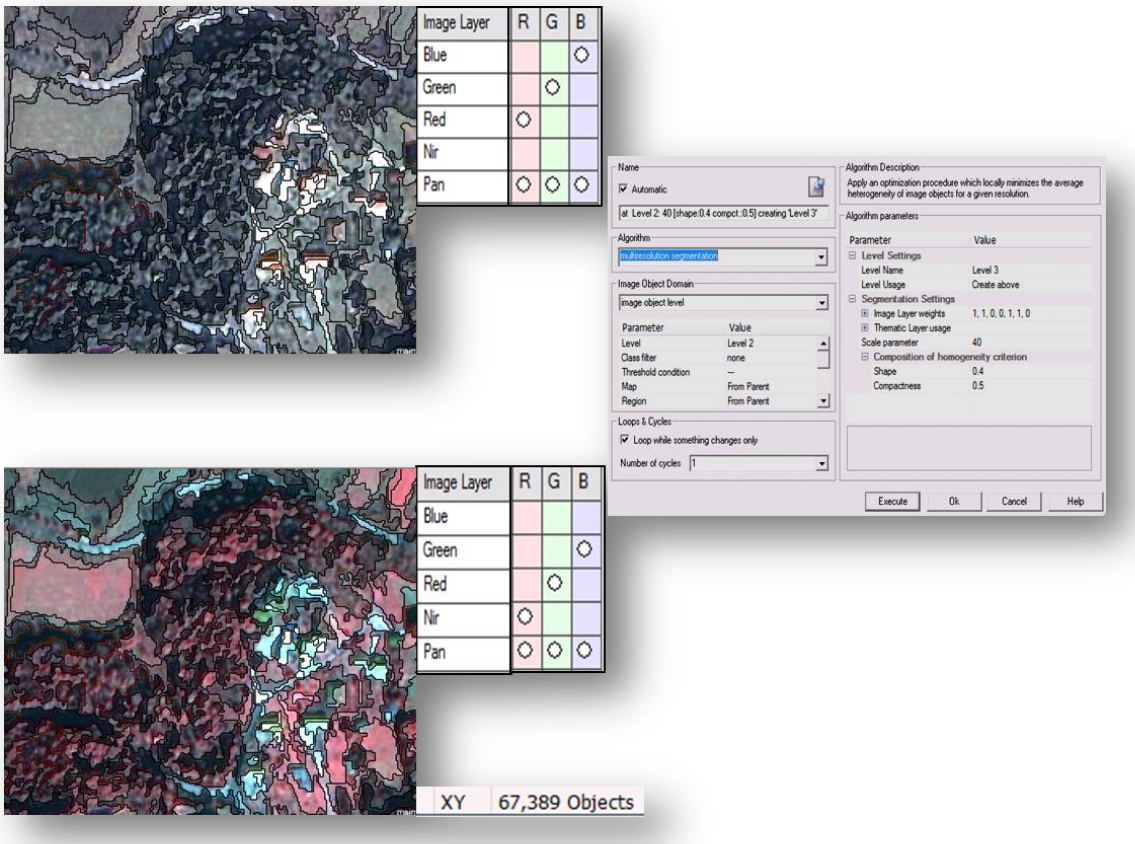
Στην Εικόνα 49 προβάλλονται οι δοκιμές που διεξήχθηκαν για την επιλογή της κατάλληλης κατάτμησης του επιπέδου. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν πάνω από το δεύτερο επίπεδο κατάτμησης. Η κατάτμηση Α διαμορφώνεται με βάση το σχήμα των αντικειμένων. Για την επίτευξη του σκοπού στο επίπεδο εντάσσεται ο συντελεστής σχήμα, διότι διαχωρίζονται οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις από τις λοιπές κατηγορίες. Στη Β κατάτμηση χρησιμοποιώντας την ίδια κλίμακα με την Α, αλλά με μικρότερη βαρύτητα στο σχήμα παρατηρείται μεγαλύτερο πλήθος αντικειμένων να χαρακτηρίζουν μια γεωργική έκταση, γεγονός το οποίο υπάρχει πιθανότητα να

δημιουργήσει σφάλμα και να ενταχθεί κάποιο αντικείμενο σε άλλη κατηγορία. Στη Γ κατάτμηση τίθεται συντελεστής κλίμακας το 100, δηλαδή δημιουργία μεγάλων αντικειμένων στην εικόνα και με τις ίδιες τιμές βαρύτητας στο σχήμα των αντικειμένων και στην ομαλότητα των ορίων με την Α. Στα μεγάλα αντικείμενα εσωκλείεται περισσότερη πληροφορία σε ένα αντικείμενο, ενδεχόμενο το οποίο εμφανίζεται αντικείμενο με θαμνώδη και δασική βλάστηση. Στην προκειμένη μελέτη επιλέγεται η κατάτμηση Α, η οποία πληροί τις προϋποθέσεις για την επίτευξη του σκοπού του επιπέδου.



Εικόνα 49. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο τρίτο επίπεδο (Level 3)

Στην Εικόνα 50 απεικονίζεται η ορθότερη κατάτμηση του επιπέδου στο έγχρωμο σύνθετο RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα, το παράθυρο με τους περιορισμούς που τίθενται για την κατάτμηση και τον αριθμό των αντικειμένων που δημιουργούνται. Για την κατάτμηση του τρίτου επιπέδου (*Level 3*) ορίζεται η κλίμακα (*scale*) να έχει την τιμή **40**. Για την επίτευξη του σκοπού της κατάτμησης, με την αύξηση της βαρύτητας στη συμμετοχή του σχήματος (*shape*) εξυπηρετείται η διάκριση των γεωργικών καλλιεργειών και των κτιρίων, οπότε επιλέγεται να πάρει την τιμή **0.4**. Για τον ορισμό της τιμής των ορίων των αντικειμένων κρίνεται κατάλληλη η επιλογή ίσης βαρύτητας της ομαλότητας (*smoothness*) και συμπαγότητας (*compactness*) με τιμή **0.5**. Η τιμή του βαθμού συμμετοχής των καναλιών στην κατάτμηση δεν μεταβάλλεται σε σύγκριση με τα παραπάνω επίπεδα.

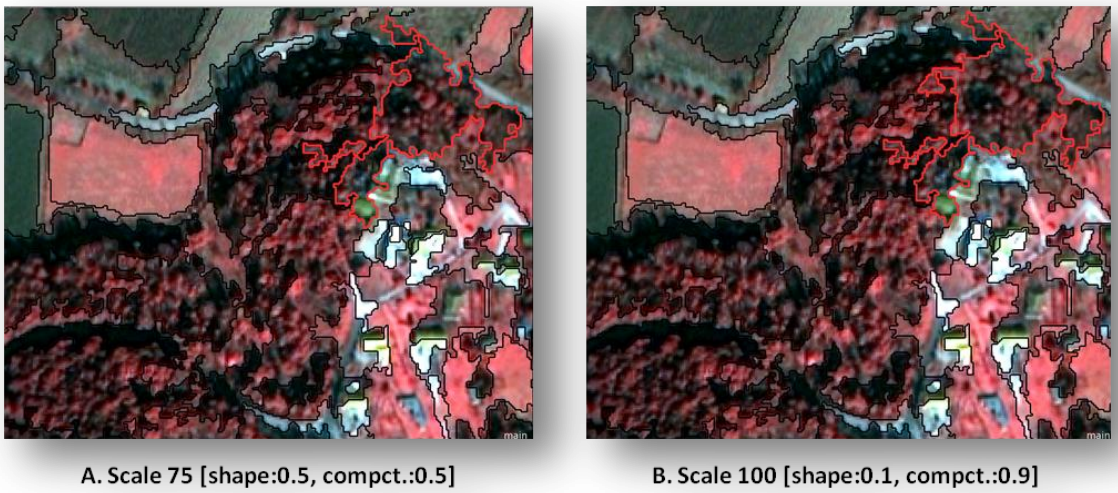


Εικόνα 50. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.2.1.4 Κατάτμηση 4ου Επιπέδου

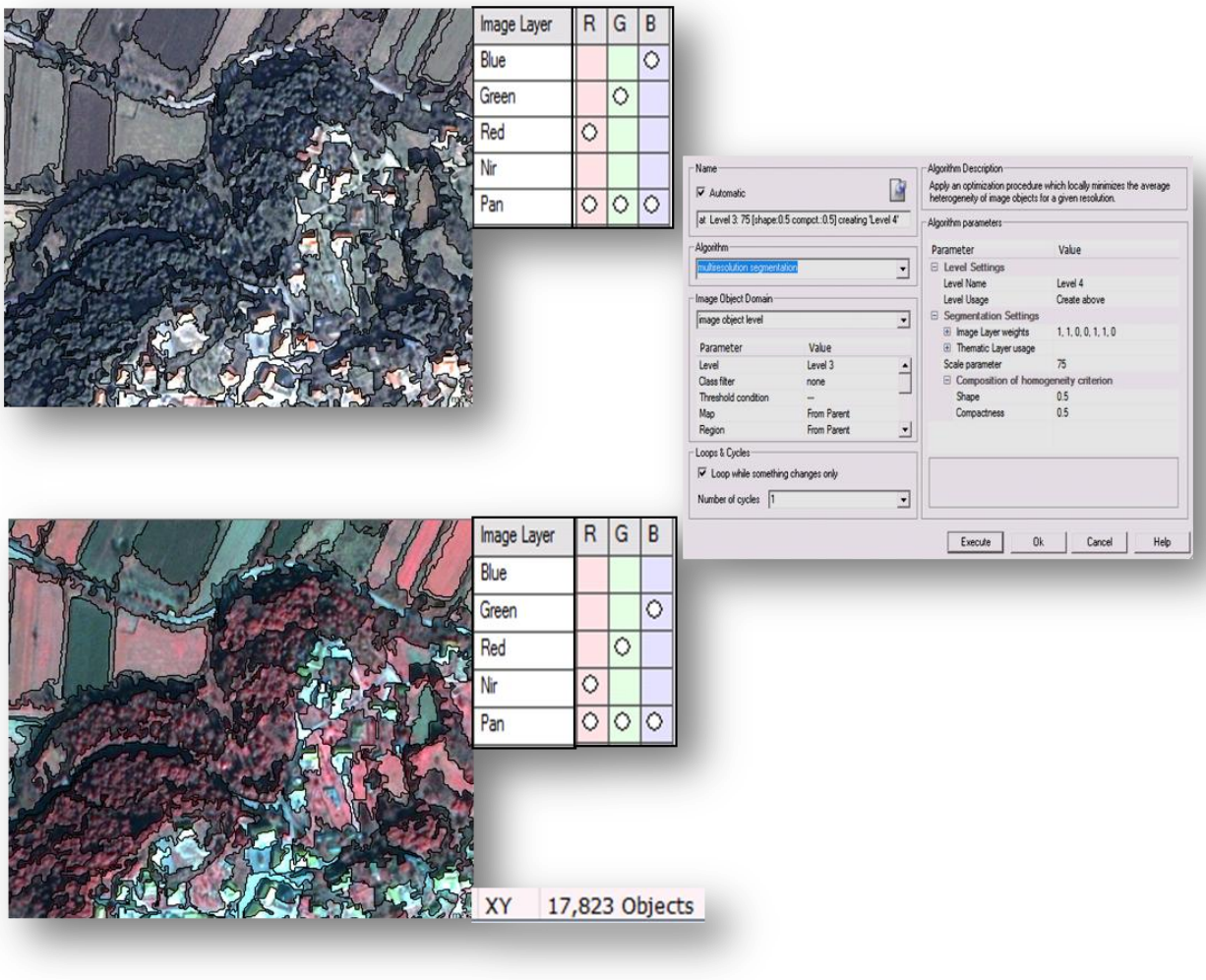
Το τέταρτο επίπεδο κατάτμησης παράγεται πάνω από το τρίτο επίπεδο. Τα αντικείμενα, τα οποία δημιουργούνται στο επίπεδο είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος από το προηγούμενο. Το επίπεδο δημιουργείται για βοηθητικό σκοπό στην ταξινόμηση και εξάγει τη βλάστηση στην περιοχή έρευνας. Όπως και στα προηγούμενα επίπεδα έγιναν δοκιμές στις τιμές των περιορισμών, για την επιλογή της περισσότερο ευκρινούς κατάτμησης.

Στην Εικόνα 51 προβάλλονται οι δοκιμές που εκτελέστηκαν για την επιλογή της κατάτμησης στην εξαγωγή της βλάστησης. Οι δύο κατατμήσεις οι οποίες δοκιμάστηκαν με διαφορετική κλίμακα και διαφορετικές τιμές στους περιορισμούς δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές, οπότε επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η κατάτμηση Α με τη μικρότερη κλίμακα για την κατάτμηση της εικόνας.



Εικόνα 51. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο τρίτο επίπεδο (Level 3)

Στην Εικόνα 52 προσδιορίζεται η διεξαγωγή της ορθότερης κατάτμησης του επιπέδου σε έγχρωμο σύνθετο RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα, το παράθυρο με τους περιορισμούς που τίθενται για την κατάτμηση και ο αριθμός των αντικειμένων που δημιουργούνται. Για την κατάτμηση του τέταρτου επιπέδου (*Level 4*) ορίζεται η κλίμακα (*scale*) να έχει την τιμή **75.** Για την επίτευξη του σκοπού της κατάτμησης, ορίζεται ίσο ποσοστό συμμετοχής στο σχήμα (*shape*) και στο χρώμα (color) των αντικειμένων, οπότε επιλέγεται να πάρουν την τιμή **0.5**. Για τον ορισμό της τιμής των ορίων των αντικειμένων κρίνεται κατάλληλη η επιλογή ίσης βαρύτητας της ομαλότητας (*smoothness*) και συμπαγότητας (*compactness*) με τιμή **0.5**. Η τιμή του βαθμού συμμετοχής των καναλιών στην κατάτμηση δεν μεταβάλλεται σε σύγκριση με τα παραπάνω επίπεδα.



Εικόνα 52. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008 στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

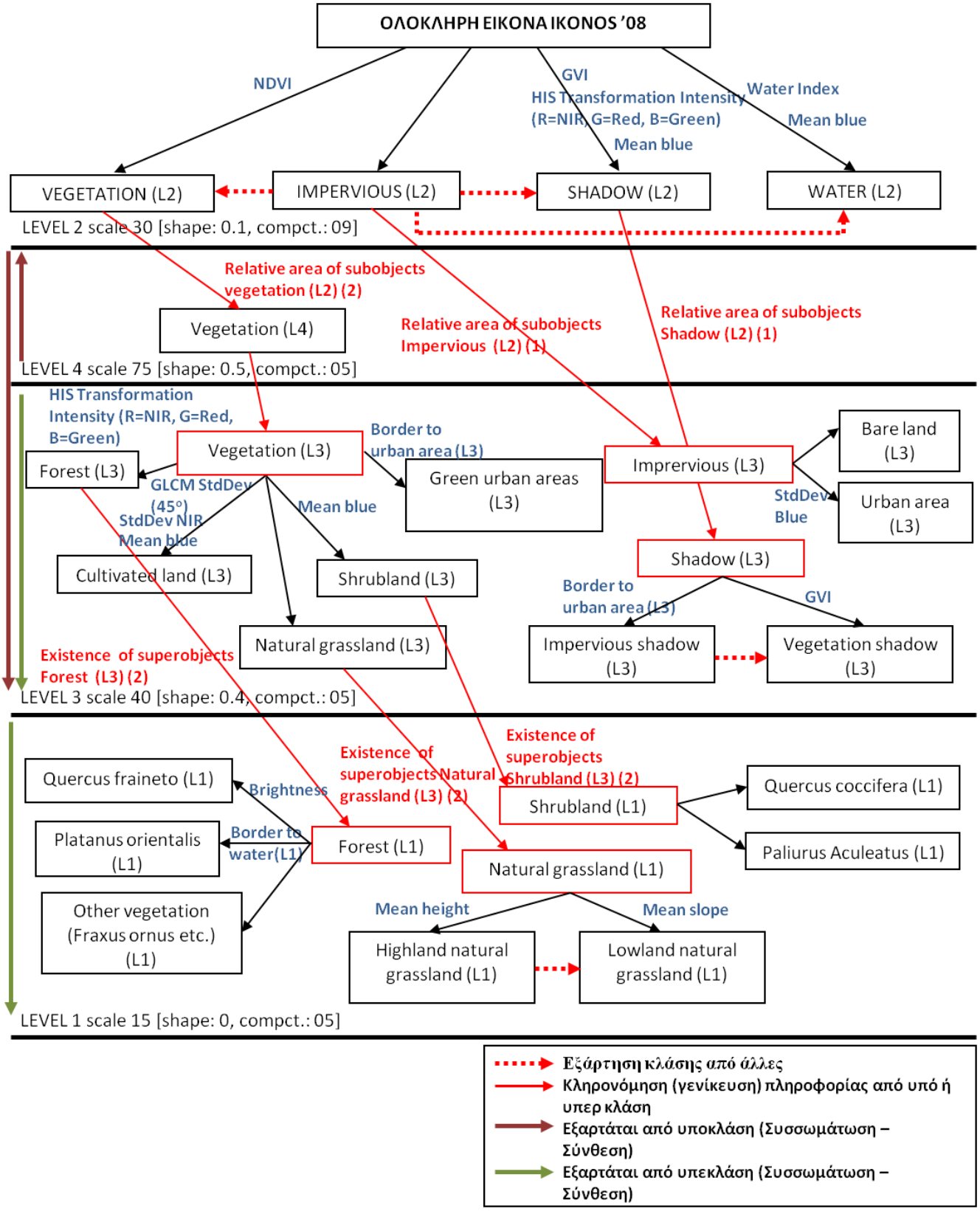
5.4.2.2 Ταξινόμηση επιπέδων κατάτμησης

Καθώς ολοκληρώνεται η κατάτμηση και δημιουργούνται τα επίπεδα ταξινόμησης, έπειτα ορίζεται η βάση γνώσης της ταξινόμησης για τον εντοπισμό των χρήσεων γης. Για τη δημιουργία και την ολοκλήρωση της ταξινόμησης τίθεται ως προϋπόθεση η γνώση των χαρακτηριστικών της εικόνας και των χρήσεων γης.

Η εικόνα IKONOS 2008 αποτελεί μια pan-sharpen εικόνα με 1 m ανάλυση. Η εικόνα διαθέτει ιδιαίτερη λεπτομέρεια των χρήσεων γης και προσδιορίζεται η ταξινόμηση των χρήσεων γης εντοπίζοντας ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κατηγοριών.

Το διάγραμμα 3 παρουσιάζει το διάγραμμα ροής της ταξινόμησης διακρίνοντας τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης και προσδιορίζοντας τη φυσική βλάστηση της περιοχής μελέτης. Για την τελική απόφαση χρησιμοποίησης του κατάλληλου συνδυασμού χαρακτηριστικών ταξινόμησης δοκιμάστηκαν διάφορα χαρακτηριστικά, τα οποία προσδιορίστηκαν είτε από ήδη υπάρχουσες

μελέτες, είτε από προσωπική έρευνα. Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης ακολουθείται Ιεραρχική Ταξινόμηση (*Hierarchy Classification*).

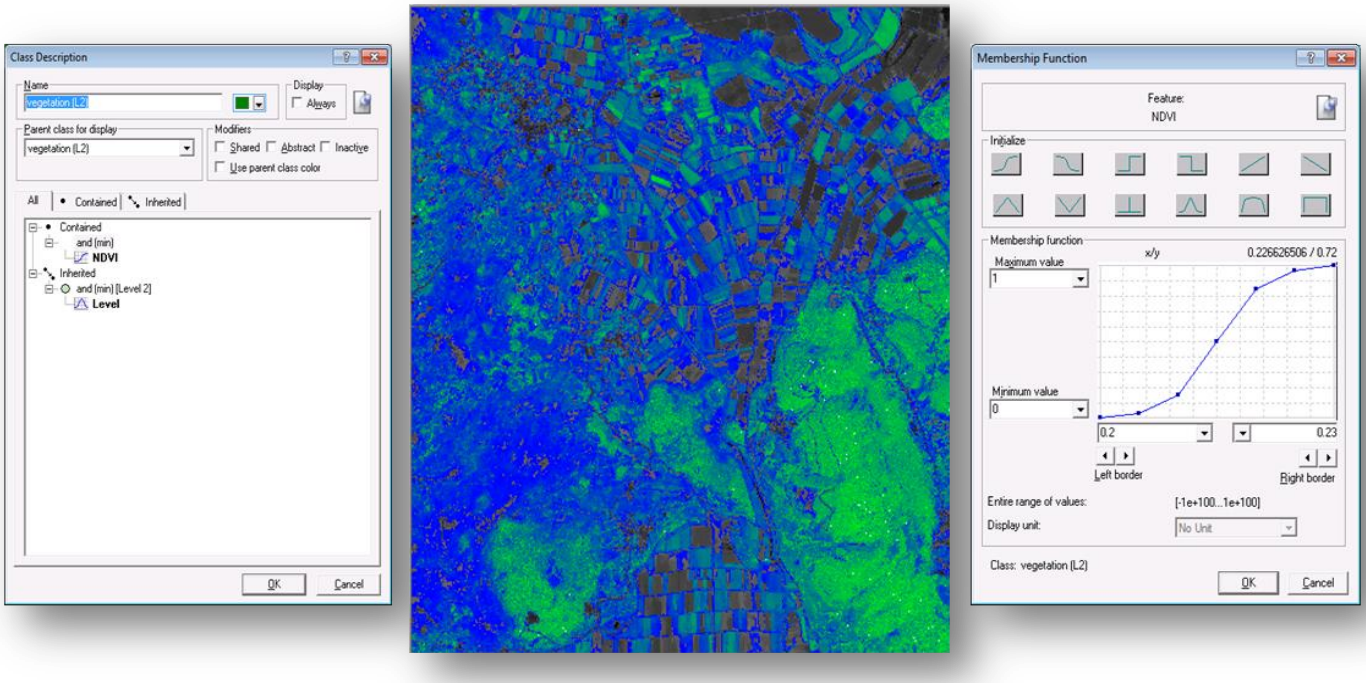


Διάγραμμα 3. Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας ΙΚΟΝΟS '08

5.4.2.2.1 Ταξινόμηση 2ου Επιπέδου

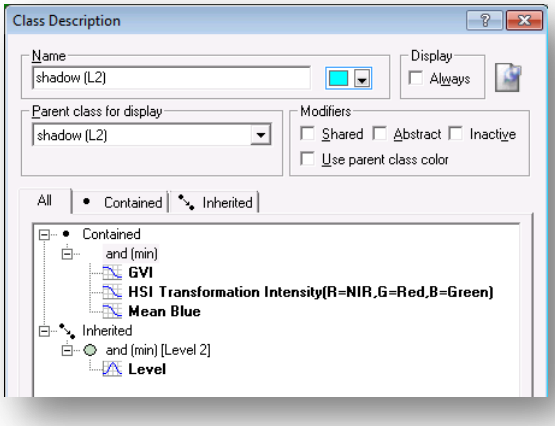
Το δεύτερο επίπεδο κατάτμησης τίθεται ως κατάλληλο για την ταξινόμηση των πρωτογενών χρήσεων γης. Οι παράγοντες με τους οποίους καθορίζεται το επίπεδο και τα αποτελέσματα των αντικειμένων, τα οποία δημιουργούνται είναι κατάλληλα για τον προσδιορισμό των κατηγοριών. Οι χρήσεις γης, οι οποίες ταξινομούνται σε αυτό το επίπεδο, είναι η αδιαπέραστη επιφάνεια (*impervious*), η βλάστηση (*vegetation*), η σκιά (*shadow*) και το νερό (*water*). Κάθε χρήση προσδιορίζεται με την εφαρμογή αλγορίθμων και τις διάφορες τιμές των χαρακτηριστικών τους, ώστε να προσαρμοστούν στα δεδομένα των ψηφιακών τιμών της νέας απεικόνισης.

Για την ταξινόμηση της βλάστησης «*vegetation*» χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης βλάστησης «*NDVI*». Ο δείκτης αυτός αποτελεί τον πλέον κατάλληλο για τον προσδιορισμό της βλάστησης. Οι τιμές ασάφειας που δόθηκαν στο δείκτη «*NDVI*» για την εξαγωγή της βλάστησης είναι ***0.2*** *έως* ***0.23*** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.



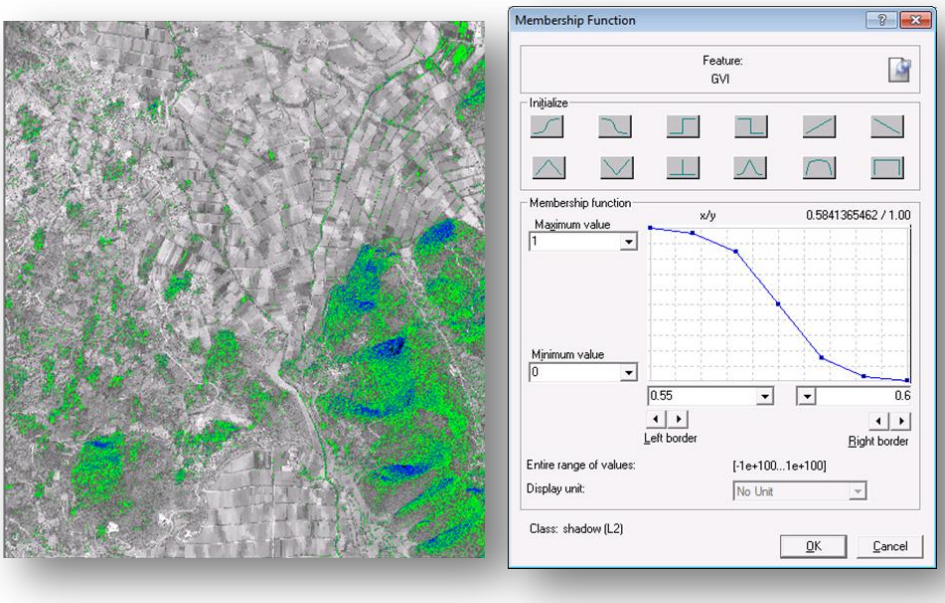
Εικόνα 53. Απεικόνιση της βλάστησης σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης NDVI στις τιμές ασάφειας 0.2 έως 0.23 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Η ταξινόμηση της σκιάς «*shadow*» χρήζει ιδιαίτερης μεταχείρισης. Έπειτα από δοκιμές που έγιναν, ο πιο κατάλληλος συνδυασμός για την εξαγωγή της σκιάς ήταν ο συνδυασμός του πράσινου δείκτη βλάστησης «*GVI*», ο μετασχηματισμός της έντασης των καναλιών «*HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)*» και η μέση τιμή στο μπλε κανάλι «*Mean Blue*».



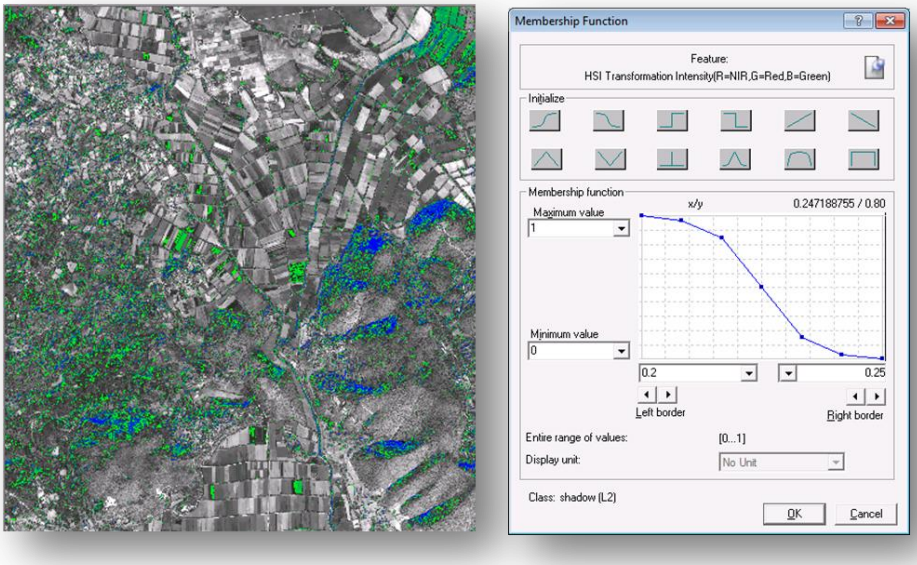
Εικόνα 54. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά «shadow (L2)»

Οι τιμές ασάφειας του πράσινου δείκτη βλάστησης «*GVI*» είναι **0.55** έως **0.6** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



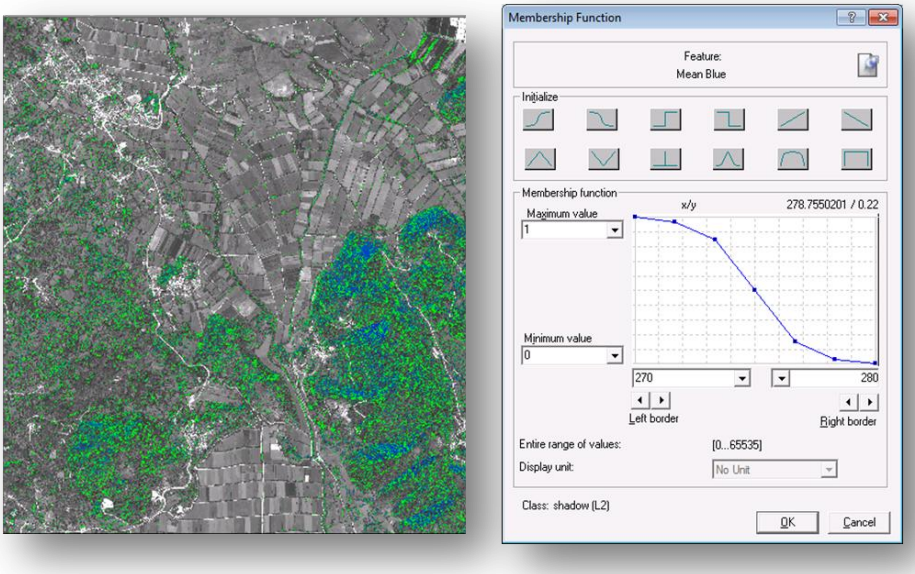
Εικόνα 55. Απεικόνιση της σκιάς σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη «GVI» στις τιμές ασάφειας 0.55 έως 0.6 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Οι τιμές ασάφειας του προσδιορισμού έντασης των καναλιών «*HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)*» είναι **0.2** έως **0.25** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



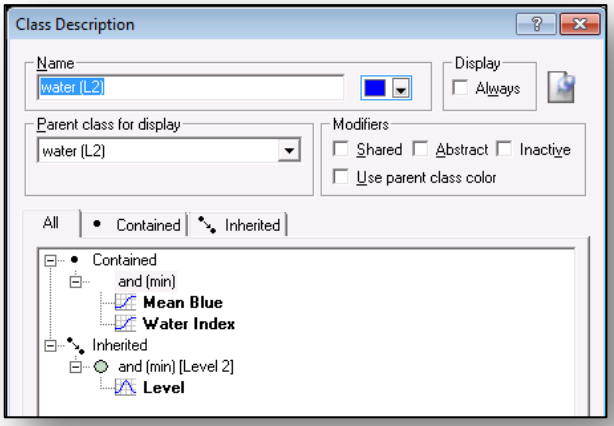
Εικόνα 56. Απεικόνιση της σκιάς σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του «HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)» στις τιμές ασάφειας 0.2 έως 0.25 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Οι τιμές ασάφειας της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι «*Mean Blue*» είναι **270** έως **280** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



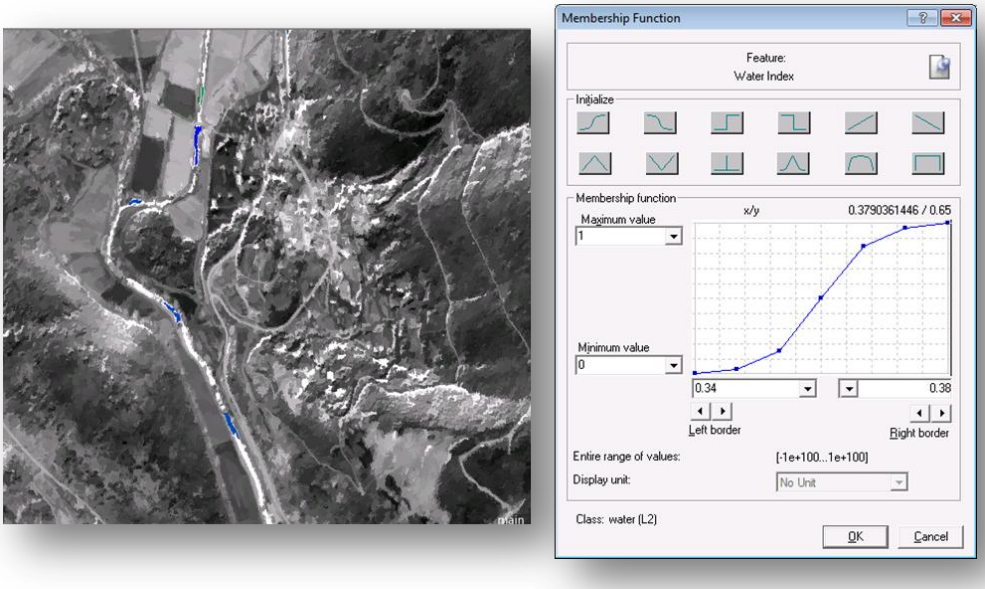
Εικόνα 57. Απεικόνιση της σκιάς σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή Mean Blue στις τιμές ασάφειας 270 έως 280 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Το ποτάμι στην περιοχή έρευνας προβάλλεται στην κατηγορία «*water*» και προσδιορίζεται από το δείκτη νερού «*Water Index*» και τη μέση τιμή στο μπλε κανάλι «*Mean Blue*».



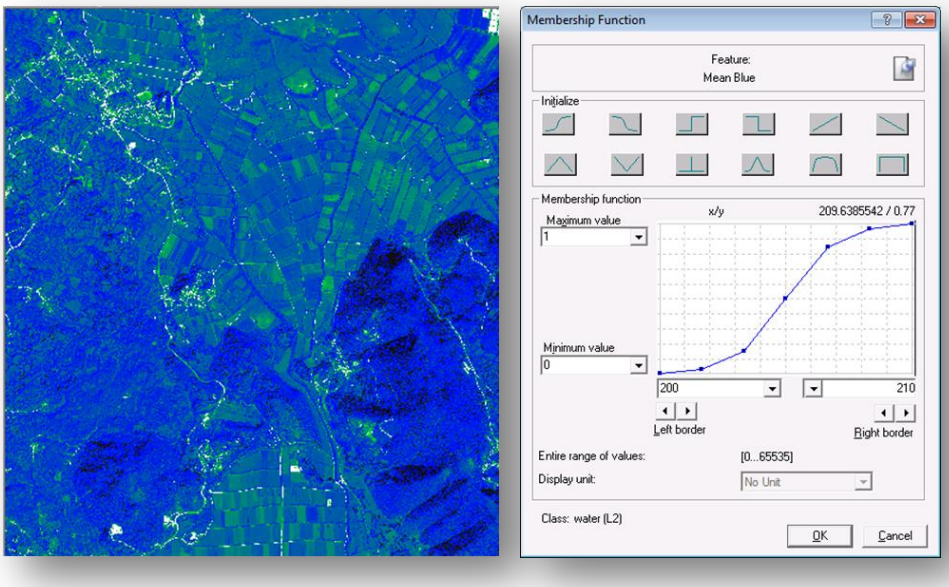
Εικόνα 58. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το νερό «water (2)»

Οι τιμές ασάφειας του δείκτη νερού «*Water Index*» κυμαίνονται από **0.34** έως **0.38** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.



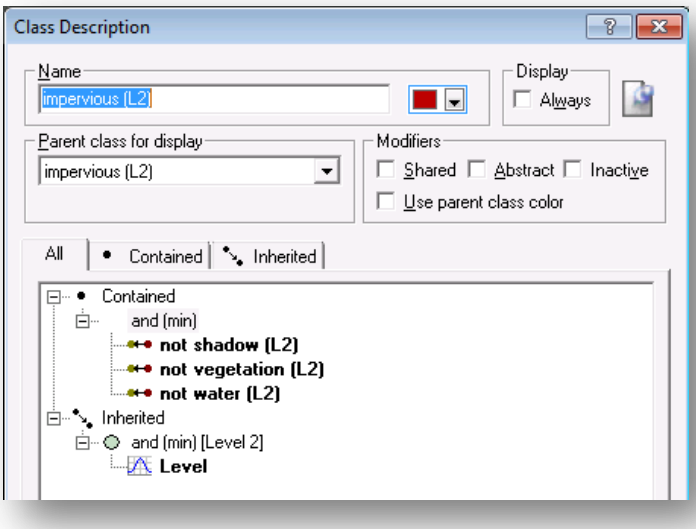
Εικόνα 59. Απεικόνιση του νερού «water» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή «Water Index» στις τιμές ασάφειας 0.34 έως 0.36 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Οι τιμές ασάφειας της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι «*Mean Blue*» κυμαίνονται από **200** έως **210** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης. Ο κανόνας χρησιμοποιείται διότι υπάρχουν σφάλματα σε κάποια αντικείμενα, τα οποία εμφανίζονται ως νερό και με την εφαρμογή του κανόνα ταξινομούνται στην κατηγορία την οποία ανήκουν.



Εικόνα 60. Απεικόνιση του νερού «water» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή «Mean Blue» στις τιμές ασάφειας 200 έως 210με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

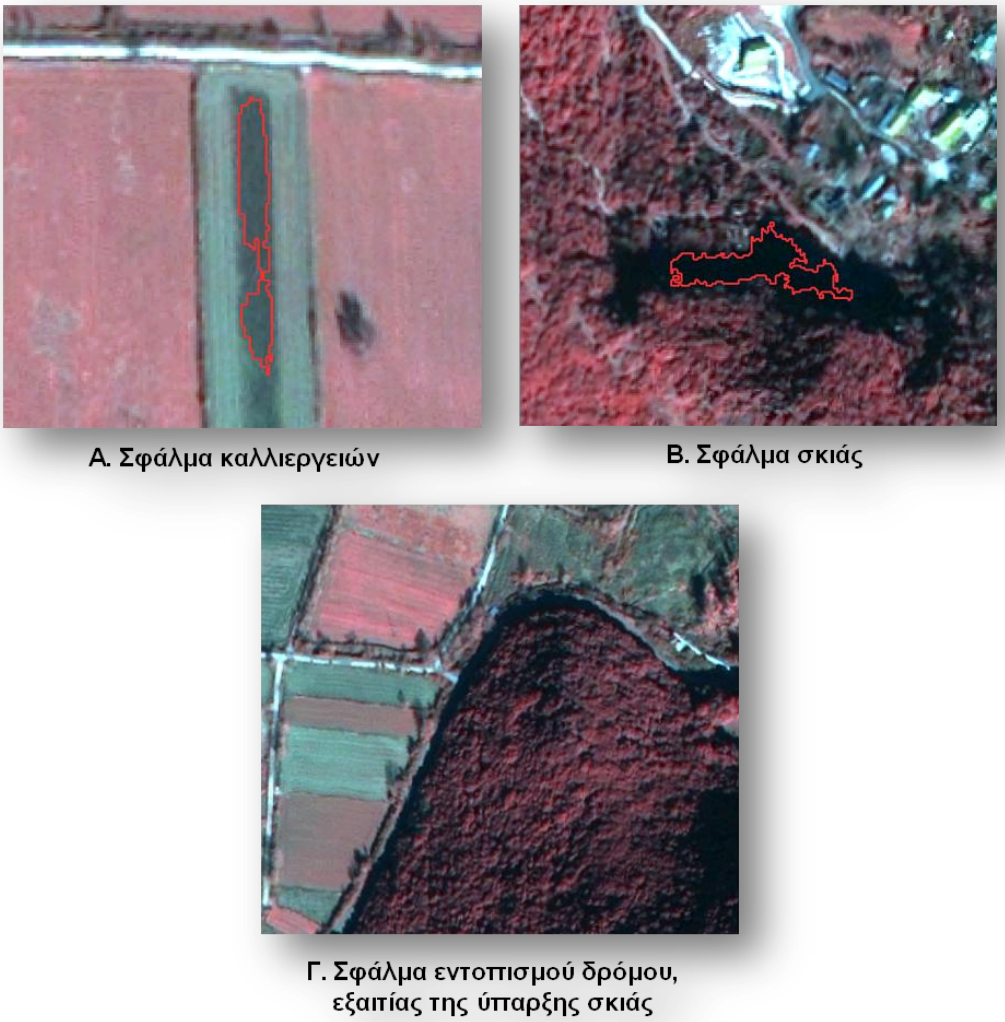
Για τον ορισμό των αδιαπέρατων υλικών «*Impervious (L2)*» και εφόσον ορίσθηκαν οι υπόλοιπες κατηγορίες, ορίζεται η περιοχή απορρίπτοντας τις κλάσεις που δεν ανήκουν σε αυτή. Δηλαδή, γίνεται ο συνδυασμός των κανόνων «*not shadow (L2)*» **and** «*not vegetation (L2)*» **and** «*not water (L2)*».



Εικόνα 61. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα αδιαπέρατα υλικά «impervious (L2)»

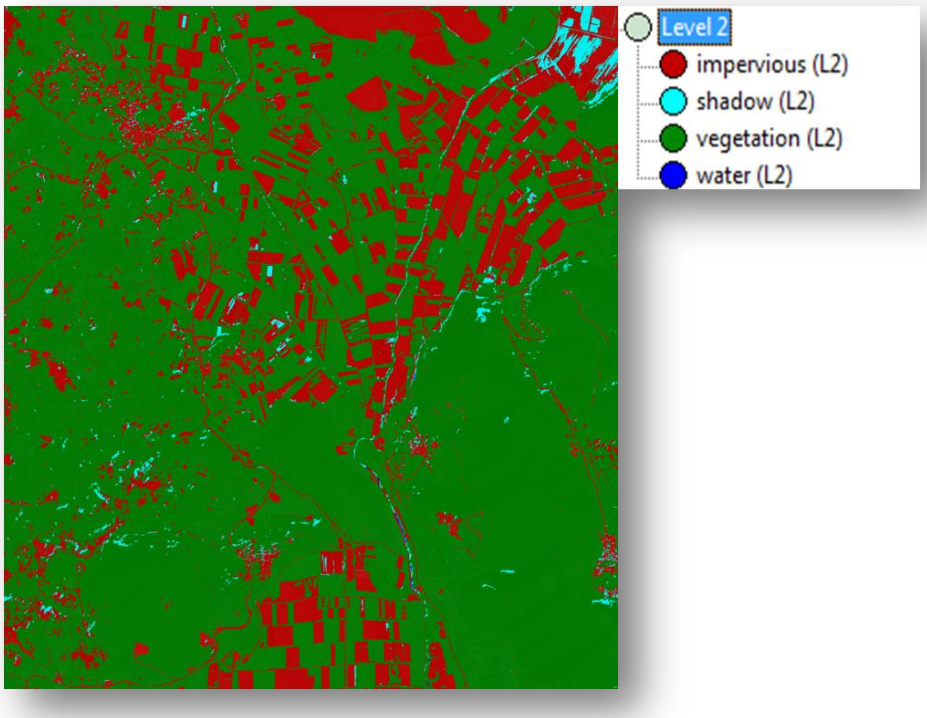
Στην ταξινόμηση του επιπέδου προέκυψαν προβλήματα τα οποία δημιουργούν σφάλματα στην ταξινόμηση (Εικόνα 62). Σημαντικό πρόβλημα εντοπίζεται σε αγροτεμάχια, τα οποία έχουν υποστεί μεγάλης διάρκειας αγρανάπαυση, οπότε τα αντικείμενα αποκτούν την ίδια φασματική υπογραφή με τη σκιά και ταξινομούνται σε αυτή τη κατηγορία (Εικόνα Α). Επίσης, σφάλμα

προκύπτει εξαιτίας της έντονης σκιάς που εμφανίζεται σε περιοχές με έντονη κλίση, οπότε χάνεται η πληροφορία των αντικειμένων, διότι η φασματική τους υπογραφή αποκτάει αντίστοιχη δραστηριότητα με αυτή του νερού (Εικόνα Β). Ένα ακόμη πρόβλημα που προκύπτει κατά την ταξινόμηση είναι η επικάλυψη χρήσεων γης με σκιά. Τα αντικείμενα, τα οποία αντιπροσωπεύουν τη σκιά, στην πραγματικότητα ανήκουν σε κάποια χρήση γης, από την οποία χάνεται η πληροφορία(Εικόνα Γ).



Εικόνα 62. Προβλήματα που προκύπτουν κατά την ταξινόμηση της εικόνας

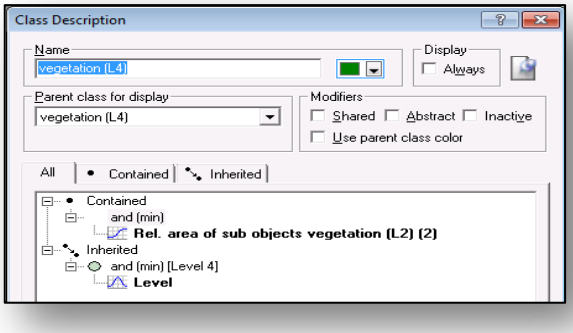
Ο συνδυασμός των αλγορίθμων και των τιμών των χαρακτηριστικών, τα οποία ορίζονται, ολοκληρώνει τη διαδικασία ιεραρχικής ταξινόμησης του επιπέδου. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης προβάλλονται στην Εικόνα 63.



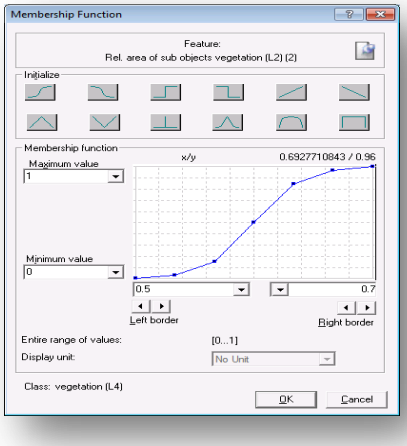
Εικόνα 63. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας IKONOS '08

5.4.2.2.2 Ταξινόμηση 4ου Επιπέδου

Σκοπός της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου είναι η εξαγωγή της βλάστησης. Για να πετύχουμε το διαχωρισμό της βλάστησης στο τρίτο επίπεδο, δημιουργείται το τέταρτο επίπεδο, το οποίο αποτελείται από μεγάλα αντικείμενα. Η λειτουργία του επιπέδου είναι βοηθητική και εξυπηρετεί τη συνένωση μικρότερων αντικειμένων, τα οποία δίνουν όμοια πληροφορία για τη βλάστηση. Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης κληρονομείται η πληροφορία από το δεύτερο επίπεδο. Η επίτευξη του σκοπού γίνεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της σχέσης των χαρακτηριστικών με υπό-αντικείμενα «*Relations to sub-objects*». Στην προκειμένη περίπτωση κληρονομούνται τα χαρακτηριστικά της βλάστησης από το δεύτερο επίπεδο. Η λειτουργία αυτή προσδιορίζεται με τον κανόνα σχετικής επιφάνειας, με τα υπό-αντικείμενα της βλάστησης «*Relative area of sub-objects vegetation (L2) (2)*», οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από **0.5** έως **0.7** 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, τα οποία δημιουργήθηκαν, το 60% εμπεριέχει βλάστηση, τότε αυτή η επιφάνεια μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία της βλάστησης «vegetation (L4)».



Εικόνα 64. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση «vegetation (L4)»



Εικόνα 65. Συνάρτηση και όρια συμμετοχής, τα οποία δηλώνουν ότι το 60% ενός αντικειμένου έχει χαρακτηρισθεί ως βλάστηση στο δεύτερο επίπεδο



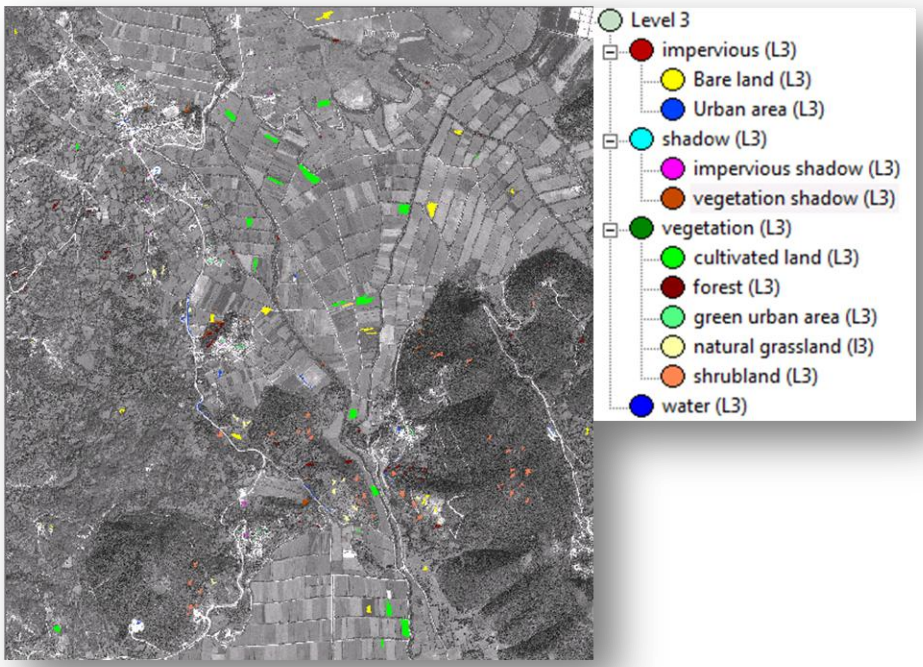
Εικόνα 66. Ταξινόμηση στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) της εικόνας IKONOS '08

5.4.2.2.3 Ταξινόμηση 3^{ου} Επιπέδου

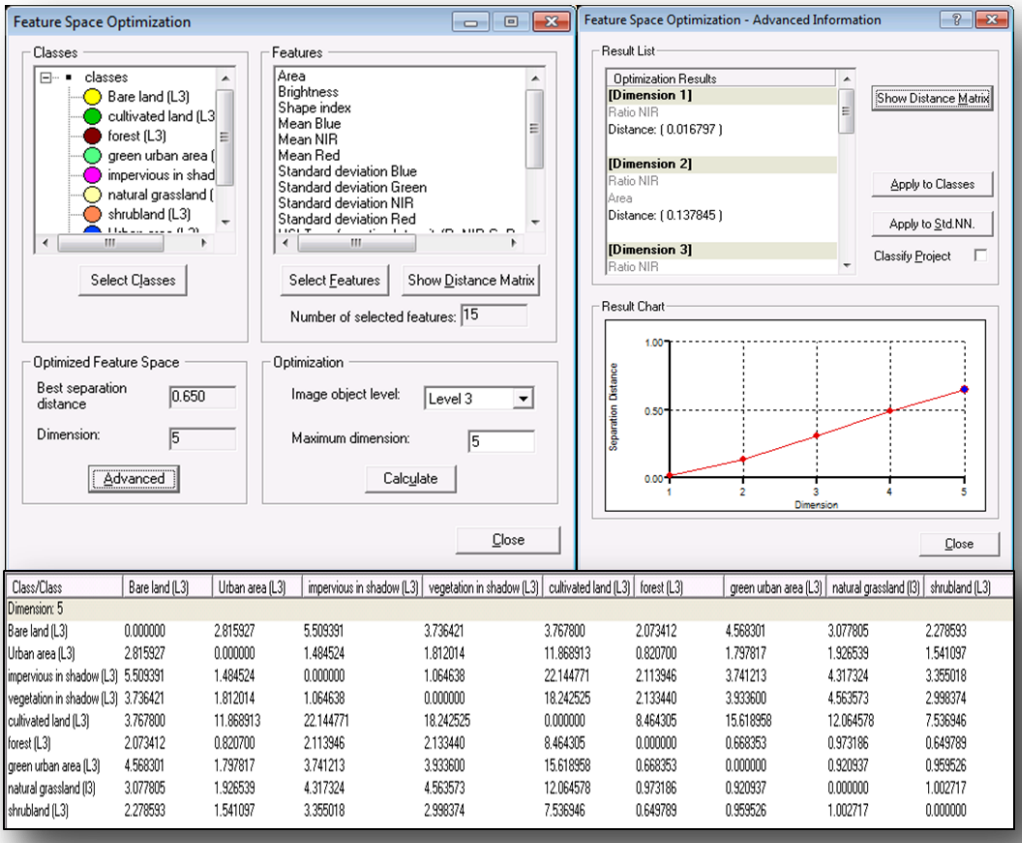
Το τρίτο επίπεδο εξειδικεύει τις κατηγορίες του δευτέρου επιπέδου. Για την ταξινόμηση του επιπέδου απαραίτητη προϋπόθεση είναι να κληρονομηθούν τα χαρακτηριστικά από τις κατηγορίες του δευτέρου και του τετάρτου επιπέδου. Οι κατηγορίες που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το επίπεδο αποτελούν γενίκευση των κατηγοριών του δευτέρου επιπέδου. Οι κατηγορίες, οι οποίες ταξινομούνται σε αυτό το επίπεδο, είναι η γυμνή επιφάνεια «*bare land (L3)*» και η τεχνητή επιφάνεια «*urban area (L3)*», οι οποίες αποτελούν γενίκευση των αδιαπέρατων υλικών «*impervious (L2)*», η σκιά αδιαπέρατων υλικών «impervious shadow» και η σκιά βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*», τα οποία αποτελούν γενίκευση της σκιάς «*shadow (L2)*», οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις «*cultivated land (L3)*», το δάσος «*forest (L3)*», οι λιβαδικές εκτάσεις «*natural grassland (L3)*», οι θαμνώδεις εκτάσεις «*shrubland (L3)*» και η βλάστηση σε τεχνητή επιφάνεια «*green urban area (L3)*», οι οποίες αποτελούν γενίκευση της κατηγορίας βλάστησης «*vegetation (L4)*».

Για την ταξινόμηση των παραπάνω κατηγοριών χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της μεθόδου Εγγύτερου Γείτονα «*Nearest Neighbor*» με την εφαρμογή ασαφούς λογικής στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Κατά το πρώτο στάδιο της ταξινόμησης επιλέχθηκαν δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν περίπου 20 με 25 για κάθε κατηγορία και η επιλογή τους έγινε έπειτα από την φωτοερμηνεία της εικόνας και την επιτόπια έρευνα της περιοχής.

Για την επιλογή των κατάλληλων χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την ταξινόμηση με τη μέθοδο του Εγγύτερου Γείτονα, χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία «Feature Space Optimization». Σκοπός της λειτουργίας είναι να συγκρίνει τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά των κατηγοριών και να βρει το κατάλληλο συνδυασμό χαρακτηριστικών με τη μεγαλύτερη μέση ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δειγμάτων και των διαφορικών κατηγοριών (manual eCognition 8.64).



Εικόνα 67. Δείγματα εκπαίδευσης με τη μέθοδος του Εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor) στο τρίτο επίπεδο «Level 3»

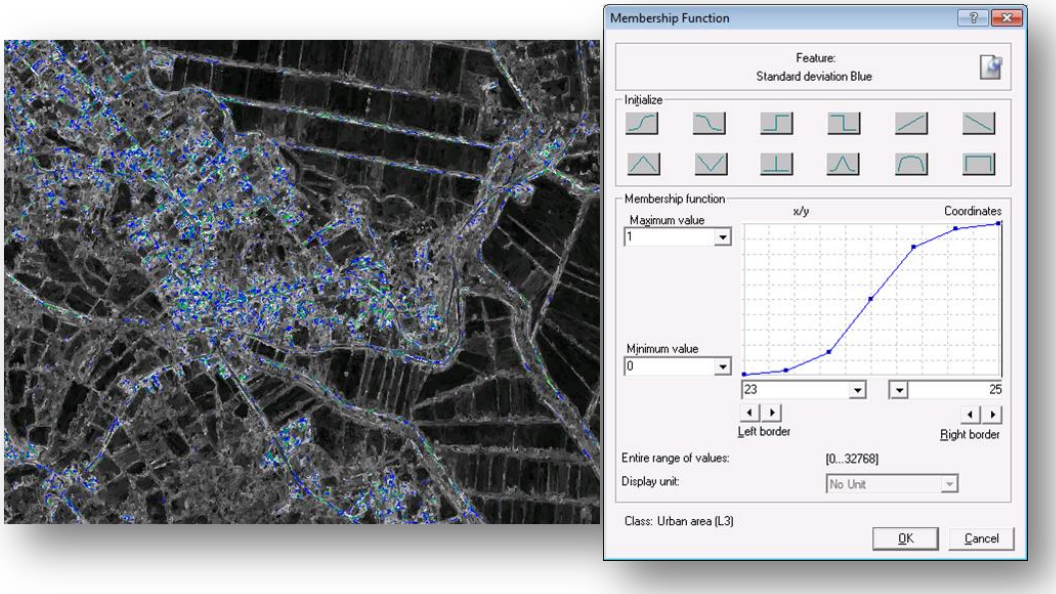


Class/Class	Bare land (L3)	Urban area (L3)	impervious in shadow (L3)	vegetation in shadow (L3)	cultivated land (L3)	forest (L3)	green urban area (L3)	natural grassland (I3)	shrubland (L3)
Dimension: 5									
Bare land (L3)	0.000000	2.815927	5.509391	3.736421	3.767800	2.073412	4.568301	3.077805	2.278593
Urban area (L3)	2.815927	0.000000	1.484524	1.812014	11.868913	0.820700	1.797817	1.926539	1.541097
impervious in shadow (L3)	5.509391	1.484524	0.000000	1.064638	22.144771	2.113946	3.741213	4.317324	3.355018
vegetation in shadow (L3)	3.736421	1.812014	1.064638	0.000000	18.242525	2.133440	3.933600	4.563573	2.998374
cultivated land (L3)	3.767800	11.868913	22.144771	18.242525	0.000000	8.464305	15.618958	12.064578	7.536946
forest (L3)	2.073412	0.820700	2.113946	2.133440	8.464305	0.000000	0.668353	0.973186	0.649789
green urban area (L3)	4.568301	1.797817	3.741213	3.933600	15.618958	0.668353	0.000000	0.920937	0.959526
natural grassland (I3)	3.077805	1.926539	4.317324	4.563573	12.064578	0.973186	0.920937	0.000000	1.002717
shrubland (L3)	2.278593	1.541097	3.355018	2.998374	7.536946	0.649789	0.959526	1.002717	0.000000

Εικόνα 68. Προβολή των αποστάσεων μεταξύ των δειγμάτων εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία

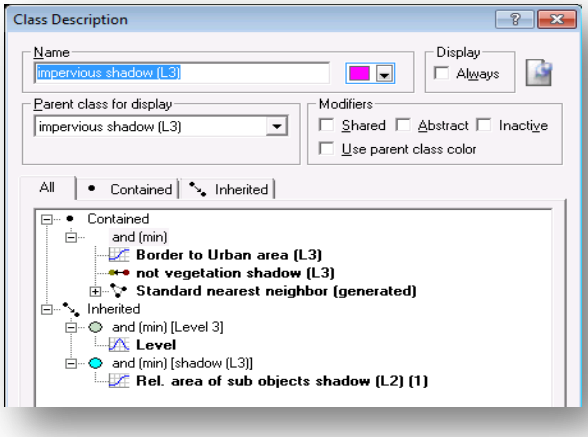
Επιπλέον για την ταξινόμηση των κατηγοριών του επιπέδου χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος δημιουργίας βάσης γνώσης με τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων σε κάποιες κατηγορίες.

Για την ταξινόμηση της τεχνητής επιφάνειας «*Urban area (L3)*» χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας της τυπικής απόκλισης στο μπλε κανάλι «*Standard deviation Blue*» με τιμές ασάφειας από **23** έως **25** και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με θετική κλίση.

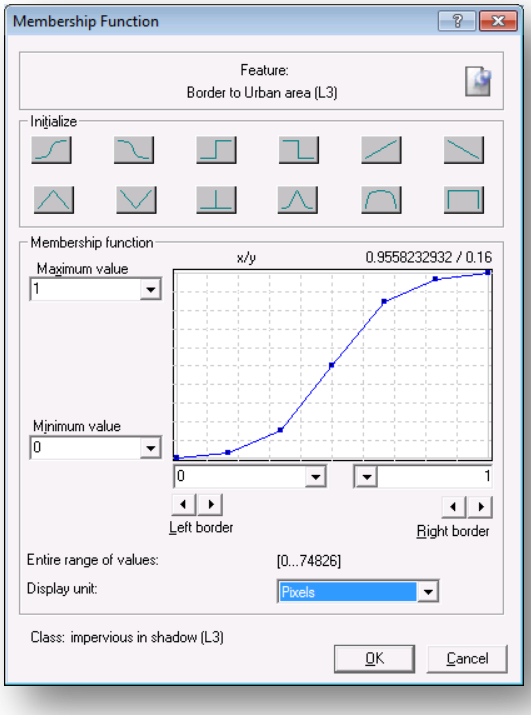


Εικόνα 69. Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας «urban area» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή «Standard deviation Blue» στις τιμές ασάφειας 23 έως 25με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Για την ταξινόμηση της σκιάς σε τεχνητή επιφάνεια «*impervious shadow (L3)*» χρησιμοποιείται ο κανόνας συχέτισης, δηλαδή να γειτνιάζει με την τεχνητή επιφάνεια «*Border to urban area (L3)*» με τιμές **0** έως **1** και ο κανόνας απόκλισης των αντικειμένων που ενώ ανήκουν στη σκιά να μην είναι σκιά σε βλάστηση «*not vegetaion shadow*».

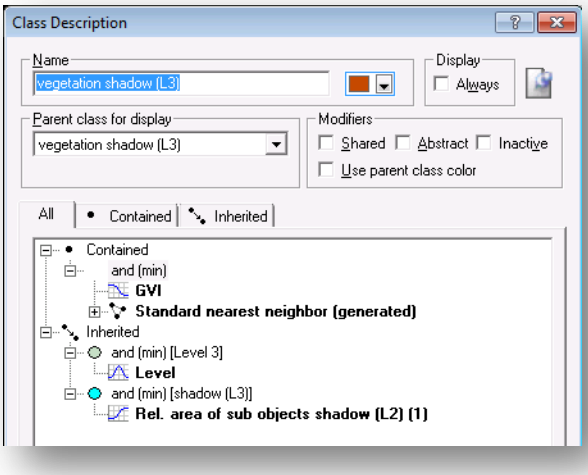


Εικόνα 70. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά σε τεχνητή επιφάνεια «impervious shadow (L3)»



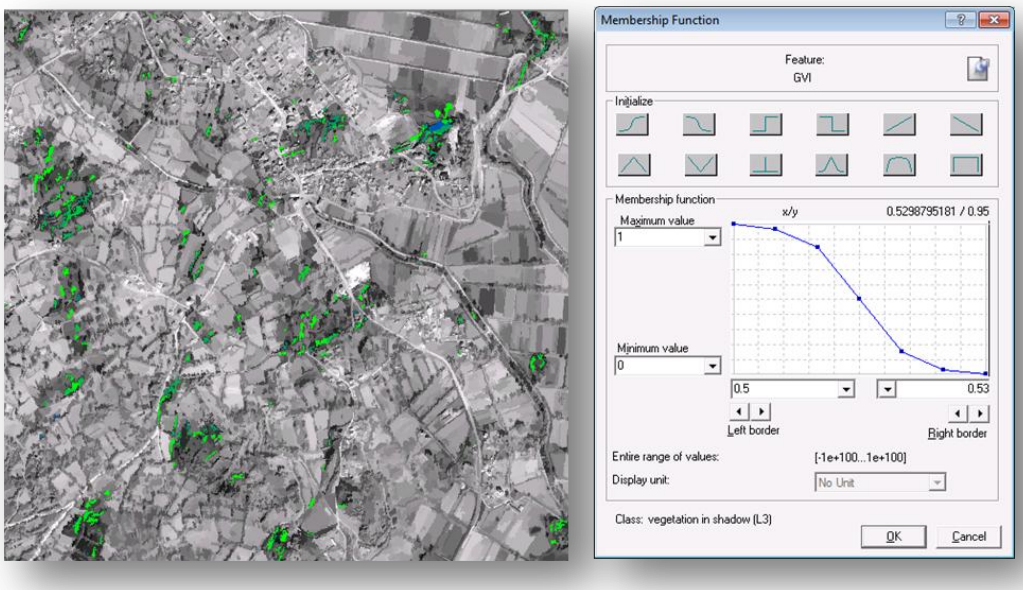
Εικόνα 71. Συνάρτηση και όρια συμμετοχής για την εφαρμογή του κανόνα γειτνίασης με τη τεχνητή επιφάνεια «Border to urban area (L3)»

Για την ταξινόμηση της σκιάς της βλάστησης «*Vegetaion shadow (L3)*» χρησιμοποιείται ο πράσινος δείκτης βλάστησης «*GVI*», ο οπίος χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό της σκιάς στο δεύτερο επίπεδο. Οι τιμές ασάφειας του δείκτη για τον εντοπισμό των χαρακτηριστικών κυμαίνονται από **0.5** έως **0.53** με συνάρτηση συμμετοχής S αρνητικής κλίσης.



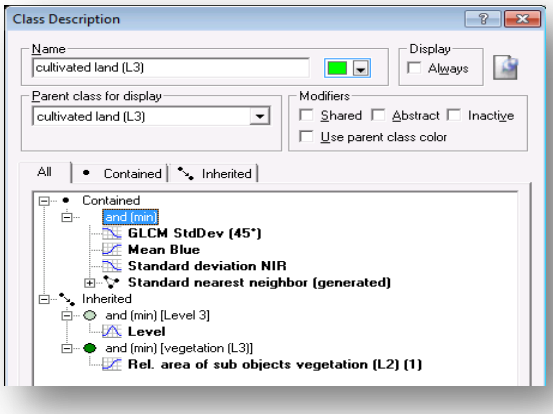
Εικόνα 72. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά της βλάστησης «*Vegetaion shadow (L3)*»

Στην Εικόνα 73 απεικονίζεται η σκιά που σχηματίζει η βλάστηση και διαχωρίζεται από τη σκιά της τεχνητής επιφάνειας. Η εφαρμογή του κανόνα εξυπηρετεί στο διαχωρισμό των κατηγοριών.



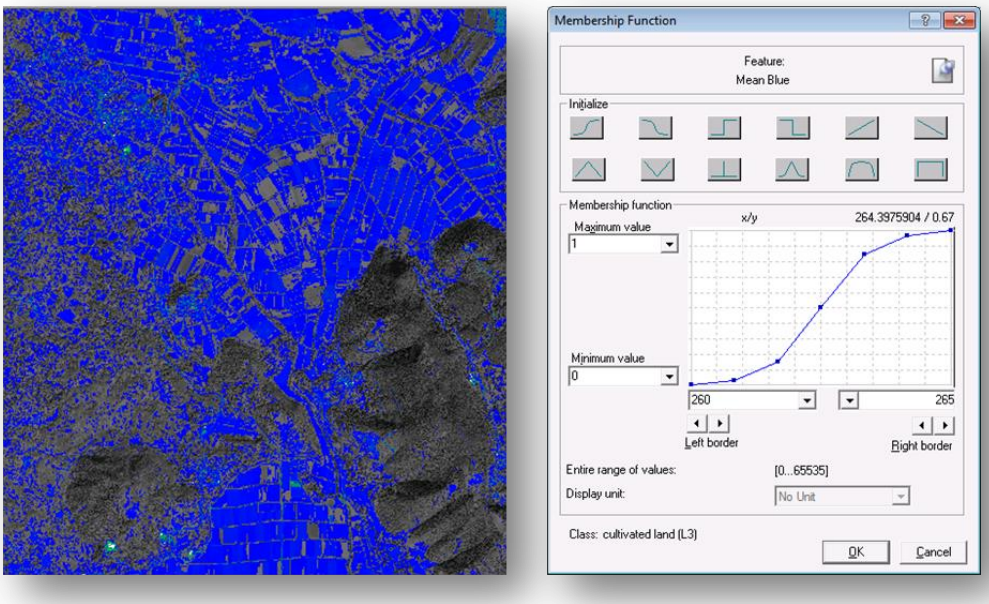
Εικόνα 73. Απεικόνιση της σκιάς της βλάστησης «*Vegetation shadow (L3)*» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του πράσινου δείκτη βλάστησης «*GVI*» με τιμές ασάφειας 0.5 έως 0.53 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για την ταξινόμηση των καλλιεργήσιμων γεωργικών εκτάσεων «*cultivation land (L3)*» χρησιμοποιήθηκαν οι κανόνες της μέσης τιμής στο μπλέ κανάλι «*Mean Blue*», της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «*Standard deviation NIR*» και ο κανόνας υφής σύμφωνα με το Haralick συνύπαρξη πίνακας σύγχυσηςς στο γκρί επίπεδο (grey- level co- occurrence matrix) «*GLCM StdDev (45^{o})*».



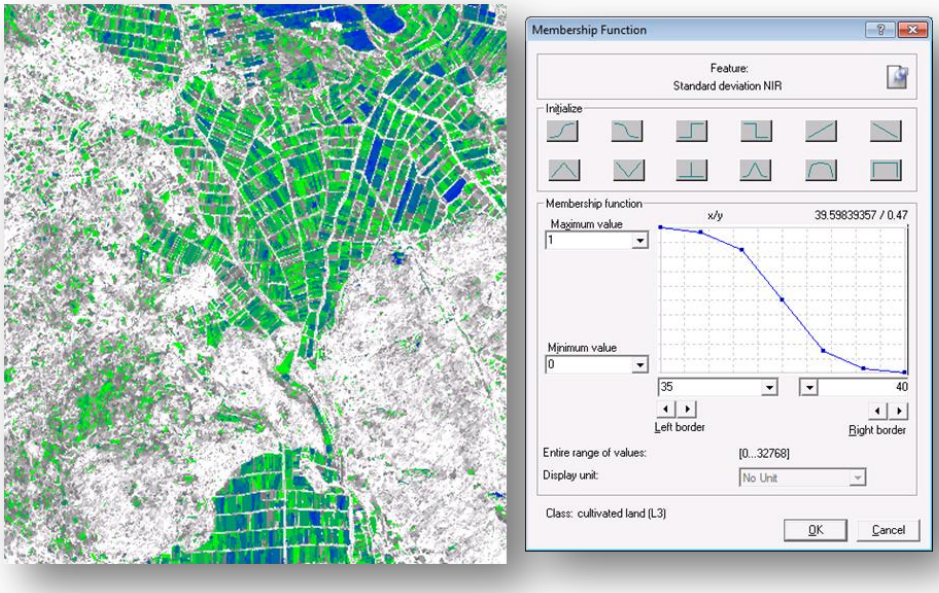
Εικόνα 74. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τις καλλιεργήσιμες γεωργικές εκτάσεις «*cultivation land (L3)*»

Η τιμές ασάφειας του κανόνα της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι «*Mean Blue*» με τιμές ασάφειας **260** έως **265** και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης



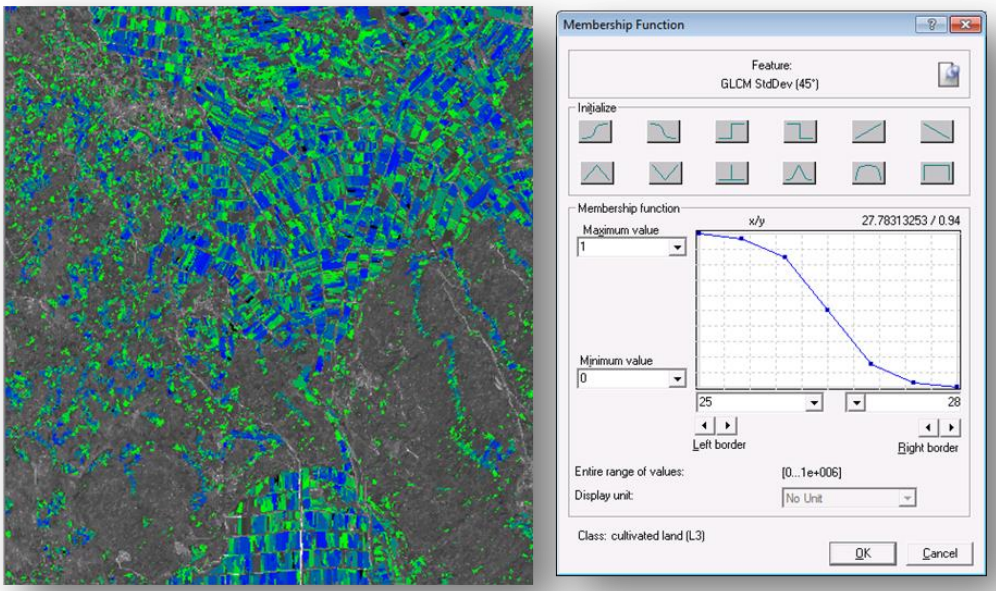
Εικόνα 75. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων γεωργικών εκτάσεων «*cultivation land (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι «*Mean Blue*» με τιμές ασάφειας 260 έως 265 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Η τιμές ασάφειας του κανόνα της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «*Standard deviation NIR*» κυμαίνονται από **35** έως **40** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



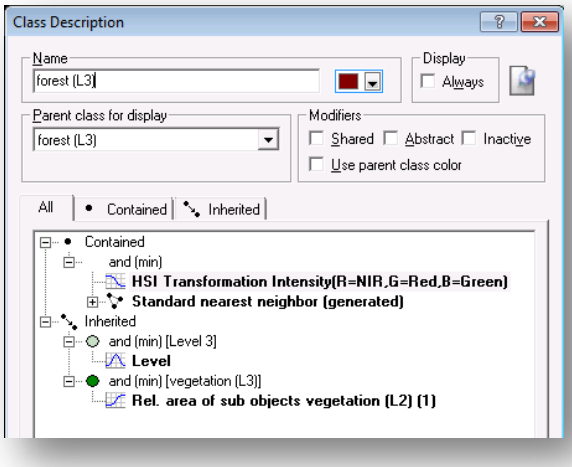
Εικόνα 76. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων γεωργικών εκτάσεων «cultivation land (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «*Standard deviation NIR*» με τιμές ασάφειας 35 έως 40 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Η τιμές ασάφειας του κανόνα της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «*Standard deviation NIR*» κυμαίνονται από **35** έως **40** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



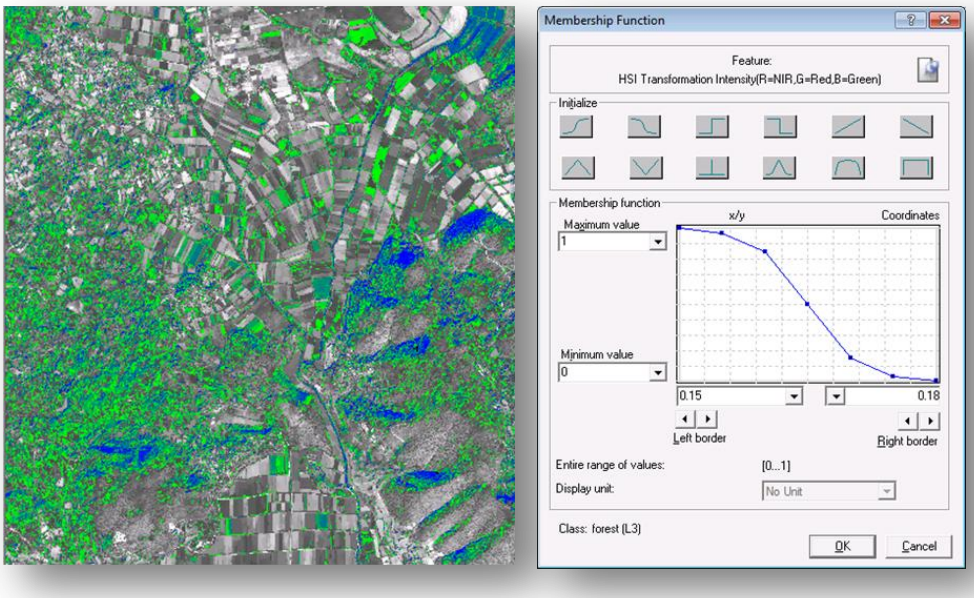
Εικόνα 77. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων γεωργικών εκτάσεων «cultivation land (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «Standard deviation NIR» με τιμές ασάφειας 35 έως 40 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για την ταξινόμηση του δάσους «*forest (L3)*» χρησιμοποιείται ο κανόνας του μετασχηματισμού έντασης χρωμάτων RGB «*HIS Transformation Intensity(R= NIR, G=Red, B=Green)*».



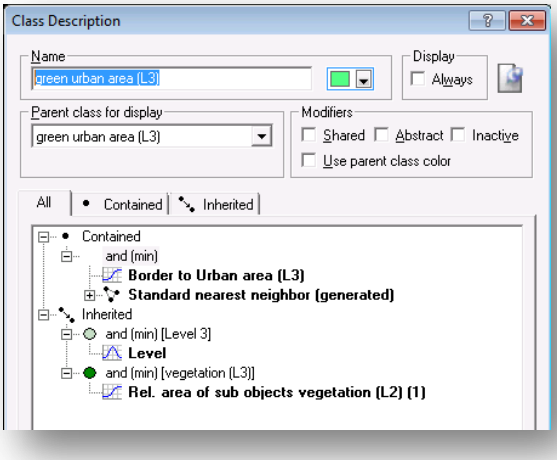
Εικόνα 78. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το δάσος «*forest (L3)*»

Η τιμές ασάφειας του κανόνα μετασχηματισμού έντασης χρωμάτων RGB «*HIS Transformation Intensity(R= NIR, G=Red, B=Green)*» κυμαίνονται από **0.15** έως **0.18** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



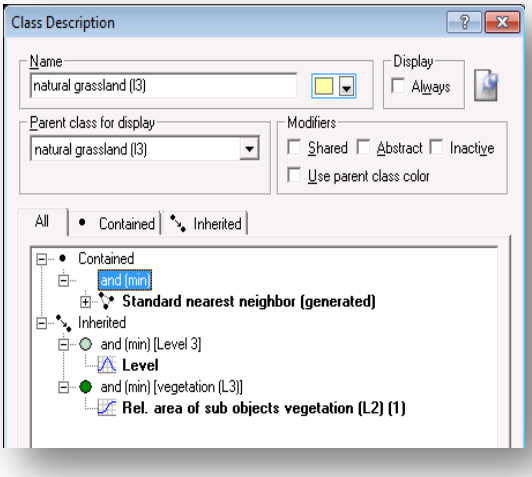
Εικόνα 79. Απεικόνιση του δάσους «*forest (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα μετασχηματισμού έντασης χρωμάτων RGB «*HIS Transformation Intensity(R= NIR, G=Red, B=Green)*» με τιμές ασάφειας 0.15 έως 0.18 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για την ταξινόμηση της βλάστησης σε κατοικιμένες εκτάσεις «*green urban area (L3)*» χρησιμοποιείται ο κανόνας συσχέτισης, δηλαδή να γειτνιάζει με την τεχνητή επιφάνεια «*Border to urban area (L3)*».



Εικόνα 80. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση σε κατοικημένη περιοχή «green urban area (L3)»

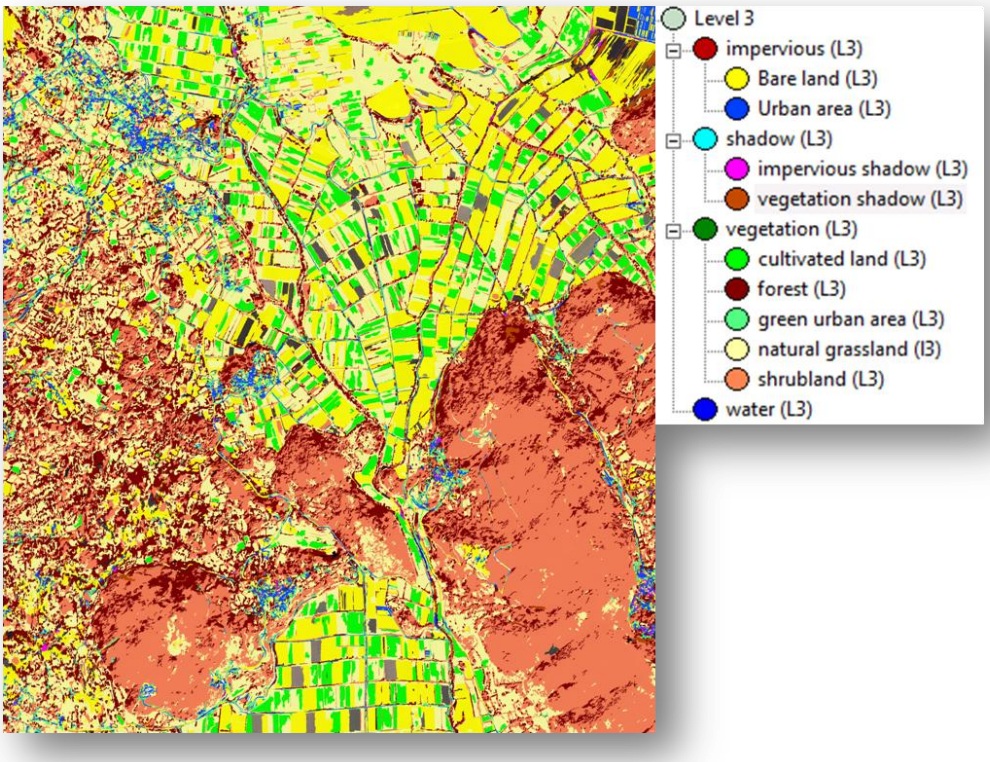
Οι τιμές ασάφειας για τις σχέσεις γειτνίασης με την τεχνητή επιφάνεια «*Border to urban area (L3)*» κυμαίνονται από **0.4** έως **0.6** και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης. Τα όρια των τιμών δηλώνουν ότι οι περιοχές βλάστησης που γειτνιάζουν με τη τεχνητή επιφάνεια κατά το 50% και πάνω.



Εικόνα 81. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα λιβάδια «natural grassland (L3)»

Για την ταξινόμηση των λιβαδικών εκτάσεων «*natural grassland (L3)*» και των θαμνώδη εκτάσεων «*shrubland (L3)*» χρησιμοποιείται η μέθοδος του εγγύτερου γείτονα «Nearest Neighbor» με βάση τα δείγματα εκαπίδευσης στην εικόνα.

Ο συνδυασμός των αλγορίθμων και των τιμών των χαρακτηριστικών με τη μέθοδο ανάλυσης του εγγύτερου γείτονα ολοκληρώνει τη διαδικασία ιεραρχικής ταξινόμησης του επιπέδου. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης προβάλλονται στην Εικόνα 82.

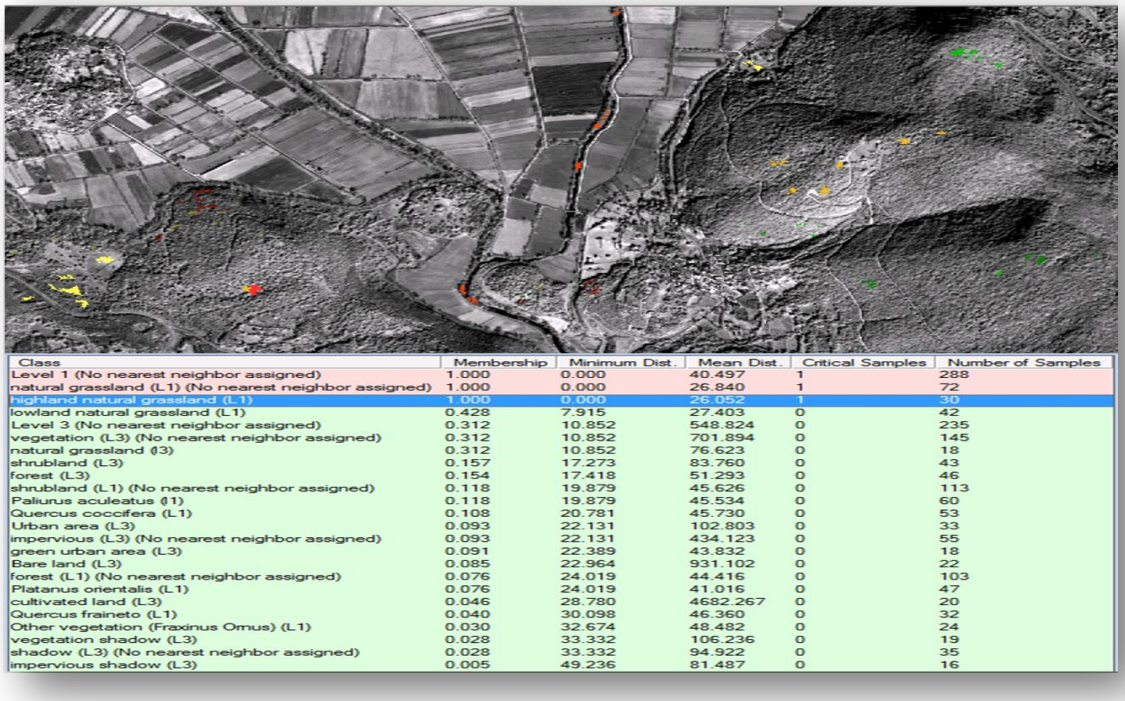


Εικόνα 82. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας IKONOS '08

5.4.2.2.4 Ταξινόμηση 1^{ου} Επιπέδου

Το πρώτο επίπεδο αποτελεί το μικρότερο επίπεδο κατάτμησης. Τα αντικείμενα σχηματίζονται με τη μικρότερη κλίμακα, στα οποία παρέχεται τη δυνατότητα εξαγωγής λεπτομερών χαρακτηριστικών, ανάλογων με την ανάλυση της εικόνας. Οι κατηγορίες ταξινόμησης σε αυτό το επίπεδο εκφράζουν το βαθύτερο επίπεδο ταξινόμησης, δηλαδή τα κύρια είδη βλάστησης, τα οποία επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Οι κλάσεις, οι οποίες ταξινομήθηκαν σε αυτό το επίπεδο, είναι οι Δρυς «Quercus fraineto (L1)», τα πλατάνια «Platanus orientalis», λοιπή δασική βλάστηση (Φράξος) «Other vegetation (Fraxus ornus)», τα λιβάδια σε μεγάλο υψόμετρο «highland natural grassland (L1)», τα λιβάδια σε χαμηλό επίπεδο «lowland grassland (L1)», οι θάμνοι Παλιούρι «Paliurus aculeatus (L1)» και τα πουρνάρια «Quercus coccifera (L1)». Οι κατηγορίες αυτές αποτελούν υποκατηγορίες του δάσους «forest», των λιβαδιών «natural grassland» και των θαμνωδών εκτάσεων «shrubland» αντίστοιχα, οι οποίες ταξινομήθηκαν στο τρίτο επίπεδο και κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους.

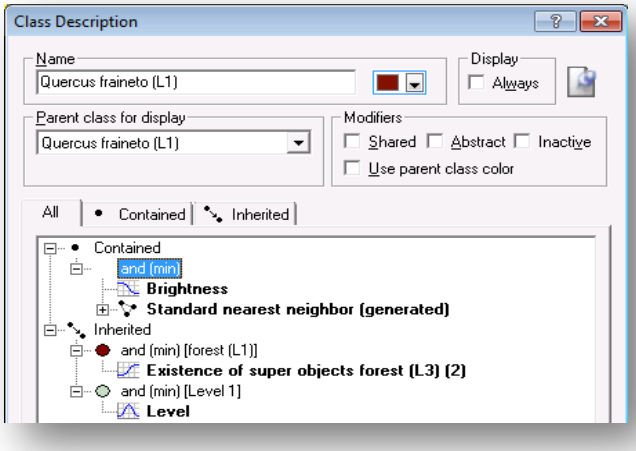
Για την ταξινόμηση των παραπάνω κατηγοριών χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της μεθόδου Εγγύτερου Γείτονα «*Nearest Neighbor*» με την εφαρμογή ασαφούς λογικής στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Η διαδικασία πραγματοποίησης της μεθόδου είναι αντίστοιχη με αυτή στο τρίτο επίπεδο. Τα δείγματα εκπαίδευσης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν περίπου 30 με 35 για κάθε κατηγορία, περισσότερα από το τρίτο επίπεδο, διότι για την ίδια επιφάνεια τα αντικείμενα είναι μικρότερα σε μέγεθος. Η επιλογή τους έγινε έπειτα από την φωτοερμηνεία της εικόνας και την επιτόπια έρευνα της περιοχής.



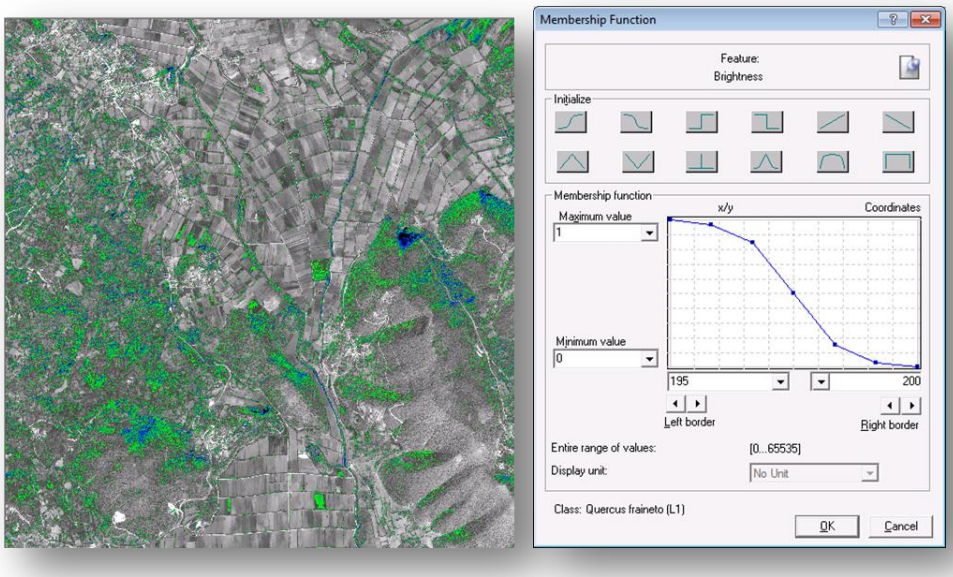
Class	Membership	Minimum Dist.	Mean Dist.	Critical Samples	Number of Samples
Level 1 (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	40.497	1	288
natural grassland (L1) (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	26.840	1	72
highland natural grassland (L1)	1.000	0.000	26.052	1	30
lowland natural grassland (L1)	0.428	7.915	27.403	0	42
Level 3 (No nearest neighbor assigned)	0.312	10.852	548.824	0	235
vegetation (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.312	10.852	701.894	0	145
natural grassland (3)	0.312	10.852	76.623	0	18
shrubland (L3)	0.157	17.273	83.760	0	43
forest (L3)	0.154	17.418	51.293	0	46
shrubland (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.118	19.879	45.626	0	113
Paliurus aculeatus (1)	0.118	19.879	45.534	0	60
Quercus coccifera (L1)	0.108	20.781	45.730	0	53
Urban area (L3)	0.093	22.131	102.803	0	33
impervious (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.093	22.131	434.123	0	55
green urban area (L3)	0.091	22.389	43.832	0	18
Bare land (L3)	0.085	22.964	931.102	0	22
forest (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.076	24.019	44.416	0	103
Platanus orientalis (L1)	0.076	24.019	41.016	0	47
cultivated land (L3)	0.046	28.780	4682.267	0	20
Quercus fraineto (L1)	0.040	30.098	46.360	0	32
Other vegetation (Fraxinus Ornus) (L1)	0.030	32.674	48.482	0	24
vegetation shadow (L3)	0.028	33.332	106.236	0	19
shadow (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.028	33.332	94.922	0	35
impervious shadow (L3)	0.005	49.236	81.487	0	16

Εικόνα 83. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία

Η Δρυς «*Quercus fraineto (L1)*» αποτελεί δέντρο βραδυαυξές με πλατιά και πυκνή κόμη. Τα φύλλα του είναι βαθυπράσινα πλατύφυλλα και φύεται ανάμεσα σε άλλα φυλλοβόλα δέντρα ή θάμνους. Για την ταξινόμηση του είδους λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του φυτού και η γνώση της περιοχής από την επιτόπια έρευνα, οπότε γίνεται φωτοερμηνεία λαμβάνοντας δείγματα αντικειμένων, τα οποία αντιπροσωπεύουν το είδος. Σε συνδυασμό με τα δείγματα και τους κανόνες που συμμετέχουν στην ταξινόμηση με τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα, χρησιμοποιείται ο κανόνας ασάφειας της μέσης τιμής φωτεινότητας «*Brightness*». Οι τιμές ασάφειας κυμαίνονται **195** έως **200** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.

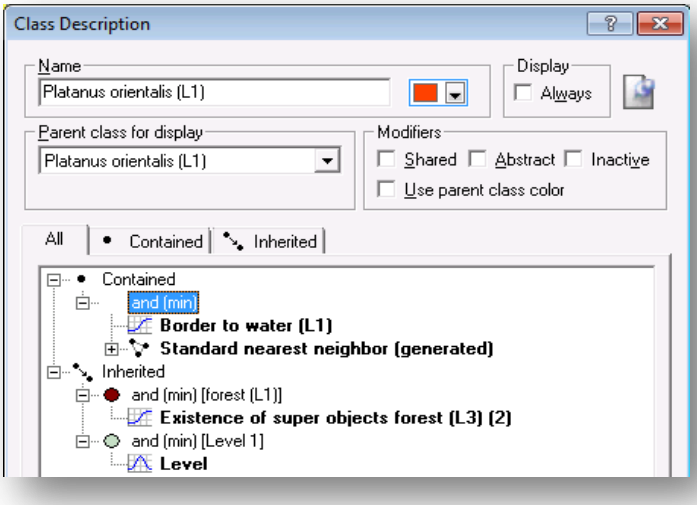


Εικόνα 84. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη Δρυ «Quercus fraineto (L1)»

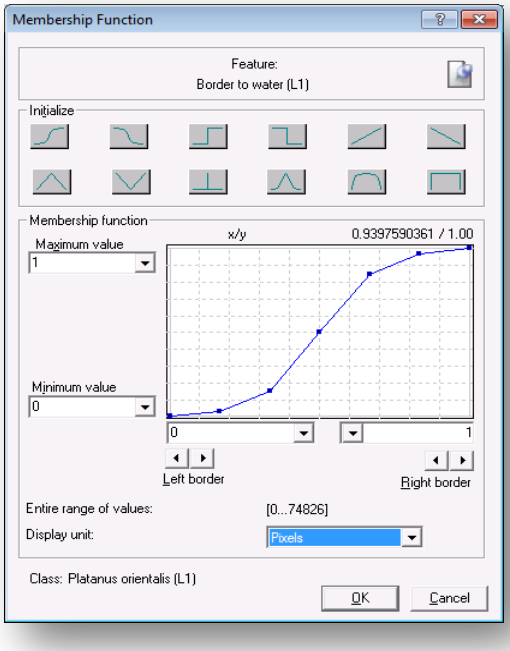


Εικόνα 85. Απεικόνιση της Δρυός «*Quercus fraineto (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής φωτεινότητας «*Brightness*» με τιμές ασάφειας 195 έως 200 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Τα Πλατάνια «*Platanus orientalis (L1)*» διαθέτουν σφαιρική κόμη, με πλάτος 10-20 cm και πράσινο φύλλωμα. Την άνοιξη το φύλλωμα έχει πράσινο χρώμα και το φθινόπωρο κίτρινο. Το συγκεκριμένο είδος αντέχει σε κακώσεις και σε εναλλαγές υγρασίας εδάφους και για το λόγο αυτό το συναντάμε σε περιοχές δίπλα σε υγρό στοιχείο. Βάση αυτών των χαρακτηριστικών και της γνώσης της περιοχής πραγματοποιήθηκε η φωτοερμηνεία του είδους, το οποίο συναντάτε κυρίως δίπλα στο ποτάμι. Η ταξινόμηση του στηρίζεται στα δείγματα εκπαίδευσης και το κανόνα, ο οποίος του ορίζει να εντοπίζεται σε περιοχές δίπλα σε νερό «*Border to water (L1)*». Οι τιμές ασάφειας του κανόνα είναι **0** έως **1** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.

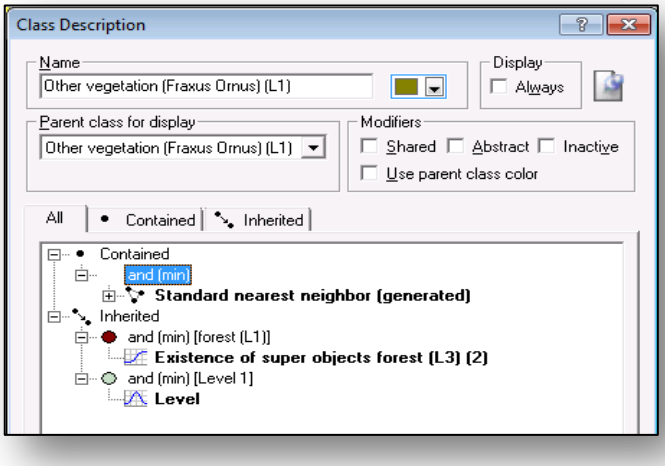


Εικόνα 86. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν του Πλατάνου «*Platanus orientalis (L1)*»



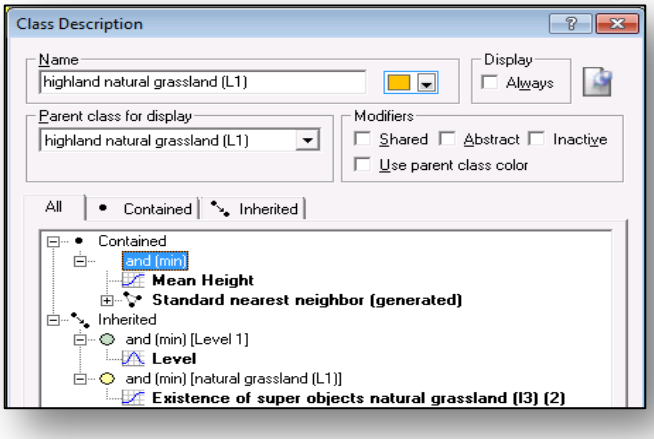
Εικόνα 87. Προβολή των Πλατάνιων «*Platanus orientalis (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της γειτνίασης με νερό «*Border to water (L1)*» με τιμές ασάφειας 0 έως 1 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Η υπόλοιπη δενδρώδης βλάστηση ταξινομήθηκε με βάση το Φράξο «*Other vegetation (Fraxinus ornus) (L1)*», ένα είδος το οποίο επικρατεί μετά τη Δρυ στην περιοχή. Ο φράξος διαθέτει σφαιρική κόμη με γλαυκοπράσινο φύλλωμα και λεία υφή. Επίσης, αποτελεί φωτόφυτο είδος, οπότε συναντάται σε πλάγιές στις οποίες δέχονται εντονότερα τις ακτινοβολίες του ήλιου. Η συγκεκριμένη κατηγορία ταξινομήθηκε με βάση τα δείγματα εκαπίδευσης, τα οποία επιλέχθηκαν να αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας.

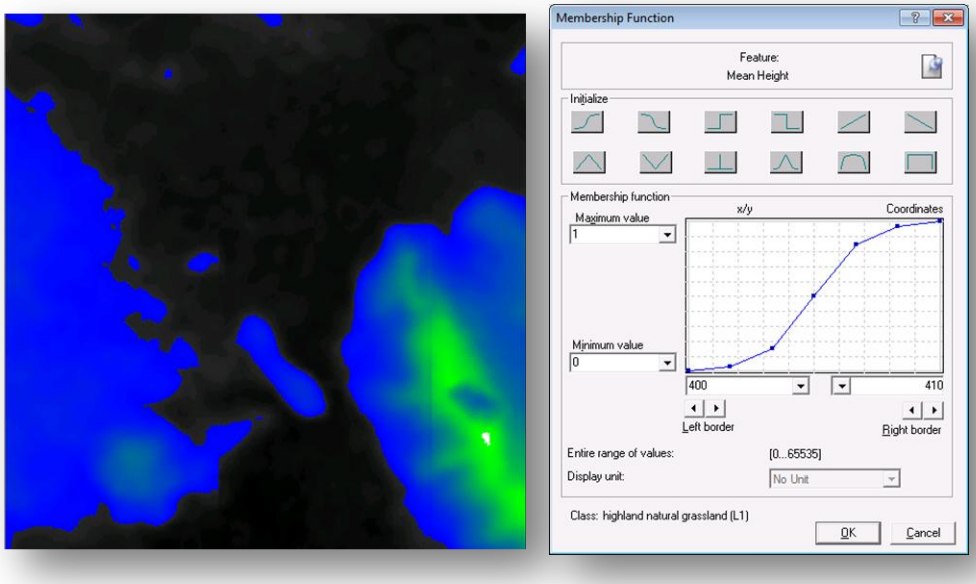


Εικόνα 88. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν την υπόλοιπη βλάστηση και το Φράξο «*Other vegetation (Fraxinus ornus) (L1)*»

Για την ταξινόμηση των λιβαδιών σε βραχώδεις εκτάσεις «*highland natural grassland (L1)*» εντοπίζονται από τα δείγματα εκπαίδευσης στην κατηγορία και τον κανόνα της μέσης τιμής του ύψους «*Mean Height*», το οποίο προσδιορίζεται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους που είναι ενσωματωμένο στην εικόνα. Οι τιμές ασάφειας κυμαίνονται από **400** έως **410** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης, τα οποία προσδιορίζουν ότι τα λιβάδια σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 400 m να ταξινομούνται στη συγκριμένη κατηγορία.



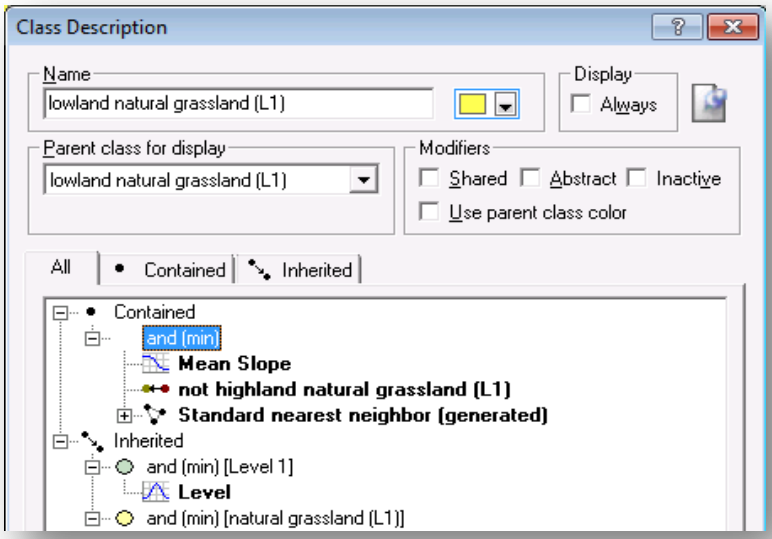
Εικόνα 89. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα λιβάδια σε βραχώδη επιφάνεια «*highland natural grassland (L1)*»



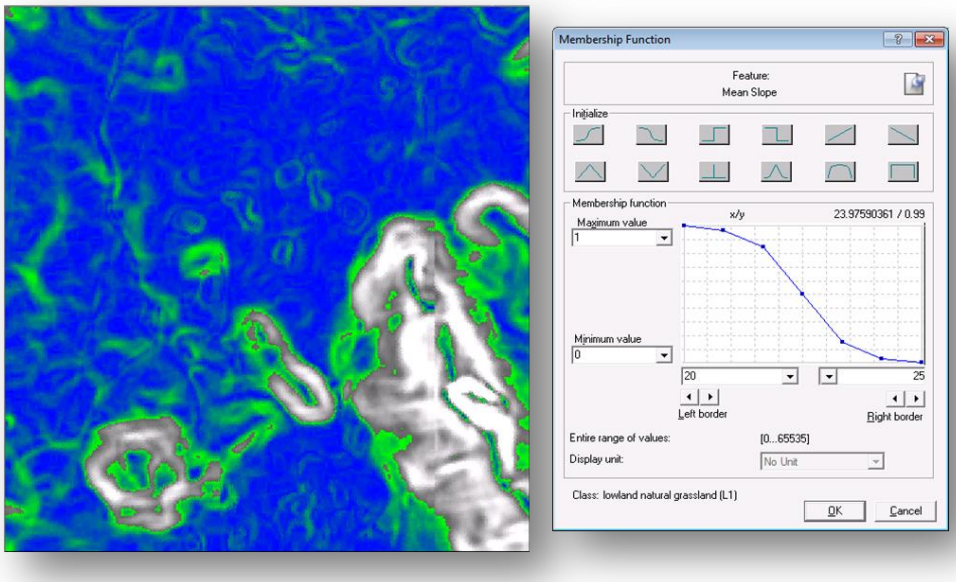
Εικόνα 90. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής του ύψους «*Mean Height*» με τιμές ασάφειας 400 έως 410 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε βραχώδης εκτάσεις «*highland natural grassland (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας

Για την ταξινόμηση των λιβαδιών σε πεδινές εκτάσεις «*lowland natural grassland (L1)*» εντοπίζονται από τα δείγματα εκπαίδευσης στην κατηγορία και τον κανόνα της μέσης τιμής της

κλίσης «*Mean Slope*», το οποίο προσδιορίζεται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους που είναι ενσωματομένο στην εικόνα. Οι τιμές ασάφειας κυμαίνονται από **20** έως **25** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης, τα οποία προσδιορίζουν ότι τα λιβάδια με κλίση μιρότερη του 25% να ταξινομούνται στη συγκριμένη κατηγορία.



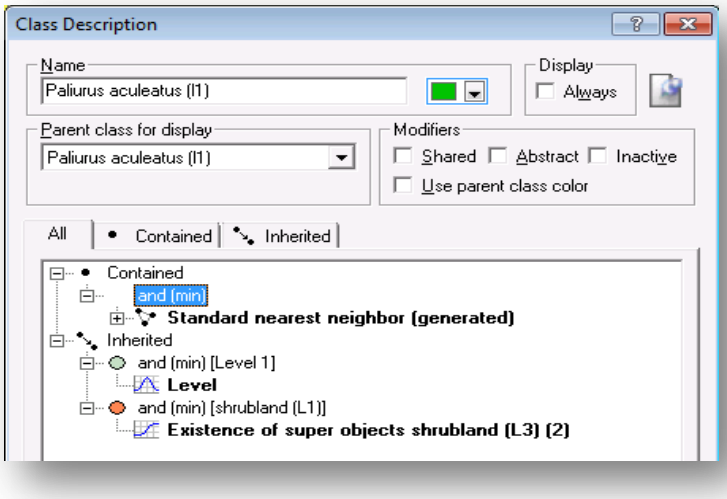
Εικόνα 91. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τα λιβάδια σε πεδινή επιφάνεια «*lowland natural grassland (L1)*»



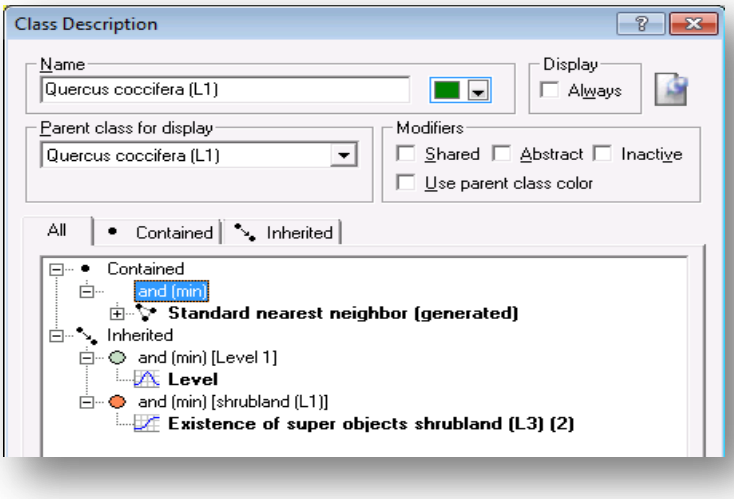
Εικόνα 92. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής της κλίσης «*Mean Slope*» με τιμές ασάφειας 20 έως 25 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε πεδινή επιφάνεια «*lowland natural grassland (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας

Οι υπόλοιπες δύο κατηγορίες, το παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» και το πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*», δηλαδή τα είδη θάμνων που επικρατούν στην περιοχή, κληρονομούν τα

χαρακτηριστικά των θάμνων «shrubland (L3)» από το τρίτο επίπεδο, με τη λειτουργία να ανήκει σε υπερ- αντικείμενο «existence of super- objects shrubland (L3)(2)». Ο καθορισμός των αντικειμένων, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία, ταξινομούνται βάση των δειγμάτων των αντικειμένων. Το παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» αποτελεί θάμνο με πλατιές διακλαδώσεις και πλάτος κόμης 3 έως 4 m. Τα άνθη του είναι κίτρινα και σχηματίζονται σε μπουκέτα. Το πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*», το οποίο επικρατεί ως επι των πλείστον στην περιοχή, είναι αείφυλλος θάμνος με πυκνά φύλλα και κλαδιά. Τα φύλλα του είναι σκουρόχρωμα, σκληρά, αγκαθωτά και γυαλιστερά. Τα χαρακτηριστικά των ειδών συμμετέχουν στη δειγματοληψία των αντικειμένων και τη φωτοερμηνεία των εικόνων. Τα πουρνάρια στο έγχρωμο σύνθετο RGB 432 εμφανίζονται με σκούρο κόκκινο χρώμα, εξαιτίας του φυλλώματος.

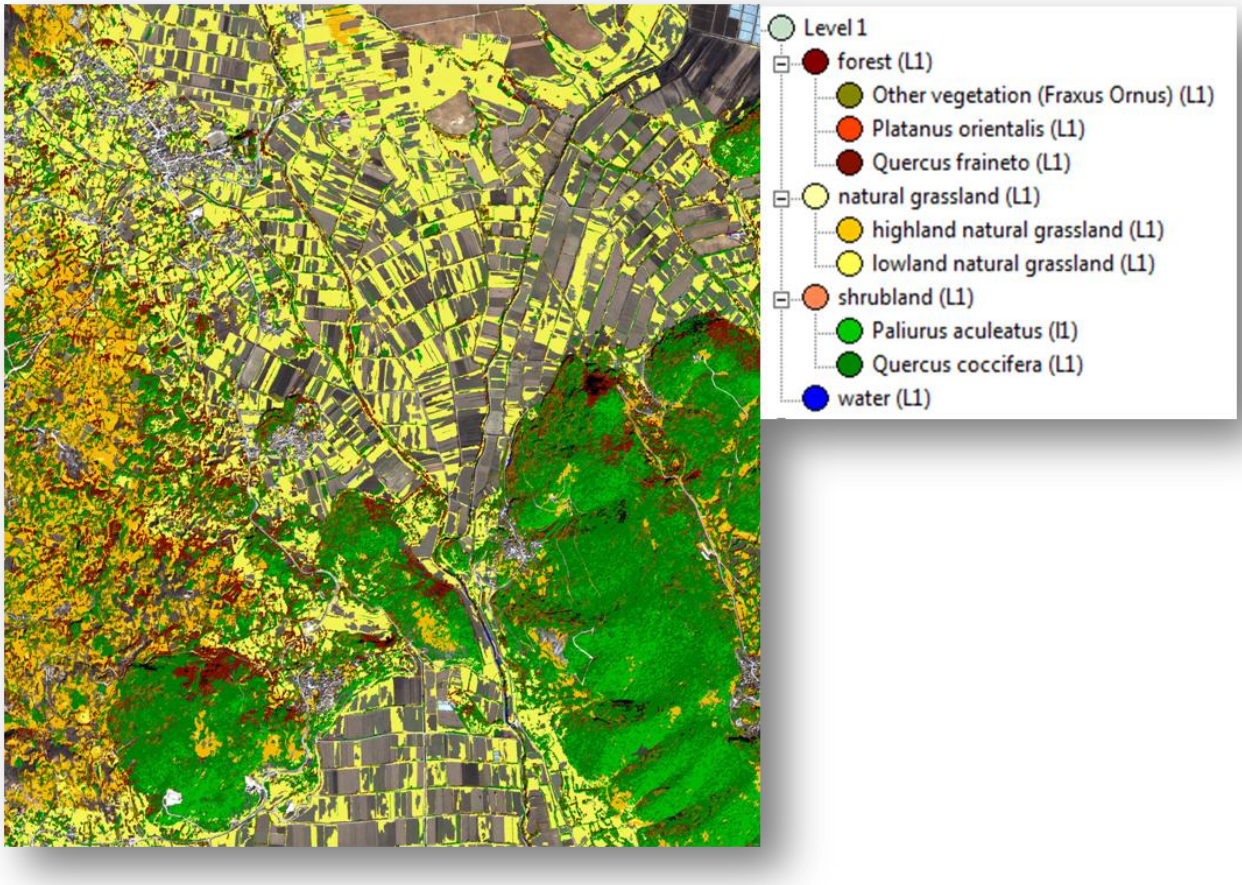


Εικόνα 93. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*»



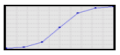
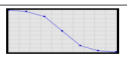
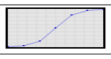
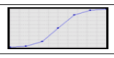
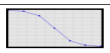
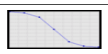
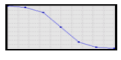
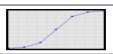
Εικόνα 94. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*»

Ολοκληρώνοντας σε κάθε κατηγορία τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα και θέτοντας τους κανόνες, οι οποίοι συμμετέχουν στη ταξινόμηση, ταξινομούνται οι χρήσεις γης του πρώτου επιπέδου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 95.



Εικόνα 95. Ταξινόμηση στο πρώτο επίπεδο (Level 1) της εικόνας IKONOS '08

Πίνακας 8. Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τις συναρτήσεις συμμετοχής, τα χαρακτηριστικά και τα όρια ασάφειας για τις ταξινομήσεις των τεσσάρων επιπέδων της εικόνας IKONOS '08

Επίπεδα (Levels)	Εικόνες (Images)	Κατηγορίες (Classes)	Χαρακτηριστικά (Features)	Συνάρτηση συμμετοχής (Membership function)	Αριστερό όριο (Left border)	Δεξί όριο (Right border)
Level 2		impervious (L2)	not vegetation (L2) **and** not shadow (L2) **and** not water (L2)			
		vegetation (L2)	NDVI		0.2	0.23
		shadow (L2)	GVI		0.55	0.6
			HIS Transformation Imtensity (R=NIR, G=Red, B=Green)		0.2	0.25
		water (L2)	Ration NIR		0.09	0.1
Level 4		vegetation (L4)	Relative area of sub objects vegetation (L2)		0.5	0.7
Level 3		bare land (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		urban area (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Standard deviation Blue		13	15
		Impervious shadow (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *urban area (L3)*		0	1
			not vegetation in shadow (L3)			
		vegetation shadow (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			GVI		0.25	0.55
		cultivated land (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			GLCM StdDev (45°)		26	28
			Standard deviation NIR		35	40
		forest (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			HIS Transformation Imtensity (R=NIR, G=Red, B=Green)		0.005	0.006
		green urban area (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *urban area (L3)*		0.4	0.6
		natural grassland (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		shrubland (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Blue		200	201

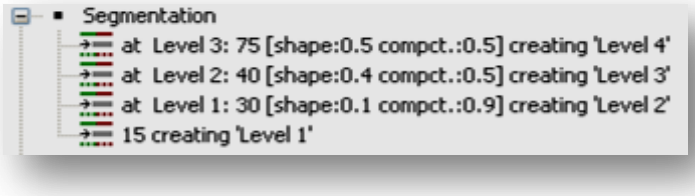
Level 1		Other vegetation (Fraxus Ornus) (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		Platanus orientalis (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *water (L1)*		0	1
		Quercus fraineto (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Brightness		195	200
		highland natural grassland (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Height		400	410
		lowland natural grassland (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Slope		20	25
			not highland natural grassland (L1)			
		Paliurus aculeatus (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		Quercus coccifera (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			

5.4.3 Ταξινόμηση εικόνας WorldView 2 2010

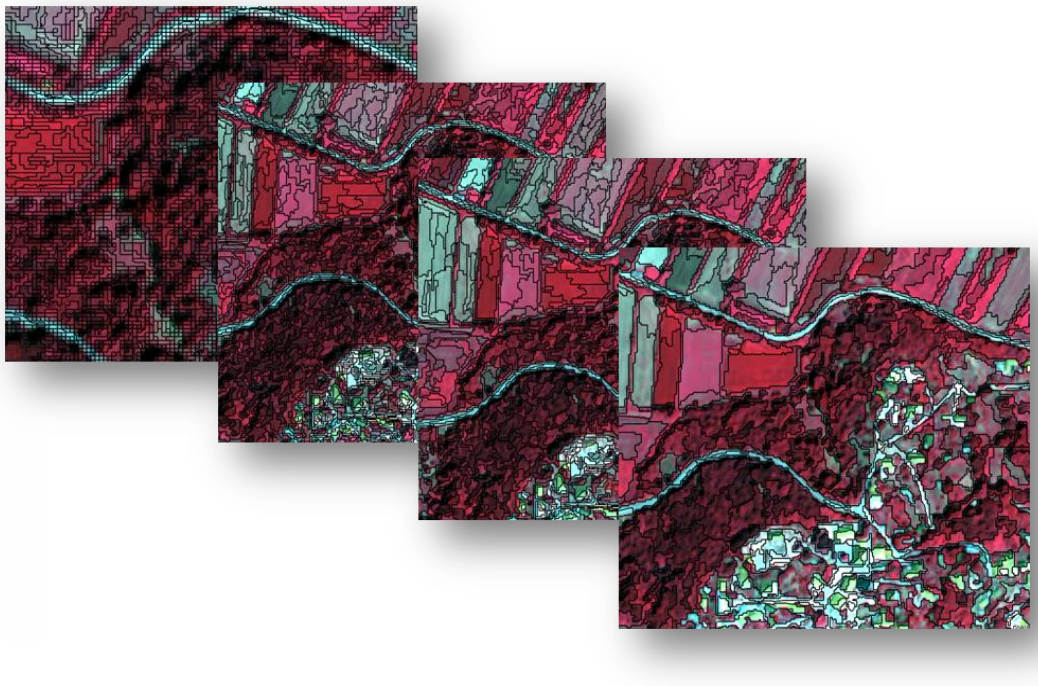
5.4.3.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης της εικόνας

Η κατάτμηση της εικόνας προσδιορίστηκε σύμφωνα με τα στοιχεία, τα οποία αναφέρθηκαν κατά την κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2008. Για την επίτευξη της σύγκρισης των εικόνων προσδιορίστηκαν όμοιοι παράγοντες κατάτμησης.

Η εικόνα WorldView 2 διαθέτει μεγαλύτερη ανάλυση από την IKONOS pan-sharpen, φυσικό επακόλουθο του οποίου είναι η δημιουργία κατατμήσεων με περισσότερα αντικείμενα. Η εικόνα διαθέτει ανάλυση στο 0.46 m στο πανχρωματικό κανάλι και 1.85 m στα πολυφασματικά κανάλια. Για την τελική απόφαση της ακολουθίας όμοιας λογικής κατάτμησης των εικόνων, έγιναν δοκιμές στην εικόνα με διάφορες κατατμήσεις και ορίζοντας διαφορετικές παραμέτρους.



Εικόνα 96. Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι περιορισμοί που τίθεται για τη δημιουργία τους

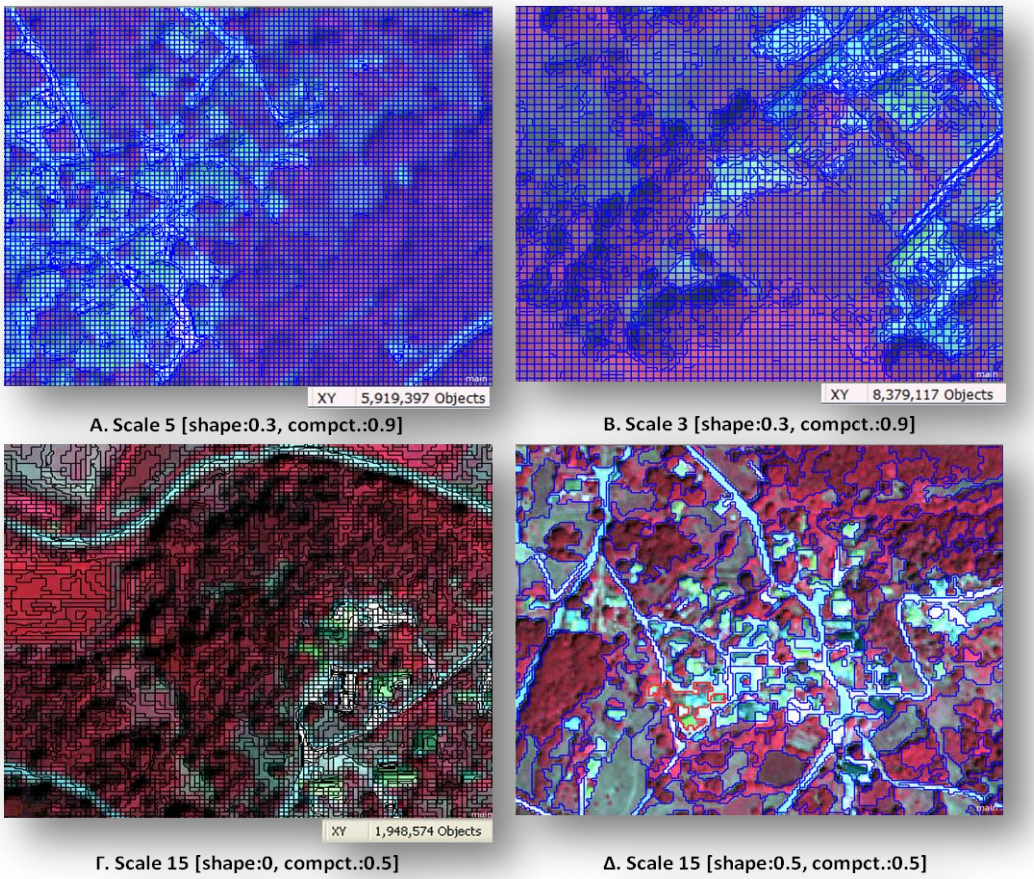


Εικόνα 97. Μεταβολή των αντικειμένων στα τέσσερα επίπεδα ταξινόμησης

5.4.3.1.1 Κατάτμηση 1ου Επιπέδου

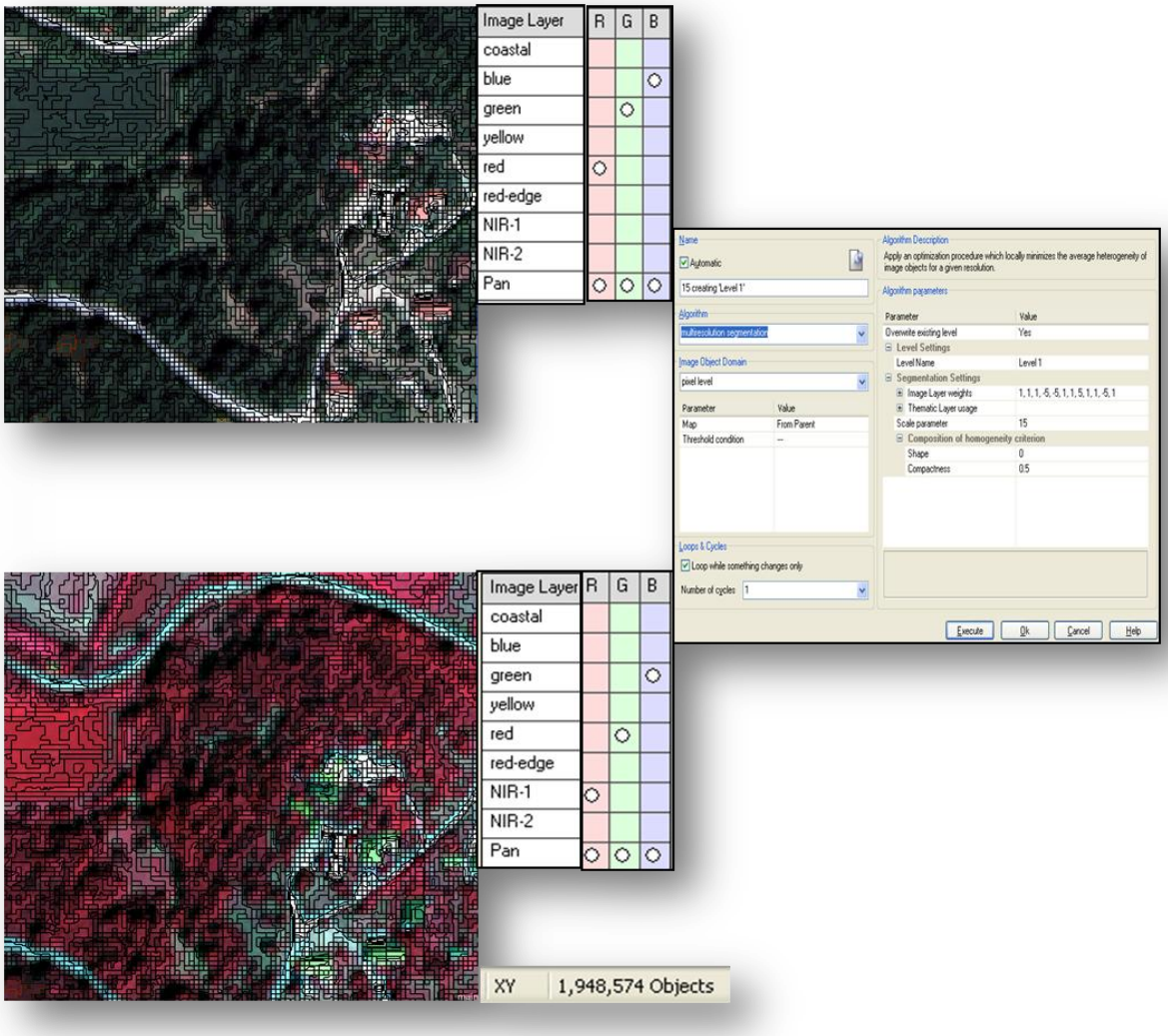
Η βάση των προδιαγραφών, οι οποίες αναφέρθηκαν κατά την κατάτμηση της προηγούμενης εικόνας, εφαρμόζεται και στην WorldView2. Εξαιτίας της μεγαλύτερης ανάλυσης, την οποία διαθέτει η εικόνα και στα οχτώ πολυφασματικά κανάλια, παρουσιάζεται ενδιαφέρον στην παραγωγή των πρωτογενών αντικειμένων. Γνωρίζοντας το σκοπό της κατάτμησης, δηλαδή τη δημιουργία αντικειμένων για τον διαχωρισμό των τύπων βλάστησης, έγιναν διάφορες δοκιμές με μικρότερες κλίμακες.

Στην Εικόνα 98 παρουσιάζονται οι δοκιμές, οι οποίες έγιναν στην εικόνα, για την τελική απόφαση εφαρμογής μεθόδου κατάτμησης της εικόνας. Στην Εικόνα Α γίνεται εφαρμογή της κατάτμησης με κλίμακα **5** και δίνοντας βαρύτητα στο χρώμα και στη συμπαγότητα των αντικειμένων, ενώ στη Β τίθεται η κλίμακα **3** με τα ίδια χαρακτηριστικά. Μεταξύ των δύο εικόνων διαπιστώνεται ότι η Β διαχωρίζει τις ακμές της βλάστησης, αντίθετα στην Α δημιουργούνται αντικείμενα γραμμικά, τα οποία δεν εντοπίζουν τις ακμές των κατηγοριών. Χρησιμοποιώντας πολύ μικρές κλίμακες σε όλο το εύρος της εικόνας, εξάγεται μεγάλος αριθμός αντικειμένων, εξαιτίας της μεγαλύτερης ανάλυσης στην εικόνα. Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στη χρησιμοποίηση ίδιας κλίμακας με την προηγούμενη εικόνα, αλλά έγιναν δοκιμές στις παραμέτρους των χαρακτηριστικών των αντικειμένων. Στην Εικόνα Γ, η μη συμμετοχή του σχήματος στην κατάτμηση εξάγει περισσότερο ευκρινή αντικείμενα σε σύγκριση με την Εικόνα Δ, στην οποία η βαρύτητα του σχήματος και του χρώματος είναι όμοια.



Εικόνα 98. Δοκιμές προσδιορισμού της κατάτμησης στο πρώτο επίπεδο (Level 1) στην εικόνα WorldView2 2010

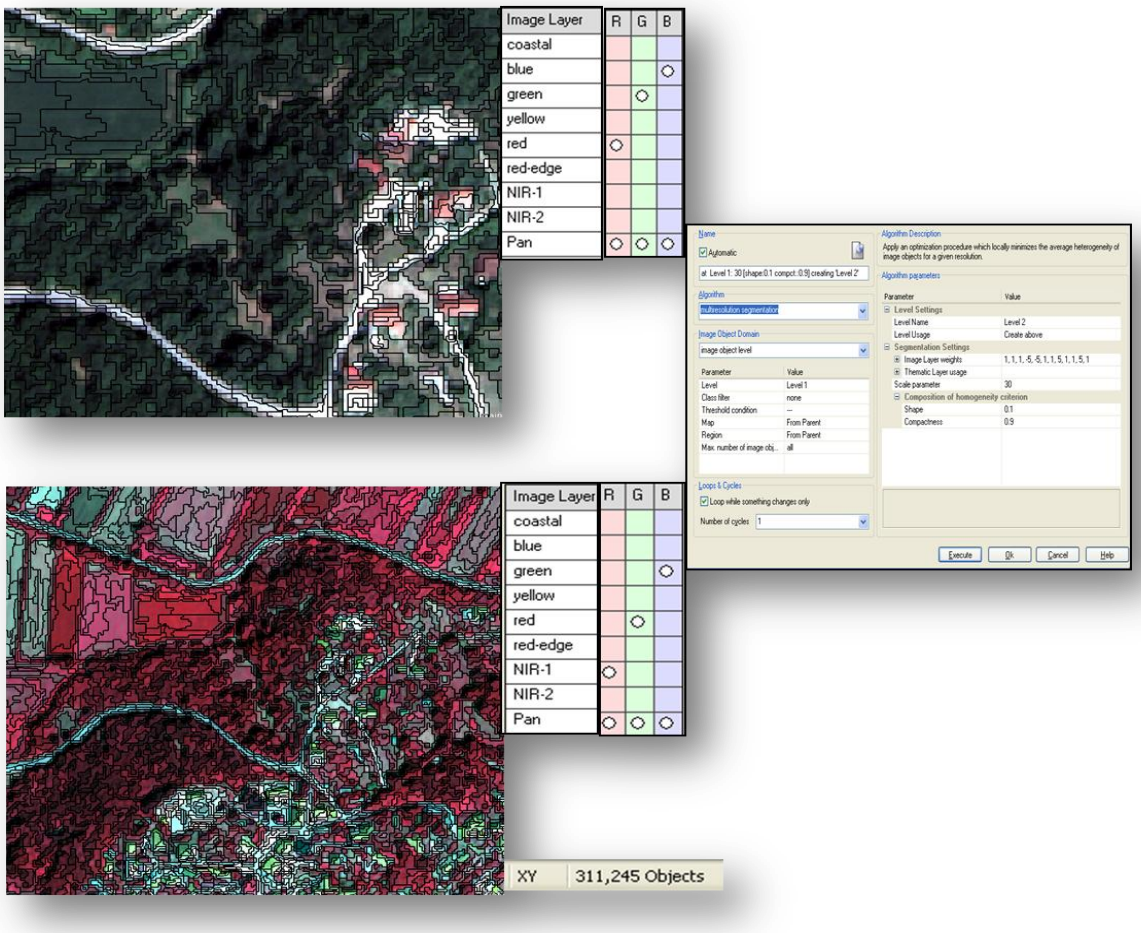
Στην Εικόνα 99 εφαρμόζονται οι ίδιες παράμετροι με την εικόνα IKONOS 2008. Η εικόνα WorldView διαθέτει οχτώ πολυφασματικά κανάλια και ένα πανχρωματικό, μέσα δε στην εικόνα προστίθενται τα κανάλια του Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους, τα οποία συμμετέχουν στην ταξινόμηση. Για την εφαρμογή της ταξινόμησης δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο πανχρωματικό κανάλι, το οποίο κατέχει μεγαλύτερη ανάλυση, ενώ τα κανάλια του DEM δεν συμμετέχουν στην κατάτμηση της εικόνας. Για τους λόγους, οι οποίοι αναφέρθηκαν τίθεται στα πολφασματικά κανάλια ο βαθμός συμμετοχής **1**, στο πανχρωματικό **5** και στα τρία κανάλια του DEM **-5** (τιμή αντίθετη της τιμής του καναλιού με το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής).



Εικόνα 99. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο πρώτο επίπεδο (Level 1) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.3.1.2 Κατάτμηση 2ου Επιπέδου

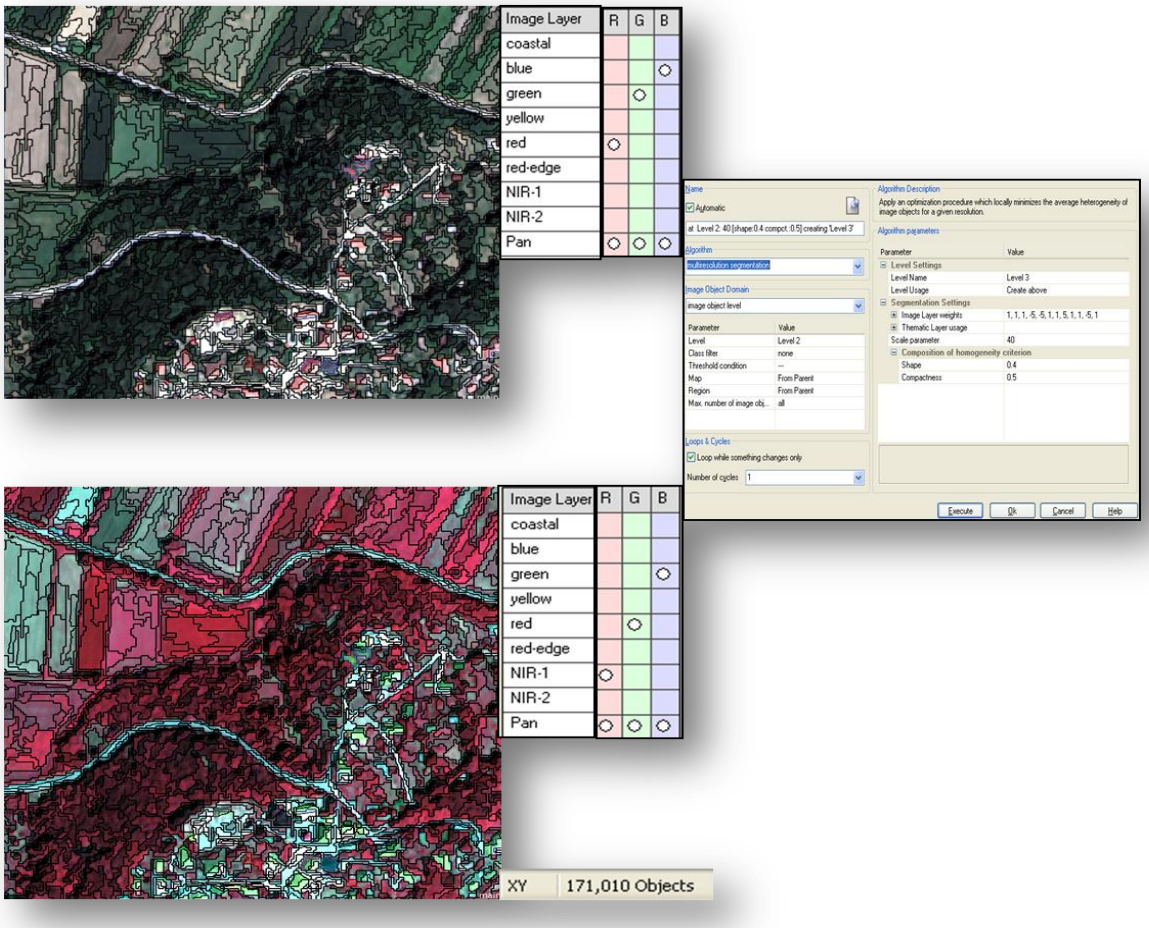
Από τις δοκιμές, οι οποίες έγιναν στο προηγούμενο επίπεδο και το σκοπό της ταξινόμησης ορίζεται η χρησιμοποίηση της ίδιας μεθόδου κατάτμησης σε κάθε εικόνα. Στην Εικόνα 100 προβάλλεται η κατάτμηση του δευτέρου επιπέδου με τους συντελεστές, οι οποίοι τέθηκαν στην προηγούμενη εικόνα και το βαθμό συμμετοχής των καναλιών, όπως παρουσιάζεται στην κατάτμηση του πρώτου επιπέδου.



Εικόνα 100. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.3.1.3 Κατάτμηση 3ου Επιπέδου

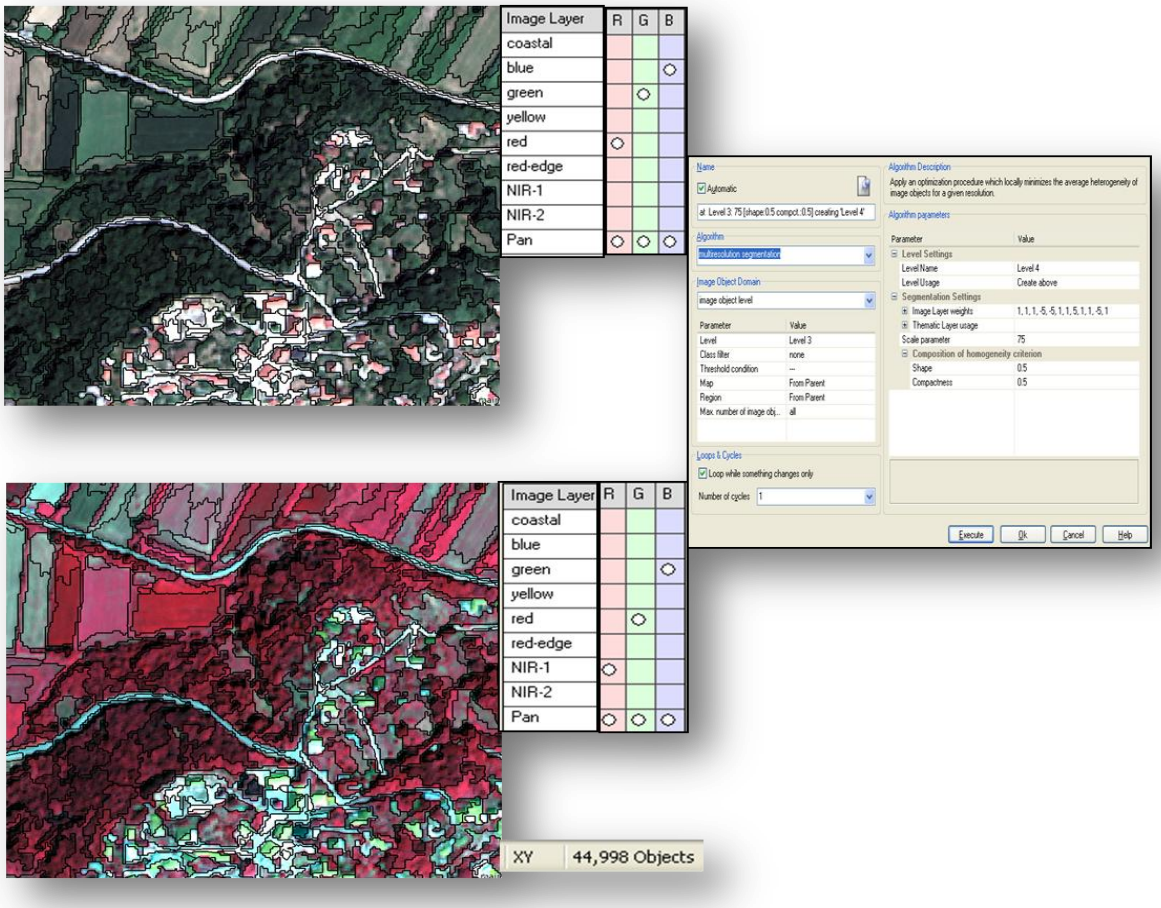
Βάση της κατάτμησης του τρίτου επιπέδου της εικόνας IKONOS ’08 ορίζονται οι ίδιοι παράγοντες για την κατάτμηση του τρίτου επιπέδου της εικόνας και τίθεται οι ίδιοι βαθμοί συμμετοχής των καναλιών με την κατάτμηση του πρώτου επιπέδου (Εικόνα 101).



Εικόνα 101. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.3.1.4 Κατάτμηση 4ου Επιπέδου

Όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα επίπεδα, η διαδικασία κατάτμησης ορίζεται με τις ίδιες παραμέτρους της εικόνας IKONOS ’08 και οι βαθμοί συμμετοχής των καναλιών βάση των τιμών, οι οποίοι ορίστηκαν στην κατάτμηση του πρώτου επιπέδου (Εικόνα 102).



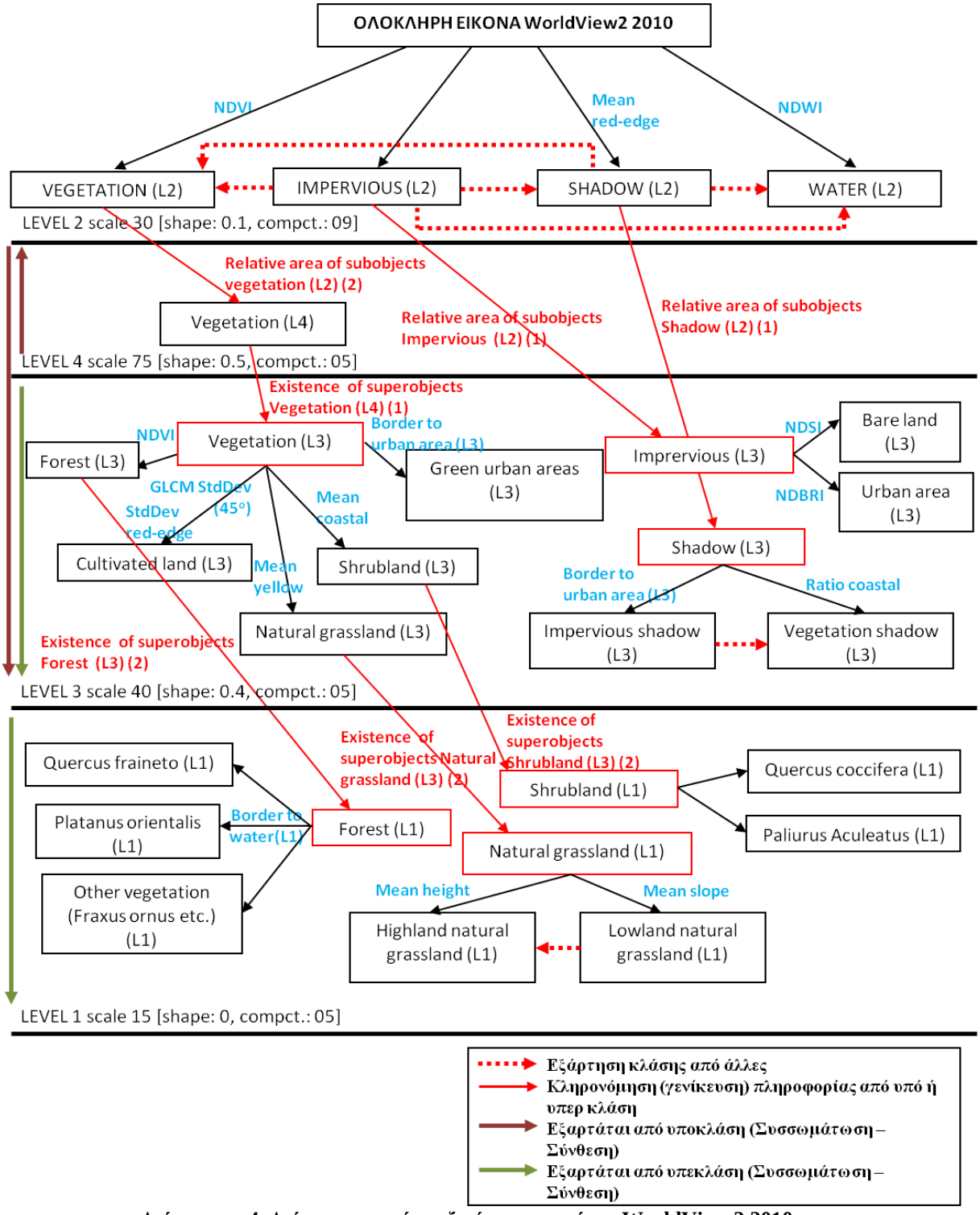
Εικόνα 102. Κατάτμηση της εικόνας WorldView 2 στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.3.2 Ταξινόμηση επιπέδων κατάτμησης

Με την ολοκλήρωση της κατάτμησης και τη δημιουργία των επιπέδων ταξινόμησης, ορίζεται η βάση γνώσης της ταξινόμησης για τον εντοπισμό των χρήσεων γης. Για τη δημιουργία και την ολοκλήρωση της ταξινόμησης τίθεται ως προϋπόθεση η γνώση των χαρακτηριστικών της εικόνας και των χρήσεων γης.

Η εικόνα WorldView 2 ένα σύγχρονο δορυφορικό δεδομένο με ιδιαίτερα υψηλή ανάλυση, η οποία λαμβάνεται στα 0.46 m στο πανχρωματικό κανάλι και στα 1.85 m στα πολυφασματικά κανάλια και τα οχτώ πολυφασματικά κανάλια, τα οποία διαθέτει, εξυπηρετούν στη διάκριση χαρακτηριστικών κατά την ταξινόμηση. Στην εικόνα διακρίνεται η λεπτομέρεια των χρήσεων γης και προσδιορίζεται η ταξινόμηση τους, εντοπίζοντας ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κατηγοριών.

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα ροής της ταξινόμησης διακρίνοντας τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης και προσδιορίζοντας τη φυσική βλάστηση της περιοχής μελέτης. Για την τελική απόφαση χρησιμοποίησης του κατάλληλου συνδυασμού χαρακτηριστικών ταξινόμησης δοκιμάστηκαν διάφορα χαρακτηριστικά, τα οποία προσδιορίστηκαν είτε από ήδη υπάρχουσες μελέτες, είτε από προσωπική έρευνα. Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης ακολουθείται Ιεραρχική Ταξινόμηση (*Hierarchy Classification*).

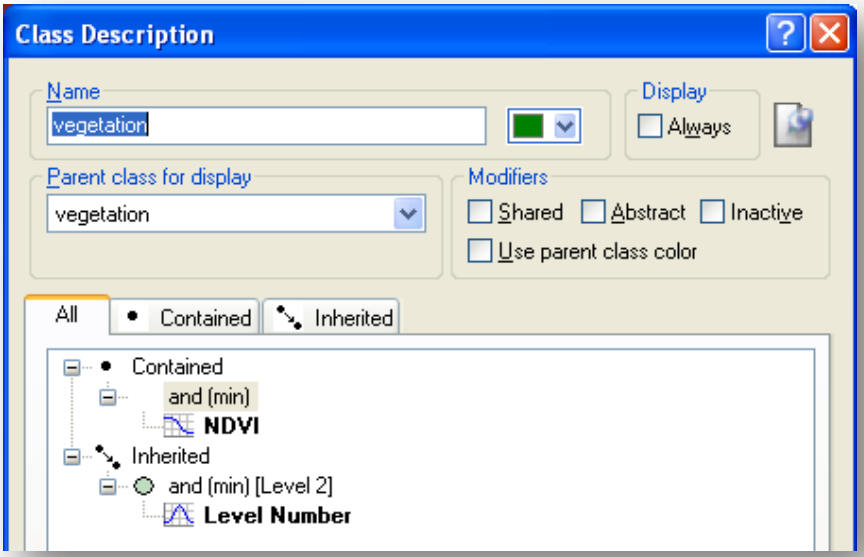


Διάγραμμα 4. Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας WorldView 2 2010

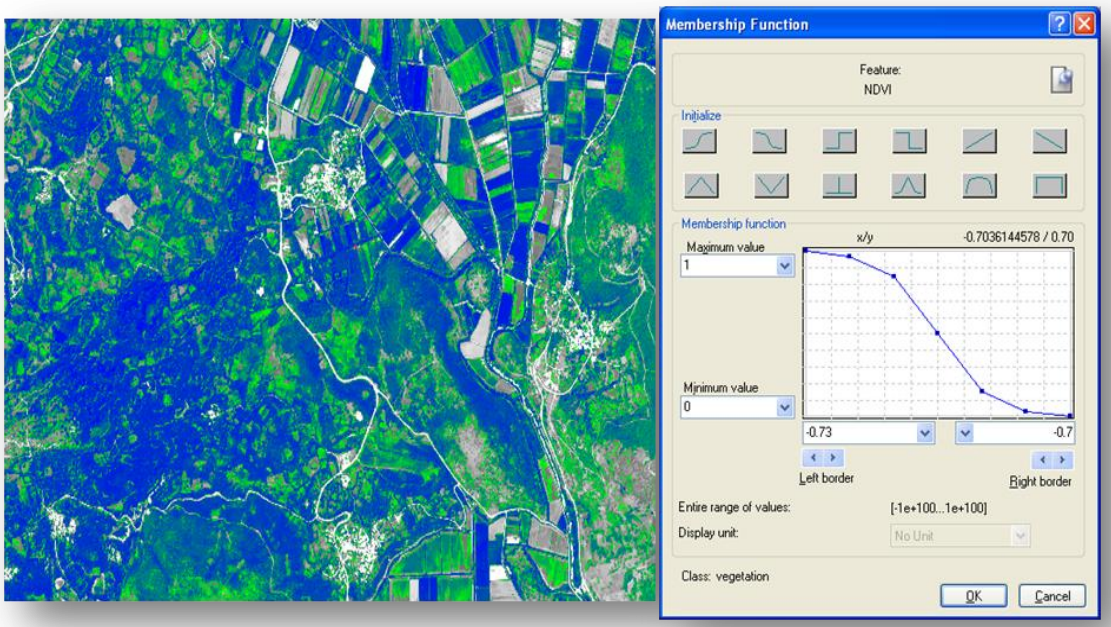
5.4.3.2.1 Ταξινόμηση 2ου Επιπέδου

Βάση όσων έχουν προαναφερθεί στην ταξινόμηση της εικόνας IKONOS '08 και στα χαρακτηριστικά της δορυφορικής εικόνας, καθορίζεται η λογική ταξινόμησης του επιπέδου. Οι κατηγορίες ταξινόμησης του επιπέδου, οι οποίες αποτελούν τις πρωτογενής κατηγορίες είναι η αδιαπέραστη επιφάνεια (*impervious*), η βλάστηση (*vegetation*), η σκιά (*shadow*) και το νερό (*water*). Κάθε χρήση προσδιορίζεται με την εφαρμογή αλγορίθμων και τις διάφορες τιμές των χαρακτηριστικών τους, ώστε να προσαρμοστούν στα δεδομένα των ψηφιακών τιμών της νέας απεικόνισης.

Για την ταξινόμηση της βλάστησης «*vegetation*» χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης βλάστησης «*NDVI*» χρησιμοποιώντας τα νέα κανάλια του δορυφόρου. Ο δείκτης αυτός αποτελεί τον πλέον κατάλληλο για τον προσδιορισμό της βλάστησης. Οι τιμές ασάφειας που δόθηκαν στο δείκτη «*NDVI*» για την εξαγωγή της βλάστησης είναι **-0.73** έως **-0.7** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 104). Οι τιμές ασάφειας είναι αρνητικές, διότι βάση του λόγου του δείκτη NDVI, όπως τον έθεσε ο Wolf το 2010, χρησιμοποιείται πρώτα το κόκκινο κανάλι με τις μικρότερες τιμές (red) και από αυτό αφαιρείται το υπέρυθρο (NIR2).

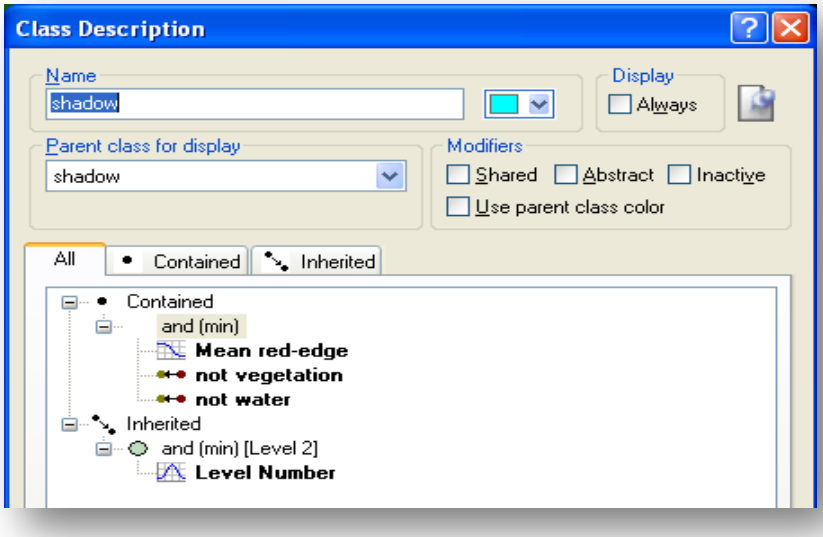


Εικόνα 103. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση «*vegetation (L2)*»

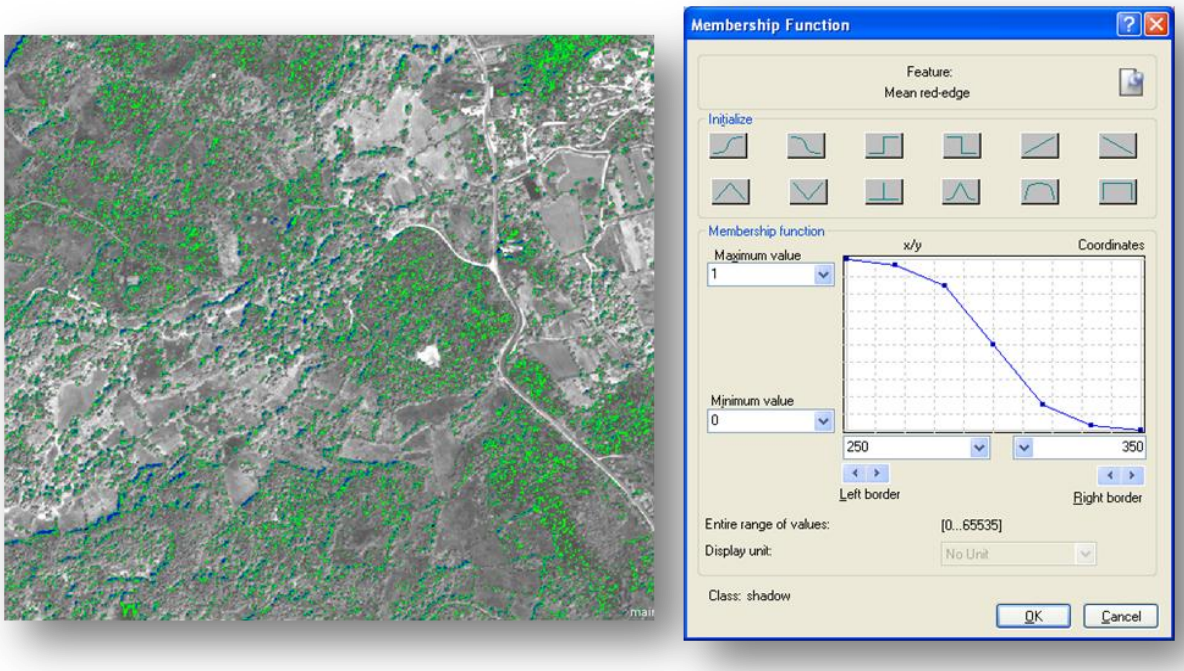


Εικόνα 104. Απεικόνιση της βλάστησης «vegetation (L2)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης «*NDVI*» με τιμές ασάφειας -0.73 έως -0.7 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για την ταξινόμηση της σκιάς «*shadow (L2)*» χρησιμοποιείται η μέση τιμή του καναλιού red-edge «*Mean Red-edge*» σε συνδυασμό με τους κανόνες να μην ανήκει σε αντικείμενα της βλάστησης «*not vegetation (L2)*» και του νερού «*not water(L2)*» (Εικόνα 103). Οι τιμές ασάφειας του κανόνα «*Mean Red-edge*» για τον προσδιορισμό της σκιάς είναι **250** έως **350** με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 106).

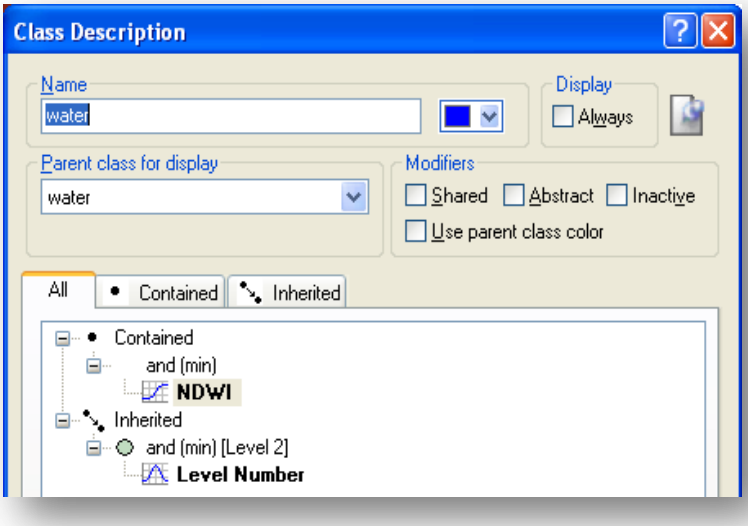


Εικόνα 105. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν της σκιάς «shadow (L2)»

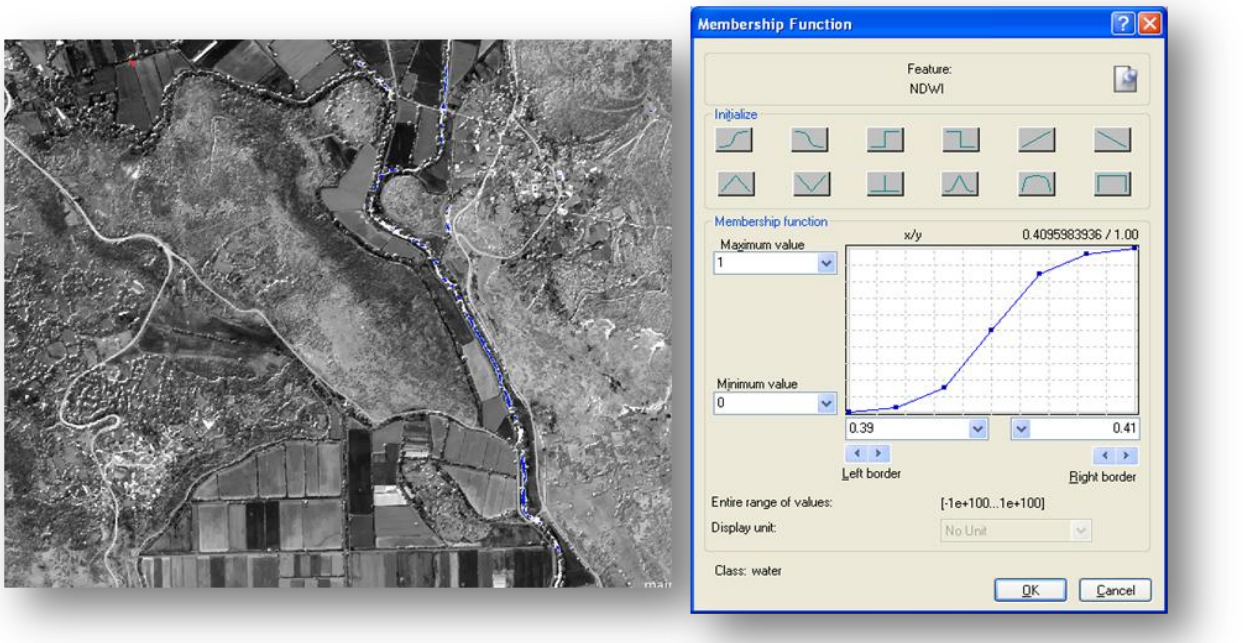


Εικόνα 106. Απεικόνιση της σκιάς «shadow (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή της μέσης τιμής του καναλιού red-edge «*Mean Red-edge*», με τιμές ασάφειας 250 έως 350 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για την ταξινόμηση του νερού «*water (L2)*» χρησιμοποιείται ο δείκτης νερού «*NDWI*» (Εικόνα 105). Οι τιμές ασάφειας του δείκτη κυμαίνονται από **0.39** έως **0.41** με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης (Εικόνα 108).

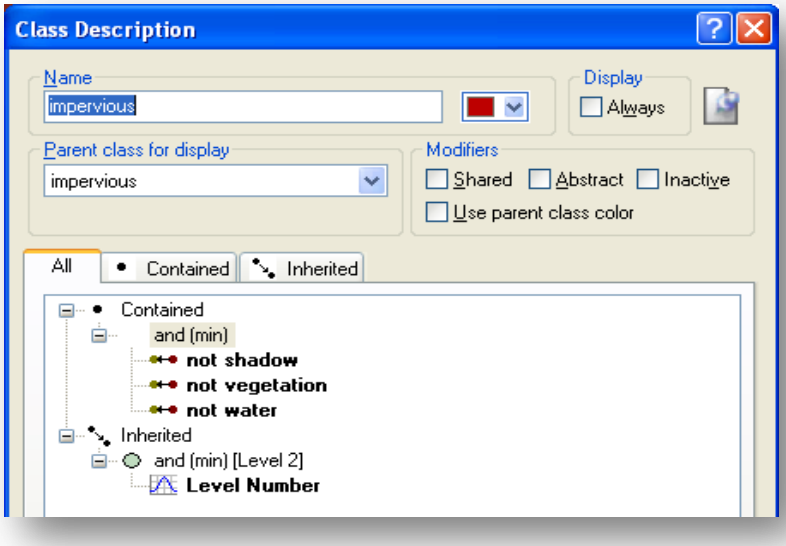


Εικόνα 107. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το νερό «water (L2)»



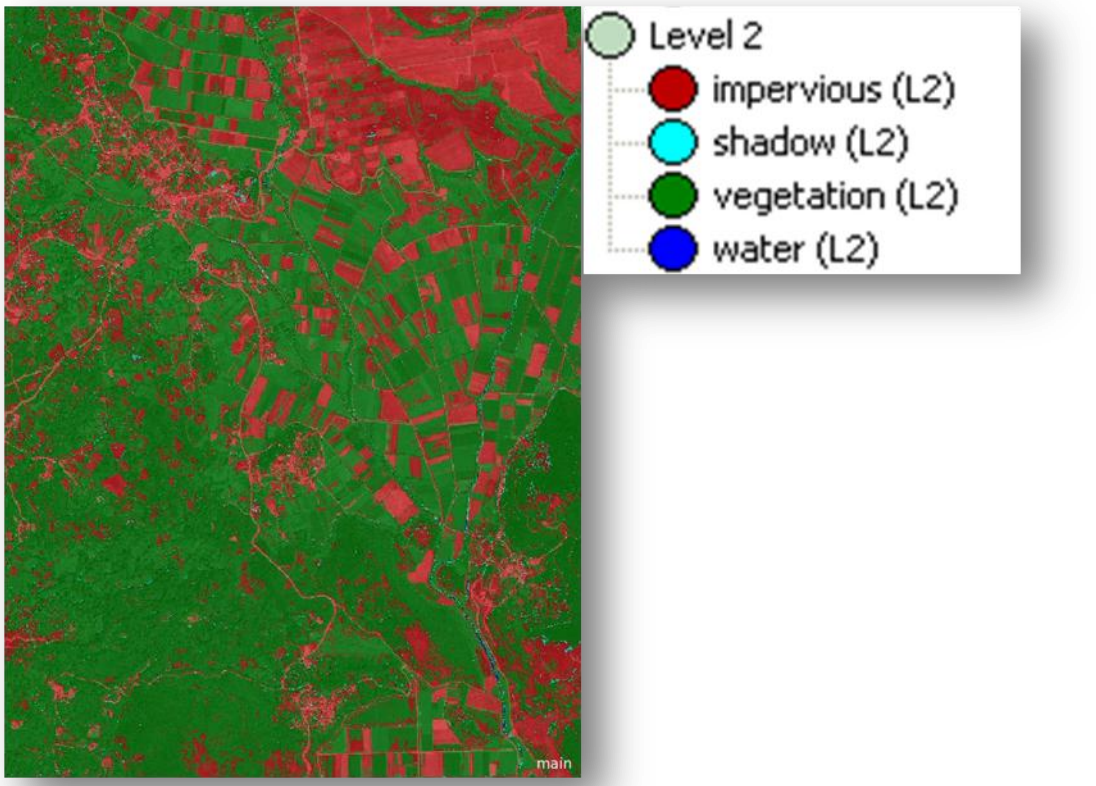
Εικόνα 108. Απεικόνιση του νερού «water (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη νερού «*NDWI*», με τιμές ασάφειας 0.39 έως 0.41 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Η περιγραφή της κατηγορίας της αδιαπέραστης επιφάνειας «Impervious (L2)» ορίζεται εφόσον έχουν καθοριστεί οι υπόλοιπες κατηγορίες του επιπέδου. Για τον εντοπισμό της επιφάνειας ορίζεται η συνθήκη, τα αντικείμενα να μην ανήκουν σε καμία από τις προηγούμενες κατηγορίες, «*not vegetation (L2)*» **and** «*not shadow (L2)*» **and** «*not water(L2)*» (Εικόνα 109).



Εικόνα 109. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν την αδιαπέραστη επιφάνεια «impervious (L2)»

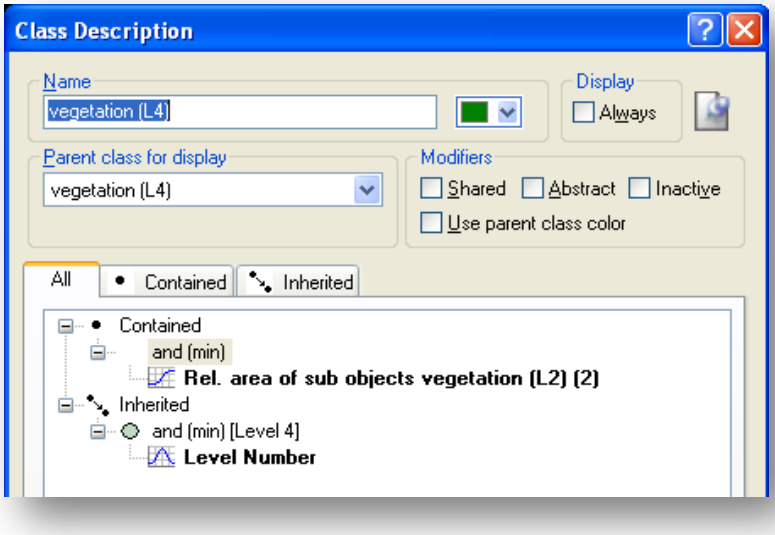
Ο συνδυασμός των αλγορίθμων και των τιμών των χαρακτηριστικών, τα οποία ορίζονται, ολοκληρώνει τη διαδικασία ιεραρχικής ταξινόμησης του επιπέδου. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης προβάλλονται στην Εικόνα 110.



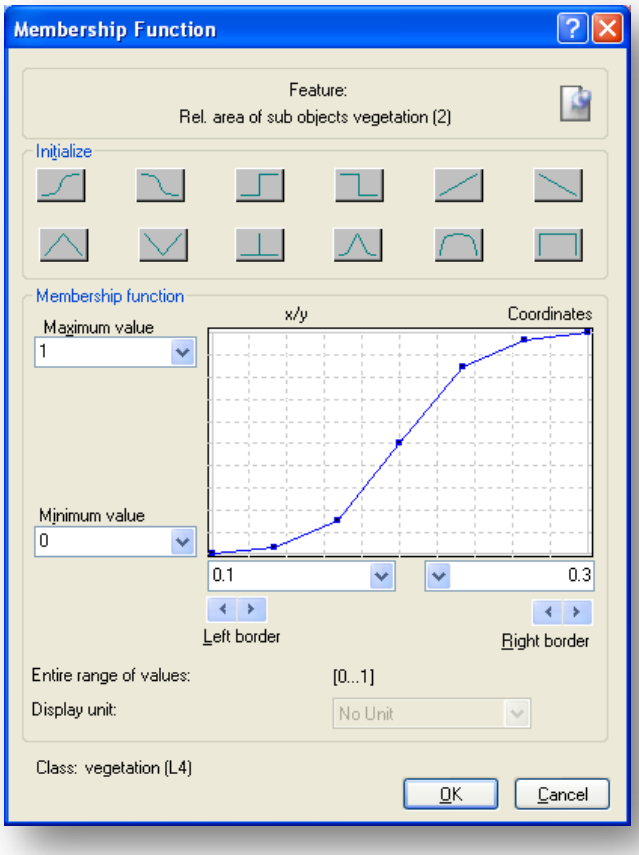
Εικόνα 110. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας WorldView2 2010

5.4.3.2.2 Ταξινόμηση 4ου Επιπέδου

Βάση όσων αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ταξινόμηση της εικόνας IKONOS ’08, το τέταρτο επίπεδο χρησιμοποιείται ως βοηθητικό για την βλάστηση. Για τον προσδιορισμό της βλάστησης ορίζεται ο κανόνας της σχέσης με τα αντικείμενα προηγούμενο επιπέδου, τα οποία ορίζουν τη βλάστηση σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20% (Εικόνα 111). Δηλαδή ο κανόνας συμμετοχής είναι «*Realative area of sub objects vegetaiton (L2)*», οι τιμές ασάφειας είναι **0.1** έως **0.3** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης (Εικόνα 112).



Εικόνα 111. Περιγραφή των αντικειμένων που κληρονομούνται από υποαντικείμενα για την εξαγωγή της βλάστησης «*vegetation (L4)*»



Εικόνα 112. Προβολή της συνάρτησης συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης, με τιμές ασάφειας 0.1 έως 0.32, με τον κανόνα κληρονομικότητας των αντικειμένων της βλάστησης από το δεύτερο επίπεδο «Rel. Area of sub object vegetation (L2) (2)»



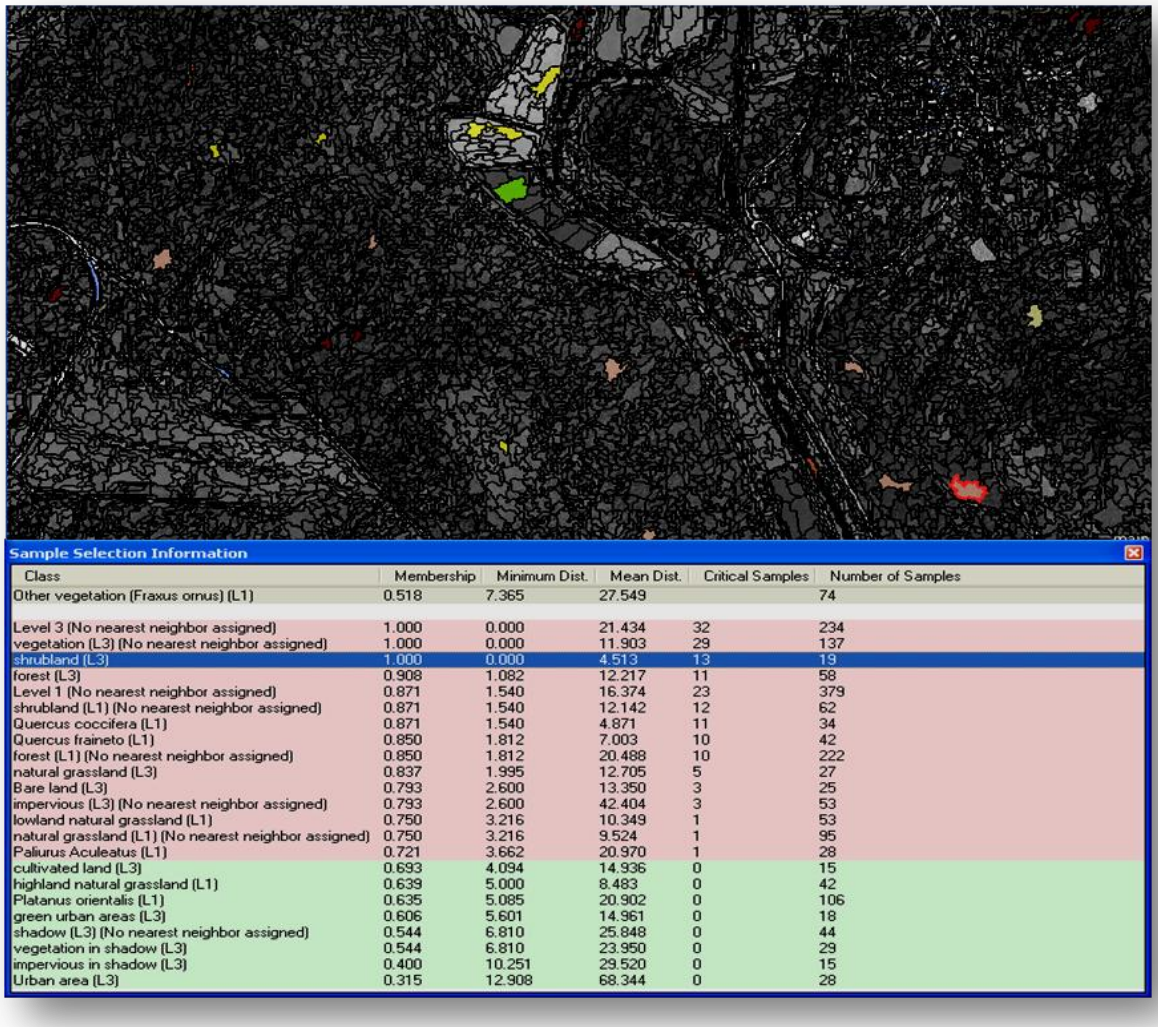
Εικόνα 113. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας WorldView2 2010

5.4.3.2.3 Ταξινόμηση 3ου Επιπέδου

Οι κατηγορίες, οι οποίες εντάσσονται προς ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο, κληρονομούνται τα χαρακτηριστικά από τις κατηγορίες του δευτέρου και του τετάρτου επιπέδου, διότι αποτελούν γενίκευση του δευτέρου επιπέδου ταξινόμησης. Οι κατηγορίες, οι οποίες ταξινομούνται σε αυτό το επίπεδο, είναι η γυμνή επιφάνεια «*bare land (L3*)» και η τεχνητή επιφάνεια «*urban area (L3)*», οι οποίες αποτελούν γενίκευση των αδιαπέρατων υλικών «*impervious (L2)*», η σκιά αδιαπέρατων υλικών «impervious shadow» και η σκιά βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*», τα οποία αποτελούν γενίκευση της σκιάς «*shadow (L2)*», οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις «*cultivated land (L3)*», το δάσος «*forest (L3)*», οι λιβαδικές εκτάσεις «*natural grassland (L3)*», οι θαμνώδεις εκτάσεις «*shrubland (L3)*» και η βλάστηση σε τεχνητή επιφάνεια «*green urban area (L3)*», οι οποίες αποτελούν γενίκευση της κατηγορίας βλάστησης «*vegetation (L4)*».

Κατά την ταξινόμηση των αντικειμένων στις κατηγορίες του τρίτου επιπέδου γίνεται συνδυασμός της μεθόδου του εγγύτερου γείτονα «Nearest Neighbor» με τη δημιουργία βάσης γνώσης. Η συλλογή δειγμάτων έγινε βάση των προδιαγραφών, οι οποίοι παρατίθενται στο αντίστοιχο επίπεδο της ταξινόμησης της εικόνας IKONOS ’08.

Για την ταξινόμηση των παραπάνω κατηγοριών χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της μεθόδου Εγγύτερου Γείτονα «*Nearest Neighbor*» με την εφαρμογή ασαφής λογικής στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Κατά το πρώτο στάδιο της ταξινόμησης επιλέχθηκαν κάποια δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν περίπου 20 με 25 για κάθε κατηγορία και η επιλογή τους έγινε έπειτα από την φωτοερμηνεία της εικόνας και την επιτόπια έρευνα της περιοχής.

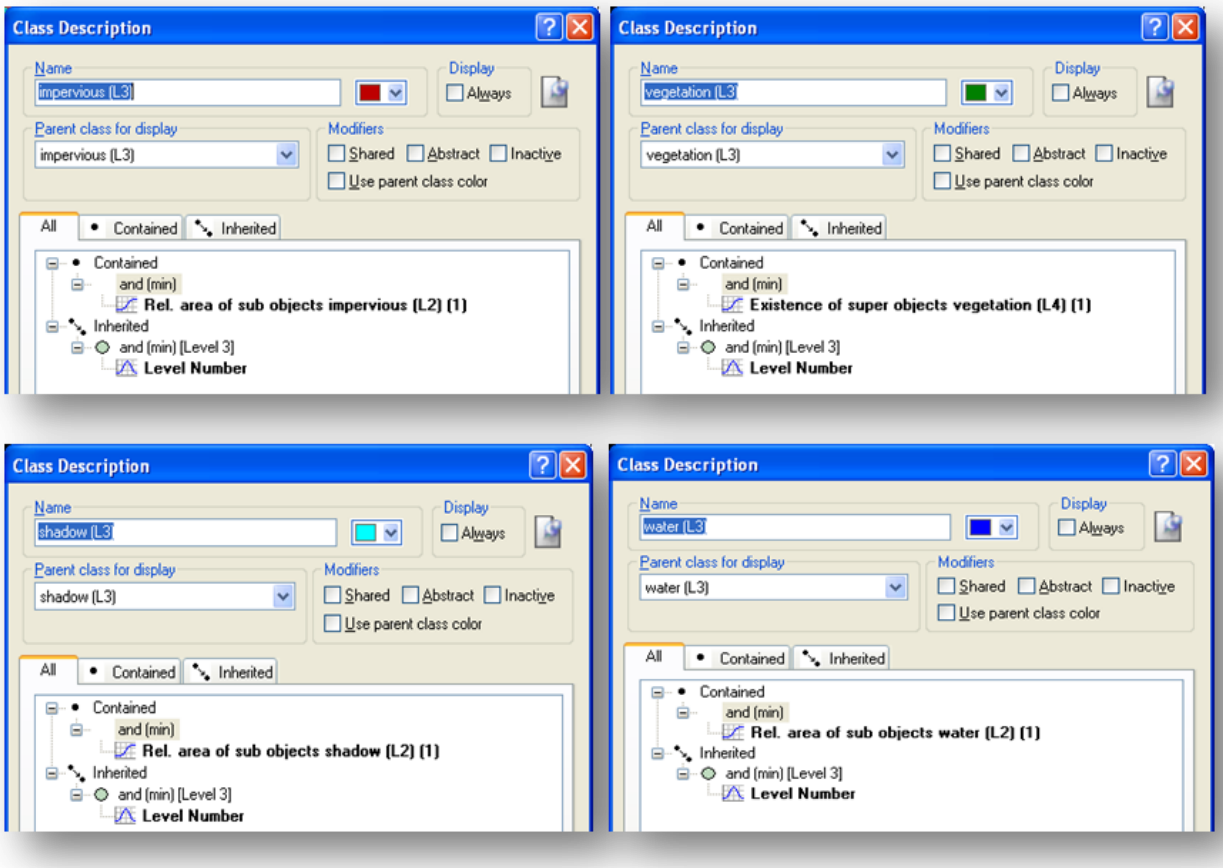


Sample Selection Information

Class	Membership	Minimum Dist.	Mean Dist.	Critical Samples	Number of Samples
Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)	0.518	7.365	27.549		74
Level 3 (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	21.434	32	234
vegetation (L3) (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	11.903	29	137
shrubland (L3)	1.000	0.000	4.513	13	19
forest (L3)	0.908	1.082	12.217	11	58
Level 1 (No nearest neighbor assigned)	0.871	1.540	16.374	23	379
shrubland (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.871	1.540	12.142	12	62
Quercus coccifera (L1)	0.871	1.540	4.871	11	34
Quercus fraineto (L1)	0.850	1.812	7.003	10	42
forest (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.850	1.812	20.488	10	222
natural grassland (L3)	0.837	1.995	12.705	5	27
Bare land (L3)	0.793	2.600	13.350	3	25
impervious (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.793	2.600	42.404	3	53
lowland natural grassland (L1)	0.750	3.216	10.349	1	53
natural grassland (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.750	3.216	9.524	1	95
Paliurus Aculeatus (L1)	0.721	3.662	20.970	1	28
cultivated land (L3)	0.693	4.094	14.936	0	15
highland natural grassland (L1)	0.639	5.000	8.483	0	42
Platanus orientalis (L1)	0.635	5.085	20.902	0	106
green urban areas (L3)	0.606	5.601	14.961	0	18
shadow (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.544	6.810	25.848	0	44
vegetation in shadow (L3)	0.544	6.810	23.950	0	29
impervious in shadow (L3)	0.400	10.251	29.520	0	15
Urban area (L3)	0.315	12.908	68.344	0	28

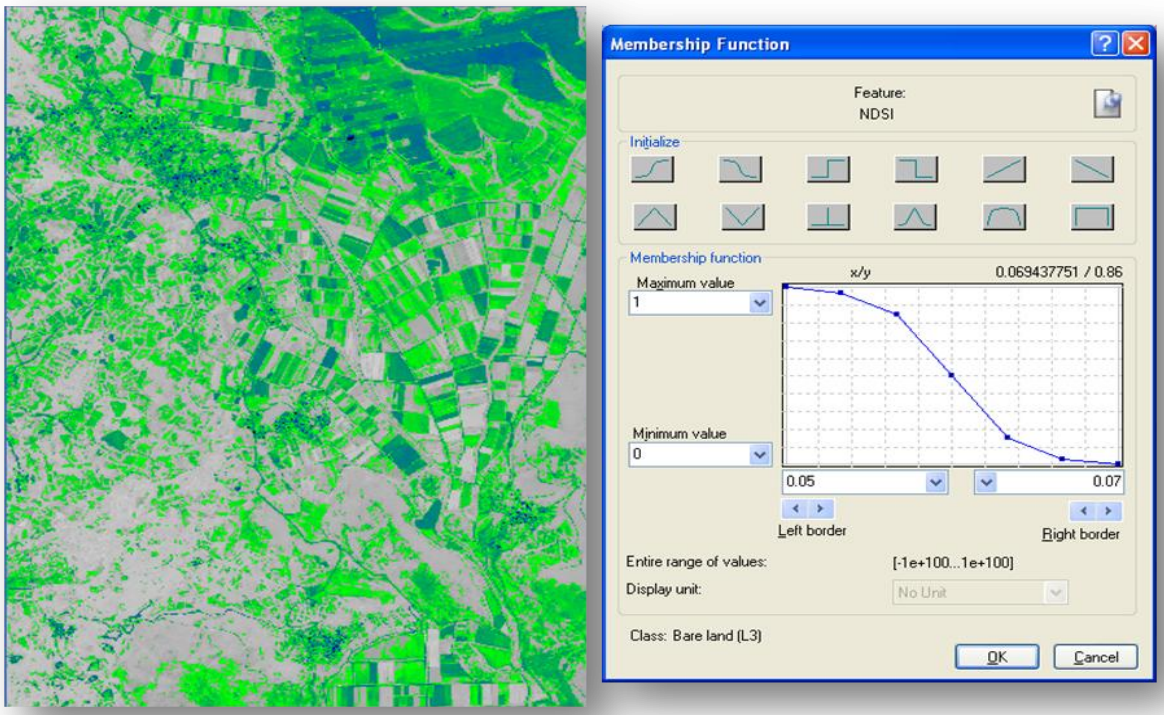
Εικόνα 114. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία

Η γενίκευση των κατηγοριών ορίζεται από τις σχέσεις επιφάνειας των αντικειμένων με τις υποκατηγορίες ή τις υπέρ κατηγορίες.



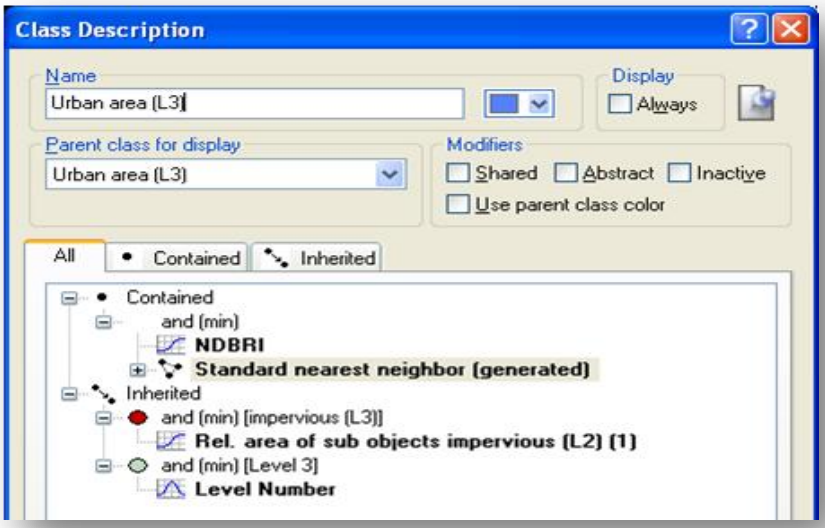
Εικόνα 115. Κληρονομικότητα χαρακτηριστικών των κατηγοριών του επιπέδου από τις κατηγορίες άλλου επιπέδου, τις οποίες γενικεύουν

Για την ταξινόμηση της γυμνής επιφάνειας χρησιμοποιείται ο δείκτης εδάφους «*NDSI*», ο οποίος προσδιορίζεται από τη μέση τιμή στο πράσινο (green) και στο κίτρινο (yellow) κανάλι. Οι τιμές ασάφειας του δείκτη κυμαίνονται από **0.05** έως **0.07** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 116).

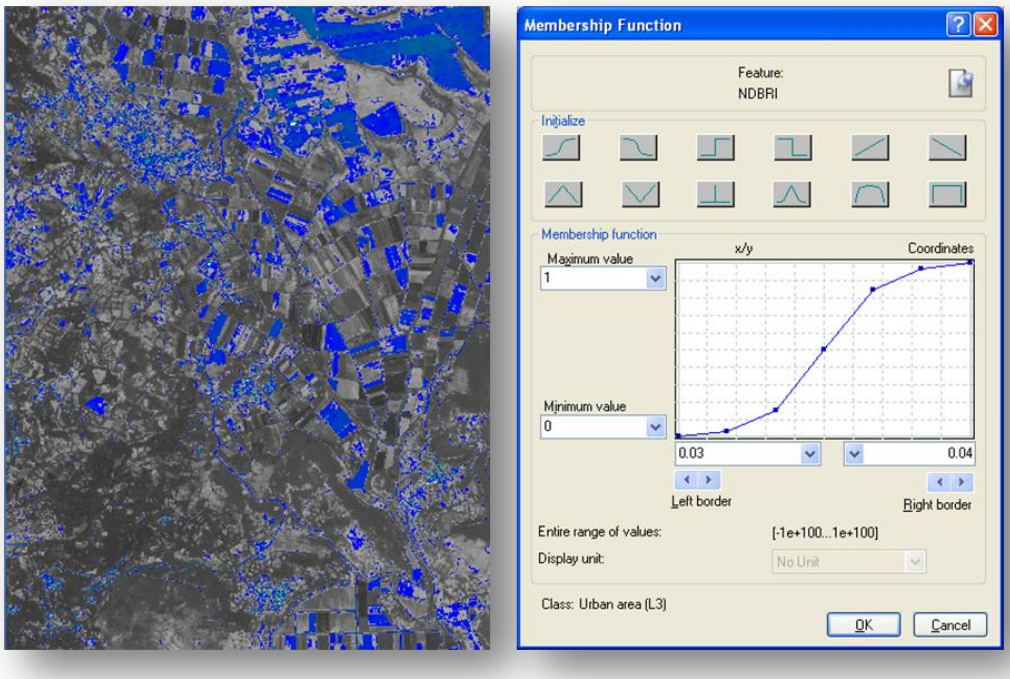


Εικόνα 116. Απεικόνιση του γυμνού εδάφους με την εφαρμογή του δείκτη εδάφους "*NDSI*", τιμές ασάφειας 0.05 έως 0.07 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης

Η τεχνητή επιφάνεια «*urban area (L3)*» αποτελείται κυρίως από σπίτια με κεραμοσκεπές και δρόμους. Για τον εντοπισμό των αντικειμένων, τα οποία ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης σκεπών «*NDBRI*», οι τιμές ασάφειας του οποίου είναι από **0.03** έως **0.04** με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης.

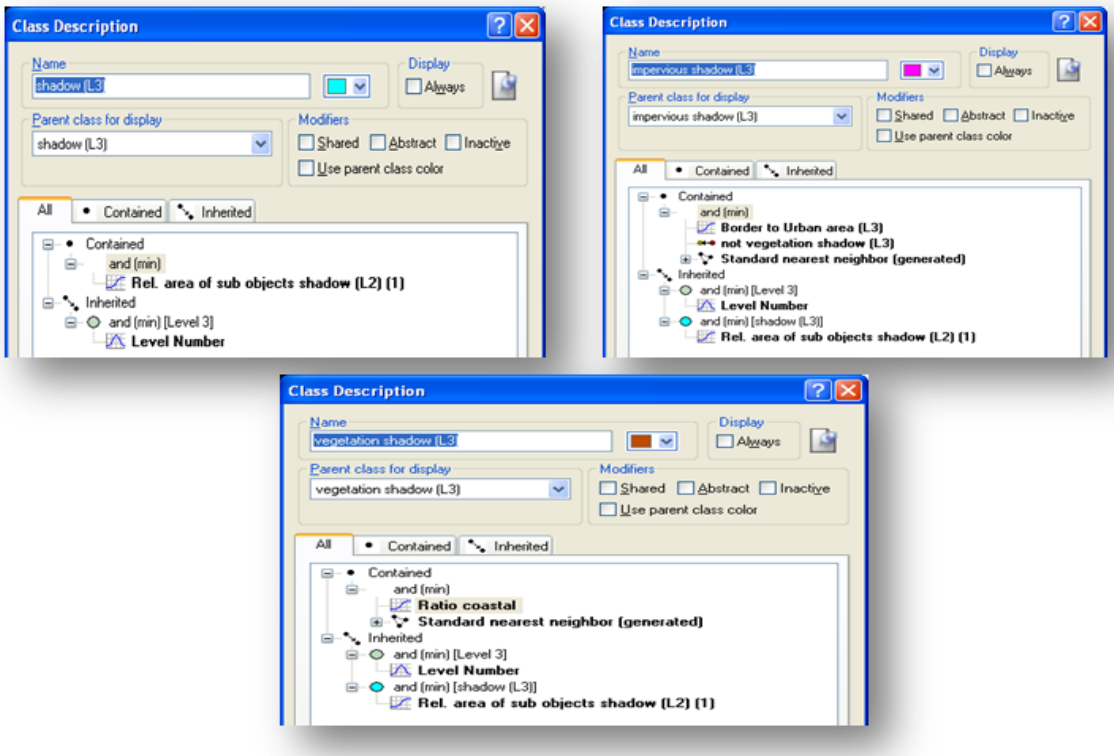


Εικόνα 117. Περιγραφή των χαρακτηριστικών των αντικειμένων που ανήκουν στην κατηγορία της τεχνητής επιφάνειας «urban area (L3)»

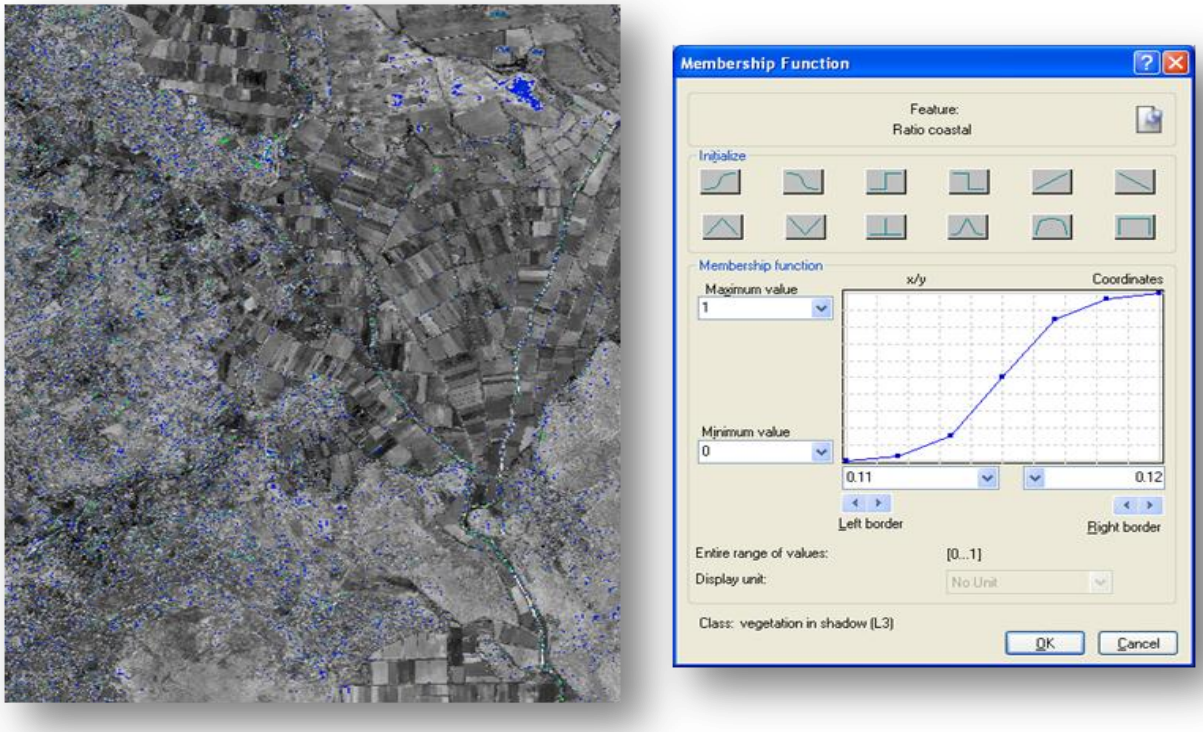


Εικόνα 118. Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας με την εφαρμογή του δείκτη εδάφους "*NDBRI*", τιμές ασάφειας 0.03 έως 0.04 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης

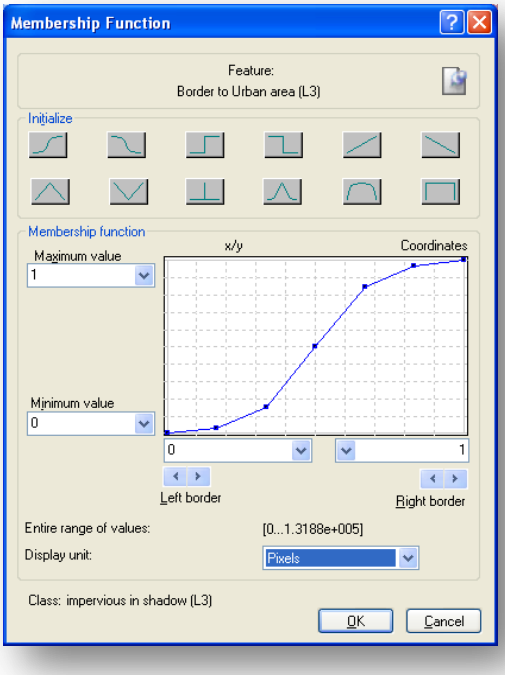
Η κατηγορία της σκιάς στο δεύτερο επίπεδο γενικεύεται στις κατηγορίες, σκιά από κτίρια «*impervious shadow (L3)*» και σκιά από βλάστηση «*vegetation shadow (L3)*». Ο διαχωρισμός των δύο κατηγοριών γίνεται θέτοντας στη σκιά από βλάστηση «*vegetation shadow (L3)*» τον κανόνα «*Ratio coastal*», με τιμές ασάφειας **0.11** έως **0.12** και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης. Για τον εντοπισμό της σκιάς από τεχνητή επιφάνεια ορίζεται ο κανόνας γειτνίασης με τεχνητή επιφάνεια «*Border to urban area (L3)*» και ο αποκλεισμός των αντικειμένων, τα οποία εντάχθηκαν στην κατηγορία σκιά από βλάστηση «*not vegetation shadow (L3)*».



Εικόνα 119. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης των υποκατηγοριών της σκιάς



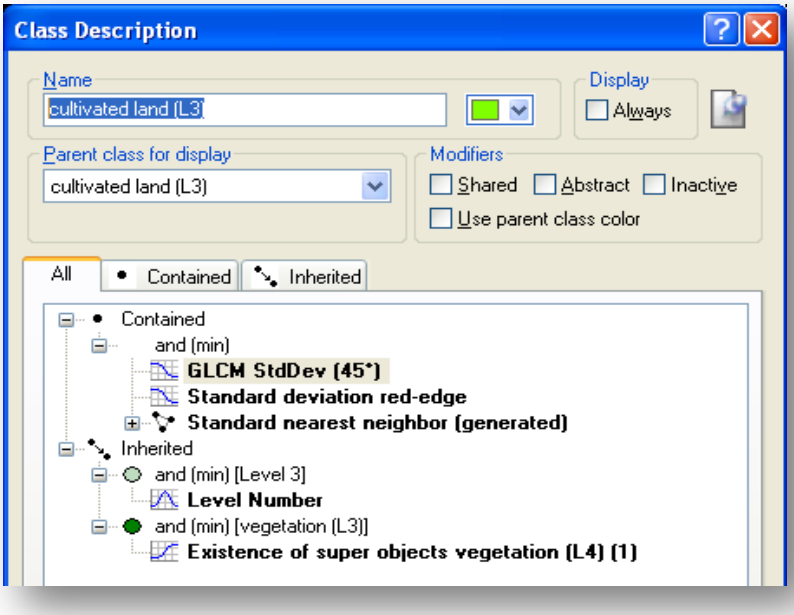
Εικόνα 120. Απεικόνιση της σκιάς «vegetation shadow (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή της αναλογίας στο κανάλι coastal «Ratio coastal», με τιμές ασάφειας 0.11 έως 0.12 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης



Εικόνα 121. Προβολή της σκιάς από τεχνητή επιφάνεια «*impervious shadow (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της γειτνίασης με νερό «*Border to Urban area (L3)*» με τιμές ασάφειας 0 έως 1 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

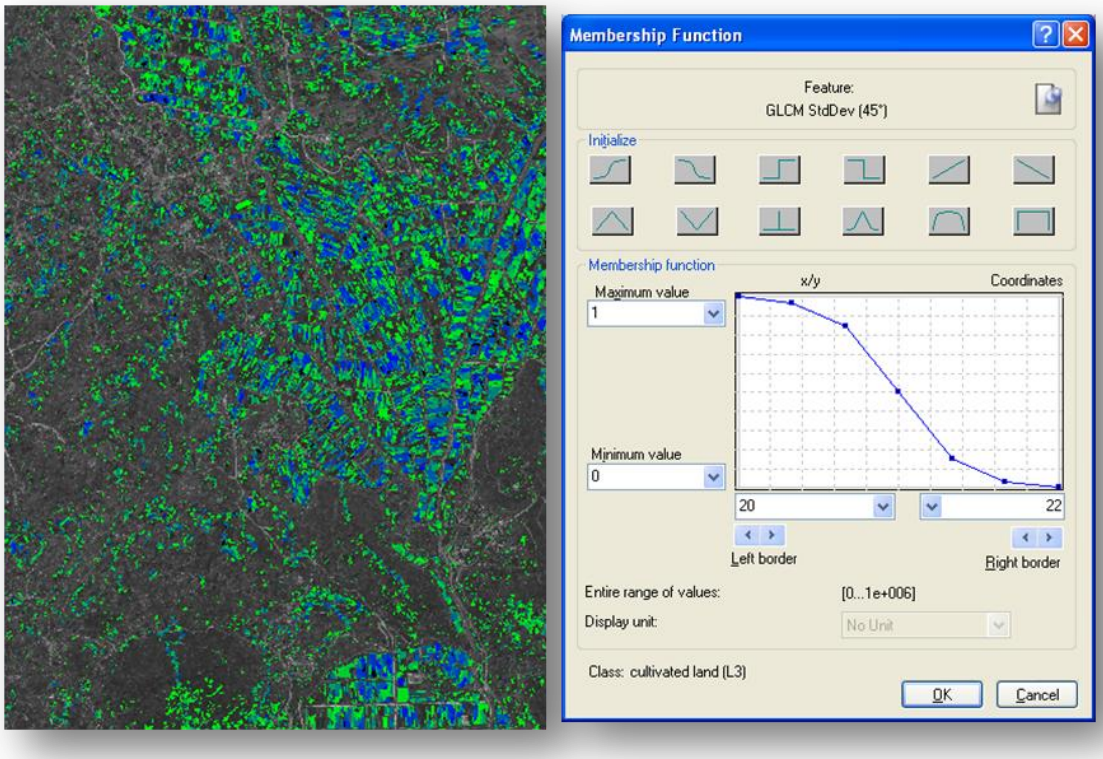
Η κατηγορία της βλάστησης «vegetation (L4)» γενικεύεται στις υποκατηγορίες των καλλιεργήσιμων εκτάσεων «*cultivated land (L3)*», στο δάσος «*forest (L3)*», τις λιβαδικές εκτάσεις «*natural grassland (L3)*», τις θαμνώδεις εκτάσεις «*shrubland (L3)*» και τη βλάστηση σε τεχνητή επιφάνεια «*green urban area (L3)*».

Η υποκατηγορία των καλλιεργήσιμων εκτάσεων «*cultivated land (L3)*» εκτός από τη δειγματοληπτική επιφάνεια χρησιμοποιεί τον κανόνα υφής σύμφωνα με τον Haralick «*GLCM StdDev (45^{o})*» και τον κανόνα της τυπικής απόκλισης στις ακραίες κόκκινες τιμές «*Standard deviation red-edge*» (Εκόνα 122).



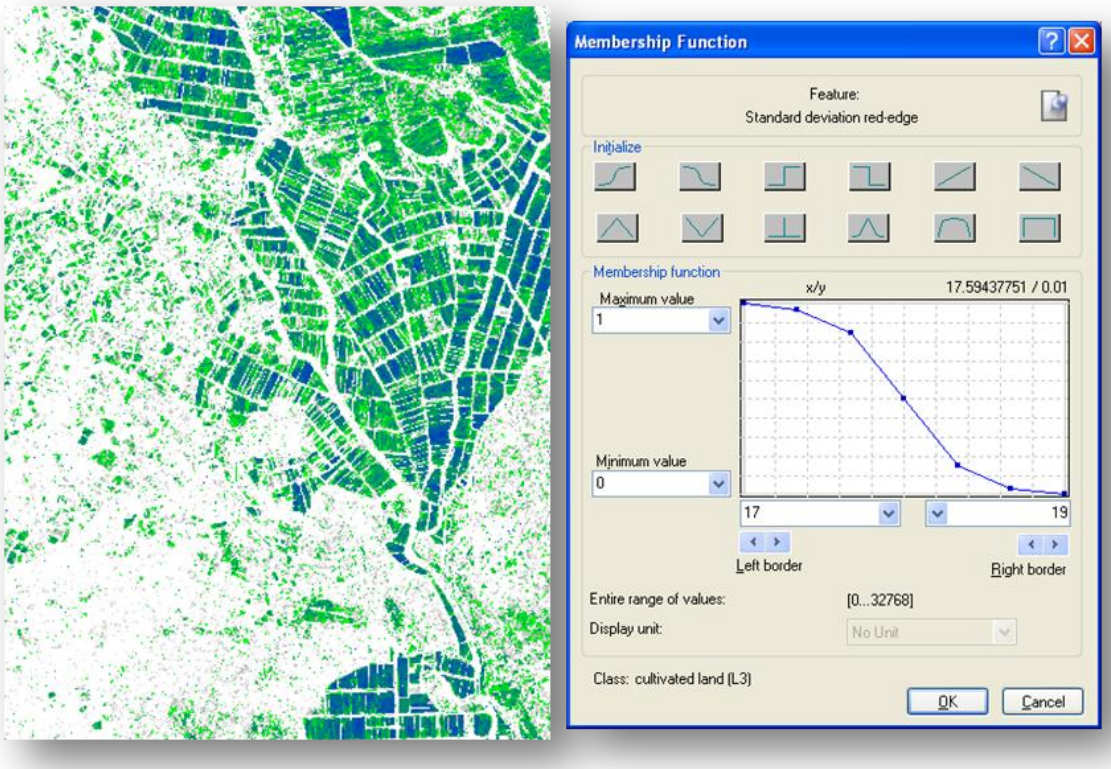
Εικόνα 122. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*cultivated land (L3)*»

Οι τιμές ασάφειας του κανόνα υφής σύμφωνα με τον Haralick «*GLCM StdDev (45°)*» κυμαίνονται από **20** έως **22** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 123).



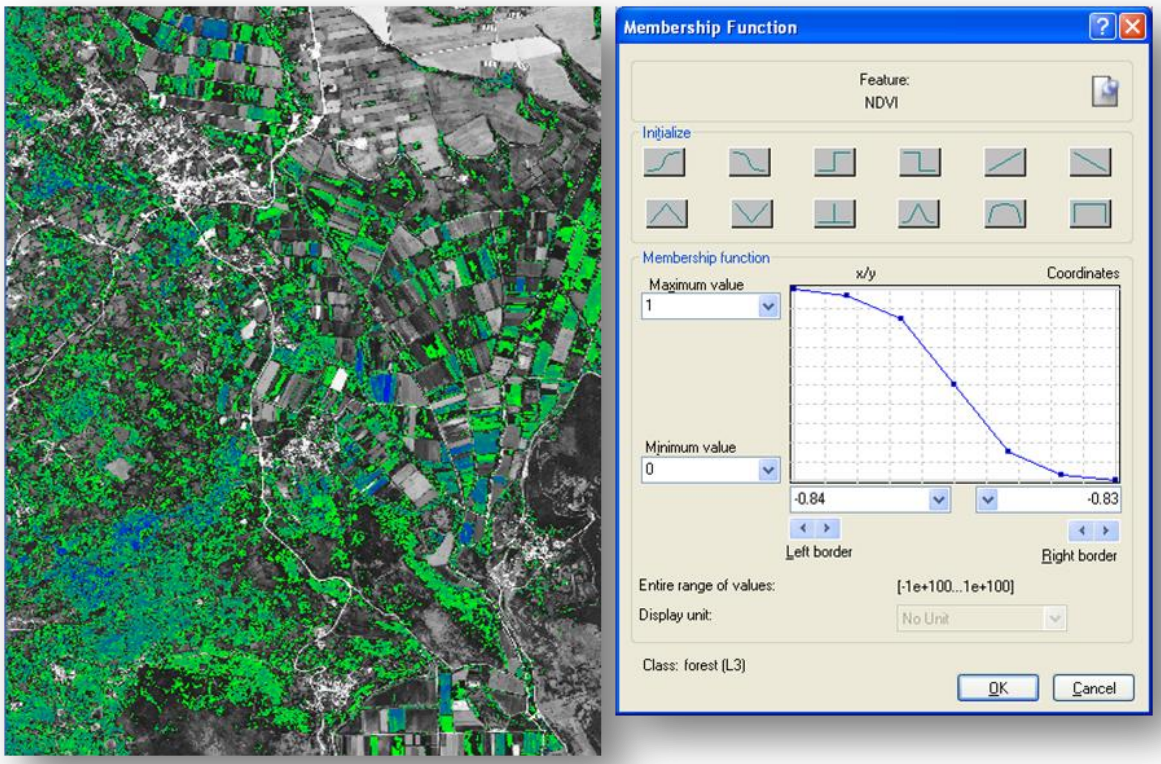
Εικόνα 123. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων «*cultivated land (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα υφής σύμφωνα με τον Haralick «GLCM StdDev (45°)», του οποίου οι τιμές ασάφειας καθορίζονται από 20 έως 22 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Οι τιμές ασάφειας της τυπικής απόκλισης στις ακραίες κόκκινες τιμές «*Standard deviation red-edge*» κυμαίνονται **17** έως **19** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 124).



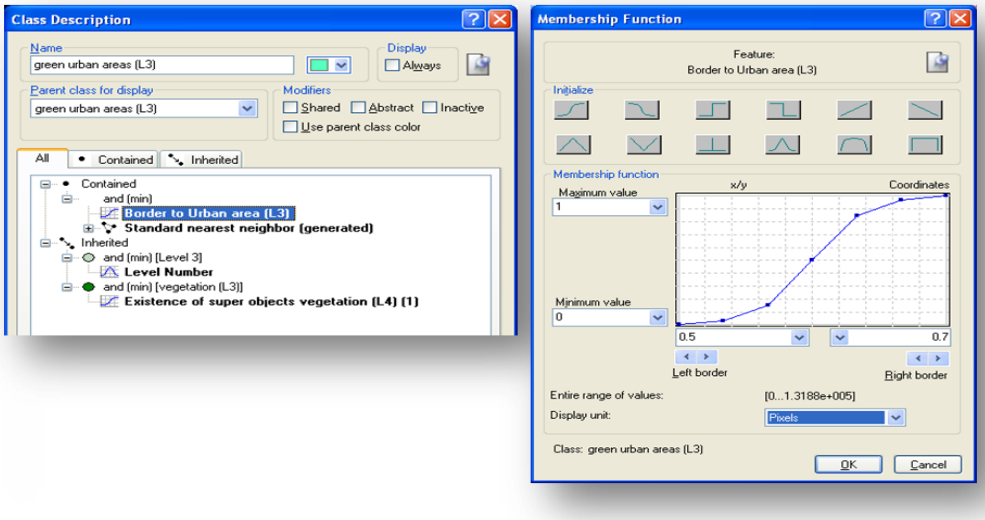
Εικόνα 124. Απεικόνιση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων «cultivated land (L3)» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της τυπικής απόκλισης στις ακραίες τιμές του κόκκινου καναλιού «*Standard deviation red-edge*», του οποίου οι τιμές ασάφειας καθορίζονται από 17 έως 19 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για την περιγραφή της υποκατηγορίας δάσος «*forest (L3)*» χρησιμοποιείται ο δείκτης βλάστησης «*NDVI*» σε μεγάλες τιμές ασάφειας **-0.83** έως **-0.84** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 125 & 126).



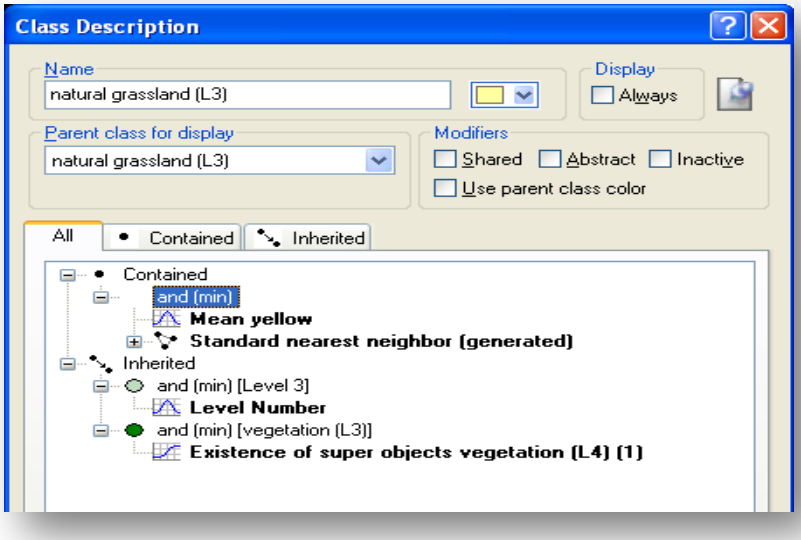
Εικόνα 125. Απεικόνιση του δάσους «*forest (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης «*NDVI*», του οποίου οι τιμές ασάφειας καθορίζονται από -0.83 έως -0.84 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για τον εντοπισμό της βλάστησης, η οποία βρίσκεται σε κατοικημένη περιοχή «green urban area (L3)» χρησιμοποιείται ο κανόνας γειτνίασης με τεχνητή επιφάνεια «*Border to Urban area (L3)*». Οι τιμές ασάφειας κυμαίνονται από **0.5** έως **0.7** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.

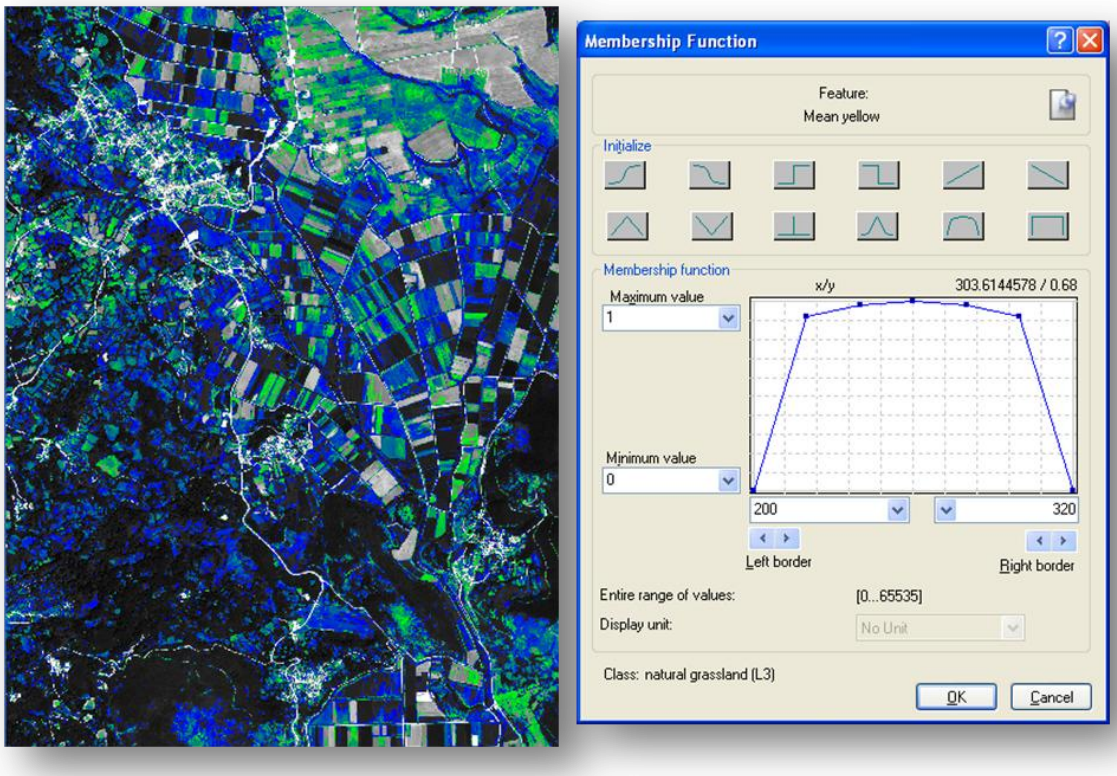


Εικόνα 126. Εντολή για τον εντοπισμό της βλάστησης, η οποία βρίσκεται σε κατοικημένη περιοχή «green urban area (L3)» με την εφαρμογή του κανόνα της γειτνίασης με νερό «*Border to Urban area (L3)*» με τιμές ασάφειας 0.5 έως 0.7 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Επιπλέον, ο εντοπισμός των λιβαδιών «*natural grassland (L3)*» γίνεται με τη χρήση του κανόνα της μέσης τιμής στο κίτρινο κανάλι «*Mean yellow*» θέτοντας τιμές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την κατηγορία μεταξύ των ορίων **200** έως **320**.

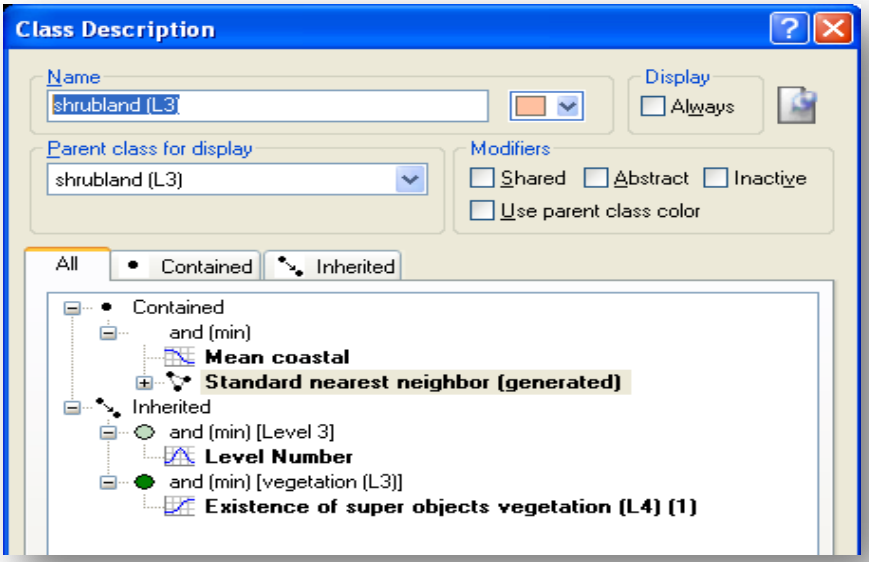


Εικόνα 127. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*natural grassland (L3)*»

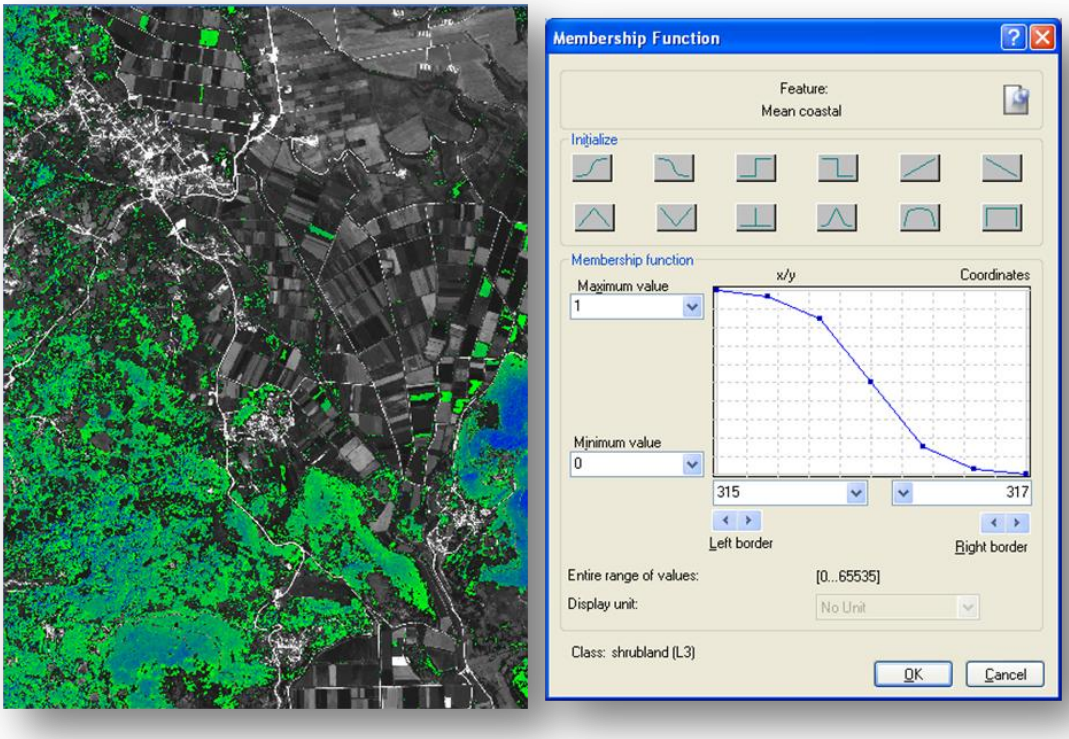


Εικόνα 128. Απεικόνιση των λιβαδιών «*natural grassland (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής στο κίτρινο κανάλι «*Mean yellow*», του οποίου οι τιμές ορίζονται μεταξύ των ορίων 200 έως 320

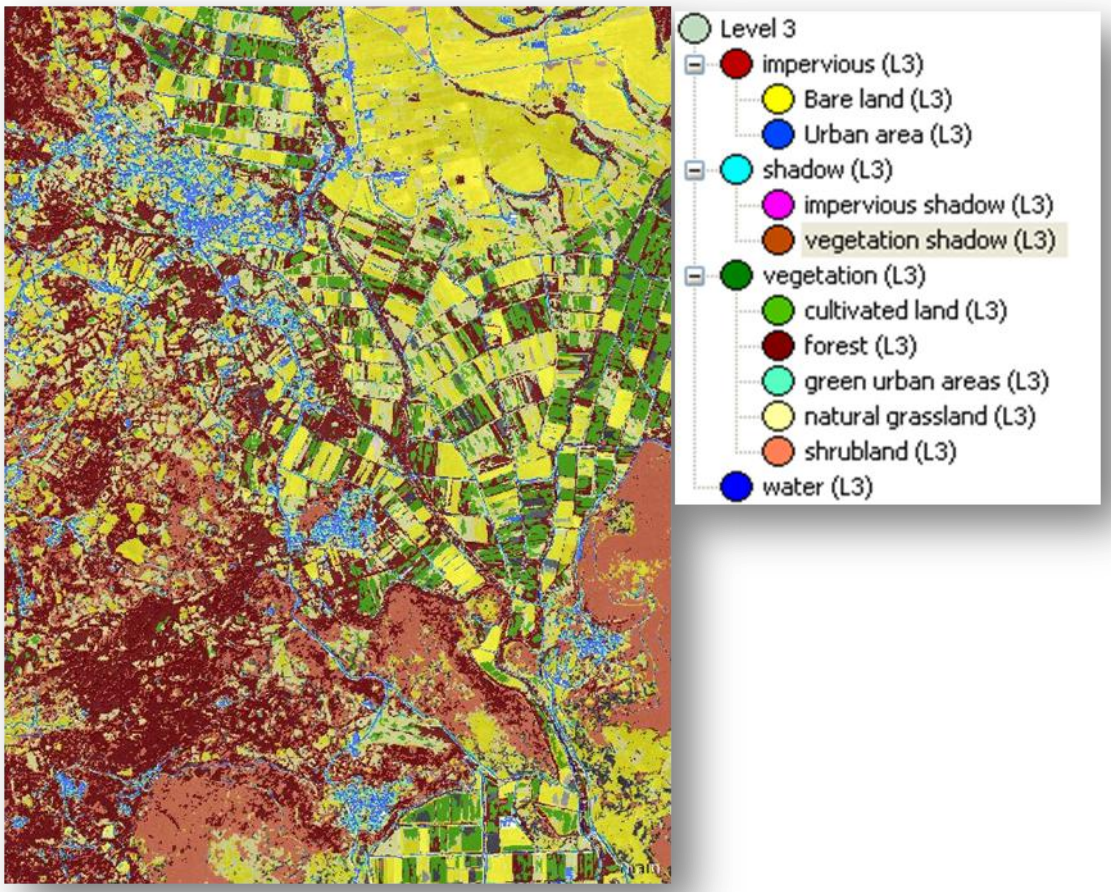
Η διάκριση των θαμνότοπων «*shrubland (L3)*» γίνεται με τη χρήση του κανόνα της μέσης τιμής στο κανάλι coastal «*Mean coastal*» (Εικόνα 140). Οι τιμές ασάφειας κυμαίνονται από **315** έως **317** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 130).



Εικόνα 129. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «shrubland (L3)»



Εικόνα 130. Απεικόνιση των θαμνότοπων «*shrubland (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής στο κανάλι coastal «*Mean coastal*», του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 315 έως 317 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης



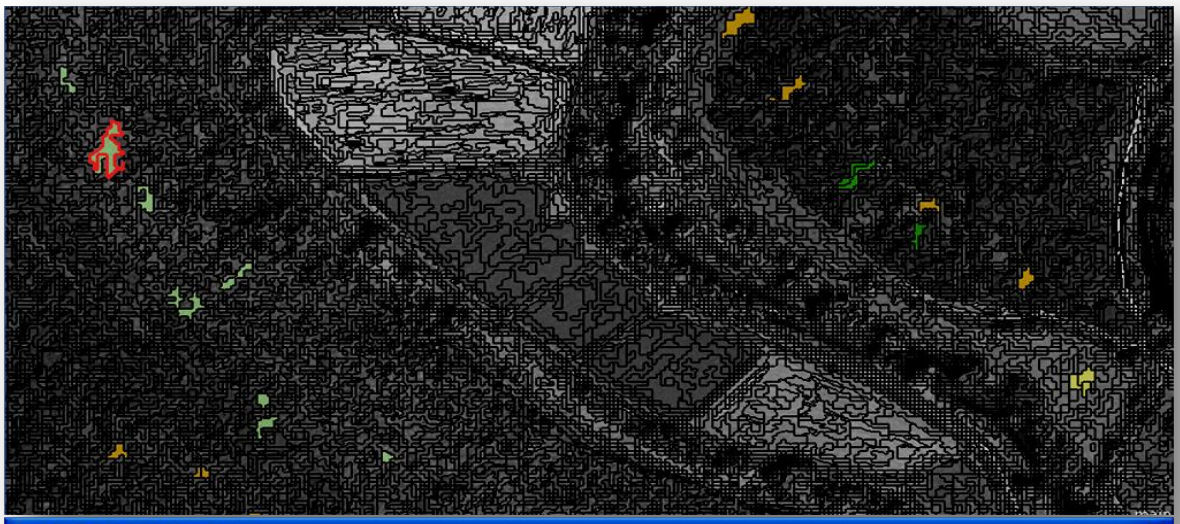
Εικόνα 131. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας WorldView2 2010

5.4.2.3.4 Ταξινόμηση 1ου Επιπέδου

Βάση της μεθοδολογίας, η οποία αναφέρεται στη ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS ’08, αντίστοιχα πραγματοποιείται η ταξινόμηση του επιπέδου στην εικόνα. Οι κατηγορίες ταξινόμησης σε αυτό το επίπεδο εκφράζουν το βαθύτερο επίπεδο ταξινόμησης, δηλαδή τα κύρια είδη βλάστησης, τα οποία επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Οι κλάσεις, οι οποίες ταξινομήθηκαν σε αυτό το επίπεδο, είναι οι Δρυς «*Quercus fraineto (L1)*», τα πλατάνια «*Platanus orientalis (L1)*», λοιπή δασική βλάστηση (Φράξος) «*Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)*», τα λιβάδια σε μεγάλο υψόμετρο «*highland natural grassland (L1)*», τα λιβάδια σε χαμηλό επίπεδο «*lowland natural grassland (L1)*», οι θάμνοι το Παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» και το πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*». Οι κατηγορίες αυτές αποτελούν υποκατηγορίες του δάσους «*forest (L3)*», των λιβαδιών «*natural grassland (L3)*» και των θαμνώδη εκτάσεων «*shrubland (L3)*» αντίστοιχα, οι οποίες ταξινομήθηκαν στο τρίτο επίπεδο και κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου του Εγγύτερου Γείτονα «*Nearest Neighbor*» καθορίστηκαν τα δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία του επιπέδου. Ο αριθμός των δειγμάτων είναι περίπου

20 με 25 για κάθε κατηγορία. Η επιλογή τους έγινε έπειτα από την φωτοερμηνεία της εικόνας και την επιτόπια έρευνα της περιοχής.

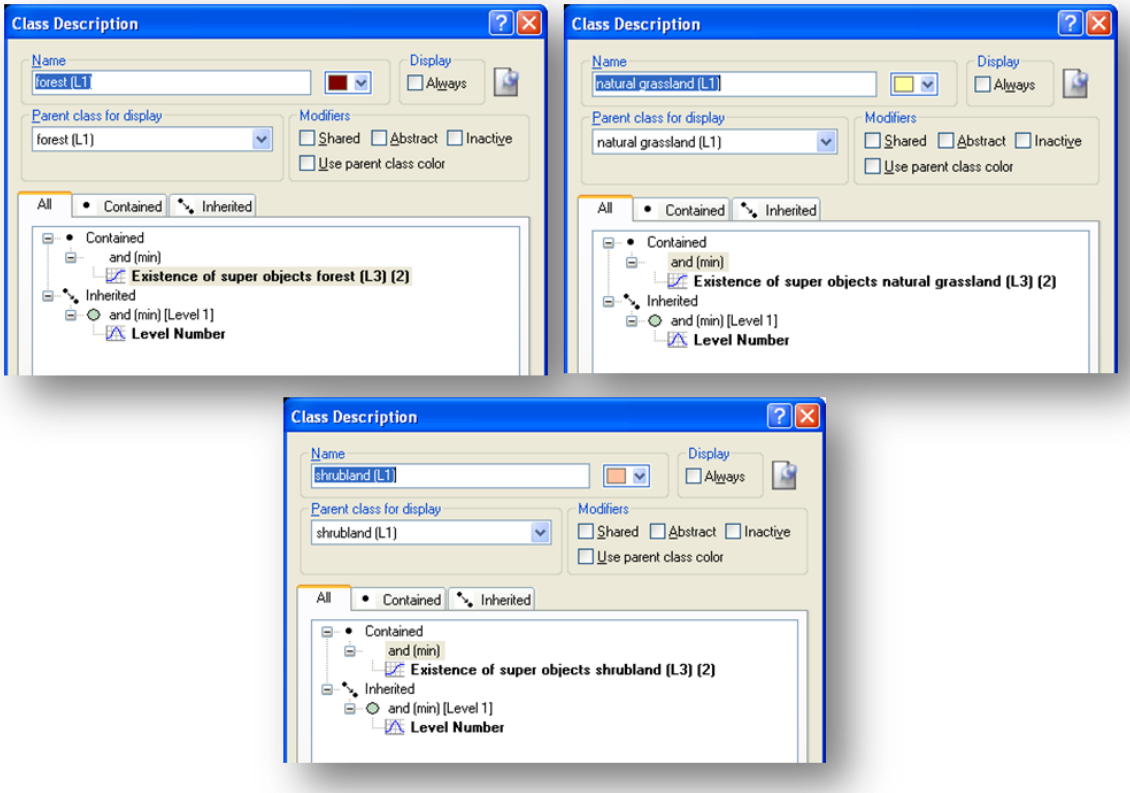


Sample Selection Information

Class	Membership	Minimum Dist.	Mean Dist.	Critical Samples	Number of Samples
Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)	0.942	0.662	21.414		74
Level 1 (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	23.935	10	379
shrubland (L1) (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	17.669	6	62
Paliurus Aculeatus (L1)	1.000	0.000	18.260	5	28
forest (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.942	0.662	22.976	4	222
Quercus fraineto (L1)	0.865	1.621	19.060	2	42
Platanus orientalis (L1)	0.717	3.723	25.619	1	106
Quercus coccifera (L1)	0.707	3.878	17.183	1	34
Level 3 (No nearest neighbor assigned)	0.514	7.454	105.742	0	234
vegetation (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.514	7.454	46.098	0	137
forest (L3)	0.514	7.454	39.280	0	58
natural grassland (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.486	8.065	30.265	0	95
lowland natural grassland (L1)	0.486	8.065	26.455	0	53
natural grassland (L3)	0.483	8.140	34.247	0	27
cultivated land (L3)	0.409	9.991	22.791	0	15
shrubland (L3)	0.327	12.492	31.960	0	19
highland natural grassland (L1)	0.134	22.469	35.072	0	42
Bare land (L3)	0.131	22.709	39.512	0	25
impervious (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.131	22.709	197.415	0	53
green urban areas (L3)	0.098	26.003	120.192	0	18
Urban area (L3)	0.009	53.312	338.400	0	28
shadow (L3) (No nearest neighbor assigned)	0.005	59.535	181.028	0	44
vegetation in shadow (L3)	0.005	59.535	133.456	0	29
impervious in shadow (L3)	0.000	103.097	273.000	0	15

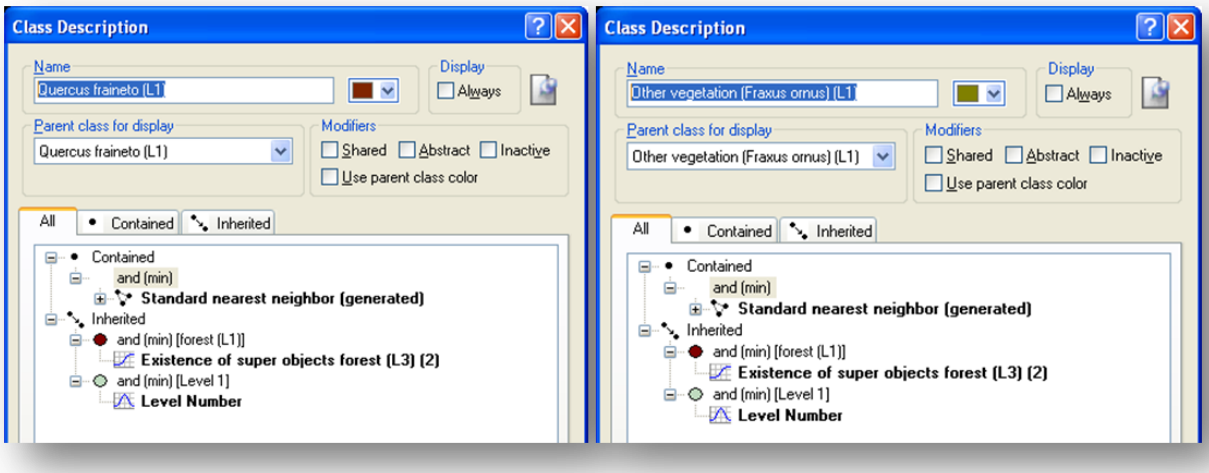
Εικόνα 132. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία

Για την δημιουργία της βάσης γνώσης με την εφαρμογή ασαφής λογικής, στην ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου, αρχικά ορίζονται οι κατηγορίες από τις οποίες κληρονομούνται τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων.



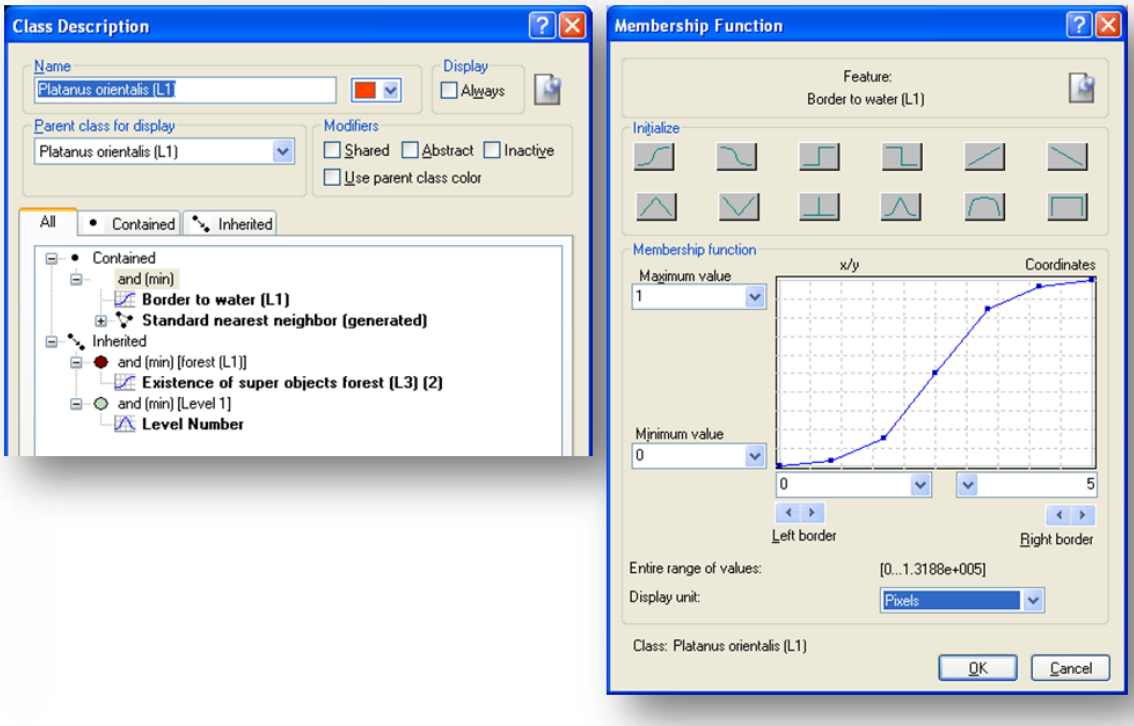
Εικόνα 133. Κληρονομικότητα χαρακτηριστικών των κατηγοριών του επιπέδου από τις κατηγορίες άλλου επιπέδου, τις οποίες γενικεύουν

Για την ταξινόμηση των υποκατηγοριών Δρυός «*Quercus fraineto (L1)*» και λοιπή δασική βλάστηση (Φράξος) «*Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)*» χρησιμοποιούνται τα χαρακτηριστικά, τα οποία κληρονομήθηκαν από την κατηγορία «forest (L3)» και τα δείγματα εκπαίδευσης, τα οποία αντιστοιχούν στις κατηγορίες (Εικόνα 134).



Εικόνα 134. Βάση γνώσης για την ταξινόμηση των κατηγοριών Δρυς «*Quercus fraineto (L1)*» και λοιπή δασική βλάστηση (Φράξος) «*Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)*» αντίστοιχα

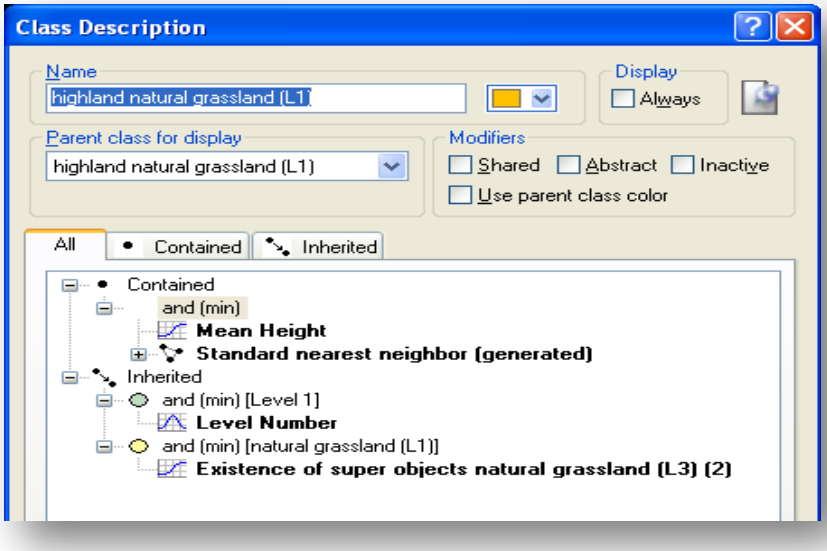
Για την ταξινόμηση της υποκατηγορίας πλατάνια «*Platanus orientalis (L1)*» χρησιμοποιείται επιπλέον το δειγμάτων ταξινόμησης, ο κανόνας γειτνίασης με το νερό «*Border to water (L1)*» με τιμές ασάφειας **0** έως **5** και με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.



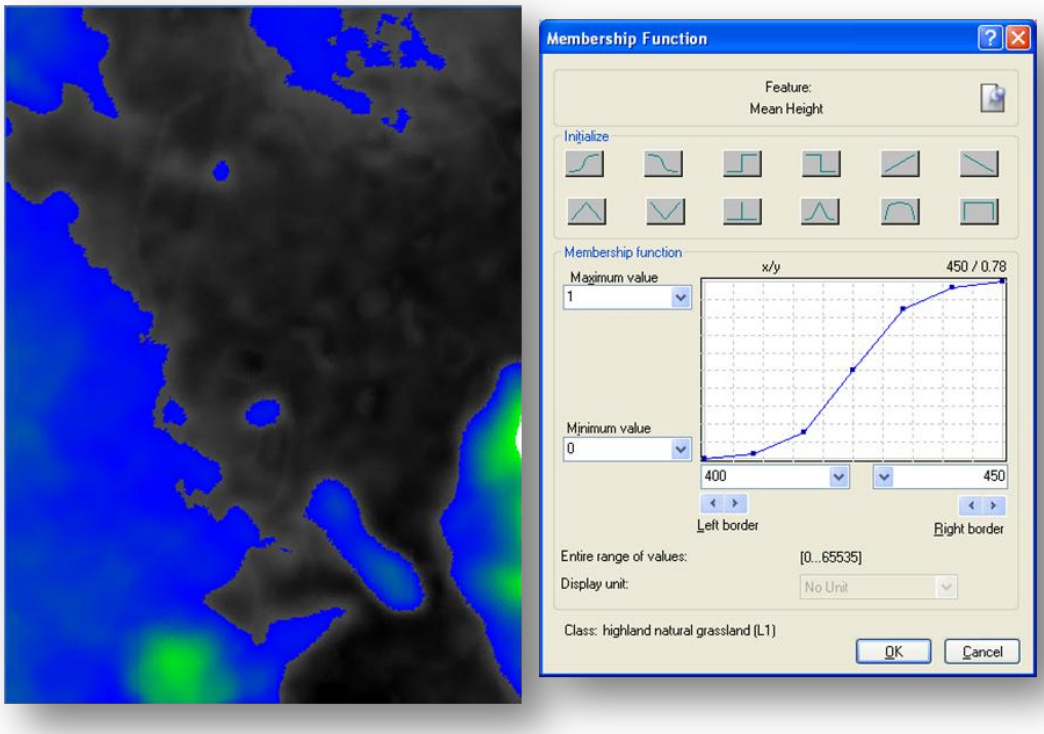
Εικόνα 135. Βάση γνώσης για τον εντοπισμό των πλατανιών «*Platanus orientalis (L1)*» και τιμές ασάφειας για τον καθορισμό της θέσης του

Για την ταξινόμηση της κατηγορίας των λιβαδιών σε μεγάλο υψόμετρο «*highland natural grassland (L1)*» χρησιμοποιείται ο κανόνας της μέσης τιμής υψομέτρου «*Mean Height*» (Εικόνα 136). Οι τιμές ασάφειας του κανόνα κυμαίνονται **400** έως **450** με συνάρτηση της μορφής S θετικής

κλίσης (Εικόνα 137). Οι τιμές του υψομέτρου δηλώνουν ότι τα λιβάδια, τα οποία βρίσκονται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 400 m να ταξινομούνται στη κατηγορία των λιβαδιών σε μεγάλο υψόμετρο.

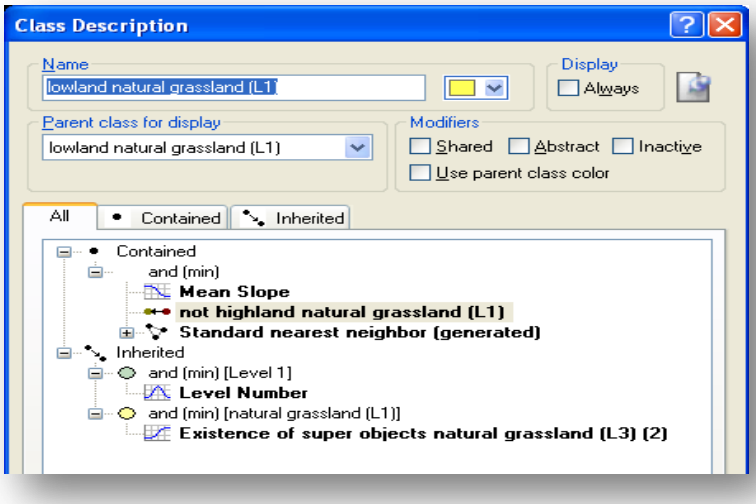


Εικόνα 136. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*highland natural grassland (L1)*»

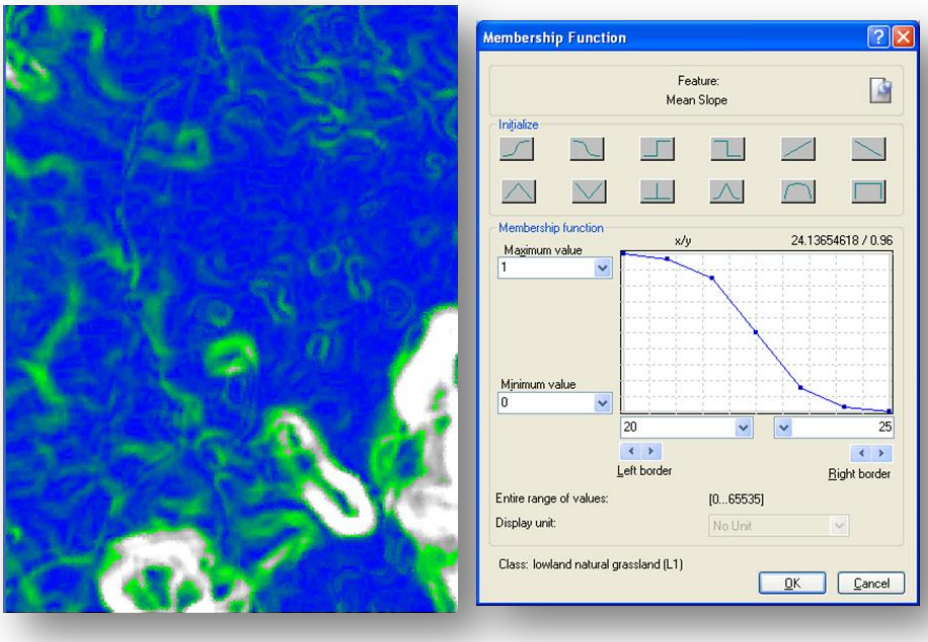


Εικόνα 137. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής του υψομέτρου «Mean Height» με τιμές ασάφειας 400 έως 450 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε βραχώδης εκτάσεις «highland natural grassland (L1)» σε όλο το εύρος της εικόνας

Για τον προσδιορισμό των λιβαδιών σε πεδινά εδάφη «*lowland natural grassland (L1)*», χρησιμοποιείται ο κανόνας της μέσης τιμής της κλίσης «*Mean Slope*», σε συνδυασμό με την απόρριψη αντικειμένων, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία ταξινόμησης σε ορεινά εδάφη «*not highland natural grassland (L1)*» (Εικόνα 138). Οι τιμές ασάφειας του κανόνα κυμαίνονται από **20** έως **25** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης, δηλαδή εδάφη με κλίση μικρότερη από 25%.

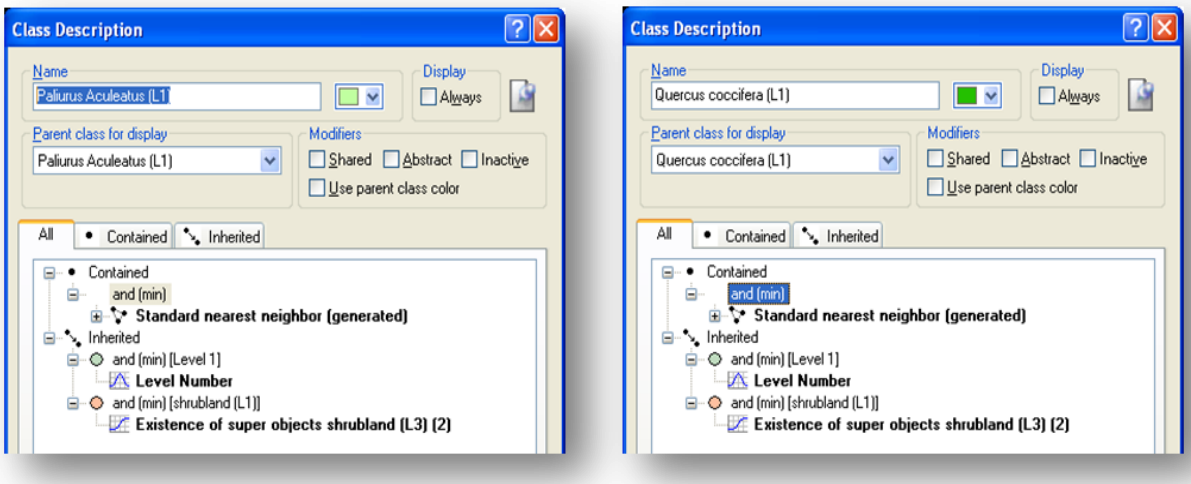


Εικόνα 138. Περιγραφή χαρακτηριστικών ταξινόμησης της κατηγορίας «*lowland natural grassland (L1)*»

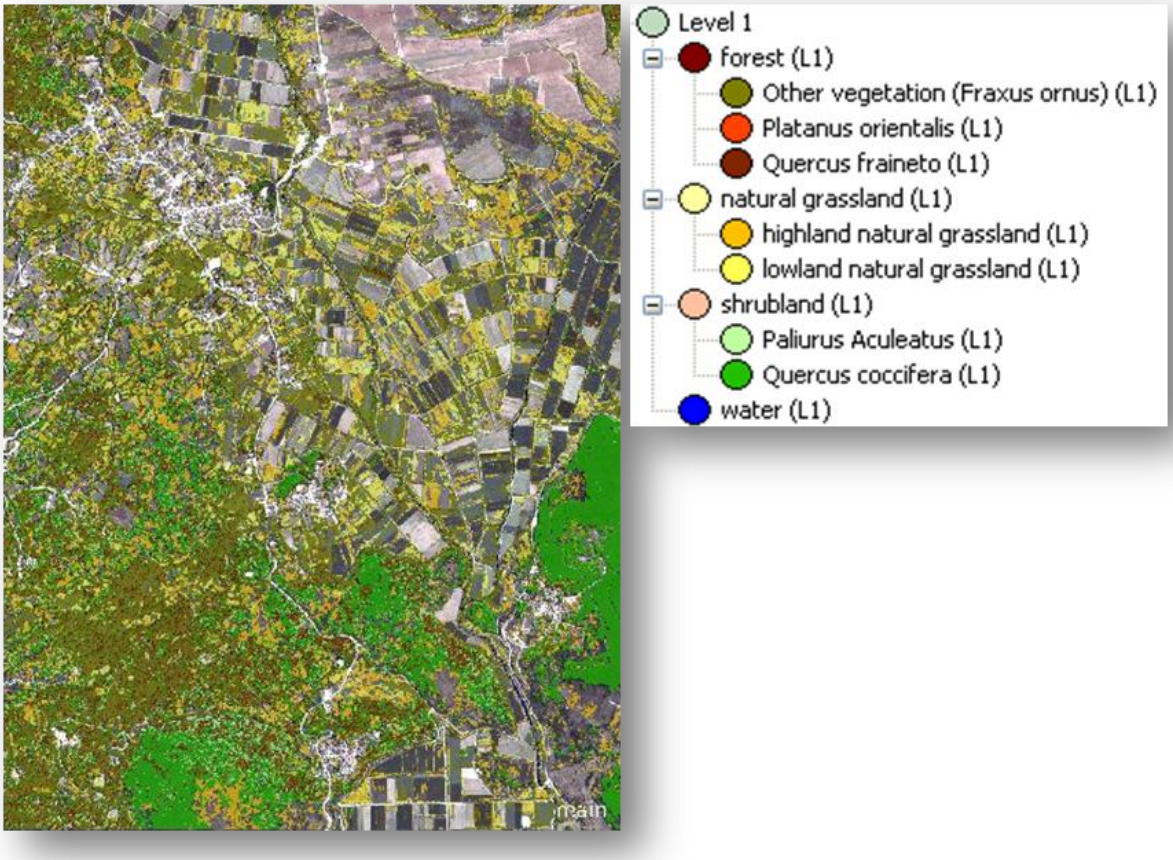


Εικόνα 139. Εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής της κλίσης «*Mean Slope*» με τιμές ασάφειας 20 έως 25 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης για την απεικόνιση των λιβαδιών σε πεδινές εκτάσεις «lowland natural grassland (L1)» σε όλο το εύρος της εικόνας

Για την ταξινόμηση των υποκατηγοριών Παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» και Πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*» χρησιμοποιούνται τα χαρακτηριστικά, τα οποία κληρονομήθηκαν από την κατηγορία «*shrubland (L3)*» και τα δείγματα εκπαίδευσης, τα οποία αντιστοιχούν στις κατηγορίες (Εικόνα 140).

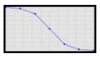
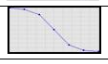
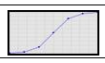
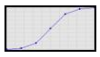
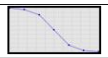
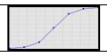
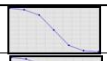
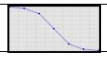
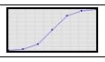
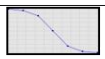


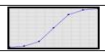
Εικόνα 140. Βάση γνώσης για την ταξινόμηση των κατηγοριών Παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» και Πουρνάρι «*Quercus coccifera (L1)*» αντίστοιχα



Εικόνα 141. Ταξινόμηση στο πρώτο επίπεδο (Level 1) της εικόνας WorldView2 2010

Πίνακας 9. Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τις συναρτήσεις συμμετοχής, τα χαρακτηριστικά και τα όρια ασάφειας για τις ταξινομήσεις των τεσσάρων επιπέδων της εικόνας WorldView 2 2010

Επίπεδα (Levels)	Εικόνες (Images)	Κατηγορίες (Classes)	Χαρακτηριστικά (Features)	Συνάρτηση συμμετοχής (Membership function)	Αριστερό όριο (Left border)	Δεξί όριο (Right border)
Level 2		impervious (L2)	not vegetation (L2) **and** not shadow (L2) **and** not water (L2)			
		vegetation (L2)	NDVI		-0.73	-0.7
		shadow (L2)	Mean red-edge		250	350
			not vegetation			
			not water			
		water (L2)	NDWI		0.39	0.41
Level 4		vegetation (L4)	Relative area of sub objects vegetation (L2)		0.1	0.3
Level 3		bare land (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			NDSI		0.05	0.07
		urban area (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			NDBRI		0.03	0.04
		impervious in shadow (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *urban area (L3)*		0	1
			not vegetation in shadow (L3)			
		vegetation in shadow (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Ratio coastal		0.11	0.12
		cultivated land (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			GLCM StdDev (45°)		20	22
			Standard deviation red-edge		17	19
		forest (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			NDVI		-0.83	-0.84
		green urban area (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *urban area (L3)*		0.5	0.7
		natural grassland (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean yellow		200	320
		shrubland (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Coastal		315	317

Level 1		Other vegetation (Fraxus Ornus) (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		Platanus orientalis (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *water (L1)*		0	5
		Quercus fraineto (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		highland natural grassland (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Height		400	450
		lowland natural grassland (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Slope		20	25
			not highland natural grassland (L1)			
		Paliurus aculeatus (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		Quercus coccifera (L1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			

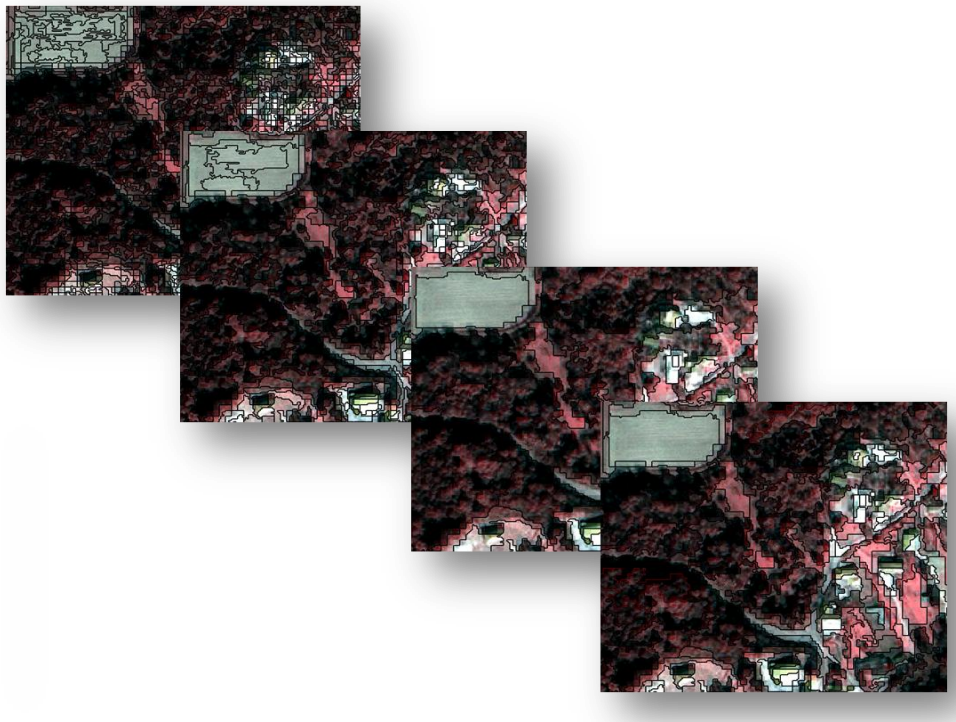
5.4.4 Ταξινόμηση εικόνας IKONOS 2011

5.4.4.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης της εικόνας

Η κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 ακολούθησε την ίδια λογική επεξεργασία με τις προηγούμενες. Για την ταξινόμηση των εικόνων και τη σύγκριση ποιότητας αποτελεσμάτων μεταξύ τους υιοθετήθηκαν τα ίδια επίπεδα με τις ίδιες παραμέτρους σε κάθε εικόνα επεξεργασίας.



Εικόνα 142. Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι περιορισμοί που τίθεται για τη δημιουργία τους

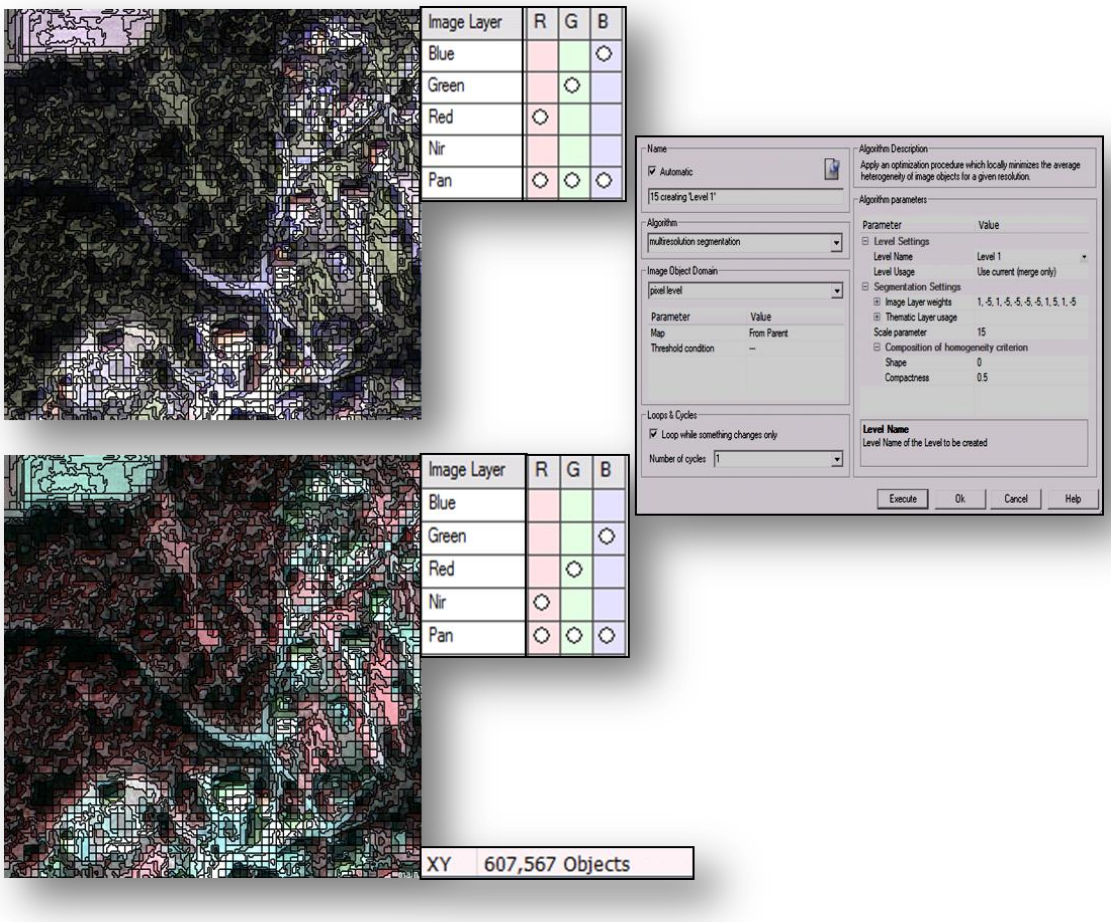


Εικόνα 143. Μεταβολή των αντικειμένων στα τέσσερα επίπεδα ταξινόμησης

5.4.4.1.1 Κατάτμηση 1ου Επιπέδου

Βάση των παραγόντων που τέθηκαν στην εικόνα IKONOS 2008 προσδιορίστηκαν οι κατατμήσεις. Η Εικόνα 140 προβάλει τη διαδικασία δημιουργία του πρώτου επιπέδου κατάτμησης σε RGB 321 και RGB 432. Στο RGB 432 διακρίνεται καλύτερα η βλάστηση και παρουσιάζεται η διακριτική ικανότητα των αντικειμένων που προσδιορίζουν τους τύπους βλάστησης. Η εικόνα IKONOS 2011 καταλαμβάνει την ίδια έκταση με τις προηγούμενες, άλλα έχοντας διαφορετική ανάλυση και θέτοντας τους ίδιους παράγοντες περιορισμών, δημιουργούνται 697.567 αντικείμενα.

Οι περιορισμοί που τίθενται σε κάθε εικόνα είναι οι όμοιοι, διαφέρει μόνο ο βαθμός βαρύτητας των καναλιών σε κάθε εικόνα. Η τιμή της βαρύτητας εξαρτάται από τα κανάλια, τα οποία διαθέτει η κάθε εικόνα. Στην προκειμένη περίπτωση η εικόνα εμπεριέχει τέσσερα φασματικά κανάλια και ένα πανχρωματικό, κατά τα οποία καθένα προβάλει τη δική του λειτουργικότητα. Ανάλογα με τη λειτουργικότητα των καναλιών και το σκοπό της κατάτμησης εξαρτάται η βαρύτητα που δίνεται στα κανάλια της εικόνας. Για να πετύχουμε το σκοπό αυτό, το πανχρωματικό κανάλι εξαιτίας της μεγαλύτερης ανάλυσης (0.82 m) παίρνει τη τιμή **5**, ενώ τα υπόλοιπα 4 φασματικά κανάλια, με ανάλυση 3.2 m, την τιμή **1**. Το DEM, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της ταξινόμησης διαθέτει τρία κανάλια, τα οποία δεν συμμετέχουν στην κατάτμηση των αντικειμένων, οπότε δίνεται η τιμή -5, δηλαδή η αρνητική τιμή του μεγαλύτερου βαθμού βαρύτητας.

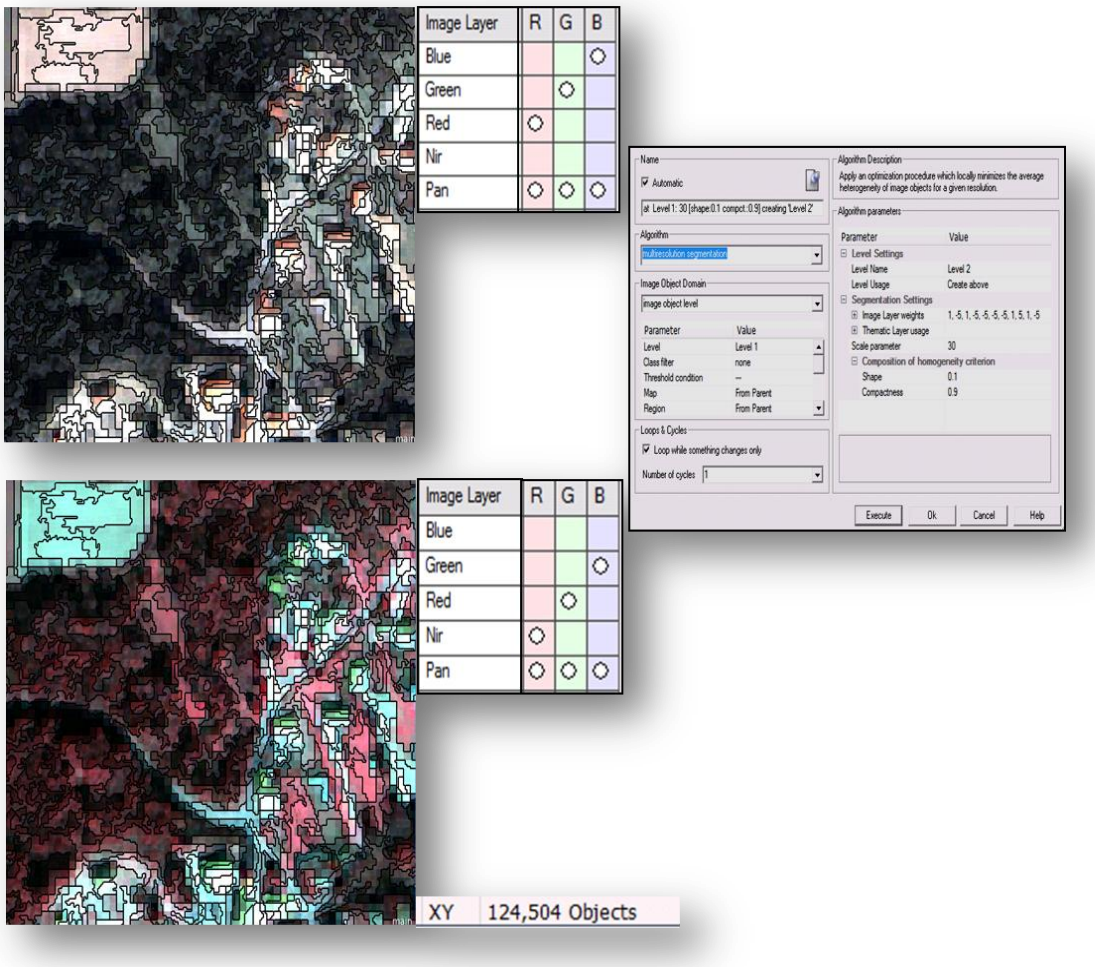


Εικόνα 144. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο πρώτο επίπεδο (Level 1) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα.

5.4.4.1.2 Κατάτμηση 2^{ου} Επιπέδου

Το δεύτερο επίπεδο στην ιεραρχία των κατατμήσεων, δημιουργείται υιοθετώντας την πληροφορία του πρώτου και δημιουργώντας αντικείμενα μεγαλύτερα σε μέγεθος, οπότε μικρότερα σε αριθμό, από το πρώτο. Οι παράγοντες, οι οποίοι προσδιορίζουν την κατάτμηση στο επίπεδο αυτό υποδεικνύονται στην εικόνα IKONOS 2008. Ο βαθμός βαρύτητας της συμμετοχής των καναλιών στην κατάτμηση παραμένει ίδιος με το πρώτο επίπεδο.

Στην Εικόνα 141 προβάλλεται η κατάτμηση του δευτέρου επιπέδου, το παράθυρο προσδιορισμού των περιορισμών (*scale 30, shape 0.1, compactness 0.9*). Επίσης υποδεικνύεται και ο αριθμός των αντικειμένων της εικόνας με αυτά τα χαρακτηριστικά. Στο πανχρωματικό κανάλι δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα συμμετοχής του στην κατάτμηση, διότι έχει μεγαλύτερη ανάλυση, οπότε και περισσότερη πληροφορία.

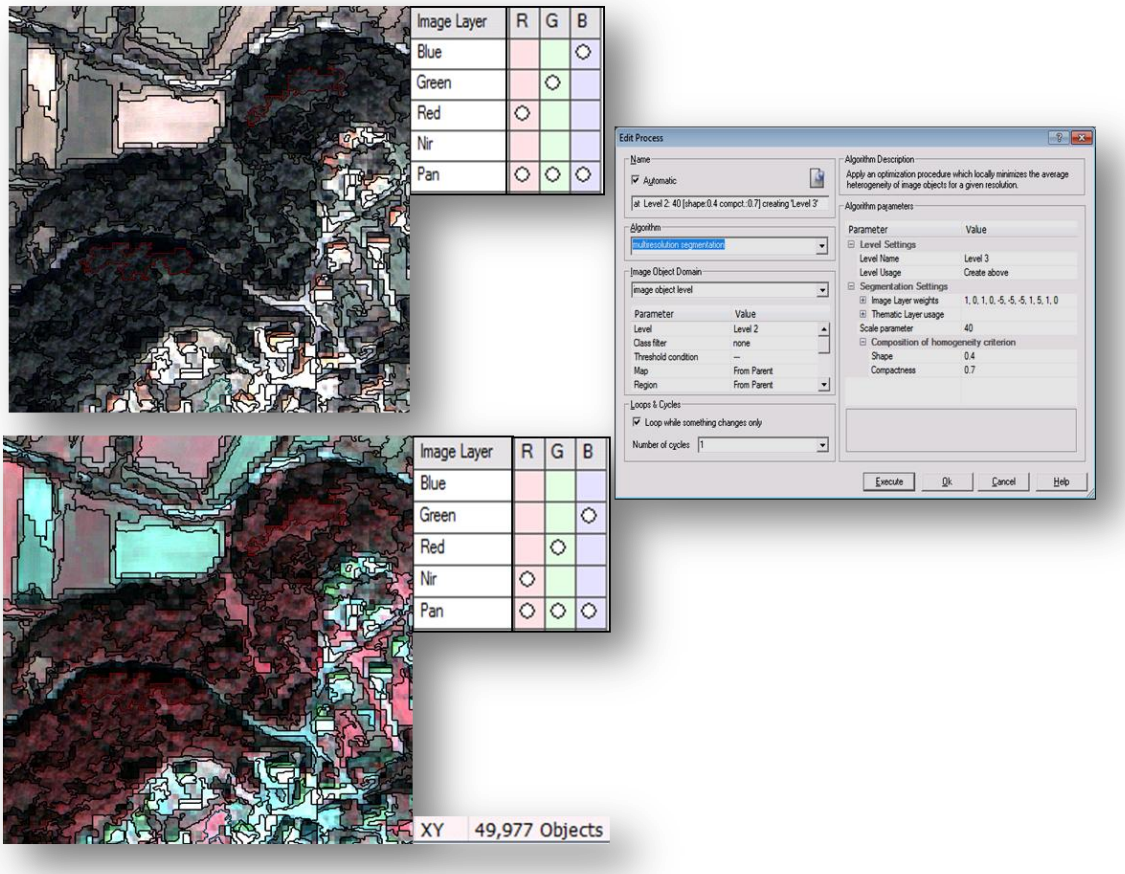


Εικόνα 145. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.4.1.3 Κατάτμηση 3^{ου} Επιπέδου

Το τρίτο επίπεδο στην ιεραρχία των κατατμήσεων, δημιουργείται διαδοχικά, υιοθετώντας την πληροφορία του δεύτερου και δημιουργώντας αντικείμενα μεγαλύτερα σε μέγεθος, οπότε μικρότερα σε αριθμό, από το πρώτο. Οι παράγοντες, οι οποίοι προσδιορίζουν την κατάτμηση στο επίπεδο αυτό υποδεικνύονται στην εικόνα IKONOS 2008. Ο βαθμός βαρύτητας της συμμετοχής των καναλιών στην κατάτμηση παραμένει ίδιος με τα προηγούμενα επίπεδα.

Στην Εικόνα 142 προβάλλεται η κατάτμηση του δευτέρου επιπέδου, το παράθυρο προσδιορισμού των περιορισμών (*scale 40, shape 0.4, compactness 0.7*). Επίσης, υποδεικνύεται και ο αριθμός των αντικειμένων της εικόνας με αυτά τα χαρακτηριστικά. Στο πανχρωματικό κανάλι δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα συμμετοχής του στην κατάτμηση, διότι έχει μεγαλύτερη ανάλυση, οπότε περισσότερη πληροφορία.

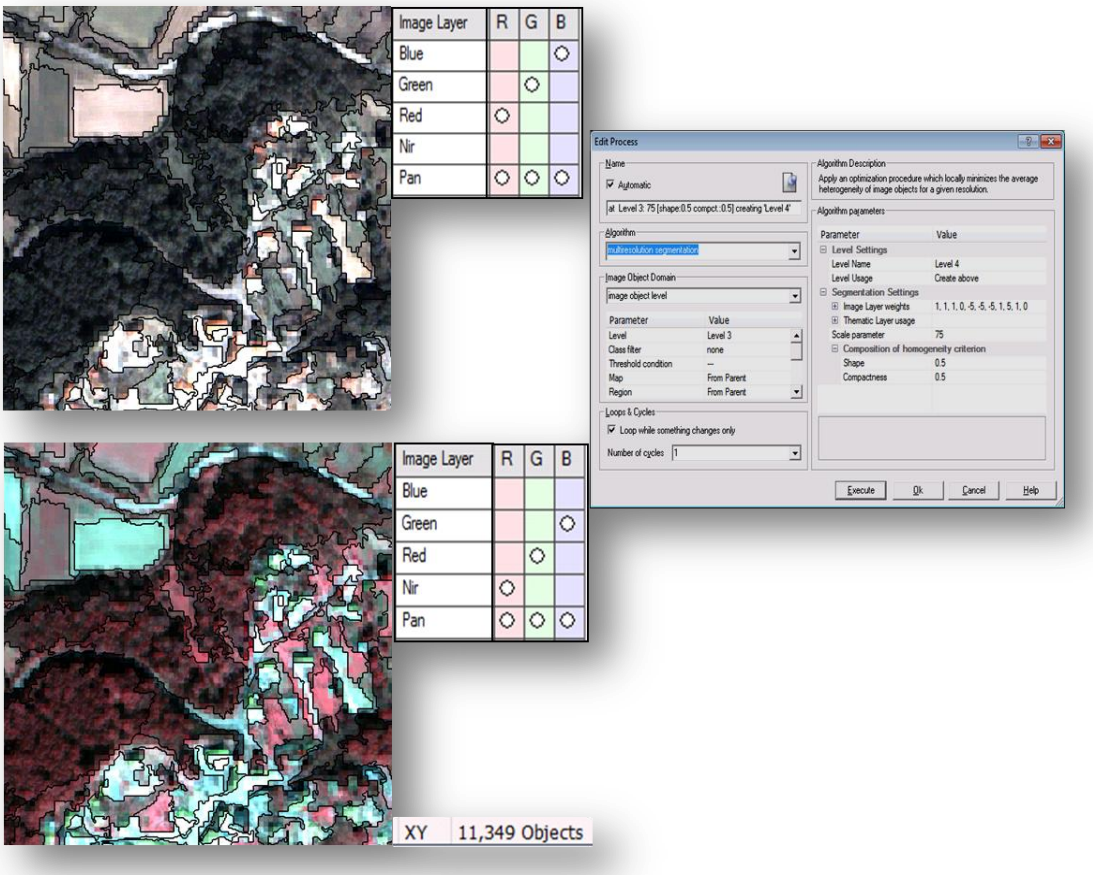


Εικόνα 146. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

5.4.4.1.4 Κατάτμηση 4ου Επιπέδου

Το τέταρτο επίπεδο στην ιεραρχία των κατατμήσεων, δημιουργείται διαδοχικά, υιοθετώντας την πληροφορία του τρίτου και δημιουργώντας αντικείμενα μεγαλύτερα σε μέγεθος, οπότε μικρότερα σε αριθμό, από το πρώτο. Οι παράγοντες, οι οποίοι προσδιορίζουν την κατάτμηση στο επίπεδο αυτό υποδεικνύονται στην εικόνα IKONOS 2008. Ο βαθμός βαρύτητας της συμμετοχής των καναλιών στην κατάτμηση παραμένει ίδιος με τα προηγούμενα επίπεδα.

Στην Εικόνα 147 προβάλλεται η κατάτμηση του δευτέρου επιπέδου, το παράθυρο προσδιορισμού των περιορισμών (*scale 75, shape 0.5, compactness 0.5*). Επίσης, υποδεικνύεται και ο αριθμός των αντικειμένων της εικόνας με αυτά τα χαρακτηριστικά. Στο πανχρωματικό κανάλι δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα συμμετοχής του στην κατάτμηση, διότι έχει μεγαλύτερη ανάλυση, οπότε περισσότερη πληροφορία.



Εικόνα 147. Κατάτμηση της εικόνας IKONOS 2011 στο τρίτο επίπεδο (Level 3) και προβολή των αντικειμένων σε RGB 321 και RGB 432 αντίστοιχα

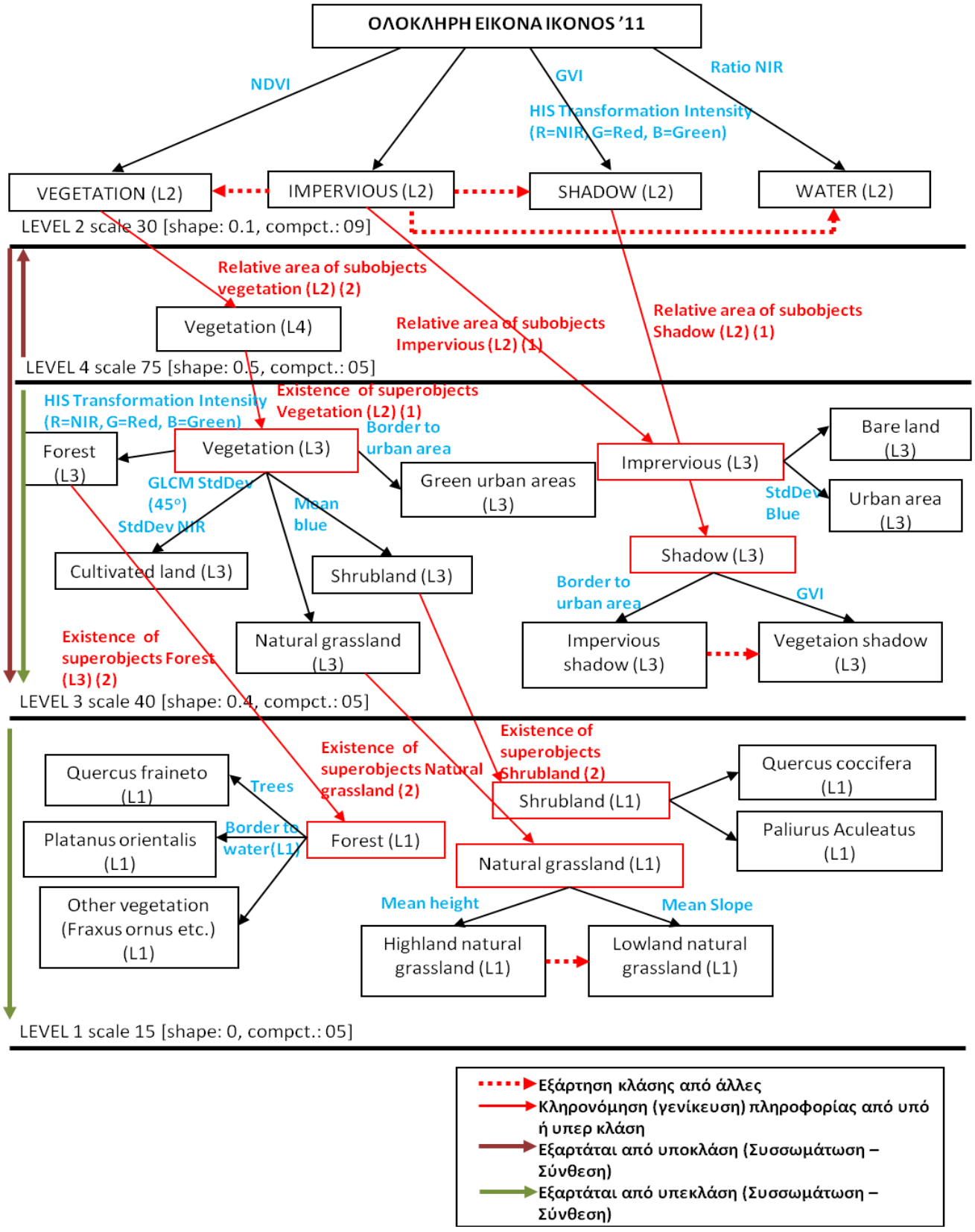
5.4.4.2 Ταξινόμηση επιπέδων κατάτμησης

Έπειτα από την κατάτμηση της εικόνας και τη δημιουργία επιπέδων ταξινόμησης, ορίζεται η βάση γνώσης της ταξινόμησης και ο διαχωρισμός των χρήσεων γης. Η ταξινόμηση πραγματοποιείται βάση της ανάλυσης της εικόνας, των εμπεριεχομένων καναλιών στην εικόνα και των χαρακτηριστικών των χρήσεων γης που επικρατούν στην περιοχή.

Η εικόνα IKONOS διαθέτει τέσσερα πολυφασματικά κανάλια και ένα πανχρωματικό. Η ανάλυση της εικόνας είναι πολύ υψηλή στο πανχρωματικό κανάλι φτάνει στα 0.82 m και στα πολυφασματικά στα 3.2 m. Η υψηλή ανάλυση εξυπηρετεί στον εντοπισμό λεπτωμερών χαρακτηριστικών των χρήσεων γης στην περιοχή.

Οι χρήσεις γης, οι οποίες εντοπίζονται στην περιοχή είναι όμοιες με αυτές που ταξινομήθηκαν στις προηγούμενες εικόνες. Το διάγραμμα ροής, το οποίο ακολουθεί, παρουσιάζει τις χρήσεις γης κάθε επιπέδου ταξινόμησης με τα χαρακτηριστικά, τα οποία προσδίδει η κάθε χρήση για τον εντοπισμό της. Όπως εντοπίζεται και στις προηγούμενες ταξινομήσεις, στόχος της ταξινόμησης είναι ο βέλτιστος εντοπισμός των τύπων βλάστησης, οι οποίοι επικρατούν στην περιοχή. Για την τελική επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού χαρακτηριστικών εντοπισμού των χρήσεων δοκιμάστηκαν

διάφοροι κανόνες με τη μέθοδο της ασαφούς λογικής. Οι κανόνες και τα διαστήματα ασάφειας τους προσδιορίστηκαν είτε από ήδη υπάρχουσες μελέτες, είτε από προσωπική έρευνα. Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης ακολουθείται Ιεραρχική Ταξινόμηση (*Hierarchy Classification*).

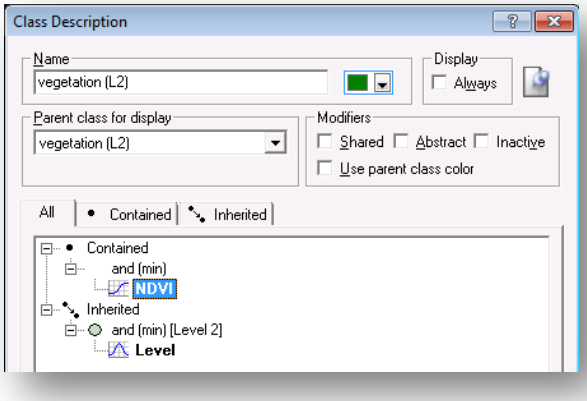


Διάγραμμα 5. Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας IKONOS 2011

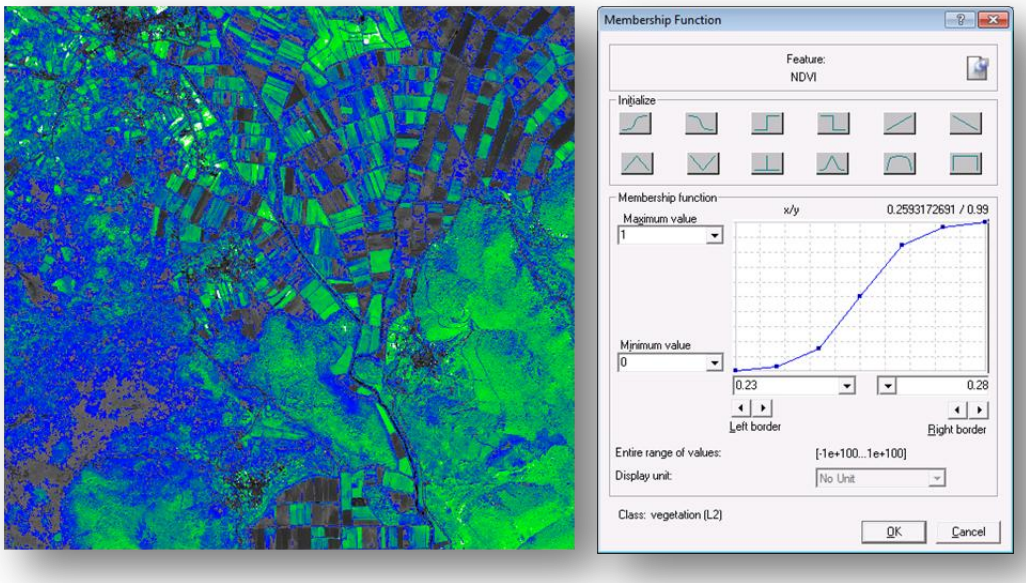
5.4.4.2.1 Ταξινόμηση 2^{ου} Επιπέδου

Στο δεύτερο επίπεδο ταξινόμησης προσδιορίζονται οι πρωτογενείς χρήσεις γης, οι οποίες εντοπίζονται στην περιοχή. Οι χρήσεις αυτές είναι η αδιαπέραστη επιφάνεια (*impervious*), η βλάστηση (*vegetation*), η σκιά (*shadow*) και το νερό (*water*). Η εφαρμογή αλγορίθμων και η διακύμανση των τιμών ασάφειας, προσδίδουν τις χρήσεις γης, δηλαδή προσαρμόζουν στα δεδομένα τις ψηφιακές τιμές της νέας απεικόνισης.

Για τον εντοπισμό της βλάστησης «*vegetation (L2)*» χρησιμοποιείται ο δείκτης βλάστησης «*NDVI*», όπως και στην εικόνα IKONOS 2008 (Εικόνα 148). Οι τιμές ασάφειας του δείκτη που προσδίδουν τη βλάστηση κυμαίνονται από **0.23** έως **0.28** με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S θετικής κλίσης (Εικόνα 149).

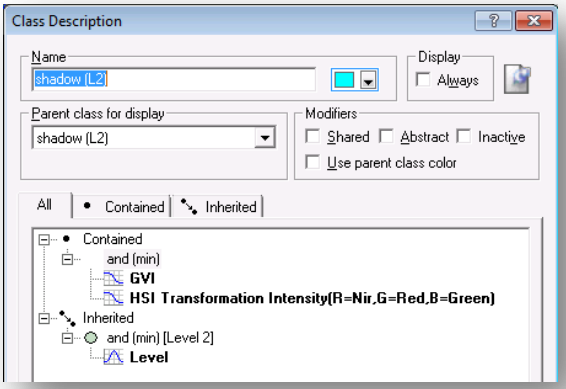


Εικόνα 148. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη βλάστηση «vegetation (L2)»



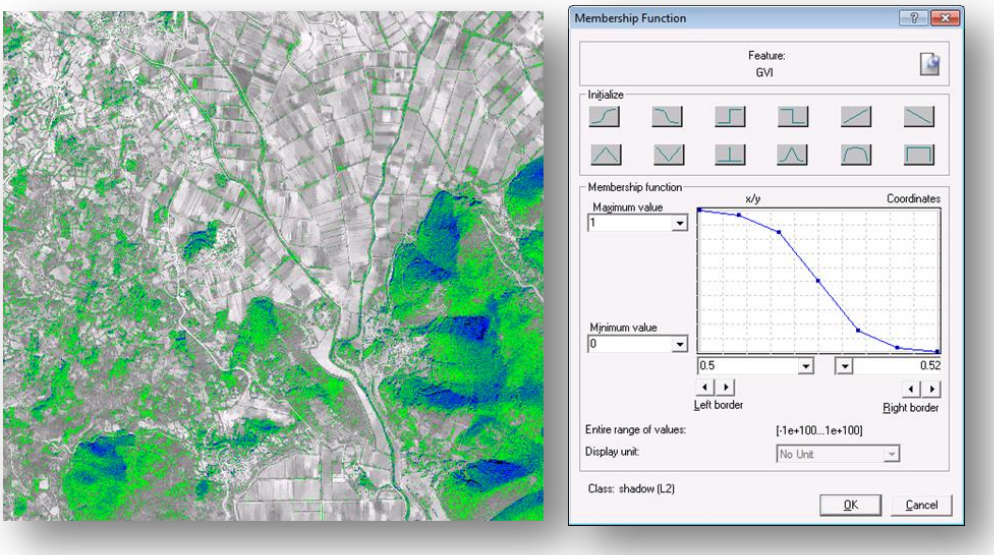
Εικόνα 149. Απεικόνιση της βλάστησης «vegetation (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του δείκτη νερού «NDWI», με τιμές ασάφειας 0.39 έως 0.41 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Για την προβολή της σκιάς στην εικόνα χρησιμοποιείται ο πράσινος δείκτης βλάστησης «GVI» και ο μετασχηματισμός της έντασης των καναλιών «*HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)*».



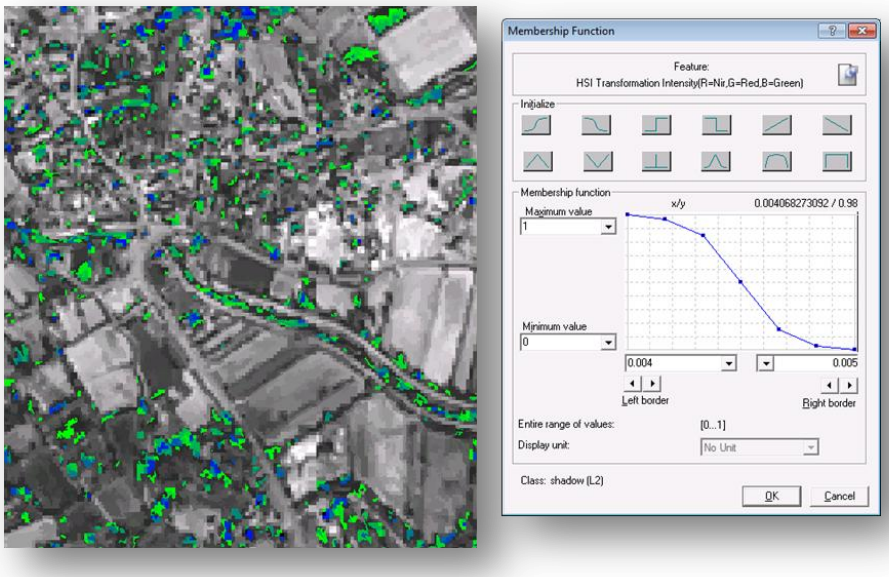
Εικόνα 150. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά «shadow (L2)»

Οι τιμές ασάφειας του πράσινου δείκτη βλάστησης «*GVI*» κυμαίνονται από **0.5** έως **0.52** με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης.



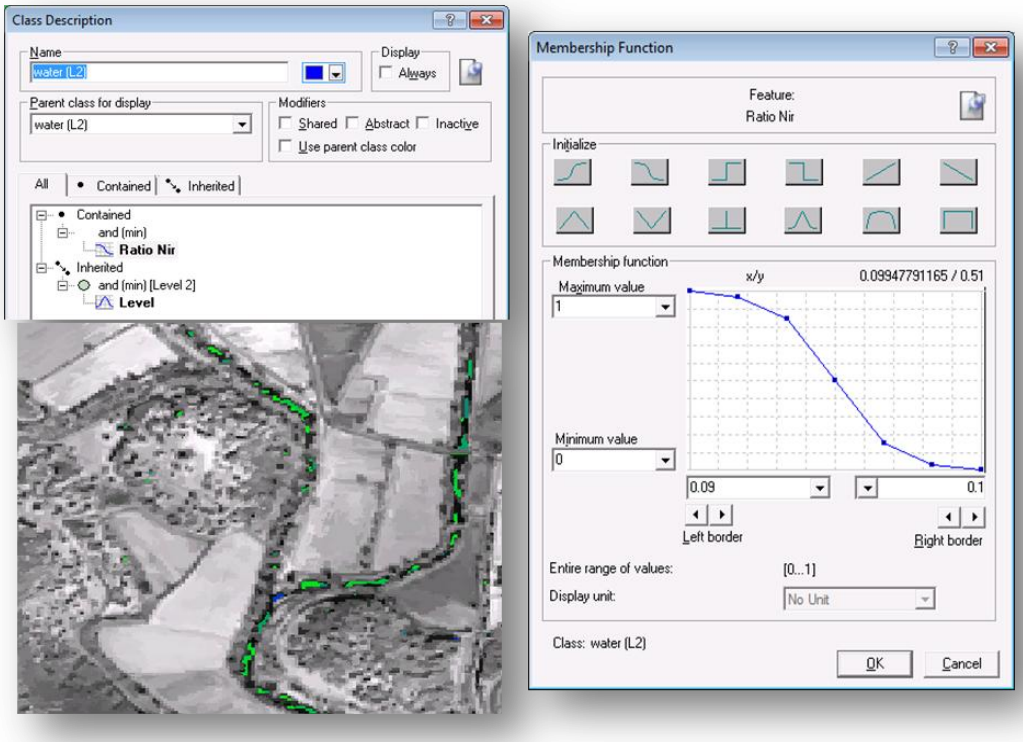
Εικόνα 151. Απεικόνιση της σκιάς «shadow (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του πράσινου δείκτη βλάστησης «GVI», με τιμές ασάφειας 0.5 έως 0.52 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Ο πράσινος δείκτης βλάστησης εντοπίζει κυρίως της σκιά της βλάστησης, οπότε για την συγχώνευση της σκιάς των κτιρίων χρησιμοποιείται ο κανόνας του μετασχηματισμού της έντασης των καναλιών «*HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)*». Ο κανόνας χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης με διάστημα ασάφειας **0.004** έως **0.005**, ορίζει τη σκιά.



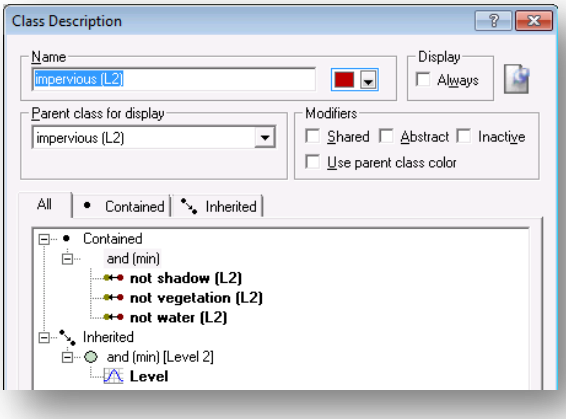
Εικόνα 152. Απεικόνιση της σκιάς «shadow (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του μετασχηματισμού της έντασης των καναλιών «*HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)*», με τιμές ασάφειας 0.004 έως 0.005 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Για τον εντοπισμό του νερού χρησιμοποιείται ο δείκτης αναλογίας στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι «Ratio NIR», στο διάστημα τιμών 0.09 έως 0.1 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S αρνητικής κλίσης (Εικόνα 153).



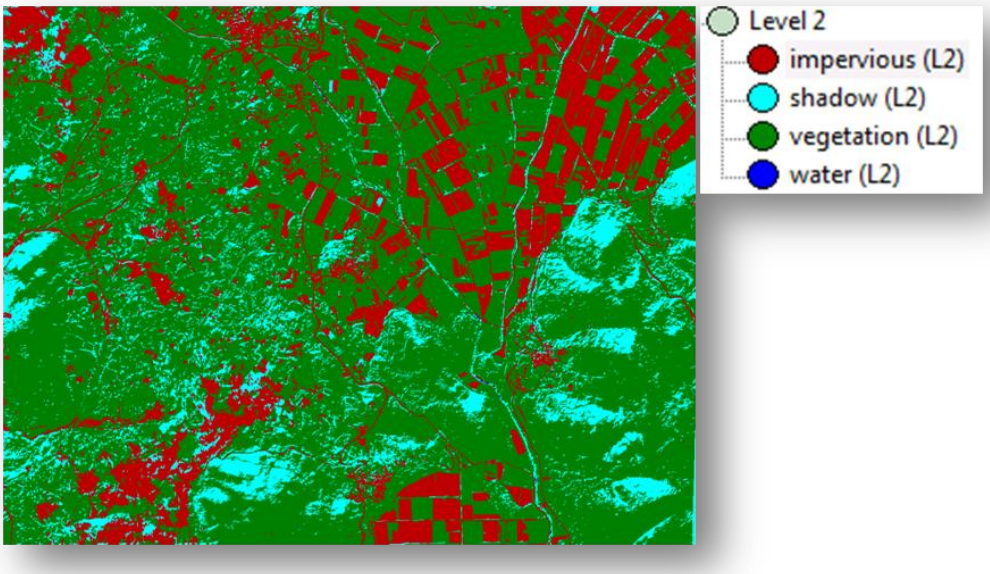
Εικόνα 153. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το νερό «water (L2)» και απεικόνιση του νερού «water (L2)» σε τμήμα της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα «*Ratio NIR*», τιμές ασάφειας 0.09 έως 0.1 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Τα αδιαπέρατα υλικά ταξινομούνται εφόσον ολοκληρώνεται ο καθορισμός των κανόνων στις υπόλοιπες κατηγορίες, θέτοντάς του ως κανόνα να μην πληροί καμία συνθήκη από τις προηγούμενες.



Εικόνα 154. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά «shadow (L2)»

Ολοκληρώνοντας την εισαγωγή κανόνων και τα όρια στις κατηγορίες, πραγματοποιείται η ταξινόμηση του δευτέρου επιπέδου (Εικόνα 155).

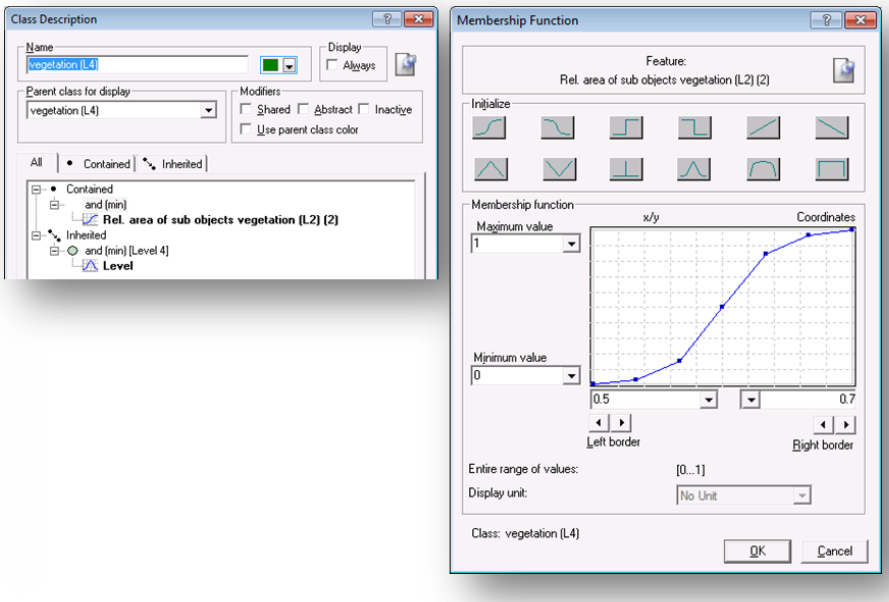


Εικόνα 155. Ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level 2) της εικόνας IKONOS 2011

5.4.4.2.2 Ταξινόμηση 4ου Επιπέδου

Βάση της ταξινόμησης των προηγούμενων εικόνων στο τέταρτο επίπεδο, εντοπίζεται διακριτά η βλάστηση, κληρονομώντας τα χαρακτηριστικά της αντίστοιχης κατηγορίας του δευτέρου επιπέδου. Ο κανόνας γενίκευσης της βλάστησης δίνεται από τη σχέση επιφάνειας με υπο- αντικείμενο της

βλάστησης στο δεύτερο επίπεδο «*Rel. Area of sub objects vegetation (L2) (2)*» σε διάστημα ασάφειας από **0.5** έως **0.7** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης (Εικόνα 157).



Εικόνα 156. Περιγραφή της κατηγορίας βλάστησης στο τέταρτο επίπεδο (L4) και απεικόνιση των ορίων συμμετοχής της



Εικόνα 157. Ταξινόμηση στο τέταρτο επίπεδο (Level 4) της εικόνας IKONOS 2011

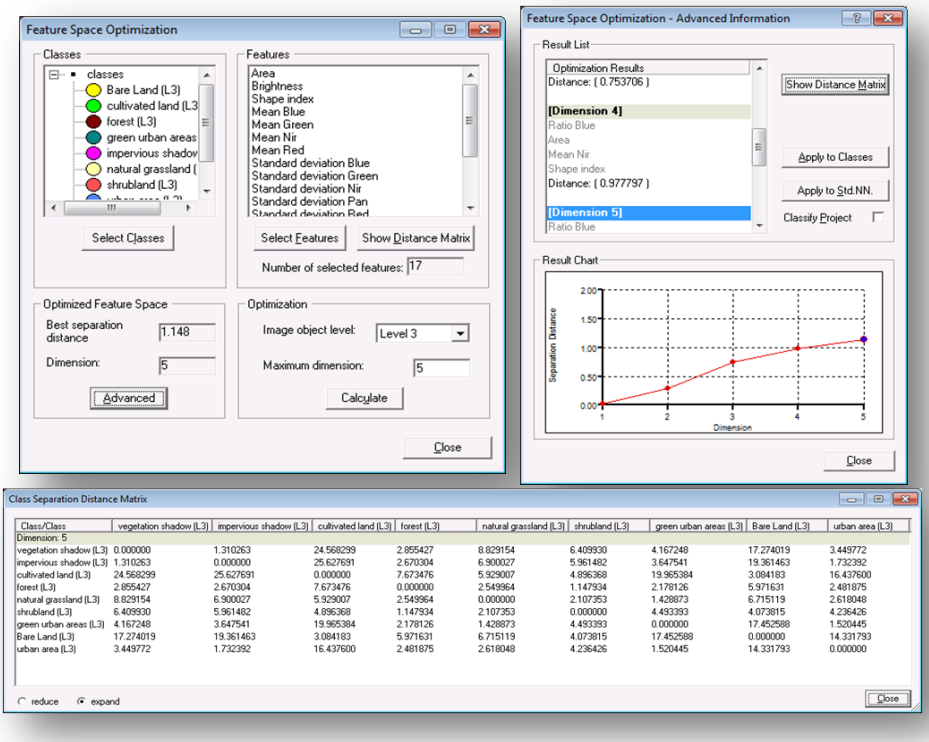
5.4.4.2.3 Ταξινόμηση 3ου Επιπέδου

Κατά την ταξινόμηση του τρίτου επιπέδου προσδιορίζονται οι υποκατηγορίες των κατηγοριών του δευτέρου επιπέδου. Για να πετύχει η διαδικασία εισάγονται εκ νέου οι κατηγορίες στο τρίτο επίπεδο κληρονομώντας τα χαρακτηριστικά του δεύτερου και δημιουργώντας παράγωγα στη κάθε

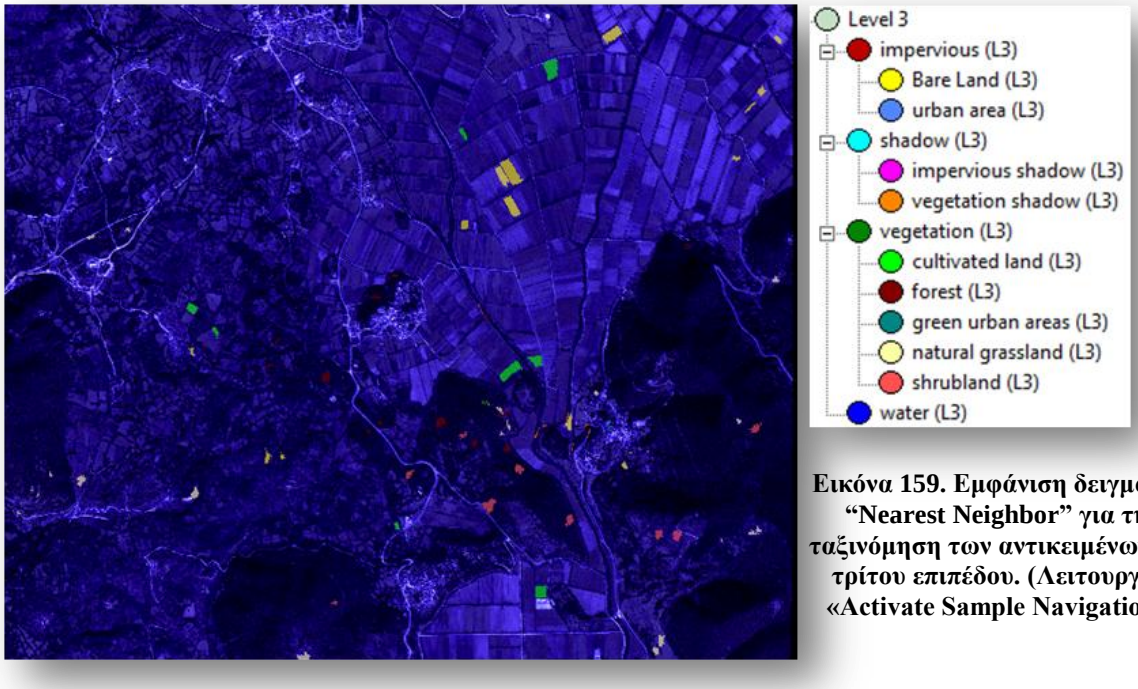
κατηγορία, τις υποκατηγορίες. Οι υποκατηγορίες, οι οποίες ταξινομούνται σε αυτό το επίπεδο, είναι η γυμνή επιφάνεια «*bare land (L3)*» και η τεχνητή επιφάνεια «*urban area (L3)*», οι οποίες αποτελούν γενίκευση των αδιαπέρατων υλικών «*impervious (L2)*», η σκιά αδιαπέρατων υλικών «impervious shadow» και η σκιά βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*», τα οποία αποτελούν γενίκευση της σκιάς «*shadow (L2)*», οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις «*cultivated land (L3)*», το δάσος «*forest (L3)*», οι λιβαδικές εκτάσεις «*natural grassland (L3)*», οι θαμνώδεις εκτάσεις «*shrubland (L3)*» και η βλάστηση σε τεχνητή επιφάνεια «*green urban area (L3)*», οι οποίες αποτελούν γενίκευση της κατηγορίας βλάστησης «*vegetation (L4)*».

Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης του επιπέδου, όπως παρουσιάζεται στις ταξινομήσεις των προηγούμενων εικόνων, ακολουθείτε η μέθοδος του Εγγύτερου Γείτονα «Nearest Neighbor». Η συλλογή δειγμάτων έγινε βάση των προδιαγραφών, οι οποίες παρατίθενται στο αντίστοιχο επίπεδο της ταξινόμησης της εικόνας IKONOS ’08.

Για την ταξινόμηση των παραπάνω κατηγοριών χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της μεθόδου Εγγύτερου Γείτονα «*Nearest Neighbor*» με την εφαρμογή ασαφούς λογικής στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Κατά το πρώτο στάδιο της ταξινόμησης επιλέχθηκαν δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Τα δείγματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν περίπου 20 με 25 για κάθε κατηγορία και η επιλογή τους έγινε έπειτα από την φωτοερμηνεία της εικόνας και την επιτόπια έρευνα της περιοχής.



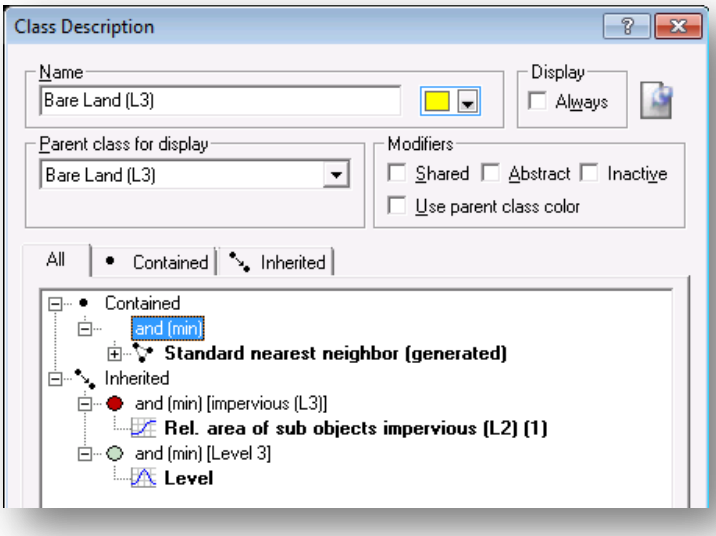
Εικόνα 158. Δημιουργία μήτρας για τον έλεγχο των αποστάσεων διαχωρισμού για τα δείγματα εκπαίδευσης των κατηγοριών του τρίτου επιπέδου



Εικόνα 159. Εμφάνιση δειγμάτων "Nearest Neighbor" για την ταξινόμηση των αντικειμένων του τρίτου επιπέδου. (Λειτουργία: «Activate Sample Navigation»)

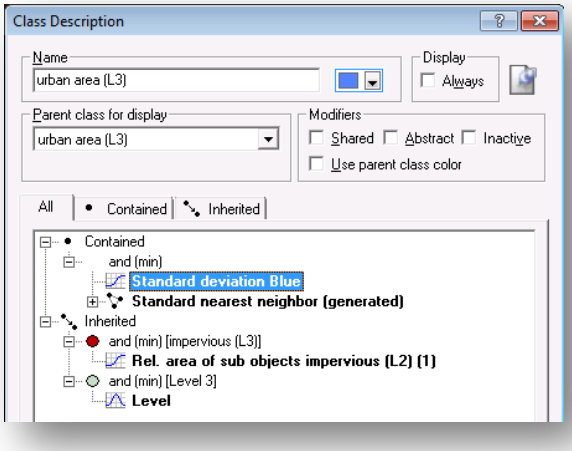
Για τον ολοκληρωμένο καθορισμό των χαρακτηριστικών εντάχθηκαν σε κάποιες κατηγορίες και οι ανάλογοι κανόνες. Η γενίκευση των κατηγοριών ορίζεται από τις σχέσεις επιφάνειας των αντικειμένων με τις υποκατηγορίες ή τις υπέρ κατηγορίες, όπως παρουσιάζονται κατά την κατάτμηση των προηγούμενων εικόνων.

Για τον εντοπισμό της κατηγορίας γυμνή επιφάνεια «*Bare land (L3)*», χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα δείγματα εκπαίδευσης.

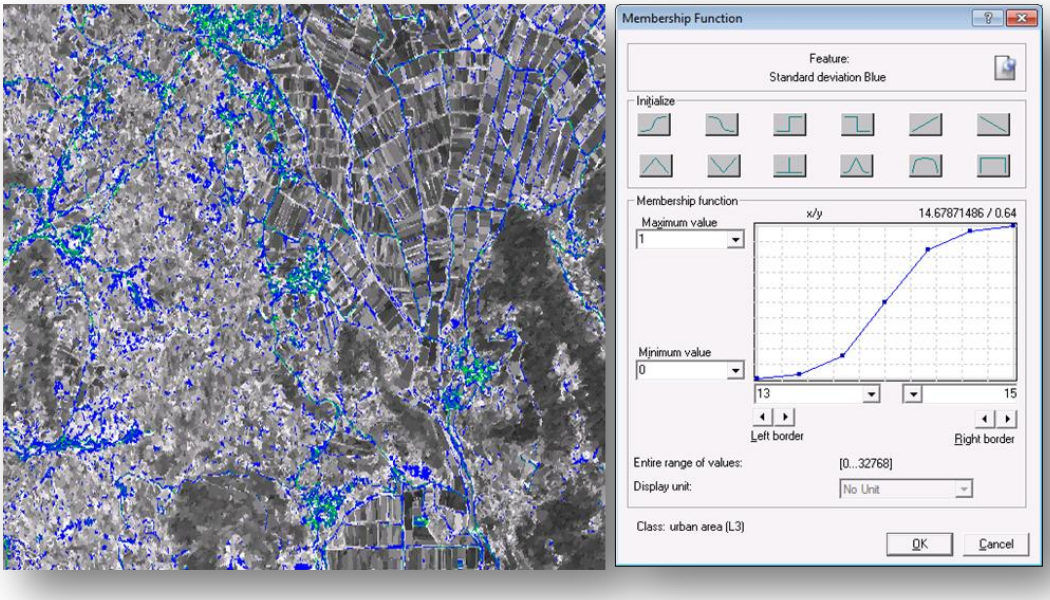


Εικόνα 160. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη γυμνή επιφάνεια «bare land (L3)»

Για την περιγραφή της τεχνητής επιφάνειας «*urban area (L3)*» επιπλέον των δειγμάτων εκπαίδευσης, χρησιμοποιείται ο κανόνας της τυπικής απόκλισης στο μπλε κανάλι «*Standard deviation Blue (L3)*» (Εικόνα 157). Το διάστημα των τιμών ασάφειας κυμαίνεται από **13** έως **15** με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης (Εικόνα 158).



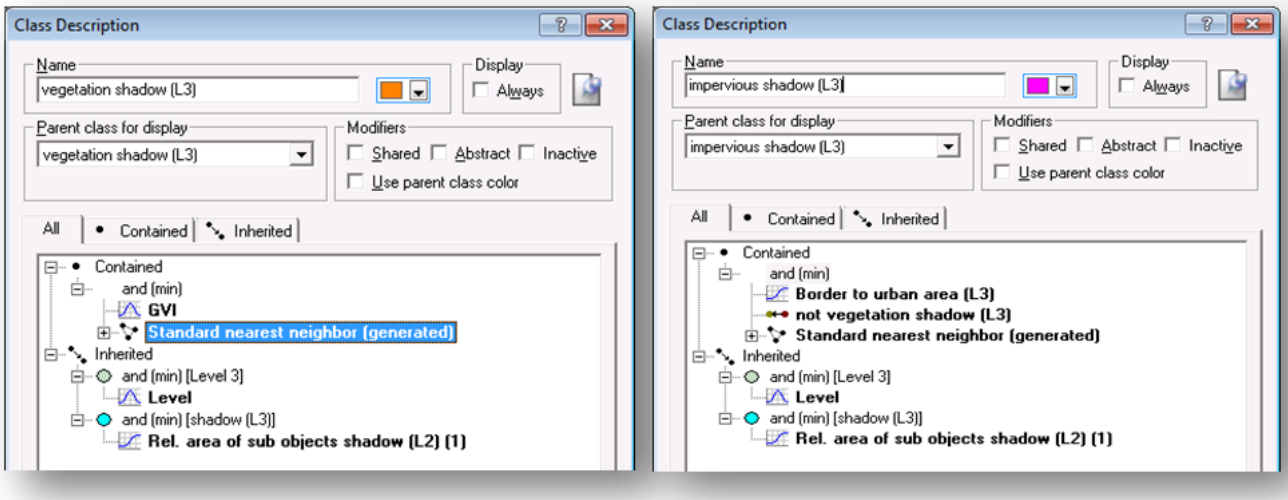
Εικόνα 161. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν την τεχνητή επιφάνεια «*urban area (L3)*»



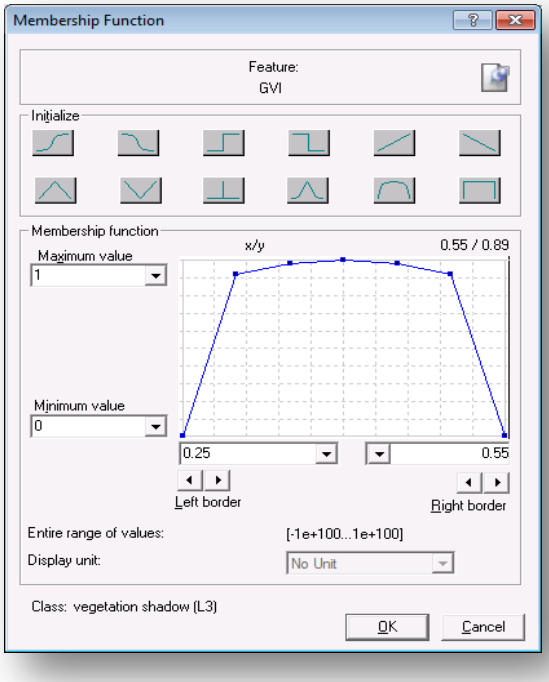
Εικόνα 162. Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας «*urban area (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της τυπικής απόκλισης στο μπλε κανάλι «*Standard deviation Blue*», με τιμές ασάφειας 13 έως 15 και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης

Κατά την ταξινόμηση των κατηγοριών για τη σκιά αδιαπέρατων υλικών «*impervious shadow (L3)*» και για τη σκιά βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*», χρησιμοποιούνται οι ίδιοι κανόνες με την ταξινόμηση της εικόνας IKONOS 2008 (Εικόνα 163). Η μόνη διαφορά έγκειται στα όρια του πράσινου δείκτη βλάστησης «*GVI*», ο οποίος χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της σκιάς

βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*». Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ του ορίου **0.25** έως **0.55** (Εικόνα 164).



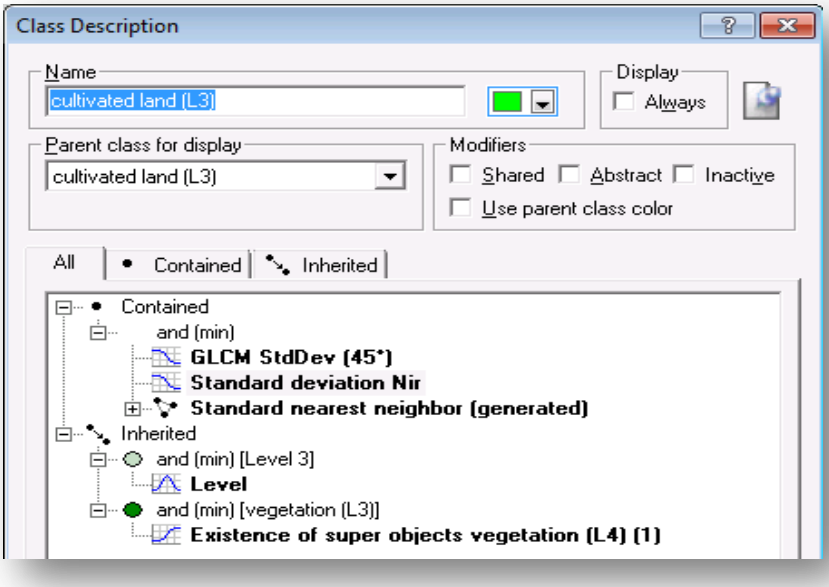
Εικόνα 163. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τη σκιά βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*» και τη σκιά αδιαπέρατων υλικών «impervious shadow», αντίστοιχα



Εικόνα 164. Τιμές ορίων του πράσινου δείκτη βλάστησης «GVI» για τον εντοπισμό της σκιάς βλάστησης «*vegetaion shadow (L3)*»

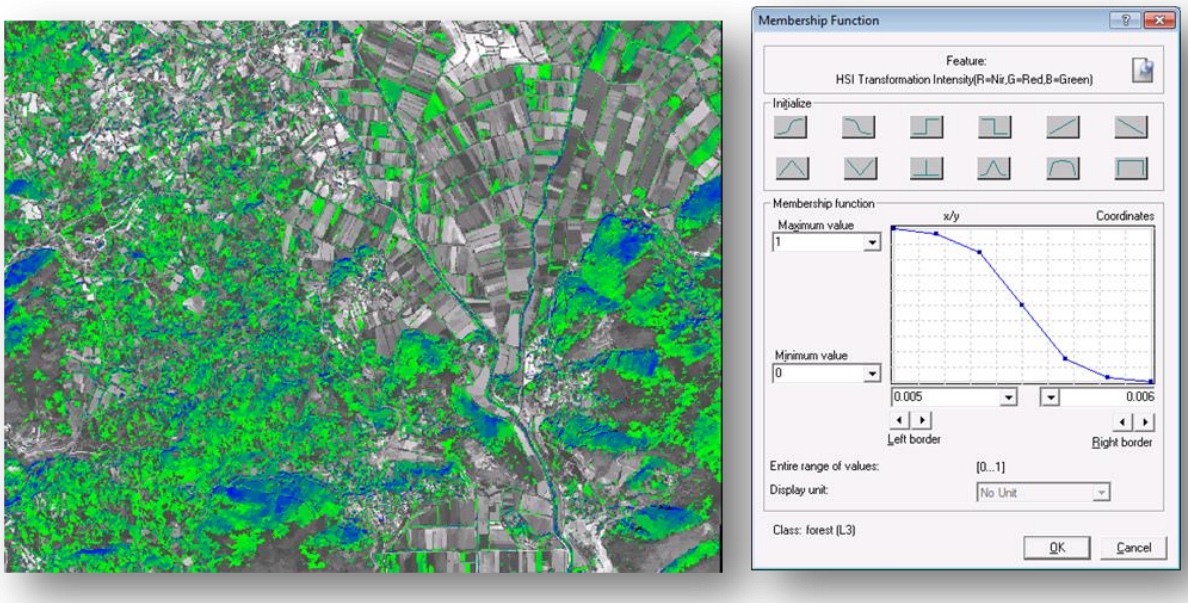
Για τον εντοπισμό των καλλιεργήσιμων εκτάσεων «*cultivation land (L3)*» χρησιμοποιούνται δύο ίδιοι κανόνες με την IKONOS 2008, της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «*Standard deviation NIR*» και ο κανόνας υφής σύμφωνα με το Haralick συνύπαρξη πίνακα σύγχυσηςς στο γκρί επίπεδο (grey- level co- occurrence matrix) «*GLCM StdDev (45^{o})*» με τις ίδιες τιμές ασάφειας.

Η τιμές ασάφειας του κανόνα της τυπικής απόκλισης στο εγγύς υπέρυθρο «*Standard deviation NIR*» κυμαίνονται από **35** έως **40** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



Εικόνα 165. Περιγραφή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις «*cultivation land (L3)*»

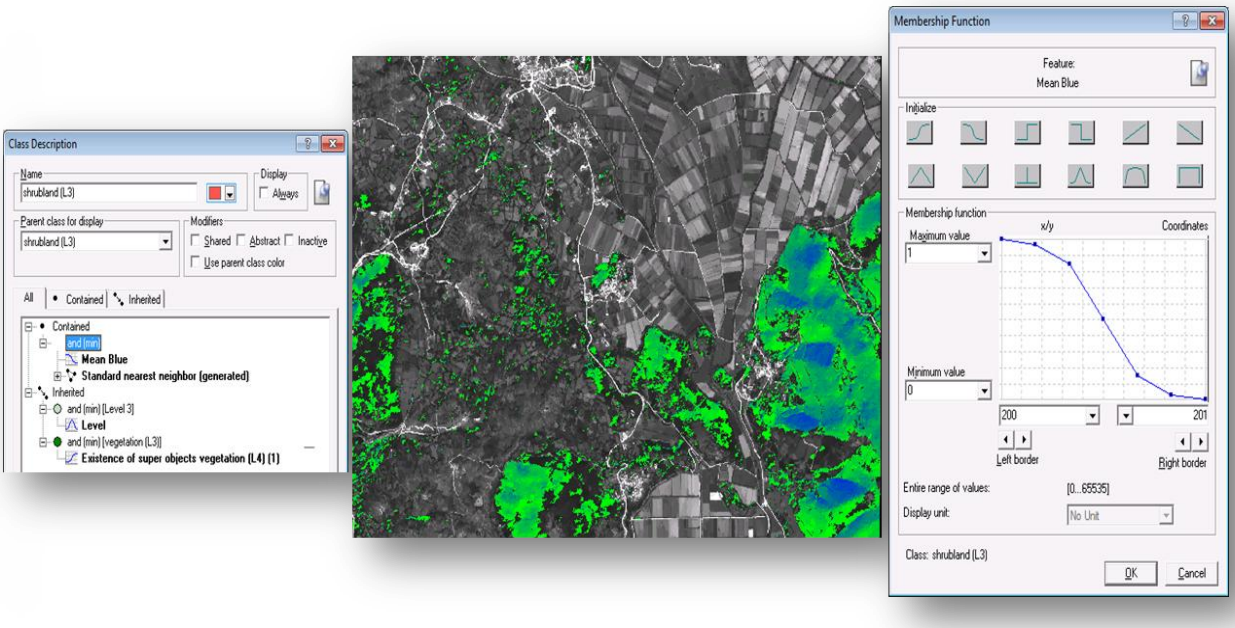
Για τον εντοπισμό του δάσους «*forest (L3)*» χρησιμοποιούνται ο ίδιος κανόνας με την εικόνα IKONOS 2008, αλλά με διαφορετικά διακριτικά όρια ασάφειας. Χρησιμοποιείται ο κανόνας του μετασχηματισμού έντασης χρωμάτων RGB «*HIS Transformation Intensity(R= NIR, G=Red, B=Green)*» με τιμές ασάφειας από 0.005 έως 0.006 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



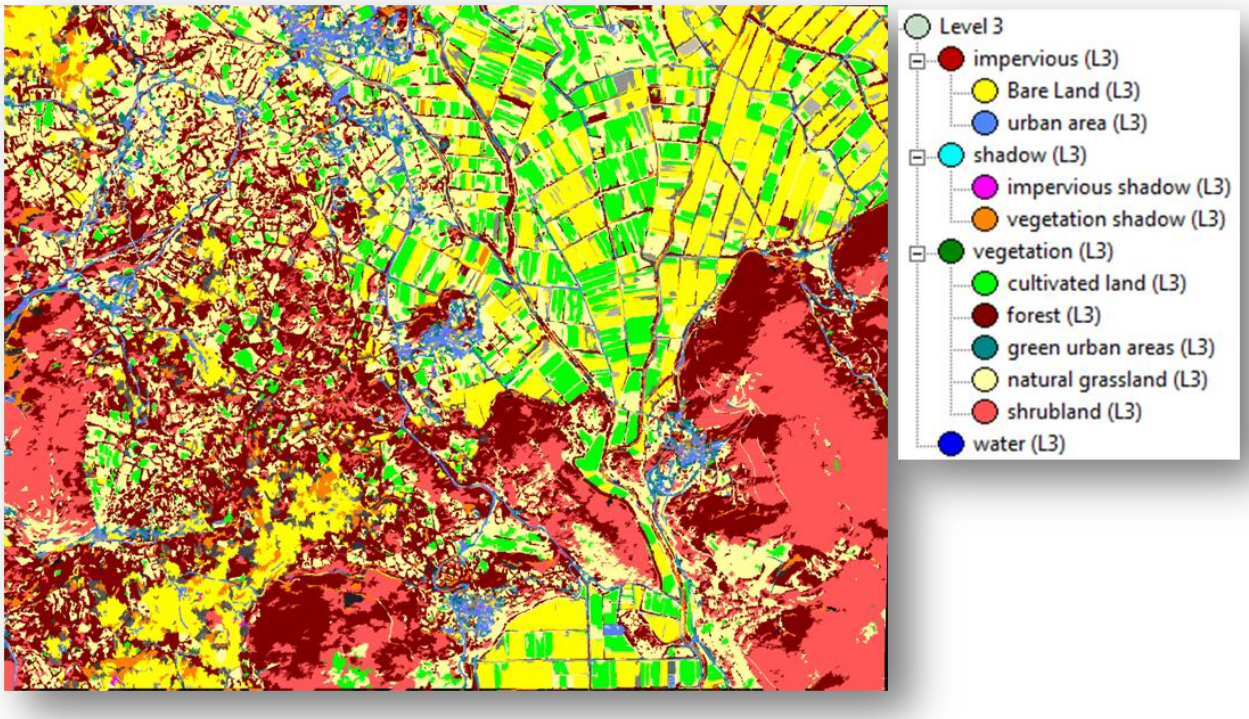
Εικόνα 166. Απεικόνιση του δάσους «*forest (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα μετασχηματισμού έντασης χρωμάτων RGB «*HIS Transformation Intensity(R= NIR, G=Red, B=Green)*» με τιμές ασάφειας από 0.005 έως 0.006 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

Αντίστοιχα, στις κατηγορίες της βλάστησης σε κατοικιμένες εκτάσεις «*green urban area (L3)*» και των λιβαδικών εκτάσεων «*natural grassland (L3)*», χρησιμοποείται η ίδια βάση γνώσης ταξινόμησης.

Στην κατηγορία των θαμνωδών εκτάσεων «*shrubland (L3)*» χρησιμοποιείται η μέθοδος του εγγύτερου γείτονα «Nearest Neighbor» και επιπλέον ο κανόνας της μέσης τιμής στο Μπλε κανάλι «*Mean Blue*». Οι τιμές ασάφειας του κανόνα κυμαίνονται από 200 έως 201 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



Εικόνα 167. Απεικόνιση των θαμνώδη εκτάσεων «*shrubland (L3)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα της μέσης τιμής στο Μπλε κανάλι «*Mean Blue*» με τιμές ασάφειας από 200 έως 201 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης



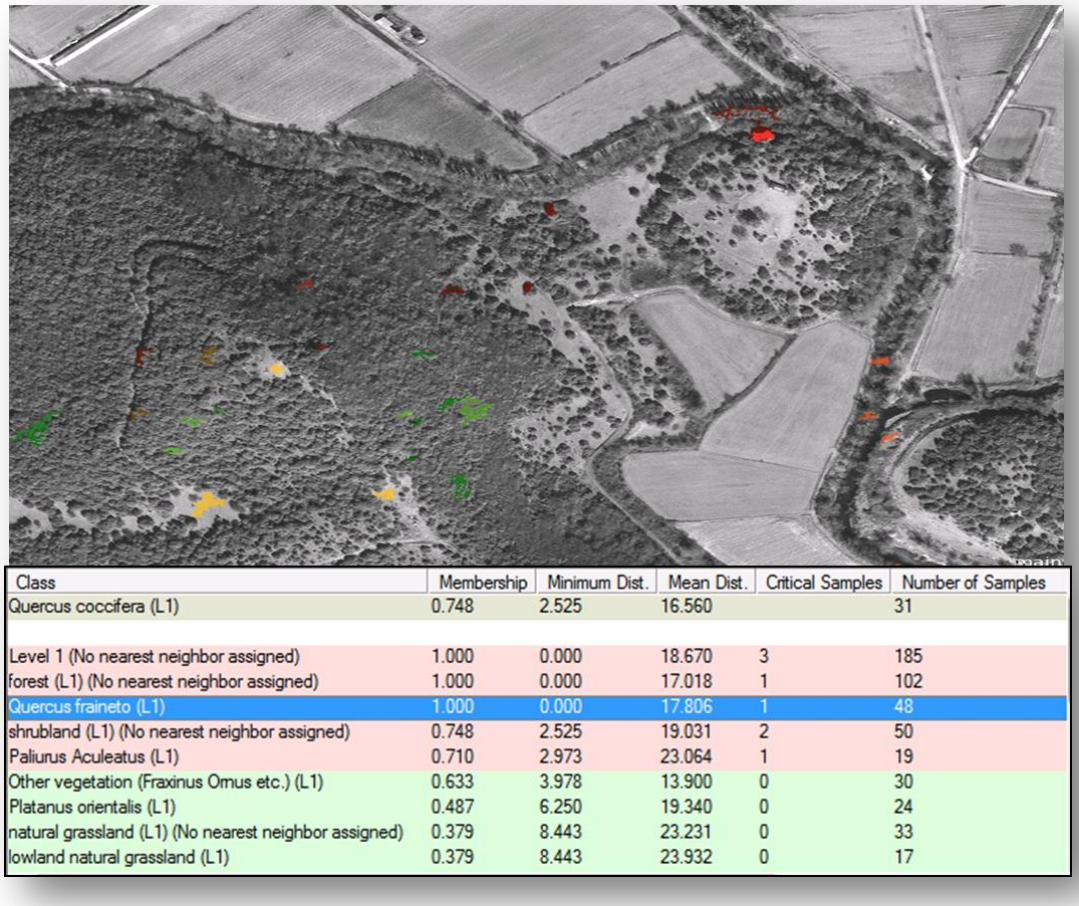
Εικόνα 168. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας IKONOS 2011

5.4.4.2.4 Ταξινόμηση 1ου Επιπέδου

Οι κατηγορίες οι οποίες ταξινομούνται στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, όπως ήδη αναφέρονται στις ταξινομήσεις των προηγούμενων εικόνων, είναι οι Δρύες «*Quercus fraineto (L1)*», τα

πλατάνια «*Platanus orientalis (L1)*», λοιπή δασική βλάστηση (Φράξος) «*Other vegetation (Fraxinus ornus) (L1)*», τα λιβάδια σε μεγάλο υψόμετρο «*highland natural grassland (L1)*», τα λιβάδια σε χαμηλό επίπεδο «*lowland grassland (L1)*», οι θάμνοι Παλιούρι «*Paliurus aculeatus (L1)*» και τα πουρνάρια «*Quercus coccifera (L1)*». Οι κατηγορίες αυτές αποτελούν υποκατηγορίες του δάσους «*forest (L3)*», των λιβαδιών «*natural grassland (L3)*» και των θαμνωδών εκτάσεων «*shrubland (L3)*» αντίστοιχα, οι οποίες ταξινομήθηκαν στο τρίτο επίπεδο και κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους.

Η διαδικασία εντοπισμού των κλάσεων είναι όμοια με αυτή που πραγματοποιήθηκε κατά την ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2008. Αρχικά επιλέχθηκαν τα δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία και έπειτα εντάχθηκαν σε κάποιες κατηγορίες τα ανάλογα χαρακτηριστικά. Η επιλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις παραμέτρους, οι οποίες αναφέρθηκαν στην προαναφερθείσα εικόνα εφόσον προέρχονται από τον ίδιο δορυφόρο.

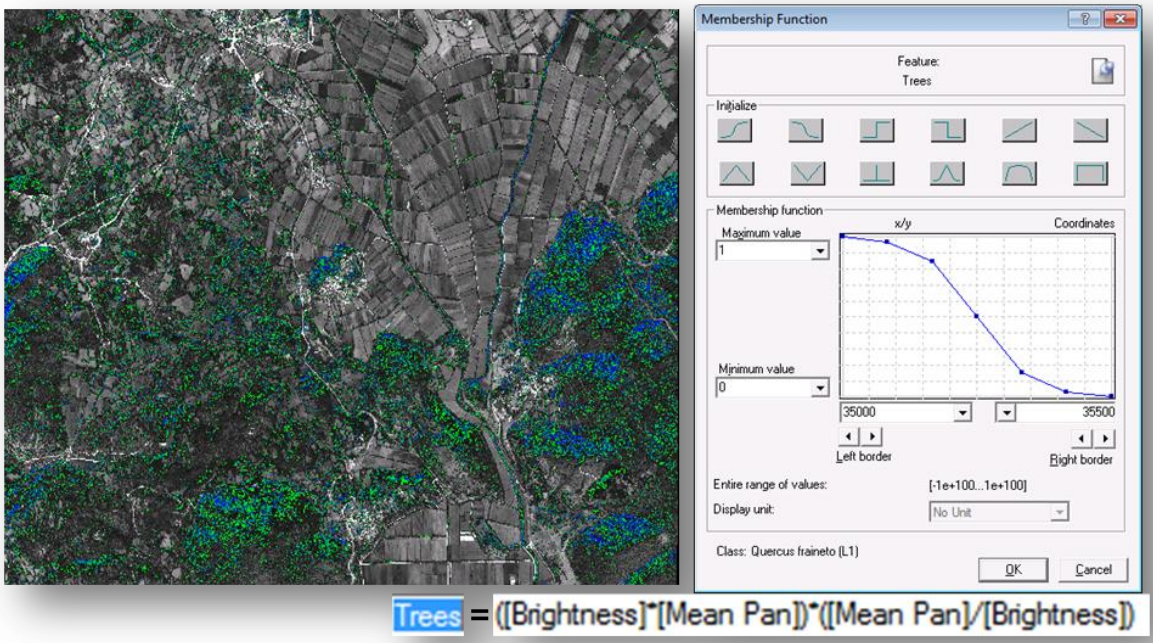


Class	Membership	Minimum Dist.	Mean Dist.	Critical Samples	Number of Samples
Quercus coccifera (L1)	0.748	2.525	16.560		31
Level 1 (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	18.670	3	185
forest (L1) (No nearest neighbor assigned)	1.000	0.000	17.018	1	102
Quercus fraineto (L1)	1.000	0.000	17.806	1	48
shrubland (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.748	2.525	19.031	2	50
Paliurus Aculeatus (L1)	0.710	2.973	23.064	1	19
Other vegetation (Fraxinus Ornus etc.) (L1)	0.633	3.978	13.900	0	30
Platanus orientalis (L1)	0.487	6.250	19.340	0	24
natural grassland (L1) (No nearest neighbor assigned)	0.379	8.443	23.231	0	33
lowland natural grassland (L1)	0.379	8.443	23.932	0	17

Εικόνα 169. Δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου και ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία

Η ταξινόμηση των τύπων βλάστησης στηρίχθηκε κυρίως στα δείγματα εκπαίδευσης. Οι κατηγορίες, στις οποίες εντάσσονται κανόνες για να συμμετέχουν στην ταξινόμηση είναι οι Δρύες «*Quercus fraineto (L1)*», τα πλατάνια «*Platanus orientalis (L1)*», τα λιβάδια σε μεγάλο υψόμετρο

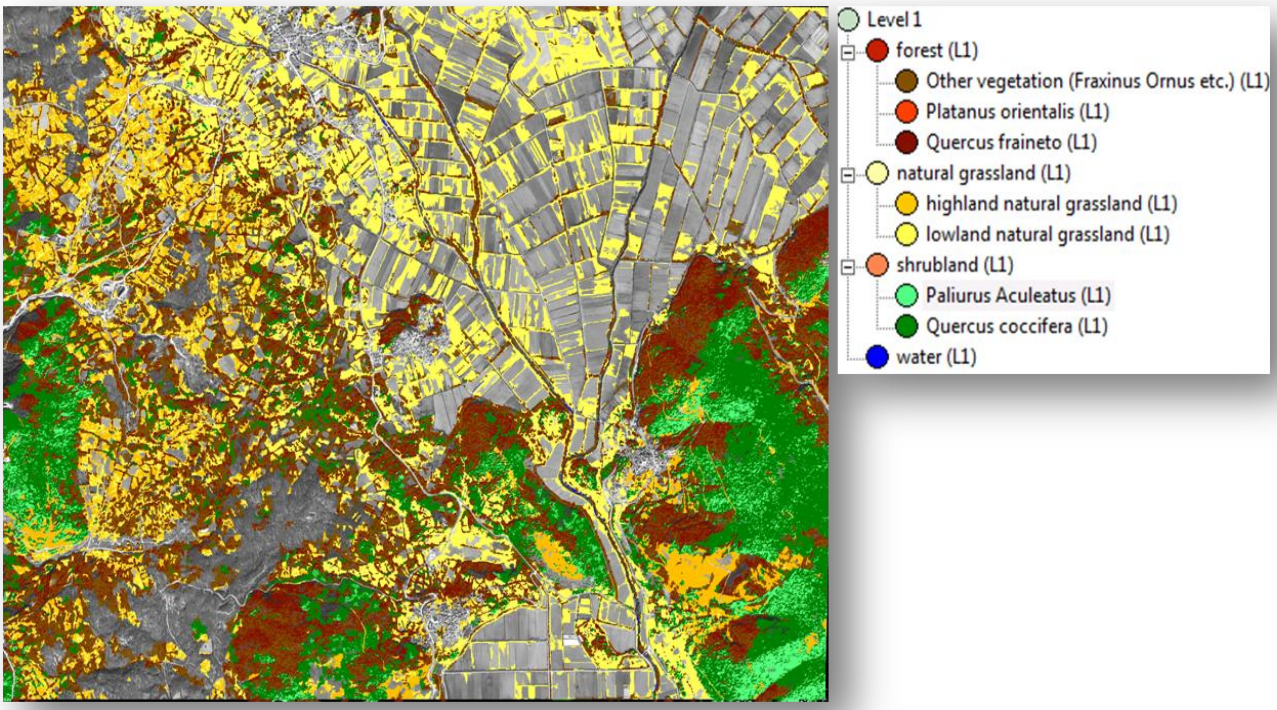
«*highland natural grassland (L1)*» και τα λιβάδια σε χαμηλό επίπεδο «*lowland grassland (L1)*». Αντίστοιχα για κάθε κατηγορία ενσωματώθηκαν οι κανόνες, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην εικόνα IKONOS 2008, με τα ίδια όρια ασάφειας. Στην κατηγορία Δρυς «*Quercus fraineto (L1)*» χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας εντοπισμού δέντρων «*Trees*», ο οποίος υπολογίζεται από το λόγο της φωτεινότητας με τη μέση τιμή στο πανχρωματικό κανάλι (Nagendra, 2010). Οι τιμές ασάφειας του κανόνα είναι **35000** έως **35500** με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



Εικόνα 170. Απεικόνιση της Δρυός «*Quercus fraineto (L1)*» σε όλο το εύρος της εικόνας με την εφαρμογή του κανόνα εντοπισμού δέντρων «*Trees*» με τιμές ασάφειας από 35000 έως 35500 και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης

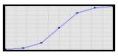
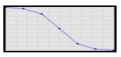
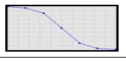
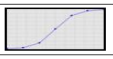
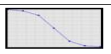
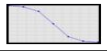
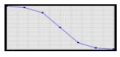
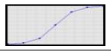
Ο κανόνας, με τον οποίο τα αντικείμενα εντάχθηκαν στην κατηγορία των πλατανιών «*Platanus orientalis (L1)*», είναι η σχέση γειτνίασης με νερό «*Border to water (L1)*» με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης για το διάστημα ασάφειας από 0 έως 1. Για την κατηγορία λιβάδια σε μεγάλο υψόμετρο «*highland natural grassland (L1)*» χρησιμοποιείται ο κανόνας μέσης τιμής υψομέτρου με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης για το διάστημα ασάφεια 400 έως 410 και η κατηγορία λιβάδια σε χαμηλό επίπεδο «*lowland grassland (L1)*» με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης για το διάστημα ασάφειας 20 έως 25.

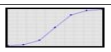
Τα αποτελέσματα εφαρμογής της ταξινόμησης προβάλλονται στην Εικόνα 171.



Εικόνα 171. Ταξινόμηση στο τρίτο επίπεδο (Level 3) της εικόνας IKONOS 2011

Πίνακας 10. Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τις συναρτήσεις συμμετοχής, τα χαρακτηριστικά και τα όρια ασάφειας για τις ταξινομήσεις των τεσσάρων επιπέδων της εικόνας IKONOS 2011

Επίπεδα (Levels)	Εικόνες (Images)	Κατηγορίες (Classes)	Χαρακτηριστικά (Features)	Συνάρτηση συμμετοχής (Membership function)	Αριστερό όριο (Left border)	Δεξί όριο (Right border)
Level 2		impervious (L2)	not vegetation (L2) **and** not shadow (L2) **and** not water (L2)			
		vegetation (L2)	NDVI		0.2	0.23
		shadow (L2)	GVI		0.55	0.6
			HIS Transformation Imtensity (R=NIR, G=Red, B=Green)		0.2	0.25
		water (L2)	Ration NIR		0.09	0.1
Level 4		vegetation (L4)	Relative area of sub objects vegetation (L2)		0.5	0.7
Level 3		bare land (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		urban area (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Standard deviation Blue		13	15
		impervious in shadow (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *urban area (L3)*		0	1
			not vegetation in shadow (L3)			
		vegetation in shadow (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			GVI		0.25	0.55
		cultivated land (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			GLCM StdDev (45°)		26	28
			Standard deviation NIR		35	40
		forest (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			HIS Transformation Imtensity (R=NIR, G=Red, B=Green)		0.005	0.006
		green urban area (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *urban area (L3)*		0.4	0.6
		natural grassland (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		shrubland (L3)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Blue		200	201

Level 1		Other vegetation (Fraxus Ornus) (L 1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		Platanus orientalis (L 1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Border to *water (L1)*		0	1
		Quercus fraineto (L 1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Trees		35000	35500
		highland natural grassland (L 1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Height		400	410
		lowland natural grassland (L 1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
			Mean Slope		20	25
			not highland natural grassland (L 1)			
		Paliurus aculeatus (L 1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			
		Quercus coccifera (L 1)	Standard Nearest Neighbor (generated)			

6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της ανασκόπησης επιστημονικού πεδίου, το στάδιο της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων θεωρείται ζωτικής σημασίας για την εξαγωγή τελικών αποτελεσμάτων σε μια ταξινόμηση. Η αξιολόγηση στοχεύει στον έλεγχο ακρίβειας των αποτελεσμάτων, έπειτα από το συνδυασμό αλγορίθμων, κανόνων και δειγμάτων εκπαίδευσης. Δηλαδή, εκφράζει εάν πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλοι συνδυασμοί, κάτω από ιδανικές συνθήκες, για την εξαγωγή των υπό μελέτη ή των ζητούμενων αντικειμένων. Το λογισμικό του eCognition διαθέτει λειτουργίες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται είτε στατιστικά, με τους δείκτες της Σταθερότητας ταξινόμησης «*Classification Stability*» και του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*», είτε με χρήση δεδομένων ελέγχου.

Η αξιολόγηση των εικόνων πραγματοποιείται στο τρίτο και στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, στα οποία η ταξινόμηση των κατηγοριών τους εξαρτάται από τα προηγούμενα. Το πρώτο επίπεδο αποτελεί το βαθύτερο επίπεδο ταξινόμησης και χρησιμοποιούνται δείγματα ελέγχου για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ακρίβειας των τελικών αποτελεσμάτων. Στο δεύτερο εμπεριέχονται τα πρωτογενή αντικείμενα, από τα οποία παράγονται οι κλάσεις των άλλων δύο επιπέδων και το τέταρτο επίπεδο χρησιμοποιείται ως βοηθητικό στην ταξινόμηση, οπότε τα αποτελέσματα τους δεν χρήζουν αξιολόγησης.

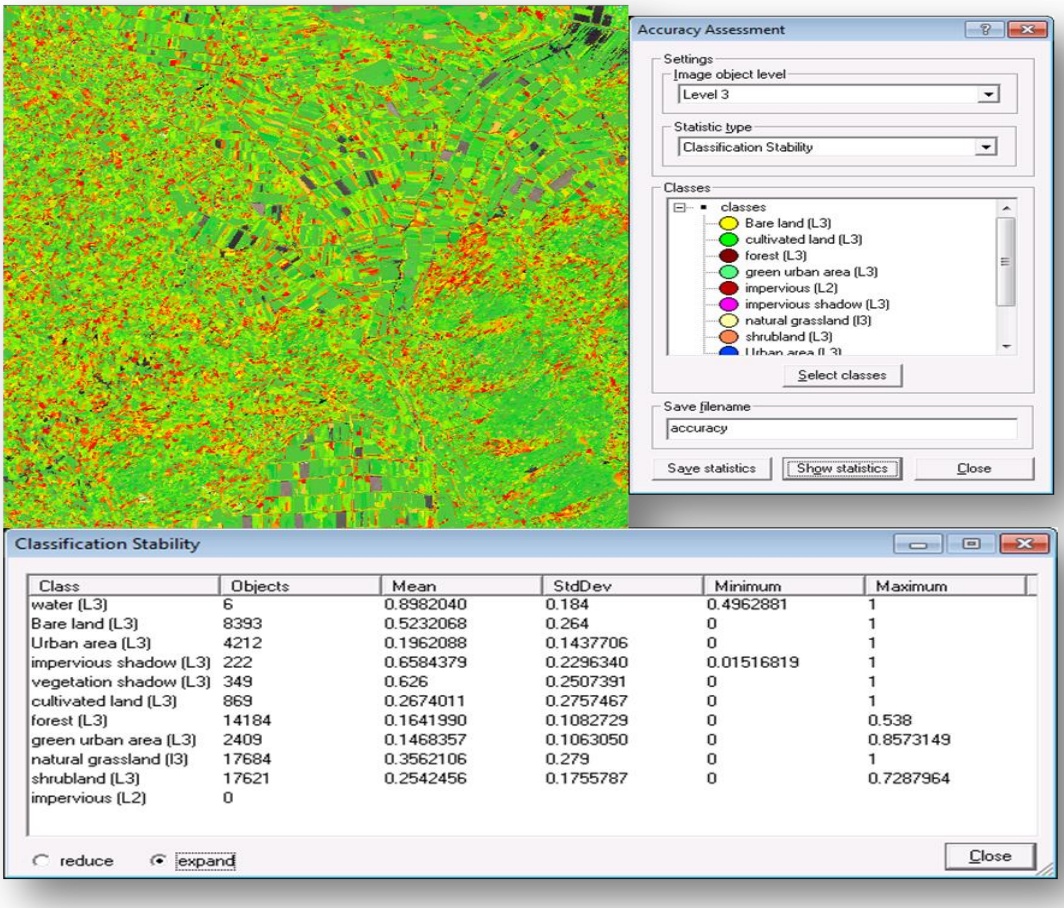
6.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εικόνας IKONOS'08

Ο έλεγχος αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται στα χαμηλότερα επίπεδα κλάσεων, τα οποία αποτελούν γενίκευση των πρωτογενών κατηγοριών. Σκοπός της διαδικασίας είναι μια ολοκληρωμένη και αξιόπιστη έρευνα για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων και τη δυνατότητα περαιτέρω εξέτασης της μελέτης.

6.1.1 Αξιολόγηση 3^{ου} επιπέδου

Για τον έλεγχο της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3) ακολουθείται η μέθοδος Σταθερότητας ταξινόμησης «*Classification Stability*» και του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*». Από την εφαρμογή των δύο μεθόδων η ορθότητα των αποτελεσμάτων εντοπίζεται από τη δημιουργία πινάκων σφαλμάτων ταξινόμησης, αλλά και εικονικά από το χρώμα των αντικειμένων. Τα αντικείμενα με πράσινο χρώμα δηλώνουν ότι η ταξινόμηση τους είναι ορθή, ενώ σφάλματα εντοπίζονται στα κόκκινα αντικείμενα. Επίσης, οι διαβαθμίσεις του κόκκινου χρώματος καθορίζουν το βαθμό σφάλματος των αντικειμένων.

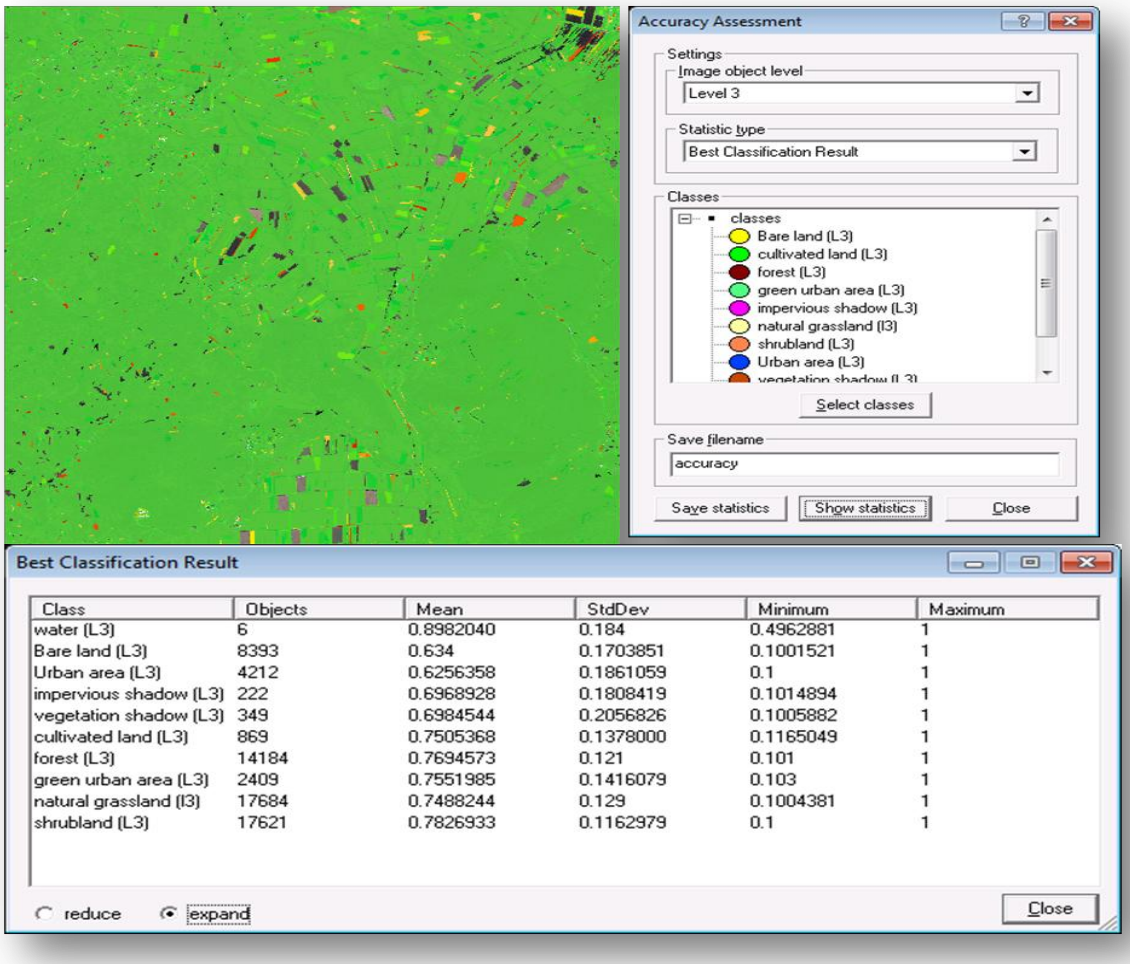
Κατά τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «*Classification Stability*», παράγεται στατιστικός πίνακας, ο οποίος εκφράζει το βαθμό συμμετοχής κάθε αντικειμένου στην κατηγορία (Εικόνα 172). Από τις στατιστικές τιμές του πίνακα, διαπιστώνεται ότι στην κατηγορία ταξινόμησης του νερού υπάρχουν αντικείμενα, τα οποία δεν ταξινομούνται στην σωστή κατηγορία. Η πληροφορία, η οποία χάνεται από το νερό, οφείλεται στην ύπαρξη σκιάς από την υπάρχουσα βλάστηση, η οποία επικρατεί στα όρια του ποταμού. Επιπλέον, στην κατηγορία δάσος «forest», παρατηρείται απόκλιση στην ταξινόμηση κάποιων αντικειμένων, εξαιτίας της φθινοπωρινής περιόδου λήψης της εικόνας. Κατά τη περίοδο αυτή εντοπίζεται πτώση των φύλλων στα φυλλοβόλα δέντρα, οπότε η ταξινόμηση τους στην αντίστοιχη κατηγορία δημιουργεί σφάλματα.



Εικόνα 172. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS'08

Κατά τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*», στον στατιστικό πίνακα προβάλλονται ο μεγαλύτερος βαθμός συμμετοχής κάθε αντικειμένου σε κάθε κατηγορία. Κατά την ταξινόμηση των κλάσεων του επιπέδου, εκτός από τα δείγματα εκπαίδευσης, τα οποία συμμετέχουν στην ταξινόμηση, χρησιμοποιείται μέθοδος εισαγωγής κανόνων με τη χρήση ασαφούς λογικής. Το γεγονός ύπαρξης ασαφούς λογικής προσδίδει την ύπαρξη

αλληλοεπικάλυψης μεταξύ των κατηγοριών και το αντικείμενο ορίζεται στην κατηγορία, η οποία εμφανίζει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Η μέθοδος αξιολόγησης της ταξινόμησης με το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής αντικειμένου στις κλάσεις του τρίτου επιπέδου παρουσιάζει επιτυχία (Εικόνα 173).



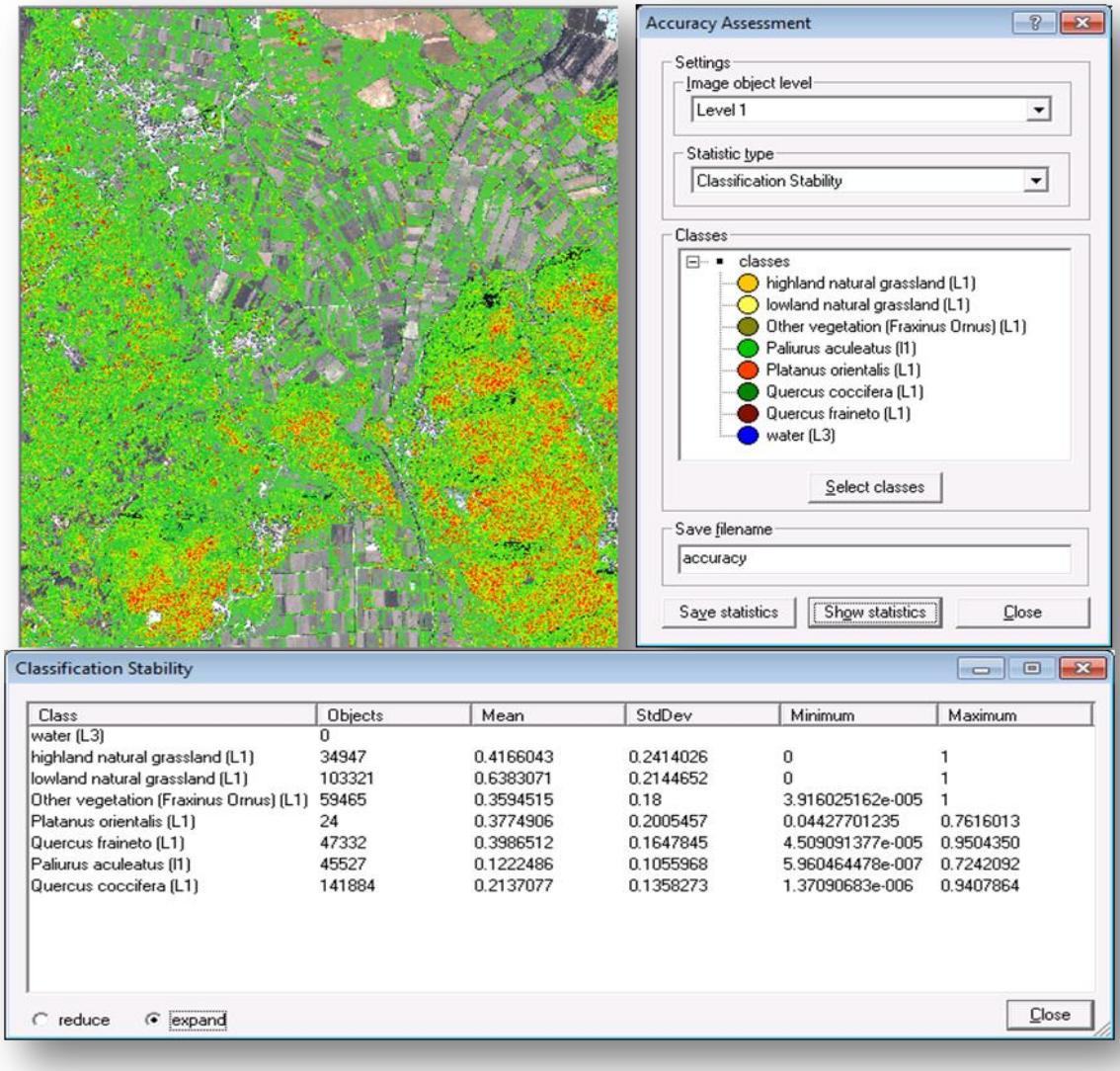
Εικόνα 173. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS'08

6.1.2 Αξιολόγηση 1^{ου} επιπέδου

Για τον έλεγχο της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1) ακολουθείται η μέθοδος σταθερότητας ταξινόμησης «*Classification Stability*», του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*» και με την εφαρμογή δειγμάτων ελέγχου, οι μέθοδοι της πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask» και της πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based on Samples».

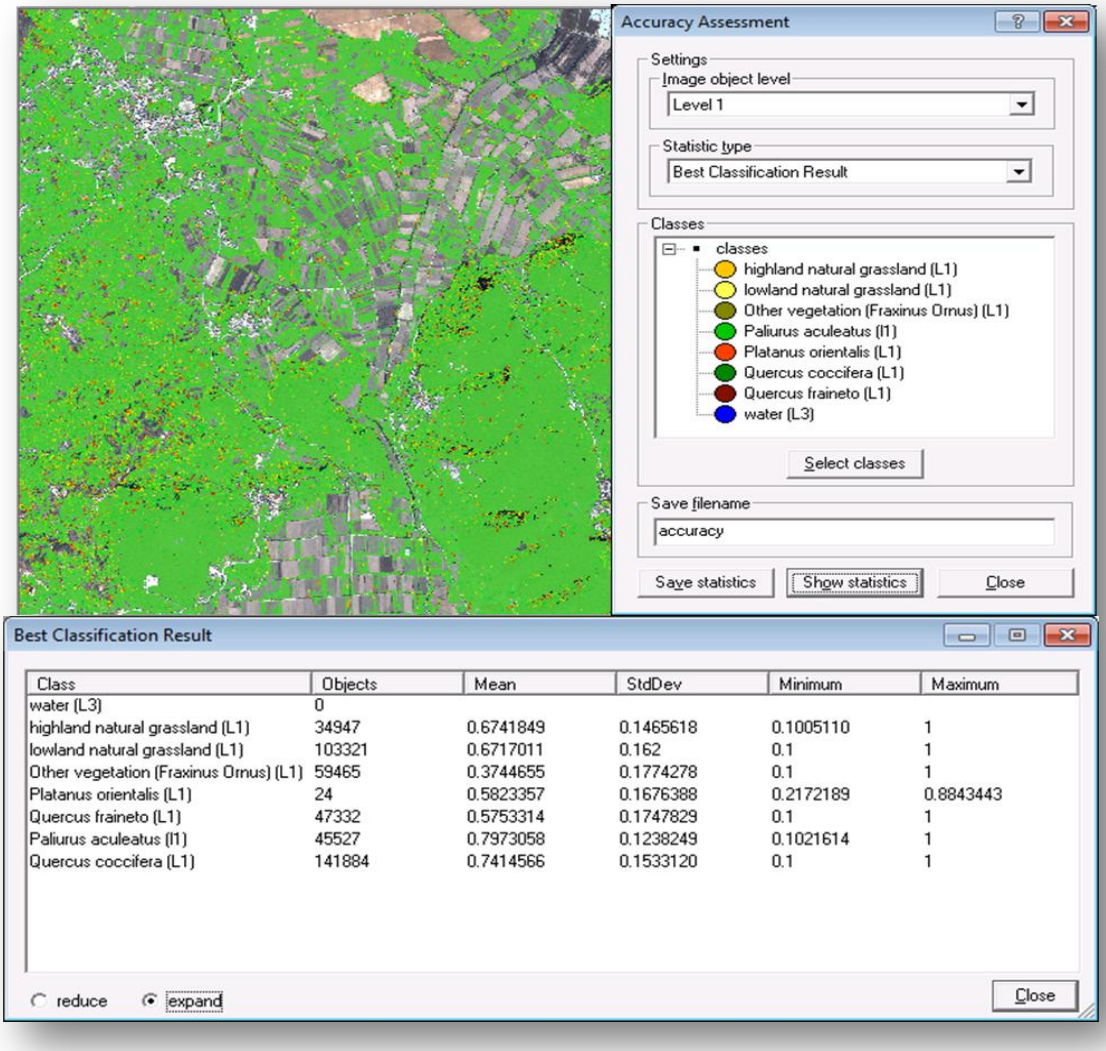
Από την εφαρμογή της μεθόδου σταθερότητας ταξινόμησης «*Classification Stability*», οι κατηγορίες Δρυς (Quercus fraineto) και Παλιούρι (Paliurus aculeatus) παρουσιάζουν μικρό

σφάλμα σε κάποια αντικείμενα, τα οποία δε ταξινομήθηκαν στην αντίστοιχη κατηγορία (Εικόνα 174).



Εικόνα 174. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS'08

Από τη μέθοδο αξιολόγησης του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*» δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα σφάλματα, και όπως φαίνεται εικονικά το πλήθος των αντικειμένων είναι πράσινα (Εικόνα 175).

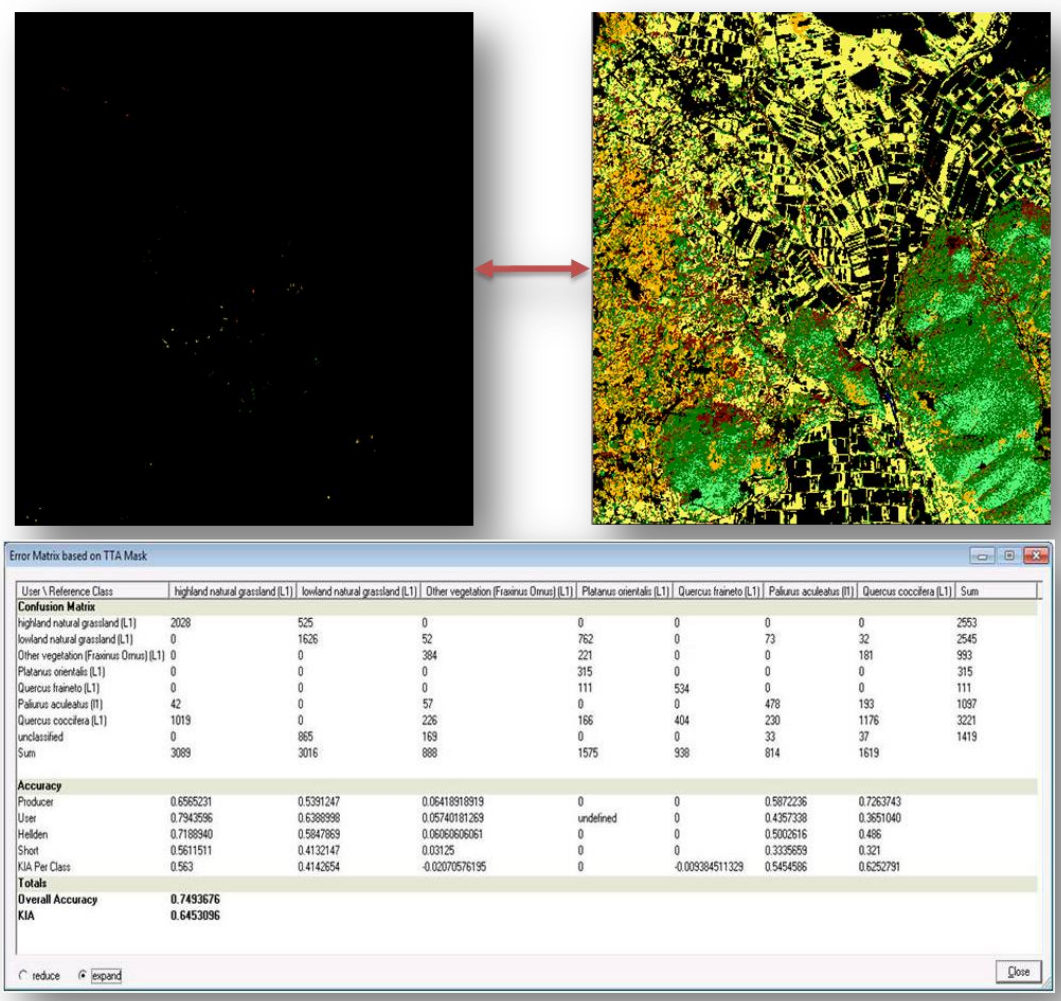


Εικόνα 175. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS'08

Για να διασφαλιστεί ο πλήρης έλεγχος ταξινόμησης, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η καλή γνώση της περιοχής μελέτης. Σύμφωνα με τις γνώσεις της περιοχής, επιλέγονται εκ νέου δείγματα ελέγχου, τα οποία είναι ανεξάρτητα της ταξινόμησης και αντιπροσωπευουν αληθή δεδομένα. Με τα νέα δείγματα ελέγχου δημιουργείται μια δοκιμαστική επιφάνεια (TTA Mask), στην οποία εφαρμόζονται οι μέθοδοι αξιολόγησης του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «*Error Matrix Based on TTA Mask*» (Εικόνα 176) και του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «*Error Matrix Based Samples*» (Εικόνα 177).

Κατά τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «*Error Matrix Based on TTA Mask*», με τη συλλογή των δειγμάτων ελέγχου για κάθε κατηγορία του επιπέδου, παράγεται ένας πίνακας σύγχυσης. Σύμφωνα με τον πίνακα, ο οποίος προέκυψε από τα δείγματα ελέγχου στην εικόνα IKONOS 2008, διακρίνονται τα σφάλματα. Όπως αναφέρθηκε

και στο κεφάλαιο της ανασκόπησης επιστημονικού πεδίου, ο έλεγχος προσδιορίζεται βάση των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε μια κατηγορία, με το συνολικό αριθμό των εικόνοστοιχείων των δειγμάτων ελέγχου και τα σφάλματα, τα οποία δημιουργούνται διαχωρίζονται σε σφάλματα συμπερίληψης και παράλειψης.



User \ Reference Class	highland natural grassland (L1)	lowland natural grassland (L1)	Other vegetation (Fraxinus Ornus) (L1)	Platanus orientalis (L1)	Quercus frainetо (L1)	Paliurus aculeatus (I1)	Quercus coccifera (L1)	Sum
Confusion Matrix								
highland natural grassland (L1)	2028	525	0	0	0	0	0	2553
lowland natural grassland (L1)	0	1626	52	762	0	73	32	2545
Other vegetation (Fraxinus Ornus) (L1)	0	0	384	221	0	0	181	993
Platanus orientalis (L1)	0	0	0	315	0	0	0	315
Quercus frainetо (L1)	0	0	0	111	534	0	0	111
Paliurus aculeatus (I1)	42	0	57	0	0	478	193	1097
Quercus coccifera (L1)	1019	0	226	166	404	230	1176	3221
unclassified	0	865	169	0	0	33	37	1419
Sum	3089	3016	888	1575	938	814	1619	
Accuracy								
Producer	0.6565231	0.5391247	0.06418918919	0	0	0.5872236	0.7263743	
User	0.7943596	0.6388998	0.05740181269	undefined	0	0.4357338	0.3651040	
Hellden	0.7188940	0.5847869	0.06060606061	0	0	0.5002616	0.486	
Short	0.5611511	0.4132147	0.03125	0	0	0.3335659	0.321	
KIA Per Class	0.563	0.4142654	-0.02070576195	0	-0.009384511329	0.5454586	0.6252791	
Totals								
Overall Accuracy	**0.7493676**							
KIA	**0.6453096**							

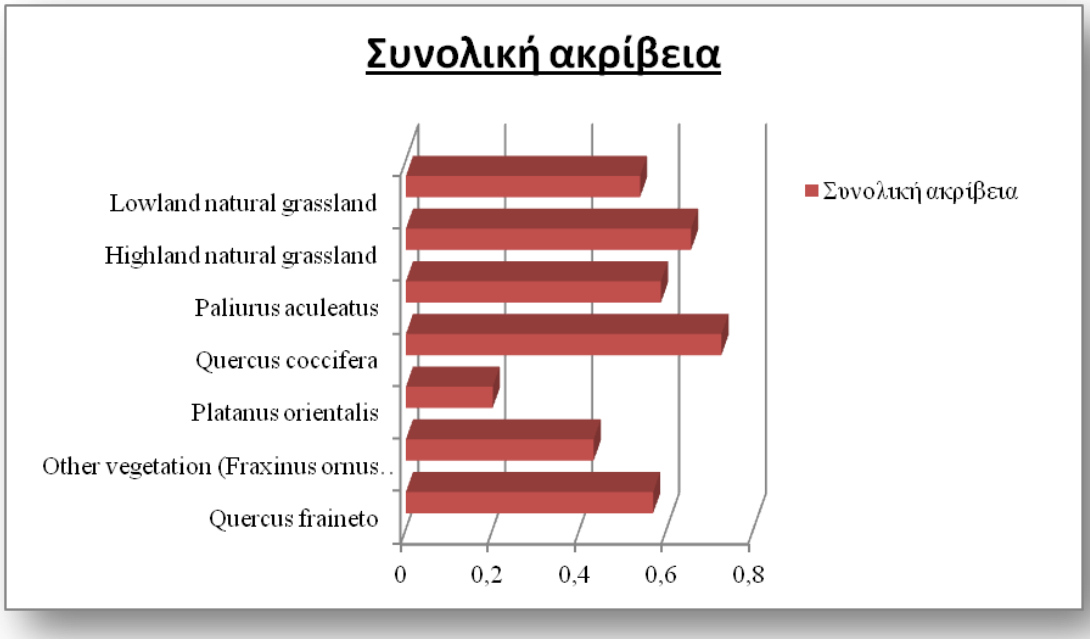
Εικόνα 176. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, με τα δείγματα ελέγχου, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask»

Παρατηρώντας τον πίνακα 10 διαπιστώνονται αποκλίσεις εικονοστοιχείων από τη διαγώνιο, δηλαδή από την κατηγορία την οποία αντιπροσωπεύουν. Για τον υπολογισμό της συνολικής ακρίβειας σε κάθε κατηγορία υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό αριθμό των ορθά ταξινομημένων εικονοστοιχείων (δηλαδή το άθροισμα των εικονοστοιχείων της κύριας διαγωνίου) με το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων αναφοράς (Αργιαλάς, 1998). Στον Πίνακας 10 παρουσιάζονται για κάθε κατηγορία τη συνολική της ακρίβεια

.

Πίνακας 11. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2008

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	Ορθά ταξινομημένα εικονοστοιχεια	Εικονοστοιχεία αναφοράς	Συνολική ακρίβεια
Quercus fraineto	534	938	0,569296375
Other vegetation (Fraxinus ornus etc.)	384	888	0,432432432
Platanus orientalis	315	1575	0,2
Quercus coccifera	1176	1619	0,726374305
Paliurus aculeatus	478	814	0,587223587
Highland natural grassland	2028	3089	0,656523147
Lowland natural grassland	1626	3016	0,539124668



Γράφημα 1. Ποσοστιαία ακρίβεια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2008

Διακρίνοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 10 διαπιστώνεται ιδιαίτερο σφάλμα, στην ταξινόμηση των Πλατανιών (Platanus orientalis). Η συνολική ακρίβεια των Πλατανιών εντοπίζεται στο 20% της ταξινόμησης της κατηγορίας. Το γεγονός αυτό πιθανολογείται να συμβαίνει εξαιτίας της εποχής λήψης της εικόνας. Τα Πλατάνια αποτελούν φυλλοβόλο είδος, το οποίο κατά την Φθινοπωρινή περίοδο χάνει το φύλλωμα του. Στα φυλλοβόλα δέντρα το Φθινόπωρο δυσκολεύεται ο εντοπισμός τους. Επιπλέον ένας ακόμη παράγοντας, ο οποίος δημιουργεί σφάλμα στον

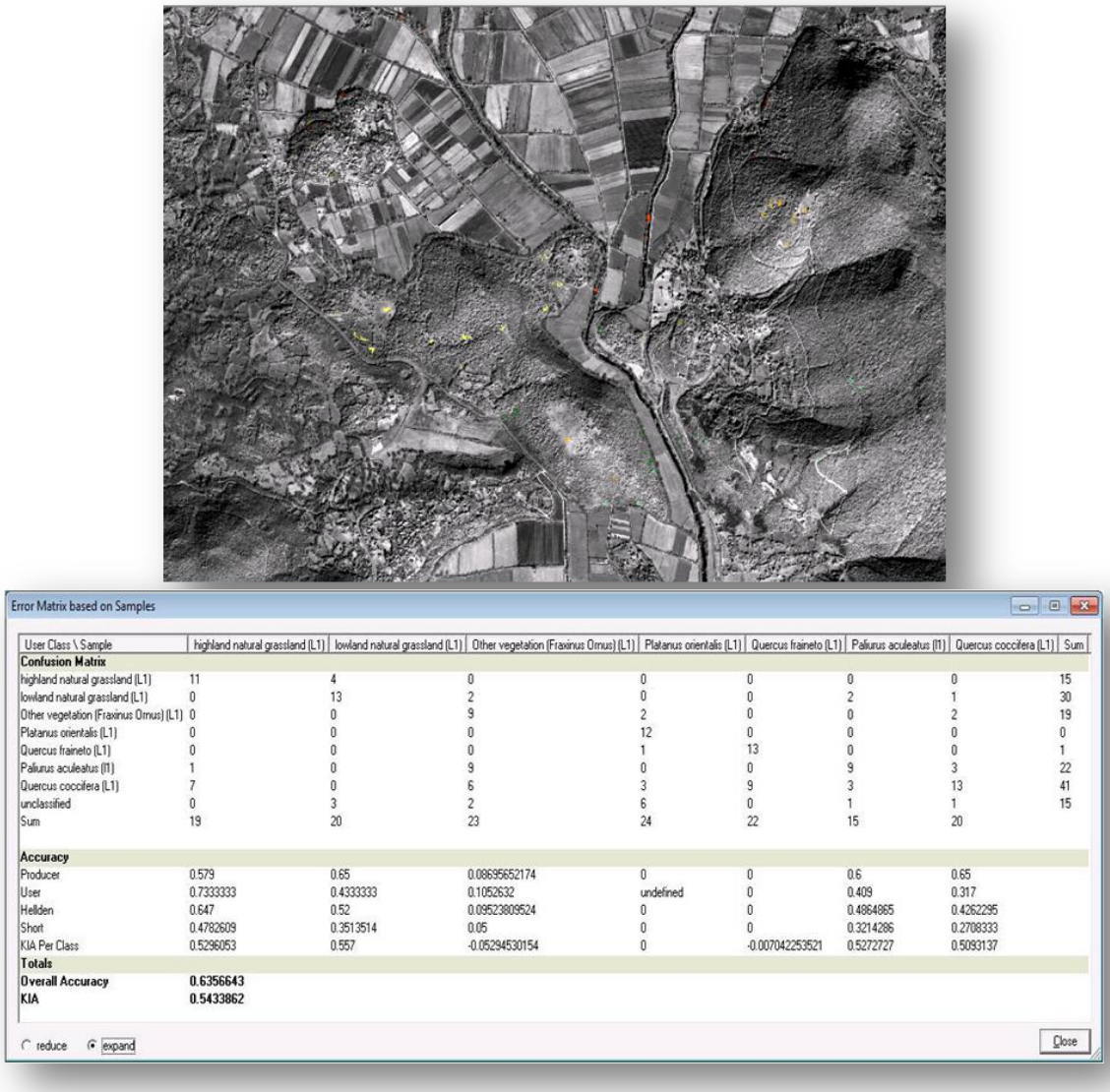
εντοπισμό των Πλατανιών είναι ο κανόνας, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε, δηλαδή να γειτνιάζει με το νερό «*Border to water*». Στην κατηγορία του νερού, της οποίας η πληροφορία κληρονομείται από προηγούμενα επίπεδα, όπως αναφέρθηκε στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης κατά την εφαρμογή της μεθόδου αξιολόγησης «Classification Stability», εντοπίζεται σφάλμα στην ταξινόμηση των αντικειμένων, διότι καλύπτεται από σκιά. Εξαιτίας της κληρονόμησης των χαρακτηριστικών του νερού, αποτελεί φυσικό επακόλουθο το σφάλμα στην ταξινόμηση των Πλατανιών. Τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία, τα οποία δεν ταξινομούνται στην κατηγορία, εντάσσονται σε άλλες κατηγορίες ταξινόμησης του επιπέδου δημιουργώντας σφάλματα παράλειψης. Οι κύριες κατηγορίες, στις οποίες ταξινομούνται τα σφαλμένα εικονοστοιχεία των πλατανιών είναι τα λιβάδια σε πεδινές επιφάνειες (Lowland natural grassland) και η λοιπή δενδρώδης βλάστηση (Other vegetation (Fraxinus ornus). Το φαινόμενο αυτό είναι λογικό, διότι εξαιτίας της απώλειας φυλλώματος των δέντρων εντοπίζονται τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και σε άλλες περιπτώσεις η φασματική υπογραφή των Πλατανιών παρουσιάζεται όμοια με την άλλη δενδρώδη βλάστηση.

Οι υπόλοιπες κατηγορίες ταξινόμησης δεν εμφανίζουν ιδιαίτερο σφάλμα. Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι ένας αριθμός εικονοστοιχείων τα οποία ανήκουν στις Δρύες (Quercus friaineto), ταξινομούνται ως Πουρνάρια (Quercus coccifera). Το φαινόμενο αυτό κρίνεται ότι συμβαίνει, διότι τα είδη παρουσιάζουν όμοια φασματική υπογραφή, και δεν υπάρχει η πληροφορία εντοπισμού του ύψους του, ώστε να διακριθούν. Άλλες κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζουν ομοιότητες και είναι δύσκολη η διάκριση τους, αποτελούν τα λιβάδια σε πεδινά (Lowland natural grassland) και σε ορεινά (Highland natural grassland) εδάφη. Ανάμεσα σε αυτές τις κατηγορίες είναι δύσκολο να διακριθεί η διαφορά της φασματικής υπογραφής των κατηγοριών. Για το λόγο αυτό η ένταξη στην εικόνα, του υψομετρικού μοντέλου εδάφους, στο οποίο έχουν υπολογιστεί οι κλίσεις και οι προσανατολισμοί, βοηθάει στην ταξινόμηση τους. Παρόλα αυτά εντοπίζονται με μικρό σφάλμα στην κατηγορία των πεδινών λιβαδιών, ενώ κάποια εικονοστοιχεία της ταξινομούνται στα ορεινά λιβάδια.

Μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας παρουσιάζουν τα Πουρνάρια (Quercus coccifera), της τάξης του 73%. Η διάκριση τους είναι εύκολη, διότι αποτελούν είδος αείφυλλο πλατύφυλλο, δηλαδή δεν χάνει το φύλλωμα του. Επίσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ταξινόμηση του είδους Παλιούρι (Paliurus aculeatus), με ακρίβεια της τάξης του 59% και μικρός αριθμός εικονοστοιχείων να ταξινομούνται ως Πουρνάρια, διότι αποτελούν και τα δύο θάμνους και κληρονομούν τα ίδια χαρακτηριστικά από τη μαμά κατηγορία.

Έπειτα ακολουθεί η εφαρμογή της μεθόδου του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «*Error Matrix Based Samples*». Η διαφορά, η οποία παρουσιάζει με την προηγούμενη είναι ότι στην προκειμένη περίπτωση ο έλεγχος γίνεται σύμφωνα με τα αντικείμενα και όχι με τα εικονοστοιχεία. Από τα αποτελέσματα του πίνακα σύγχυσης, ο οποίος

δημιουργείται, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές. Το ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης παρουσιάζει μικρή απόκλιση της τάξης του 10%.



Error Matrix based on Samples

User Class \ Sample	highland natural grassland (L1)	lowland natural grassland (L1)	Other vegetation (Fraxinus Ornus) (L1)	Platanus orientalis (L1)	Quercus fraineto (L1)	Paliurus aculeatus (I1)	Quercus coccifera (L1)	Sum
Confusion Matrix								
highland natural grassland (L1)	11	4	0	0	0	0	0	15
lowland natural grassland (L1)	0	13	2	0	0	2	1	30
Other vegetation (Fraxinus Ornus) (L1)	0	0	9	2	0	0	2	19
Platanus orientalis (L1)	0	0	0	12	0	0	0	0
Quercus fraineto (L1)	0	0	0	1	13	0	0	1
Paliurus aculeatus (I1)	1	0	9	0	0	9	3	22
Quercus coccifera (L1)	7	0	6	3	9	3	13	41
unclassified	0	3	2	6	0	1	1	15
Sum	19	20	23	24	22	15	20	
Accuracy								
Producer	0.579	0.65	0.08695652174	0	0	0.6	0.65	
User	0.7333333	0.4333333	0.1052632	undefined	0	0.409	0.317	
Hellden	0.647	0.52	0.09523809524	0	0	0.4864865	0.4262295	
Short	0.4782609	0.3513514	0.05	0	0	0.3214286	0.2708333	
KIA Per Class	0.5296053	0.557	-0.05294530154	0	-0.007042253521	0.5272727	0.5093137	
Totals								
Overall Accuracy	**0.6356643**							
KIA	**0.5433862**							

reduce expand Close

Εικόνα 177. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, με τα δείγματα ελέγχου, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based Samples»

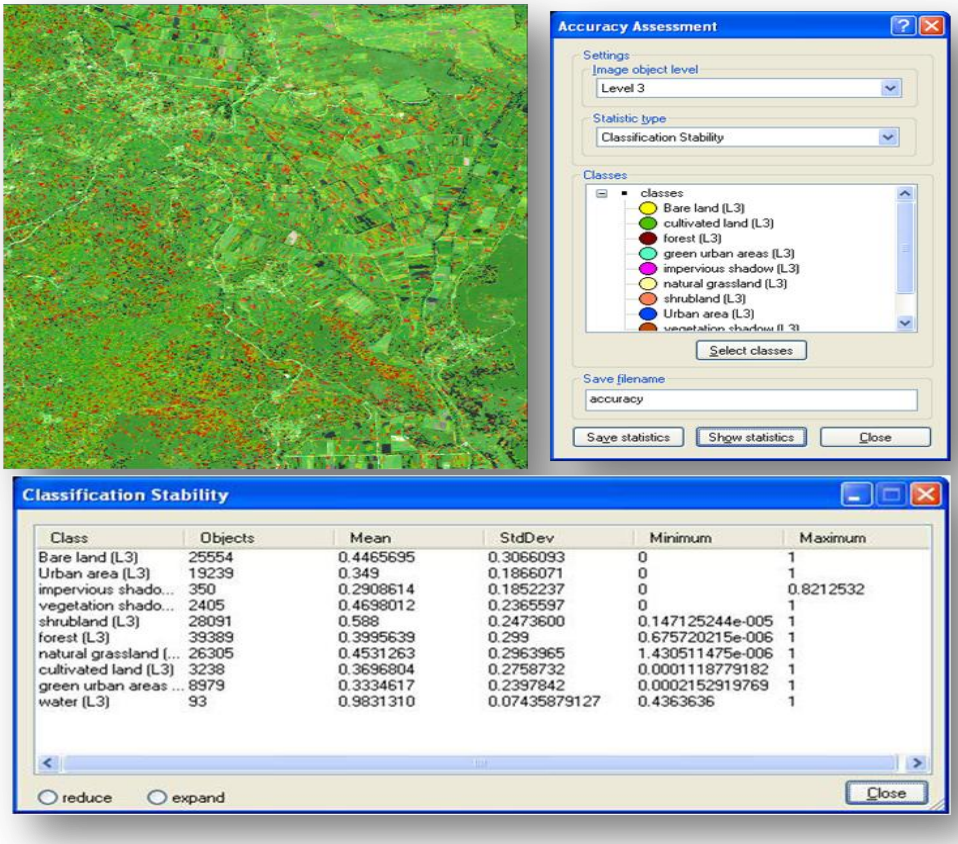
6.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εικόνας WorldView 2

Η ίδια διαδικασία αξιολόγησης με της IKONOS‘08 ακολουθήθηκε κατά την αξιολόγηση της εικόνας WV2. Παρόλο που η ταξινόμηση της εικόνας ακολουθεί την ίδια λογική διαδικασία με τις ίδιες κατηγορίες ταξινόμησης με την IKONOS’08, οι κανόνες οι οποίοι συμμετέχουν στην ταξινόμηση, και τα όρια ασάφειας τους διαφέρουν, εξαιτίας της διαφορετικής ανάλυσης και των τεσσάρων επιπλέον καναλιών στην εικόνα.

6.2.1 Αξιολόγηση 3ου επιπέδου

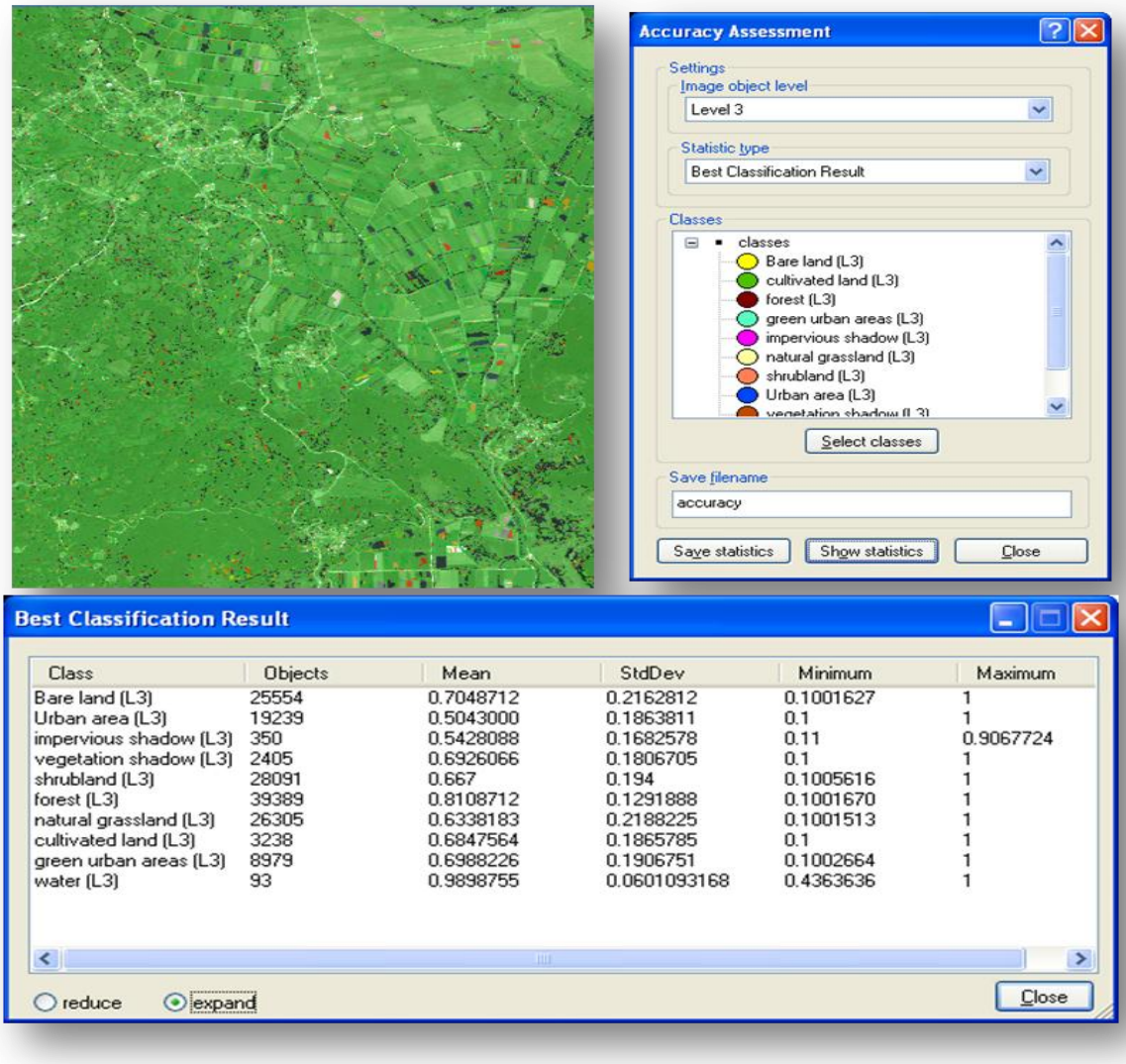
Στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης (Level 3) εφαρμόζεται η αξιολόγηση με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «*Classification Stability*» και του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*». Όπως προαναφέρθηκε στην αξιολόγηση του επιπέδου της προηγούμενης εικόνας, από την εφαρμογή των μεθόδων παράγοντες πίνακες σύγχυσης και εικονικά προβάλλουν τα σφάλματα ταξινόμησης των κατηγοριών.

Αρχικά, γίνεται ο έλεγχος των αντικειμένων της ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας της ταξινόμησης «*Classification Stability*» (Εικόνα 178). Από τον πίνακα, ο οποίος παράγεται αυτόματα από τη λειτουργία της μεθόδου και την επεξεργασία των αντικειμένων της εικόνας, σύμφωνα με τις κατηγορίες ταξινόμησης, διαπιστώνονται σφάλματα κυρίως στα λιβάδια. Ο πίνακας εντοπίζει ότι σε αυτές τις κατηγορίες, υπάρχουν αντικείμενα, τα οποία δεν ταξινομήθηκαν στην κατηγορία την οποία ανήκουν στην πραγματικότητα. Το σφάλμα το οποίο εντοπίζεται, πιθανολογείται να οφείλεται στο διαχωρισμό τους με τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η περιοχή καταλαμβάνεται από μεγάλες εκτάσεις καλλιεργειών, γεγονός το οποίο εξαιτίας της καλοκαιρινής περιόδου λήψης της εικόνας, όπου οι καλλιέργειες παράγουν πρώτες ύλες, να εμφανίζουν την ίδια φασματική υπογραφή με τα λιβάδια.



Εικόνα 178. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο (Level 3) ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» στην εικόνα WorldView 2

Έπειτα γίνεται ο έλεγχος του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*», κατά τον οποίο εμφανίζονται τα εκατοστιαία ποσοστά συμμετοχής των αντικειμένων στην ταξινόμηση (Εικόνα 179). Από το πίνακα των αποτελεσμάτων εφαρμογής της μεθόδου, διαπιστώνεται μικρό σφάλμα στον εντοπισμό αντικειμένων, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία νερό. Πιθανολογείται ότι η εμφάνιση σφάλματος στην κατηγορία να οφείλεται στην εμφάνιση έντονης σκίασης του ποταμού, εξαιτίας της καλοκαιρινής περιόδου λήψης της εικόνας μετά τις μεσημβρινές ώρες.



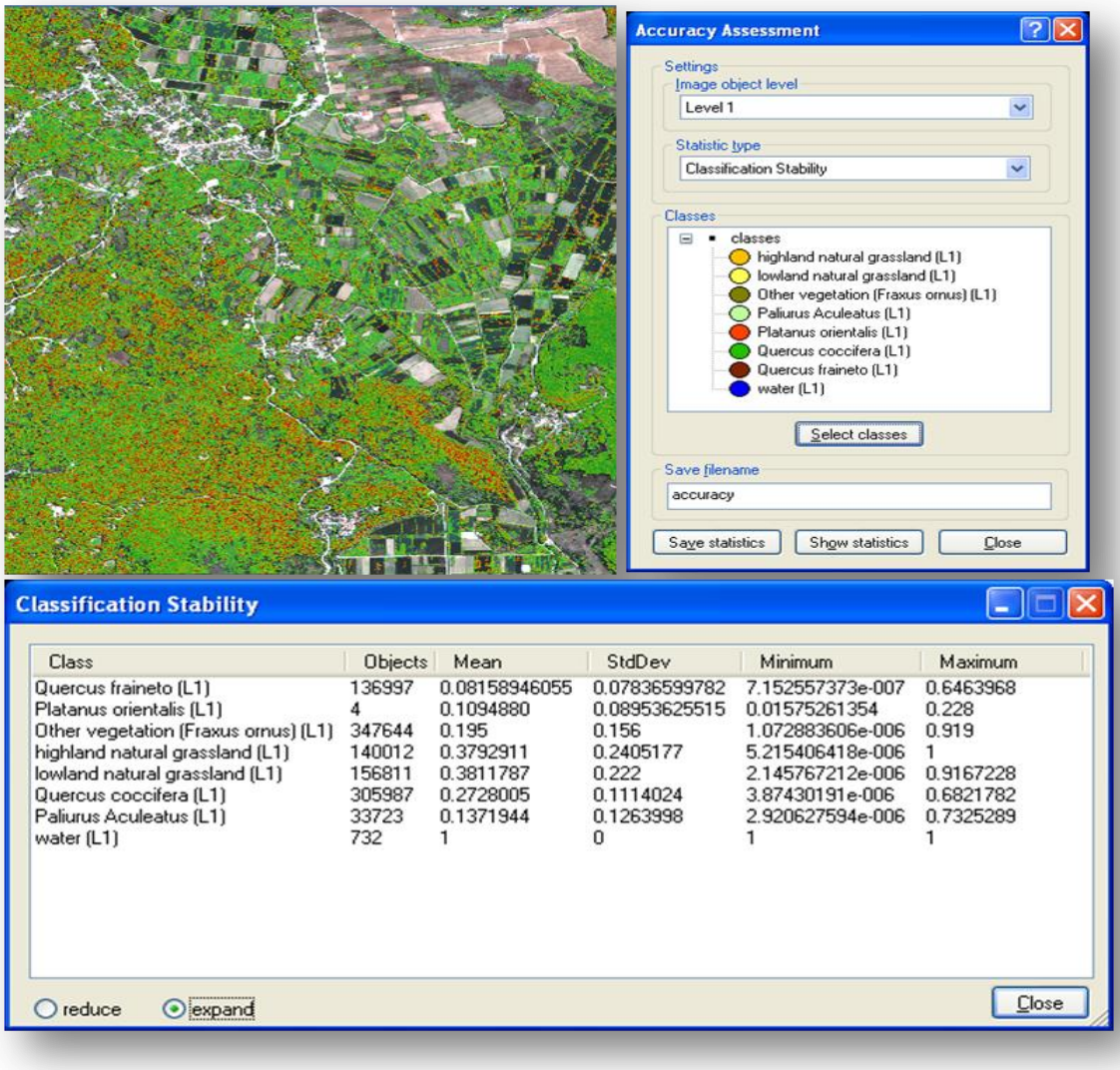
Εικόνα 179. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο (Level 3) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result»

6.2.2 Αξιολόγηση 1ου επιπέδου

Στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εφαρμόστηκε με τις παραπάνω μεθόδους. Επιπλέον, για τον πλήρη έλεγχο των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή των συμπερασμάτων, επιλέχθηκαν δείγματα ελέγχου, τα οποία δεν συμμετέχουν στην ταξινόμηση και αποτελούν γνωστά σημεία, από την επιτόπια έρευνα και τη φωτοερμηνεία, ότι ανήκουν στη

συγκεκριμένη κατηγορία. Βάση των δειγμάτων, εφαρμόζονται οι μέθοδοι του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «*Error Matrix Based on TTA Mask*» και του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «*Error Matrix Based Samples*».

Η μέθοδος της αξιολόγησης Σταθερότητας της ταξινόμησης «*Classification Stability*» εφαρμόζεται στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης και εξάγονται τα αποτελέσματα σε πίνακα (Εικόνα 180). Από τον πίνακα διαπιστώνονται κύρια σφάλματα στην ταξινόμηση. Ιδιαίτερα σφάλματα εντοπίζονται στις κατηγορίες των Πλατανιών (Quercus fraineto) και στα λιβάδια ορεινών εκτάσεων και μικρά σφάλματα στις υπόλοιπες κατηγορίες.

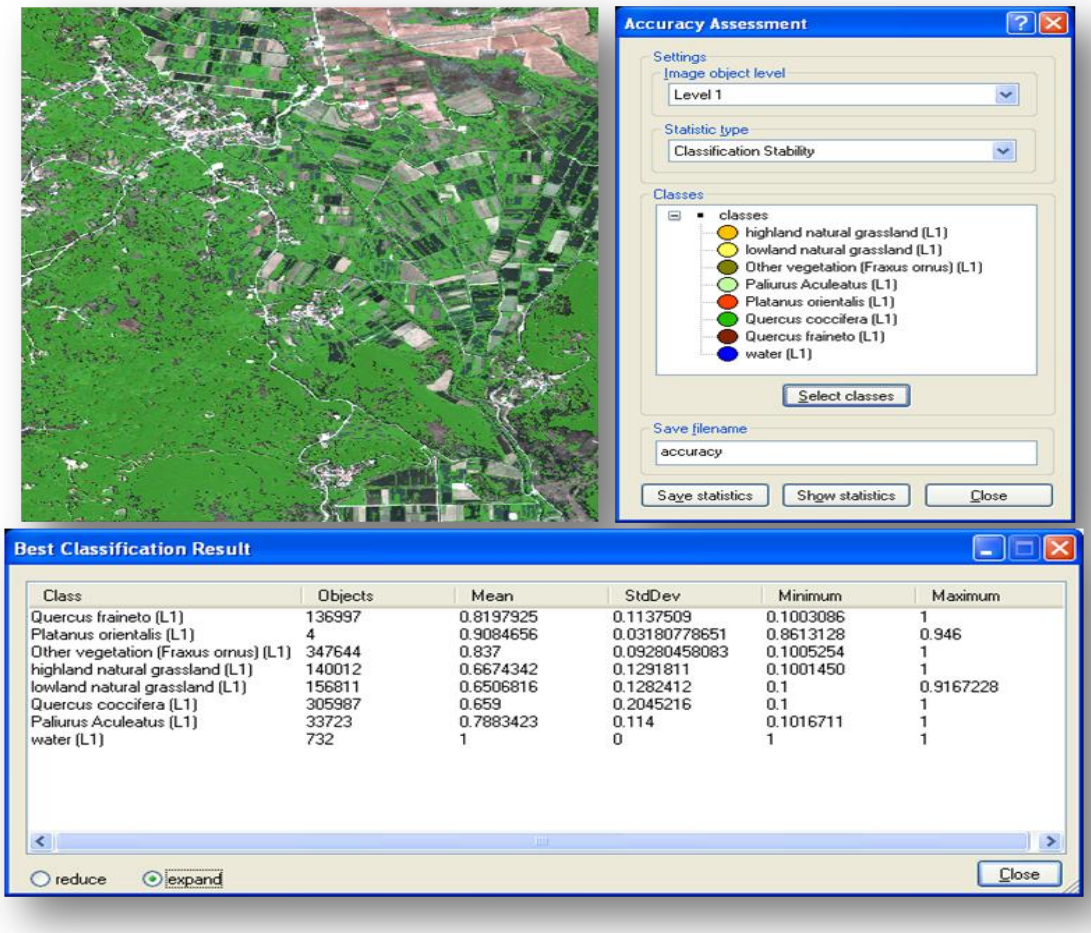


Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Quercus fraineto (L1)	136997	0.08158946055	0.07836599782	7.152557373e-007	0.6463968
Platanus orientalis (L1)	4	0.1094880	0.08953625515	0.01575261354	0.228
Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)	347644	0.195	0.156	1.072883606e-006	0.919
highland natural grassland (L1)	140012	0.3792911	0.2405177	5.215406418e-006	1
lowland natural grassland (L1)	156811	0.3811787	0.222	2.145767212e-006	0.9167228
Quercus coccifera (L1)	305987	0.2728005	0.1114024	3.87430191e-006	0.6821782
Paliurus Aculeatus (L1)	33723	0.1371944	0.1263998	2.920627594e-006	0.7325289
water (L1)	732	1	0	1	1

Εικόνα 180. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability»

Με τη μέθοδο αξιολόγησης του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*» δεν διαπιστώνονται ιδιαίτερα σφάλματα στην ταξινόμηση των αντικειμένων. Μικρά σφάλματα εντοπίζονται στην αναγνώριση των Πλατιανιών (Platanus orientalis). Ο εντοπισμός των

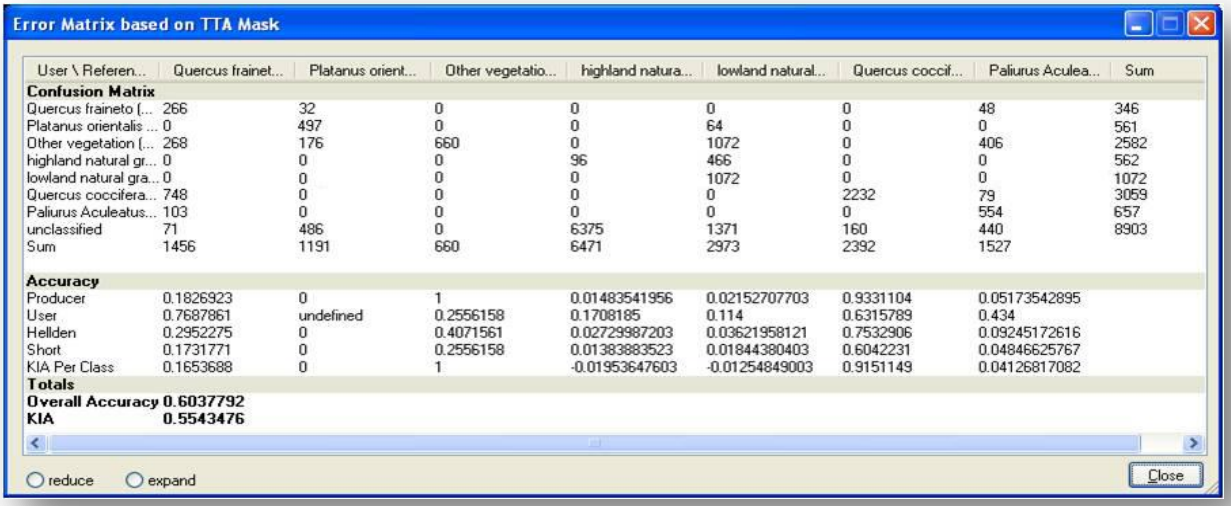
Πλατανιών γίνεται με τον κανόνα γειτνίασης με νερό «Border to water». Εξαιτίας του δύσκολου εντοπισμού του νερού, λόγο σκιάς, εμφανίζονται σφάλματα στον εντοπισμό των πλατανιών. Όπως είναι εμφανές στην εικόνα το πλήθος των αντικειμένων διαθέτει πράσινο χρώμα, δηλαδή δεν υπάρχουν σφάλματα.



Εικόνα 181. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result»

Ο τελικός έλεγχος της ταξινόμησης γίνεται με την επιλογή δειγμάτων ελέγχου, με τα οποία εφαρμόζονται οι μέθοδοι του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask» και του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based Samples».

Με τη επιλογή των δειγματοληπτικών ελέγχων δημιουργείται μια δοκιμαστική επιφάνεια, η οποία υπολογίζει το βαθμό επικάλυψης των δειγμάτων στην εικόνα και ελέγχει τυχόν σφάλματα τα οποία δημιουργούνται για κάθε κατηγορία. Με την ύπαρξη της μάσκας ελέγχου, πραγματοποιείται η μέθοδος του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «*Error Matrix Based on TTA Mask*». Στον πίνακα σύγχυσης, ο οποίος προκύπτει από τα δείγματα ελέγχου στην εικόνα WorldView 2 στο πρώτο επίπεδο, διακρίνονται τα σφάλματα.



User \ Referen...	Quercus frainet...	Platanus orient...	Other vegetatio...	highland natura...	lowland natural...	Quercus coccif...	Paliurus Aculea...	Sum
Confusion Matrix								
Quercus fraineto (...	266	32	0	0	0	0	48	346
Platanus orientalis ...	0	497	0	0	64	0	0	561
Other vegetation (...	268	176	660	0	1072	0	406	2582
highland natural gr...	0	0	0	96	466	0	0	562
lowland natural gra...	0	0	0	0	1072	0	0	1072
Quercus coccifera...	748	0	0	0	0	2232	79	3059
Paliurus Aculeatus...	103	0	0	0	0	0	554	657
unclassified	71	486	0	6375	1371	160	440	8903
Sum	1456	1191	660	6471	2973	2392	1527	
Accuracy								
Producer	0.1826923	0	1	0.01483541956	0.02152707703	0.9331104	0.05173542895	
User	0.7687861	undefined	0.2556158	0.1708185	0.114	0.6315789	0.434	
Hellden	0.2952275	0	0.4071561	0.02729987203	0.03621958121	0.7532906	0.09245172616	
Short	0.1731771	0	0.2556158	0.01383883523	0.01844380403	0.6042231	0.04846625767	
KIA Per Class	0.1653688	0	1	-0.01953647603	-0.01254849003	0.9151149	0.04126817082	
Totals								
Overall Accuracy	**0.6037792**							
KIA	**0.5543476**							

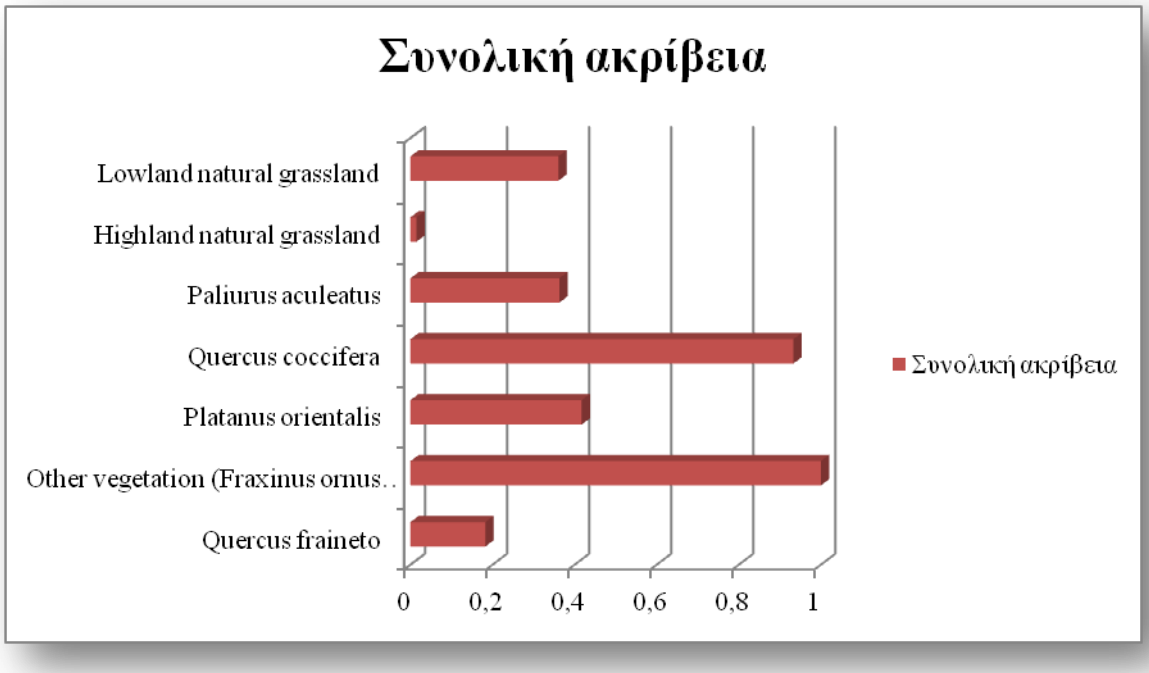
Εικόνα 182. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask», η οποία δημιουργείται από τα δείγματα ελέγχου της εικόνας WorldView 2

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει την εκατοστιαία συνολική ακρίβεια κάθε είδους στην ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου. Η συνολική ακρίβεια υπολογίζεται από τα γνωστά δείγματα ελέγχου, τα οποία επιλέχθηκαν στην εικόνα WorldView 2. Στον Πίνακα διακρίνονται έντονα σφάλματα, ιδιαίτερα κατά την ταξινόμηση των Δρυών (Quercus fraineto) και των λιβαδιών σε υψηλά επίπεδα (highland natural grassland). Ο εντοπισμός των Δρυών στην εικόνα ήταν δύσκολος και η ταξινόμηση της κατηγορίας στηρίχθηκε στα δείγματα εκπαίδευσης, τα οποία επιλέχθηκαν. Από την Εικόνα 181 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο πλήθος των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των Δρυών, ταξινομήθηκε στην κατηγορία του Πουρναριού (Quercus coccifera). Μια λογική εξήγηση, η οποία ερμηνεύει αυτό το φαινόμενο είναι η ίδια φασματική υπογραφή των ειδών. Εξαιτίας του γεγονότος, ότι δεν υπάρχει η πληροφορία του ύψους των δέντρων για τον διαχωρισμό τους από τους θάμνους, τίθεται δυσκολία στο διαχωρισμό της βλάστησης, ιδιαίτερα στα σημεία όπου φύεται πυκνή βλάστηση. Επιπλέον σφάλμα εντοπίζεται στην ταξινόμηση των λιβαδιών σε ορεινά εδάφη. Το πλήθος των εικονοστοιχείων παρουσιάζονται αταξινόμητο. Για την ταξινόμηση της κατηγορίας των ορεινών λιβαδιών εκτός από τα δείγματα εκπαίδευσης, χρησιμοποιείται επίσης ο κανόνας της μέσης τιμής του υψομέτρου «Mean Height», για να μετατοπίσει τα αντικείμενα ανάλογα με το σχετικό τους υψόμετρο. Για το διαχωρισμό των λιβαδιών πεδινών και ορεινών εδαφών χρησιμοποιείται επιπλέον στα πεδινά εδάφη ο κανόνας της μέσης τιμής της κλίσης «Mean Slope», για να οριστούν τα πεδινά λιβάδια με κλίση μικρότερη του 25%. Όπως ήδη αναφέρθηκε κατά την αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου της εικόνας, είναι ιδιαίτερα δύσκολος ο εντοπισμός των λιβαδιών και ο διαχωρισμός του από τις καλλιέργειες. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται σφάλματα κατά την ταξινόμηση τους. Η δυσκολία εντοπισμού των λιβαδιών, πιθανολογείται να οφείλεται στην

Καλοκαιρινή περίοδο λήψης της εικόνας, με ύπαρξη πυκνής βλάστησης και τη παραγωγή των καλλιεργειών. Τέλος, παρατηρούμε ότι η ταξινόμηση της άλλης βλάστησης (Φράξος κ.λπ.) «Other vegetation (Fraxinus ornus etc.)» και των Πουρναριών «Quercus coccifera» παρουσιάζουν ιδιαίτερη επιτυχία στην ταξινόμηση τους.

Πίνακας 12. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου της εικόνας WorldView2 2010

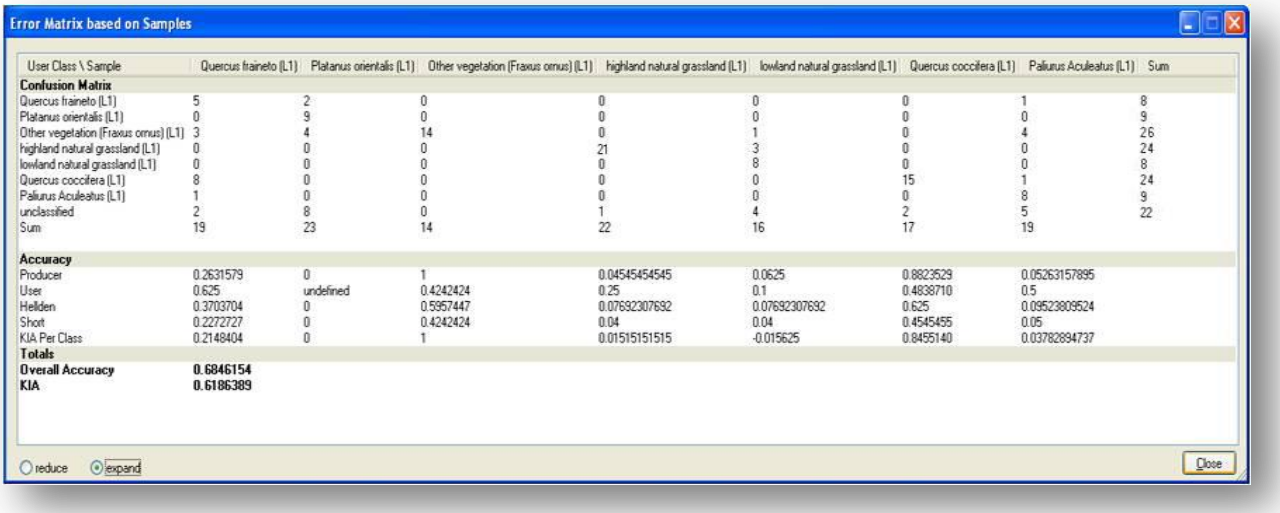
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	Ορθά ταξινομημένα εικονοστοιχεια	Εικονοστοιχεία αναφοράς	Συνολική ακρίβεια
Quercus fraineto	266	1456	0,182692308
Other vegetation (Fraxinus ornus etc.)	660	660	1
Platanus orientalis	497	1191	0,41729639
Quercus coccifera	2232	2392	0,933110368
Paliurus aculeatus	554	1527	0,362802881
Highland natural grassland	96	6471	0,01483542
Lowland natural grassland	1072	2973	0,36057854



Γράφημα 2. Ποσοστιαία ακρίβεια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της εικόνας WorldView2 2010

Από τον πίνακα εφαρμογής της μεθόδου του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based Samples» δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα

σφάλματα στα δείγματα. Μικρά σφάλματα εντοπίζονται στα αντικείμενα της κατηγορίας ταξινόμησης των Πλατανιών (Platanus orientalis), στην οποία ορισμένος αριθμός αντικειμένων παραμένουν αταξινόμητα. Επίσης, αταξινόμητα αντικείμενα εμφανίζονται στην κατηγορία των λιβαδιών σε πεδινή επιφάνεια (lowland natural grassland).



User Class \ Sample	Quercus traineto (L1)	Platanus orientalis (L1)	Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)	highland natural grassland (L1)	lowland natural grassland (L1)	Quercus coccifera (L1)	Paliurus Aculeatus (L1)	Sum
Confusion Matrix								
Quercus traineto (L1)	5	2	0	0	0	0	1	8
Platanus orientalis (L1)	0	9	0	0	0	0	0	9
Other vegetation (Fraxus ornus) (L1)	3	4	14	0	1	0	4	26
highland natural grassland (L1)	0	0	0	21	3	0	0	24
lowland natural grassland (L1)	0	0	0	0	8	0	0	8
Quercus coccifera (L1)	8	0	0	0	0	15	1	24
Paliurus Aculeatus (L1)	1	0	0	0	0	0	8	9
unclassified	2	8	0	1	4	2	5	22
Sum	19	23	14	22	16	17	19	
Accuracy								
Producer	0.2631579	0	1	0.04545454545	0.0625	0.8823529	0.05263157895	
User	0.625	undefined	0.4242424	0.25	0.1	0.4838710	0.5	
Hellden	0.3703704	0	0.5957447	0.07692307692	0.07692307692	0.625	0.09523809524	
Short	0.2272727	0	0.4242424	0.04	0.04	0.4545455	0.05	
KIA Per Class	0.2148404	0	1	0.01515151515	-0.015625	0.8455140	0.03782894737	
Totals								
Overall Accuracy	**0.6846154**							
KIA	**0.6186389**							

Εικόνα 183. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη στα νέα δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based on Samples»

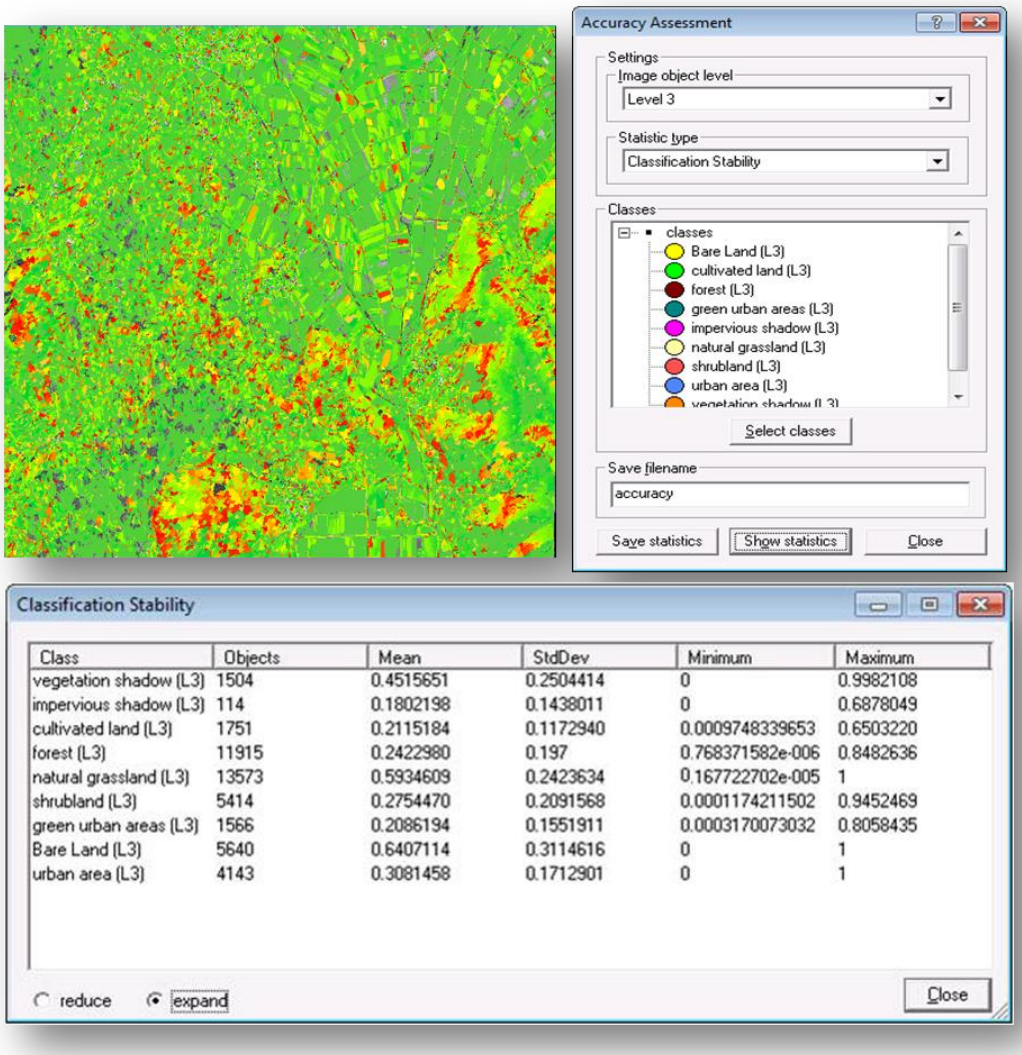
6.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εικόνας IKONOS 2011

Η ταξινόμηση της εικόνας IKONOS 2011 βασίστηκε στη διαδικασία ταξινόμησης της εικόνας IKONOS'08. Οι δυο εικόνες προέρχονται από τα ίδια δορυφορικά δεδομένα, με τη διαφορά ότι η εικόνα IKONOS'08 αποτελεί μια επεξεργασμένη pan-sharpen εικόνα. Για το λόγο αυτό ακολουθείται η ίδια μέθοδος ταξινόμησης, με τη χρησιμοποίηση περίπου των ίδιων κανόνων σε παρόμοια όρια ασάφειας. Εξαιτίας της όμοιας τακτικής ταξινόμησης με τα ίδια δορυφορικά χαρακτηριστικά, δεν εντοπίζονται έντονες διαφορές κατά την αξιολόγηση τους.

6.3.1 Αξιολόγηση 3^{ου} επιπέδου

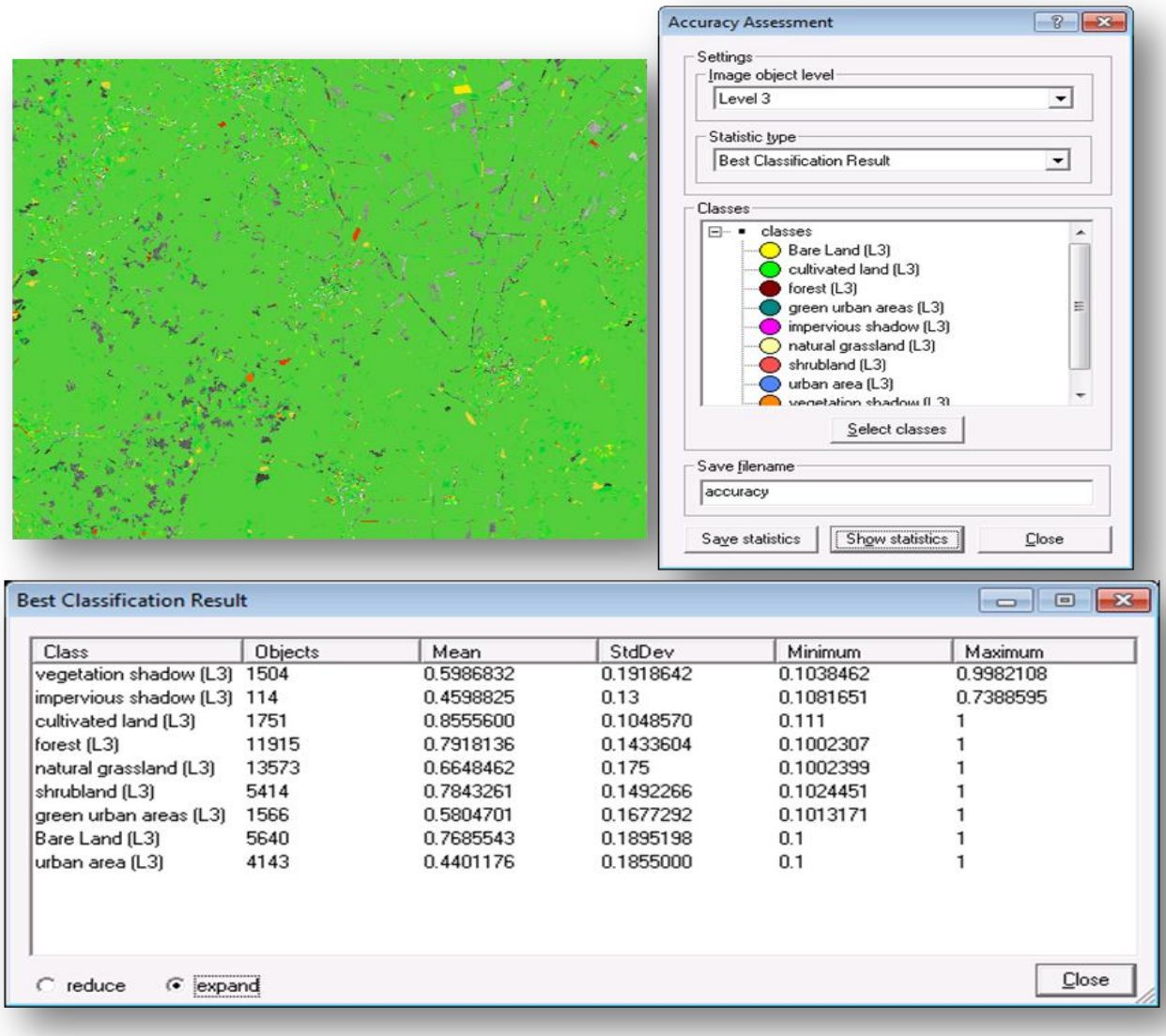
Κατά την αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου (Level 3) εφαρμόζονται οι ίδιες μέθοδοι με τις δύο προηγούμενες εικόνες και ακολουθείται ο ίδιος τρόπος αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

Βάση της μεθόδου Σταθερότητας ταξινόμησης «*Classification Stability*» σφάλματα εντοπίζονται κυρίως στη διάκριση του δάσους (forest) και των λιβαδιών (natural grassland). Από τον πίνακα της μεθόδου αξιολόγησης, στις κατηγορίες, στις οποίες εντοπίζονται σφάλματα παρουσιάζεται ένας αριθμός αντικειμένων να χάνει την πληροφορία της κατηγορίας και είτε ταξινομείται σε κάποια άλλη, είτε παραμένει αταξινόμητος.



Εικόνα 184. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS 2011

Βάση της μεθόδου αξιολόγησης του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*» δεν διαπιστώνονται ιδιαίτερα σφάλματα στην ταξινόμηση των αντικειμένων. Μικρά σφάλματα εντοπίζονται στη διάκριση της σκιάς, δηλαδή μεταξύ της σκιάς βλάστησης και της σκιά κτιρίων.



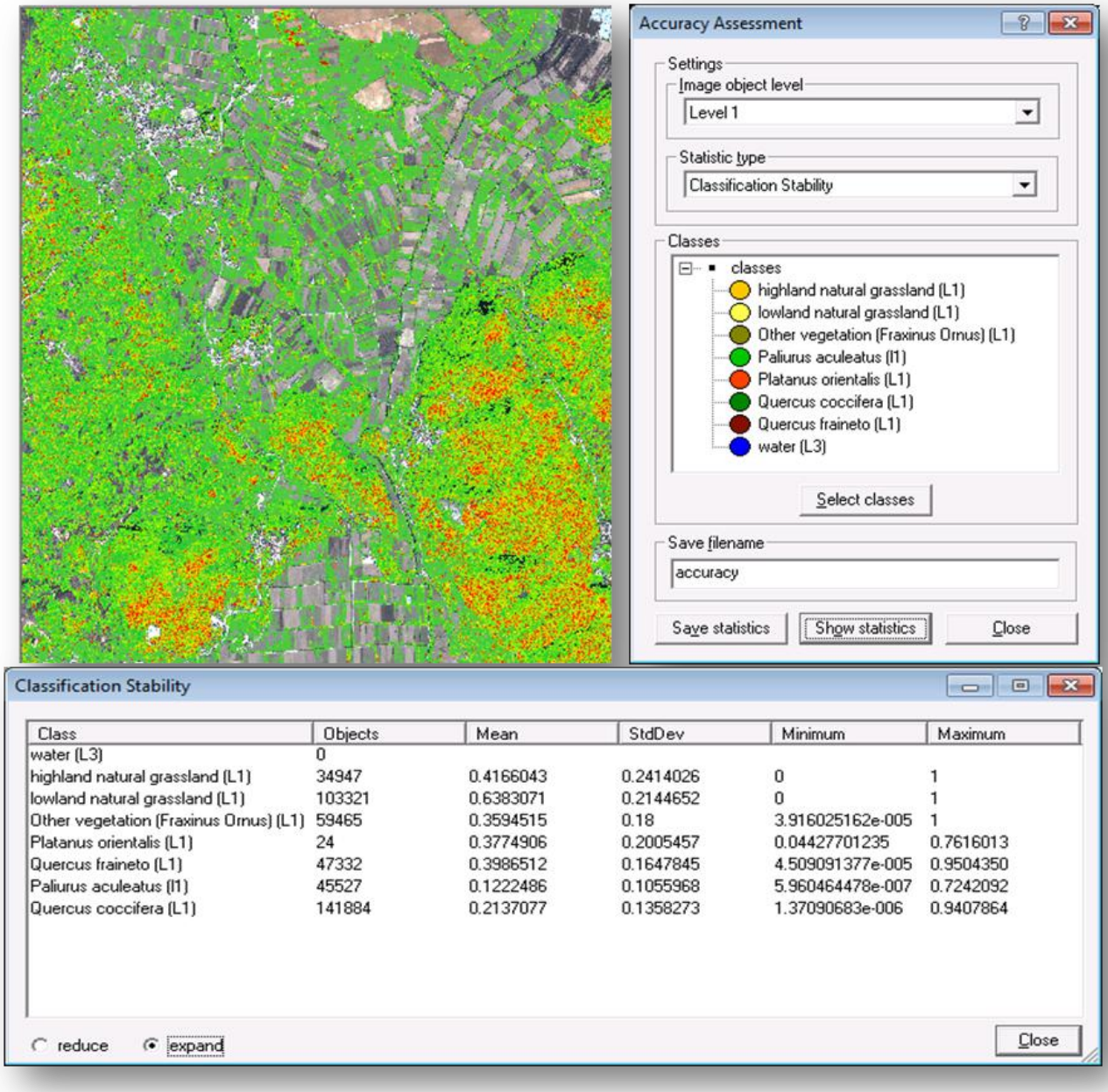
Εικόνα 185. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο τρίτο επίπεδο (Level 3) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS 2011

6.3.2 Αξιολόγηση 1^{ου} επιπέδου

Για την πραγματοποίηση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου χρησιμοποιήθηκαν οι τέσσερις προαναφερθείσες μέθοδοι στις ταξινομήσεις των δυο προηγούμενων εικόνων. Οι μέθοδοι, οι οποίες ακολουθήθηκαν στις προηγούμενες αξιολογήσεις είναι της Σταθερότητας της ταξινόμησης «*Classification Stability*», του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*», του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «*Error Matrix Based on TTA Mask*» και του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based Samples».

Κάτα την εφαρμογή της μεθόδου αξιολόγησης της Σταθερότητας της ταξινόμησης «*Classification Stability*» (Εικόνα 185), από τον πίνακα διαπιστώνονται κύρια σφάλματα στην ταξινόμηση. Ιδιαίτερα σφάλματα εντοπίζονται στις ταξινομήσεις των δέντρων Δρυός (Quercus fraineto) καθώς

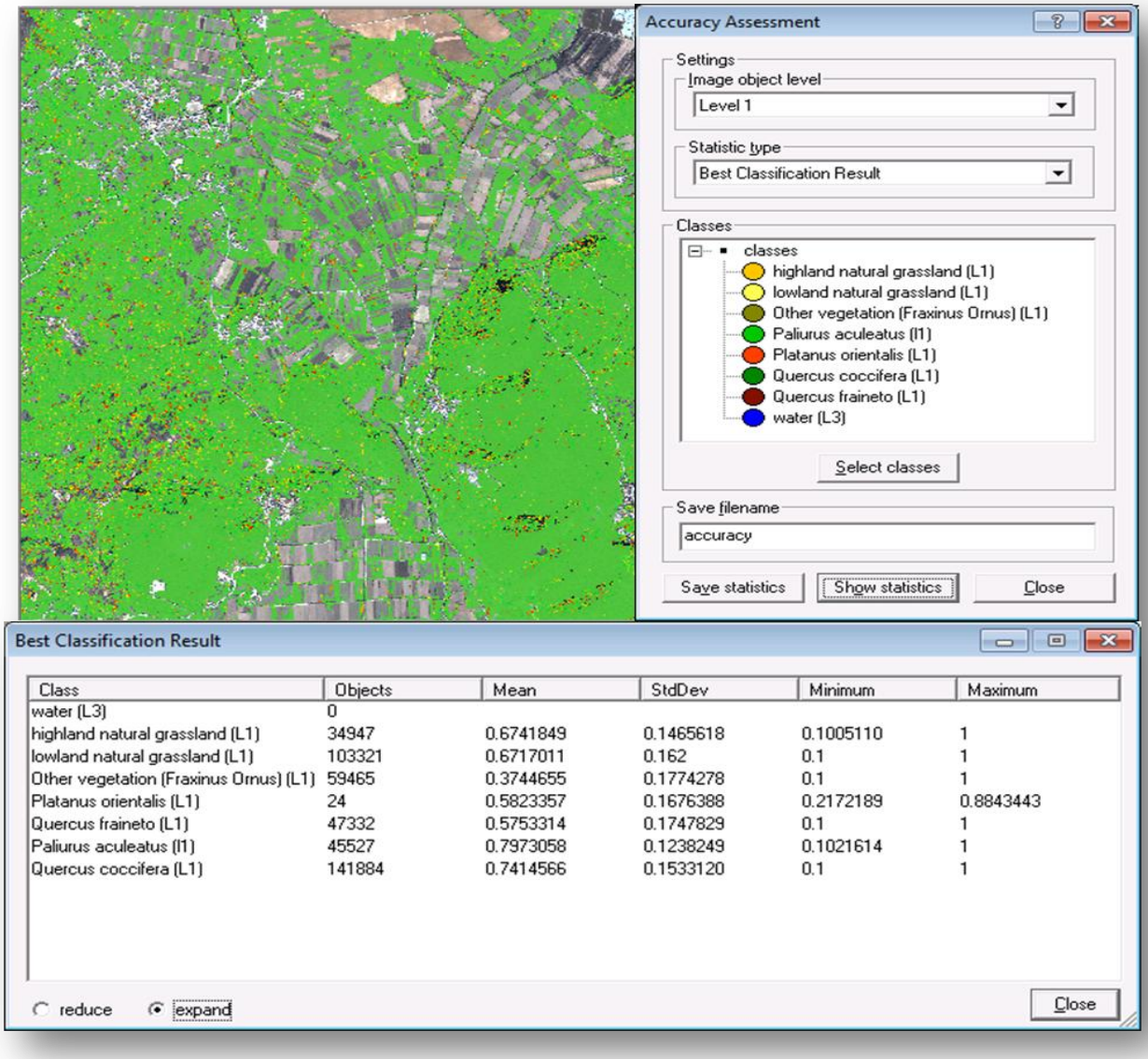
και στην υπόλοιπη βλάστηση (Φράξος κ.λπ.) (Other vegetation (Fraxinus ornus). Σε αυτές τις κατηγορίες εντοπίζονται σφάλματα σε περιοχές, όπου συναντάται πυκνή βλάστηση και ο εντοπισμός και διαχωρισμός των ειδών αποτελεί δύσκολη εφαρμογή.



Εικόνα 186. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο Σταθερότητας ταξινόμησης «Classification Stability» της εικόνας IKONOS 2011

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «*Best Classification Result*», από τον πίνακα διαπιστώνονται σφάλματα στον εντοπισμό των Πλατανιών (Platanus orientalis). Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενες αξιολογήσεις των εικόνων, ο εντοπισμός των Πλατανιών εμφανίζει δυσκολίες εξαιτίας της εποχής και της ώρας λήψης της εικόνας

(Φθινοπωρινή περίοδος, ώρες μετά μεσημβρίας) και της εξάρτησης του από το νερό. Στις υπόλοιπες κατηγορίες δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα σφάλματα.

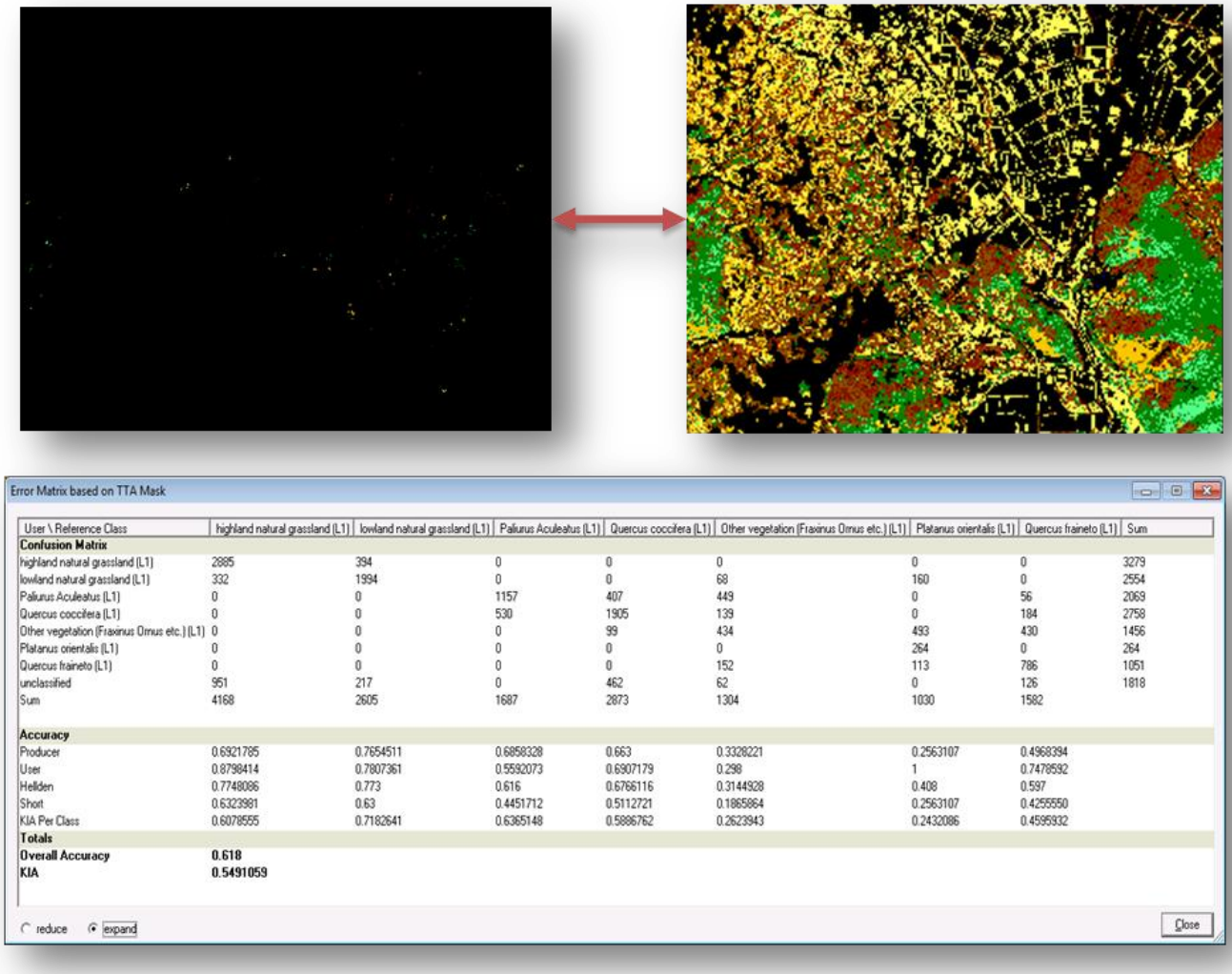


Εικόνα 187. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο (Level 1) ταξινόμησης με τη μέθοδο του καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης «Best Classification Result» της εικόνας IKONOS 2011

Έπειτα από την ολοκλήρωση των δύο προηγούμενων αξιολογήσεων, επιλέγονται εκ νέου δείγματα ελέγχου, τα οποία δε συμμετέχουν στην ταξινόμηση, και από αυτά δημιουργείται η δοκιμαστική μάσκα στην εικόνα. Σύμφωνα με τα νέα δείγματα πραγματοποιούνται οι αξιολογήσεις με τις μεθόδους του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «*Error Matrix Based on TTA Mask*» και του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based Samples».

Ακολουθώντας τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «*Error Matrix Based on TTA Mask*» δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα σφάλματα. Στην Εικόνα

188 προβάλλονται στον πίνακα οι τιμές των εικονοστοιχείων στη διαγώνιο, οι οποίες αντιστοιχούν στη σωστή κατηγορία. Από τον πίνακα στην εικόνα παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις εικονοστοιχείων από τη διαγώνιο, δημιουργώντας σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης.



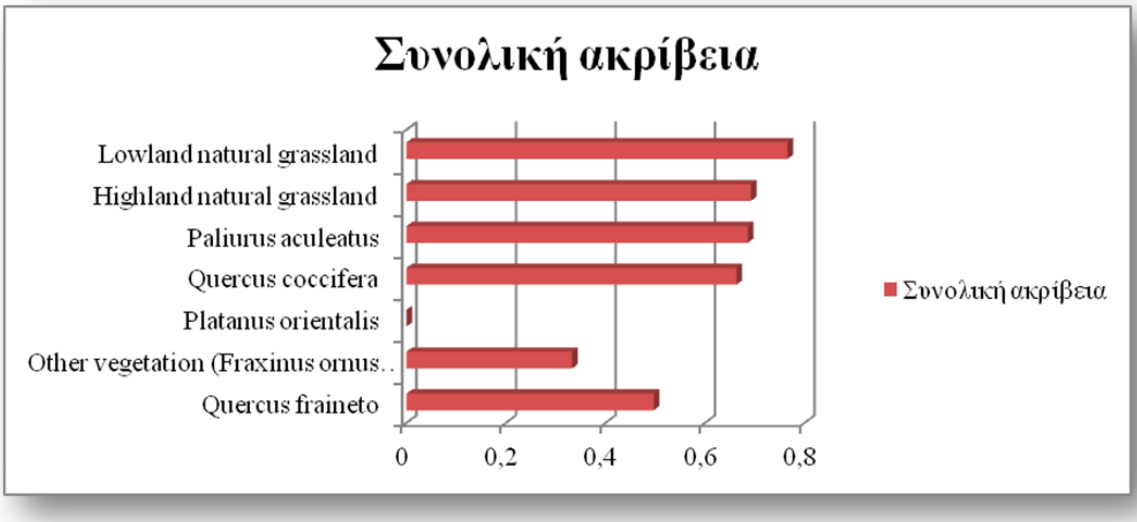
Εικόνα 188. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη σε μια μάσκα επίγειου ελέγχου «Error Matrix Based on TTA Mask», η οποία δημιουργείται από τα δείγματα ελέγχου της εικόνας IKONOS 2011

Όπως διαπιστώνεται από προηγούμενη μέθοδο, σφάλμα εντοπίζεται στο διαχωρισμό των Πλατανιών (Platanus orientalis) για λόγους, οι οποίοι προαναφέρθηκαν. Τα αντικείμενα, τα οποία χάνονται από τη κατηγορία των Πλατανιών ταξινομούνται κυρίως ως υπόλοιπη βλάστηση (Φράξος κ.λπ.) (Other vegetation (Fraxinus ornus etc.). Επιπλέον, πιθανολογείται εξαιτίας της Φθινοπωρινής εποχής λήψης της εικόνας και των μεταμεσημβρινών ωρών λήψης, παρατηρείται σφάλμα στην ταξινόμηση της άλλης βλάστησης (Φράξος) (Other vegetation (Fraxinus ornus etc.). Αντικείμενα, τα οποία ανήκουν σε αυτή την κατηγορία ταξινομούνται είτε ως Παλιούρι (Paliurus aculeatus), είτε ως λιβάδια πεδινών επιφανειών (Lowland natural grassland). Επίσης σφάλμα εντοπίζεται στην κατηγορία των Δρυών (Quercus fraineto), με 50% επιτυχία ταξινόμησης. Ο

εντοπισμός του είδους στηρίζεται σε δείγματα εκπαίδευσης και η διάκριση του παρουσιάζει δυσκολίες. Οι υπόλοιπες κατηγορίες δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα σφάλματα κατά την ταξινόμηση τους.

Πίνακας 13. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2011

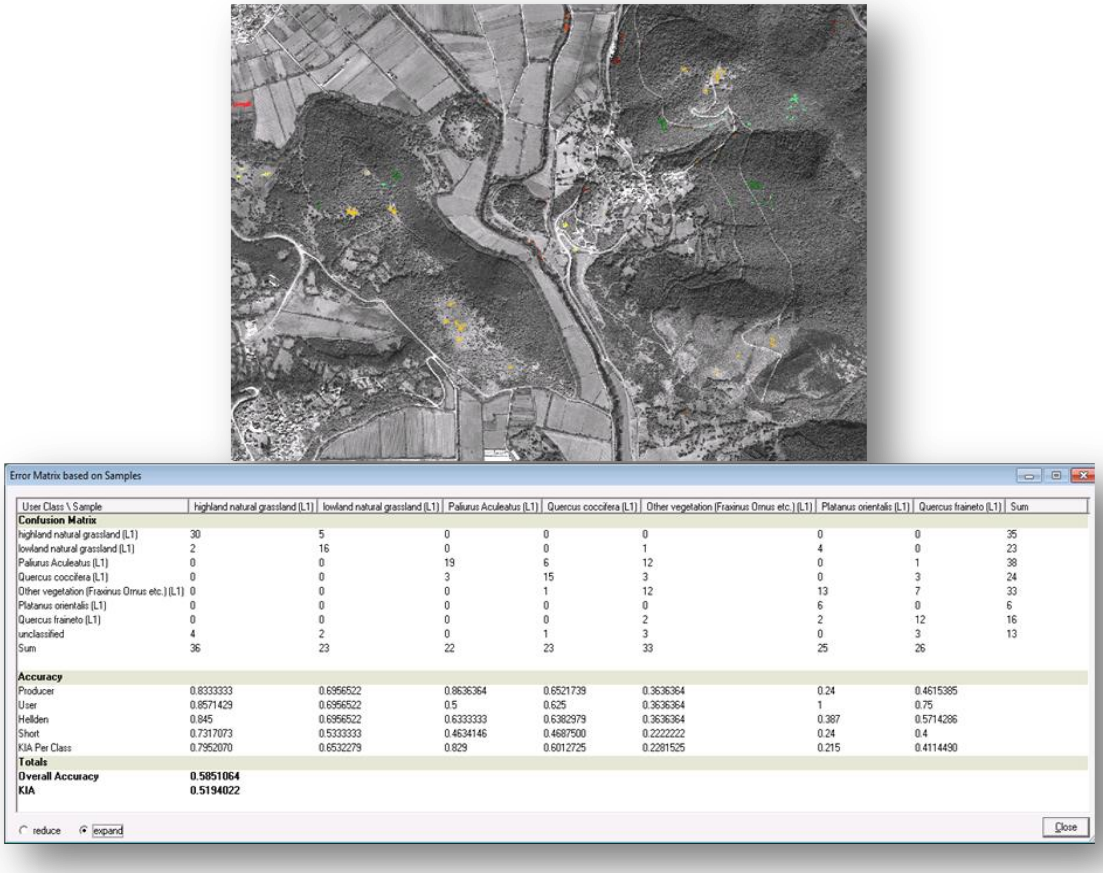
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	Ορθά ταξινομημένα εικονοστοιχεια	Εικονοστοιχεία αναφοράς	Συνολική ακρίβεια
Quercus fraineto	786	1582	0,496839444
Other vegetation (Fraxinus ornus etc.)	434	1304	0,332822086
Platanus orientalis	0	1030	0
Quercus coccifera	1905	2873	0,663069962
Paliurus aculeatus	1157	1687	0,685832839
Highland natural grassland	2885	4168	0,692178503
Lowland natural grassland	1994	2605	0,765451056



Γράφημα 3. Ποσοστιαία ακρίβεια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της εικόνας IKONOS 2011

Με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based Samples», προβάλλονται τα αντικείμενα, τα οποία επιλέχτηκαν ως δείγματα ελέγχου.

Ο αριθμός των αντικειμένων για κάθε κατηγορία είναι περίπου 25 με 30 δείγματα. Εκτός από την κατηγορία των Πλατανιών (Platanus orientalis), της οποίας τα αντικείμενα ταξινομούνται ως άλλη βλάστηση, δεν παρατηρούνται άλλες σημαντικές αποκλίσεις αντικειμένων από την κατηγορία τους.



User Class \ Sample	highland natural grassland (L1)	lowland natural grassland (L1)	Paliurus Aculeatus (L1)	Quercus coccifera (L1)	Other vegetation (Fraxinus Ornus etc.) (L1)	Platanus orientalis (L1)	Quercus fraineto (L1)	Sum
Confusion Matrix								
highland natural grassland (L1)	30	5	0	0	0	0	0	35
lowland natural grassland (L1)	2	16	0	0	1	4	0	23
Paliurus Aculeatus (L1)	0	0	19	6	12	0	1	38
Quercus coccifera (L1)	0	0	3	15	3	0	3	24
Other vegetation (Fraxinus Ornus etc.) (L1)	0	0	0	1	12	13	7	33
Platanus orientalis (L1)	0	0	0	0	0	6	0	6
Quercus fraineto (L1)	0	0	0	0	2	2	12	16
unclassified	4	2	0	1	3	0	3	13
Sum	36	23	22	23	33	25	26	
Accuracy								
Producer	0.8333333	0.6956522	0.8636364	0.6521739	0.3636364	0.24	0.4615385	
User	0.8571429	0.6956522	0.5	0.625	0.3636364	1	0.75	
Hellden	0.845	0.6956522	0.6333333	0.6382979	0.3636364	0.387	0.5714286	
Short	0.7317073	0.5333333	0.4634146	0.4687500	0.2222222	0.24	0.4	
KIA Per Class	0.7952070	0.6532279	0.829	0.6012725	0.2281525	0.215	0.4114490	
Totals								
Overall Accuracy	**0.5851064**							
KIA	**0.5194022**							

Εικόνα 189. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσηςς σφάλματος βασισμένη στα νέα δειγματοληπτικά αντικείμενα «Error Matrix Based on Samples» στην εικόνα IKONOS 2011

6.4 Σύγκριση δορυφόρων IKONOS και WorldView 2 στην ταξινόμηση της βλάστησης

Για την πραγματοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα IKONOS και WorldView 2. Τα δεδομένα παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ τους. Ο δορυφόρος WV2 αποτελεί ένα σύγχρονο τηλεπισκοπικό μέσο, τα δεδομένα του οποίου διαθέτουν πολύ υψηλή ανάλυση και εμπεριέχει τέσσερα επιπλέον πολυφασματικά κανάλια (coastal, yellow, red-edge, NIR2). Η διακριτική ικανότητα, την οποία διαθέτει η WV2 σε σύγκριση με τις IKONOS εξυπηρετεί στη μεγαλύτερη λεπτομέρεια των χαρακτηριστικών, γεγονός, το οποίο προσδίδει πληροφορία για ανάλυση στοιχείων του εδάφους, τα οποία μέχρι πρότινος δεν ήταν εφικτό να εντοπιστούν.

Η λήψη των δορυφορικών εικόνων, πραγματοποιήθηκε σε διαφορετική χρονική περίοδο. Η εικόνα WorldView 2 λήφθηκε το Καλοκαίρι του 2010, ενώ οι εικόνες IKONOS 2008 και IKONOS 2011 λήφθηκαν εποχή Φθινόπωρο. Η εποχή και η ώρα λήψης των εικόνων επηρεάζουν την ακρίβεια της ταξινόμησης τους. Παράγοντες, όπως η σκίαση δέντρων και κτιρίων και η δημιουργία σκιά στις πλαγιές, η πυκνή βλάστηση, οι τύποι βλάστησης (φυλλοβόλα πλατύφυλλα, αείφυλλα πλατύφυλλα, κωνοφόρα) και η ύπαρξη διαφορετικών καλλιεργειών, εξαρτώνται άμεσα από την εποχή και την ώρα λήψης των εικόνων και επηρεάζουν την ταξινόμηση.

Κατά την ταξινόμηση των εικόνων IKONOS χρησιμοποιήθηκαν περίπου οι ίδιοι κανόνες εντοπισμού των κλάσεων ταξινόμησης, με μικρές διαφορές στα διαστήματα ασάφειας. Η ύπαρξη επιπλέον φασματικών καναλιών στην εικόνα WorldView 2, οδήγησε στην χρησιμοποίηση αυτών, ώστε να εξεταστεί η αποτελεσματικότητά τους και η προσφορά τους στην ταξινόμηση των τύπων βλάστησης για τη σύγκριση με επίσης υψηλής ανάλυσης δεδομένα IKONOS. Επίσης, στην εικόνα WV2 τα περισσότερα φασματικά κανάλια προσέδωσαν μεγαλύτερη ποικιλία εντοπισμού φασματικών χαρακτηριστικών για την αναγνώριση μιας χρήσης γης.

Στον Πίνακα 14 παρουσιάστηκαν οι κανόνες, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τις εικόνες IKONOS και WorldView 2. Κατά την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε η ίδια λογική επεξεργασίας τους για τη δημιουργία βάσης γνώσης. Συγκρίνοντας τους κανόνες, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση κάθε εικόνας, παρατηρείται ότι σε κάποιες κατηγορίες εντάσσονται οι ίδιοι κανόνες με μικρή απόκλιση του μήκους κύματος, διότι η WV2 διαθέτει περισσότερα κανάλια. Επιπλέον, παρατηρείται, ότι κατά την ταξινόμηση των εικόνων IKONOS χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερος αριθμός συνδυασμών σε κανόνες, ενώ στην WV2 εντάχθηκαν περισσότεροι δείκτες εντοπισμού κατηγοριών στην ταξινόμηση με τη χρήση του πλήθους των καναλιών του δορυφόρου.

Πίνακας 14. Συγκεντρωτικός πίνακας κανόνων που χρησιμοποιήθηκαν για τη ταξινόμηση των κατηγοριών του τρίτου επιπέδου στις εικόνες IKONOS και WorldView 2

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (Level 2&3)	IKONOS	WorldView2
Vegetation (L2)	NDVI	NDVI
Shadow (L2)	GVI **and** HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green) **and** Mean blue	Mean red-edge **and** not vegetation
Water (L2)	Water Index **and** Mean blue (IKONOS'08) / Ratio Nir (IKONOS'11)	NDWI
Impervious (L2)	not vegetation **and** not shadow **and** not water	not vegetation **and** not shadow **and** not water
Forest (L3)	HIS Transformation Intensity (R=NIR, G=Red, B=Green)	NDVI
Cultivation land (L3)	StdDev NIR **and** GLCM StdDev (45^{o}) **and** Mean blue	StdDev red-edge **and** GLCM StdDev (45^{o})
Natural grassland (L3)	(-)	Mean yellow
Shrubland (L3)	Mean blue	Mean coastal
Green urban areas (L3)	Border to urban area (L3)	Border to urban area (L3)
Bare land (L3)	(-)	NDSI
Urban area (L3)	StdDev Blue	NDBRI
Impervious shadow (L3)	Border to urban area (L3)	Border to urban area (L3)
Vegetation shadow (L3)	GVI	Ratio coastal

Με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων συνδυασμών κανόνων για κάθε κατηγορία και τη χρησιμοποίηση δειγμάτων εκπαίδευσης πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των τύπων βλάστησης, οι οποίοι επικρατούν στην περιοχή. Για τον πλήρη έλεγχο της ταξινόμησης των κλάσεων, οι οποίες κληρονομούν την πληροφορία όλων των προηγούμενων κλάσεων στα υψηλότερα επίπεδα ταξινόμησης, εντοπίστηκε η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης της κάθε κατηγορίας με δείγματα ελέγχου.

Στον Πίνακα 14 προβάλλεται η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου (Level 1) σε κάθε εικόνα ταξινόμησης. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, διαπιστώθηκε ότι στις εικόνες IKONOS δεν εντοπίστηκαν μεγάλες αλλαγές στην ακρίβεια της ταξινόμησης, εξαιτίας των παραγόντων χρησιμοποίησης παρόμοιων κανόνων και το ότι αποτελούν ίδια δορυφορικά δεδομένα στην ίδια εποχή λήψης, όπως ήδη αναφέρθηκε. Σε αντίθεση με τις IKONOS, η ταξινόμηση της εικόνας WV2 παρουσίασε διαφορετικό βαθμό ακρίβειας. Στην εικόνα WV2 παρουσιάστηκαν έντονες διακυμάνσεις στα ποσοστά ακρίβειας, σε σύγκριση με τις IKONOS. Η WV2 εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλό βαθμό ακρίβειας σε κάποιες κατηγορίες και σημαντικό σφάλμα σε άλλες, οι οποίες μέσω της χρησιμοποίησης των εικόνων IKONOS παρουσίασαν ακριβέστερα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό πιθανολογείται να οφείλεται στην περίοδο λήψης των εικόνων, διότι η WV2 λήφθηκε στο καλοκαίρι, όπου η βλάστηση είναι πυκνή και δυσκολεύεται ο διαχωρισμός των τύπων βλάστησης. Ο εντοπισμός των Πλατανιών (Platanus orientalis), εμφανίζει μεγαλύτερη ακρίβεια με τη χρήση εικόνας WV2 σε σύγκριση με τις IKONOS. Η μεγαλύτερη

ακρίβεια της ταξινόμησης σε κάποια είδη, οφείλεται στην καλύτερη ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων της WV2 με την ποικιλία των φασματικών καναλιών και στην καλοκαιρινή περίοδο λήψης της εικόνας, η οποία εξυπηρετεί στον εντοπισμό κάποιων ειδών, όπως τα Πλατάνια. Τα σφάλματα, τα οποία εντοπίζονται στην ταξινόμηση των λιβαδιών στην WV2 σε σύγκριση με τις IKONOS, οφείλονται κυρίως στην εποχή λήψης των εικόνων και όχι στα χαρακτηριστικά των δορυφόρων.

Πίνακας 15. Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε τύπο βλάστησης σε κάθε εικόνα έπειτα από την αξιολόγηση των ταξινομήσεων

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (Level 1)	IKONOS'08	WorldView 2	IKONOS 2011
Quercus fraineto	57%	18%	49%
Other vegetation (Fraxinus ornus etc.)	43%	100%	33%
Platanus orientalis	20%	42%	0%
Quercus coccifera	73%	93%	66%
Paliurus aculeatus	59%	36%	69%
Highland natural grassland	66%	1%	69%
Lowland natural grassland	54%	36%	77%

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των τύπων της βλάστησης σε δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης των δορυφόρων IKONOS και WorldView 2 με εφαρμογή αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της ποιότητας των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης των ειδών βλάστησης για τις εικόνες των δύο δορυφόρων. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα αυτή σχετικά με τη σύγκριση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS και WorldView2 όσον αφορά στην ταξινόμηση τύπων βλάστησης με την εφαρμογή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, είναι τα παρακάτω:

1. Με τη χρήση Τηλεπισκοπικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης (very high resolution), προσφέρεται η δυνατότητα εντοπισμού και εξέτασης λεπτομερών χαρακτηριστικών της φυσικής γήινης επιφάνειας. Όσο μεγαλύτερη είναι η χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα της εικόνας, τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα σφάλματος κατά την ταξινόμηση.
2. Η χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ακρίβειας δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας χωρικών, μορφολογικών και φασματικών χαρακτηριστικών της φυσικής γήινης επιφάνειας με σημαντικά μεγαλύτερη αξιοπιστία. Το

λογισμικό του eCognition βασίζεται στην απόδοση των χρήσεων γης με μεθόδους αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης και ασαφούς λογικής, οι οποίες αξιοποιούν τα χωρικά, μορφολογικά και φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων χρησιμοποιώντας σχέσεις ιεραρχίας και γειτνίασης μεταξύ τους. Με την ιεραρχική αναπαράσταση και την ανάπτυξη βάσης γνώσης για τα χαρακτηριστικά των θεματικών κατηγοριών, με χρήση των χωρικών, φασματικών, μορφολογικών χαρακτηριστικών καθώς και τη δημιουργία σχέσεων γειτνίασης των αντικειμένων, καθίσταται δυνατή η λεπτομερής απεικόνιση των χρήσεων γης, για δορυφορικά δεδομένα πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας. Επιπλέον, η δυνατότητα του λογισμικού να αποδώσει τη ακρίβεια την ταξινόμησης των αντικειμένων εξυπηρετεί στον έλεγχο των αποτελεσμάτων και στην περαιτέρω εξέταση του προβλήματος ενώ η απόδοση της συνολικής ακρίβειας της ταξινόμησης εξυπηρετεί τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από διαφορετικά δορυφορικά δεδομένα.

3. Η δυνατότητα ένταξης, στο λειτουργικό του προγράμματος, δεικτών εντοπισμού χρήσεων γης (π.χ. NDVI, NDWI κλπ) εξυπηρετεί στη διάκριση των αντικειμένων. Η ταξινόμηση της εικόνας WorldView2 στηρίχθηκε κυρίως στη χρήση δεικτών για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης. Επίσης, η χρήση του δείκτη NDVI στην περίπτωση των εικόνων IKONOS έδωσε καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση της βλάστησης.

4. Η ποικιλία των φασματικών καναλιών στα δορυφορικά δεδομένα του WorldView 2 δίνουν τη δυνατότητα ανάλυσης, διάκρισης και εντοπισμού μεταβολών των χαρακτηριστικών για αντικείμενα της φυσικής γήινης επιφάνειας με παραπλήσιες φασματικές υπογραφές. Η ύπαρξη καναλιών σε μικρότερα διαστήματα μηκών κύματος εξυπηρετεί στο σαφέστερο διαχωρισμό των φασματικών χαρακτηριστικών των κατηγοριών κάλυψης γης, όπως είναι οι κατηγορίες Θαμνώδης βλάστηση και Δενδρώδης βλάστηση.

5. Ο παράγοντας της περιόδου λήψης των δορυφορικών απεικονίσεων επηρεάζει το διαχωρισμό των αντικειμένων. Οι μεταβολές της βλάστησης κατά τις εποχικές περιόδους του έτους απαιτούν την επιλογή της καταλληλότερης περιόδου λήψης της εικόνας, ώστε να διαχωρίζονται τα είδη μεταξύ τους. Η εικόνες IKONOS, των οποίων η λήψη πραγματοποιήθηκε κατά την φθινοπωρινή περίοδο παρουσίασαν δυσκολίες στην ταξινόμηση φυλλοβόλων δέντρων, όπως είναι τα πλατάνια, ενώ η εικόνα WorldView2, της οποίας η λήψη πραγματοποιήθηκε κατά την καλοκαιρινή περίοδο, παρουσίασε δυσκολίες στο διαχωρισμό των καλλιεργειών με τα φυσικά λιβάδια, όπως επίσης και στο διαχωρισμό των τύπων βλάστησης σε περιοχές πυκνής βλάστησης.

6. Η ποικιλία των χρήσεων γης στην υπό εξέταση περιοχή, δυσχέρανε τη διάκριση των αντικειμένων. Η ύπαρξη ποικίλων φασματικών χαρακτηριστικών δημιουργεί σφάλματα στη δημιουργία μιας βάσης γνώσης , λόγω των αλληλοεπικαλύψεων και αλληλεξαρτήσεων

των χαρακτηριστικών αυτών. Έτσι για παράδειγμα, κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εμφανίστηκαν σφάλματα στην ταξινόμηση της Δρυός, αντικείμενα της οποίας ταξινομήθηκαν ως Πουρνάρια. Η αιτία του σφάλματος έγκειται στην όμοια φασματική τους υπογραφή.

7. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων προερχόμενων από διαφορετικά δορυφορικά δεδομένα εξυπηρετεί στη διάκριση των χαρακτηριστικών των δεδομένων, ώστε να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα προϊόντα ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας. Η συγκριτική αξιολόγηση των θεματικών χαρτών που παρήχθησαν από δορυφορικά δεδομένα των δορυφόρων IKONOS και WorldView2 έδειξε ότι για τις επιλεγμένες θεματικές κατηγορίες η ταξινόμηση των εικόνων IKONOS έδωσε καλύτερα αποτελέσματα με ποσοστό ακρίβειας 75% το 2008 και 62% το 2011 από τη WorldView2 με ποσοστό συνολικής ακρίβειας 61%.

Με την ολοκλήρωση της έρευνας τίθενται οι βάσεις για περαιτέρω μελέτη και εντοπισμό τύπων βλάστησης σε μια περιοχή με μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους δέκτες.

1. Η καταγραφή των τύπων βλάστησης μέσω Τηλεπισκοπικών δεδομένων παρουσιάζει δυσκολίες εντοπισμού. Σημαντικός παράγοντας μείωσης του σφάλματος είναι ο εμπλουτισμός μιας βάσης με αλγορίθμους, κατά τους οποίους θα συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά κάθε είδους, ώστε να διακρίνονται από τα υπόλοιπα. Ετσι, κρίνεται απαραίτητο για τον καλύτερο διαχωρισμό των ειδών βλάστησης να ενταχθούν σε μια βάση γνώσης επιπλέον στοιχεία όπως τα υψόμετρα, οι κλίσεις και οι προσανατολισμοί εμφάνισης του κάθε είδους, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος εμφάνισης του κάθε είδους, το ύψος του κάθε είδους, κλπ.

2. Προϋπόθεση για μια ακριβή ταξινόμηση τύπων βλάστησης σε ευρείες περιοχές αποτελεί η δημιουργία πρότυπων προδιαγραφών προεπεξεργασιών των εικόνων (π.χ. ατμοσφαιρικές διορθώσεις) και ταξινόμησης Με τη δημιουργία τέτοιων πρότυπων προδιαγραφών, η ταξινόμηση πολλαπλών εικόνων θα παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα και θα είναι δυνατή η αυτόματη παραγωγή θεματικών Δασικών Χαρτών σχετικά υψηλής ακρίβειας.

3. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η χρήση διαδοχικών δορυφορικών δεδομένων υψηλής τεχνολογίας προδίδουν τη δυνατότητα υπολογισμού της ετήσιας αύξησης των τύπων βλάστησης ενώ επιπλέον είναι εφικτό να υπολογιστούν οι ετήσιες συνθήκες που επικρατούν στην κάθε περιοχή. Ο ερευνητής ανάλογα με τα αποτελέσματα δύναται να προβάλλει συμπεράσματα για τα είδη που μπορούν να επικρατήσουν στην περιοχή, στα πλαίσια της διαδοχής της βλάστησης μέχρι να φτάσουν στο τελικό στάδιο ισορροπίας ή ένωση κλίμαξ (στάδιο ισορροπίας της βλάστησης). Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να προδιαγράψουμε τη μελλοντική εξέλιξη των τύπων βλάστησης.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

Αναπτυξιακή Ηπείρου Α.Ε., 2003. Ανώνυμος Αναπτυξιακή Εταιρεία ΟΤΑ. http://www.epirussa.gr

Αργιαλάς Δ., 1998. *«Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση»*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα, 1998. Κεφ. 7 Σελ. 46-55, Κεφ. 5 σελ.2-4, Κεφ. 3 σελ. 3-6.

Αργιαλάς Δ., Καράντζαλος Κ., Μαυραντζά, Ο., Νούτσου Β., Τζώτσος Α., Κουτρούμπας Γ., 2005. *«Ανάλυση εικόνων, αναγνώριση προτύπων και όραση υπολογιστών στην Τηλεπισκόπηση: Μέθοδοι και Εφαρμογές»*. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου 15780. Φεβρουάριο 2005.

Αργιαλάς Δ. και Τζώτσος Α., 2002. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα. *«Η συμβολή του eCognition στην χαρτογράφηση γεωμορφολογικών σχηματισμών από ψηφιακό μοντέλο εδάφους.»* Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα, 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου 2002, CD-ROM πρακτικών συνεδρίου, σελ. 15.

Αργιαλάς Δ., Τζώτσος Ά., Δερζέκος Π., 2002**.** *«eCognition: Ένα εργαλείο χαρτογράφησης γεωμορφών.»*. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, ΑΠΘ Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου 2002, σελ. 24-30.

Βολιώτης Δ. και Ν. Αθανασιάδης, 1971. Δένδρα και Θάμνοι. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Γεωργιάδης Γ., 2010. *«Βιοπαρακολούθηση (Biomonitoring) των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου φύση 2000 με σύγχρονες μεθόδους Τηλεπισκόπησης και Τηλεμετρίας»*. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής Δ.Π.Μ.Σ στην Ηλεκτρονική και Επεξεργασία της πληροφορίας. Πάτρα, 2010. Σελ. 40-42

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας, Ε.Σ.Υ.Ε., 2001. Στοιχεία Χλωρίδας. Ελλάδα.

Ελευθεριάδης Ν., 1997. Δένδρα – Θάμνοι – Αναρριχώμενα. Τμήμα Δασικής Αναψυχής και Αρχιτεκτονικής Τοπίου ΤΕΙ Καβάλας, Δράμα 1997.

Ιερωνυμίδη Ε., 2009. *"Ανάπτυξη μεθόδων συγχώνευσης τηλεπισκοπικών δεδομένων και εφαρμογή στην παρατήρηση βλάστησης σε περιοχές με προηγούμενη μεταλλευτική δραστηριότητα"*. Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά, Μάιος 2009.σελ.1

Κασσιός Κ., 2010. «*Τοπίο ένας αγνοημένος περιβαλλοντικός πόρος*». Ευπλοία, e- περιοδικό του δικτύου Αιγαίου, Δίκτυο Οικολογικών οργανώσεων Αιγαίου. Νοέμβριος 2010.

Μετεωρολογική Υπηρεσία Ελλάδας, 2011. Στοιχεία Μετεωρολογικού Σταθμού Ιωαννίνων: http://www.meteo.gr/stations/ioannina.

Μιχαηλίδου Σταματία, 2011. «Αυτόματη ανίχνευση μεταβολών κτισμάτων στο περιαστικό χώρο από δορυφορικές απεικονίσεις πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας μέσω ανάπτυξης ασαφούς βάσης γνώσης σε αντικειμενοστρεφές περιβάλλον ανάλυσης εικόνας». Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα, Ιούλιος 2011.

Σαγιάς Ι. και Ν. Πορίκης, 2008. *«Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη της Επαρχίας Πωγωνίου»*. Διπλωματική Εργασία. Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π. Αθήνα.

Σφήκας Γ., 1990. Δέντρα και Θάμνοι της Ελλάδας. Ευσταθιάδης Group Α.Ε. Αθήνα.

Τζώτσος Α., Αργιαλάς Δ.. *«Σύγχρονες τεχνολογίες τηλεπισκόπησης για την ανίχνευση, καταγραφή, αποτίμηση πυρκαγιών και προστασία των πληγέντων περιοχών»*.

Χατζηγεωργίου Α. Ν., 2005. «Αντικειμενοστρεφής Σχεδίαση». UML, Αρχές, Πρότυπα και Ευριτικοί Κανόνες. Εκδόσεις "Κλειδάριθμος". Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2005. Σελ. 30-94.,

Χρυσουλάκης Ν., 2011. *«Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης»*. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Φυσικής. Ηράκλειο, 2011.

8.2 Ξένη Βιβλιογραφία

Baatz M. and Schäpe A., 2000. *"Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation".* Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag: pp. 12–23.

DEFiNiENS Imaging GmbH: www.ecognition.com

ESA eduspace. http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/index.html. European Space Agency.

EXELIS, ENVI Orthorectification Module: http://www.exelisvis.com/

Inforest Research O.C.. http://www.inforest.gr/

Hatzopoulos N. John, Santorinaiou A., Gitakou D., 2010, "*Primer management of water resources through application of GIS and Remote Sensing tools and decision- support tools for coastal urban landscape management*". University of the Aegean, Greece Department of Environmental Studies Laboratory of Remote Sensing and GIS. Activities: Work Package 3, act. 3.5 and Work Package 5, act. 5.3. NetWet 3 Project "New forms of Territorial governance for the promotion of landscape policies in the field of water resources management at water territories".

Hofman P., 2001. *"Detecting informal settlements from Ikonos image data using methods of object oriented image analysis".* An example from Cape Town (South Africa). JÜRGENS, Carsten (2001) (Editor): Remote Sensing of Urban Areas/ Fernerkundung in urbanen Räumen. (= Regensburger Geographische Schriften, Heft 35). Regensburg. ISBN 3-88246-222-1.

Karymbalis E. and K. Gaki-Papanastassiou (2008). Geomorphological study of the River deltas of Pinios, Kalamas, Evinos and Mornos. Scientific References COSMOS. In 4MMCZ: 85-94, Sep 2008.

LandInfo. *"WorldView-2 High-Resolution Satellite Imagery"*: http://www.landinfo.com/WorldView2.htm

Marchisio G., Pacifici F., Padwick C., 2010. *"On the relative predictive value of the new spectral bands in the WorldView-2 sensor".* DigitalGlobe, Research & Development, Longmont, CO - U. S. A.. IEEExplore, 2010.

Matinfar H.R., F. Sarmadian, S.K. Alavi Panah and R.J. Heck 2007. *"Comparisons of Object-Oriented and Pixel-Based Classification of Land Use/Land Cover Types Based on Lansadsat7, Etm+ Spectral Bands (Case Study: Arid Region of Iran)"*, American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.

MicroImages, Inc., 2006. *"Multiresolution Fusion. Calibrated Pan-Sharpening"*. 11th Floor - Sharp Tower. 206 South 13th Street. Lincoln, Nebraska. 68508-2010. USA Voice (402)477-9554. FAX (402)477-9559. Email: info@microimages.com. Web: www.microimages.com. April 2006: http://www. microimages.com/documentation/ TechGuides/72CalPanSharp.pdf.

Nevin A. Bryant , Thomas L. Logan, Richard K. Fretz, Walter L. Bunch, 2003. *"Feature Extraction from Pan-Sharpened Ikonos Imagery with the Feature Analyst"*. First Annual Feature Analyst User Conference Missoula, MT. 13-14 September, 2003. Published from National Aeronautics and Space Administration (NASA), Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology Pasadena, California.

Paul F., Huggel C., Kääb A., 2004. *"Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers".* Chapter of the Book "Remote Sensing of Environment". Department of Geography, Glaciology and Geomorphodynamics Group, University of Zürich-Irchel, Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zurich, Switzerland. Published in ScienceDirect February 2004: pp.510–518

Nagendra H., Rocchini D., Ghate R., Sharma B. and Pareeth S., 2010. *«Assessing plant diversity in a dry tropical forest: comparing the utility of Landsat and IKONOS satellite images»*. Remote Sensing, ISSN 2072-4292. Published: 2 February 2010: www.mdpi.com/journal/remotesensing

Satellite Imaging Corporation. WorldView-2 Satellite sensor: http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2.html

Satellite Imaging Corporation. IKONOS satellite images and sensor specifications: http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html

SEOS (Science education through Earth Observation of high Schools). *«Τηλεπισκόπηση και GIS στην Γεωργία»*: 1. http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s01.gr.html 2. http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s02.gr.html

Suarez J.C.. (juan.suarez@forestry.gis.gov.uk)*"Tree counting analysis using eCognition"*. Forest research.

Terrill W. Ray, 1994. "*A FAQ on Vegetation in Remote Sensing*". Div. of Geological and Planetary Sciences California Institute of Technology. Mail Code 170-250 Pasadena, CA 91125. 13 Οκτωβρίου 1994.

Trimble. *"eCognition Developer 8.64.1"*. User guide

Wolf A., 2010. "*Using WorldView 2 Vis-NIR MSI Imagery to Support Land Mapping and Feature Extraction Using Normalized Difference Index Ratios."*. Digital Globe 8-Band Challenge 1601 Dry Creek Drive, Suite 260 Longmont, CO 80503. December 2010: pp.2-13.

ZHOU X., JANCSÓ T., CHEN C., VERŐNÉ M. W., 2012. "*Urban Land Cover Mapping Based on Object Oriented Classification Using WorldView 2 Satellite Remote Sensing Images*". International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint. Sopron, Hungary, March 26-27 2012.