



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Αυτόματη χαρτογράφηση αναβαθμίδων με
αντικειμενοστραφή ανάλυση τηλεπισκοπικών
δεδομένων LiDAR και ορθοφωτογραφίας:
Περιοχή μελέτης Νήσος Ύδρα»**

Χρήστος Χουντουλέσης

Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός

Επιβλέπων Καθηγητής: Αργιαλάς Δημήτριος

Αθήνα, Ιούνιος 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό τη μελέτη σχετικά με τον εντοπισμό και την αυτόματη χαρτογράφηση των αναβαθμίδων, με τη χρήση μεθόδων και τεχνικών αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Ευχαριστώ θερμά:

Τον κ. Δημήτριο Αργιαλά, Καθηγητή του Τομέα Τοπογραφίας της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, επιβλέποντα καθηγητή, για την ανάθεση του θέματος, τις πολύτιμες συμβουλές κατά τη διαμόρφωση της παρούσας εργασίας, τη συμπαράσταση, τη συνεχή καθοδήγηση και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τον Δρ. Πολυχρόνη Κολοκούση, Ε.Δι.Π. του Τομέα Τοπογραφίας στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τη συνεχή καθοδήγηση, τις εύστοχες παρατηρήσεις και τις συμβουλές καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τον κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Τοπογραφίας της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο την ανάπτυξη μεθόδων για την αυτοματοποιημένη χαρτογράφηση των αναβαθμίδων στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στο νησί της Ύδρας, με τη χρήση ψηφιακών δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Για την επίτευξη των στόχων της εργασίας, αναπτύχθηκε μια βάση γνώσης στο λογισμικό eCognition (9.0) της εταιρίας DEFINIENS Imaging GmbH πλέον Trimble Navigation Ltd, το οποίο είναι κατάλληλο για την επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων με αντικειμενοστραφή ανάλυση. Η αντικειμενοστραφής ανάλυση επιτρέπει την επεξεργασία των δεδομένων σε επίπεδο αντικειμένων, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά εικονοστοιχεία. Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε τρεις διαφορετικές περιοχές στην Ύδρα, οι οποίες περιελάμβαναν πολλές θέσεις αναβαθμίδων.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολυφασματικά και υψομετρικά, τα οποία παρήχθησαν από τεχνολογία LiDAR. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο ψηφιακά μοντέλα επιφανείας που αφορούσαν τον πρώτο παλμό των μέγιστων τιμών (Zmax) και τον τελευταίο παλμό των ελαχίστων τιμών (Zmin), καθώς και μία RGB ορθοφωτογραφία με 3 κανάλια (κόκκινο, πράσινο και μπλε). Όλα τα δεδομένα είχαν ανάλυση 0.6μ x 0.6μ. Από τα δύο μοντέλα επιφανείας παρήχθησαν οι γεωμορφομετρικοί δείκτες με χρήση του λογισμικού SAGA-GIS (2.3.2) που ανήκει στην κατηγορία ψηφιακών αλγορίθμων ανοικτού κώδικα.

Η μεθοδολογία παρέμεινε ίδια και για τις τρεις περιοχές, καθώς στόχος της εργασίας ήταν η μεθοδολογία αυτή να έχει καθολική χρήση για όλη την Ύδρα. Η ανάλυση των εικόνων περιέλαβε τέσσερα επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης. Το πρώτο και κατώτερο επίπεδο κατατμήθηκε με βάση τα τρία RGB της ορθοφωτογραφίας (κόκκινο, πράσινο και μπλε), τις κλίσεις από το Zmin, τον δείκτη τραχύτητας του εδάφους (TRI) από το Zmin και τη διαφορά Zmax – Zmin. Από την ταξινόμηση διακρίθηκαν οι χρήσεις γης της περιοχής μελέτης, οι οποίες ήταν η χαμηλή και υψηλή βλάστηση, οι αδιαπέραστες επιφάνειες, το γυμνό έδαφος, οι υδάτινες περιοχές, οι σκιές, τα υψηλά κτίρια, οι ακμές των κτιρίων και τα κτίρια με κεραμοσκεπές. Το δεύτερο επίπεδο κατατμήθηκε με βάση την πρώτη και τελευταία επιστροφή του LiDAR (Zmin dem και Zmax dem) και τις κλίσεις από τα Zmin και Zmax. Διακρίθηκαν οι πιθανές θέσεις αναβαθμίδων (οριζόντια και κάθετα κομμάτια), οι υδάτινες περιοχές και τέλος οι περιοχές της ξηράς που δεν υπήρχαν αναβαθμίδες. Το τρίτο κατατμήθηκε με βάση τα ίδια θεματικά επίπεδα (layers) και προσδιορίστηκαν οι συνολικές θέσεις των αναβαθμίδων (οριζόντια και κάθετα κομμάτια μαζί) και οι περιοχές όπου δεν υπήρχαν αναβαθμίδες. Τέλος το τέταρτο επίπεδο τοποθετήθηκε ανάμεσα στο δεύτερο και τρίτο επίπεδο και ήταν αντιγραφή του δεύτερου επιπέδου. Το τέταρτο επίπεδο δημιουργήθηκε για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων του δεύτερου.

Ακολούθησε η αξιολόγηση των ταξινομήσεων, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των εργαλείων του λογισμικού eCognition. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση βάσει της καλύτερης ταξινόμησης, της σταθερότητας ταξινόμησης και τη δημιουργία πίνακα σύγχυσης. Η συνολική ακρίβεια του πίνακα σύγχυσης για το τρίτο επίπεδο όπου διακρίνονται συνολικά οι αναβαθμίδες, κυμαίνεται από 0.79 έως 9.6. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά, καθώς δεν υπήρξαν πολλές συγχύσεις μεταξύ των κατηγοριών. Η μεθοδολογία που πραγματοποιήθηκε, δεν λειτούργησε διαφορετικά σε κάποια από τις τρεις περιοχές μελέτης, γεγονός που δείχνει ότι η χρήση της μπορεί να είναι καθολική.

Λέξεις κλειδιά:

Αντικειμενοστραφής ανάλυση, αναβαθμίδες, eCognition, ασαφής λογική, ψηφιακό μοντέλο επιφανείας, τεχνολογία LiDAR

ABSTRACT

“Automatic mapping of terrace from LiDAR data and orthophoto using object - based image analysis: Study are Island Hydra”

The purpose of the present study was to develop methods for the automatic mapping of terraces in Greece and more specifically in the island of Hydra, by utilizing remote sensing data.

To achieve the objectives of the work, a knowledge base was developed in the eCognition software (9.0) of the DEFINIENS Imaging GmbH company, now known as Trimble Navigation Ltd, which is suitable for the processing of remote sensing data with Object Based Image Analysis. Object analysis allows the processing of the data at the object level, in contrast to traditional methods that used only pixels. The methodology was applied in three different areas in Hydra, which included many terrace sites.

The used data were multispectral and elevation, which were created by LiDAR scanner technology. More specifically, two digital surface models were used, concerning the first echo of the maximum values (Zmax) and the last echo of the minimum values (Zmin), as well as an RGB orthophoto with 3 bands (red, green and blue). All data exhibited a resolution of 0.6m x 0.6m. The geomorphological features were created by the two surface models, by using the SAGA-GIS software (2.3.2).

The methodology remained the same for all three areas, as the aim of the study was for this methodology to exhibit universal application for the whole Hydra. The image analysis included four levels of segmentation and classification. The first and lower level was segmented by 3 RBG of orthophoto (red, green, blue), the slopes from Zmin, the terrain ruggedness index (TRI) from Zmin and the difference $Z_{max} - Z_{min}$. From the classification, the land use of the study area were mapped, which were the low and high vegetation, the impervious surfaces, the bare soil, the water areas, the shadows, the tall buildings, the edges of the buildings and the buildings with tiled roofs. The second level was segmented based on the first and last turn of LiDAR scanner, (Zmin dem and Zmax dem) and the slopes of Zmin and Zmax. Identified the possible terrace sites (horizontal and vertical pieces), the water areas and finally the land areas where no complete terraces sites. The third was segmented by the same thematic layers and identified the total terraces sites (horizontal and vertical pieces together) and the land areas with no complete terraces sites. Finally, the fourth level was placed between the second and third level and was a copy of the second. The fourth level was created to improve the results of the second.

Next step was the evaluation of the classifications results, which was carried out by using the software tools of eCognition. The evaluation was performed by using the best classification and classification stability methods, as well as creating confusion matrices. The overall accuracy of confusion matrices, for the third level where were mapped the total terraces sites, varies between the values of 0.79 and 9.6. The results were considered quite satisfactory, as there were not many confusions between the categories. The used methodology did not work differently on any of the three studied areas, which suggests that its use may be universal.

Key words:

Object-based classification, terraces, eCognition, fuzzy logic, digital elevation surface, LiDAR technology

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 2 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ | 8 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ | 12 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ | 12 |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 13 |
| 1.1. Γενικά | 13 |
| 1.2. Σκοπός της εργασίας | 14 |
| 1.3. Δομή εργασίας..... | 14 |
| 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ | 15 |
| 2.1. Αναβαθμίδες | 15 |
| 2.1.1. Ορισμός | 15 |
| 2.1.2. Συνεισφορά στο περιβάλλον..... | 16 |
| 2.2. Τηλεπισκοπικά δεδομένα - LIDAR | 17 |
| 2.2.1. Γενικά | 17 |
| 2.2.2. Μέθοδος λειτουργίας LIDAR..... | 17 |
| 2.2.3. Παράμετροι λειτουργίας LIDAR | 20 |
| 2.2.4. Είδη LIDAR | 20 |
| 2.2.5. Εφαρμογές τεχνολογίας LIDAR | 22 |
| 2.4. Γεωμορφομετρικές παράμετροι..... | 23 |
| 2.4.1. Γενικά | 23 |
| 2.4.2. Κλίση – Slope..... | 24 |
| 2.4.3. Δείκτης τραχύτητας εδάφους – Terrain Ruggedness Index..... | 26 |
| 2.4.4. Δείκτης έκθεσης ανέμου – Wind Exposition Index..... | 27 |
| 2.4.5. Προσανατολισμός - Aspect..... | 28 |
| 2.5. Αντικειμενοστραφής ανάλυση και eCognition | 29 |
| 2.5.1. Γενικά | 29 |
| 2.5.2. Λογισμικό eCognition | 29 |
| 2.5.3. Κατάτμηση | 30 |
| 2.5.4. Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων | 33 |
| 2.5.5. Ταξινόμηση | 34 |
| 2.5.6. Ασαφής λογική – Συναρτήσεις συμμετοχής | 35 |
| 2.5.7. Ιεραρχία κατηγοριών/τάξεων | 38 |
| 2.5.8. Χαρακτηριστικά/Ιδιότητες (Features) | 39 |

| | |
|--|-----|
| 2.6. Λογισμικά..... | 41 |
| 2.6.1. Το λογισμικό Saga..... | 41 |
| 2.6.2. Το λογισμικό Quantum GIS | 41 |
| 2.7. Μελέτη για εξαγωγή αναβαθμίδων με χρήση OBIA | 42 |
| 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ | 45 |
| 3.1. Περιοχή μελέτης..... | 45 |
| 3.2. Δεδομένα | 47 |
| 3.2.1. Δεδομένα LiDAR και ORTHO | 47 |
| 3.2.2. Υπόλοιπα δεδομένα | 49 |
| 3.3. Προεπεξεργασία δεδομένων | 50 |
| 3.3.1 Αρχική επεξεργασία των δεδομένων | 50 |
| 3.3.2 Παραγωγή γεωμορφομετρικών δεικτών από τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας .. | 50 |
| 3.4. Υλοποίηση αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στις εικόνες..... | 53 |
| 3.4.1 Εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό eCognition..... | 53 |
| 3.4.2 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης εικόνας..... | 54 |
| 3.4.3 Κατάτμηση πρώτου επιπέδου (Level 1)..... | 57 |
| 3.4.4 Ταξινόμηση πρώτου επιπέδου (Level 1)..... | 58 |
| 3.4.5 Κατάτμηση δεύτερου επιπέδου (Level 2)..... | 73 |
| 3.4.6 Ταξινόμηση δεύτερου επιπέδου (Level 2)..... | 74 |
| 3.4.7 Κατάτμηση τρίτου επιπέδου (Level 3)..... | 86 |
| 3.4.8 Ταξινόμηση τρίτου επιπέδου (Level 3)..... | 87 |
| 3.4.9 Κατάτμηση τέταρτου επιπέδου (Level 4)..... | 90 |
| 3.4.10 Ταξινόμηση τέταρτου επιπέδου (Level 4) | 91 |
| 3.5 Υλοποίηση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης και σε άλλες περιοχές..... | 99 |
| 3.5.1 Δεύτερη περιοχή μελέτης στην Ύδρα | 99 |
| 3.5.2 Τρίτη περιοχή μελέτης στην Ύδρα..... | 102 |
| 4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 107 |
| 4.1. Αξιολόγηση βάσει της σταθερότητας της ταξινόμησης..... | 107 |
| 4.1.1 Classification Stability για το πρώτο επίπεδο (Level 1)..... | 108 |
| 4.1.2 Classification Stability για το δεύτερο επίπεδο (Level 2) | 109 |
| 4.1.3 Classification Stability για το τρίτο επίπεδο (Level 3)..... | 110 |
| 4.1.4 Classification Stability για το τέταρτο επίπεδο (Level 4-2A) | 111 |
| 4.2. Αξιολόγηση βάσει της καλύτερης ταξινόμησης | 112 |
| 4.2.1 Best Classification Result για το πρώτο επίπεδο (Level 1) | 112 |
| 4.2.2 Best Classification Result για το δεύτερο επίπεδο (Level 2) | 114 |
| 4.2.3 Best Classification Result για το τρίτο επίπεδο (Level 3) | 115 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.4 Best Classification Result για το τέταρτο επίπεδο (Level 4-2A)..... | 116 |
| 4.3. Αξιολόγηση βάσει δειγμάτων αξιολόγησης (TTA Mask)..... | 117 |
| 4.3.1 TTA Mask για την πρώτη αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου (Level 3)..... | 117 |
| 4.3.2 TTA Mask για τη δεύτερη αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου (Level 3)..... | 119 |
| 4.4. Αξιολόγηση βάσει δειγμάτων ελέγχου στις υπόλοιπες περιοχές | 120 |
| 4.4.1 Αξιολόγησης δεύτερης περιοχής μελέτης στην Ύδρα | 120 |
| 4.4.2 Αξιολόγηση τρίτης περιοχής μελέτης στην Ύδρα..... | 123 |
| 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ..... | 125 |
| 5.1. Συμπεράσματα..... | 125 |
| 5.2. Προοπτικές..... | 126 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 127 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1: Αναβαθμίδες στην περιοχή της Ουταραχάντ για την πρόληψη της διάβρωσης του εδάφους..... | 15 |
| Εικόνα 2: Αναβαθμίδες στο Αιγαίο..... | 16 |
| Εικόνα 3: Το πλήρες σύστημα LIDAR..... | 18 |
| Εικόνα 4: Αερομεταφερόμενο σύστημα τεχνολογίας LIDAR..... | 19 |
| Εικόνα 5: Πρώτος και τελευταίος παλμός..... | 19 |
| Εικόνα 6: Ψ.Μ.Ε.(Zmin - τελευταία επιστροφή LiDAR | 23 |
| Εικόνα 7: Φίλτρο διαστάσεων 3x3..... | 24 |
| Εικόνα 8: Οι κλίσεις από το Ψ.Μ.Ε.Zmin-τελευταία επιστροφή LiDAR | 25 |
| Εικόνα 9: Οι κλίσεις από το Ψ.Μ.Ε.Zmax – πρώτη επιστροφή LiDAR | 25 |
| Εικόνα 10: Δείκτης τραχύτητας του εδάφους για την τελευταία επιστροφή LiDAR (όπου με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με υψηλές τιμές του δείκτη, ενώ με μπλε χρώμα οι περιοχές με χαμηλές τιμές)..... | 26 |
| Εικόνα 11: Δείκτης έκθεσης του ανέμου (όπου με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που εκτίθενται αρκετά στον άνεμο, ενώ με κίτρινο χρώμα οι περιοχές που δεν επηρεάζονται αρκετά από τον άνεμο)..... | 27 |
| Εικόνα 12: Προσανατολισμός (όπου με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με υψηλές τιμές, ενώ με κόκκινο χρώμα οι περιοχές με χαμηλές τιμές)..... | 28 |
| Εικόνα 13: Η ροή εφαρμογής των βασικών διαδικασιών στην αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας..... | 31 |
| Εικόνα 14: Διάγραμμα κατά την κατάτμηση σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης..... | 32 |
| Εικόνα 15: Το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων της εικόνας..... | 33 |
| Εικόνα 16: Οι συναρτήσεις συμμετοχής στο eCognition..... | 34 |
| Εικόνα 17: Συνάρτηση συμμετοχής..... | 35 |
| Εικόνα 18: Οι συναρτήσεις συμμετοχής στο eCognition..... | 37 |
| Εικόνα 19: Οι λογικοί τελεστές στο eCognition..... | 38 |
| Εικόνα 20: (α) Η τοποθεσία της περιοχής μελέτης, (β) Η τοποθεσία της περιοχής μελέτης και οι πόλεις που βρίσκονται στην περιοχή, (γ) το Ψ.Μ.Ε. της περιοχής και (δ) με ροζ χρώμα απεικονίζονται οι αναβαθμίδες..... | 42 |
| Εικόνα 21: Οι κανόνες της ταξινόμησης της μεθόδου..... | 44 |
| Εικόνα 22: (α) Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην περιοχή μελέτης, (β) Η κατανομή των αναβαθμιδών με βάση τα Ψ.Μ.Ε. και (γ) Η πραγματική κατανομή των αναβαθμιδών της περιοχής..... | 44 |
| Εικόνα 23: Ο χάρτης της Ύδρας..... | 45 |
| Εικόνα 24: Η πόλη της Ύδρας..... | 46 |
| Εικόνα 25: Έγχρωμο σύνθετο 1-2-3 της ορθοφωτογραφίας της πρώτης περιοχής..... | 47 |
| Εικόνα 26: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού των μέγιστων τιμών (DSM FE Highest values)..... | 48 |
| Εικόνα 27: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του τελευταίου παλμού των ελαχίστων τιμών (DSM FE Lowest values)..... | 48 |
| Εικόνα 28: Έγχρωμο σύνθετο 1-2-3 της ορθοφωτογραφίας της δεύτερης περιοχής..... | 49 |
| Εικόνα 29: Έγχρωμο σύνθετο 1-2-3 της ορθοφωτογραφίας της τρίτης περιοχής..... | 49 |
| Εικόνα 30: Απεικόνιση του Ψ.Μ.Ε. μετά την εφαρμογή του φίλτρου κλίσεων (με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές έντονων κλίσεων, ενώ με κίτρινο χρώμα οι περιοχές ήπιων κλίσεων)..... | 51 |
| Εικόνα 31: Απεικόνιση του Ψ.Μ.Ε. μετά την εφαρμογή του δείκτη τραχύτητας του εδάφους (με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με ήπιο ανάγλυφο, ενώ με σκούρο πορτοκαλί χρώμα οι περιοχές με έντονο ανάγλυφο)..... | 51 |
| Εικόνα 32: Απεικόνιση της διαφοράς Zmax – Zmin των Ψ.Μ.Ε. (με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με τις υψηλές τιμές, ενώ με κόκκινο χρώμα οι περιοχές με τις χαμηλές τιμές)..... | 52 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 33: Απεικόνιση του Ψ.Μ.Ε. μετά την εφαρμογή του δείκτη έκθεσης ανέμου (με σκούρο πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν εκτίθενται αρκετά στον άνεμο, ενώ με σκούρο μπλε χρώμα οι περιοχές που εκτίθενται αρκετά στον άνεμο)..... | 52 |
| Εικόνα 34: Παράθυρο διαλόγου του eCognition, στο οποίο εισάγονται τα θεματικά επίπεδα για την ανάλυση, όπου αναγράφονται γενικές πληροφορίες των επιπέδων..... | 53 |
| Εικόνα 35: Παράθυρο διαλόγου του eCognition, στο οποίο δημιουργούνται οι αλγόριθμοι κατάτμησης και ταξινόμησης..... | 55 |
| Εικόνα 36: Απεικόνιση της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1 έως 20 της συνάρτησης του δείκτη “Zmin wind exposition index” στο feature view..... | 55 |
| Εικόνα 37: Απεικόνιση των κλάσεων στο Class Hierarchy..... | 56 |
| Εικόνα 38: Απεικόνιση των τιμών ενός τυχαίου αντικειμένου της κατάτμησης..... | 56 |
| Εικόνα 39: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το πρώτο επίπεδο (Level 1)..... | 58 |
| Εικόνα 40: Οι θεματικές κατηγορίες του πρώτου επιπέδου..... | 58 |
| Εικόνα 41: (α) Κανόνες κατηγορίας “buildings (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”..... | 59 |
| Εικόνα 42: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Diff. to neighbors Zmin_dem (0)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Diff. to neighbors Zmin_TRI (0)”..... | 60 |
| Εικόνα 43: (α) Κανόνες κατηγορίας “edges (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_TRI”..... | 61 |
| Εικόνα 44: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. border to buildings (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. border to tiled roofs (L1)”..... | 61 |
| Εικόνα 45: (α) Κανόνες κατηγορίας “high vegetation (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “ratio GREEN”..... | 62 |
| Εικόνα 46: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmax - Zmin”..... | 63 |
| Εικόνα 47: (α) Κανόνες κατηγορίας “impervious (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”..... | 64 |
| Εικόνα 48: (α) Κανόνες κατηγορίας “tiled roofs (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου καναλιών “RED/GREEN”..... | 65 |
| Εικόνα 49: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Diff. to neighbors Zmin_dem (0)”..... | 65 |
| Εικόνα 50: Κανόνες κατηγορίας “low vegetation (L1)”..... | 66 |
| Εικόνα 51: (α) Κανόνες κατηγορίας “soil (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου καναλιών “RED/GREEN”..... | 67 |
| Εικόνα 52: (α) Κανόνες κατηγορίας “shadows (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “ratio RED”..... | 67 |
| Εικόνα 53: (α) Κανόνες κατηγορίας “water (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “ratio BLUE”..... | 68 |
| Εικόνα 54: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_dem”..... | 68 |
| Εικόνα 55: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου..... | 69 |
| Εικόνα 56: (α) Κανόνες κατηγορίας “ buffer 30m buildings (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to buildings (L1)”..... | 70 |
| Εικόνα 57: (α) Κανόνες κατηγορίας “ buffer 30m tiled roofs (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to tiled roofs (L1)”..... | 71 |
| Εικόνα 58: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μετά-ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου..... | 71 |
| Εικόνα 59: (α) Απόσπασμα από το “Feature View” της ζώνης (buffer) γύρω από τα υψηλά κτίρια με ασαφή όρια 0 έως 30 και (β) Απόσπασμα από το “Feature View” της ζώνης (buffer) γύρω από τα κτίρια με κεραμοσκεπές με ασαφή όρια 0 έως 30..... | 72 |
| Εικόνα 60: Απεικόνιση των ζωνών (buffer) του πρώτου επιπέδου..... | 72 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 61: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level 2)..... | 73 |
| Εικόνα 62: Οι θεματικές κατηγορίες του δεύτερου επιπέδου..... | 74 |
| Εικόνα 63: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace with high slope like (L2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_slope”..... | 75 |
| Εικόνα 64: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_TRI” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”..... | 75 |
| Εικόνα 65: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin wind exposition index” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin wind exposition index”..... | 76 |
| Εικόνα 66: Απόσπασμα από το “Feature View” του δείκτη έκθεσης ανέμου με ασαφή όρια 1.1 έως 10 και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Length/Width”..... | 76 |
| Εικόνα 67: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to water (2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to terrace with low slope like (2)”..... | 77 |
| Εικόνα 68: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects tiled roofs (L1) (1)”..... | 78 |
| Εικόνα 69: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1) (1)”..... | 78 |
| Εικόνα 70: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace with low slope like (L2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_slope”..... | 79 |
| Εικόνα 71: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_TRI” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”..... | 80 |
| Εικόνα 72: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin wind exposition index” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin wind exposition index”..... | 81 |
| Εικόνα 73: (α) Απόσπασμα από το “Feature View” του δείκτη έκθεσης ανέμου με ασαφή όρια 0.89 έως 10 και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Length/Width”..... | 81 |
| Εικόνα 74: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to water (2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to terrace with high slope like (2)”..... | 82 |
| Εικόνα 75: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects tiled roofs (L1) (1)”..... | 83 |
| Εικόνα 76: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1) (1)”..... | 83 |
| Εικόνα 77: (α) Κανόνες κατηγορίας “water (L2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects water (L1) (1)”..... | 84 |
| Εικόνα 78: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου (Level 2)..... | 85 |
| Εικόνα 79: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το τρίτο επίπεδο (Level 3)..... | 86 |
| Εικόνα 80: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace (L3)”και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1)”..... | 87 |
| Εικόνα 81: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with low slope like (L2) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Area”..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 82: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3)..... | 89 |
| Εικόνα 83: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level 4-2A)..... | 90 |
| Εικόνα 84: (α) Κανόνες κατηγορίας “ terrace with high slope (L2A)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1)”..... | 91 |
| Εικόνα 85: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of super objects terrace (L3) (1)”..... | 92 |
| Εικόνα 86: (α) Κανόνες κατηγορίας “ terrace with low slope (L2A)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with low slope like (L2) (1)”..... | 92 |
| Εικόνα 87: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of super objects terrace (L3) (1)”..... | 93 |
| Εικόνα 88: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A)..... | 94 |
| Εικόνα 89: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)..... | 99 |
| Εικόνα 90: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μετά-ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)..... | 100 |
| Εικόνα 91: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου (Level 2)..... | 100 |
| Εικόνα 92: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3)..... | 101 |
| Εικόνα 93: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A)..... | 101 |
| Εικόνα 94: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)..... | 102 |
| Εικόνα 95: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μετά-ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)..... | 103 |
| Εικόνα 96: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου (Level 2)..... | 104 |
| Εικόνα 97: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3)..... | 105 |
| Εικόνα 98: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A)..... | 106 |
| Εικόνα 99: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου.... | 108 |
| Εικόνα 100: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 108 |
| Εικόνα 101: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου..... | 109 |
| Εικόνα 102: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 109 |
| Εικόνα 103: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου..... | 110 |
| Εικόνα 104: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 110 |
| Εικόνα 105: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του τέταρτου επιπέδου..... | 111 |
| Εικόνα 106: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 111 |
| Εικόνα 107: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου..... | 112 |
| Εικόνα 108: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 113 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 109: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου..... | 114 |
| Εικόνα 110: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 114 |
| Εικόνα 111: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 115 |
| Εικόνα 112: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 115 |
| Εικόνα 113: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του τέταρτου επιπέδου..... | 116 |
| Εικόνα 114: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου..... | 116 |
| Εικόνα 115: Απεικόνιση της μάσκας ΤΤΑ της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 117 |
| Εικόνα 116: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 118 |
| Εικόνα 117: Απεικόνιση της μάσκας ΤΤΑ της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 119 |
| Εικόνα 118: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 119 |
| Εικόνα 119: Απεικόνιση της μάσκας ΤΤΑ της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 120 |
| Εικόνα 120: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 121 |
| Εικόνα 121: Απεικόνιση της μάσκας ΤΤΑ της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 121 |
| Εικόνα 122: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 122 |
| Εικόνα 123: Απεικόνιση της μάσκας ΤΤΑ της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 123 |
| Εικόνα 124: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 123 |
| Εικόνα 125: Απεικόνιση της μάσκας ΤΤΑ της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 124 |
| Εικόνα 126: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου..... | 124 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1: Παράμετροι λειτουργίας Lidar..... | 20 |
| Πίνακας 2: Κανόνες ταξινόμησης όλων των επιπέδων..... | 95 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση όλων των επιπέδων..... | 98 |
|--|----|

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Στην Ελλάδα, μέχρι τη δεκαετία του 1960 περίπου, οι αναβαθμίδες αποτελούσαν σχεδόν το μοναδικό δίκτυο υποστήριξης του πρωτογενούς παραγωγικού μοντέλου των νησιών (γεωργία, κτηνοτροφία κλπ), δίνοντας ταυτόχρονα δυνατότητες διαχρονικής ανάπτυξης σημαντικών κοινωνικο-πολιτισμικών χαρακτηριστικών, τόσο υλικών (λαξευμένο και δομημένο τοπίο), όσο και άυλων (ποικιλίες καλλιεργούμενων φυτών, μέθοδοι καλλιέργειας).

Ταυτόχρονα, οι αναβαθμίδες υποστήριξαν τη διαχρονική λειτουργικότητα του νησιωτικού περιβάλλοντος, ενισχύοντας το υδατικό δυναμικό, μειώνοντας τη διάβρωση του εδάφους, ευνοώντας την τοπική βιολογική ποικιλότητα.

Η εγκατάλειψη μεταπολεμικά του παραπάνω παραδοσιακού παραγωγικού μοντέλου οδήγησε στην υποβάθμιση ή και κατάρρευση των αναβαθμιδών, που δεν σήμανε απλώς το τέλος της αυτάρκειας σε αγαθά επιβίωσης. Το σημαντικότερο πλήγμα αφορούσε το ίδιο το περιβάλλον, με νησιωτικά οικοσυστήματα και τοπία πλέον ευάλωτα στις κλιματικές μεταβολές. Έτσι με δεδομένο ότι η ανθρώπινη πίεση σήμερα είναι ισχυρότερη από ποτέ (αστικοποίηση, φωτιές), η πρόβλεψη ενώπιον των τεκμηριωμένα προβλεπόμενων κλιματικών αλλαγών είναι δυσοίωνη. Έχοντας σημαντική ικανότητα να μειώνουν την ταχύτητα απορροής των νερών της βροχής, αναγκάζοντάς τα να κυλούν σε μεγαλύτερη, κλιμακωτή και γωνιώδη επιφάνεια, οι αναβαθμίδες επιτελούν σημαντικό έργο στη διατήρηση του εδάφους (μείωση των εδαφικών απωλειών).

Όλοι οι παραπάνω λόγοι καθιστούν αρκετά σημαντικό τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση των εναπομεινάντων αναβαθμιδών, που έτσι και αλλιώς έχουν θεωρηθεί από την UNESCO ως μνημείο άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς σε αρκετές περιοχές ανά τον κόσμο. Η επιτυχής χαρτογράφησή τους επιτρέπει στους ερευνητές να αναλύσουν διάφορα φαινόμενα βασιζόμενοι σε ουσιαστικά στοιχεία και να αναπτύξουν διάφορους τρόπους επανασύνδεσης του πρωτογενούς τομέα με τις αναβαθμίδες.

Χρησιμοποιώντας τις παραδοσιακές μεθόδους, δεν μπορούν να ικανοποιηθούν πλήρως όλες οι εξειδικευμένες ανάγκες που απαιτούνται για τον εντοπισμό των αναβαθμιδών, κυρίως επειδή τα φασματικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους είναι παρόμοια με τα αντίστοιχα στοιχεία των καλύψεων γης του περιβάλλοντος χώρου.

Σήμερα με τις νέες τεχνολογίες τηλεπισκόπησης όπως αυτή του LiDAR (Light Detection And Ranging), καθίσταται πιο εύκολη η αυτοματοποιημένη χαρτογράφηση των αναβαθμιδών και άλλων παρόμοιων γεωμορφών. Η τεχνολογία LiDAR αποτελεί μια μέθοδο ενεργητικής τηλεπισκόπησης η οποία χρησιμοποιεί τεχνικές τρισδιάστατης σάρωσης με δέσμη laser για τη συλλογή υψομετρικών δεδομένων μεγάλης πυκνότητας, ανά τετραγωνικό μέτρο, και ακρίβειας. Χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάκτηση της τρισδιάστατης δομής της επιφάνειας του εδάφους και της βλάστησης κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες φωτισμού, παρουσιάζοντας σημαντική μείωση του κόστους και του χρόνου έναντι των παραδοσιακών μεθόδων με μετρήσεις πεδίου. Τα παραγόμενα με αυτό τον τρόπο δεδομένα, μπορούν να προβληθούν ως ένα τρισδιάστατο (3D) μοντέλο, παρέχοντας λεπτομερή και σε βάθος γνώση για την περιοχή ενδιαφέροντος ακόμα και σε περιπτώσεις πυκνής βλάστησης.

Τα τελευταία χρόνια, ο επιστημονικός τομέας της Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing), ως η επιστήμη της παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση με τη χρήση δορυφόρων, έχει σημειώσει μεγάλη εξέλιξη τόσο σε θέματα δεκτών όσο και σε θέματα αλγορίθμου και λογισμικού. Σε περιοχές που τοποθετούνται οι αναβαθμίδες (κυρίως πλαγιές βουνών), οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονο ανάγλυφο και έντονα καιρικά φαινόμενα, η Τηλεπισκόπηση δίνει τεράστιες λύσεις. Μια νέα μέθοδος στη διαδικασία της ταξινόμησης αποτελεί η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνων, η οποία εφαρμόζεται από το λογισμικό eCognition. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ευρύτατα την έννοια των αντικειμένων, των τάξεων, των υπο-τάξεων, αλλά και των ιδιοτήτων που αυτά φέρουν και κληρονομούν μέσα από μια ιεραρχική δομή.

1.2. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν η αυτοματοποιημένη χαρτογράφηση των αναβαθμιδών στο νησί της Ύδρας. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που παρήχθησαν από τεχνολογία LiDAR και πιο συγκεκριμένα δύο ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας που αφορούσαν τον πρώτο παλμό των μέγιστων τιμών (Zmax) και τον τελευταίο παλμό των ελαχίστων τιμών (Zmin), καθώς και μία RGB ορθοφωτογραφία με 3 κανάλια (κόκκινο, πράσινο και μπλε). Με τα δεδομένα αυτά και σε συνδυασμό με τη μέθοδο της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας πραγματοποιήθηκαν ταξινομήσεις των γεωμορφών και των χρήσεων γης που συναντήθηκαν στις περιοχές μελέτης.

1.3. Δομή εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διαμορφώθηκε σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο πρόβλημα που καλείται η παρούσα εργασία να λύσει. Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Πιο συγκεκριμένα περιελήφθησαν στοιχεία σχετικά με τα δεδομένα LiDAR και τους γεωμορφομετρικούς δείκτες. Επιπλέον, έγινε αναφορά στην αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας, καθώς και στον ορισμό των αναβαθμιδών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά η μεθοδολογία και η υλοποίηση που ακολουθήθηκε για την επίλυση του προβλήματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση των ταξινομήσεων με τις τρεις μεθόδους που διαθέτει το λογισμικό του eCognition. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις ταξινομήσεις και μερικές προοπτικές για περαιτέρω διερεύνηση της μεθόδου.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Αναβαθμίδες

2.1.1. Ορισμός

Αναβαθμίδες ή πεζούλες ονομάζονται οι μικρές οριζόντιες επιφάνειες εδάφους, που δημιουργήθηκαν από τον άνθρωπο σε εδάφη με μεγάλη κλίση, με σκοπό τη διευκόλυνση των καλλιεργειών. Οι αναβαθμίδες εκτός από τη μεγάλη κλίση, χτίζονται σε συνάρτηση του προσανατολισμού της πλαγιάς, την ποιότητα του χώματος και αποτελούνται από πέτρες χωρίς τη χρήση λάσπης. Αναλόγως την τοπογραφία, την κλίση, το κλίμα, τις καλλιέργειες και το γεωλογικό υπόστρωμα κάθε περιοχής διαφέρει και το είδος των αναβαθμιδών που κατασκευάζονται. Ο τρόπος καλλιέργειας αυτός συναντιέται σε πολλές περιοχές του εξωτερικού αλλά και στην Ελλάδα, κυρίως στα νησιά όπως για παράδειγμα στη Λέσβο, όπου οι κατασκευές αυτές είναι συνδεδεμένες με την καλλιέργεια της ελιάς. Οι αναβαθμίδες χρησιμοποιήθηκαν αρκετά στο παρελθόν και η αξία τους είναι διαχρονική, καθώς προστατεύονται από την UNESCO ως μνημείο άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς σε αρκετές περιοχές ανά τον κόσμο, όπως για παράδειγμα οι αναβαθμίδες καλλιέργειας ρυζιού στην Κίνα και οι αναβαθμίδες στο Μπανάουε στις Φιλιππίνες.

Για να σχηματιστεί μια αναβαθμίδα προς καλλιέργεια, η πλαγιά τέμνεται κατά μήκος των ισοϋψών καμπύλων και το έδαφος κινείται. Για την στήριξη της αναβαθμιδας δημιουργείται ένα ανάχωμα, καθώς απαιτείται μεγάλος αριθμός τεμαχισμών και γεμισμάτων ανά μονάδα επιφάνειας, για αυτό και εδάφη που διαβρώνονται εύκολα δεν συνιστούνται.

Η κατασκευή τους δεν είναι καθόλου περίπλοκη, καθώς οι μεγάλες πέτρες τοποθετούνται στη βάση τους και οι μικρές ψηλότερα. Το δύσκολο κομμάτι της κατασκευής τους αφορά στο πλέξιμο της πέτρας, γιατί το σύνολο πρέπει να είναι τόσο δεμένο, έτσι ώστε αν δεχτεί μεγάλο φορτίο να αντέξει σαν ένα σώμα. Ταυτόχρονα όμως και αυτό είναι το σημαντικότερο, οι πέτρες έχουν ελευθερία κίνησης που σημαίνει ότι αν σε ένα σημείο προκληθεί ζημιά, δεν θα γκρεμιστεί ολόκληρη η κατασκευή και μάλιστα θα μπορεί να επισκευαστεί, σε αντίθεση με τη συμβατή τοιχοποιία.



Εικόνα 1: Αναβαθμίδες στην περιοχή της Ουταραχάντ για την πρόληψη της διάβρωσης του εδάφους (Πηγή: Wikipedia)

2.1.2. Συνεισφορά στο περιβάλλον

Η κλιματική αλλαγή σε πολλές περιοχές του πλανήτη αναγκάζει όλο και περισσότερους ανθρώπους να εγκαταλείψουν τη γεωργία σε μεγάλα υψόμετρα και να μεταφερθούν στις πεδιάδες. Μελέτες έχουν προβλέψει ότι στα επόμενα τριάντα χρόνια, η κλιματική αλλαγή θα φέρει τις χειρότερες επιπτώσεις στις περιοχές με τα μεγάλα υψόμετρα και αυτό μπορεί να επιταχύνει την τάση των ανθρώπων να μεταναστεύσουν, αφήνοντας τη γη σε επαγρύπνηση.

Τα παραπάνω καθιστούν τις αναβαθμίδες από περιβαλλοντική άποψη πολύ σημαντικές, καθώς βοηθούν στο αβιοτικό περιβάλλον, στον βιοτικό κόσμο και τη λειτουργία τους ως πράσινων υποδομών στο πλαίσιο ανάρθεσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η μεγαλύτερη ικανότητα τους είναι ότι μειώνουν την ταχύτητα απορροής των νερών της βροχής, αναγκάζοντάς τα να κυλούν σε μεγαλύτερη, κλιμακωτή και γωνιώδη επιφάνεια. Επίσης βοηθούν στη διατήρηση του εδάφους μειώνοντας τις απώλειες του και τέλος ρυθμίζουν τα σφοδρά χειμαρρώδη φαινόμενα από τις βροχοπτώσεις. Στην Ελλάδα για παράδειγμα, οι πρώτες φθινοπωρινές βροχές που πέφτουν στο Αιγαίο βρίσκουν ένα περιβάλλον με μικρή βλάστηση λόγω του καταπονητικά άνυδρου καλοκαιριού με αποξηραμένα τα μισά φυτά και έτσι οι αναβαθμίδες που φέρουν βλάστηση(θαμνώδη και δενδρώδη) είναι σημαντικές για τη μείωση των διαβρώσεων. Σε έρευνες που έχει πραγματοποιηθεί, τεκμηριώθηκε ότι η απώλεια εδάφους και η υδατική απορροή ήταν ελάχιστες σε περιοχές με αναβαθμίδες, όπου οι καλλιέργειες ήταν αμυγδαλιές, ελαιώνες, αραιά φρύγανα και σιτηρά και μέγιστες σε περιοχές χωρίς αναβαθμίδες.

Επίσης εκτός από το έδαφος, οι αναβαθμίδες μπορούν να επηρεάσουν και την πανίδα του φυσικού περιβάλλοντος. Σε περιοχές που υπάρχουν αναβαθμίδες και δέχονται τακτικά ανθρώπινη φροντίδα, επηρεάζεται η υγρασία και η θερμοκρασία λόγω της φωτεινής διαβάθμισης από τη βάση έως την κορυφή της πλαγιάς. Έτσι, αυτό το ήπιο θερμικό ανάγλυφο μπορεί να φιλοξενήσει πιο εύκολα άγρια ζωή, κυρίως φυτά, ασπόνδυλα και μικρά σπονδυλωτά, παρέχοντας τροφή και καταφύγιο.

Τέλος σε αυτήν την κρίσιμη περίοδο κατά την οποία οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται αισθητές στον χώρο της Μεσογείου, η διαχρονική χρηστική παρουσία των αναβαθμίδων μπορεί να αποτελέσει σημαντικότερη και εύχρηστη πράσινη υποδομή για τα νησιωτικά οικοσυστήματα, με πολλαπλά οφέλη για την προσαρμογή τους στην κλιματική αλλαγή.



Εικόνα 2: Αναβαθμίδες στο Αιγαίο

2.2. Τηλεπισκοπικά δεδομένα - LIDAR

2.2.1. Γενικά

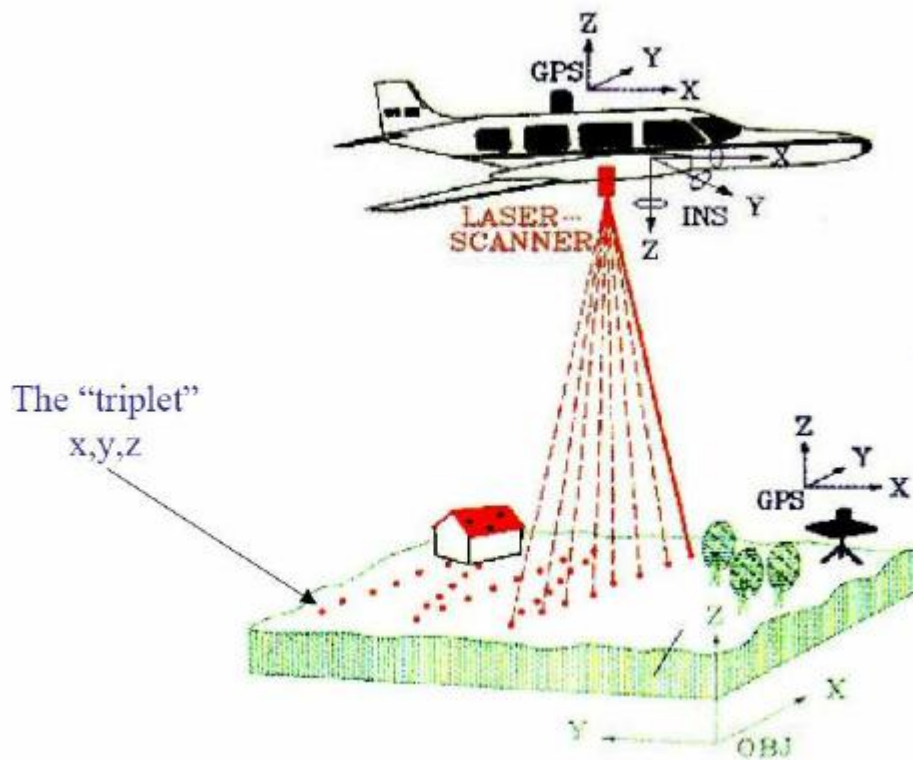
Η τεχνολογία LiDAR (Light Detection And Ranging) αναπτύχθηκε τα τελευταία 25 χρόνια περίπου και αποτελεί μια μέθοδο ενεργητικής τηλεπισκόπησης, η οποία χρησιμοποιεί τεχνικές τρισδιάστατης σάρωσης με δέσμη laser για τη συλλογή υψομετρικών δεδομένων μεγάλης πυκνότητας ανά τετραγωνικό μέτρο και μεγάλης ακρίβειας. Χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο ορατό ή εγγύς-ορατό φάσμα για τη μέτρηση των ιδιοτήτων του σκεδαζόμενου φωτός με σκοπό την εύρεση απόστασης και άλλων πληροφοριών απομακρυσμένου αντικειμένου. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάκτηση της τρισδιάστατης δομής της επιφάνειας του εδάφους και της βλάστησης κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες φωτισμού.

Τα συστήματα LiDAR χρησιμοποιούνται είτε από εναέριας (Aerial Laser Scanning-ALS) είτε από επίγειες (Terrestrial Laser Scanning-TLS) λήψεις. Το μέσο μεταφοράς των οργάνων LIDAR στις εναέριας λήψεις είναι συνήθως αεροπλάνα ή ελικόπτερα. Τα LIDAR επίσης διακρίνονται σε τοπογραφικά και βαθυμετρικά. Τα τοπογραφικά λειτουργούν στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου περιγράφοντας το ανάγλυφο της στεριάς σε μία περιοχή και παράγουν Ψηφιακά Μοντέλα Επιφανείας (DSM ή DEM). Τα βαθυμετρικά χρησιμοποιούν παλμούς στην περιοχή του πράσινου και εφαρμόζονται στις μετρήσεις υδάτινων στοιχείων, όπως είναι οι θαλάσσιες επιφάνειες, οι ακτές, ή οι εκβολές των ποταμών.

2.2.2. Μέθοδος λειτουργίας LIDAR

Τα συστήματα LiDAR εκπέμπουν μια ανεξάρτητα δημιουργούμενη ενεργειακή δέσμη ακτινοβολίας με μερικές εκατοντάδες χιλιάδες παλμούς laser το δευτερόλεπτο (>200.000 παλμούς/sec. Κάθε παλμός ανακλάται στο αντικείμενο και επιστρέφει στο δέκτη, ενώ ο χρόνος της διαδρομής μετράται με χρονόμετρο ακριβείας και μετατρέπεται σε απόσταση. Αυτή η απόσταση καθώς και η θέση και ο προσανατολισμός του αεροσκάφους, που είναι εφοδιασμένο με INS και GPS, χρησιμοποιούνται για το προσδιορισμό των συντεταγμένων του στόχου και για κάθε παλμό μπορούν να καταγραφούν πολλαπλές επιστροφές. Η χρονική διαφορά μεταξύ της μετάδοσης και λήψης των παλμών laser και η αλλαγή της έντασης της ακτινοβολίας τους μαζί με κάποιες ακόμα παραμέτρους οδηγούν σε ακριβείς πληροφορίες για την κίνηση του αντικειμένου, το σχήμα του και σε πληροφορίες σχετικά με το υλικό που είναι φτιαγμένο.

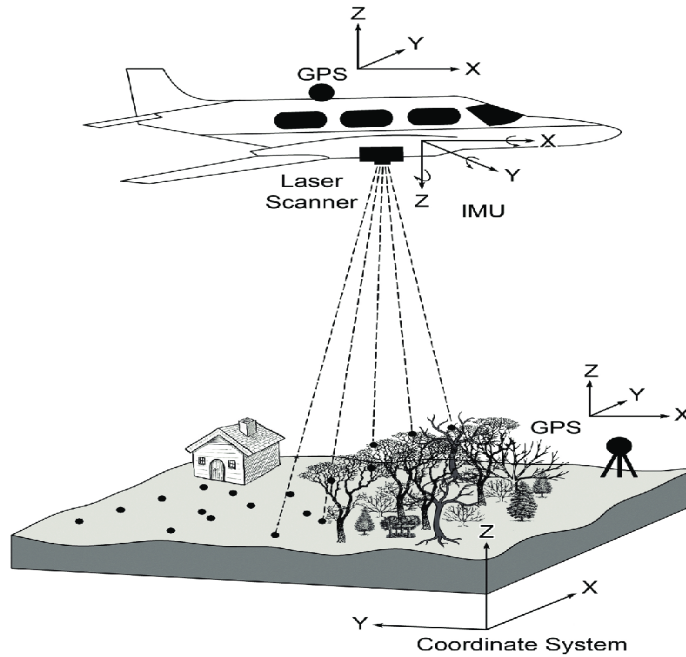
Γνωρίζοντας την ακριβή θέση και προσανατολισμό του αεροσκάφους την ίδια στιγμή είναι δυνατό να καθορίσουμε τις χωρικές συντεταγμένες καθενός επιστρεφόμενου παλμού, παράγοντας ένα συνολικό γεωαναφερμένο νέφος σημείων. Τα παραγόμενα με αυτό τον τρόπο δεδομένα, μπορούν να προβληθούν ως ένα τρισδιάστατο (3D) μοντέλο, παρέχοντας λεπτομερή και σε βάθος γνώση για την περιοχή ενδιαφέροντος ακόμα και σε περιπτώσεις πυκνής βλάστησης.



Εικόνα 3: Το πλήρες σύστημα LIDAR

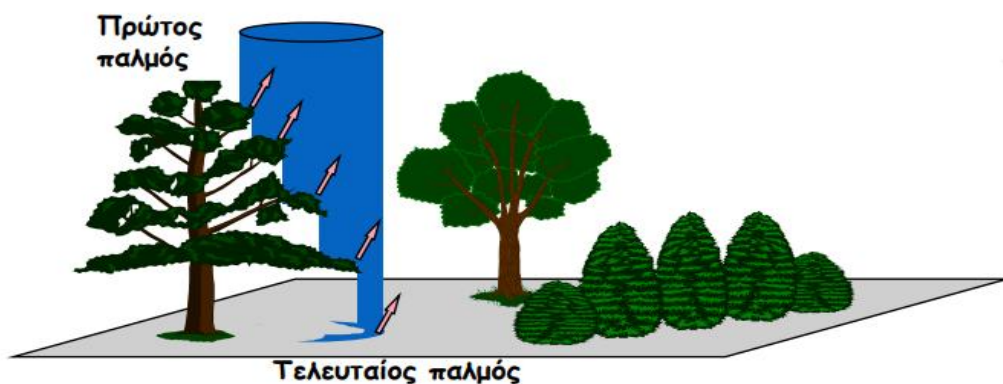
Τα κύρια μέρη ενός συστήματος LiDAR είναι η πλατφόρμα(αεροσκάφος), η μονάδα σάρωσης laser με πομπό και δέκτη, το διαφορικό GPS, το αδρανειακό σύστημα(IMU) και τέλος ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Τα συστήματα LiDAR τοποθετούνται στο κάτω μέρος του αεροσκάφους σε συνδυασμό με αερομεταφερόμενο δέκτη Παγκοσμίου Συστήματος Τοποθέτησης(GPS) και αδρανειακό σύστημα(IMU). Το GPS προσδιορίζει τις συντεταγμένες σε τρεις διαστάσεις(x,y,z) του LiDAR αισθητήρα που μετακινείται στον αέρα. Το IMU μετράει την κατεύθυνση και τις αναταράξεις του αεροσκάφους, ορίζοντας τον γωνιακό προσανατολισμό με τους άξονες x,y και z.

Ο αισθητήρας LiDAR μετράει τη γωνία σάρωσης των παλμών laser και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις από το αδρανειακό σύστημα IMU, υπολογίζεται ο γωνιακός προσανατολισμός κάθε παλμού και ο χρόνος που απαιτείται να ανακλαστεί από το έδαφος και να επιστρέψει στον αισθητήρα για κάθε παλμό. Από τον παλμό που επιστρέφει υπολογίζονται τα υψόμετρα της περιοχής που σαρώθηκε. Κύριες παράμετροι της διαδικασίας της σάρωσης, είναι το εύρος της γωνίας σάρωσης (θ_{max}), το οποίο καθορίζει το πεδίο ορατότητας του σαρωτή (Field Of View-FOV) και σε συνδυασμό με το ύψος πτήσης, το εύρος της λωρίδας σάρωσης (Swath Width-SW) στο έδαφος.



Εικόνα 4: Αερομεταφερόμενο σύστημα τεχνολογίας LIDAR

Τα συστήματα LiDAR διαχωρίζουν τις ανακλάσεις σε πρώτου και τελευταίου παλμού, καταγράφοντας το εκτιμώμενο υψόμετρο της πρώτης και της τελευταίας επιφάνειας από την οποία ανακλάται ο παλμός laser. Ο πρώτος παλμός συγκροτεί το στοχευόμενο αντικείμενο από τον παλμό laser, επιτρέποντας έτσι την αποτύπωση των ψηλότερων αντικειμένων, όπως για παράδειγμα κορυφές δέντρων ή στέγες κτηρίων. Από τις καταγραφές των σημείων πρώτου παλμού προκύπτει το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας(DSM). Η καταγραφή του τελευταίου παλμού χρησιμοποιείται για την αποτύπωση του εδάφους, δημιουργώντας το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου. Για μεγάλες γωνίες σάρωσης ή περιοχές πυκνής βλάστησης οι ακτίνες laser παγιδεύονται στη βλάστηση και έτσι είναι αδύνατο να παραχθεί DEM του εδάφους στις θέσεις αυτές, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν σχετικές μετρήσεις.



Εικόνα 5: Πρώτος και τελευταίος παλμός

2.2.3. Παράμετροι λειτουργίας LIDAR

Στα συστήματα LiDAR, ο αισθητήρας για κάθε παλμό καταγράφει την πληροφορία της θέσης (x,y,z). Αυτή αποθηκεύεται μαζί με κάποιες πρόσθετες πληροφορίες για τον αντίστοιχο στόχο. Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται με την ένταση, τον αύξοντα αριθμό επιστροφής, τον συνολικό αριθμό επιστροφής, την ταξινόμηση των σημείων, τα σημεία που βρίσκονται στην άκρη της γραμμής, τις τιμές RGB, την ώρα GPS, τη γωνία σάρωσης και τέλος τη διεύθυνση σάρωσης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι περιγραφές των πληροφοριών αυτών.

| Χαρακτηριστική ιδιότητα | Περιγραφή |
|------------------------------|---|
| Ένταση | Εκφράζει πόσο ισχυρή είναι η επιστροφή ενός παλμού laser που δημιούργησε το σημείο LiDAR |
| Αριθμός επιστροφής | Ένας εκπεμπόμενος παλμός laser μπορεί να έχει μέχρι και 5 επιστροφές ανάλογα με τις ιδιότητες του αντικειμένου από το οποίο ανακλάστηκε και τις δυνατότητες του laser scanner που χρησιμοποιήθηκε για να συλλέξει τα δεδομένα. Η πρώτη επιστροφή ορίζεται ως επιστροφή νούμερο 1, η δεύτερη επιστροφή ως επιστροφή νούμερο 2 κ.ο.κ. |
| Συνολικός αριθμός επιστροφών | Ο αριθμός επιστροφών είναι ο συνολικός αριθμός των επιστροφών ενός δεδομένου παλμού. Για παράδειγμα, ένα σημείο δεδομένων laser μπορεί να είναι επιστροφή νούμερο 2 (αύξων αριθμός επιστροφής) με ένα συνολικό αριθμό επιστροφών ίσο με 5 |
| Ταξινόμηση σημείου | Κάθε σημείο LiDAR που έχει υποστεί μετά-επεξεργασία μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με τον τύπο του αντικειμένου που προκάλεσε ανάκλαση του παλμού. Τα σημεία LiDAR μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες, όπως για παράδειγμα του γυμνού εδάφους, την κορυφή των δέντρων, το νερό. Οι διαφορετικές κατηγορίες ορίζονται με τη χρήση ακέραιων αριθμητικών κωδικών στα αρχεία LAS |
| Άκρη της γραμμής πτήσης | Τα σημεία συμβολίζονται με τιμές 0 ή 1. Στα σημεία που βρίσκονται στη γραμμή πτήσης δίνεται η τιμή 1, σε όλα τα υπόλοιπα σημεία η τιμή 0 |
| RGB | Τα δεδομένα LiDAR μπορούν να αποδοθούν με τα κανάλια RGB. Η απόδοση αυτή συχνά προκύπτει από εικόνες που συλλέγονται κατά την ίδια χρονική στιγμή με την αποτύπωση LiDAR |
| Χρόνος GPS | Το χρονικό στιγμιότυπο GPS κατά το οποίο το οποίο το σημείο laser εκπέμπεται από το αεροσκάφος |
| Γωνία σάρωσης | Η γωνία σάρωσης παίρνει τιμές μεταξύ -90ο και 90ο . Στις 0ο ο παλμός laser βρίσκεται ακριβώς κάτω από το αεροσκάφος, στο ναδίρ. Στις -90ο, ο παλμός laser βρίσκεται αριστερά του αεροσκάφους, ενώ στις +90ο ο παλμός laser βρίσκεται στην δεξιά μεριά του αεροσκάφους, κατά τη διεύθυνση της πτήσης. Η γωνία στα περισσότερα συστήματα LiDAR είναι μικρότερη από ± 30 |
| Διεύθυνση σάρωσης | Η διεύθυνση σάρωσης είναι η διεύθυνση κατά την οποία ταξίδευε το κάτοπτρο σάρωσης laser την ώρα του παλμού laser εξόδου. Η τιμή 1 δηλώνει θετική διεύθυνση σάρωσης και η τιμή 0 αρνητική. Η θετική τιμή υποδεικνύει ότι ο σαρωτής κινείται από την αριστερή πλευρά προς την δεξιά πλευρά της διεύθυνσης πτήσης σε τροχιά, και η αρνητική τιμή δηλώνει το αντίθετο |

Πίνακας 1: Παράμετροι λειτουργίας Lidar

2.2.4. Είδη LIDAR

Τα συστήματα LiDAR διακρίνονται σε κατηγορίες, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για την κάλυψη διάφορων εφαρμογών. Ανάλογα με τον μηχανισμό αλληλεπίδρασης Ακτινοβολίας Λέιζερ – ύλης έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα LiDAR:

- **LiDAR τύπου Doppler:** Βασίζεται στο φαινόμενο Doppler και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας στόχου. Όταν η ακτίνα φωτός που εκπέμπεται από το LiDAR προσκρούει σε στόχο κινούμενο από ή προς το όργανο, το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που ανακλάται από το στόχο διαφέρει ελαφρώς από αυτό που εκπέμπεται. Αν ο στόχος απομακρύνεται από το όργανο, το ανακλώμενο φως έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος, ενώ στην αντίθετη περίπτωση θα έχει μικρότερο. Ο στόχος ενδέχεται να είναι είτε συμπαγές αντικείμενο είτε ατμοσφαιρικός στόχος, όπως σκόνη και στελέχη αερολυμάτων μεταφερόμενο από τον αέρα, οπότε και προσδιορίζεται η ταχύτητα και η διεύθυνση του αέρα.
- **LiDAR τύπου Raman:** Στηρίζεται στη συλλογή της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας μέσω μηχανισμού Raman με μήκη κύματος διαφορετικά της εκπεμπόμενης δέσμης με σκοπό τον προσδιορισμό του είδους μορίων και την συγκέντρωσή τους. Από τον τύπο αυτόν καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας στην κατώτερη ατμόσφαιρα.
- **LiDAR φθορισμού:** Στηρίζεται στη συλλογή της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον διεγερμένο φθορίζον στόχο της οποίας το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο αυτού της πηγής. Το φάσμα φθορισμού κάθε μορίου χαρακτηρίζει και την ταυτότητά του. Με τον τρόπο αυτόν προσδιορίζεται το είδος των μορίων του στοχεύοντος αντικειμένου, η θερμοκρασία, η πυκνότητα του ανέμου και τα νέφη στην μέσο-άνω ατμόσφαιρα και επιπλέον η πυκνότητα και η θερμοκρασία της στρατόσφαιρας και της μεσόσφαιρας.
- **LiDAR απορρόφησης:** Στηρίζεται στη μέτρηση της εξασθένησης της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Η εξασθένηση της δέσμης του λέιζερ κατά τη διαδρομή της μέσα από τον στόχο εμπεριέχει πληροφορίες για τη συγκέντρωση του μορίου που την απορρόφησε στο συγκεκριμένο μήκος κύματος.
- **LiDAR Διαφορικής Απορρόφησης:** Στηρίζεται και αυτή στη μέτρηση της εξασθένησης της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Επιλέγονται δύο διαφορετικά μήκη κύματος, τα οποία επιλέγονται έτσι ώστε το ένα να απορροφάται από τα μόρια του προς εξέταση στόχου, ενώ το άλλο όχι. Από τη διαφορά έντασης των δύο επιστρεφόντων κυμάτων συμπεραίνεται η συγκέντρωση χημικών συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα, όπως όζοντος, υδρατμών, ρύπων.
- **LiDAR διπλής δέσμης:** Διαθέτει δύο δέσμες λέιζερ με μήκη κύματος που διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους. Εκπέμπονται διαδοχικά και διατρέχουν την ίδια διαδρομή στην ατμόσφαιρα. Σύγκριση των επιστρεφόμενων σημάτων εμπεριέχει πληροφορίες για το είδος και την συγκέντρωση των μορίων. Αυτό το σύστημα LiDAR χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής όζοντος.
- **LiDAR υψομετρίας:** Παρέχει ακριβείς μετρήσεις της απόστασης του στόχου σε σχέση με ύψος-αναφορά, για τον προσδιορισμό του γήινου ανάγλυφου.

2.2.5. Εφαρμογές τεχνολογίας LIDAR

Η τεχνολογία LiDAR βρίσκει ευρύ φάσμα εφαρμογών, λόγω της μεγάλης ακρίβειας συλλογής δεδομένων. Μερικές από αυτές περιγράφονται παρακάτω.

- Παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Digital Elevation Models) με πυκνότητα μέχρι και είκοσι σημείων ανά τετραγωνικό μέτρο.
- Παραγωγή ψηφιακών μοντέλων πόλεων (Digital City Models) για ανάγκες μελετών τηλεπικοινωνιακών δικτύων και εφαρμογές G.I.S.
- Χαρτογράφηση δασικών εκτάσεων, προσδιορισμός ύψους δένδρων, δασικά μητρώα.
- Ταχεία χαρτογράφηση παράκτιων ζωνών, έλεγχος διάβρωσης ακτών και αποτύπωση μεταβολών, παρακολούθηση ρυθμού μεταβολών παγετώνων.
- Χαρτογράφηση περιοχών που καλύπτονται από πλημμύρες και προσομοίωση πλημμυρών με χρήση υψηλής ακρίβειας ψηφιακών μοντέλων εδάφους.
- Χαρτογράφηση ηλεκτρικών γραμμών υψηλής τάσης με υψηλής ακρίβειας αποτύπωση αγωγών και πυλώνων.
- Απεικόνιση περιβάλλοντος χώρου, εδάφους και βλάστησης, για προσδιορισμό του ελεύθερου ύψους των αγωγών από τη στέψη της βλάστησης.
- Μέτρηση ατμοσφαιρικών ανέμων για προσδιορισμό κάθετης κατανομής μορίων αερολυμάτων και πυκνότητας στοιχείων της μέσο και άνω ατμόσφαιρας, όπως νάτριο, άζωτο, οξυγόνο, στον τομέα της Φυσικής Περιβάλλοντος.
- Εκτίμηση του φωσφορίζοντος φυτοπλαγκτού και γενικότερα της βιομάζας στα επιφανειακά στρώματα των ωκεανών, αλλά και του βάθους των θαλάσσιων επιφανειών για την εύρεση ρηχών υδρογραφικών λεκανών, στην ωκεανογραφία.
- Στρατιωτικές εφαρμογές, απόρρητες για λόγους ασφαλείας, όπως εύρεση τανκ, λαμβάνουν χώρα εκμεταλλευόμενοι την τεχνολογία LiDAR.
- Μέτρηση της θέσης της σελήνης με ακρίβεια mm, έλεγχος της σχετικής της θέσης μέσω ανακλαστήρων τοποθετημένων στην επιφάνειά της, τοπογραφική αποτύπωση του Άρη μέσω οργάνου LiDAR επί δορυφόρου της NASA, στην αστρονομία.
- Έλεγχος του ορίου ταχύτητας κυκλοφορίας των οχημάτων για επιβολή του νόμου.
- Δημιουργία «έξυπνων» συστημάτων πλοήγησης (Adaptive Cruise Control) σε οχήματα νέας τεχνολογίας, αποσκοπώντας στον έλεγχο της οδού για προπορευμένα οχήματα και ανάλογη προσαρμογή της ταχύτητας του φερόμενου οχήματος υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Η ανίχνευση των προπορευμένων οχημάτων σε συνδυασμό με τη γεωμετρία της κυκλοφοριακής λωρίδας, αλλά και περικλείοντας πληροφορίες σχετικά με τις τελευταίες κινήσεις των προπορευμένων οχημάτων, καθιστά δυνατή τη βελτίωση του σχήματος της οδού. (Joint road geometry estimation and vehicle tracking, Andreas Eidehall, Jochen Pohl, Fredrik Gustafsson).

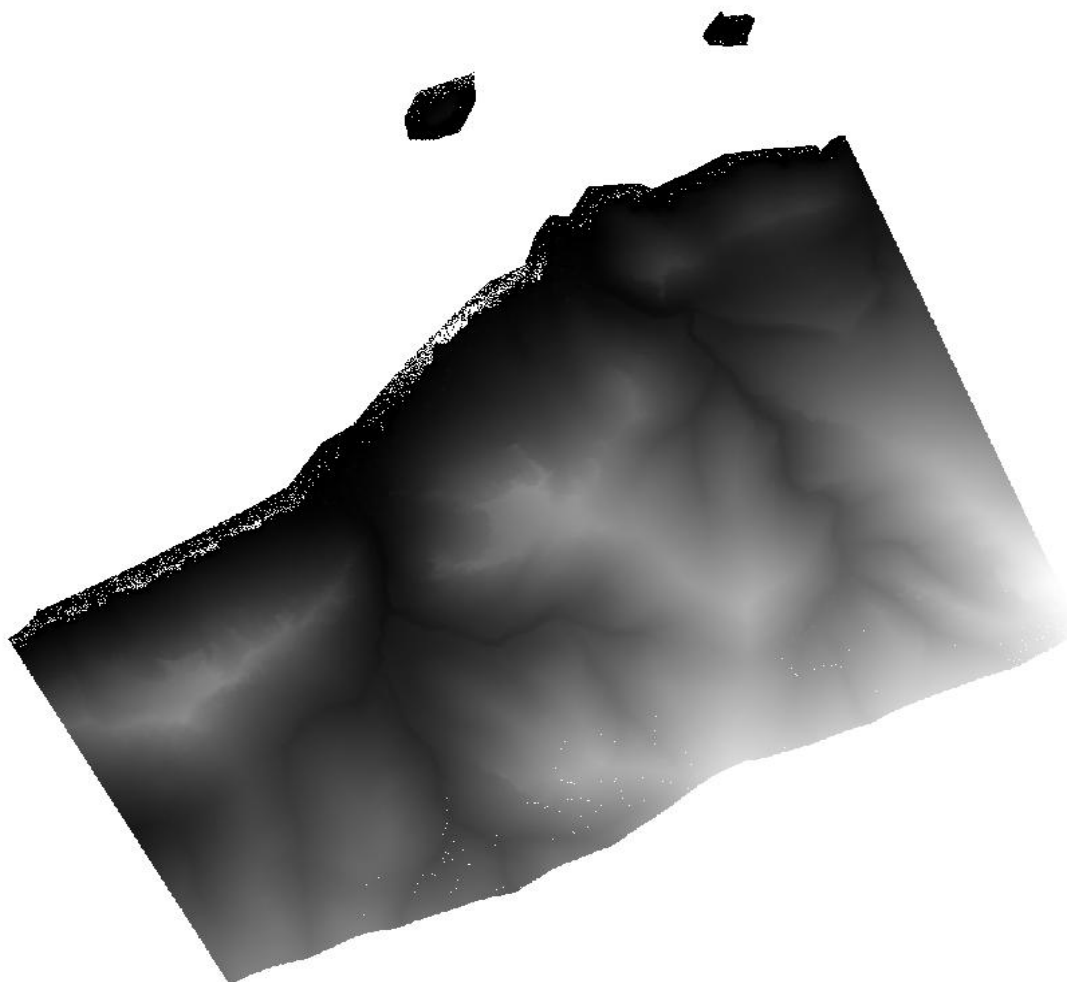
2.4. Γεωμορφομετρικές παράμετροι

2.4.1. Γενικά

Η γεωμορφομετρία είναι η επιστήμη της ποσοτικής ανάλυσης που αφορά την επιφάνεια του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται στην ανάλυση και στη μέτρηση των χαρακτηριστικών της μορφολογίας του ανάγλυφου, που εφαρμόζονται σε κάθε συνεχή τραχεία επιφάνεια. Οι πρώτοι επιστήμονες που ανάλυσαν τις γεωμορφομετρικές παραμέτρους, οι οποίες προέρχονται από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους, ήταν οι Ohmori και Hirano (1984), ο Pike (1988), ο Evans (1984) και ο Speight (1973).

Η γεωμορφολογική ανάλυση είναι μια αναλυτική χαρτογραφική αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους από τα υπολογιστικά συστήματα με βάση το υψόμετρο. Έτσι για να παραχθούν οι παράμετροι και τα αντικείμενα που περιγράφουν την επιφάνεια χρειάζονται τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους.

Στην συγκεκριμένη εργασία η επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους έγινε στο λογισμικό SAGA GIS το οποίο χρησιμοποιεί τους αλγορίθμους του λογισμικού SAGA. Με αυτόν τον τρόπο παρήχθησαν οι γεωμορφομετρικές παράμετροι (κλίσεις, προσανατολισμός, Terrain Ruggedness Index κ.α.) από τα δύο Ψ.Μ.Ε. Αυτά ήταν το Zmin που αφορούσε την τελευταία επιστροφή του LiDAR και το Zmax που αφορούσε την πρώτη επιστροφή. Στα αποτελέσματα στην χρωματική κλίμακα του γκρι που χρησιμοποιείται, οι κατώτατες τιμές της κάθε εικόνας απεικονίζονται με μαύρο, ενώ οι ανώτερες τιμές με άσπρο.



Εικόνα 6: Ψ.Μ.Ε.(Zmin - τελευταία επιστροφή LiDAR)

Για τον σκοπό της εργασίας, όλες οι γεωμορφομετρικοί παράμετροι παρήχθησαν δύο φορές για την ίδια εικόνα, μία για την τελευταία επιστροφή του LiDAR (Zmin) και μία για την πρώτη επιστροφή του LiDAR (Zmax). Σε όλες τις παραμέτρους και ειδικά στις κλίσεις οι κύριες διαφορές που εντοπίστηκαν ήταν στο γεγονός ότι στην πρώτη επιστροφή οι δείκτες περιείχαν περισσότερη πληροφορία, καθώς συγκροτούν το στοχευόμενο αντικείμενο από τον παλμό laser, επιτρέποντας έτσι την αποτύπωση των ψηλότερων αντικειμένων, όπως για παράδειγμα κορυφές δέντρων ή στέγες κτηρίων, ενώ στον τελευταίο παλμό όλες οι πληροφορίες αφορούν το έδαφος.

2.4.2. Κλίση – Slope

Η κλίση (slope) ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής της τιμής του υψομέτρου για κάθε εικονοστοιχείο του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου και των 8 γειτονικών εικονοστοιχείων του και προσδιορίζει την πιο απότομη κλίση για μια θέση σε μια επιφάνεια (Burrough and McDonell, 1998). Η κλίση δίνεται ουσιαστικά από την πρώτη παράγωγο του Z. Ο βασικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της είναι ο εξής:

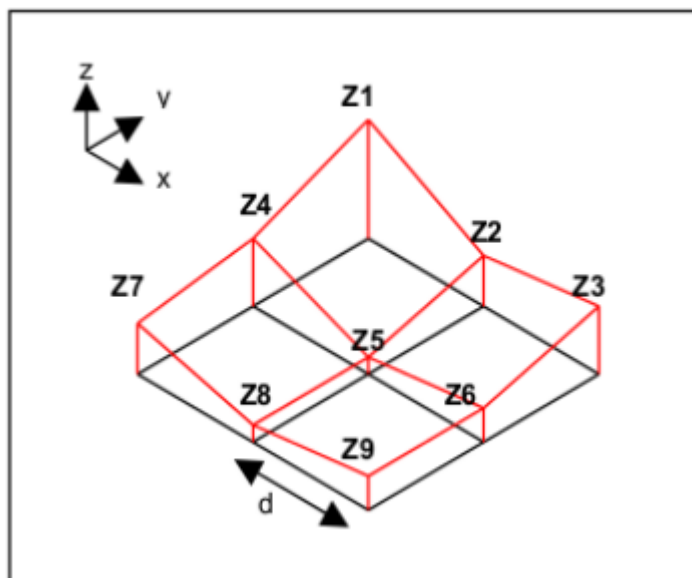
$$\text{SLOPE} = \partial Z / \partial S = G \cos\theta + H \sin\theta$$

$$\text{Όπου } \cos\theta = -G / (G^2 + H^2)^{1/2} \text{ και } \sin\theta = -H / (G^2 + H^2)^{1/2}$$

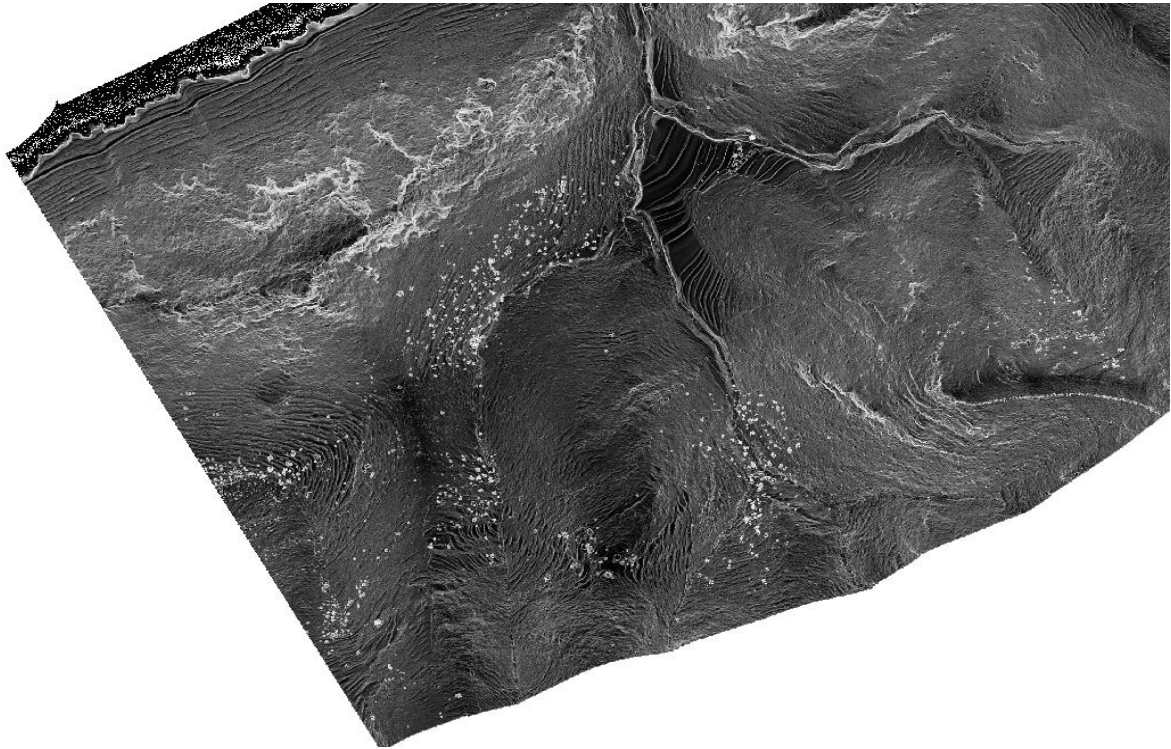
$$\text{SLOPE} = -(G^2 + H^2)^{1/2}$$

Η μέθοδος που χρησιμοποιεί το λογισμικό Saga για να υπολογίσει την κλίση είναι αυτή των “Zevenbergen and Thorne” (1987). Οι μονάδες μέτρησης που επιλέχθηκε ήταν οι μοίρες. Ως μαθηματικό μοντέλο επιλέγεται μία πολυωνυμική συνάρτηση 2^{ου} βαθμού που προσεγγίζει την επιφάνεια. Το πολυώνυμο που χρησιμοποιείται είναι το εξής:

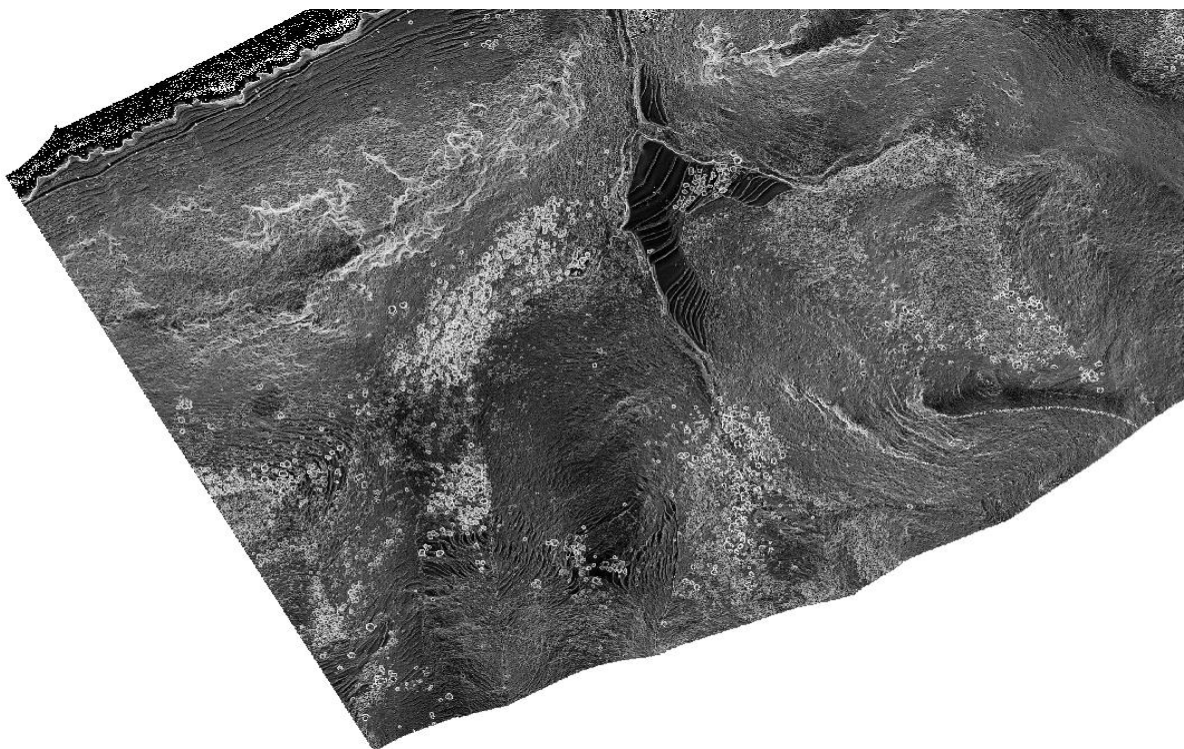
$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy$$



Εικόνα 7: Φίλτρο διαστάσεων 3x3 (Πηγή: Cadell, 2002)



Εικόνα 8: Οι κλίσεις από το Ψ.M.E.Zmin - τελευταία επιστροφή LiDAR

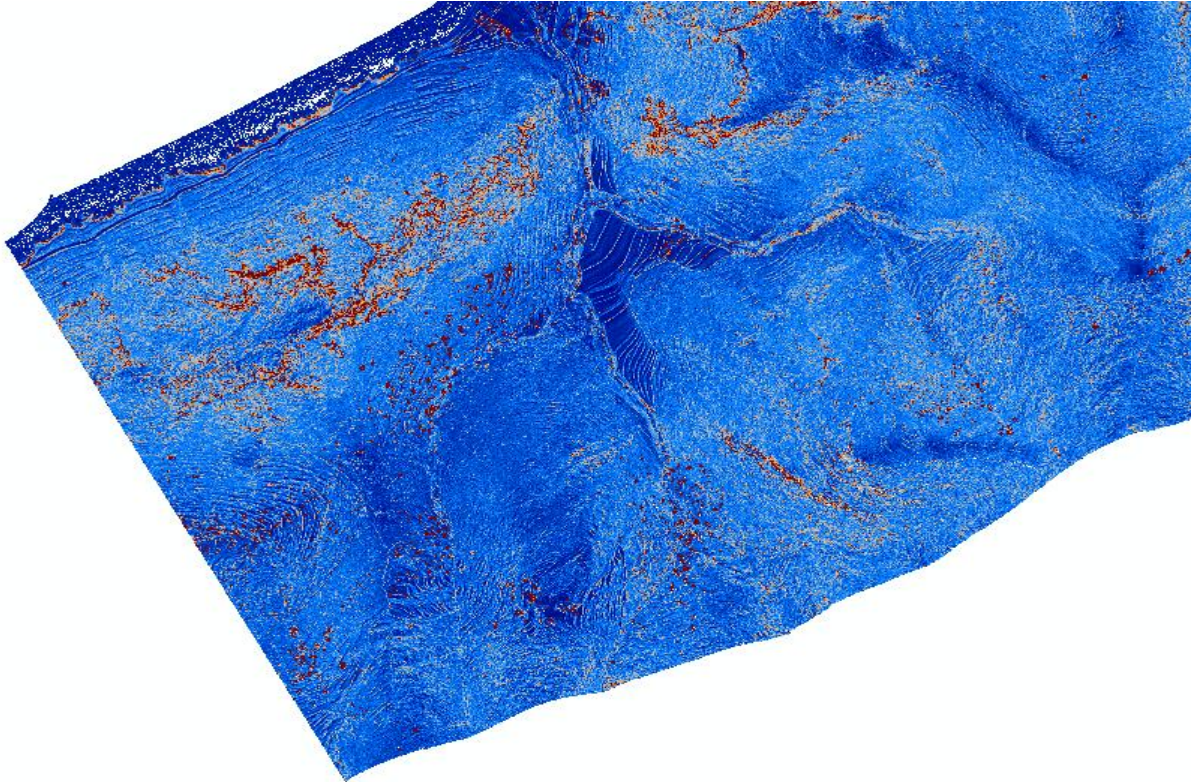


Εικόνα 9: Οι κλίσεις από το Ψ.M.E.Zmax – πρώτη επιστροφή LiDAR

2.4.3. Δείκτης τραχύτητας εδάφους – Terrain Ruggedness Index

Ο δείκτης τραχύτητας του εδάφους εκφράζει τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων.

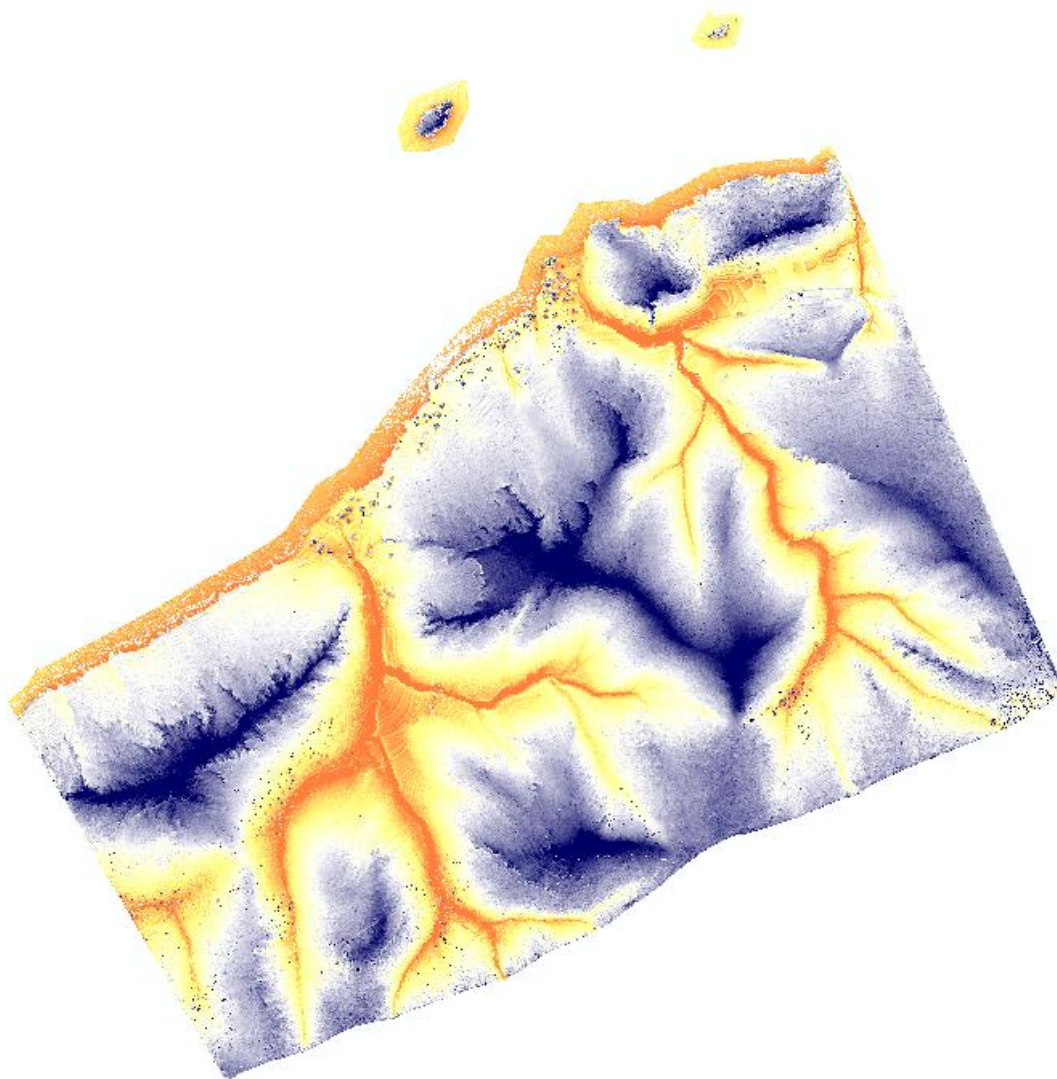
$$RIc = 2 (DH^2 + EG^2 - FGH) / (G^2 + H^2)$$



Εικόνα 10: Δείκτης τραχύτητας του εδάφους για την τελευταία επιστροφή Lidar (όπου με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με υψηλές τιμές του δείκτη, ενώ με μπλε χρώμα οι περιοχές με χαμηλές τιμές)

2.4.4. Δείκτης έκθεσης ανέμου – Wind Exposure Index

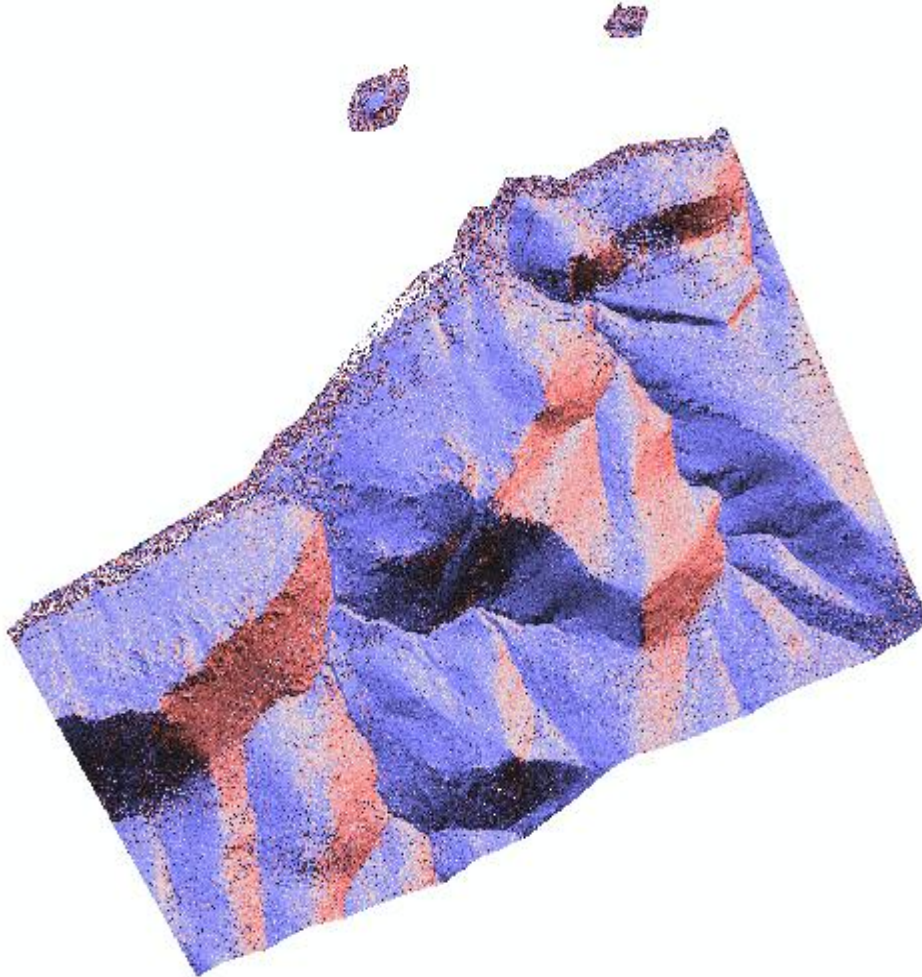
Ο δείκτης έκθεσης του ανέμου υπολογίζει το μέσο όρο για όλες τις κατευθύνσεις χρησιμοποιώντας ένα γωνιακό βήμα. Οι τιμές κάτω του 1 υποδεικνύουν περιοχές με σκιά του ανέμου, ενώ οι τιμές άνω του 1 υποδεικνύουν περιοχές που εκτίθενται στον άνεμο. Με αυτόν τον τρόπο διακρίνονται τα ρέματα που αφορούν τις χαμηλότερες μορφολογικά γραμμές, κατά μήκος μια κοιλάδας ή χαράδρας και οι κορυφογραμμές που αφορούν τις γραμμές πάνω στο ανάγλυφο που ενώνει τα υψηλότερα σημεία μεταξύ δύο ή περισσότερων διαδοχικών κορυφών.



Εικόνα 11: Δείκτης έκθεσης του ανέμου (όπου με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που εκτίθενται αρκετά στον άνεμο, ενώ με κίτρινο χρώμα οι περιοχές που δεν επηρεάζονται αρκετά από τον άνεμο)

2.4.5. Προσανατολισμός - Aspect

Ο προσανατολισμός ορίζει τη διεύθυνση της κλίσης και επιπλέον τη διεύθυνση της ροής του ύδατος. Η γνώση του προσανατολισμού σε όλη τη λεκάνη απορροής παρέχει απαραίτητες πληροφορίες, που καθορίζουν την ανερχόμενη έκταση, η οποία συμβάλλει στη ροή σε οποιοδήποτε σημείο της λεκάνης απορροής.



Εικόνα 12: Προσανατολισμός (όπου με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με υψηλές τιμές, ενώ με κόκκινο χρώμα οι περιοχές με χαμηλές τιμές)

2.5. Αντικειμενοστραφής ανάλυση και eCognition

2.5.1. Γενικά

Οι κλασσικές μέθοδοι ανάλυσης των τηλεπισκοπικών δεδομένων τα προηγούμενα χρόνια περιορίζονταν στα μαθηματικά μοντέλα και λογισμικά από αλγορίθμους που είχαν ως μονάδα το εικονοστοιχείο και τα φασματικά του χαρακτηριστικά για την ομαδοποίηση τους. Λόγω όμως της ετερογένειας των σύγχρονων δεδομένων, υπήρχε μεγάλη δυσκολία στην απόδοση ικανοποιητικών αποτελεσμάτων ταξινόμησης. Στις κλασσικές μεθόδους ταξινόμησης, όπως για παράδειγμα του παραλληλεπιπέδου ή της μέγιστης πιθανοφάνειας κλπ, δεν χρησιμοποιείται η πληροφορία των χωρικών σχέσεων μεταξύ των σημασιολογικών αντικειμένων της εικόνας, όπως επίσης η κλίμακα των αντικειμένων ή του σχήματος (Μαραγκουδάκης 2014).

Επειδή όμως τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία εξελίσσεται και οι ανάγκες αυξάνονται, παρατηρείται μια προσπάθεια για εύρεση νέων μεθόδων ταξινόμησης, καθώς τα τηλεπισκοπικά δεδομένα πλέον έχουν υψηλή ανάλυση και ακρίβεια, περιέχουν πλούσιο πληροφοριακό υπόβαθρο και επιβαρύνουν τη διαδικασία αυτόματου χαρακτηρισμού των μεμονωμένων εικονοστοιχείων. Και επειδή, όπως αναφέρθηκε πριν, οι κλασσικές μέθοδοι ταξινόμησης δεν εκμεταλλεύονται όλες τις πληροφορίες των εικόνων πέρα των φασματικών τους ιδιοτήτων, δεν μπορεί να δημιουργηθεί μια αυτοματοποιημένη μέθοδος που θα επιτυγχάνει τη δημιουργία θεματικών χαρτών γης και την εξοικονόμηση χρόνου (Καραγιάννης, 2011).

Έτσι για όλους τους παραπάνω λόγους, δημιουργήθηκε μια νέα πρωτοποριακή μέθοδος ψηφιακής ανάλυσης και ταξινόμησης της εικόνας, η οποία ονομάζεται αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας ή αλλιώς O.B.I.A (Object Based Image Analysis). Στα πλαίσια της ανάλυσης αυτής η τηλεπισκοπική ανάλυση λαμβάνεται υπόψη σαν ένα σύνολο ομογενών περιοχών-αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι πληροφορίες που χρειάζονται για την ανάλυση των εικόνων δεν θα παρθούν από ένα μεμονωμένο εικονοστοιχείο, όπως όλες οι προηγούμενες μέθοδοι, αλλά από μια ομάδα εικονοστοιχείων, που ονομάζεται “αντικείμενο” και δημιουργείται βάσει κάποιων συγκεκριμένων κριτηρίων που επιλέγει ο χρήστης (Addink et al., 2012).

2.5.2. Λογισμικό eCognition

Η υλοποίηση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης υλοποιείται στο λογισμικό eCognition. Το λογισμικό αυτό διατίθεται από τη γερμανική εταιρία DEFiNiENS Imaging GmbH (www.definies.com) και η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν η 9.0. Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου πακέτου έγκειται στο γεγονός ότι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προχωρήσει στη δημιουργία μίας βάσης γνώσης με λεπτομερέστερες και πιο πολύπλοκες περιγραφές για εννοιολογικές (θεματικές) πλέον κατηγορίες εδαφοκάλυψης, συνδυάζοντας μία πληθώρα διαδικασιών (αλγορίθμων) που παρέχει το λογισμικό (Δερζέκος, 2007). Στο λογισμικό eCognition η ανάλυση εικόνας βασίζεται σε γειτονικές, ομογενείς περιοχές της εικόνας οι οποίες δημιουργούνται από μια αρχική κατάτμηση της εικόνας. Συνδέοντας όλες αυτές τις περιοχές το περιεχόμενο της εικόνας αναπαρίσταται από ένα δίκτυο αντικειμένων. Αυτά τα αντικείμενα δρουν ως δομικοί λίθοι για την επακόλουθη ανάλυση εικόνας και την ταξινόμηση. Σε σύγκριση με τα εικονοστοιχεία, τα αντικείμενα αυτά εμπεριέχουν πολύ πιο χρήσιμη πληροφορία. Για το λόγο αυτό μπορούν να χαρακτηριστούν από πολύ περισσότερες ιδιότητες απ' ότι απλά φασματικές ή παράγωγες φασματικών, όπως είναι το σχήμα τους, η υφή τους και οι γειτνιασίες τους.

Στο λογισμικό eCognition η ανάλυση εικόνας βασίζεται σε γειτονικές ομογενείς περιοχές της εικόνας, οι οποίες δημιουργούνται από μια αρχική κατάτμηση της εικόνας. Η εισαγωγή της

βάσει γνώσης για τον ορισμό των κατηγοριών, γίνεται με εύκολο και διαφανή τρόπο, μέσω της ασαφούς λογικής (fuzzy logic), που προσαρμόζεται καλύτερα στη φυσική πραγματικότητα από την ταξινόμηση με απόλυτα όρια (Καλαματάς, 2014). Επιπλέον, οι ιδιότητες σε ένα αντικειμενοστραφές σύστημα ανάλυσης εικόνας μπορούν να αφορούν το χρώμα, το σχήμα, την υφή, τη σχέση του αντικειμένου με το περιβάλλον του, την τοπολογία του με άλλες κατηγορίες κ.α. Οι κατηγορίες που δημιουργούνται μπορούν να οργανωθούν σε ευρύτερες εννοιολογικές (θεματικές) ομάδες, που αφορούν στο χώρο ή στην εδαφοκάλυψη, μέσω αντικειμενοστραφούς αναπαράστασης.

Οι αλγόριθμοι κατάτμησης χρησιμοποιούνται για να χωρίσουν την εικόνα, η οποία αντιπροσωπεύεται από το σύνολο των εικονοστοιχείων ή από συγκεκριμένα αντικείμενα άλλων πεδίων σε μικρότερα αντικείμενα ή ακόμα και να συνενώσει μικρά αντικείμενα σε μεγαλύτερα (Μιχαηλίδου, 2011). Στο συγκεκριμένο πακέτο, σημαντικό ρόλο αποτελεί και ο συνδυασμός διαφορετικών επιπέδων κατάτμησης και ταξινόμησης, των οποίων οι διαδικασίες δεν αποτελούν μία μονόπλευρη σειρά διαδικασιών αλλά αντιθέτως, είναι διαδικασίες κυκλικές και αλληλένδετες και επαναλαμβάνονται έως ότου καταλήξουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Δηλαδή, ένα επίπεδο μπορεί να ταξινομηθεί με βάση την ταξινόμηση ενός ανώτερου ή κατώτερου ιεραρχικά επιπέδου, όπως επίσης αν κάποιες κατηγορίες ταξινομούνται καλύτερα σε ένα υψηλότερο ιεραρχικά επίπεδο, ενώ άλλες σε κατώτερο, τα δύο αυτά επίπεδα μπορούν να συνδυαστούν (Δερζέκος, 2007).

Τέλος, το πακέτο του eCognition συνεργάζεται εύκολα με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), επειδή τα αποτελέσματα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν υπό μορφή πολυγώνων. Επιπλέον, η όλη διαδικασία ανάλυσης μιας εικόνας μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα μικρού μεγέθους ψηφιακό πρωτόκολλο και να εφαρμοστεί σε άλλες παρόμοιες εικόνες, διατηρώντας σταθερές τις συνθήκες επεξεργασίας.

2.5.3. Κατάτμηση

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση έχει ως αρχικό στάδιο την κατάτμηση και ο στόχος της είναι ο χωρισμός της εικόνας σε ομοιογενή τμήματα ή αλλιώς αντικείμενα, μέσω μιας τεχνικής συγχώνευσης τμημάτων της. Τα αντικείμενα αυτά αποτελούνται από ένα εικονοστοιχείο και στη συνέχεια συνενώνονται σε ένα σύνολο πρωτογενών αντικειμένων, κάθε ένα από τα οποία αποτελεί μία εννοιολογική ενότητα εικονοστοιχείων με παρόμοιες φασματικές ιδιότητες. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το επιθυμητό μέγεθος των τελικών αντικειμένων, την επιτρεπόμενη φασματική ανομοιογένεια/ομοιογένεια που θα παρουσιάζουν αυτά αλλά και το πόσο συμπαγή και λεία θα είναι σχηματικά (Δερζέκος, 2002).

Το λογισμικό eCognition (έκδοση 9.0) διαθέτει μια μεγάλη λίστα αλγορίθμων κατάτμησης. Πιο συνηθισμένος και αυτός που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία ήταν ο αλγόριθμος κατάτμησης πολλαπλής κλίμακας (multiresolution segmentation). Ο αλγόριθμος αυτός λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα των δεδομένων, καθώς επίσης και τη διαφορετική φύση των αντικειμένων. Επίσης, ομογενοποιεί τα στοιχεία της εικόνας βάσει της ομοιογένειας των διαιρεμένων τμημάτων και της ετερογένειας των γειτονικών περιοχών. Κατά τη διαδικασία της κατάτμησης, γίνεται συνάθροιση των γειτονικά επαπτόμενων εικονοστοιχείων σε αντικείμενα, λαμβάνοντας υπόψη τόσο φασματικά όσο και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, μέσα από μια διαδικασία ομαδοποίησης με αλληλουχίες ζευγών (Κούλη, 2014).

Τα κριτήρια της κατάτμησης μιας εικόνας εξαρτώνται συνήθως από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που διαθέτει ο χρήστης και από το τι είδους αποτέλεσμα καλείται να εξάγει. Οι δύο αυτοί παράγοντες καθορίζουν το μέγεθος των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν, καθώς το βάθος της ανάλυσης και επεξεργασίας της εικόνας, η ευκρίνεια και ο διαφορετικός αριθμός φασματικών καναλιών των δορυφόρων επηρεάζουν την κλίμακα των αντικειμένων. Αυτά τα κριτήρια αφορούν τη φασματική ομοιογένεια, το μέγεθος, το σχήμα και το συμπαγές ή λείο των αντικειμένων (Αϊναλή, 2012). Η λογική που διέπει την κατάτμηση μπορεί να είναι είτε top-down είτε bottom-up. Η από πάνω προς τα κάτω (top-down) κατάτμηση οδηγεί σε διάσπαση των περιοχών που δεν πληρούν τα κριτήρια κατάτμησης, ενώ η από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) διαιρεί ολόκληρη την εικόνα συγχωνεύοντας εικονοστοιχεία που βάσει των τιθέμενων κριτηρίων εμφανίζουν υψηλό βαθμό καταλληλότητας για συγχώνευση και συγκροτούν ενότητα (Παπαγεωργίου, 2007).



Εικόνα 13: Η ροή εφαρμογής των βασικών διαδικασιών στην αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας (Πηγή :Anders et. al. 2010)

Οι παράμετροι της κατάτμησης παρουσιάζονται παρακάτω:

- Παράμετρος κλίμακας (scale parameter)

Η παράμετρος κλίμακας ρυθμίζει το επιθυμητό μέγεθος και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των παραγόμενων αντικειμένων. Το μέγεθος των αντικειμένων μπορεί να κυμανθεί από τις διαστάσεις ενός μεμονωμένου εικονοστοιχείου έως τις διαστάσεις ολόκληρης της εικόνας. Σχεδόν όλες οι ιδιότητες των αντικειμένων της εικόνας εξαρτώνται από την παράμετρο κλίμακας. Μόνο οι δομές σε παρόμοιες κλίμακες είναι συγκρίσιμες ποιοτικά και ως προς τις ιδιότητές τους, για αυτό τα αντικείμενα που εξάγονται από την κατάτμηση είναι παρόμοιου σχετικά μεγέθους.

- Παράμετρος χρώματος (color criterion)

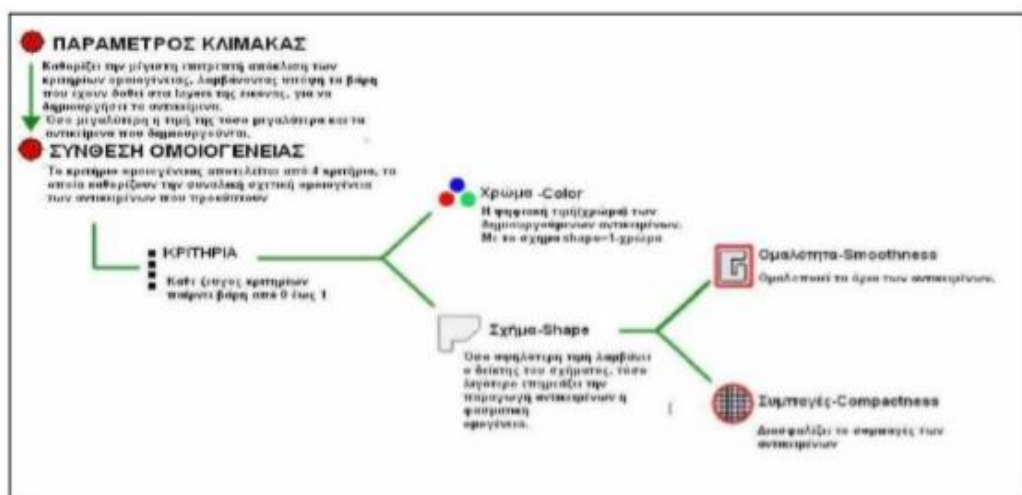
Η παράμετρος χρώματος ρυθμίζει το βάρος που θα δοθεί στα φασματικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων αντικειμένων. Το φασματικό κριτήριο περιλαμβάνει τιμές από 0.1 έως 1. Δεν μπορεί να έχει τιμή μικρότερη από 0.1, επειδή χωρίς τις φασματικές πληροφορίες εικόνας, τα αντικείμενα που θα προκύψουν επίσης δεν θα έχουν φασματικές πληροφορίες.

- Παράμετρος σχήματος (color criterion)

Η παράμετρος σχήματος ρυθμίζει το βάρος που θα δοθεί στο τελικό σχήμα των παραγόμενων αντικειμένων και είναι συμπληρωματική της παραμέτρου χρώματος, έχοντας σαν άθροισμα και οι δύο παράμετροι την τιμή 1. Χωρίζεται σε δύο επιμέρους κριτήρια που αφορούν το συμπαγές του σχήματος (compactness) ή αντίθετα στο λείο της οριογραμμής (smoothness). Το πρώτο συμβάλει στη δημιουργία αντικειμένων με συμπαγές σχήμα, δηλαδή όχι μακρόστενα αντικείμενα, ενώ το δεύτερο συμβάλει στη δημιουργία αντικειμένων με πιο λείο περίγραμμα.

- Βάρη καναλιών (layers weights)

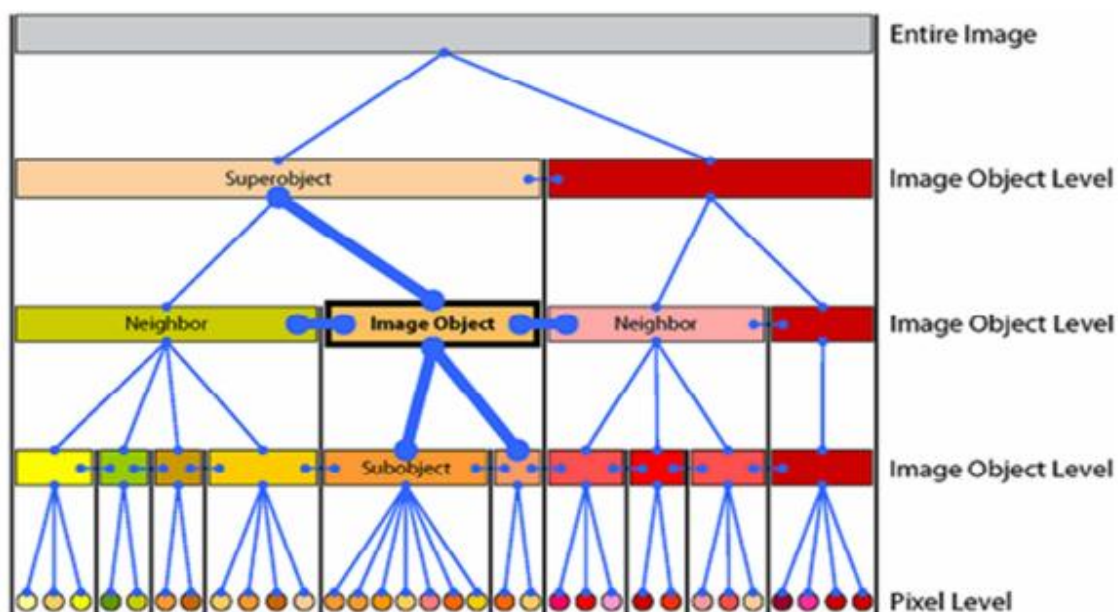
Τα βάρη καναλιών ρυθμίζουν τον βαθμό συμμετοχής της φασματικής πληροφορίας του κάθε καναλιού της εικόνας. Η παράμετρος αυτή καθορίζεται από το αποτέλεσμα που θέλει να βγάλει ο χρήστης και από την πληροφορία του κάθε καναλιού που χρειάζεται από αυτό. Όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος που δίνεται σε ένα κανάλι, τόσο περισσότερη πληροφορία χρησιμοποιείται από αυτό. Επίσης, υπάρχει και η δυνατότητα αποκλεισμού καναλιών με την ανάθεση μηδενικού βάρους. Τέλος, είναι δυνατή και η εισαγωγή θεματικών επιπέδων, ψηφιακών μοντέλων εδάφους και των παραγώγων του, αντί για φασματικά κανάλια.



Εικόνα 14: Διάγραμμα κατά την κατάτμηση σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης (Πηγή: Κούλη, 2014)

2.5.4. Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων

Στο eCognition εφαρμόζονται διάφοροι αλγόριθμοι κατάτμησης που επιτρέπουν στον χρήστη να εισάγει ανώτερα, κατώτερα και ενδιάμεσα επίπεδα αντικειμένων από τα υφιστάμενα. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπεται η δημιουργία ενός ιεραρχικού δικτύου αντικειμένων το οποίο αναπαριστά την πληροφορία της εικόνας με διαφορετική χωρική ανάλυση ανάλογα τις παραμέτρους του αλγορίθμου. Το ιεραρχικό δίκτυο είναι έτσι δομημένο ώστε κάθε αντικείμενο να γνωρίζει ποια είναι τα γειτονικά του, το περιεχόμενό τους και ποια είναι τα υπο-αντικείμενα και τα υπερ-αντικείμενά του. Συνεπώς, μπορούν να οριστούν οι σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πληροφοριών για όλη την εικόνα (Φαναρά, 2011).



Εικόνα 15: Το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων της εικόνας (Πηγή: Μαραγκουδάκης 2014)

Κάθε κατάτμηση χρησιμοποιεί τα αντικείμενα της εικόνας τα οποία ανήκουν σε κατώτερο επίπεδο ως βάση για την ακόλουθη συνένωση των αντικειμένων σε νέα τμήματα της εικόνας. Αυτή η συνένωση περιορίζεται από τα όρια των υπερ-αντικειμένων, τα οποία τηρούνται αυστηρά και γι' αυτό δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένα επίπεδο με μεγαλύτερα αντικείμενα από αυτά που περιέχονται στο ανώτερό του (Μιχαηλίδου, 2011). Συνεπώς, διαφαίνεται ότι η αλληλουχία με την οποία κατατμούνται τα επίπεδα είναι σημαντική (Μαραγκουδάκης, 2014).

Το εμβαδόν των υπερ-αντικειμένων καθορίζεται από το άθροισμα των εμβαδών των υπο-αντικειμένων που περιέχουν, το ίδιο και για τα υπο-αντικείμενα, καθώς το δίκτυο είναι τοπολογικά ορισμένο. Πρακτικά αυτό το άθροισμα υλοποιείται εύκολα, αφού στο συγκεκριμένο λογισμικό όλες οι τεχνικές κατάτμησης είναι αλγόριθμοι συνένωσης περιοχών. Κάθε επίπεδο δομείται βάσει των απευθείας υπο-αντικειμένων του, δηλαδή τα υπο-αντικείμενα ενός επιπέδου ενώνονται σε μεγαλύτερα στο επόμενο επίπεδο (Ρέντζιος, 2009). τους. Επιπλέον, τα διάφορα επίπεδα μπορούν να κατατμηθούν με βάση διαφορετικά δεδομένα, λόγω χάρη ένα ανώτερο επίπεδο μπορεί να δημιουργηθεί με βάση ένα θεματικό επίπεδο ενώ ένα κατώτερο με βάση τα φωτοερμηνευτικά δορυφορικά δεδομένα (Μαραγκουδάκης, 2014).

2.5.5. Ταξινόμηση













Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της κατάτμησης, τα διαθέσιμα προς ανάλυση στοιχεία, είναι ένα πεπερασμένο πλήθος αντικειμένων και όχι πλέον ένα τεράστιο σύνολο μεμονωμένων εικονοστοιχείων. Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στην επόμενη διαδικασία που ακολουθεί, αυτή της ταξινόμησης. Σκοπός της ταξινόμησης είναι η αυτόματη κατηγοριοποίηση όλων των αντικειμένων μιας εικόνας σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης. Μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης είναι δυνατή η ταξινόμηση διαφόρων τύπων αντικειμένων, ακόμα και υπο-αντικειμένων.

Το λογισμικό eCognition παρέχει δύο τρόπους ορισμού των συνθηκών των ιδιοτήτων των αντικειμένων:

- α) τη χρήση κατωφλιών, όπου με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται εάν τα αντικείμενα τηρούν τις συνθήκες ορίων των ιδιοτήτων των αντικειμένων ή όχι
- β) τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής, όπου με αυτόν τον τρόπο ορίζεται ο βαθμός συμμετοχής που πρέπει να πληροί η εκάστοτε ιδιότητα του αντικειμένου

Για την ταξινόμηση ασαφούς λογικής, υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί. Ο πρώτος είναι με τη συλλογή χαρακτηριστικών δειγμάτων (samples), που ο χρήστης ορίζει για κάθε κλάση, είτε με επίγειους ελέγχους, είτε με φωτοερμηνεία. Η ταξινόμηση αυτή εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbor) ή του Τυπικού Εγγύτερου Γείτονα (Standard Nearest Neighbor). Στη συνέχεια, τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας ταξινομούνται με βάση τα δείγματα αυτά, με τη χρήση του αλγόριθμου "Hierarchical Classification". Ο δεύτερος τρόπος γίνεται με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής (membership function). Οι συναρτήσεις συμμετοχής ορίζονται από το χρήστη και αφορούν τις ιδιότητες των αντικειμένων. Με αυτόν τον τρόπο σε κάθε αντικείμενο υπολογίζεται η τιμή συμμετοχής του σε κάθε κατηγορία και κατατάσσεται στην κλάση στην οποία το αντικείμενο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής.

Ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων που παρέχεται αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τις δυνάμεις του όσο αφορά την ταξινόμηση. Συνδυάζει την υπολογιστική ισχύ που προσφέρει ο υπολογιστής στους φασματικούς διαχωρισμούς και υπολογισμούς καθώς και τις δυνατότητες του χρήστη, ο οποίος δίνει σημασία στα σχήματα και στη θέση, καθώς κάνει χρήση της εμπειρίας όταν θεωρείται απαραίτητη.

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

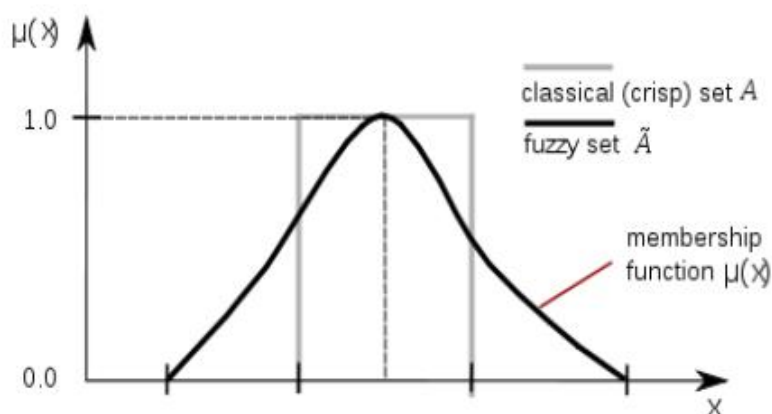
Εικόνα 16: Οι συναρτήσεις συμμετοχής στο eCognition (Πηγή: Μαραγκουδάκης, 2014)

Συμπερασματικά, η ταξινόμηση μέσω του λογισμικού eCognition είναι η τοποθέτηση κάποιων αντικειμένων σε μια κλάση, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που της έχουν δοθεί. Το λογισμικό προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων από ομοιογενή ως προς το τόνο αντικείμενα της εικόνας, τα οποία κάθε στιγμή γνωρίζουν τόσο τους γείτονες τους στο ίδιο επίπεδο, όσο και τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από αυτά (Μαραγκουδάκης, 2014). Ταυτόχρονα γίνεται υπολογισμός στατιστικών παραμέτρων που αφορούν τις τιμές χρώματος των αντικειμένων (μέσες τιμές τόνου, τυπικές αποκλίσεις, υφή κ.ά.), αλλά και των ιδιοτήτων που αφορούν στο σχήμα των αντικειμένων (προσανατολισμός, μήκος, πλάτος, επιμήκυνση, καμπυλότητα κλπ.). Μέσω αυτών των στατιστικών μεγεθών, της ιεραρχίας κλάσεων που ορίζει ο χρήστης με βάση, τόσο τις εννοιολογικές όσο και τις φασματικές δομές που χρειάζεται να ταξινομήσει, αλλά και των χωρικών – φασματικών σχέσεων των κλάσεων μεταξύ τους, πραγματοποιείται η ταξινόμηση των αντικειμένων (Αργυροπούλου, 2013).

2.5.6. Ασαφής λογική – Συναρτήσεις συμμετοχής

Η ασαφής λογική είναι ένας αλγόριθμος ταξινόμησης, ο οποίος επιτρέπει στα αντικείμενα να ανήκουν σε δύο κατηγορίες και να ταξινομούνται σε αυτή που έχει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής, σε αντίθεση με τους κλασικούς αλγόριθμους ταξινόμησης που περιορίζουν ένα τμήμα να ανήκει αποκλειστικά σε μία κατηγορία ή να μην ανήκει σε καμία. Η βασική ιδέα είναι να αντικαταστήσει τις δύο απόλυτες λογικές εκφράσεις «ναι» και «όχι» με ένα συνεχές σύνολο τιμών $[0,1]$, όπου το 0 αντιστοιχεί στο απολύτως όχι και το 1 στο απολύτως ναι. Οι ενδιάμεσες τιμές αναπαριστούν μια περισσότερο ή λιγότερο αβέβαιη δήλωση του «ναι» και «όχι» (Μαραγκουδάκης, 2014).

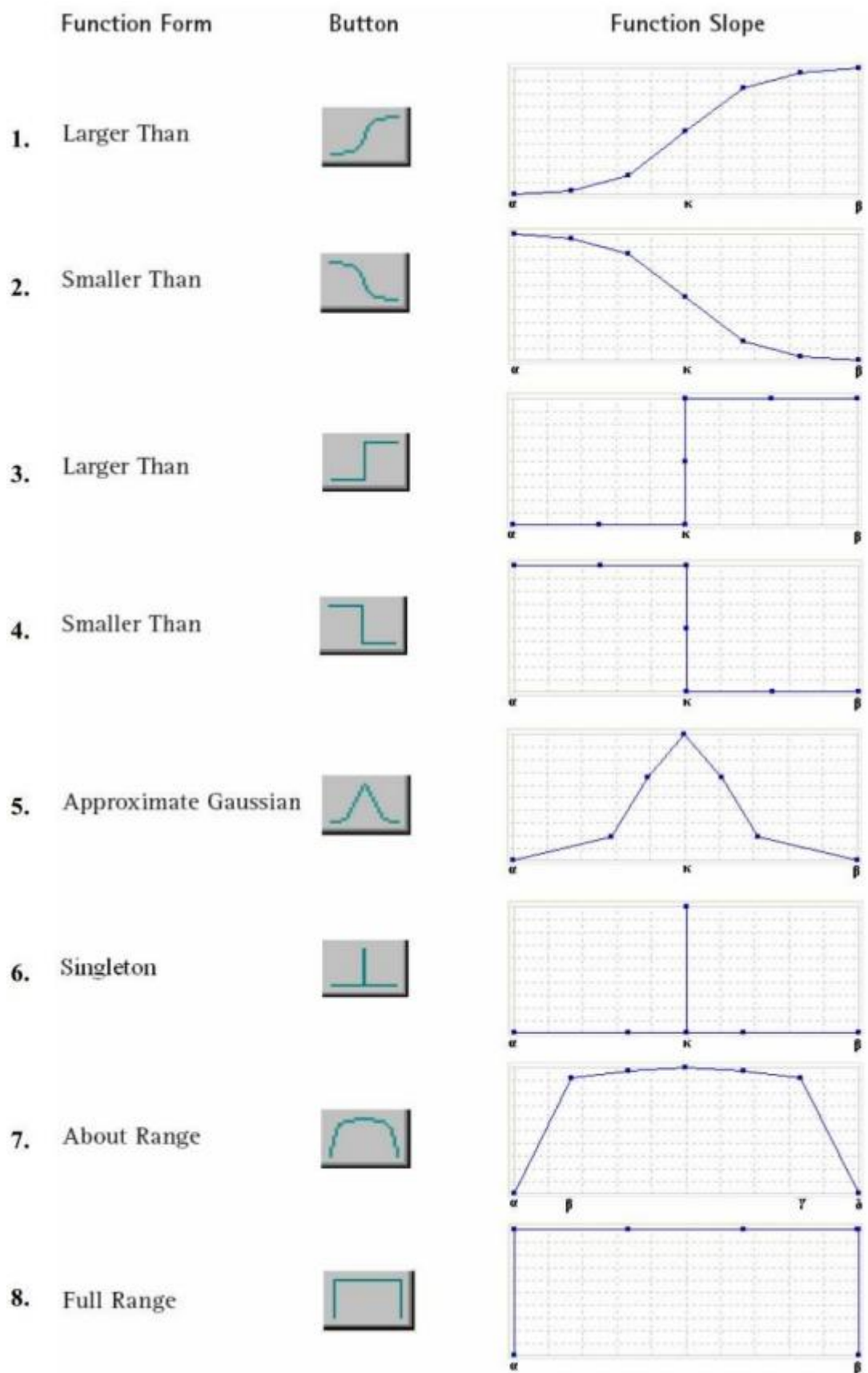
Οι συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions), οι οποίες ορίζουν το βαθμό συμμετοχής ενός χαρακτηριστικού για την περιγραφή μιας κατηγορίας στο διάστημα ασάφειας $[0,1]$, είναι εύκολες στην δημιουργία τους και προσαρμόζονται εξίσου εύκολα και αποτελεσματικά για κάθε χαρακτηριστικό. Προσφέρουν επίσης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



Εικόνα 17: Συνάρτηση συμμετοχής (Πηγή: wikipedia)

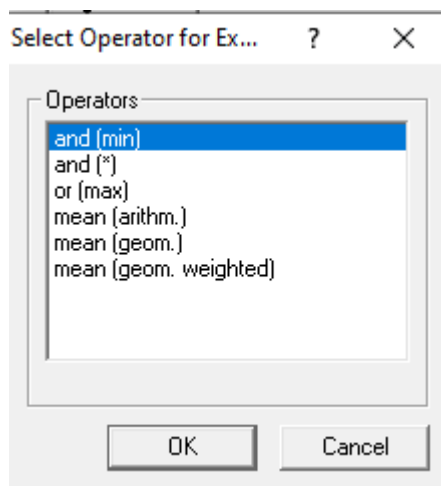
Οι βασικότερες συναρτήσεις που περιλαμβάνονται στο λογισμικό του eCognition είναι οι εξής:

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



Εικόνα 18: Οι συναρτήσεις συμμετοχές στο eCognition

Για να ενταχθούν τα αντικείμενα στις σωστές κατηγορίες με καλύτερα αποτελέσματα συνήθως χρησιμοποιούνται πάνω από ένας μόνο κανόνας. Για το λόγο αυτό υπάρχουν λογικοί τελεστές όπως «and», «or», «not», «mean». Ο τελεστής «and» εισάγεται όταν για να ταξινομηθεί ένα αντικείμενο σε μια συγκεκριμένη κατηγορία πρέπει να πληροί και τους δύο κανόνες ταυτόχρονα, ενώ ο τελεστής «or» εισάγεται όταν για να ταξινομηθεί ένα αντικείμενο σε μια συγκεκριμένη κατηγορία πρέπει να πληροί έναν από αυτούς. Ο τελεστής «not» αντιστρέφει την τιμή του βαθμού συμμετοχής μιας κατηγορίας και τέλος ο τελεστής «mean» υπολογίζει τον αριθμητικό μέσο όρο των βαθμών συμμετοχής.



Εικόνα 19: Οι λογικοί τελεστές στο eCognition

2.5.7. Ιεραρχία κατηγοριών/τάξεων

Στο λογισμικό eCognition πρώτα δημιουργούνται οι κατηγορίες στις οποίες θα ενταχθούν τα αντικείμενα και στη συνέχεια αποθηκεύονται στο παράθυρο διαλόγου “Class Hierarchy”. Η κλάση είναι μια θεματική κατηγορία όπου εκεί ανήκουν τα αντικείμενα που έχουν παρόμοια δομή, σχέσεις και συμπεριφορά και το σύνολο όλων των κλάσεων αποτελεί τον κύριο πυρήνα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης. Οι κλάσεις καθορίζονται από τις ανάγκες της έρευνας του κάθε χρήστη και από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που διαθέτει (Αϊναλή, 2012).

Η ιεραρχία των κατηγοριών αποτελεί το πλαίσιο που χρησιμοποιεί το λογισμικό για τη διατύπωση της γνωσιακής βάσης για την ταξινόμηση των αντικειμένων της εικόνας. Περιέχει όλες τις κατηγορίες ενός σχεδιαγράμματος ταξινόμησης, δομημένο σε μορφή ιεραρχίας (Batz and Shape, 2000). Οι σχέσεις που ορίζονται σε αυτήν έχουν διπλή σημασία, η μία αφορά στην κληροδοσία χαρακτηριστικών από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές και η άλλη τις εννοιολογικές ομάδες στις οποίες ανήκει η κάθε κατηγορία.

Οι σχέσεις αυτές περιγράφονται στα πεδία «Κληρονομιά» (Inheritance) και «Ομάδες» (Groups) αντίστοιχα. Το πεδίο “Inheritance” σχετίζεται με την άμεση απόκτηση ορισμένων χαρακτηριστικών, καθώς οι περιγραφές των κατηγοριών μεταφέρονται από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές της. Κάθε κατηγορία μπορεί να έχει μια υπό- ή υπέρ-κατηγορία και κατά συνέπεια να κληρονομήσει τις ιδιότητές από μια ή περισσότερες υπο-κατηγορίες (ή υπέρ-κατηγορίες). (Μιχαηλίδου, 2011).

2.5.8. Χαρακτηριστικά/Ιδιότητες (Features)

Το λογισμικό eCognition διαθέτει επίσης και άλλον ένα τρόπο για ταξινόμηση. Μπορεί να ενσωματώσει επιπλέον χαρακτηριστικά (δείκτες ή περιγραφές) για τα αντικείμενα, προσφέροντας στον χρήστη επιπλέον χρήσιμες πληροφορίες και λύσεις στην ταξινόμηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να αναφέρονται για παράδειγμα στο μέγεθος, το μήκος, την πυκνότητα, τις τυπικές αποκλίσεις των τιμών των καναλιών κλπ.

Τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται για την περιγραφή και ταξινόμηση των τάξεων, επιλέγονται βάσει των εκ των προτέρων γνωστών ιδιοτήτων των προς αναγνώριση αντικειμένων και με επισκόπηση των στατιστικών των ιδιοτήτων των αντικειμένων της εκάστοτε κατάτμησης και ταξινόμησης σε κατάλληλα γραφικά εργαλεία του λογισμικού (feature view). Επιλέγοντας διαφορετικά «κλειδιά» (features), το κάθε αντικείμενο παρουσιάζεται με διάφορες διαβαθμίσεις του γκρι, ανάλογα με τη συμμετοχή του στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό(feature) και έτσι μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα η διάκριση των κλάσεων.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται στο λογισμικό eCognition:

- **Mean**
Αφορά τη μέση τιμή όλων των εικονοστοιχείων που ορίζουν ένα αντικείμενο στα κανάλια του δορυφόρου.
- **Area**
Αφορά το εμβαδόν του κάθε αντικειμένου της εικόνας, το οποίο είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων που το απαρτίζουν. Οι τιμές του κυμαίνονται από το 0 έως το μέγεθος της εικόνας.
- **Length**
Αφορά το μήκος του αντικειμένου και ορίζεται ως η διαφορά των συντεταγμένων των ακραίων σημείων του.
- **Border length**
Αφορά το μήκος της πλευράς ενός αντικειμένου της εικόνας ορίζεται ως το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ των άκρων του αντικειμένου που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα ή βρίσκονται στην άκρη της εικόνας. Η διαφορά με το χαρακτηριστικό “μήκος” είναι ότι δεν υπολογίζεται το μέγιστο μήκος του αντικειμένου αλλά το άθροισμα των πλευρών που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα.
- **Length/Width**
Αφορά το λόγο του μέγιστου μήκους προς το μέγιστο πλάτος των αντικειμένων. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι πολύ χρήσιμο στην ανάδειξη μακρόστενων αντικειμένων, όπως είναι το οδικό δίκτυο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ενός αντικειμένου τόσο πιο μακρόστενο είναι.
- **Mean difference to scene**
Αφορά τη διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας με την μέση τιμή του συνόλου της εικόνας.
- **Density**
Αφορά το πόσο συμπαγές είναι ένα αντικείμενο. Υπολογίζεται από την περιοχή της εικόνας που καλύπτεται από το αντικείμενο διαιρούμενη με την ακτίνα του.

- **Distance to**
Αφορά την απόσταση του κέντρου του αντικειμένου μιας κατηγορίας με το κέντρο του πλησιέστερου αντικειμένου μιας άλλης προκαθορισμένης κατηγορίας. Τα αντικείμενα που βρίσκονται στη γραμμή που ενώνει τα δύο κέντρα θα πρέπει να ανήκουν στην προκαθορισμένη κατηγορία.
- **Standard deviation**
Αφορά την τυπική απόκλιση, η οποία υπολογίζεται από όλες τις ψηφιακές τιμές του συνόλου των εικονοστοιχείων που διαμορφώνουν το αντικείμενο για το εκάστοτε επίπεδο.
- **Main direction**
Αφορά την κύρια διεύθυνση που ορίζεται από την κατεύθυνση της μεγαλύτερης εκ των δύο ιδιοτιμών του πίνακα συνδιακύμανσης της χωρικής κατανομής του αντικειμένου της εικόνας.
- **Eliptic fit**
Αφορά το πόσο καλά ένα αντικείμενο προσαρμόζεται σε μια έλλειψη παρόμοιων διαστάσεων και αναλογιών. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 1, με το 0 να δηλώνει μηδενική προσαρμογή και το 1 πλήρη.
- **Asymmetry**
Αφορά την ασυμμετρία ενός αντικειμένου που είναι ανάλογη του μήκους του. Κάθε αντικείμενο μιας εικόνας προσεγγίζεται από έλλειψη. Έτσι υπολογίζεται από το λόγο των μηκών της κύριας και δευτερεύουσας ακτίνας της έλλειψης.
- **Relative border to**
Αφορά το μήκος των κοινών ορίων γειτονικών τμημάτων. Αν η σχετική γεινίαση ενός αντικειμένου με τα αντικείμενα μίας άλλης κατηγορίας είναι ίση με τη μονάδα, το αντικείμενο αυτό περικλείεται εξ' ολοκλήρου από τα αντικείμενα της άλλης τάξης.
- **Relative are of sub objects**
Αφορά το ποσοστό από το εμβαδόν ενός αντικειμένου που καλύπτεται από μια συγκεκριμένη κατηγορία σύμφωνα με τα ταξινομημένα υπο-αντικείμενα ενός επιπέδου. Οι τιμές που δέχεται είναι από 0 έως 1, με τη μονάδα να σημαίνει ότι το εξεταζόμενο τμήμα είναι πανομοιότυπο με το υπό-αντικείμενο του.
- **Existence of super objects**
Αφορά τον έλεγχο για την ύπαρξη του υπερ-αντικειμένου σε μια κατηγορία. Και σε αυτό το χαρακτηριστικό το πεδίο τιμών είναι από 0 έως 1, με τη μονάδα να δηλώνει την ύπαρξη του υπερ-αντικειμένου.

2.6. Λογισμικά

2.6.1. Το λογισμικό Saga

Το SAGA GIS (System Automated Geoscientific Analyses) είναι ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών, ανοικτού κώδικα, που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία χωρικών δεδομένων. Σε συνδυασμό με άλλα GIS λογισμικά, βοηθάει στην ανάπτυξη καλύτερων διανυσματικών δεδομένων. Διαθέτει επίσης πολλές βιβλιοθήκες (module library), τόσο για την επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους όσο και για την παραγωγή των «προϊόντων» τους, όπως για παράδειγμα ο χάρτης κλίσης, προσανατολισμού, καμπυλότητας, άλλα και για δείκτες, όπως και ο Terrain Ruggedness Index (TRI) κλπ.

Στην παρούσα εργασία, από το λογισμικό SAGA QGIS μέσω των γεωαλγορίθμων δημιουργήθηκαν τα layers των κλίσεων (slopes), του δείκτη τραχύτητας του εδάφους (TRI), του δείκτη έκθεσης στο άνεμο (wind exposition index), του προσανατολισμού (aspect) και οι κλίσεις των κλίσεων (SOS). Τα παραπάνω layers δημιουργήθηκαν δύο φορές, μία για την πρώτη επιστροφή του Lidar (Zmax) και μία για την τελευταία επιστροφή του Lidar (Zmin). Τέλος, τα layers αυτά εισήχθησαν στο eCognition, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην απόδοση ιδιοτήτων για την περιγραφή των αντικειμένων.

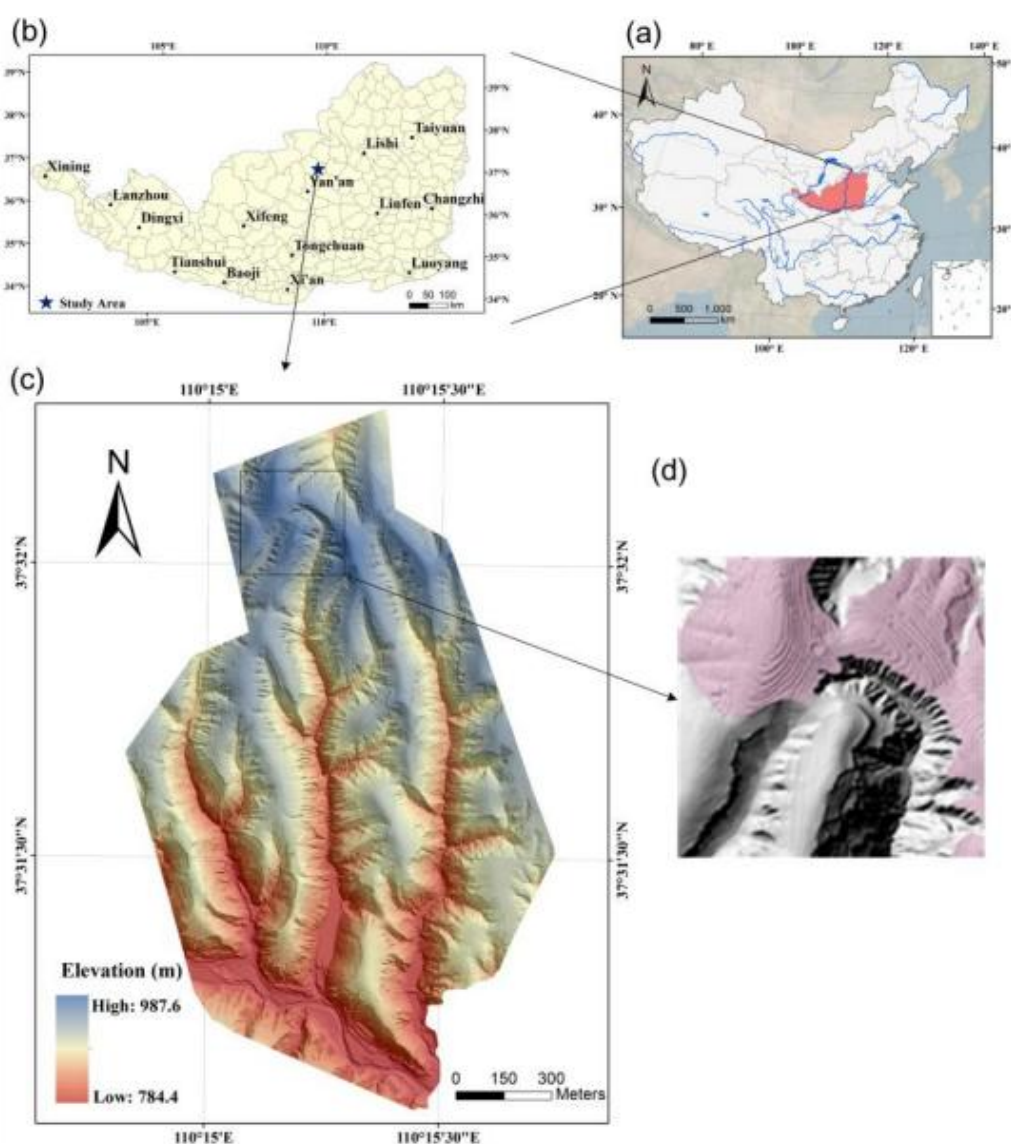
2.6.2. Το λογισμικό Quantum GIS

Το Quantum GIS (QGIS) είναι ένα λογισμικό GIS ανοικτού κώδικα, όπου μπορεί να γίνει διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση και σύνθεση χαρτών. Διαθέτει αρχιτεκτονική με πρόσθετα (plugins) και ενσωματώνει ισχυρές αναλυτικές δυνατότητες μέσω της ολοκλήρωσής του με το GRASS, το ORFEO toolbox, το SAGA, την PostgreSQL/PostGIS, την GDAL και άλλα λογισμικά ή βιβλιοθήκες. Είναι συμβατό με τα πρότυπα του OGC (WMS, WFS) και υποστηρίζει πολλαπλά διανυσματικά, εικονιστικά πρότυπα αρχείων, πολλαπλούς τύπους βάσεων δεδομένων και αντίστοιχη λειτουργικότητα για αυτά.

2.7. Μελέτη για εξαγωγή αναβαθμίδων με χρήση ΟΒΙΑ

Μια προηγούμενη μελέτη για αναβαθμίδες με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνων, αφορούσε το οροπέδιο Loess, μια περιοχή που αντιμετωπίζει σοβαρή διάβρωση του εδάφους λόγω του δομημένου εδάφους και του χαλαρού υποστρώματος. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στην Κίνα και το περιεχόμενο της είναι η γεωργική παραγωγή. Περίπου το 80% αφορά γεωργικές εκτάσεις σε πλαγιές και είναι η κύρια πηγή απορροής επιφανειακών υδάτων.

Η μελέτη αυτή παρουσιάζει μια αυτόματη μέθοδο εξαγωγής αναβαθμίδων χρησιμοποιώντας ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα με ανάλυση 1 μέτρου (DEM) και πολυφασματικές εικόνες από τον δορυφόρο WorldView-3 με ανάλυση 0.3 μέτρα ως βοηθητικές πληροφορίες για την αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων (ΟΒΙΑ).



Εικόνα 20: (α) Η τοποθεσία της περιοχής μελέτης, (β) Η τοποθεσία της περιοχής μελέτης και οι πόλεις που βρίσκονται στην περιοχή, (γ) το Ψ.Μ.Ε. της περιοχής και (δ) με ροζ χρώμα απεικονίζονται οι αναβαθμίδες

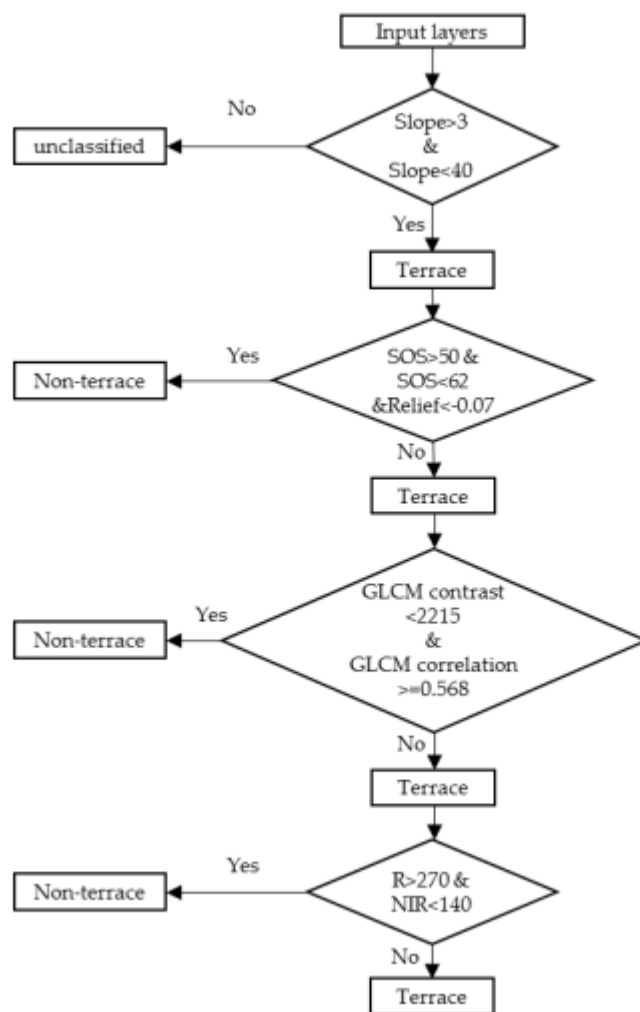
Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο ήταν οι εξής:

- Ο δείκτης θετικών και αρνητικών τιμών του εδάφους, όπου ορίζονται οι κρίσιμες τιμές που αποτελούν το όριο και όσες τιμές του εδάφους βρίσκονται από το όριο έχουν θετικές τιμές και όσες βρίσκονται κάτω έχουν αρνητικές. Γενικά αρνητικές τιμές παίρνουν οι περιοχές που αποτελούνται από απότομες πλαγιές, υψηλή διάβρωση και ασθενές φως, δηλαδή περιοχές που δεν είναι κατάλληλες για αναβαθμίδες. Ο τύπος του δείκτη είναι: $PN = H_{max} - H_{mean}$, όπου το H_{max} αναφέρεται στο μέγιστο υψόμετρο μιας περιοχής και το H_{mean} στο μέσο υψόμετρο της ίδιας περιοχής.
- Η συσσωρευτική καμπυλότητα η οποία ορίζεται από τον τύπο: $AC = K_p - K_c$ όπου K_p είναι η προφίλ καμπυλότητα και K_c η επίπεδη καμπυλότητα.
- Ο δείκτης διακύμανσης του υψομέτρου, όπου ο τύπος του είναι: $CVE = \frac{SD}{\bar{z}}$, όπου το SD είναι η τυπική απόκλιση ενός εικονοστοιχείου και το \bar{z} το μέσο υψόμετρο της περιοχής
- Οι κλίσεις (slopes) της περιοχής
- Οι κλίσεις των κλίσεων (SOS) της περιοχής
- Ο δείκτης τραχύτητας του εδάφους (TRI) της περιοχής

Η κατάτμηση βασίστηκε στους 6 παραπάνω δείκτες με ίδια τιμή βάρους σε όλες ίση με 1. Η παράμετρος κλίμακας είχε τιμή 25. Τα κύρια χαρακτηριστικά της ταξινόμησης με βάση τα Ψ.Μ.Ε. προέρχονταν από τους παράγοντες εδάφους και τα χαρακτηριστικά της υψής. Οι κανόνες εξαγωγής που βασίζονται σε Ψ.Μ.Ε. δημιουργήθηκαν από τα χαρακτηριστικά ταξινόμησης με συνολική ακρίβεια ταξινόμησης 89,96%. Χρησιμοποιήθηκε η κόκκινη ζώνη και η εγγύς υπέρυθρη ζώνη εικόνων για να αποκλειστεί η οικοδομική γη, η οποία συγχέεται εύκολα με μικρές αναβαθμίδες. Ως αποτέλεσμα, η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης αυξήθηκε στο 94%.

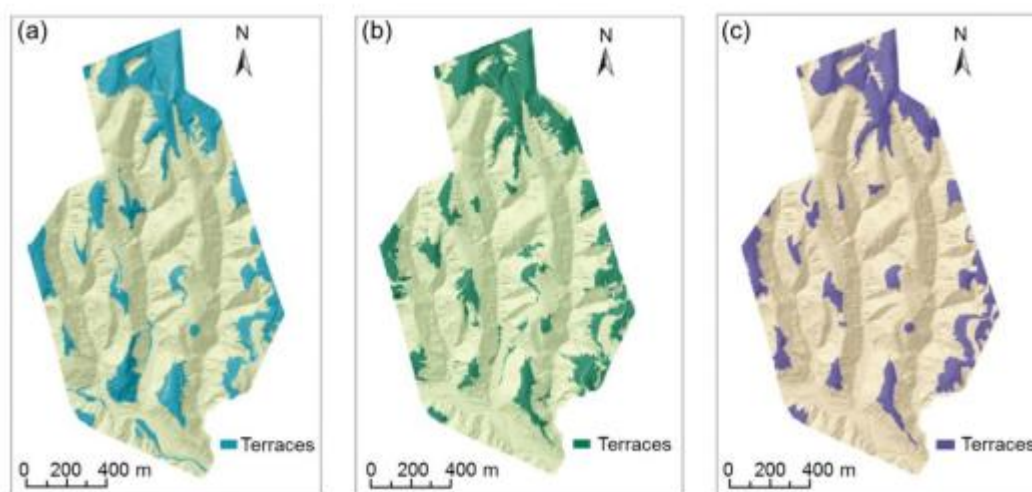
Η προτεινόμενη μέθοδος εξασφαλίζει μια ολοκληρωμένη εξέταση του εδάφους, της υψής, του σχήματος και των χαρακτηριστικών του φάσματος, αποδεικνύοντας τεράστιες δυνατότητες στην λοφώδη περιοχή Loess με παρόμοιο πολύπλοκο έδαφος και ποικίλες καλύψεις βλάστησης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των αναβαθμιδών της περιοχής:



Εικόνα 21: Οι κανόνες της ταξινόμησης της μεθόδου

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου:



Εικόνα 22: (α) Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην περιοχή μελέτης, (β) Η κατανομή των αναβαθμίδων με βάση τα Ψ.Μ.Ε. και (γ) Η πραγματική κατανομή των αναβαθμίδων της περιοχής

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

3.1. Περιοχή μελέτης

Η Ύδρα αποτελεί νησί του νησιωτικού συμπλέγματος του Αργοσαρωνικού του Αιγαίου πελάγους. Η έκταση της είναι 49586 τετραγωνικά χιλιόμετρα και το μέγιστο υψόμετρο του νησιού είναι τα 598 μέτρα (όρος Έρωσ). Η πρωτεύουσα της είναι η Ύδρα που αποτελεί τον μοναδικό οργανωμένο οικισμό του νησιού με 1.948 μόνιμους κατοίκους. Η πόλη της Ύδρας έχει ανακηρυχθεί διατηρητέα και απαγορεύονται τα τροχοφόρα. Είναι απλωμένη σε δύο βραχώδεις λόφους και αποτελείται από παραδοσιακά σπίτια με κεραμιδένιες σκεπές, έντονες μπλε πόρτες και παράθυρα.

Η Ύδρα συνδέεται ακτοπλοϊκώς, όλο το έτος, με τα υπόλοιπα νησιά του Αργοσαρωνικού, καθώς και με τα Μέθανα, την Ερμιόνη, το Πόρτο Χέλι και το Ναύπλιο. Δεν διαθέτει αεροδρόμιο και ίσως ποτέ να μην αποκτήσει εξαιτίας του ορεινού εδάφους της. Το νησί δεν διαθέτει ούτε ελικοδρόμιο, όμως υπάρχει κοντά στην πόλη της Ύδρας μία επίπεδη περιοχή την οποία τα ελικόπτερα χρησιμοποιούν σαν χώρο απογείωσης και προσγείωσης.

Ο Δήμος Ύδρας περιλαμβάνει το νησί της Ύδρας, το νησί Δοκός, το νησί Άγιος Γεώργιος και άλλες μικρότερες κοντινές του νησίδες. Συστάθηκε το 1946 και προήλθε από την αναγνώριση σε Δήμο της Κοινότητας Ύδρας. Παρέμεινε αμετάβλητος στην συνέχεια και με την εφαρμογή του σχεδίου Καποδίστριας το 1997 αλλά και του σχεδίου Καλλικράτης το 2010. Ο πληθυσμός της Ύδρας από το 1861 μέχρι και σήμερα έχει μειωθεί σημαντικά. Η Ύδρα κατέγραψε τον μεγαλύτερο πληθυσμό της το 1861 (9.011) και τον μικρότερο το 2011 (1.948).



Εικόνα 23: Ο χάρτης της Ύδρας (Πηγή: google earth)

Γεωγραφικά η Ύδρα είναι μια βραχύδης οροσειρά μήκους 20 χιλιομέτρων και πλάτους από 1.5 έως 6 χιλιόμετρα και 64.4 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το νησί είναι γενικά άγονο και άλυδρο. Το νησί απέχει 6 ναυτικά μίλια από την νοτιοανατολική ακτή της Αργολίδας και 35 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά. Το κλίμα του νησιού είναι τυπικά μεσογειακό, εύκρατο, ξηρό και ήπιο με δροσερά παρατεταμένα καλοκαίρια και μαλακούς χειμώνες.

Οι βόρειοι κυρίως άνεμοι απομακρύνουν την αχλή της θάλασσας και δημιουργούν ένα καθαρό ορίζοντα. Οι θερμοκρασίες την άνοιξη και το φθινόπωρο κυμαίνονται από 15 έως 25 βαθμούς κελσίου. Το καλοκαίρι οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 25 έως και 35 βαθμούς κελσίου, φτάνοντας ακόμα και πάνω από τους 40 κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αύγουστου. Τέλος οι χειμώνες είναι κρύοι, βροχεροί, αλλά οι θερμοκρασίες σπανίως πέφτουν κάτω από το μηδέν.

Όσον αφορά τη χλωρίδα της Ύδρας, περιλαμβάνει ένα μεγάλο πλήθος από αγριολούλουδα όπως είναι οι σπάνιες σπέντζες, τα κυκλάμινα και οι παπαρούνες. Επίσης στο νησί εμφανίζονται πολλά πεύκα και κυπαρίσσια, θυμάρι, θάμνοι και αιωνόβιες ελιές. Οι κύριες καλλιέργειες των κατοίκων είναι οι ελιές και οι φασκομηλιές. Το πιο κοινό κωνοφόρο στην Ύδρα είναι το πεύκο, ενώ ιδιαίτερα στις ασβεστολιθικές πλαγιές βλασταίνουν κυρίως κυπαρίσσια.

Τέλος, όσον αφορά την πανίδα, στο νησί της Ύδρας μπορεί να συναντήσει κανείς τσίχλες, πέρδικες, ορτύκια ή τρυγόνια όπως επίσης και άλλα είδη πτηνών που ζουν μόνιμα ή χρησιμοποιούν το νησί στο δρόμο για τη μετανάστευσή τους. Επιπλέον υπάρχουν μικρά θηλαστικά όπως αγριοκούνελα, λαγοί και αγριοκάτσικα, όπως επίσης και ένας ικανοποιητικός αριθμός αμφίβιων και ερπετών.



Εικόνα 24: Η πόλη της Ύδρας (Πηγή: wikipedia)

3.2. Δεδομένα

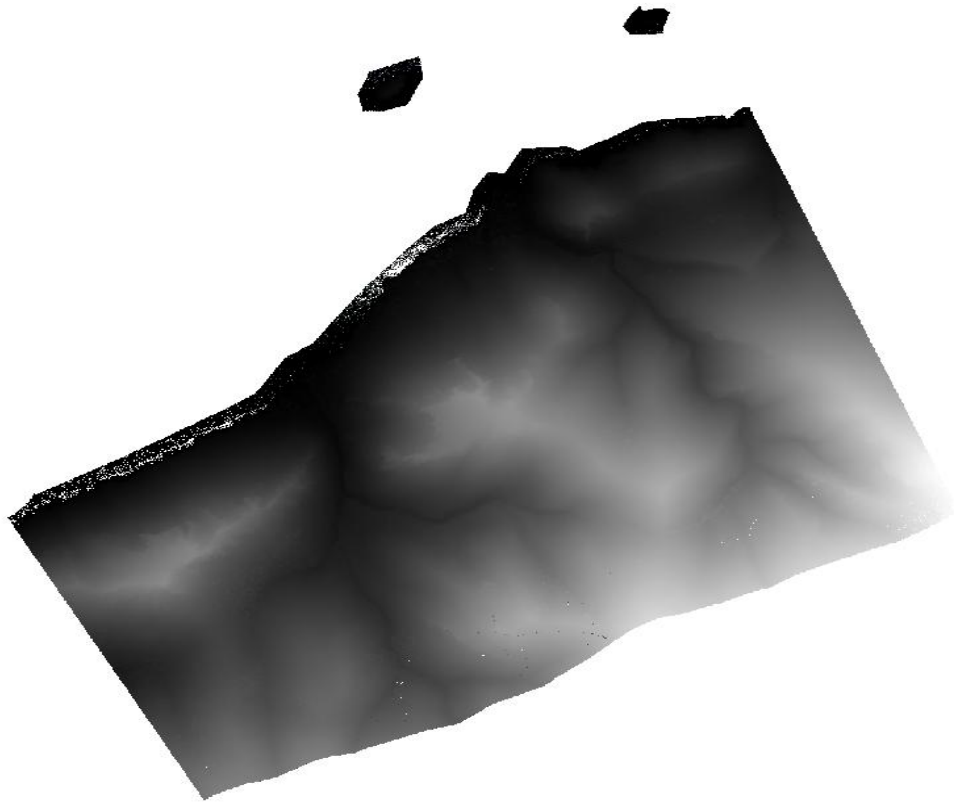
3.2.1. Δεδομένα LiDAR και ORTHO

Για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, τα δεδομένα που επιλέχθηκαν προήλθαν από την ελληνική εταιρία λήψης και επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων AeroPhoto Co Ltd. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν το νησί της Ύδρας και προήλθαν από λήψεις LiDAR. Από τις λήψεις, αυτά που παρήχθησαν και χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα δύο ψηφιακά μοντέλα επιφανείας που αφορούσαν τον πρώτο παλμό των μέγιστων τιμών (Zmax) και τον τελευταίο παλμό των ελαχίστων τιμών (Zmin), καθώς και μία RGB ορθοφωτογραφία με 3 κανάλια (κόκκινο, πράσινο και μπλε).

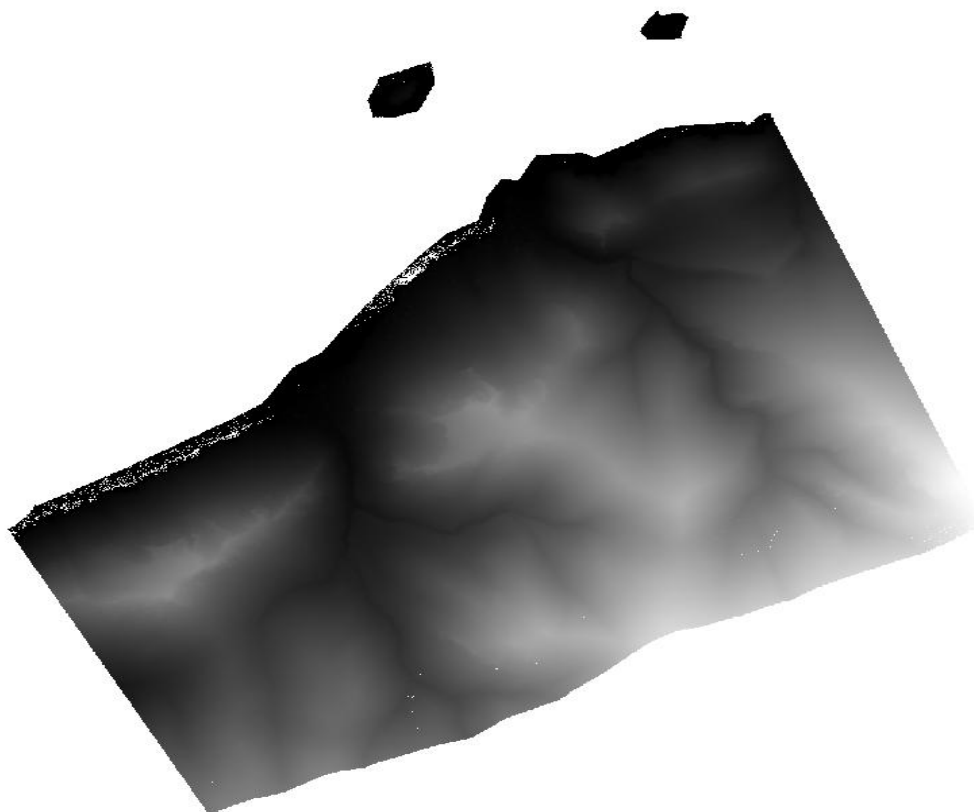
Αναλυτικότερα, τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τρεις διαφορετικές περιοχές, όπου στην πρώτη περιελάμβανε την ορθοφωτογραφία (Εικόνα 25) με διαστάσεις 4470 x 4532 εικονοστοιχεία, χωρική ανάλυση 0.6μ x 0.6μ. για τα τρία κανάλια και ραδιομετρική 8 bit. Τα δύο ψηφιακά μοντέλα επιφανείας (Zmin και Zmax) είχαν τις ίδιες διαστάσεις και χωρική ανάλυση, άλλα ραδιομετρική 16 bit (Εικόνες 26 και 27). Όλα τα δεδομένα είχαν το ίδιο σύστημα αναφοράς που ήταν το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α 87 - EPSG:2100 Greek Grid).



Εικόνα 25: Έγχρωμο σύνθετο 1-2-3 της ορθοφωτογραφίας της πρώτης περιοχής



Εικόνα 26: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού των μέγιστων τιμών (DSM FE Highest values)



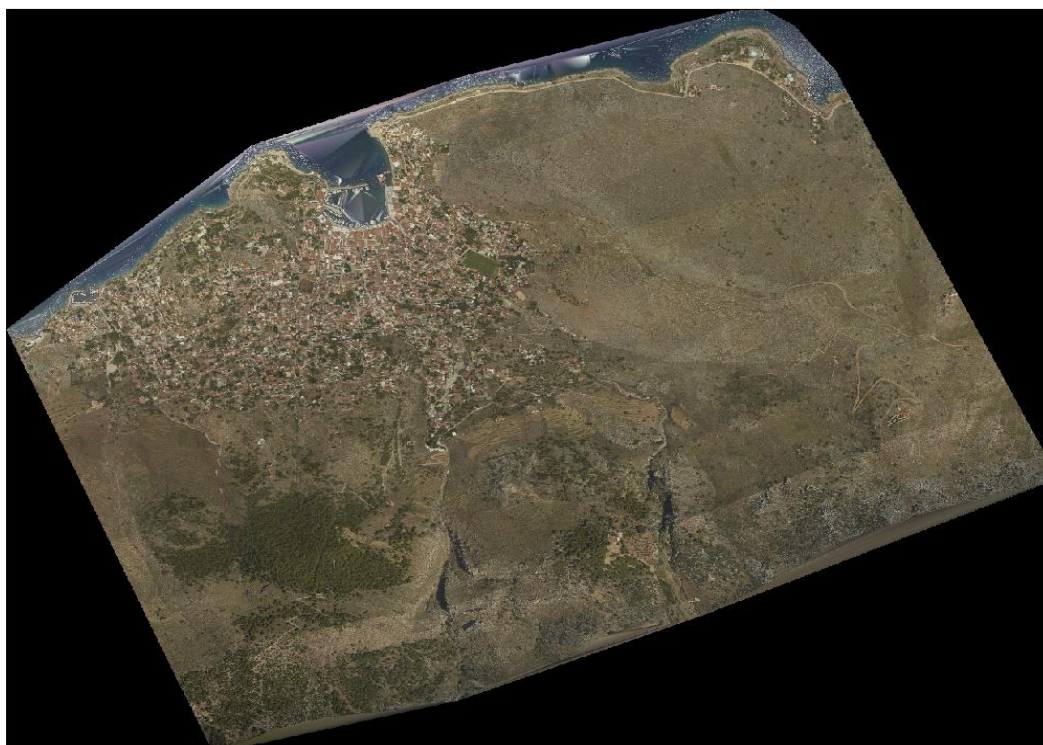
Εικόνα 27: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του τελευταίου παλμού των ελαχίστων τιμών (DSM LE Lowest values)

3.2.2. Υπόλοιπα δεδομένα

Τα δεδομένα για τις άλλες δύο περιοχές μελέτης της Ύδρας περιελάμβαναν ακριβώς τα ίδια με την πρώτη (δύο ψηφιακά μοντέλα επιφανείας Z_{min} και Z_{max} και μία ορθοφωτογραφία με τρία κανάλια (κόκκινο, πράσινο και μπλε). Το μόνο που άλλαξαν στα δεδομένα ήταν οι διαστάσεις, καθώς στην δεύτερη περιοχή τα δεδομένα είχαν διαστάσεις 2161 x 1277 εικονοστοιχεία (Εικόνα 28) και στην τρίτη περιοχή τα δεδομένα είχαν διαστάσεις 5001 x 4036 εικονοστοιχεία (Εικόνα 29).



Εικόνα 28: Έγχρωμο σύνθετο 1-2-3 της ορθοφωτογραφίας της δεύτερης περιοχής



Εικόνα 29: Έγχρωμο σύνθετο 1-2-3 της ορθοφωτογραφίας της τρίτης περιοχής

3.3. Προεπεξεργασία δεδομένων

3.3.1 Αρχική επεξεργασία των δεδομένων

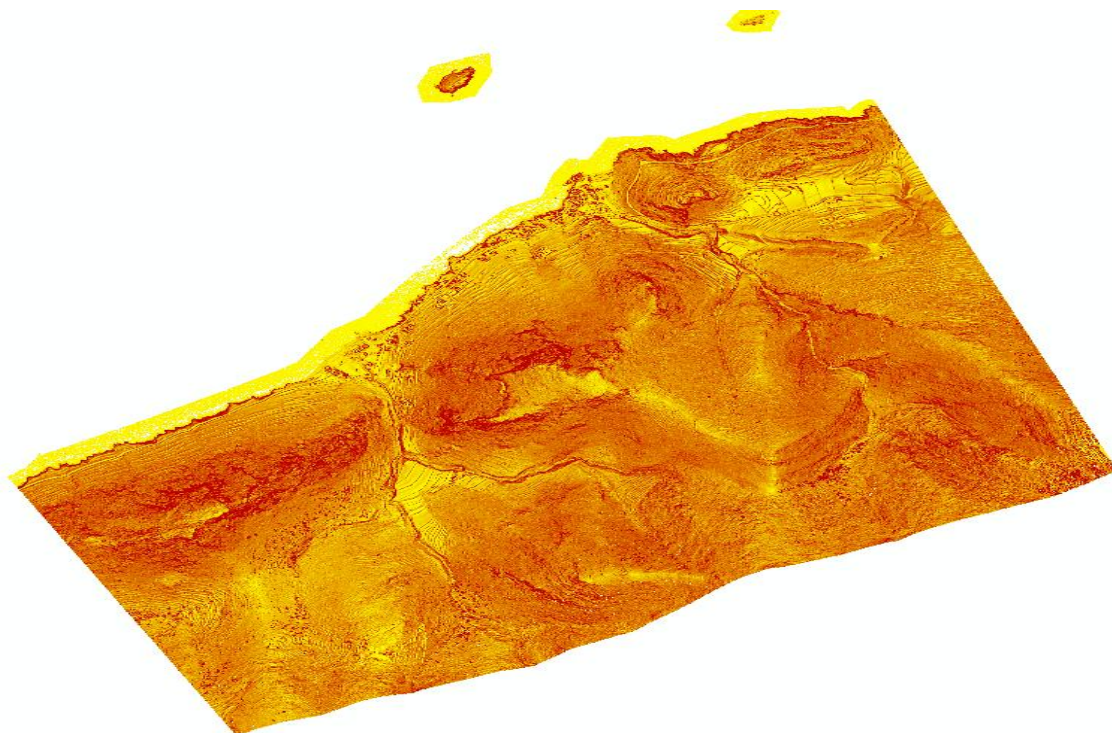
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας αποτελούν παράγωγα τεχνολογίας LiDAR και προήλθαν από την ελληνική εταιρία AeroPhoto Co Ltd. Αρχικά οφείλουμε ιδιαίτερες ευχαριστίες στην εταιρία αυτή που εξειδικεύεται στην λήψη και επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων, για τη διάθεση των LiDAR & ORTHO δεδομένων της νήσου Ύδρας στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), γιατί συμβάλει με αυτόν τον τρόπο σημαντικά στην εκπαιδευτική δραστηριότητα της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Η ευγενική αυτή χορηγία συνάδει με την κοινωνική υπευθυνότητα και κουλτούρα της AeroPhoto Co Ltd, συνεισφέροντας με αυτό τον τρόπο στην επιστημονική κοινότητα της πατρίδας μας.

Η εταιρία AeroPhoto Co Ltd για τα δεδομένα χρησιμοποίησε τον τελευταίας τεχνολογίας εναέριο LiDAR σαρωτή “Riegler LMS - Q1560” και φωτογραμμετρική κάμερα “Vexcel Ultracam eagle” για τη λήψη πρωτογενών γεωχωρικών δεδομένων σε όλη την έκταση του νησιού ακόμα και σε περιοχές με περίπλοκο ανάγλυφο. Τα δεδομένα σε συνδυασμό με τα κατάλληλα λογισμικά αξιοποιήθηκαν μετέπειτα για την παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους και Ψηφιακών Μοντέλων Επιφάνειας υψηλής ακρίβειας. Με τη συμπληρωματική χρήση εναέριων RGB εικόνων, εκτός από τον σαρωτή LiDAR, δόθηκε η δυνατότητα της επιπλέον ταξινόμησης και κατηγοριοποίησης του νέφους σημείων, μετά από εξειδικευμένη επεξεργασία, σε διάφορες κλάσεις στοιχείων όπως βλάστηση, κατασκευές, καλώδια, αγωγοί μεταφοράς ενέργειας κ.α.

3.3.2 Παραγωγή γεωμορφομετρικών δεικτών από τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας

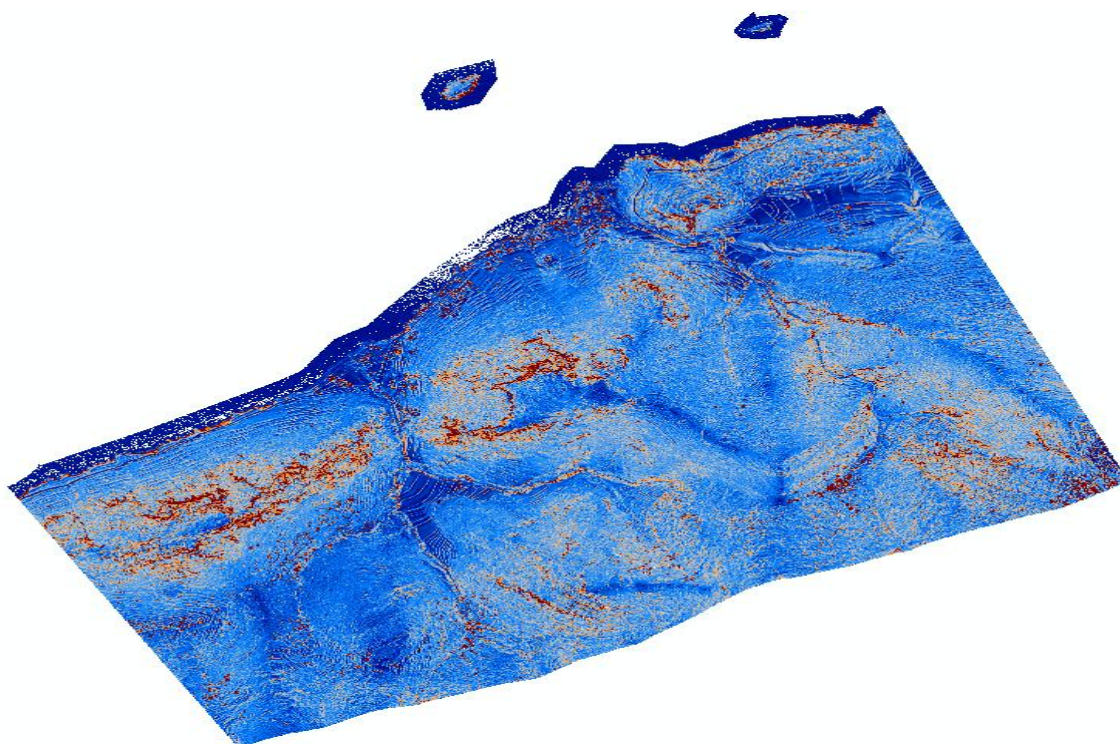
Στο λογισμικό του eCognition για να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας με τους παραγόμενους γεωμορφομετρικούς δείκτες και την ορθοφωτογραφία (κόκκινο, πράσινο και μπλε κανάλι) έπρεπε να έχουν το ίδιο σύστημα αναφοράς. Από τα διαθέσιμα τηλεπισκοπικά δεδομένα, η ορθοφωτογραφία είχε το ελληνικό σύστημα Ε.Γ.Σ.Α 87 (EPSG:2100 - Greek Grid), ενώ τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας δεν είχαν κάποιο σύστημα. Για αυτά στο λογισμικό του Quantum GIS (QGIS) πραγματοποιήθηκε η μετατροπή του συστήματος αναφοράς από αυθαίρετο σε Ε.Γ.Σ.Α. 87, ενώ η επεξεργασία των γεωμορφομετρικών δεικτες πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SAGA. Οι δείκτες οι οποίοι παρήχθησαν ήταν οι εξής:

Κλίση - Slope (σε μοίρες)



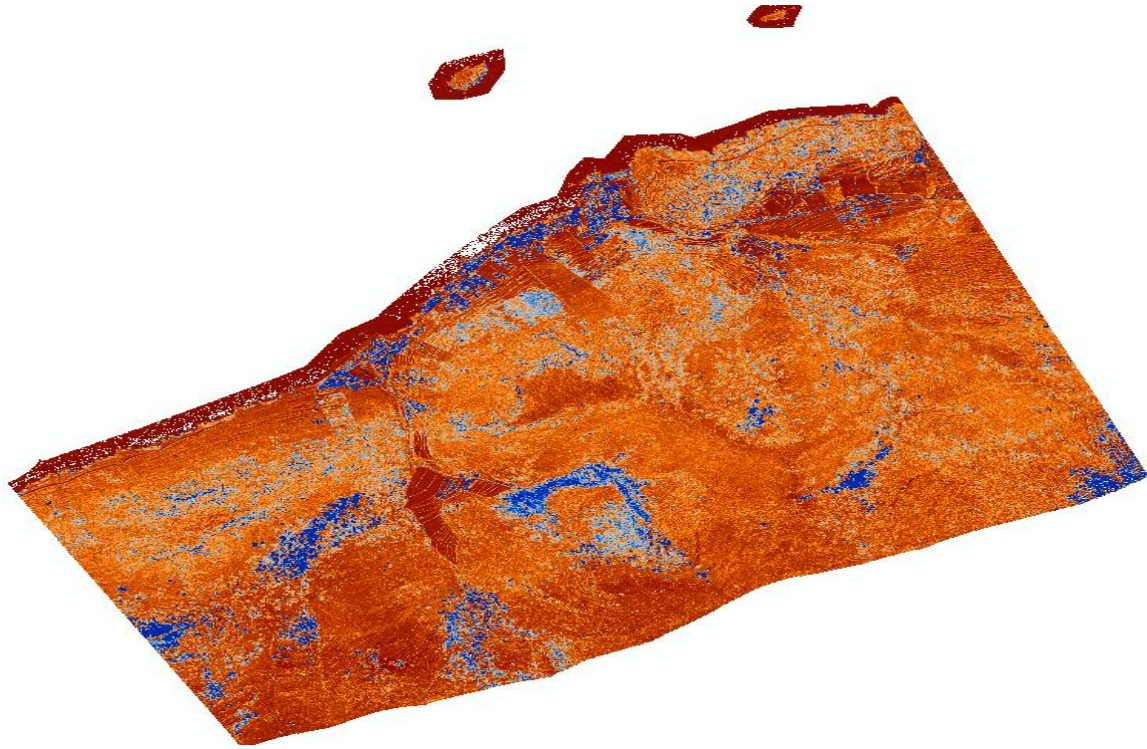
Εικόνα 30: Απεικόνιση του Ψ.Μ.Ε. μετά την εφαρμογή του φίλτρου κλίσεων (με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές έντονων κλίσεων, ενώ με κίτρινο χρώμα οι περιοχές ήπιων κλίσεων)

Δείκτης τραχύτητας εδάφους - Terrain Ruggedness Index



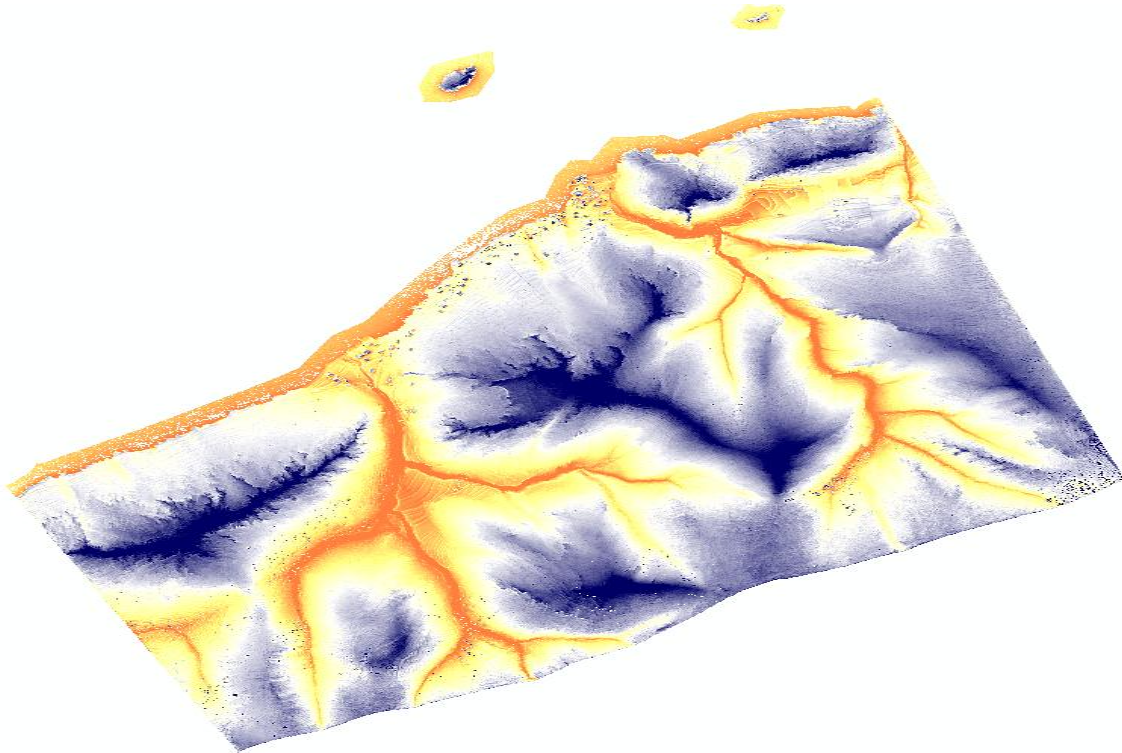
Εικόνα 31: Απεικόνιση του Ψ.Μ.Ε. μετά την εφαρμογή του δείκτη τραχύτητας του εδάφους (με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με ήπιο ανάγλυφο, ενώ με σκούρο πορτοκαλί χρώμα οι περιοχές με έντονο ανάγλυφο)

Διαφορά $Z_{max} - Z_{min}$



Εικόνα 32: Απεικόνιση της διαφοράς $Z_{max} - Z_{min}$ των Ψ.Μ.Ε. (με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με τις υψηλές τιμές, ενώ με κόκκινο χρώμα οι περιοχές με τις χαμηλές τιμές)

Δείκτης έκθεσης ανέμου - Wind Exposure Index

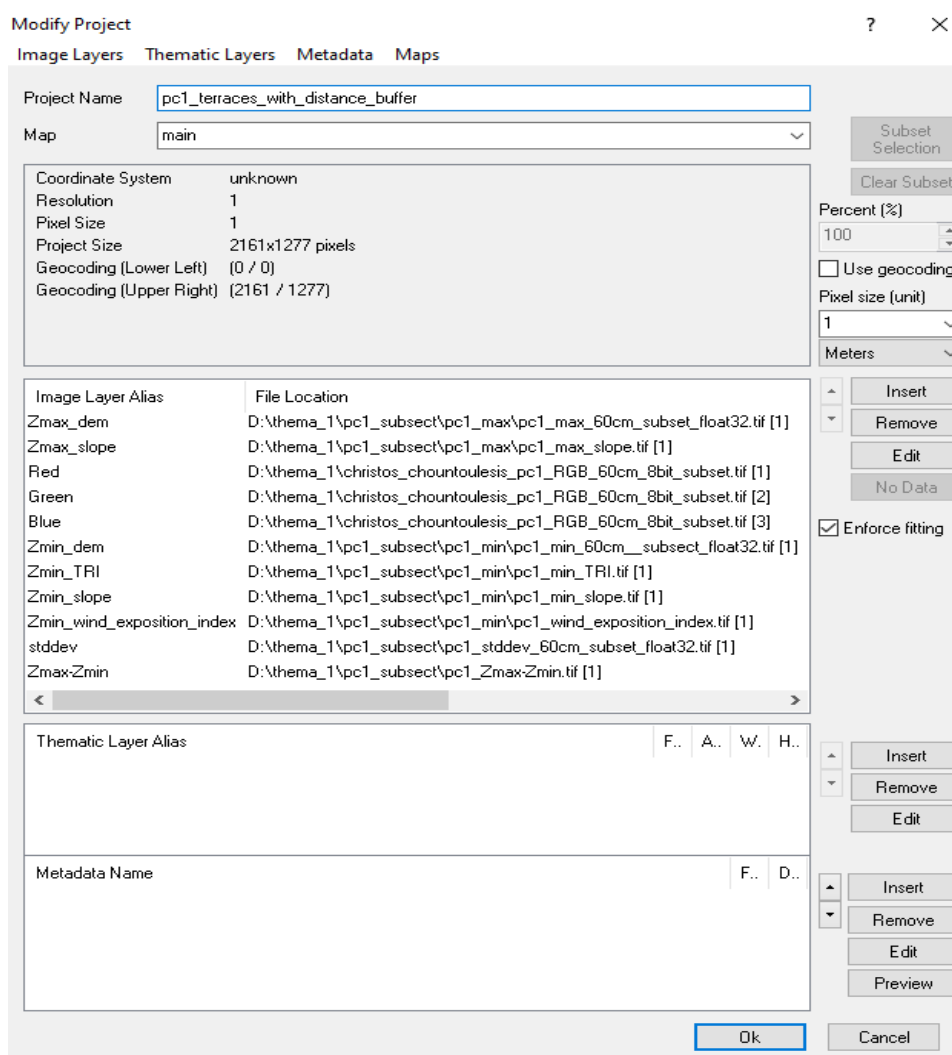


Εικόνα 33: Απεικόνιση του Ψ.Μ.Ε. μετά την εφαρμογή του δείκτη έκθεσης ανέμου (με σκούρο πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν εκτίθενται αρκετά στον άνεμο, ενώ με σκούρο μπλε χρώμα οι περιοχές που εκτίθενται αρκετά στον άνεμο)

3.4. Υλοποίηση αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στις εικόνες

3.4.1 Εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό eCognition

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό eCognition Developer 9.0, στο οποίο αρχικά εισήχθησαν μια ορθοφωτογραφία με τρία RGB κανάλια (κόκκινο, πράσινο και μπλε) η οποία αποτελεί προϊόν από τις λήψεις LiDAR, τα μοντέλα επιφανείας του πρώτου παλμού των μέγιστων τιμών και του τελευταίου παλμού των ελαχίστων τιμών και τέλος τα παραγόμενα τους ως θεματικά επίπεδα (layers), τα οποία εξήχθησαν στο στάδιο της προεπεξεργασίας των δεδομένων όπως προαναφέρθηκε. Τα επίπεδα αυτά αποτελούν τη βάση του προσδιορισμού των ιδιοτήτων των αντικειμένων. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 10 θεματικά επίπεδα (layers) τα οποία είναι: Τα κανάλια κόκκινο, πράσινο και μπλε που μετονομάστηκαν σε “Red”, “Green” και “Blue” αντίστοιχα, τα μοντέλα επιφανείας του πρώτου παλμού των μέγιστων τιμών και του τελευταίου παλμού των ελαχίστων τιμών που μετονομάστηκαν σε “Zmax_DEM” και “Zmin_DEM” αντίστοιχα, τα δύο θεματικά επίπεδα των κλίσεων που μετονομάστηκαν σε “Zmin_slope” και “Zmax_slope”, τα δύο θεματικά επίπεδα του δείκτη τραχύτητας του εδάφους (TRI) που μετονομάστηκαν σε “Zmin_TRI” και “Zmax_TRI”, ο δείκτης έκθεσης ανέμου που δημιουργήθηκε από το “Zmin” και μετονομάστηκε σε “Zmin wind exposition index” και τέλος η διαφορά των τα μοντέλα επιφανείας του πρώτου παλμού των μέγιστων τιμών και του τελευταίου παλμού των ελαχίστων τιμών που μετονομάστηκε σε “Zmax – Zmin”.



Εικόνα 34: Παράθυρο διαλόγου του eCognition, στο οποίο εισάγονται τα θεματικά επίπεδα για την ανάλυση, όπου αναγράφονται γενικές πληροφορίες των επιπέδων

3.4.2 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης εικόνας

Η κατάτμηση στην αντικειμενοστραφή ανάλυση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς από αυτή ξεκινάει κάθε είδους διαδικασία. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εφαρμόζεται η κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης με στόχο τη δημιουργία των πρωτογενών αντικειμένων και επομένως του ιεραρχικού δικτύου θεματικών κατηγοριών, όπως θα προκύψει από τα επίπεδα κατάτμησης.

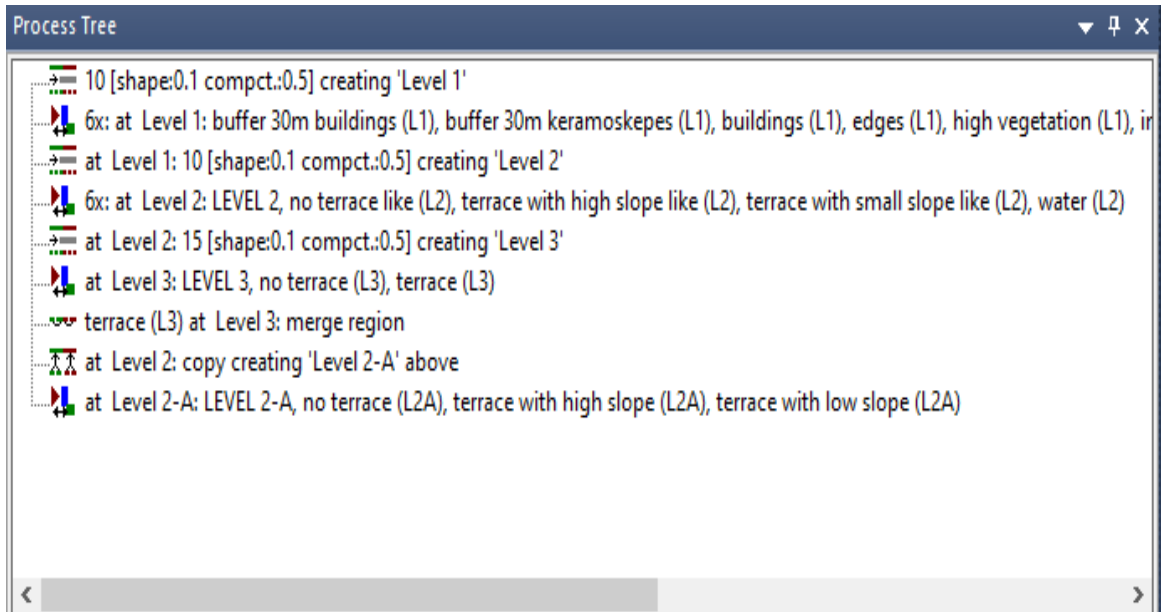
Αφού εισήχθησαν τα δεδομένα και πραγματοποιήθηκε η απεικόνισή τους, έπειτα με τη διαδικασία δοκιμής και απόρριψης (trial and error), επιλέχθηκαν τα κριτήρια για την κατάτμηση πολλαπλής κλίμακας (“multiresolution segmentation”), εφαρμόζοντας αρκετούς συνδυασμούς των παραμέτρων κλίμακας, κριτηρίων ομοιογένειας (φασματικό και σχήματος) και βαρών για κάθε θεματικό επίπεδο (image layer). Τελικά επιλέχθηκαν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης για κάθε εικόνα. Αρχικά δημιουργήθηκε το πρώτο και κατώτερο επίπεδο και είχε σκοπό τη διάκριση των καλύψεων γης. Έπειτα διαμορφώθηκαν τα υπόλοιπα επίπεδα πάνω από το πρώτο με την εντολή “Create above” στο παράθυρο διαλόγου “multiresolution segmentation”. Με αυτό τον τρόπο ο αλγόριθμος δημιουργεί τα επόμενα επίπεδα με βάση τα ήδη υπάρχοντα αντικείμενα του πρώτου επιπέδου, δημιουργώντας μια ιεραρχία από ανώτερα και κατώτερα αντικείμενα. Τα αντικείμενα του νέου επιπέδου τα αντιλαμβάνεται ως υπερ-αντικείμενα του αρχικού, ενώ τα αντικείμενα του αρχικού ως υπο-αντικείμενα.

Το δεύτερο επίπεδο δημιουργήθηκε με σκοπό τη διάκριση των πιθανών οριζοντίων και κάθετων κομματιών των αναβαθμίδων, ενώ το τρίτο δημιουργήθηκε προκειμένου να γίνει μια συνολική ταξινόμηση για τη διάκριση των αναβαθμίσεων της περιοχής. Τέλος, το τέταρτο και τοποθετήθηκε ανάμεσα στο δεύτερο και στο τρίτο και δημιουργήθηκε με σκοπό τη βελτίωση της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου.

Επειδή οι εικόνες για τις περιοχές μελέτης περιείχαν όλες αρκετά εικονοστοιχεία χωρίς πληροφορία και δημιουργούσαν προβλήματα, για να μην συμμετάσχουν ούτε στη διαδικασία της κατάτμησης ούτε σε αυτή της ταξινόμησης, έπρεπε με κάποιο τρόπο να εξαιρεθούν από τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία της εικόνας. Έτσι χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο του προγράμματος “No data” από το παράθυρο επιλογής “Modify Project”, όπου σε αυτό δηλώθηκαν για κάθε θεματικό επίπεδο (layer) οι εκάστοτε τιμές που παρουσίαζαν τα εικονοστοιχεία χωρίς πληροφορία και αναγραφόντουσαν στο “Image object information”.

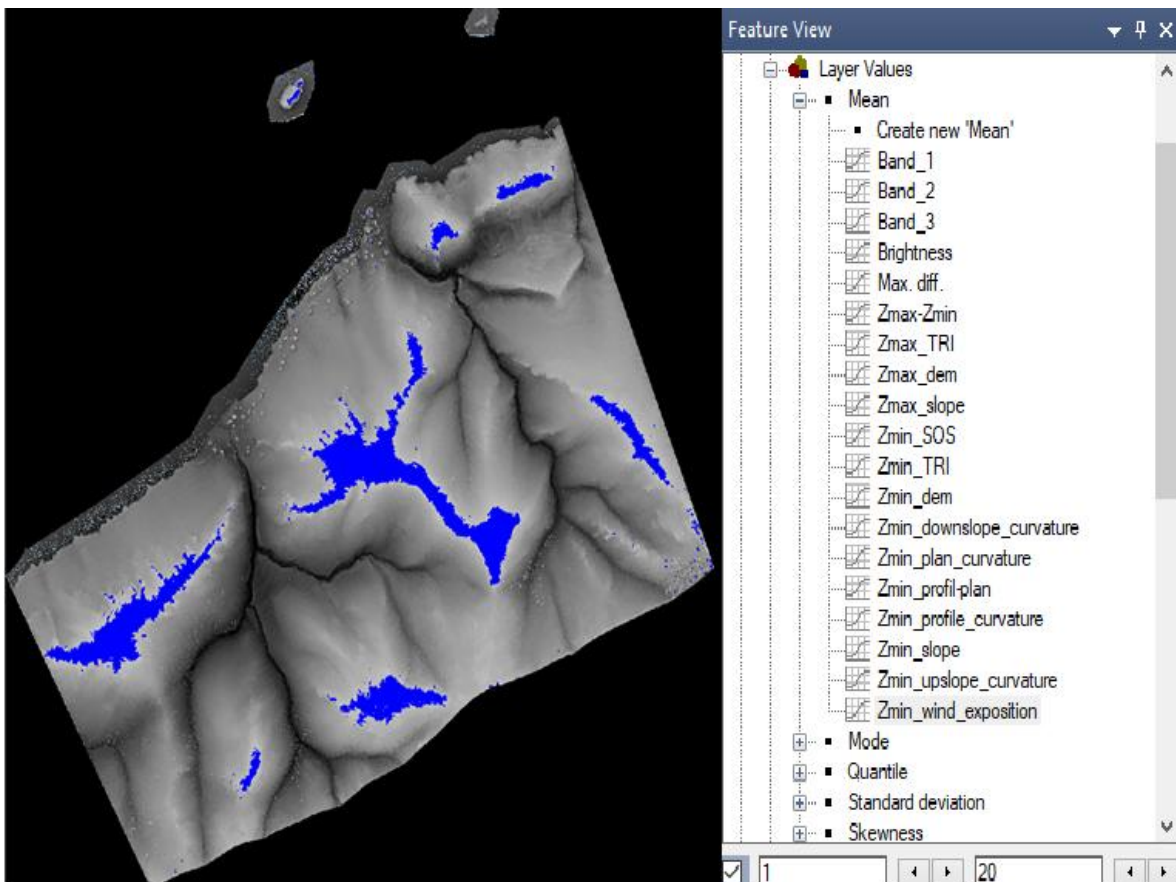
Μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου της κατάτμησης, το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία κλάσεων, με την επιλογή των χαρακτηριστικών, τα οποία ορίζουν την κάθε κλάση ξεχωριστά. Τα βασικά εργαλεία του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν, είναι τα ακόλουθα τέσσερα:

- **Process tree**, όπου δημιουργήθηκαν οι αλγόριθμοι κατάτμησης και ταξινόμησης.



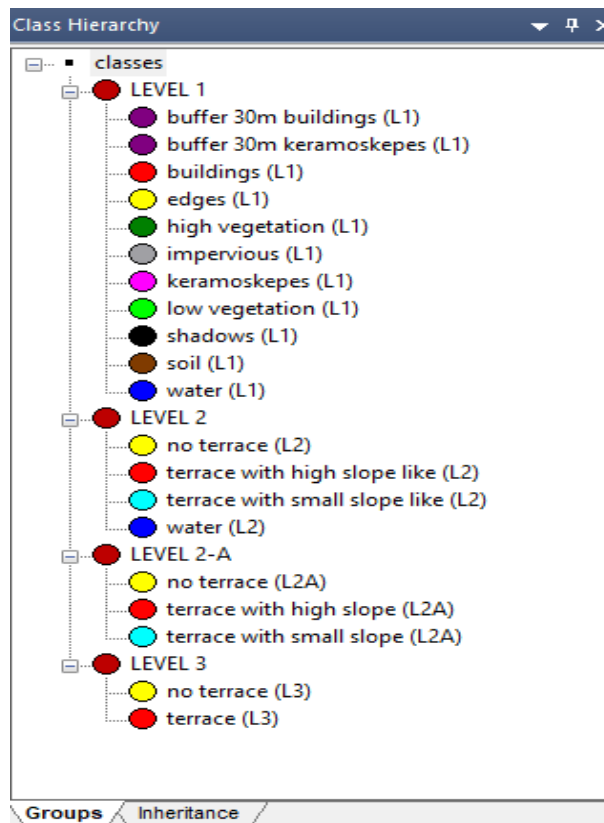
Εικόνα 35: Παράθυρο διαλόγου του eCognition, στο οποίο δημιουργούνται οι αλγόριθμοι κατάτμησης και ταξινόμησης

- **Feature view**, όπου απεικονίζονται τα αντικείμενα που βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων που ορίζει ο ίδιος ο χρήστης για οποιοδήποτε χαρακτηριστικό.



Εικόνα 36: Απεικόνιση της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1 έως 20 της συνάρτησης του δείκτη “Zmin wind exposition index” στο feature view

- **Class Hierarchy**, όπου διαμορφώνεται ο ορισμός και η ιεραρχία των κλάσεων.



Εικόνα 37: Απεικόνιση των κλάσεων στο Class Hierarchy

- **Image object information**, όπου ο χρήστης ενημερώνεται για τις τιμές των αντικειμένων στα θεματικά επίπεδα και δείκτες.

| Feature | Value |
|--------------------------------------|----------|
| Image Object Related Features | |
| Object features | |
| Customized | |
| BLUE/GREEN | 0.7611 |
| BLUE/RED | 0.6922 |
| CVE STDEV/MEAN (dem) | 0.019040 |
| DifMin | 12.43 |
| GREEN/BLUE | 1.314 |
| GREEN/RED | 0.9095 |
| PN | 373.01 |
| ratio BLUE | 0.2661 |
| ratio GREEN | 0.3496 |
| ratio RED | 0.3844 |
| RED/BLUE | 1.445 |
| RED/GREEN | 1.099 |
| Layer Values | |
| Mean | |
| Band_1 | 111.92 |
| Band_2 | 101.79 |
| Band_3 | 77.47 |
| Brightness | 51.27 |
| Max diff | 4.973 |

Εικόνα 38: Απεικόνιση των τιμών ενός τυχαίου αντικειμένου της κατάτμησης

3.4.3 Κατάτμηση πρώτου επιπέδου (Level 1)

Το πρώτο επίπεδο (Level 1) δημιουργήθηκε με σκοπό τη διάκριση των καλύψεων γης της περιοχής. Οι καλύψεις γης της εικόνας αφορούσαν τη χαμηλή και υψηλή βλάστηση, το γυμνό έδαφος, τις υδάτινες επιφάνειες, τις αδιαπέραστες επιφάνειες, τις σκιές, τις ακμές των κτηρίων, τα υψηλά κτήρια και τα κτήρια με κεραμοσκεπές. Η διάκριση αυτή πραγματοποιήθηκε για να βοηθήσει τις ταξινομήσεις των επόμενων επιπέδων που αφορούσαν τις αναβαθμίδες. Πιο συγκεκριμένα τα υψηλά κτήρια και τα κτήρια με κεραμοσκεπές στη συνέχεια εξαιρέθηκαν από πιθανές θέσεις αναβαθμίδων, επειδή παρουσίαζαν παρόμοια χαρακτηριστικά με τις αναβαθμίδες (πολύ υψηλές ή χαμηλές κλίσεις και μεγάλες υψομετρικές διαφορές).

Η κατάτμηση του πρώτου επιπέδου βασίστηκε στα θεματικά επίπεδα κόκκινο, πράσινο και μπλε, στη διαφορά $Z_{max} - Z_{min}$, όπου το Z_{max} είναι το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού των μέγιστων τιμών (DSM FE Highest values) και το Z_{min} είναι το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του τελευταίου παλμού των ελαχίστων τιμών (DSM LE Lowest values). Τέλος βασίστηκε ακόμα στις κλίσεις (slope) και στον δείκτη τραχύτητας (TRI) του Z_{min} (DSM LE Lowest values). Η διαφορά $Z_{max} - Z_{min}$ χρησιμοποιήθηκε για να διακριθούν τα υψηλά αντικείμενα από τα χαμηλά, ενώ οι κλίσεις και το TRI χρησιμοποιήθηκαν για τον διαχωρισμό των ακμών, των υψηλών κτηρίων και των κεραμοσκεπών. Όλα είχαν το ίδιο βάρος ίσο με 1.

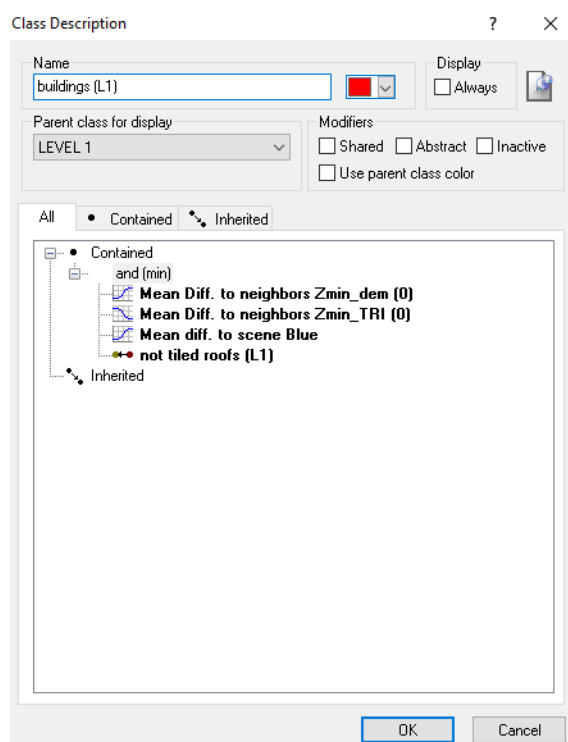
Έπειτα από αρκετές κατατμήσεις με διαφορετικές παραμέτρους κλίμακας (scale parameter) και ομοιογένειας επιλέχθηκε μια μικρού μεγέθους παράμετρος κλίμακας ίση με 10 και με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκαν μικρά πολύγωνα, ώστε να μπορούν να εντοπιστούν ικανοποιητικά οι θεματικές κατηγορίες του πρώτου επιπέδου. Από τις πολλαπλές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, βγήκε το συμπέρασμα ότι για παράμετρο κλίμακας άνω των τιμών 11-13, η πληροφορία χανόταν, ενώ οι μικρότερες τιμές από 10 δημιουργούσαν υπερβολικά μικρά αντικείμενα που δημιουργούσαν προβλήματα στην ταξινόμηση του επιπέδου. Έτσι επιλέχθηκε η τιμή 10, γιατί θεωρήθηκε ότι αυτή δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Όσον αφορά για τις παραμέτρους ομοιογένειας μετά από πολλές δοκιμές, στο κριτήριο χρώματος (color) δόθηκε μεγαλύτερη σημασία από το κριτήριο σχήματος (shape) και για αυτό δόθηκε η τιμή 0.9 καθώς στη διαδικασία αυτή, το σχήμα των αντικειμένων δεν έπαιζε μεγάλο ρόλο παρά μόνο στα κτήρια και στις κεραμοσκεπές, όπου στα δύο αυτά όσο και να αυξήθηκε το κριτήριο σχήματος δεν βελτίωσε αρκετά το αποτέλεσμα. Για το λείο της οριογραμμής (smoothness) και στο συμπαγές του σχήματος (compactness), δόθηκε ισάξια σημασία και έτσι πήραν τιμές 0.5. Ο λόγος ήταν ότι μόνο οι ακμές διαθέτουν επίμηκες σχήμα από όλες τις κατηγορίες και για αυτό δεν δόθηκε σε κάποιο από τα δύο μεγαλύτερη σημασία.

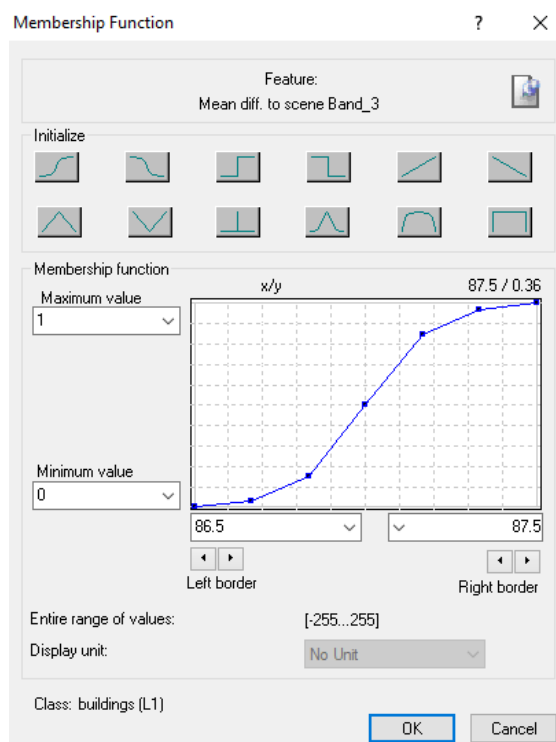
Αρχικά, η κατηγορία “buildings (L1)” δημιουργήθηκε με σκοπό στο επόμενο επίπεδο που θα διακριθούν οι αναβαθμίδες να εξαιρεθούν τα κτήρια και οι γύρω περιοχές τους, γιατί στις άκρες των υψηλών κτηρίων δημιουργούνται υψομετρικές διαφορές και συγχέονται με τις περιοχές των αναβαθμιδών. Ο πρώτος κανόνας που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτός της μέσης τιμής του “Difference to Scene” για το μπλε κανάλι να είναι μεγαλύτερη από 87, έτσι ώστε η κατηγορία αυτή να ξεχωρίσει από τα βράχια και τις πέτρες της περιοχής, καθώς τα αντικείμενα που περιλαμβάνουν τις πέτρες έχουν μικρότερες τιμές στον κανόνα αυτόν. Στη συνέχεια ορίστηκαν ακόμα δύο κανόνες που αφορούσαν τη μέση διαφορά μεταξύ των γειτονικών αντικειμένων για τα υψόμετρα από το Zmin να είναι μεγαλύτερη από 0.2 και του δείκτη τραχύτητας του εδάφους του Zmin να είναι μικρότερη από -0.2. Τέλος εφαρμόστηκε και ο κανόνας “not tiled roofs (L1)” καθώς χωρίς αυτόν παρουσιαζόταν μια μικρή σύγχυση μεταξύ των δύο κατηγοριών.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “buildings (L1)” (Εικόνα 41 (α) και (β), Εικόνα 42 (α) και (β)):

(α)

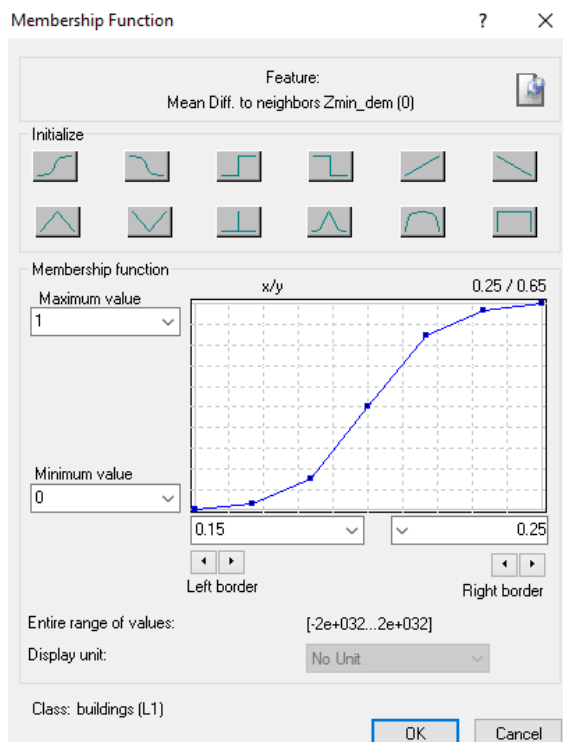


(β)

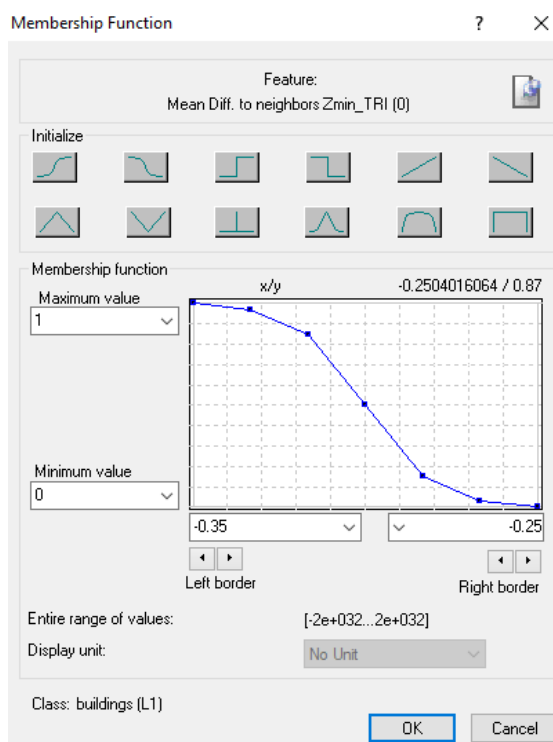


Εικόνα 41: (α) Κανόνες κατηγορίας “buildings (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”

(α)



(β)



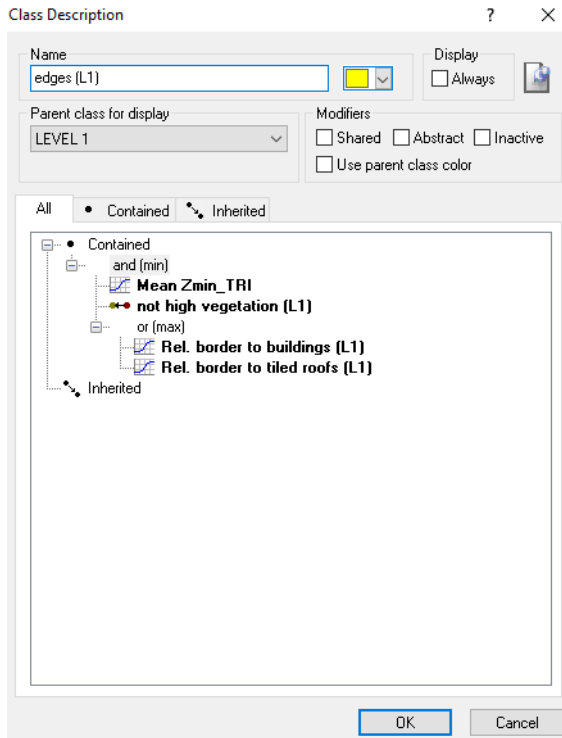
Εικόνα 42: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Diff. to neighbors Zmin_dem (0)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Diff. to neighbors Zmin_TRI (0)”

Ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκε μόνο ο κανόνας της μέσης τιμής του “Difference to Scene” για το μπλε κανάλι ήταν ότι ενώ ξεχώρισαν τα πιθανά κτήρια από τις υπόλοιπες χρήσεις γης, δεν μπορούσαν να διακριθούν σωστά από τις αυλές, τους δρόμους και τα χαμηλά κτήρια που είναι φτιαγμένα με το ίδιο υλικό. Έτσι προστέθηκαν οι δύο κανόνες “Mean Diff. to neighbors” για τα υψόμετρα από το Zmin και του δείκτη τραχύτητας του εδάφους του Zmin, όπου τα υψηλά κτήρια λόγω του μεγαλύτερου υψομέτρου τους σε σχέση με τα γειτονικά αντικείμενα, εμφανίζονται στο κανάλι των υψομέτρων Zmin με πιο φωτεινούς τόνους από ότι οι γείτονες. Αντίστοιχα όσον αφορά τις υψομετρικές διαφορές, λόγω ότι οι ταράτσες των κτηρίων είναι επίπεδες και δεν έχουν μεγάλες υψομετρικές διαφορές, σε αντίθεση με τα γειτονικά τους αντικείμενα που έχουν πολύ μεγάλες.

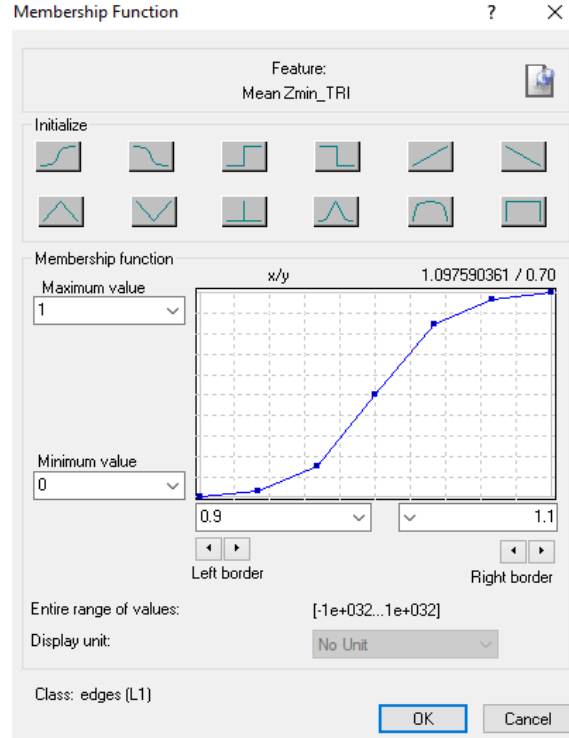
Η δεύτερη κατηγορία που ορίστηκε ήταν η “edges (L1)”. Ο πρώτος κανόνας που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτός της μέσης τιμής του δείκτη τραχύτητας του εδάφους (mean TRI) να είναι μεγαλύτερη από 1. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας “not high vegetation (L1)”, καθώς χωρίς αυτόν παρουσιαζόταν μια μικρή σύγχυση μεταξύ των δύο κατηγοριών. Για την περαιτέρω διάκριση χρησιμοποιήθηκε ο τελεστής “or (max)”. Η τελική τιμή του βαθμού συμμετοχής που προκύπτει από το πεδίο τιμών των ιδιοτήτων που περιγράφουν την κατηγορία, μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου τελεστή ορίζεται ως ο μέγιστος βαθμός συμμετοχής. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν άλλοι δύο κανόνες που αφορούσαν το σχετικό όριο του αντικειμένου της κατηγορίας (Rel. border to) για τις κατηγορίες “buildings (L1)” και “tiled roofs (L1)” να είναι μεγαλύτερο από 0.015. Έτσι τα αντικείμενα που θα εισέρθουν στην συγκεκριμένη κατηγορία θα συνορεύουν με τα υψηλά κτήρια ή τα κτήρια με τις κεραμοσκεπές.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “edges (L1)” (Εικόνα 43 (α) και (β), Εικόνα 44 (α) και (β)):

(α)

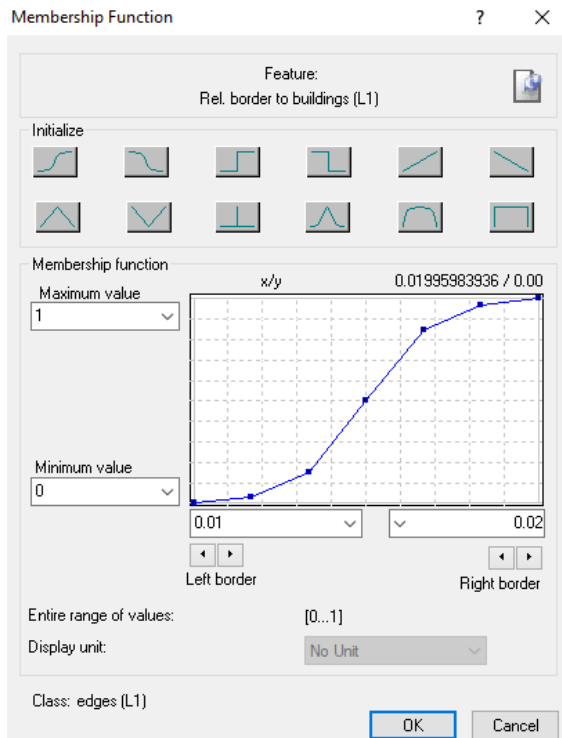


(β)

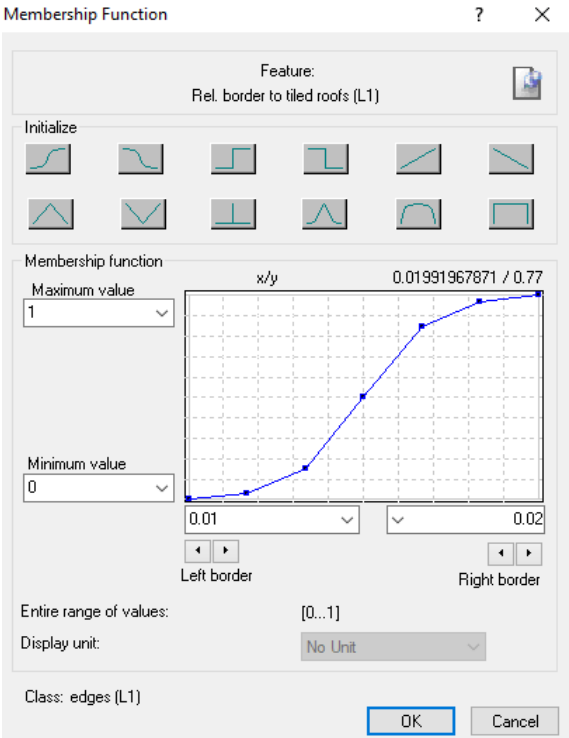


Εικόνα 43: (α) Κανόνες κατηγορίας “edges (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_TRI”

(α)



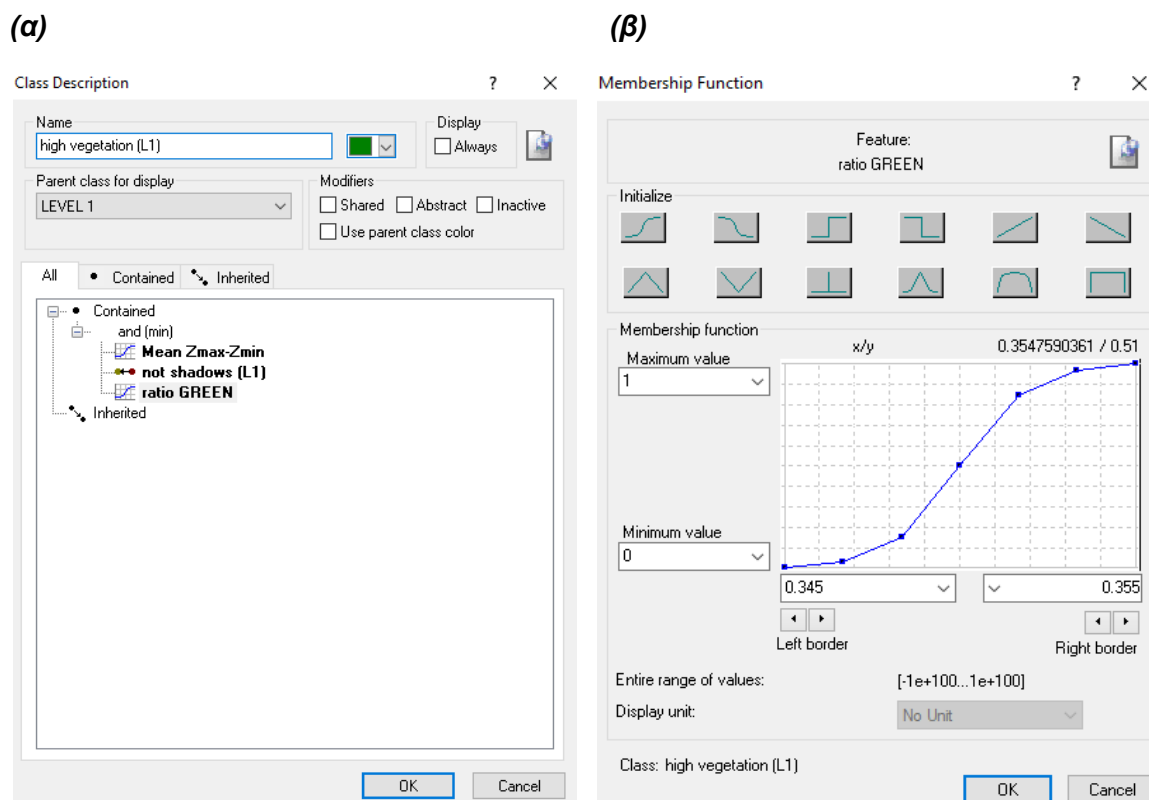
(β)



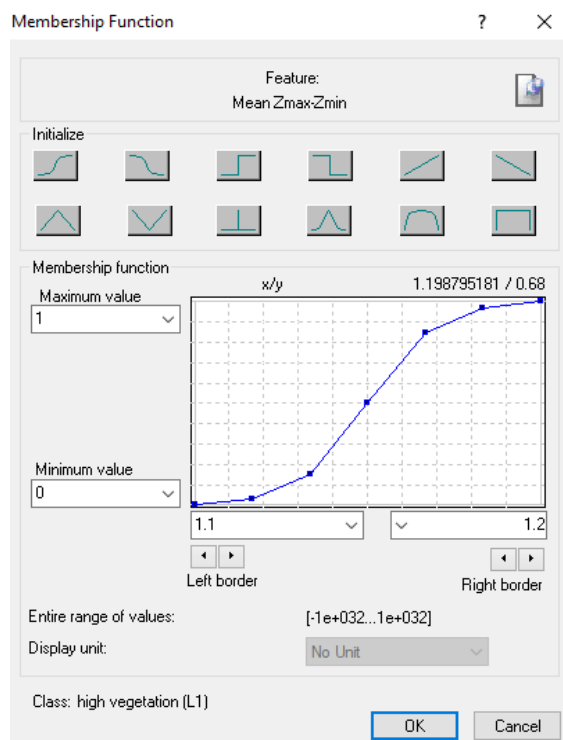
Εικόνα 44: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. border to buildings (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. border to tiled roofs (L1)”

Στη συνέχεια, ορίστηκε η θεματική κατηγορία “high vegetation (L1)”. Η βλάστηση γενικά διακρίνεται με τον Κανονικοποιημένο Δείκτη Βλάστηση (NDVI), ο οποίος είναι ένας λόγος ανάμεσα στη διαφορά ανάκλασης του εγγύς υπέρυθρου (NIR) και κόκκινου (Red), διαιρούμενος με το άθροισμα αυτών. Όμως, επειδή δεν υπήρχε δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το εγγύς υπέρυθρο (NIR) δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ούτε αυτός ο δείκτης, άλλα ούτε και άλλοι παρόμοιοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για τη διάκριση της βλάστησης όπως ο Msavi κλπ. Έτσι δοκιμάστηκαν άλλοι δείκτες όπως ο Green NDVI και το ratio GREEN. Αυτό που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν το Ratio Green. Έτσι ορίστηκε ο κανόνας για τη μέση τιμή του Ratio Green να είναι μεγαλύτερη από 0.35. Ο δεύτερος κανόνας που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέση τιμή της διαφοράς $Z_{max} - Z_{min}$ να είναι μεγαλύτερη από 1.15. Με τον κανόνα του Ratio Green διακρίθηκε η βλάστηση από τις υπόλοιπες χρήσεις γης και με τον κανόνα της διαφοράς $Z_{max} - Z_{min}$ διακρίθηκε η υψηλή βλάστηση από τη χαμηλή. Τέλος χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας “not shadows (L1)”.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “high vegetation (L1)” (Εικόνα 45 (α) και (β), Εικόνα 46):



Εικόνα 45: (α) Κανόνες κατηγορίας “high vegetation (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “ratio GREEN”

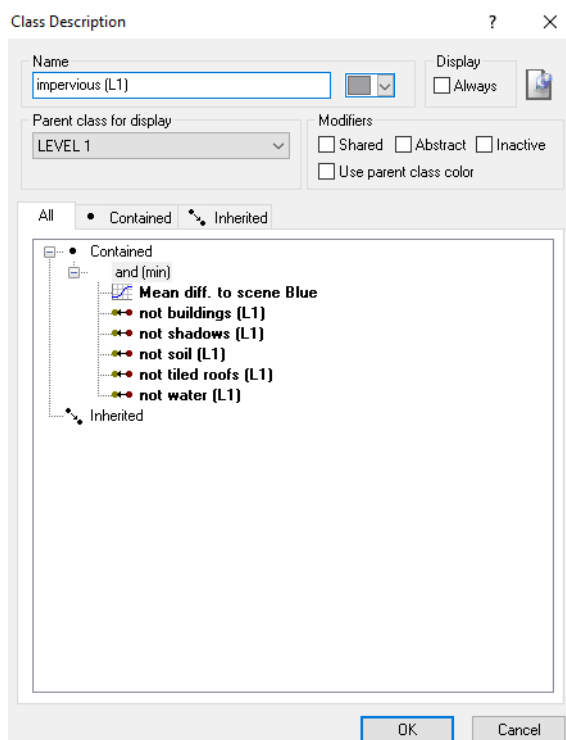


Εικόνα 46: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmax - Zmin”

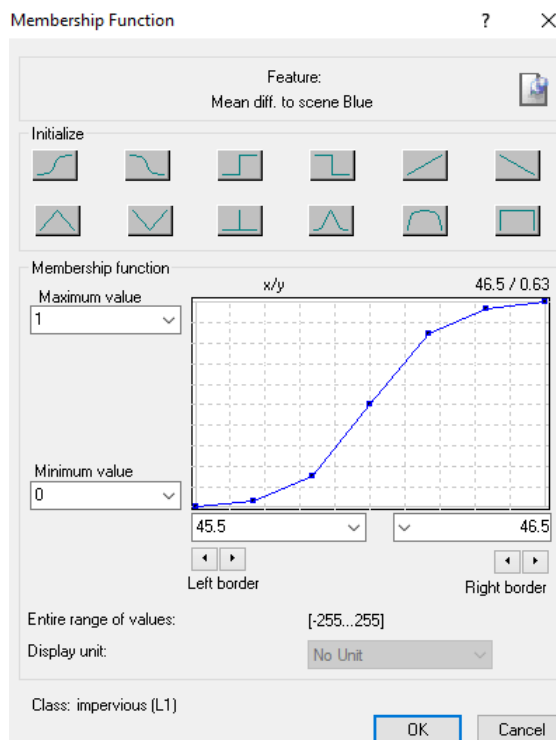
Η επόμενη θεματική κατηγορία αφορούσε τις αδιαπέραστες επιφάνειες και ονομάστηκε “impervious (L1)”. Ο κανόνας που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτός της μέσης τιμής του “Difference to Scene” για το μπλε κανάλι να είναι μεγαλύτερη από 46. Με αυτόν τον κανόνα επιτράπηκε να εισέλθουν στην κατηγορία αυτή αντικείμενα που περιελάμβαναν γυμνό έδαφος, κτήρια (όχι αυτά με μεγάλο ύψος, γιατί δημιουργήθηκε ξεχωριστή κατηγορία), αυλές κλπ και αποτράπηκε να εισέλθουν αντικείμενα με χαμηλή ή υψηλή βλάστηση. Τέλος δόθηκε προτεραιότητα στις κατηγορίες “buildings (L1)”, “shadows (L1)”, “soil (L1)”, “tiled roofs (L1)” και “water (L1)” με τη χρήση των κανόνων “not”.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “impervious (L1)” (Εικόνα 47 (α) και (β):

(α)



(β)

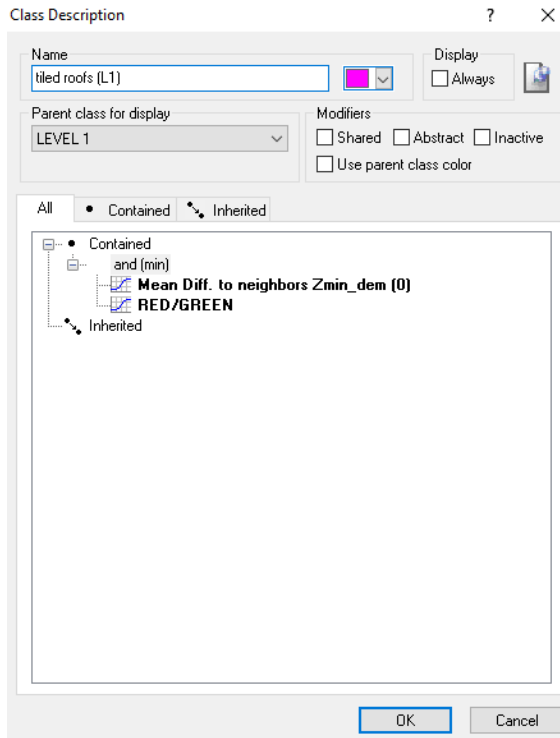


Εικόνα 47: (α) Κανόνες κατηγορίας “impervious (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”

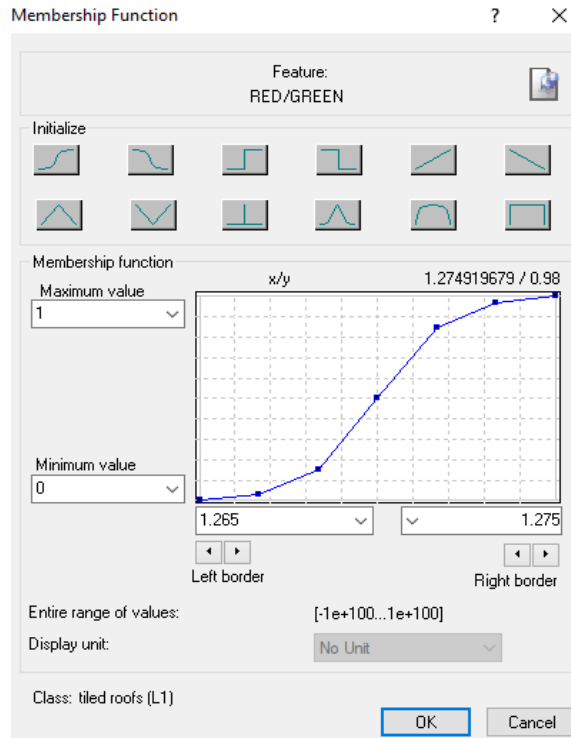
Έπειτα, ορίστηκε η κατηγορία “tiled roofs (L1)” και αφορούσε τα κτήρια με κεραμοσκεπές. Δημιουργήθηκε με σκοπό στο επόμενο επίπεδο που θα διακριθούν οι αναβαθμίδες να εξαιρεθούν τα κτήρια με κεραμοσκεπές που λόγω των υψομετρικών διαφορών που έχουν τα αντικείμενά τους με τα διπλανά, συγχέονταν με τις περιοχές των αναβαθμίδων. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε πρώτα ο λόγος καναλιών RED/GREEN, διότι τα κεραμίδια έχουν υψηλές τιμές ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι και χαμηλές τιμές στο πράσινο. Οι τιμές ασάφειας που δόθηκαν στον λόγο ήταν από 1.265 έως 1.275 της μορφής S θετικής κλίσης. Ο λόγος καναλιών αυτός ταυτόχρονα συνδυάστηκε με τον κανόνα που όριζε τη μέση διαφορά μεταξύ των γειτονικών αντικειμένων για τα υψόμετρα από το Zmin να είναι μεγαλύτερη από 0.36.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “tiled roofs (L1)” (Εικόνα 48 (α) και (β), Εικόνα 49):

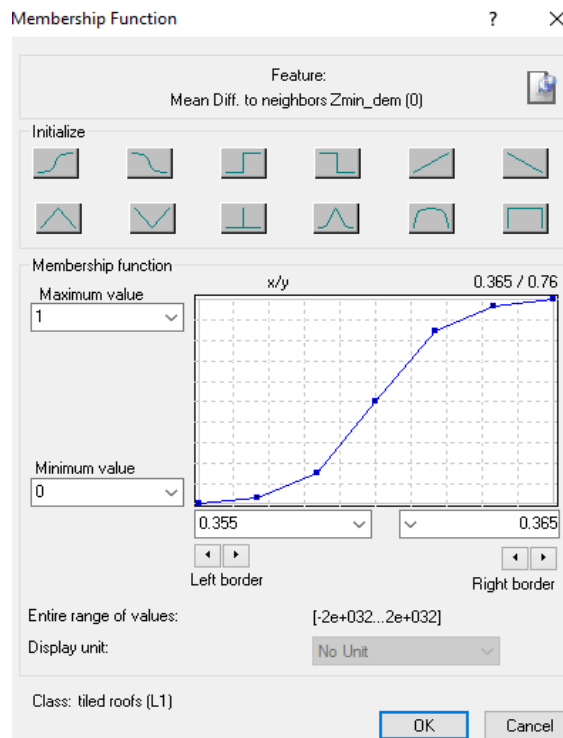
(α)



(β)



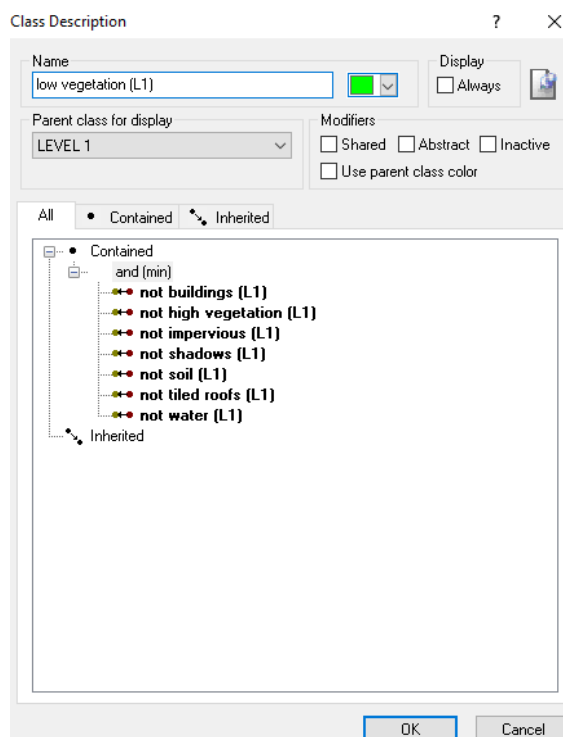
Εικόνα 48: (α) Κανόνες κατηγορίας “tiled roofs (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου καναλιών “RED/GREEN”



Εικόνα 49: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Diff. to neighbors Zmin_dem (0)”

Η επόμενη θεματική κατηγορία αφορούσε τη χαμηλή βλάστηση και ονομάστηκε “low vegetation (L1)”. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στην κατηγορία της υψηλής βλάστησης η έλλειψη του εγγύς υπέρυθρου από την ορθοφωτογραφία με τα τρία RGB κανάλια (κόκκινο, πράσινο, μπλε), καθιστούσε αδύνατη τη χρήση των κλασσικών δεικτών βλάστησης NDVI ή Msavi. Επίσης η χρήση του δείκτη GNDVI ή του ratio GREEN δεν είχε αρκετά καλά αποτελέσματα και για αυτό επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν οι κανόνες “not” για όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες και έτσι όποια αντικείμενα μείνουν αταξινόμητα να εισέρθουν στην κατηγορία χαμηλή βλάστηση. Αυτή η μέθοδος είχε τα καλύτερα αποτελέσματα.

Οι κανόνες για την κατηγορία “low vegetation (L1)”:

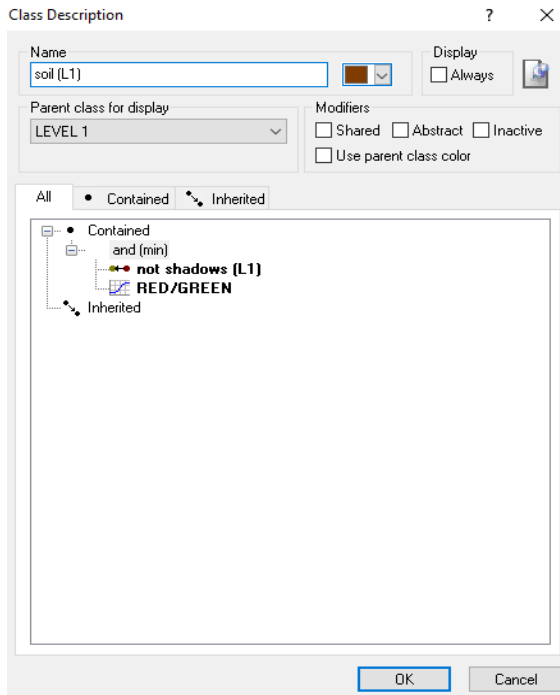


Εικόνα 50: Κανόνες κατηγορίας “low vegetation (L1)”

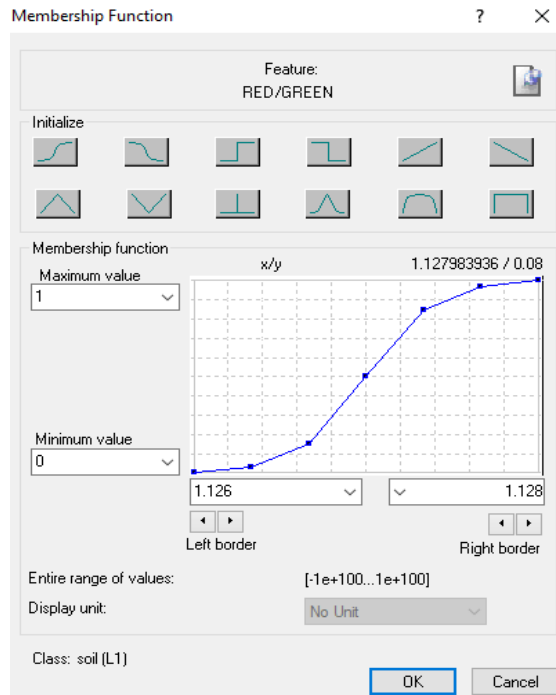
Στη συνέχεια ορίστηκε η κατηγορία “soil (L1)” και αφορούσε το γυμνό έδαφος της περιοχής μελέτης. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο λόγος καναλιών RED/GREEN, διότι οι περιοχές με γυμνό έδαφος έχουν υψηλές τιμές ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι και χαμηλές τιμές στο πράσινο. Οι τιμές ασάφειας που δόθηκαν στον λόγο ήταν από 1.126 έως 1.128 της μορφής S θετικής κλίσης. Τέλος εφαρμόστηκε και ο κανόνας “not shadows (L1)” καθώς χωρίς αυτόν παρουσιαζόταν μια μικρή σύγχυση μεταξύ των δύο κατηγοριών.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “soil (L1)” (Εικόνα 51 (α) και (β)):

(α)



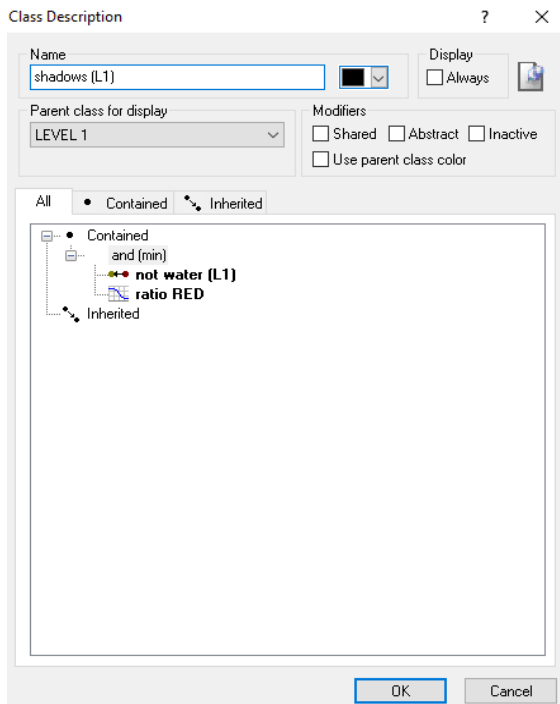
(β)



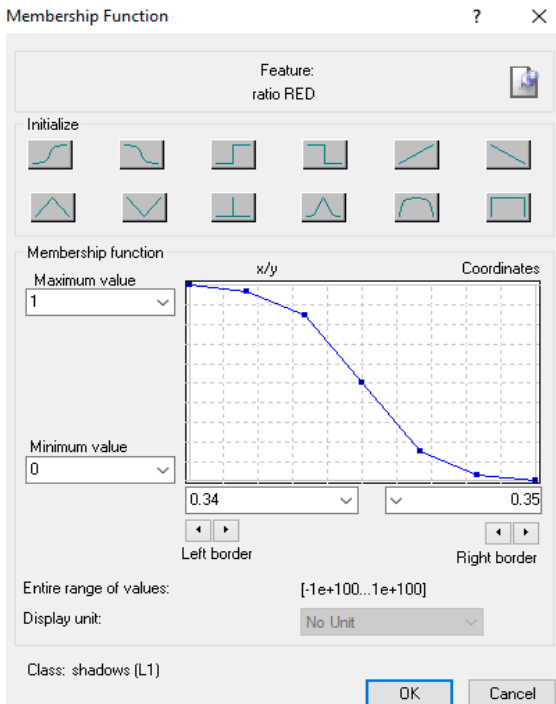
Εικόνα 51: (α) Κανόνες κατηγορίας “soil (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου καναλιών “RED/GREEN”

Έπειτα, ορίστηκε η θεματική κατηγορία που αφορούσε τις σκιές της περιοχής και ονομάστηκε “shadows (L1)”. Ο κανόνας που χρησιμοποιήθηκε όριζε το “ratio RED” να είναι μικρότερο από 0.345 και επιπλέον εφαρμόστηκε και ο κανόνας “not water (L1)” καθώς υπήρξε σύγκριση μεταξύ των δύο κατηγοριών.

(α)



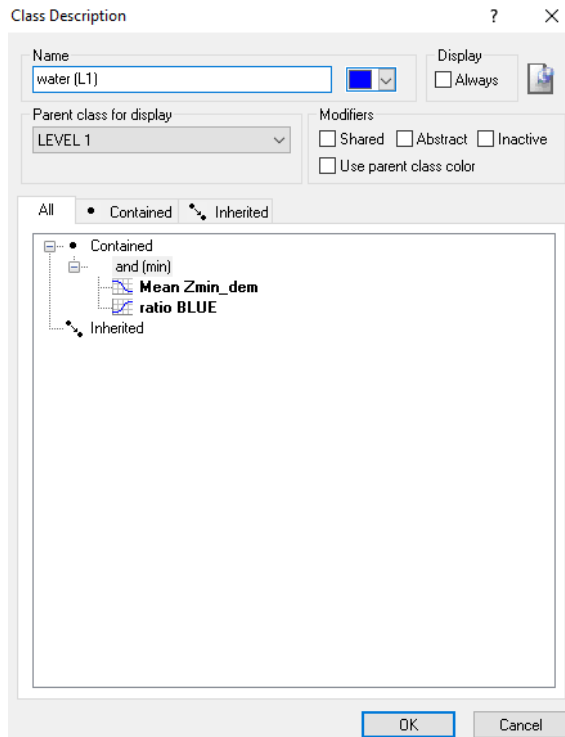
(β)



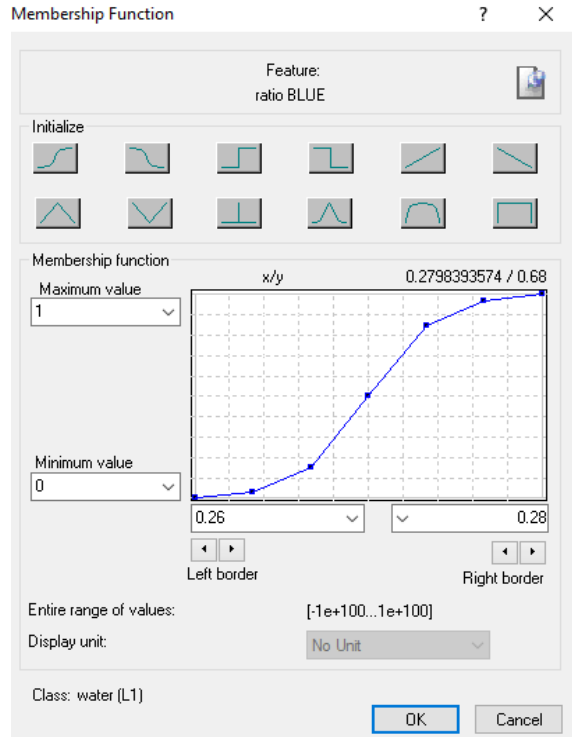
Εικόνα 52: (α) Κανόνες κατηγορίας “shadows (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “ratio RED”

Η τελευταία θεματική κατηγορία που ορίστηκε αφορούσε τις υδάτινες περιοχές και ονομάστηκε “water (L1)”. Εφαρμόστηκαν δύο κανόνες για τη κατηγορία αυτή και όριζαν το ratio BLUE να είναι μεγαλύτερο από 0.27 και τη μέση τιμή για τα υψόμετρα από το Zmin να είναι μικρότερη από 7.9. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “water (L1)” (Εικόνα 53 (α) και (β), Εικόνα 54):

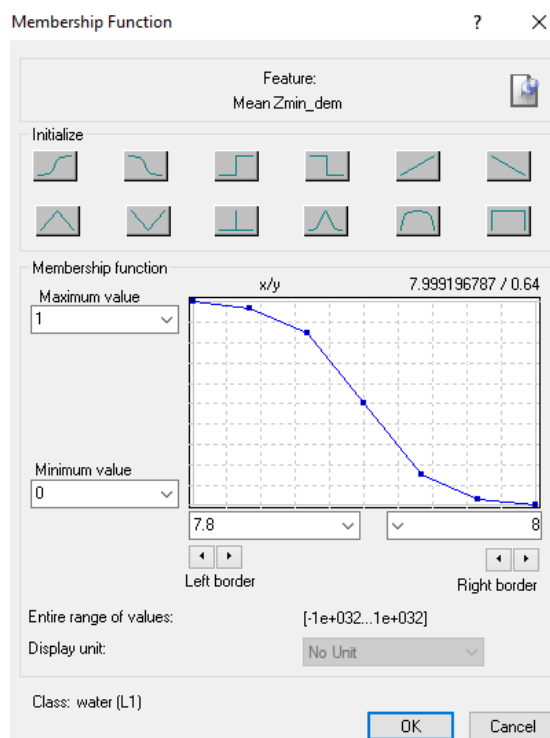
(α)



(β)

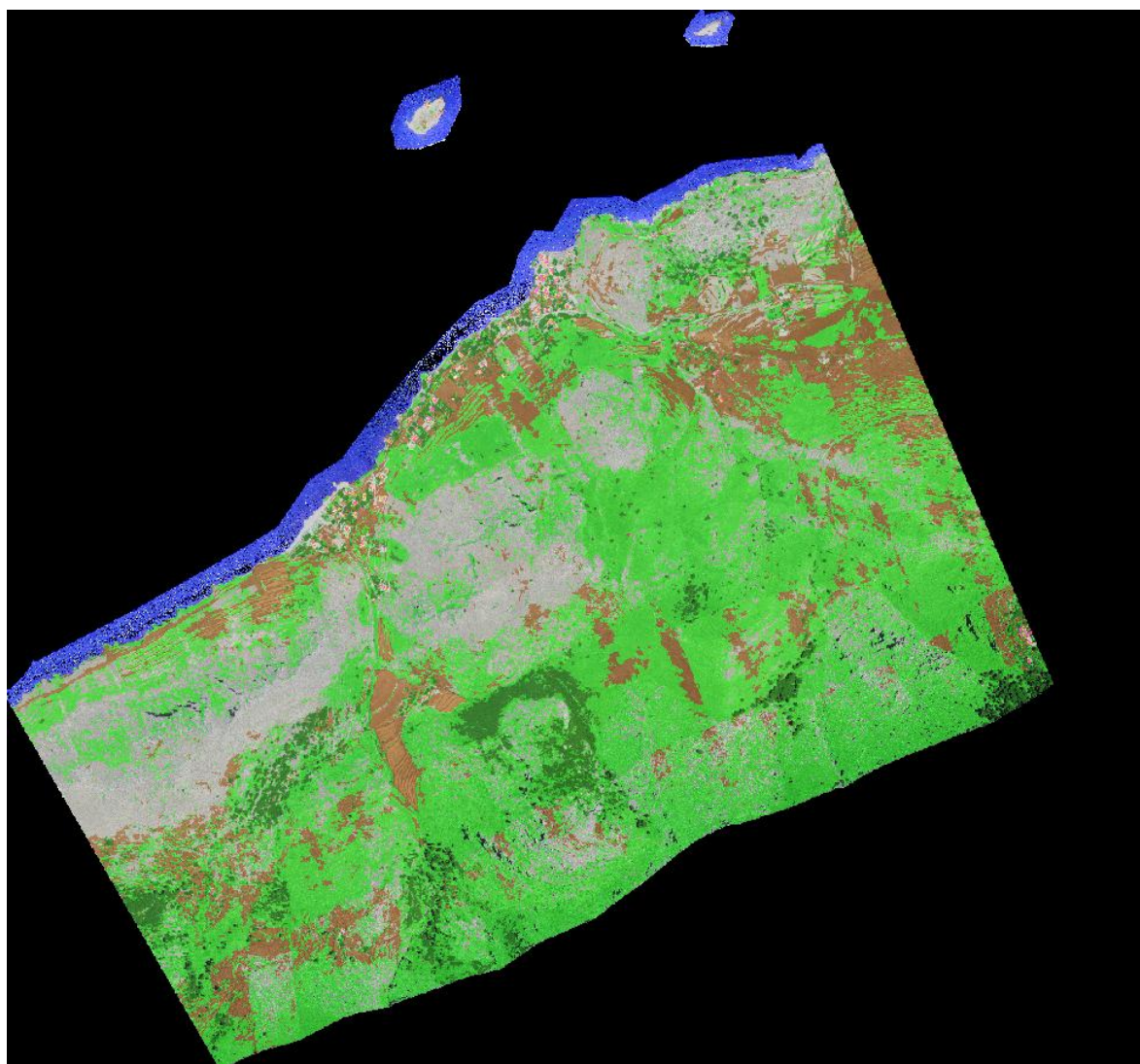


Εικόνα 53: (α) Κανόνες κατηγορίας “water (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “ratio BLUE”



Εικόνα 54: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_dem”

Τα τελικά αποτελέσματα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1) παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 55):



- buildings (L1)
- edges (L1)
- high vegetation (L1)
- impervious (L1)
- low vegetation (L1)
- shadows (L1)
- soil (L1)
- tiled roofs (L1)
- water (L1)

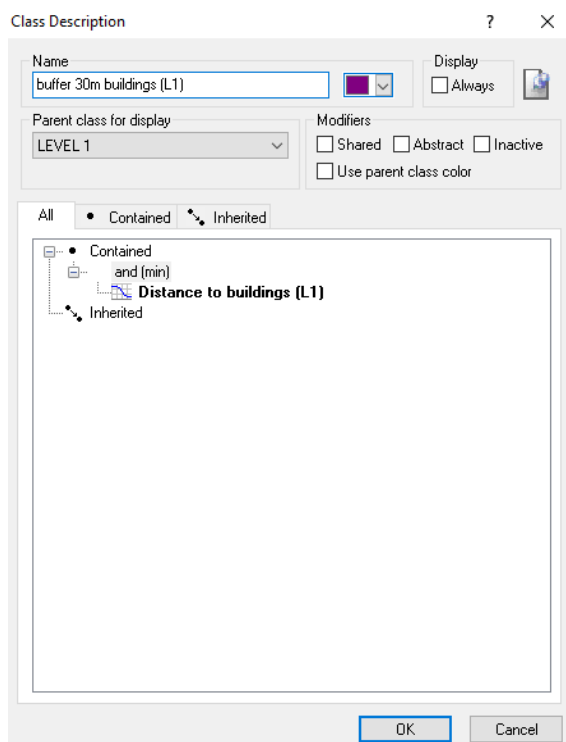
Εικόνα 55: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου

Αφού πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου, δημιουργήθηκαν ακόμα δύο θεματικές κατηγορίες που ονομάστηκαν “buffer 30m buildings (L1)” και “buffer 30m tiled roofs (L1)”. Οι δύο αυτές κατηγορίες αφορούσαν δύο ζώνες (buffer) γύρω από τα υψηλά κτήρια και τα κτήρια με τις κεραμοσκεπές με ακτίνα 30 μέτρα. Οι ζώνες αυτές περιελάμβαναν περιοχές με μεγάλες υψομετρικές διαφορές και συγγέονταν με τις θέσεις των αναβαθμίδων. Με αυτόν τον τρόπο, αποτράπηκαν οι περιοχές γύρω από τα κτήρια να εισέλθουν στις κατηγορίες των αναβαθμίδων στα επόμενα επίπεδα.

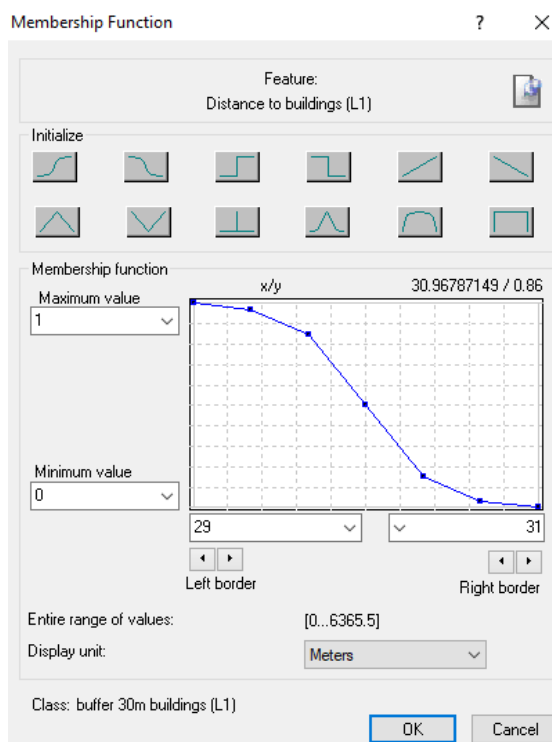
Έτσι στις κατηγορίες “buffer 30m buildings (L1)” και “buffer 30m tiled roofs (L1)” εφαρμόστηκαν οι κανόνες “Distance to buildings (L1)” και “Distance to tiled roofs (L1)” να είναι μικρότερη από 30 μέτρα. Η μετατροπή των αποστάσεων από πίξελς σε μέτρα έγινε με τη χρήση του εργαλείου “edit unit” από το εργαλείο του λογισμικού “feature view”.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για τις κατηγορίες “buffer 30m buildings (L1)” και “buffer 30m tiled roofs (L1)” (Εικόνα 56 (α) και (β), Εικόνα 57 (α) και (β)):

(α)

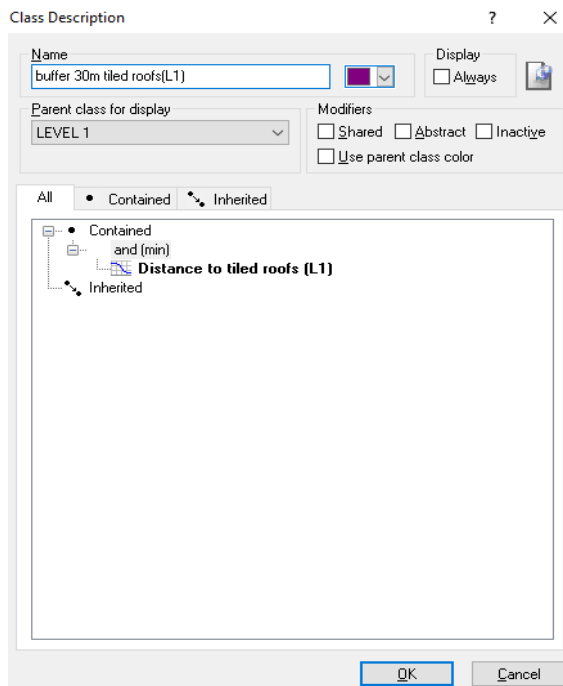


(β)

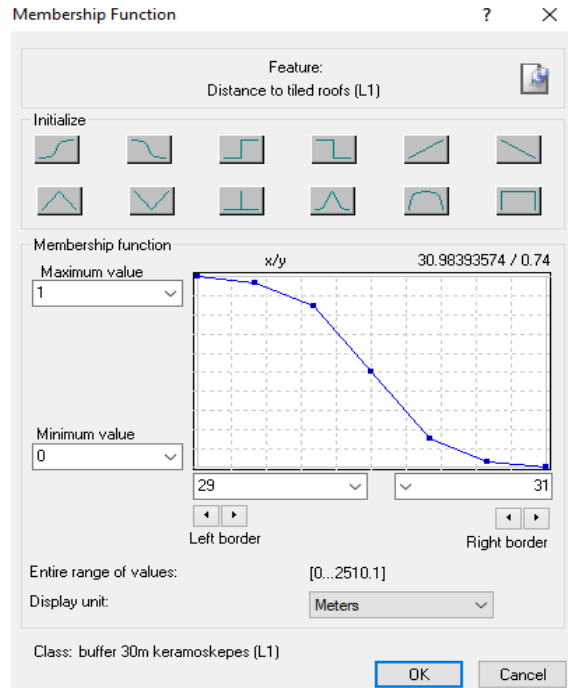


Εικόνα 56: (α) Κανόνες κατηγορίας “buffer 30m buildings (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to buildings (L1)”

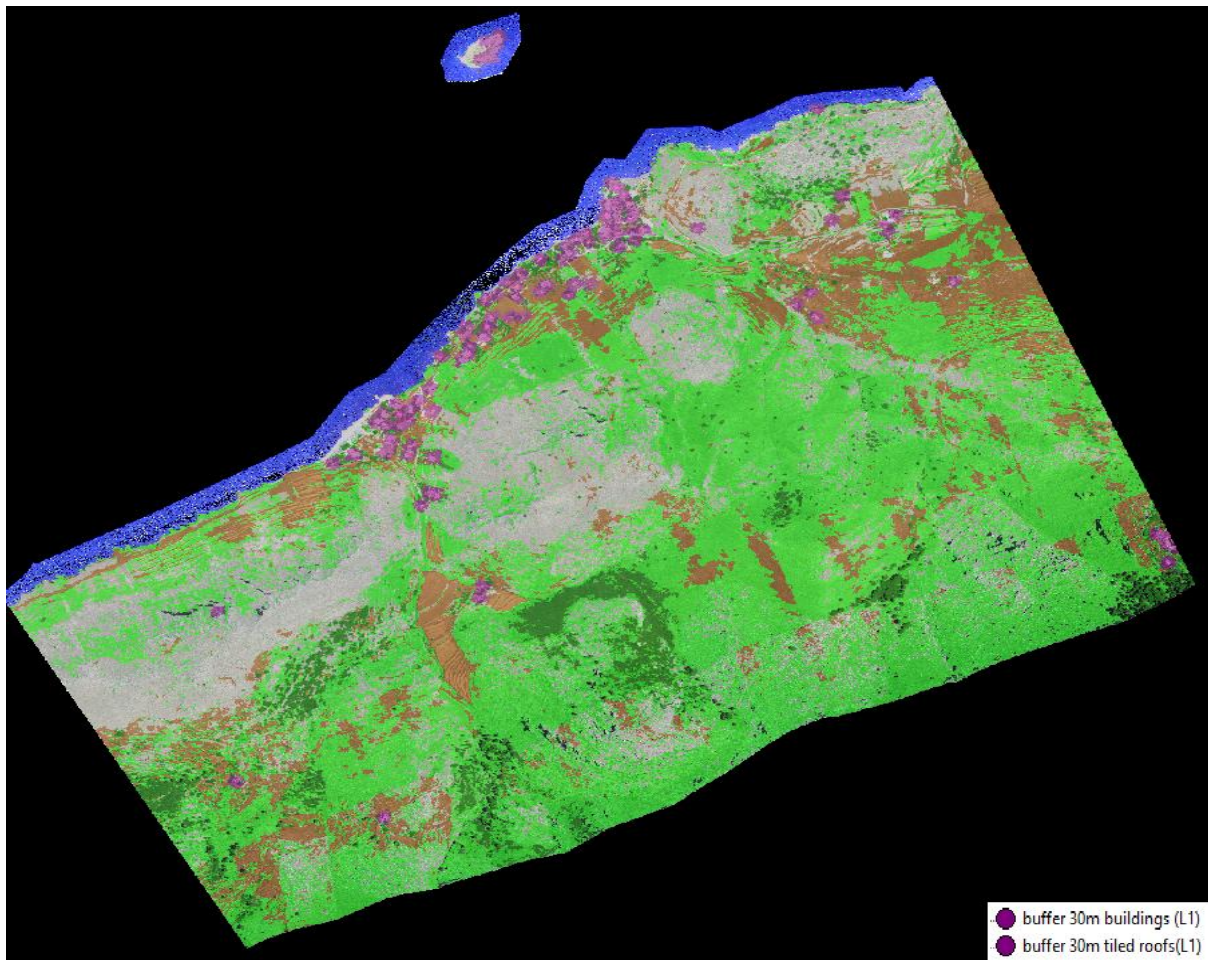
(α)



(β)



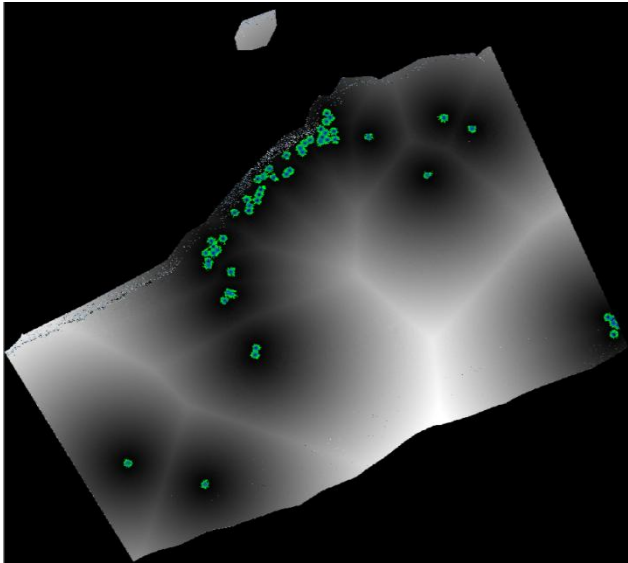
Εικόνα 57: (α) Κανόνες κατηγορίας “buffer 30m tiled roofs (L1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to tiled roofs (L1)”



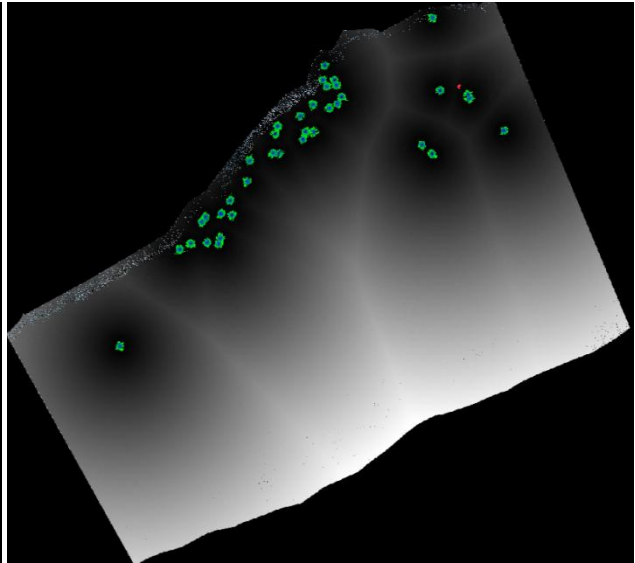
Εικόνα 58: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μετά-ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποσπάσματα από το εργαλείο του λογισμικού “Feature View” για τους κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τις ζώνες (buffer) γύρω από τα υψηλά κτίρια και κτίρια με κεραμοσκεπές (Εικόνα 59 (α) και (β)) και τα αποτελέσματα της ταξινόμησης εστιασμένα στις θέσεις των κτιρίων (Εικόνα 60):

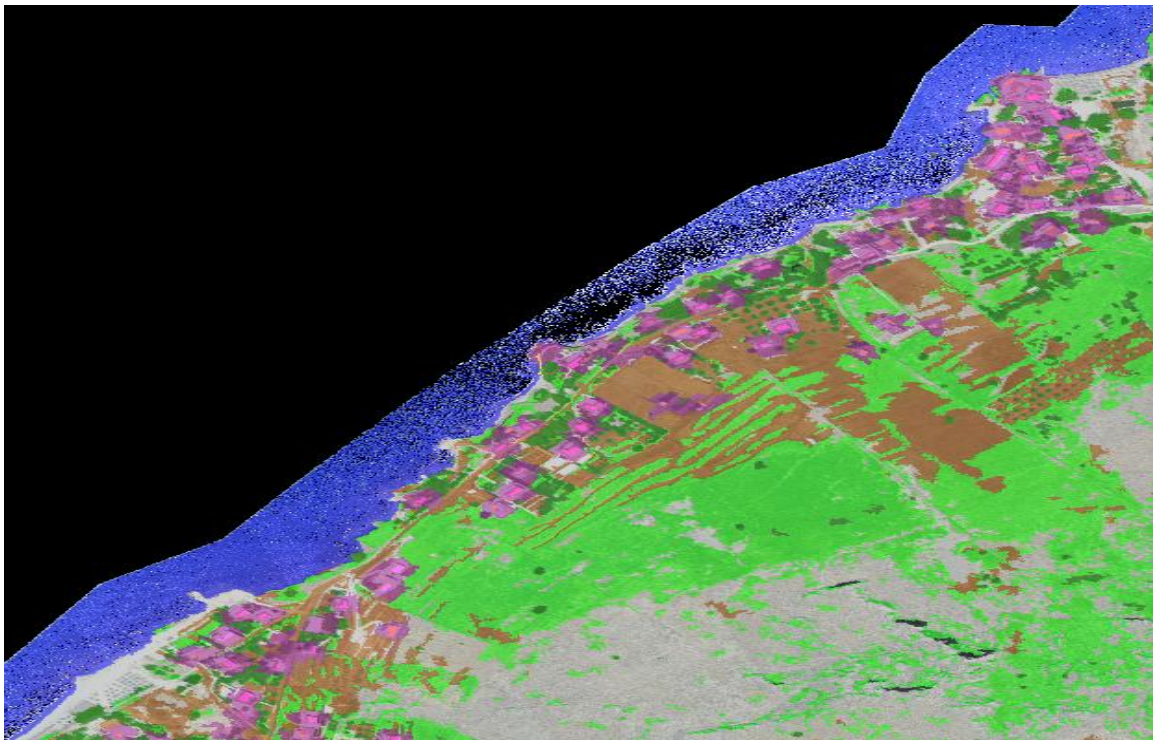
(α)



(β)



Εικόνα 59: (α) Απόσπασμα από το “Feature View” της ζώνης (buffer) γύρω από τα υψηλά κτίρια με ασαφή όρια 0 έως 30 και (β) Απόσπασμα από το “Feature View” της ζώνης (buffer) γύρω από τα κτίρια με κεραμοσκεπές με ασαφή όρια 0 έως 30



- buffer 30m buildings (L1)
- buffer 30m tiled roofs(L1)

Εικόνα 60: Απεικόνιση των ζωνών (buffer) του πρώτου επιπέδου

3.4.5 Κατάτμηση δεύτερου επιπέδου (Level 2)

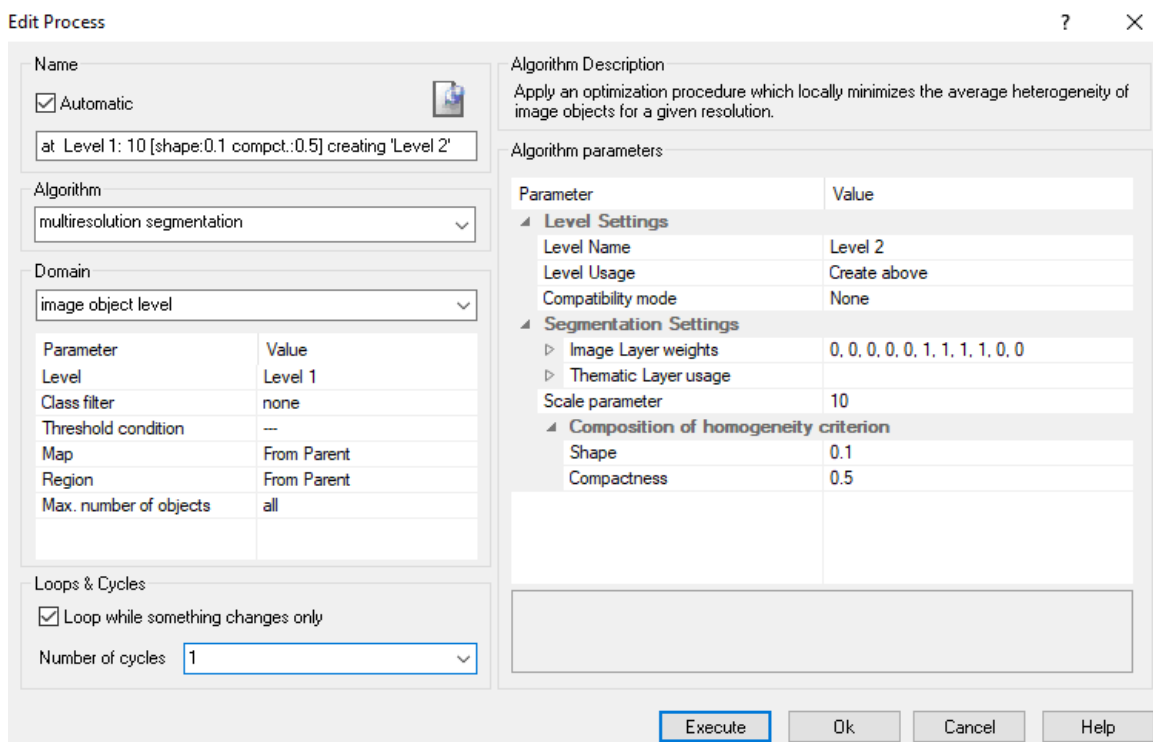
Το δεύτερο επίπεδο (Level 2) τοποθετήθηκε ακριβώς από πάνω από το πρώτο και δημιουργήθηκε με σκοπό τη διάκριση πιθανών θέσεων αναβαθμίδων. Σε αυτό το επίπεδο διακρίθηκαν τα οριζόντια κομμάτια (επιφάνειες) των αναβαθμίδων και τα κάθετα κομμάτια (αναχώματα).

Η κατάτμηση του δεύτερου επιπέδου βασίστηκε στην πρώτη και τελευταία επιστροφή του Lidar “Zmax dem” και “Zmin dem”, καθώς και στις κλίσεις “Zmin slope” και “Zmax slope”. Σε όλα δόθηκε το ίδιο βάρος 1. Οι γεωμορφολογικοί δείκτες των κλίσεων χρησιμοποιήθηκαν, καθώς το κύριο χαρακτηριστικό των αναβαθμίδων είναι κλίσεις, με μεγάλες τιμές για τα κάθετα κομμάτια (αναχώματα) και με πολύ μικρές για τα οριζόντια. Οι κλίσεις συνδυάστηκαν με το υψόμετρο. Δοκιμάστηκαν και άλλοι δείκτες όπως για παράδειγμα οι υψομετρικές διαφορές κλπ, αλλά δεν είχαν τα ίδια αποτελέσματα. Δεν χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια RGB στην κατάτμηση αυτού του επιπέδου, διότι επιλέχθηκε το επίπεδο να βασιστεί αποκλειστικά σε γεωμορφολογικούς δείκτες.

Η παράμετρος κλίμακας (scale parameter) που επιλέχθηκε ήταν μικρού μεγέθους ίση με 10 με σκοπό τη δημιουργία μικρών αντικειμένων, έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν ικανοποιητικά οι αναβαθμίδες.

Στη συνέχεια, όσον αφορά τις παραμέτρους ομοιογένειας, μετά από πολλές δομικές, για το κριτήριο χρώματος (color) δόθηκε πολύ μεγαλύτερη σημασία από το κριτήριο σχήματος (shape) και για αυτό πήρε την τιμή 0.9, καθώς στη διαδικασία αυτή το σχήμα των αντικειμένων δεν έπαιζε μεγάλο ρόλο.

Στις συνιστώσες που αφορούν το λείο της οριογραμμής (smoothness) και στο συμπαγές του σχήματος (compactness), δόθηκε ισάξια σημασία και έτσι πήραν την ίδια τιμή 0.5. Ο λόγος ήταν ότι μόνο τα οριζόντια κομμάτια των αναβαθμίδων διαθέτουν επίμηκες σχήμα από όλες τις κατηγορίες και για αυτό δεν δόθηκε σε κάποιο από τα δύο μεγαλύτερη σημασία.

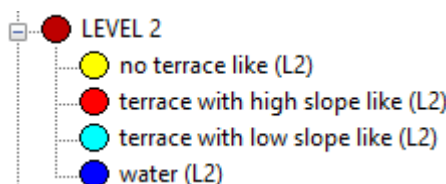


Εικόνα 61: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level 2)

3.4.6 Ταξινόμηση δεύτερου επιπέδου (Level 2)

Οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν για το δεύτερο επίπεδο ήταν οι εξής: “terrace with high slope like (L2)”, όπου αφορούσε τις αναβαθμίδες που έχουν υψηλές υψομετρικές διαφορές και κλίσεις (αναχώματα - κατακόρυφα κομμάτια), “terrace with low slope like (L2)”, όπου αφορούσε τις αναβαθμίδες που έχουν χαμηλές υψομετρικές διαφορές και κλίσεις, δηλαδή τα οριζόντια κομμάτια (στη βιβλιογραφία ορίζονται ως αναβαθμίδες), “no terrace like (L2)”, όπου αφορούσε την υπόλοιπη περιοχή μελέτης όπου δεν υπήρχαν αναβαθμίδες εκτός από τις υδάτινες περιοχές και τέλος “water (L2)”, όπου αφορούσε τις υδάτινες περιοχές.

Η ονοματολογία επιλέχθηκε με αυτόν τον τρόπο, έτσι ώστε το όνομα της κάθε κλάσης να υποδηλώνει το περιεχόμενό της. Επίσης, οι τέσσερις αυτές κατηγορίες ορίστηκαν ως υποκατηγορίες μίας γενικότερης με το όνομα “LEVEL 2”, που αφορά στο επίπεδο που θα εφαρμόζονται. Η ομαδοποίηση κατηγοριών σε εννοιολογικές ενότητες πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της ιεραρχίας ομαδοποίησης (group hierarchy), σύμφωνα με την οποία παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων.



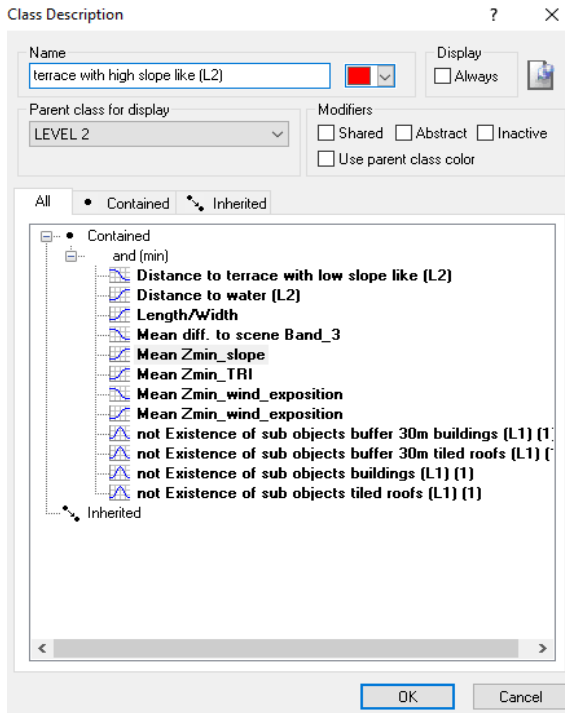
Εικόνα 62: Οι θεματικές κατηγορίες του δεύτερου επιπέδου

Αρχικά, για την κατηγορία “terrace with high slope like (L2)”, εφαρμόστηκαν οι κανόνες που όριζαν τη μέση τιμή των κλίσεων (mean Zmin slope) να είναι μεγαλύτερη από 20, τη μέση τιμή του δείκτη τραχύτητας του εδάφους (mean Zmin TRI) να είναι μεγαλύτερη από 0.18 και τη μέση τιμή του “Difference to Scene” για το μπλε κανάλι να είναι μικρότερη από 75.

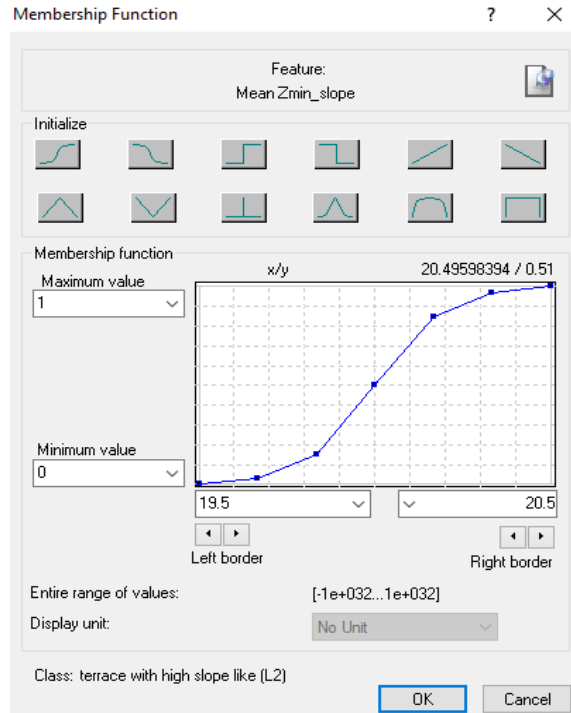
Οι κανόνες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν, επειδή τα κάθετα κομμάτια των αναβαθμίδων έχουν μεγάλες κλίσεις, μεγάλες υψομετρικές διαφορές και με τη χρήση του “Difference to Scene” αποτράπηκε να ενταχθούν στις αναβαθμίδες περιοχές που αποτελούνται από άσφαλο και τσιμέντο (δρόμοι, τσιμεντένιες αυλές κλπ).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “terrace with high slope like (L2)” (Εικόνα 63 (α) και (β), Εικόνα 64 (α) και (β)):

(α)

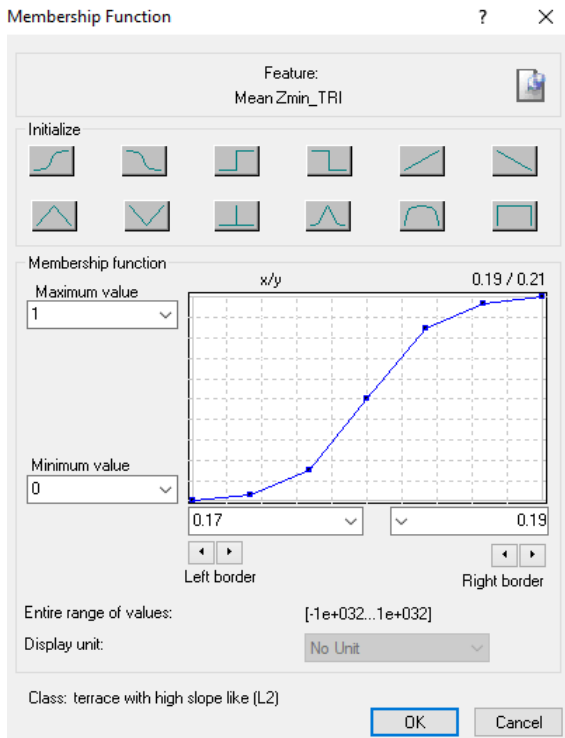


(β)

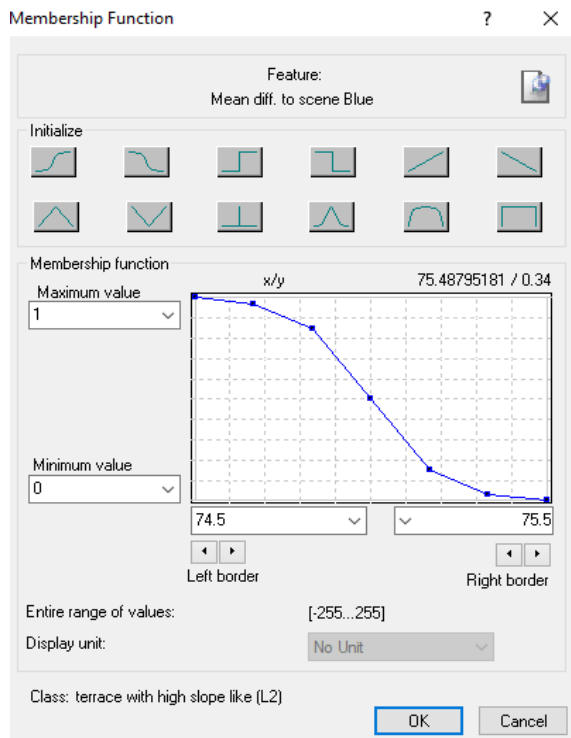


Εικόνα 63: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace with high slope like (L2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_slope”

(α)

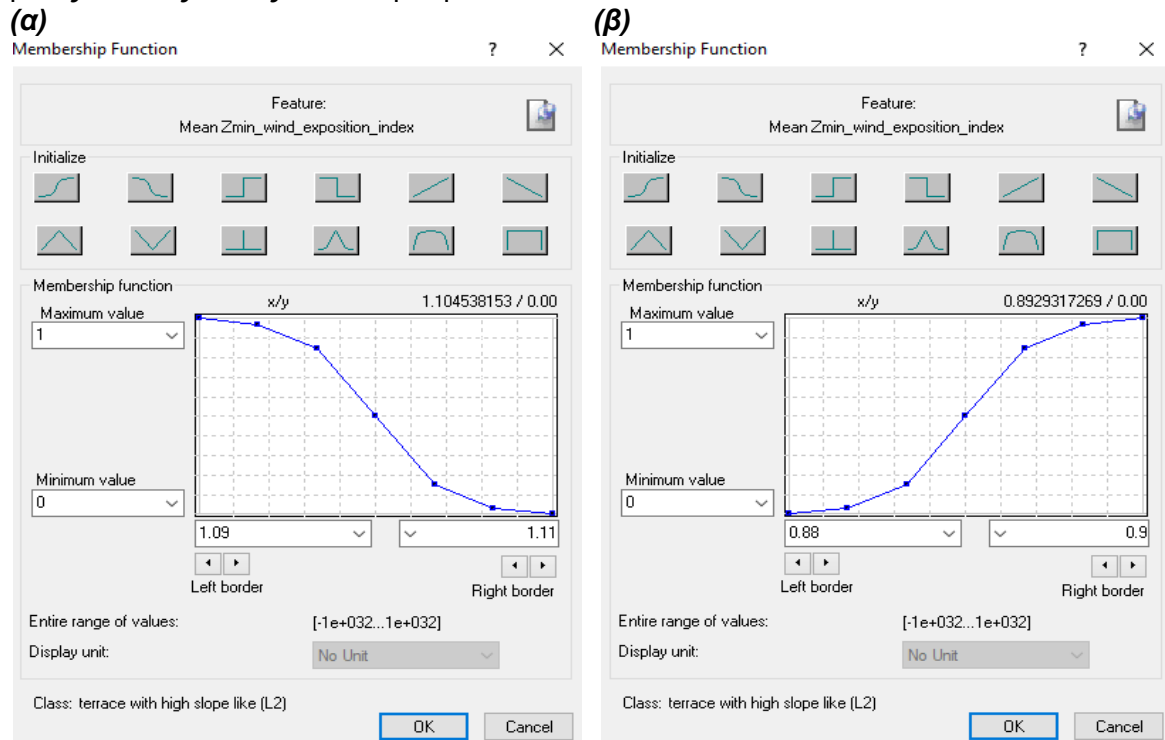


(β)

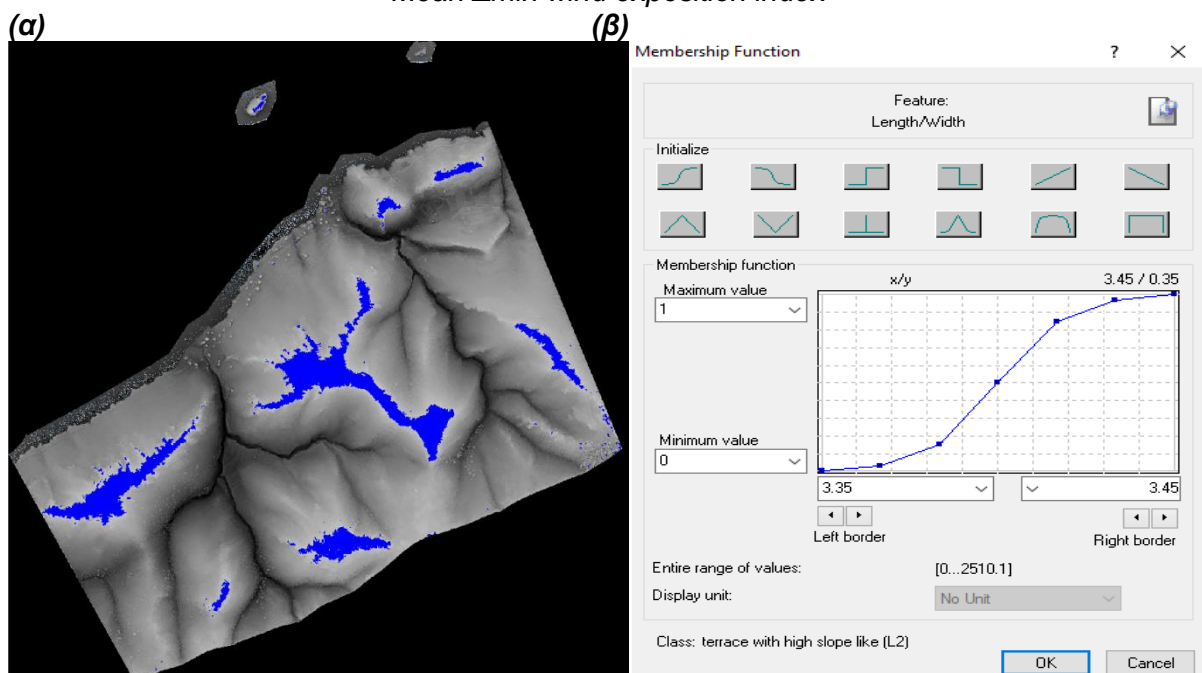


Εικόνα 64: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_TRI” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ο κανόνας που όριζε τον λόγο ιδιοτήτων του σχήματος των αντικειμένων "Length/Width" να είναι μεγαλύτερος από 3.4 καθώς το σχήμα των κάθετων κομματιών των αναβαθμίδων ήταν επιμήκες και οι κανόνες που όριζαν τη μέση τιμή του δείκτη έκθεσης του ανέμου (mean wind exposition index) να είναι μικρότερη από 1.1 και μεγαλύτερη από 0.89, ώστε να αποφευχθούν οι κορυφογραμμές των βουνών και τα ρέματα αντίστοιχα. Οι αναβαθμίδες εμφανίζονται συχνά σε πλαγιές βουνών και οι κορυφογραμμές τους ή τα ρέματα που έχουν μεγάλες ή μικρές κλίσεις και υψομετρικές διαφορές συγχέονταν με τις πιθανές θέσεις των αναβαθμίδων.



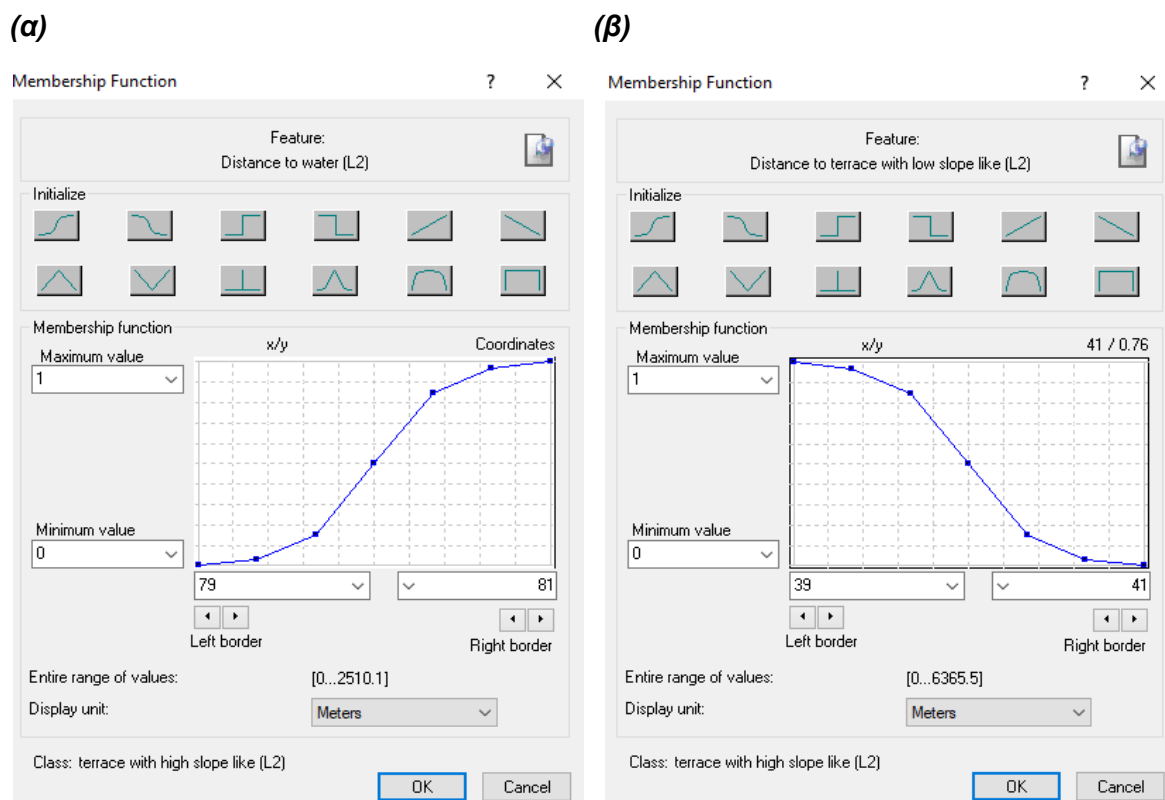
Εικόνα 65: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα "Mean Zmin wind exposition index" και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα "Mean Zmin wind exposition index"



Εικόνα 66: (α) Απόσπασμα από το "Feature View" του δείκτη έκθεσης ανέμου με ασαφή όρια 1.1 έως 10 και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα "Length/Width"

Έπειτα, χρησιμοποιήθηκαν δύο κανόνες με βάση την απόσταση από άλλες θεματικές κατηγορίες. Ο πρώτος εφαρμόστηκε για την αποφυγή συγχύσεων των πιθανών θέσεων των αναβαθμίδων (κάθετα κομμάτια - αναχώματα) με τις ακτές του νησιού που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά (μεγάλες κλίσεις και υψομετρικές διαφορές) και ορίστηκε η απόσταση των αναβαθμίδων από τη θάλασσα (distance to water (L2)) να απέχει τουλάχιστον 80 μέτρα. Ο δεύτερος εφαρμόστηκε, επειδή υπήρχαν αρκετά αντικείμενα που ταξινομούνταν ως κάθετα κομμάτια αναβαθμίδων, λόγω των μεγάλων κλίσεων όπως για παράδειγμα αντικείμενα που περιελάμβαναν βράχια κλπ. Έτσι ορίστηκε ο κανόνας όπου η απόσταση των κάθετων κομματιών (αναχώματα) των αναβαθμίδων από τα οριζόντια να είναι μικρότερη από 40 μέτρα. Η μετατροπή των αποστάσεων από πίζελες σε μέτρα έγινε με τη χρήση του εργαλείου “edit unit” από το “feature view”.

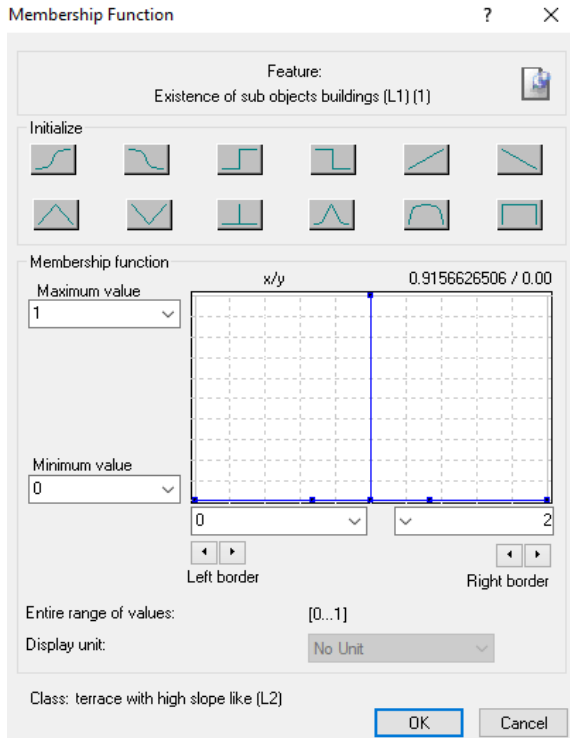
Οι συναρτήσεις συμμετοχής τα όρια της ασαφούς ζώνης για τους κανόνες “Distance to water (2)” και “Distance to terrace with low slope like (2)” (Εικόνα 67 (α) και (β)):



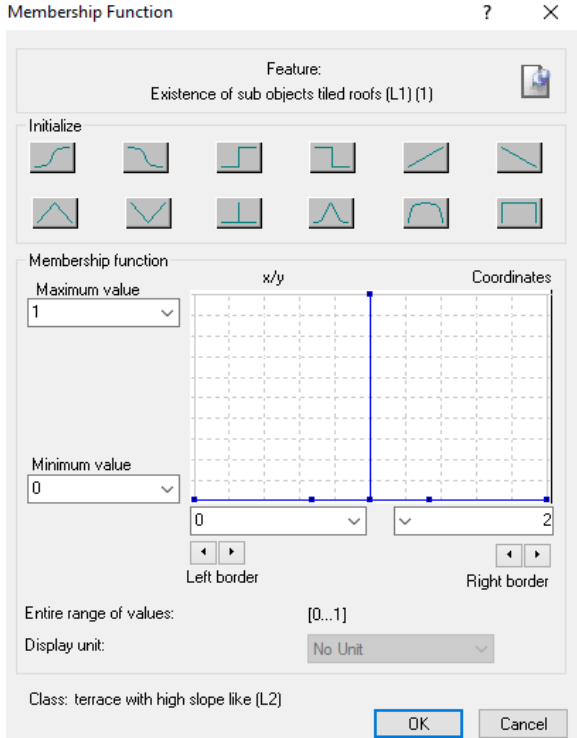
Εικόνα 67: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to water (2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to terrace with low slope like (2)”

Τέλος, ορίστηκαν οι κανόνες που απέτρεπαν (not existence of sub objects) στα αντικείμενα του δεύτερου επιπέδου να ταξινομηθούν ως κάθετα κομμάτια αναβαθμίδων, εάν τα υποαντικείμενα του πρώτου επιπέδου είχαν ταξινομηθεί ως υψηλά κτήρια, κτήρια με κεραμοσκεπές και ως ζώνες γύρω από αυτά. Ο αριθμός (1) που αναγράφεται στο τέλος του αλγόριθμου, προσδιορίζει την απόσταση του επιπέδου που ορίζεται από το επίπεδο που κληρονομείται. Παρακάτω παρουσιάζονται Οι συναρτήσεις συμμετοχής τα όρια της ασαφούς ζώνης για τους κανόνες “Existence of sub objects buildings (L1)”, “Existence of sub objects tiled roofs (L1)”, “Existence of sub objects buffer 30m buildings (L1)” και “Existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1)” (Εικόνα 68 (α) και (β), Εικόνα 69 (α) και (β)):

(α)

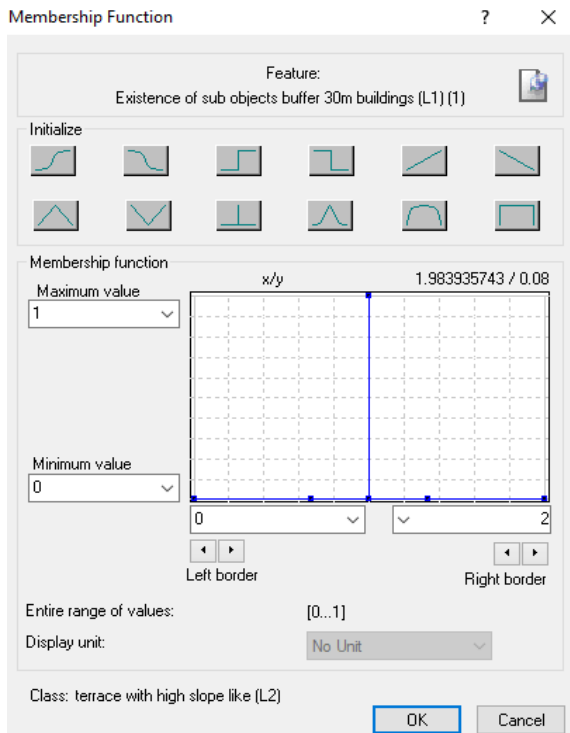


(β)

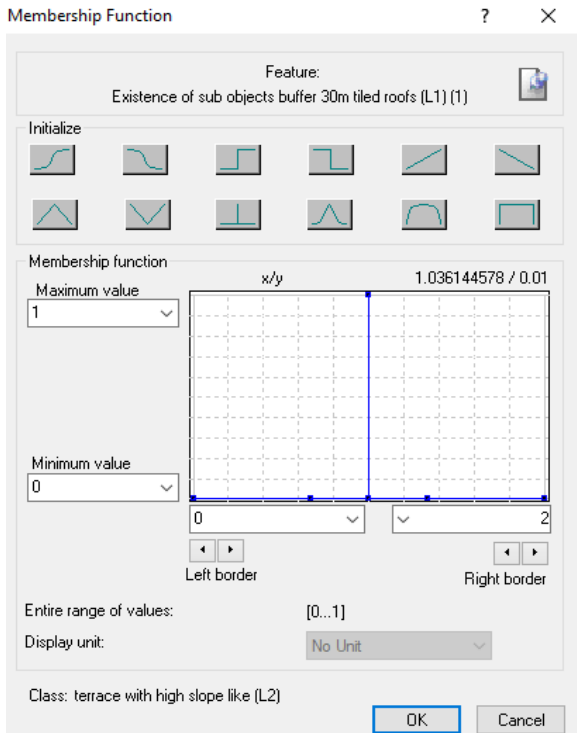


Εικόνα 68: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects tiled roofs (L1) (1)”

(α)



(β)



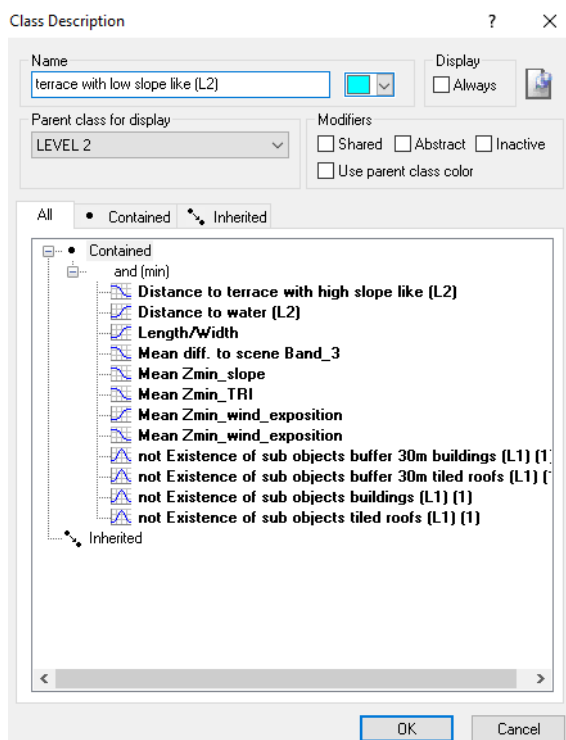
Εικόνα 69: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1) (1)”

Στη συνέχεια, για τη δεύτερη θεματική κατηγορία που αφορούσε τα οριζόντια κομμάτια των αναβαθμίδων που ονομάστηκε ως “terrace with low slope like (L2)”, εφαρμόστηκαν οι κανόνες που όριζαν τη μέση τιμή των κλίσεων (mean Zmin slope) να είναι μικρότερη από 20, τη μέση τιμή του δείκτη τραχύτητας του εδάφους (mean Zmin TRI) να είναι μικρότερη από 0.15 και τη μέση τιμή του “Difference to Scene” για το μπλε κανάλι να είναι μικρότερη από 75.

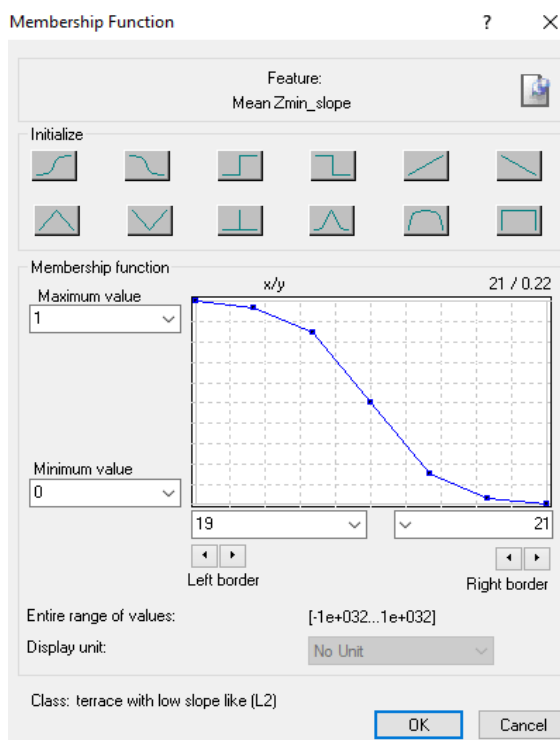
Οι κανόνες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν, επειδή τα οριζόντια κομμάτια των αναβαθμίδων έχουν μικρές κλίσεις, μικρές υψομετρικές διαφορές και με τη χρήση του “Difference to Scene” αποτράπηκε να ενταχθούν στις αναβαθμίδες περιοχές που αποτελούνται από άσφαλο και τσιμέντο (δρόμοι, τσιμεντένιες αυλές κλπ).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “terrace with low slope like (L2)” (Εικόνα 70 (α) και (β), Εικόνα 71 (α) και (β)):

(α)

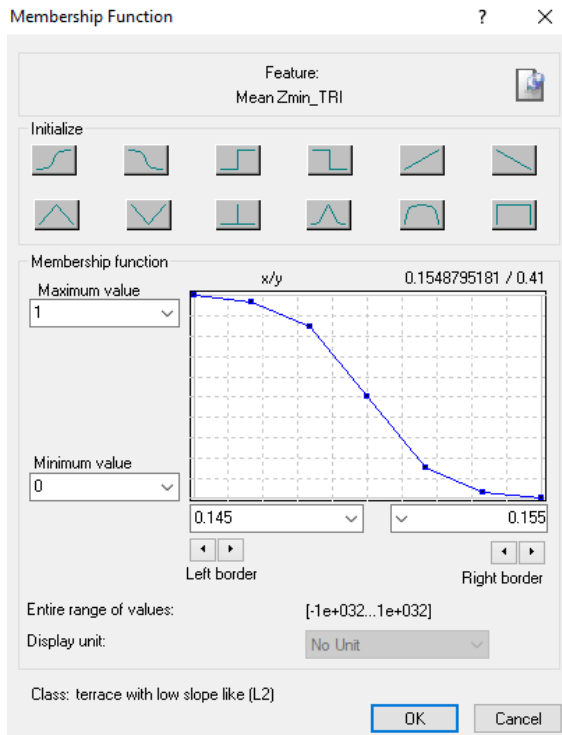


(β)

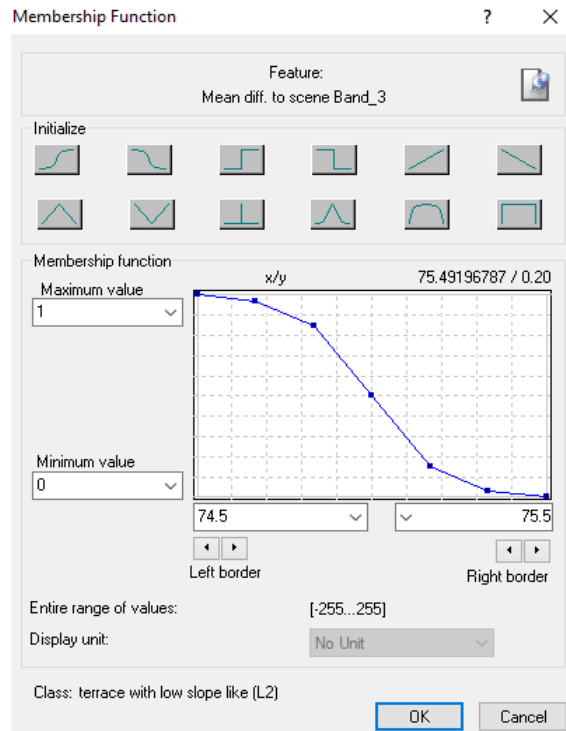


Εικόνα 70: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace with low slope like (L2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_slope”

(α)



(β)

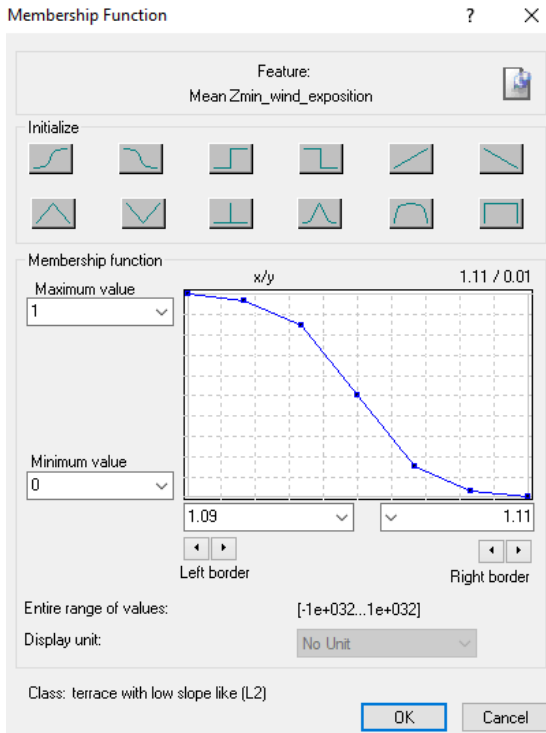


Εικόνα 71: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin_TRI” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene Blue”

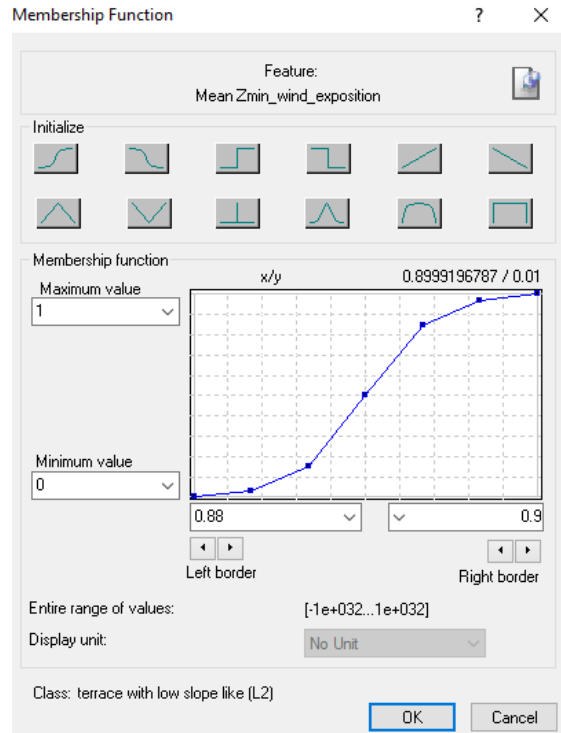
Έπειτα, εφαρμόστηκε ο κανόνας που όριζε τον λόγο ιδιοτήτων του σχήματος των αντικειμένων “Length/Width” να είναι μεγαλύτερος από 2 καθώς το σχήμα των κάθετων κομματιών των αναβαθμίδων ήταν επίμηκες. Επίσης, όπως και στα κάθετα κομμάτια (αναχώματα) των αναβαθμίδων, εφαρμόστηκαν οι κανόνες που όριζαν την μέση τιμή του δείκτη έκθεσης του ανέμου (mean wind exposition index) να είναι μικρότερη από 1.1 και μεγαλύτερη από 0.89, ώστε να αποφευχθούν οι κορυφογραμμές των βουνών και τα ρέματα αντίστοιχα.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “terrace with low slope like (L2)” (Εικόνα 72 (α) και (β), Εικόνα 73 (α) και (β)):

(α)

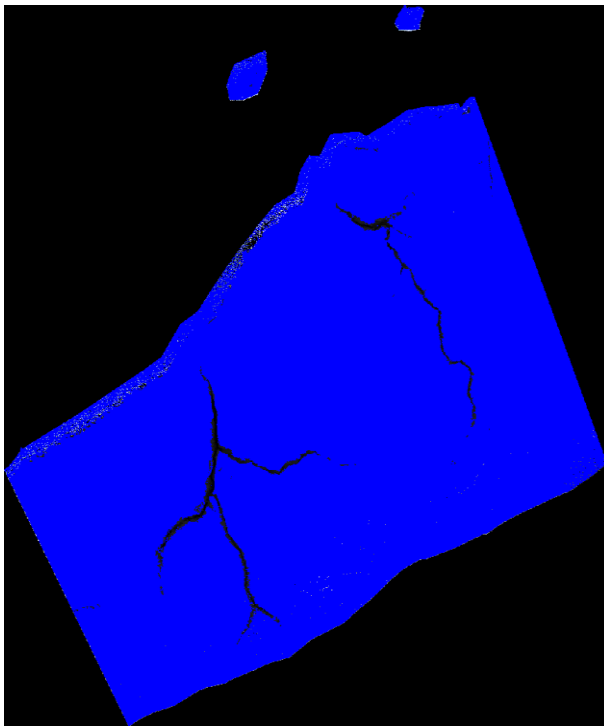


(β)

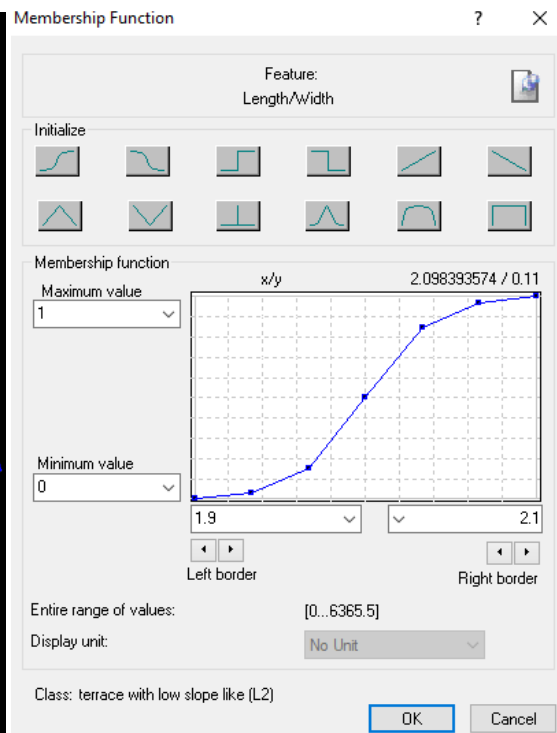


Εικόνα 72: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin wind exposition index” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean Zmin wind exposition index”

(α)



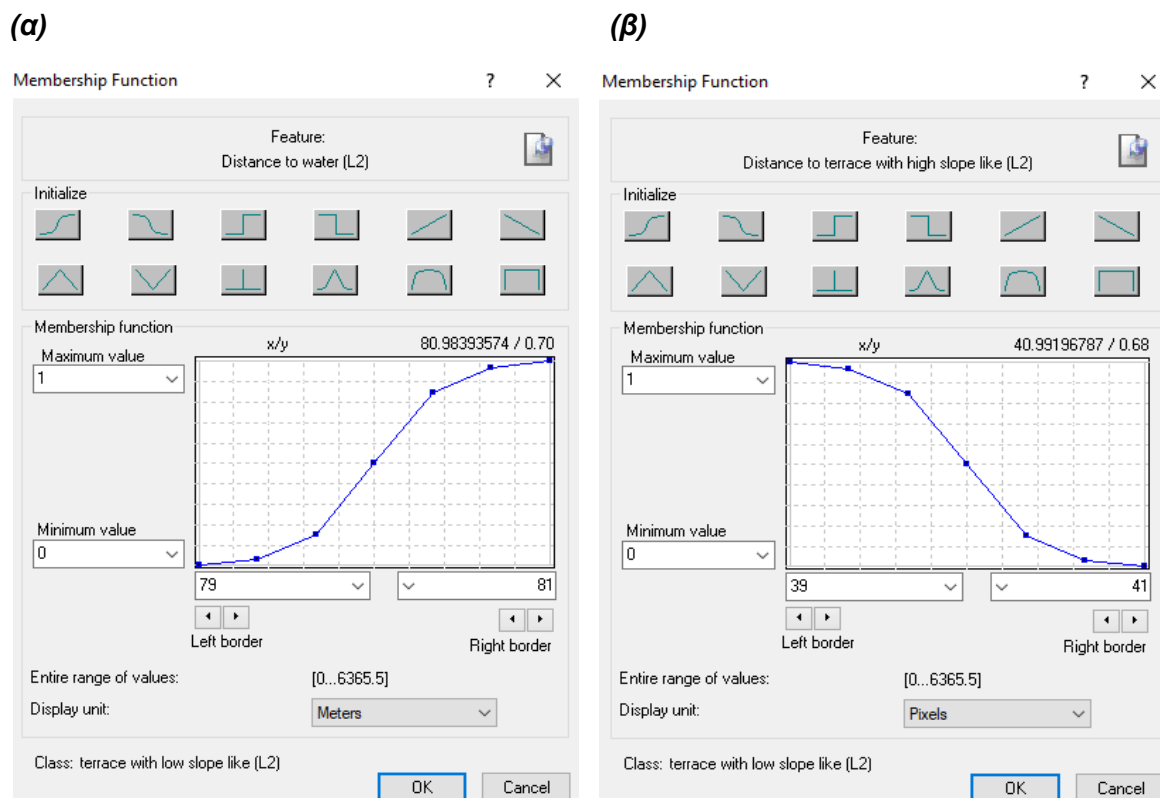
(β)



Εικόνα 73: (α) Απόσπασμα από το “Feature View” του δείκτη έκθεσης ανέμου με ασαφή όρια 0.89 έως 10 και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Length/Width”

Επιπλέον, όπως και στα κάθετα κομμάτια των αναβαθμίδων έτσι και εδώ, χρησιμοποιήθηκαν οι δύο κανόνες με βάση την απόσταση από άλλες θεματικές κατηγορίες. Ο πρώτος όριζε την απόσταση των αναβαθμίδων από τη θάλασσα (distance to water (L2)) να απέχει τουλάχιστον 80 μέτρα. Ο δεύτερος όριζε την απόσταση των οριζοντίων κομματιών των αναβαθμίδων από τα κάθετα να είναι μικρότερη από 40 μέτρα, αντίστροφα δηλαδή όπως γίνεται στην προηγούμενη κατηγορία. Η μετατροπή των αποστάσεων από πίξελ σε μέτρα έγινε με τη χρήση του εργαλείου “edit unit” από το “feature view”.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής τα όρια της ασαφούς ζώνης για τους κανόνες “Distance to water (2)” και “Distance to terrace with high slope like (2)” (Εικόνα 74 (α) και (β)):

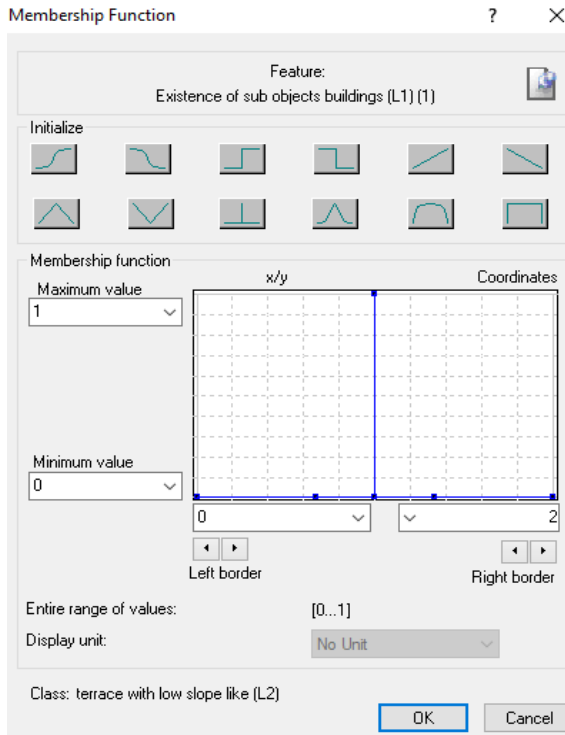


Εικόνα 74: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to water (2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Distance to terrace with high slope like (2)”

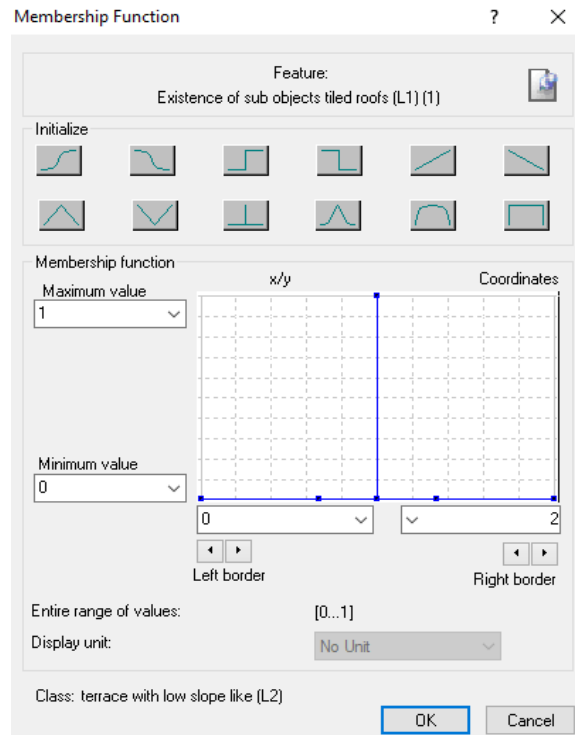
Τέλος, και σε αυτή την κατηγορία ορίστηκαν οι κανόνες που απέτρεπαν (not existence of sub objects) στα αντικείμενα του δεύτερου επιπέδου να ταξινομηθούν ως κάθετα κομμάτια αναβαθμίδων, εάν τα υπο-αντικείμενα του πρώτου επιπέδου είχαν ταξινομηθεί ως υψηλά κτήρια, κτήρια με κεραμοσκεπές και ως ζώνες γύρω από αυτά. Πάλι ο αριθμός (1) που αναγράφεται στο τέλος του αλγόριθμου, προσδιορίζει την απόσταση του επιπέδου που ορίζεται από το επίπεδο που κληρονομείται.

Παρακάτω παρουσιάζονται Οι συναρτήσεις συμμετοχής τα όρια της ασαφούς ζώνης για τους κανόνες “Existence of sub objects buildings (L1)”, “Existence of sub objects tiled roofs (L1)”, “Existence of sub objects buffer 30m buildings (L1)” και “Existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1)” (Εικόνα 75 (α) και (β), Εικόνα 76 (α) και (β)):

(α)

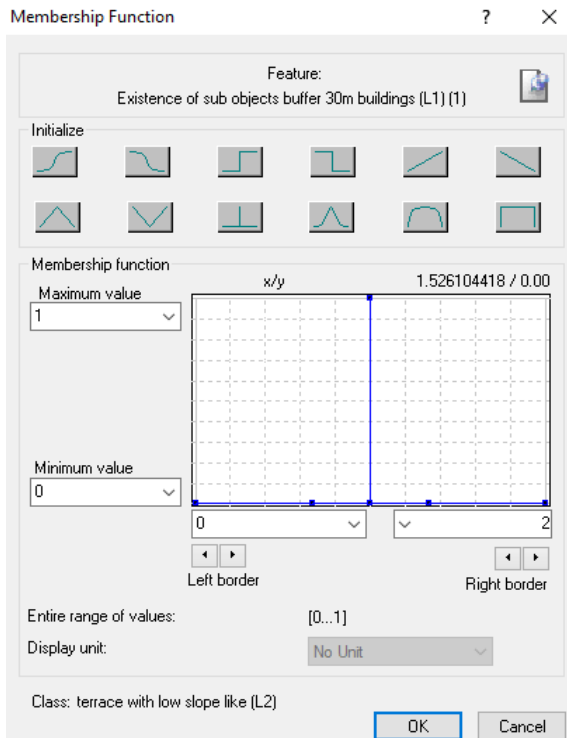


(β)

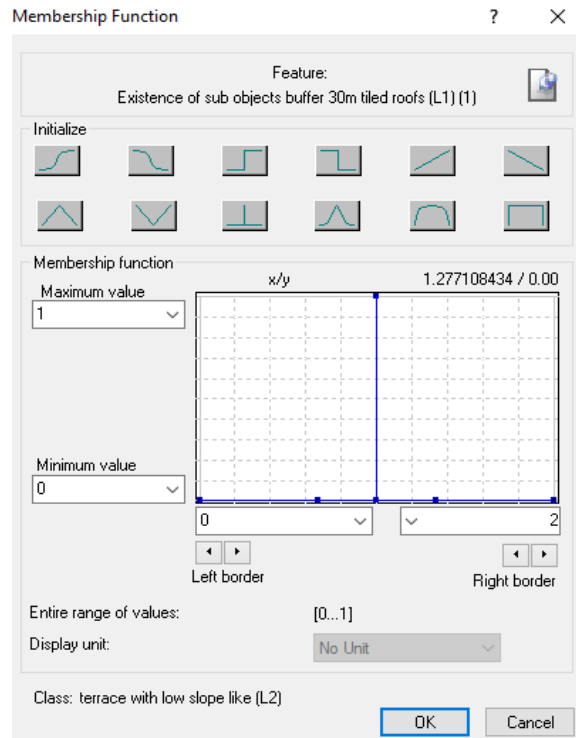


Εικόνα 75: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects tiled roofs (L1) (1)”

(α)



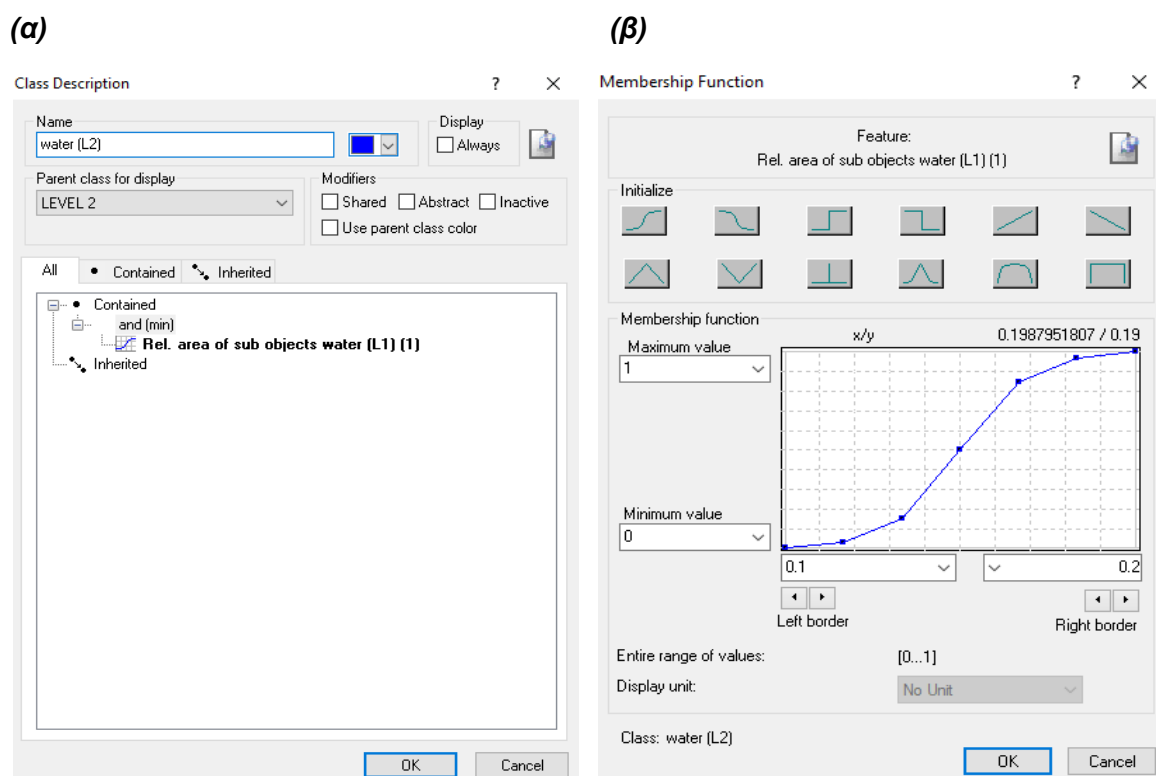
(β)



Εικόνα 76: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m buildings (L1) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1) (1)”

Η επόμενη θεματική κατηγορία που δημιουργήθηκε, αφορούσε τις υδάτινες επιφάνειες και ονομάστηκε “water (L2)”. Ο κανόνας που εφαρμόστηκε ήταν αυτός της σχετικής επιφάνειας “Relative area of sub objects water (L1) (1)” > 0.15. Ο αριθμός (1) που αναγράφεται στο τέλος του αλγόριθμου, προσδιορίζει την απόσταση του επιπέδου που ορίζεται από το επίπεδο που κληρονομείται και οι τιμές ορίζουν ότι εάν στα νέα αντικείμενα το 15% εμπεριέχει αντικείμενα που έχουν εισαχθεί στην κατηγορία “water (L1)”, τότε αυτή η περιοχή εντάσσεται στην κατηγορία “water (L2)”.

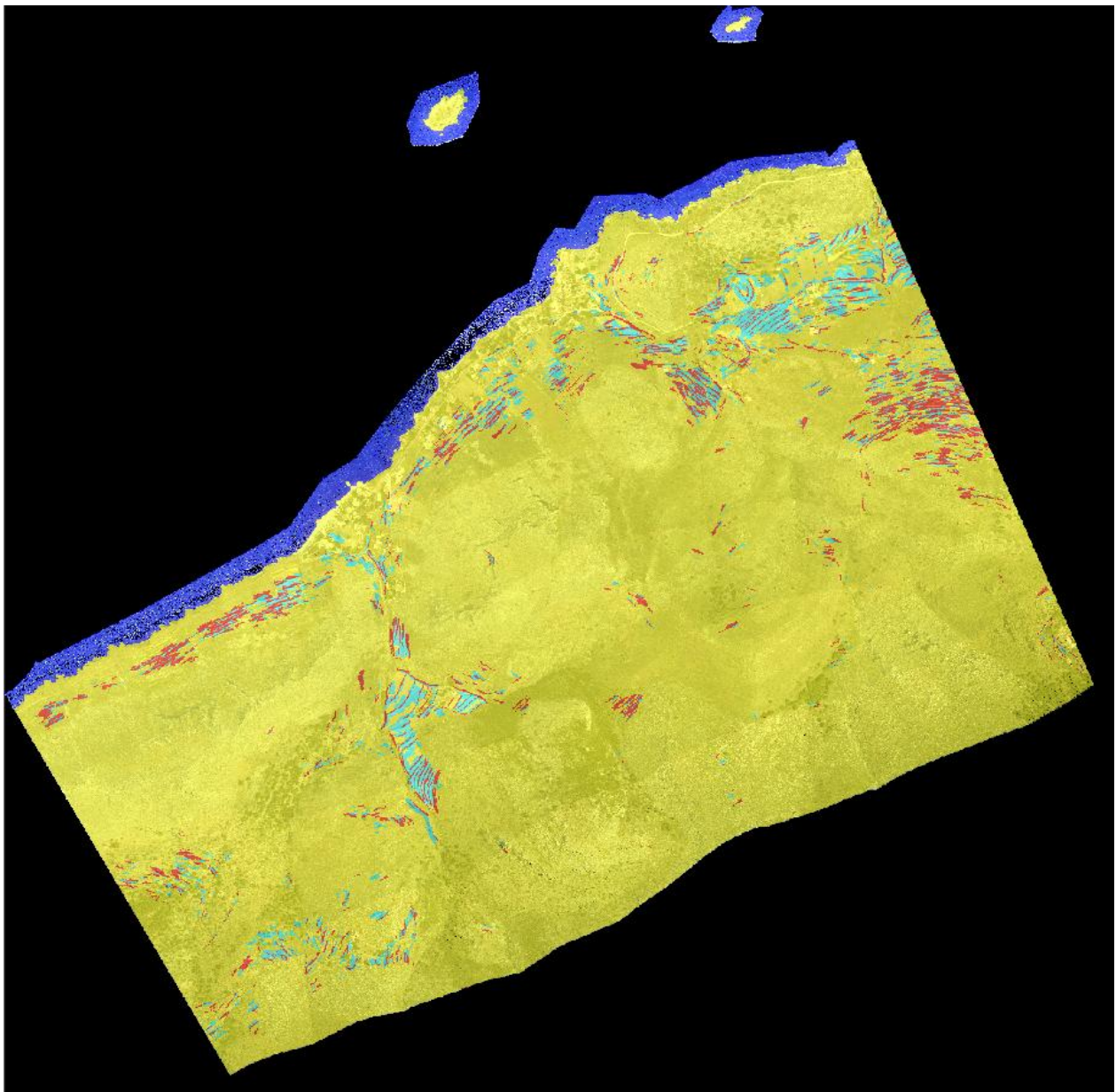
Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “water (L2)” (Εικόνα 77 (α) και (β)):



Εικόνα 77: (α) Κανόνες κατηγορίας “water (L2)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects water (L1) (1)”

Η τελευταία θεματική κατηγορία που ορίστηκε αφορούσε όλες τις υπόλοιπες περιοχές που δεν περιελάμβαναν τις αναβαθμίδες και τις υδάτινες περιοχές και ονομάστηκε “no terrace (L2)”. Για την κατηγορία αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι κανόνες “not terrace with high slope like (L2)”, “not terrace with low slope like (L2)” και “not water (L2)”. Με αυτό τον τρόπο εισήρθαν σε αυτήν όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας που δεν ήταν αναβαθμίδες ή υδάτινες επιφάνειες.

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου (Level 2) παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 78):



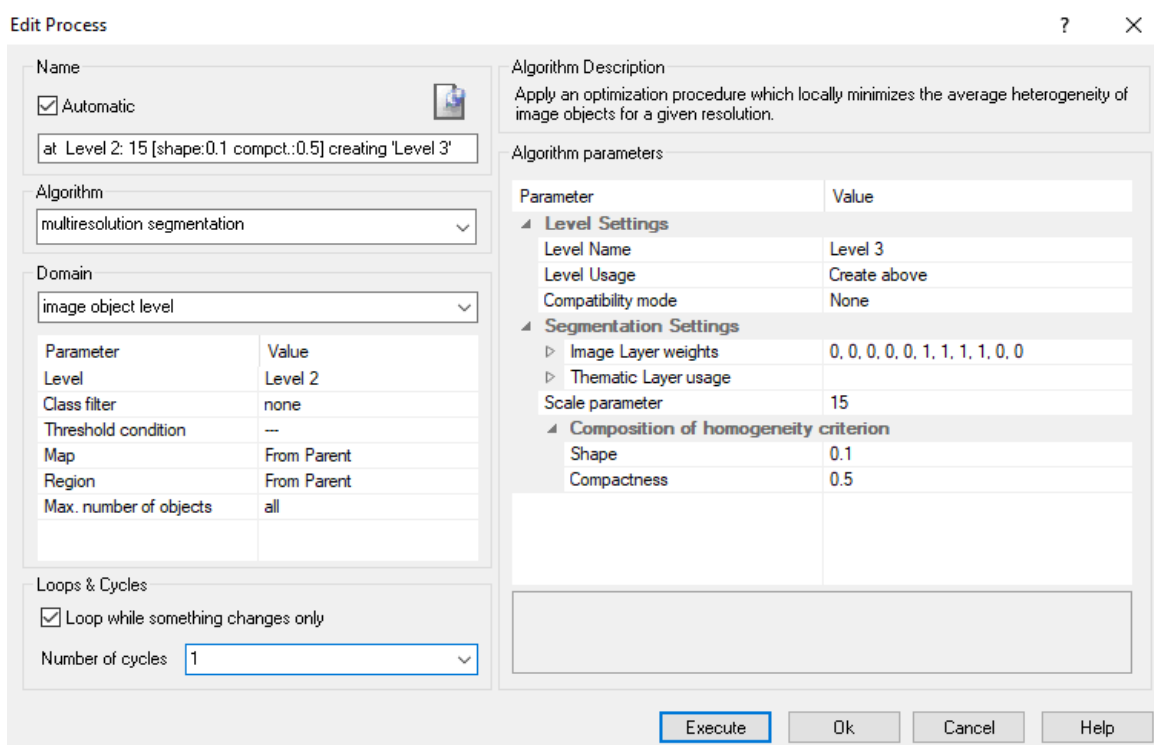
- no terrace like (L2)
- terrace with high slope like (L2)
- terrace with low slope like (L2)
- water (L2)

Εικόνα 78: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου (Level 2)

3.4.7 Κατάτμηση τρίτου επιπέδου (Level 3)

Η δημιουργία του τρίτου επιπέδου (Level 3), το οποίο τοποθετήθηκε ακριβώς από πάνω από το δεύτερο επίπεδο, έγινε με σκοπό την ένωση οριζόντιων και κάθετων κομματιών των αναβαθμίδων σε μια ενιαία κατηγορία. Η κατάτμηση του τρίτου επιπέδου βασίστηκε στην πρώτη και τελευταία επιστροφή του Lidar Zmin dem και Zmax dem, καθώς και στις κλίσεις Zmin slope και Zmax slope. Οι παράμετροι έμειναν ίδιοι με αυτούς στο δεύτερο επίπεδο εκτός από αυτόν της παραμέτρου κλίμακας.

Ύστερα από πολλαπλές δοκιμές, για την επιλογή του καλύτερου μεγέθους των αντικειμένων, στην παράμετρο κλίμακας (scale parameter) δόθηκε μεσαίου μεγέθους τιμή ίση με 15 (μεγαλύτερη από τα δύο προηγούμενα), έτσι ώστε να δημιουργηθούν σχετικά μικρών πολυγώνων, όπου μπορούν να εντοπιστούν ικανοποιητικά οι αναβαθμίδες. Όσον αφορά για τις παραμέτρους ομοιογένειας, για το κριτήριο χρώματος (color) δόθηκε πολύ μεγαλύτερη σημασία από το κριτήριο σχήματος (shape) και για αυτό πήραν τιμές 0.9 και 0.1 αντίστοιχα. Για το λείο οριογραμμής (smoothness) και το συμπαγές του σχήματος (compactness) δόθηκε ισάξια σημασία και έτσι πήραν την ίδια τιμή 0.5.

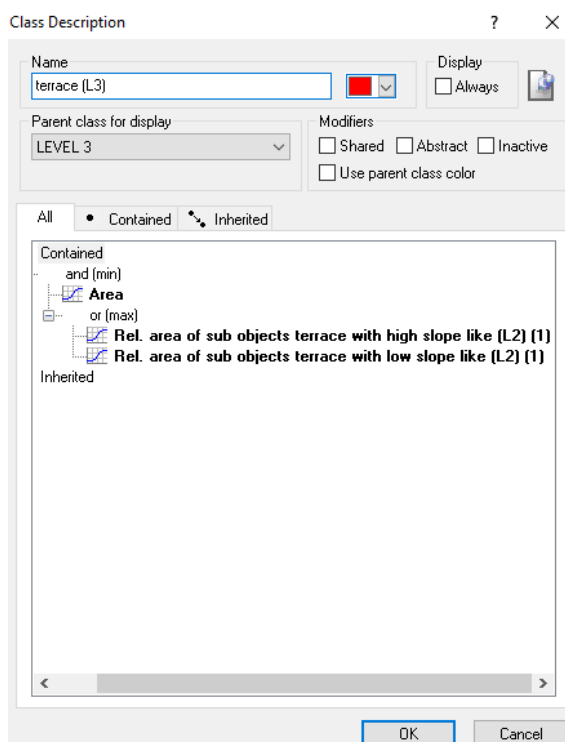


Εικόνα 79: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το τρίτο επίπεδο (Level 3)

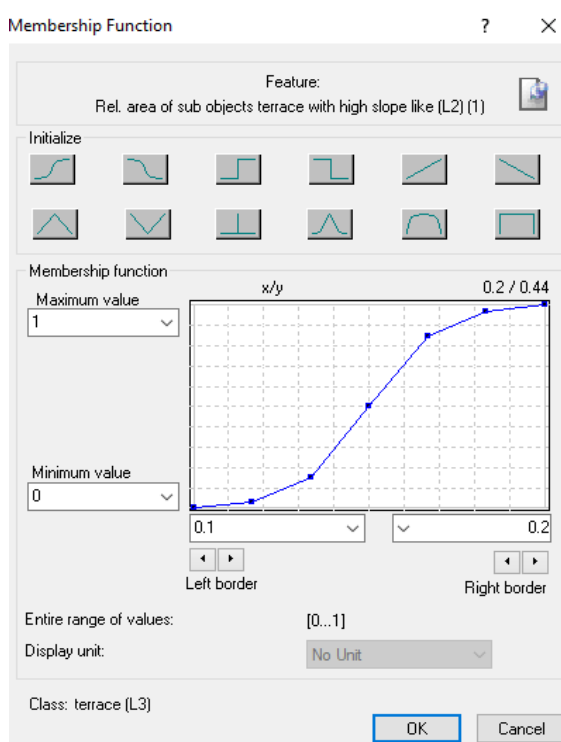
3.4.8 Ταξινόμηση τρίτου επιπέδου (Level 3)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο σκοπός της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3) ήταν η ένωση οριζόντιων και κάθετων κομματιών (αναχώματα) των αναβαθμίδων σε μια ενιαία κατηγορία. Προκειμένου να γίνει αυτό, ορίστηκε η κατηγορία “terrace (L3)” να περιέχει αντικείμενα στα οποία υπάρχουν οι κατηγορίες “terrace with high slope like (L2)” και “terrace with low slope like (L2)” αντίστοιχα σαν υποαντικείμενα, ενώ ορίστηκε επίσης και η κατηγορία “no terrace (L3)” να περιέχει όλα τα υπόλοιπα. Η συγκεκριμένη διαδικασία έγινε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της σχέσης των χαρακτηριστικών με υπό-αντικείμενα “Relations to sub objects”. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίστηκε ότι όλα τα αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί στις συγκεκριμένες κατηγορίες στο κατώτερο επίπεδο θα διατηρήσουν την ταξινόμησή τους αυτή και θα μεταφέρονται οι ιδιότητές αυτών των κατηγοριών στο τρέχον επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, για την κατηγορία “terrace (L3)” εφαρμόστηκε ο κανόνας της σχετικής επιφάνειας “Relative area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1) > 0.15”. Ο ίδιος κανόνας με τα ίδια όρια χρησιμοποιήθηκε και για την κατηγορία “terrace with low slope like (L2)”. Για τις δύο αυτές κατηγορίες χρησιμοποιήθηκε ο τελεστής or (max), έτσι ώστε να μην μεταφέρονται στο τρέχον επίπεδο μόνο τα αντικείμενα της μίας, αλλά και των δύο. Για την κατηγορία “no terrace (L3)” εφαρμόστηκε ο κανόνας “not terrace (L3)” έτσι ώστε τα αντικείμενα που δεν είχαν ταξινομηθεί στην άλλη θεματική κατηγορία να ενταχθούν σε αυτήν.

(α)

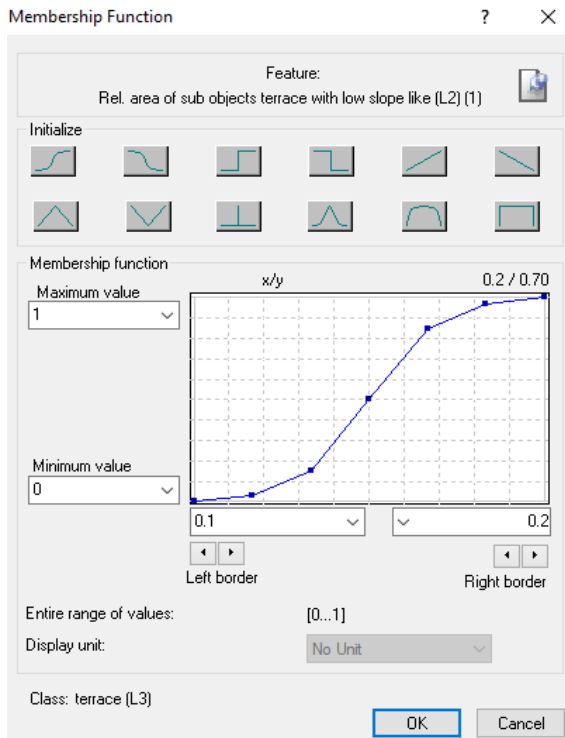


(β)

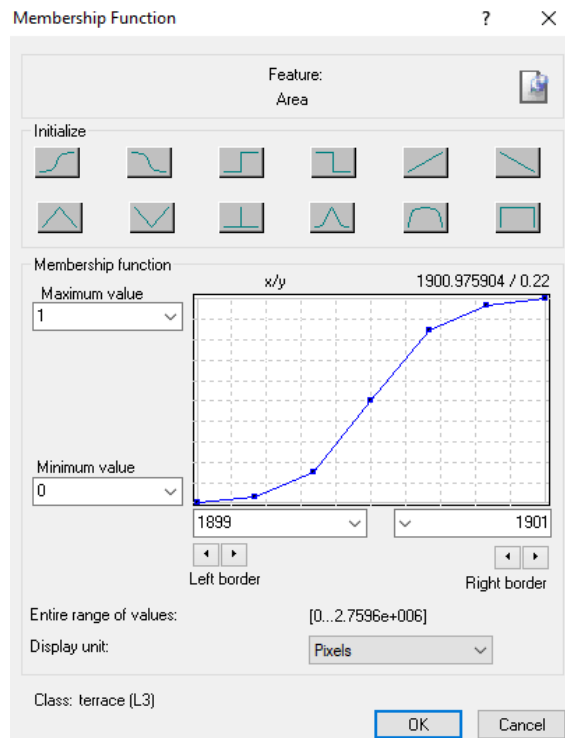


Εικόνα 80: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace (L3)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1)”

(α)



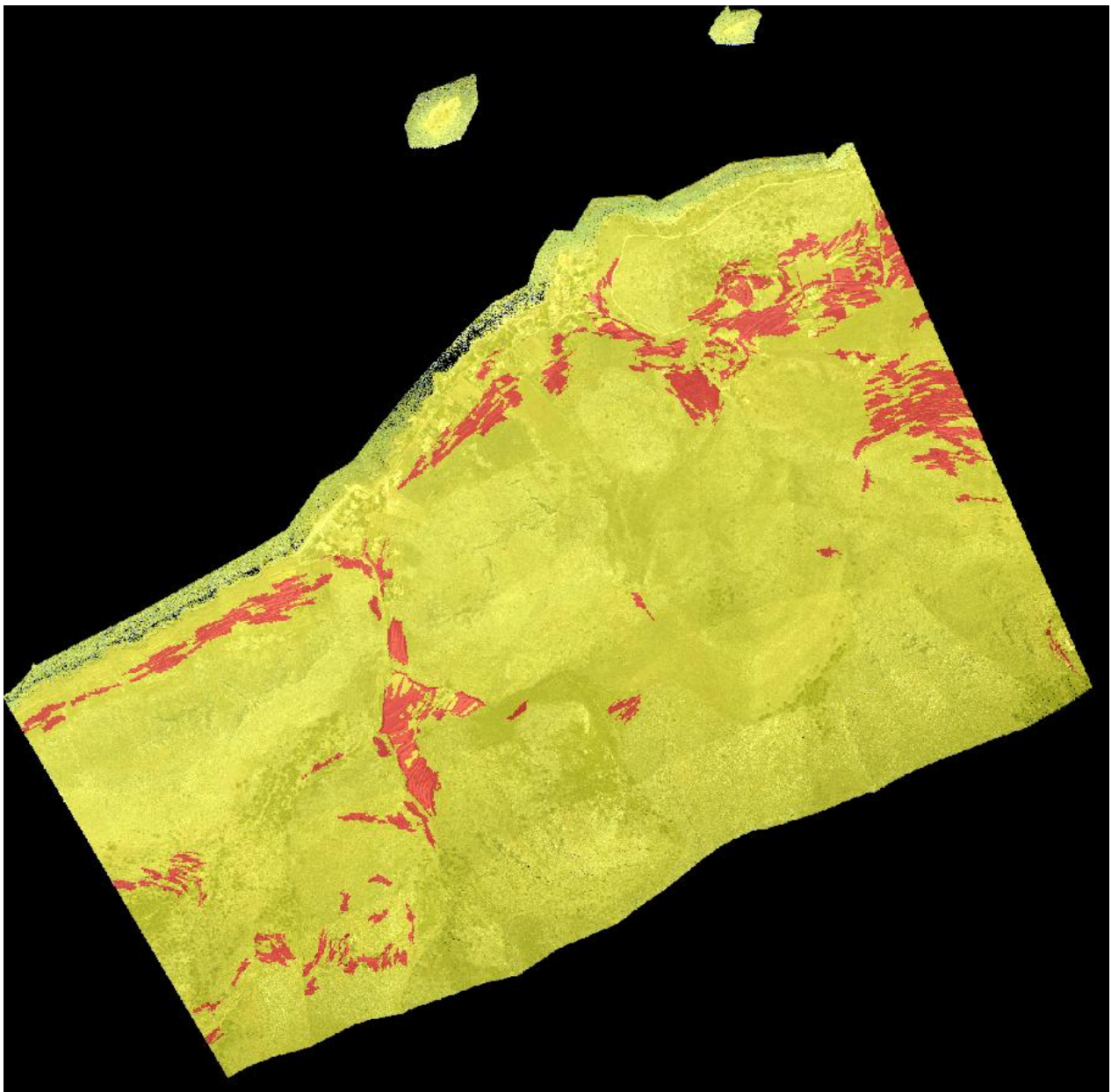
(β)



Εικόνα 81: (α) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with low slope like (L2) (1)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Area”

Μετά την ολοκλήρωση της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου, για την απαλοιφή του θορύβου και για καλύτερα αποτελέσματα για την κατηγορία “terrace (L3)” πραγματοποιήθηκε μια μετα-ταξινόμηση. Αρχικά εκτελέστηκε ο αλγόριθμος “merge region”, όπου σύμφωνα με αυτόν τα αντικείμενα του επιπέδου που ανήκουν στην ίδια κατηγορία και ακουμπάνε μεταξύ τους, ενώνονται σε ένα ενιαίο. Στη συνέχεια τέθηκε ένας νέος κανόνας σχετικά με το εμβαδόν (Area) σε πίξελς αυτών των νέων μεγαλύτερων αντικείμενων. Έτσι όσα αντικείμενα που είχαν εμβαδόν μικρότερο από 1900 πίξελς απαλείφθηκαν.

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3) παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 82):

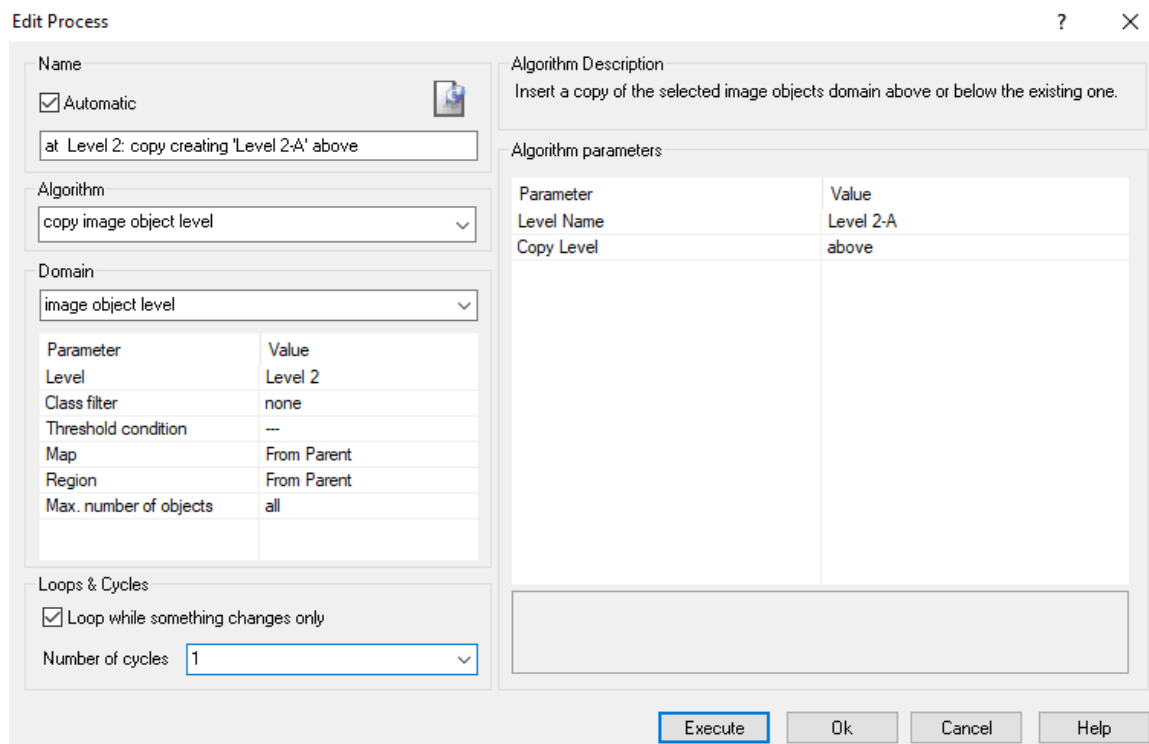


- no terrace (L3)
- terrace (L3)

Εικόνα 82: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3)

3.4.9 Κατάμηση τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A)

Το τέταρτο επίπεδο (Level 4-2A) ήταν αντιγραφή του δεύτερου επιπέδου (copy image object level) και τοποθετήθηκε ανάμεσα στο δεύτερο και στο τρίτο επίπεδο. Δημιουργήθηκε με σκοπό να βελτιώσει το δεύτερο επίπεδο, όπου σε αυτό υπήρξαν ορισμένα αντικείμενα λάθος ταξινομημένα, τα οποία φάνηκαν μετά και την ταξινόμηση του τρίτου επιπέδου.

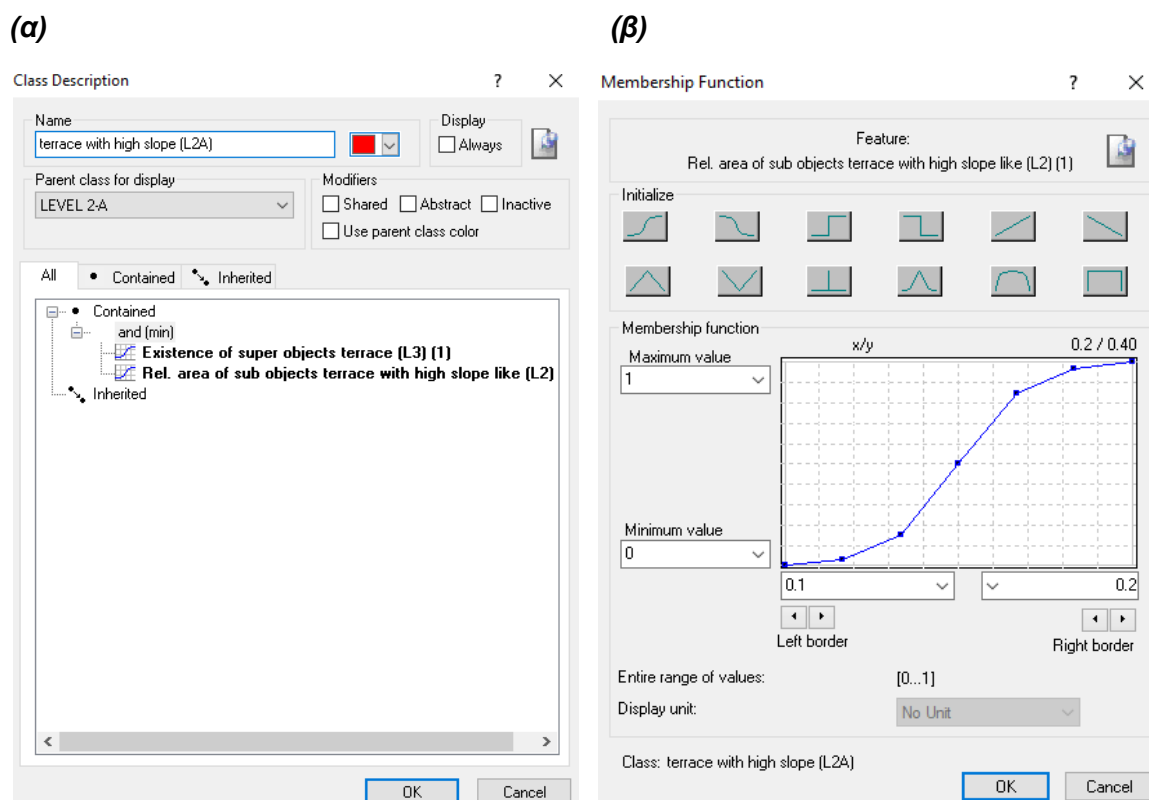


Εικόνα 83: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level 4-2A)

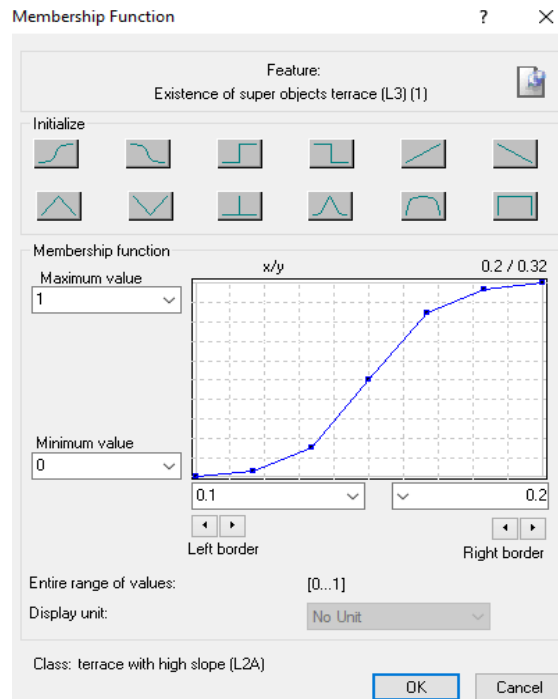
3.4.10 Ταξινόμηση τέταρτου επιπέδου (Level 4)

Οι κατηγορίες που ορίστηκαν ήταν οι ίδιες με αυτές του δεύτερου επιπέδου χωρίς τις υδάτινες επιφάνειες και ήταν οι εξής: “terrace with high slope (L2A)”, “terrace with low slope (L2A)” και “no terrace (L2A)”. Για την κατηγορία “terrace with high slope (L2A)” ορίστηκε να περιέχει αντικείμενα στα οποία υπάρχει η κατηγορία “terrace with high slope like (L2)” σαν υπό-αντικείμενα, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της σχέσης των χαρακτηριστικών με υπό-αντικείμενα “Relations to sub objects”. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίστηκε ότι όλα τα αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί στη συγκεκριμένη κατηγορία στο κατώτερο επίπεδο θα διατηρήσουν την ταξινόμησή τους αυτή και θα μεταφέρονται οι ιδιότητές αυτών των κατηγοριών στο τρέχον επίπεδο. Έτσι εφαρμόστηκε ο κανόνας σχετικής επιφάνειας “Relative area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1)” > 0.15 . Αντίστοιχα για την κατηγορία ορίστηκε να περιέχει αντικείμενα στα οποία υπάρχει η κατηγορία “terrace (L3)” σαν υπερ-αντικείμενα, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο με υπερ-αντικείμενα “Existence of super objects”. Έτσι εφαρμόστηκε ο κανόνας “Existence of super objects terrace (L3) (1)” > 0.15 .

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία “terrace with low slope like (L2)” (Εικόνα 84 (α) και (β), Εικόνα 85):



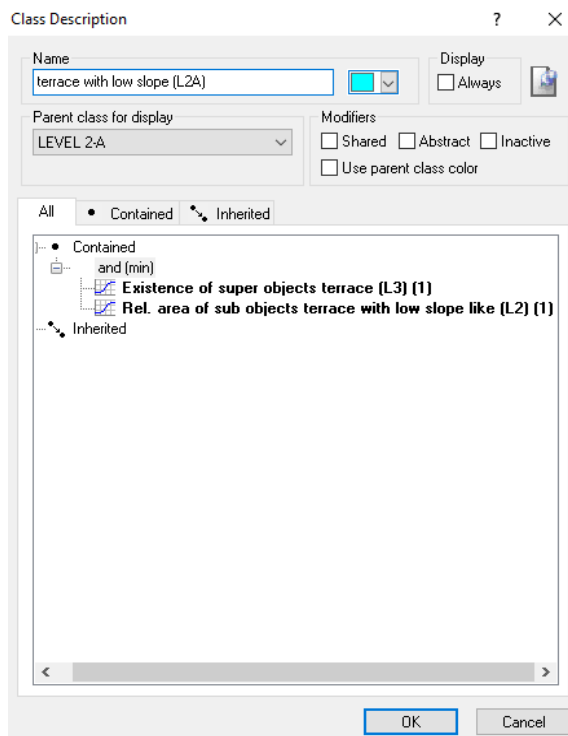
Εικόνα 84: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace with high slope (L2A)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1)”



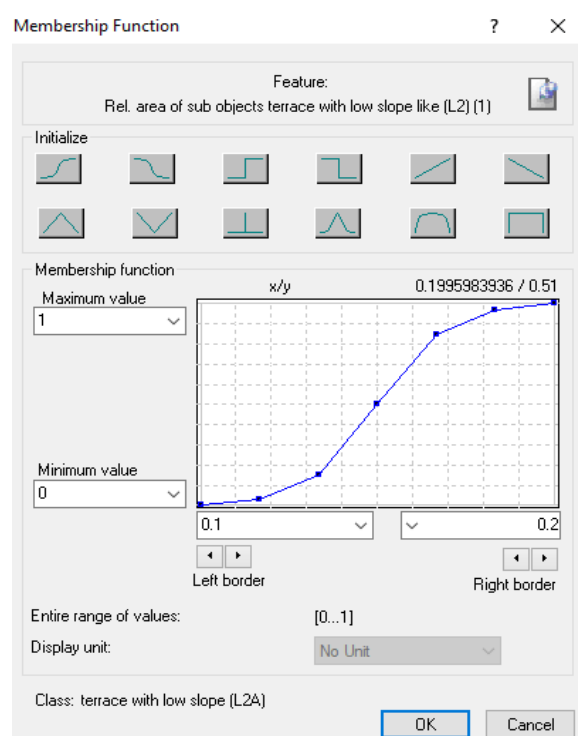
Εικόνα 85: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of super objects terrace (L3) (1)”

Ομοίως οι ίδιοι κανόνες εφαρμόστηκαν και για την κατηγορία “terrace with low slope (L2A)”. Έτσι ορίστηκαν οι κανόνες της σχετικής επιφάνειας “Relative area of sub objects terrace with low slope like (L2) (1)” > 0.15 και “Existence of super objects terrace (L3) (1)” > 0.15.

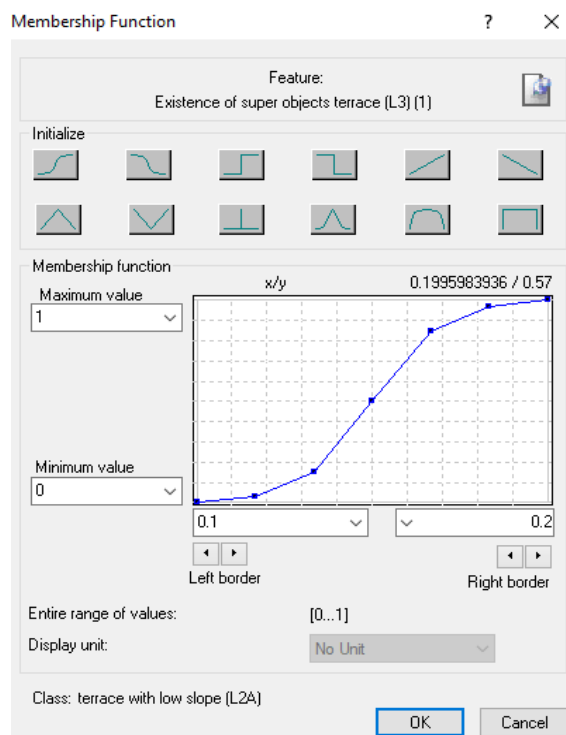
(α)



(β)



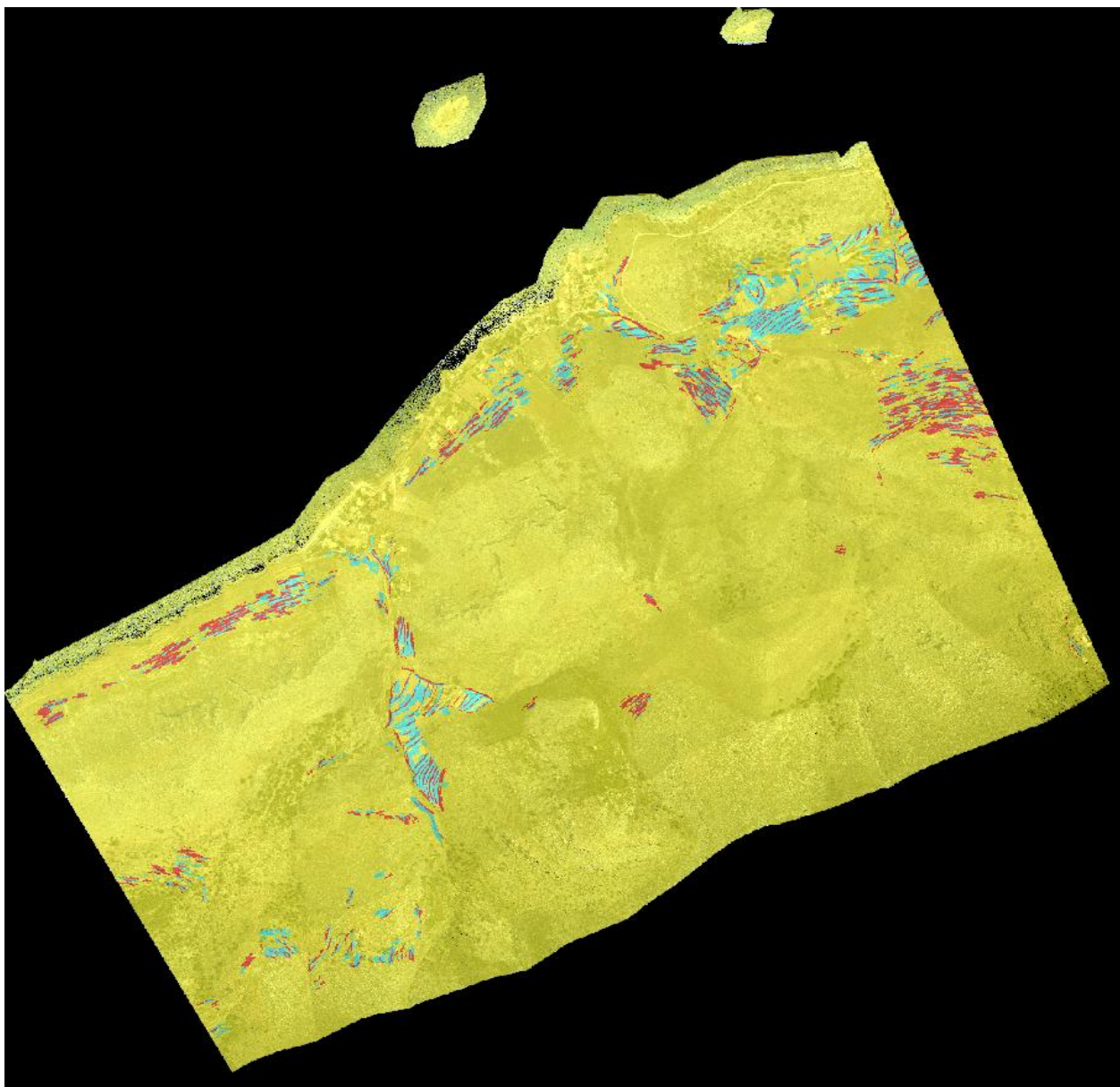
Εικόνα 86: (α) Κανόνες κατηγορίας “terrace with low slope (L2A)” και (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects terrace with low slope like (L2) (1)”



Εικόνα 87: Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of super objects terrace (L3) (1)”

Τέλος, για την κατηγορία “no terrace (L2A)” εφαρμόστηκαν οι κανόνες “not terrace with high slope (L2A)” και “not terrace with low slope (L2A)”, έτσι ώστε να αντικείμενα που δεν είχαν ταξινομηθεί στις άλλες θεματικές κατηγορίες να ενταχθούν σε αυτήν.















Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A) παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 88):





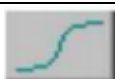

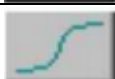




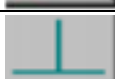


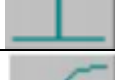






















- no terrace (L2A)
- terrace with high slope (L2A)
- terrace with low slope (L2A)

Εικόνα 88: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A)

Παρακάτω ακολουθούν ένας συγκεντρωτικός πίνακας με όλους τους κανόνες και τα όρια που τέθηκαν για κάθε μια κατηγορία και των τεσσάρων επιπέδων (Πίνακας 2) καθώς και το διάγραμμα ροής (Διάγραμμα 1):

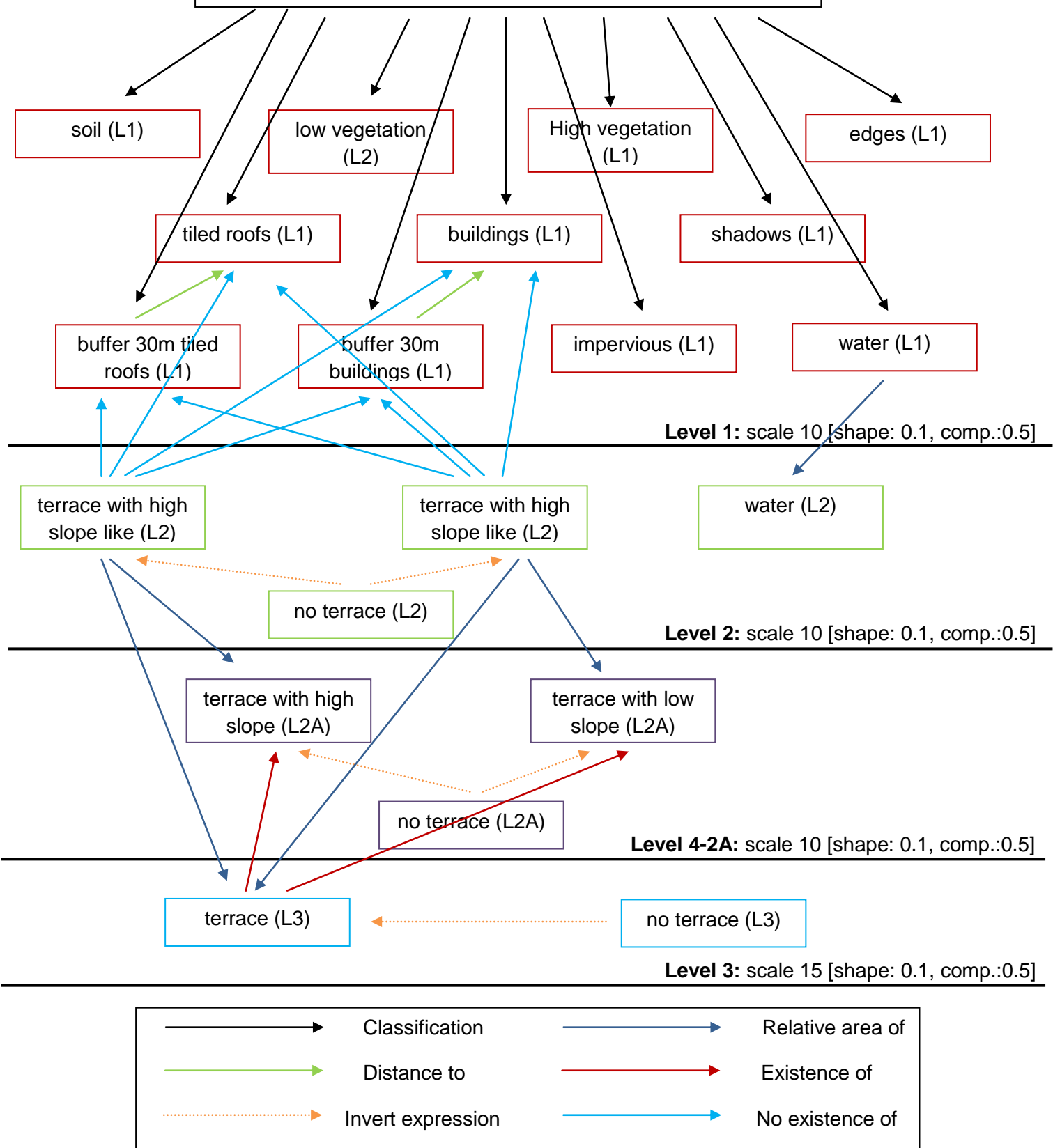
| Level | Κατηγορία | Τελεστής | Κανόνας | Συνάρτηση Συμμετοχής | Αριστερό όριο | Δεξί όριο |
|-----------|-----------------------------|------------------|---|---|---------------|-----------|
| 1 | buffer 30m buildings (L1) | and (min) | Distance to buildings (L1) |  | 29 | 31 |
| | buffer 30m tiled roofs (L1) | and (min) | Distance to tiled roofs (L1) |  | 29 | 31 |
| | buildings (L1) | and (min) | Mean diff. to scene Blue |  | 86.5 | 87.5 |
| | | | Mean diff. to neighbors Zmin dem (0) |  | 0.15 | 0.25 |
| | | | Mean diff. to neighbors Zmin TRI (0) |  | -0.35 | -0.25 |
| | | | not tiled roofs (L1) | | | |
| | edges (L1) | and (min) | Mean Zmin TRI |  | 0.9 | 1.1 |
| | | | not high vegetation | | | |
| | | or (max) | Rel. border to buildings (L1) |  | 0.01 | 0.02 |
| | | | Rel. border to tiled roofs (L1) |  | 0.01 | 0.02 |
| | high vegetation (L1) | and (min) | Ratio GREEN |  | 0.345 | 0.355 |
| | | | Mean Zmax - Zmin |  | 1.1 | 1.2 |
| | | | not shadows (L1) | | | |
| | impervious (L1) | and (min) | Mean diff. to scene Blue |  | 45.5 | 46.5 |
| | | | not buildings (L1) | | | |
| | | | not high vegetation (L1) | | | |
| | | | not shadows (L1) | | | |
| | | | not soil (L1) | | | |
| | | | not tiled roofs (L1) | | | |
| | tiled roofs (L1) | and (min) | RED/GREEN |  | 1.265 | 1.275 |
| | | | Mean diff. to neighbors Zmin dem (0) |  | 0.355 | 0.365 |
| soil (L1) | and (min) | RED/GREEN |  | 1.126 | 1.128 | |
| | | not shadows (L1) | | | | |

| | | | | | | |
|---------------|-----------------------------------|-----------|---|---|-------|------|
| | shadows (L1) | and (min) | Ratio RED |  | 0.34 | 0.35 |
| | | | not water (L1) | | | |
| | low vegetation (L1) | and (min) | not buildings (L1) | | | |
| | | | not high vegetation (L1) | | | |
| | | | not impervious (L1) | | | |
| | | | not shadows (L1) | | | |
| | | | not soil (L1) | | | |
| | | | not tiled roofs (L1) | | | |
| | | | not water (L1) | | | |
| | water (L1) | and (min) | Ratio BLUE |  | 0.26 | 0.28 |
| Mean Zmin dem | | |  | 7.8 | 8.0 | |
| 2 | terrace with high slope like (L2) | and (min) | Mean Zmin slope |  | 19.5 | 20.5 |
| | | | Mean Zmin TRI |  | 0.17 | 0.19 |
| | | | Mean diff. to scene Blue |  | 74.5 | 75.5 |
| | | | Length/Width |  | 3.35 | 3.45 |
| | | | Mean Zmin wind exposition index |  | 0.88 | 0.90 |
| | | | Mean Zmin wind exposition index |  | 1.09 | 1.11 |
| | | | Distance to terrace with low slope like (L1) |  | 39 | 41 |
| | | | Distance to water (L2) |  | 79 | 81 |
| | | | not existence of sub objects buildings (L1) |  | 0 | 2 |
| | | | not existence of sub objects tiled roofs (L1) |  | 0 | 2 |
| | | | not existence of sub objects buffer 30m buildings (L1) |  | 0 | 2 |
| | | | not existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1) |  | 0 | 2 |
| | terrace with low slope like (L2) | and (min) | Mean Zmin slope |  | 19 | 21 |
| Mean Zmin TRI | | |  | 0.145 | 0.155 | |

| | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----------|--|---|------|------|
| | | | Mean diff. to scene Blue |  | 74.5 | 75.5 |
| | | | Length/Width |  | 1.9 | 2.1 |
| | | | Mean Zmin wind exposition index |  | 0.88 | 0.90 |
| | | | Mean Zmin wind exposition index |  | 1.09 | 1.11 |
| | | | Distance to terrace with low slope like (L1) |  | 39 | 41 |
| | | | Distance to water (L2) |  | 79 | 81 |
| | | | not existence of sub objects buildings (L1) |  | 0 | 2 |
| | | | not existence of sub objects tiled roofs (L1) |  | 0 | 2 |
| | | | not existence of sub objects buffer 30m buildings (L1) |  | 0 | 2 |
| | | | not existence of sub objects buffer 30m tiled roofs (L1) |  | 0 | 2 |
| | no terrace (L2) | and (min) | no terrace with high slope like (L2) | | | |
| | | | no terrace with low slope like (L2) | | | |
| | | | no water (L2) | | | |
| | water (L2) | | Rel. area of sub objects water (L1) (1) |  | 0.1 | 0.2 |
| 3 | terrace (L3) | and (min) | Area (pixels) |  | 1899 | 1901 |
| | | or (max) | Rel. area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1) |  | 0.1 | 0.2 |
| | | | Rel. area of sub objects terrace with low slope like (L2) (1) |  | 0.1 | 0.2 |
| | no terrace (L3) | and (min) | not terrace (L3) | | | |
| 4 | terrace with high slope (L2A) | and (min) | Rel. area of sub objects terrace with high slope like (L2) (1) |  | 0.1 | 0.2 |
| | | | Existence of super objects terrace (L3) (1) |  | 0.1 | 0.2 |
| | terrace with low slope (L2A) | and (min) | Rel. area of sub objects terrace with low slope like (L2) (1) |  | 0.1 | 0.2 |
| | | | Existence of super objects terrace (L3) (1) |  | 0.1 | 0.2 |
| | no terrace (L2A) | and (min) | no terrace with high slope (L2A) | | | |
| | | | no terrace with low slope (L2A) | | | |

Πίνακας 2: Κανόνες ταξινομήσεων όλων των επιπέδων

D.S.M. του τελευταίου παλμού των ελαχίστων τιμών (Zmin – DSM LE Lowest values) και του πρώτου παλμού των μέγιστων τιμών (Zmax – DSM FE Highest values) και ορθοφωτογραφία με 3 RGB κανάλια (κόκκινο, πράσινο και μπλε)



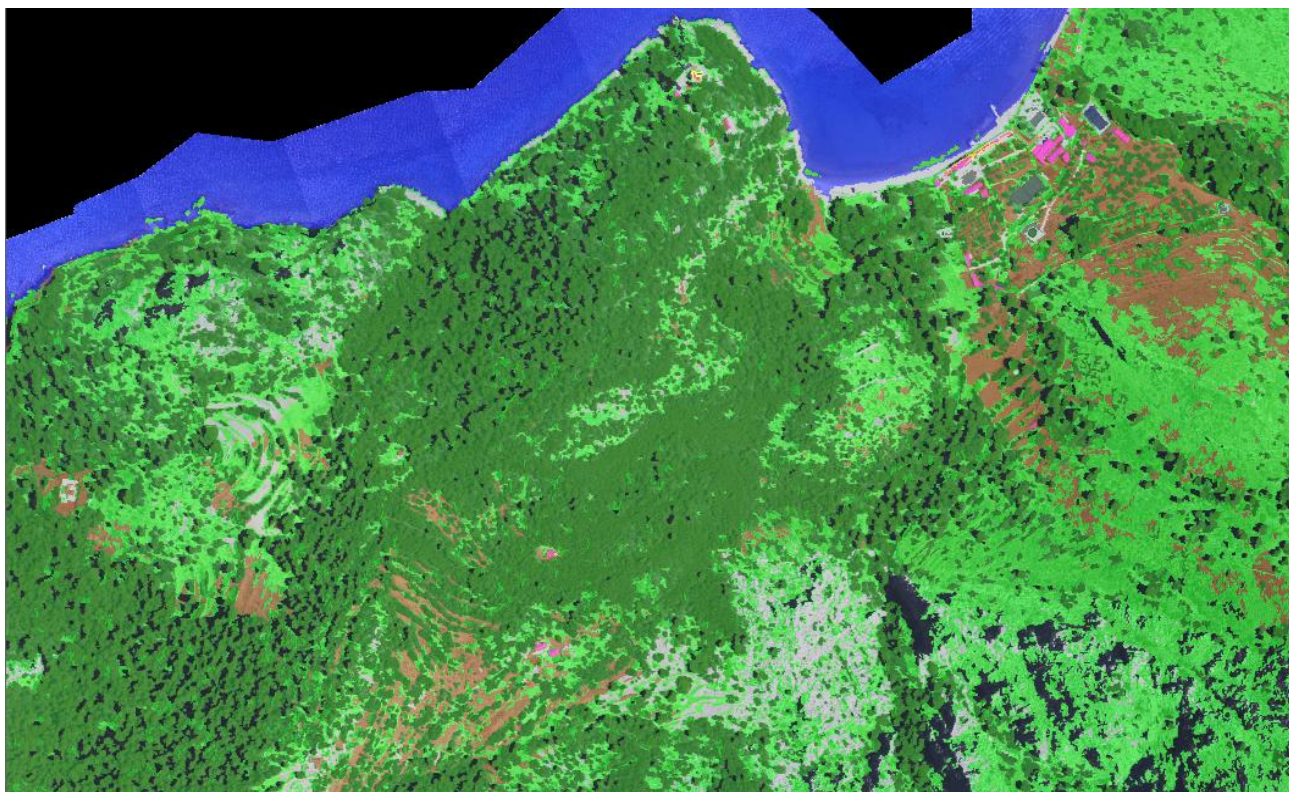
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση όλων των επιπέδων

3.5 Υλοποίηση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης και σε άλλες περιοχές

Η μεθοδολογία της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές περιοχές μελέτης στην Ύδρα, χρησιμοποιώντας τις ίδιες διαδικασίες, τους ίδιους κανόνες και τα όρια συμμετοχών.

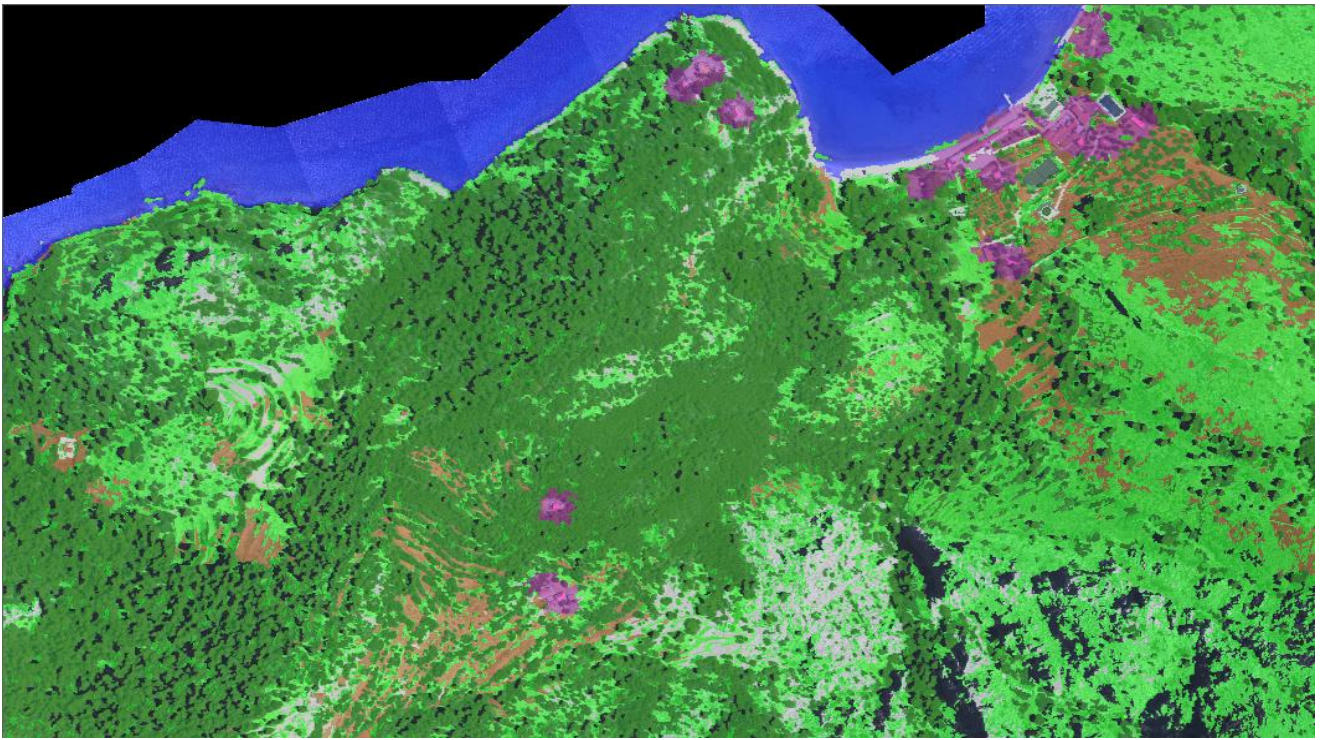
3.5.1 Δεύτερη περιοχή μελέτης στην Ύδρα

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων για κάθε επίπεδο:



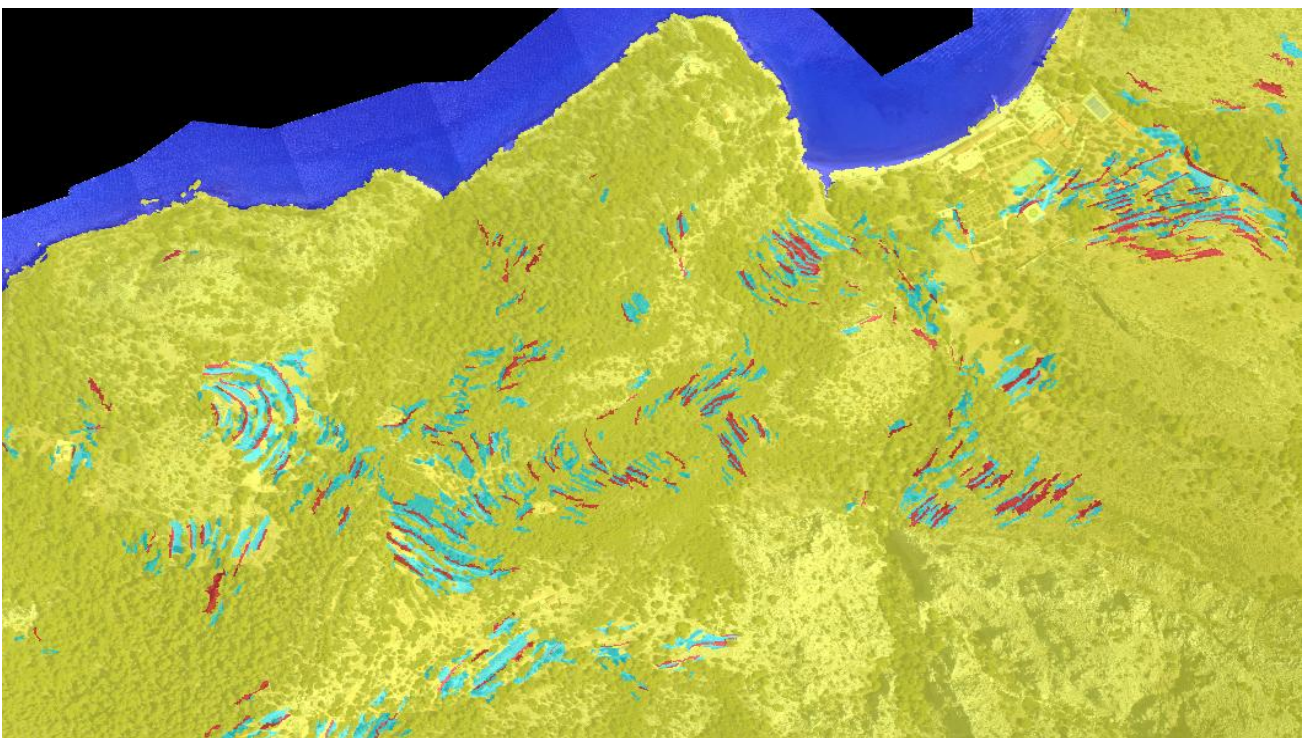
- buildings (L1)
- edges (L1)
- high vegetation (L1)
- impervious (L1)
- low vegetation (L1)
- shadows (L1)
- soil (L1)
- tiled roofs (L1)
- water (L1)

Εικόνα 89: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)



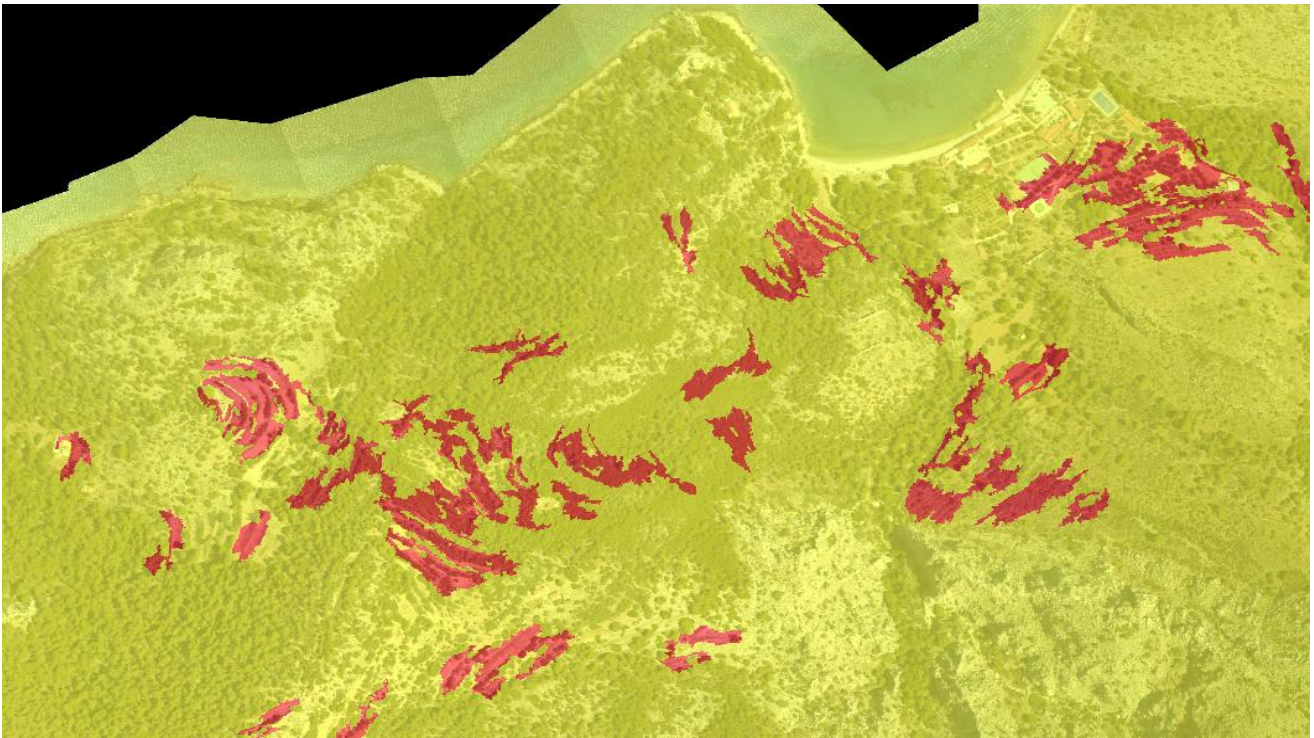
- buffer 30m buildings (L1)
- buffer 30m tiled roofs(L1)

Εικόνα 90: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μετά-ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)



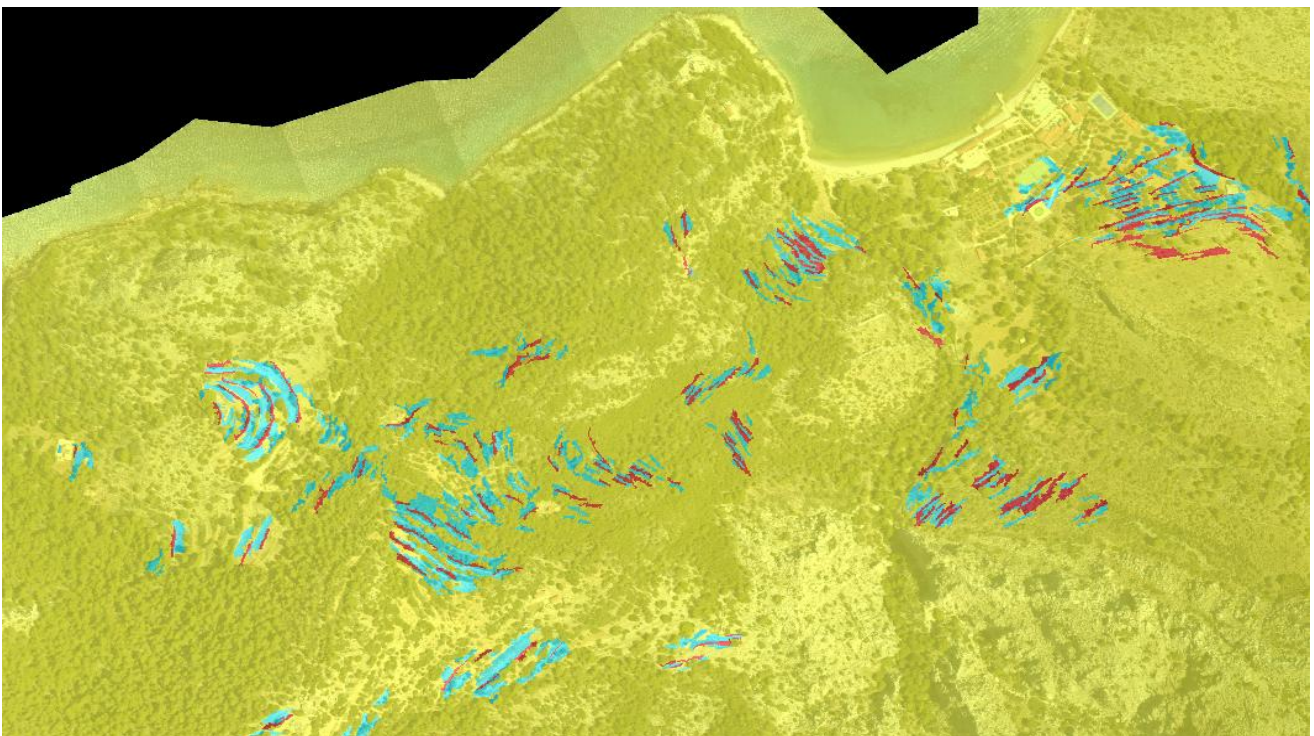
- no terrace like (L2)
- terrace with high slope like (L2)
- terrace with low slope like (L2)
- water (L2)

Εικόνα 91: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου (Level 2)



- no terrace (L3)
- terrace (L3)

Εικόνα 92: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3)

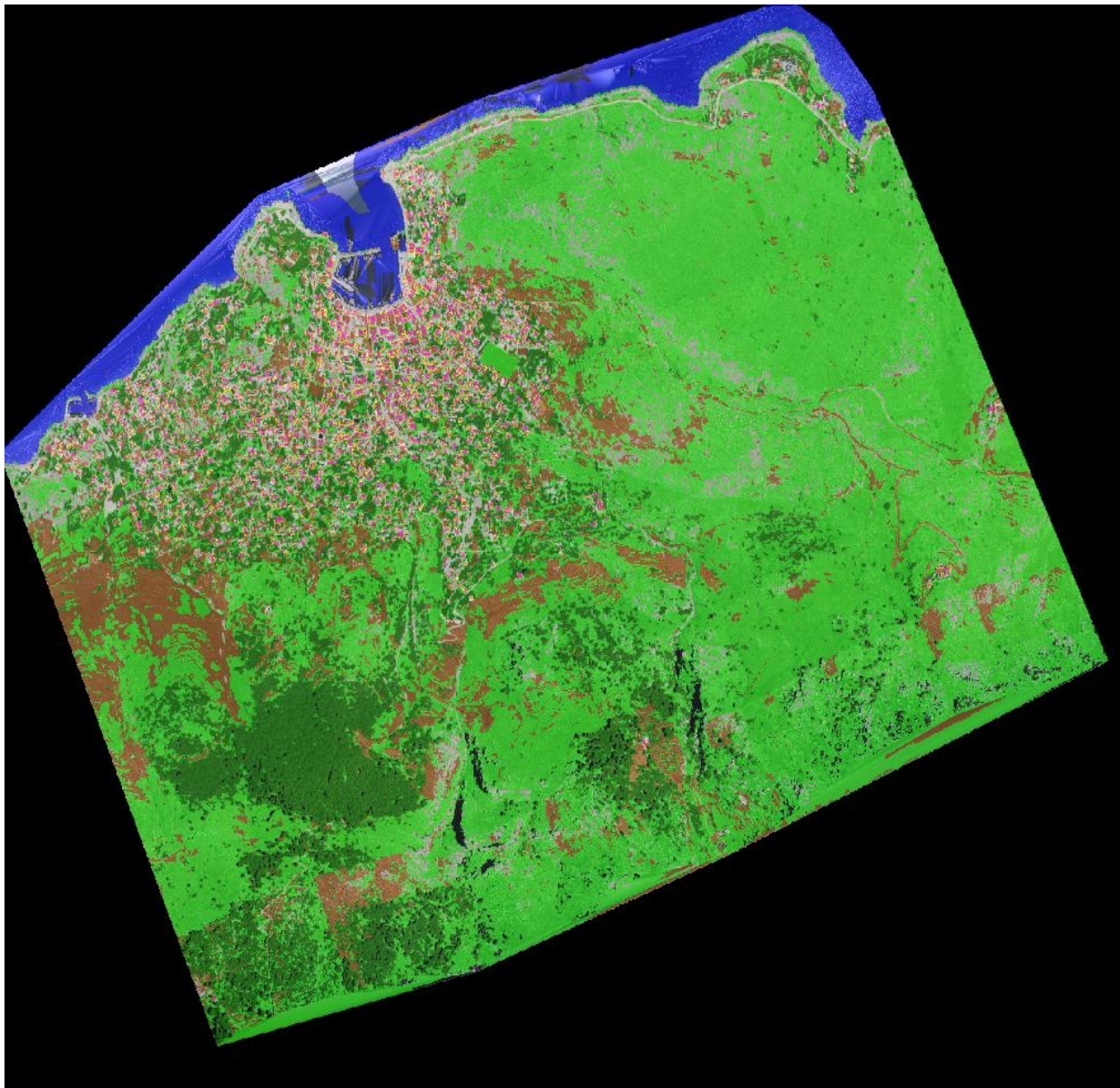


- no terrace (L2A)
- terrace with high slope (L2A)
- terrace with low slope (L2A)

Εικόνα 93: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A)

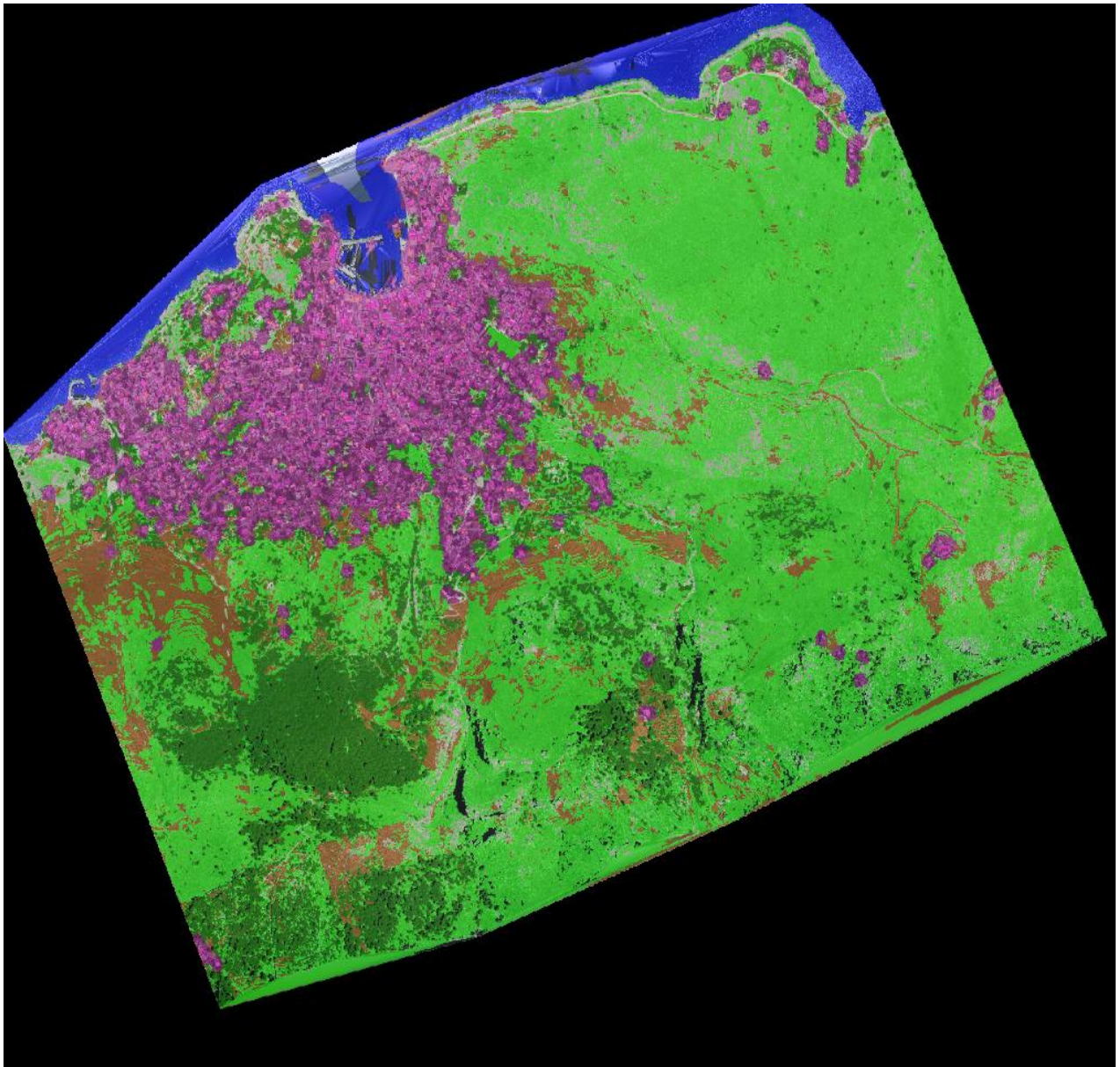
3.5.2 Τρίτη περιοχή μελέτης στην Ύδρα

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων για κάθε επίπεδο:



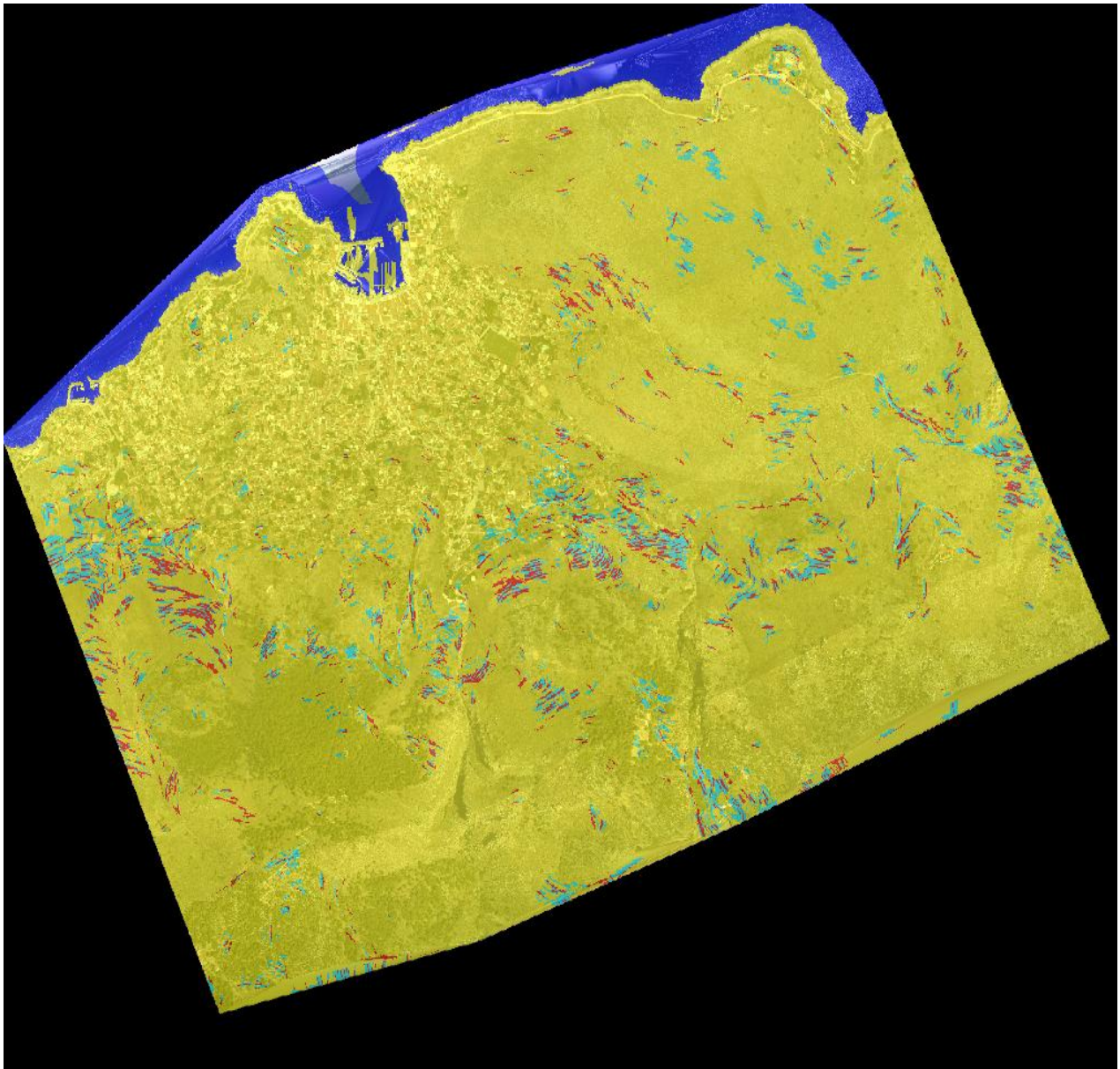
- buildings (L1)
- edges (L1)
- high vegetation (L1)
- impervious (L1)
- low vegetation (L1)
- shadows (L1)
- soil (L1)
- tiled roofs (L1)
- water (L1)

Εικόνα 94: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)



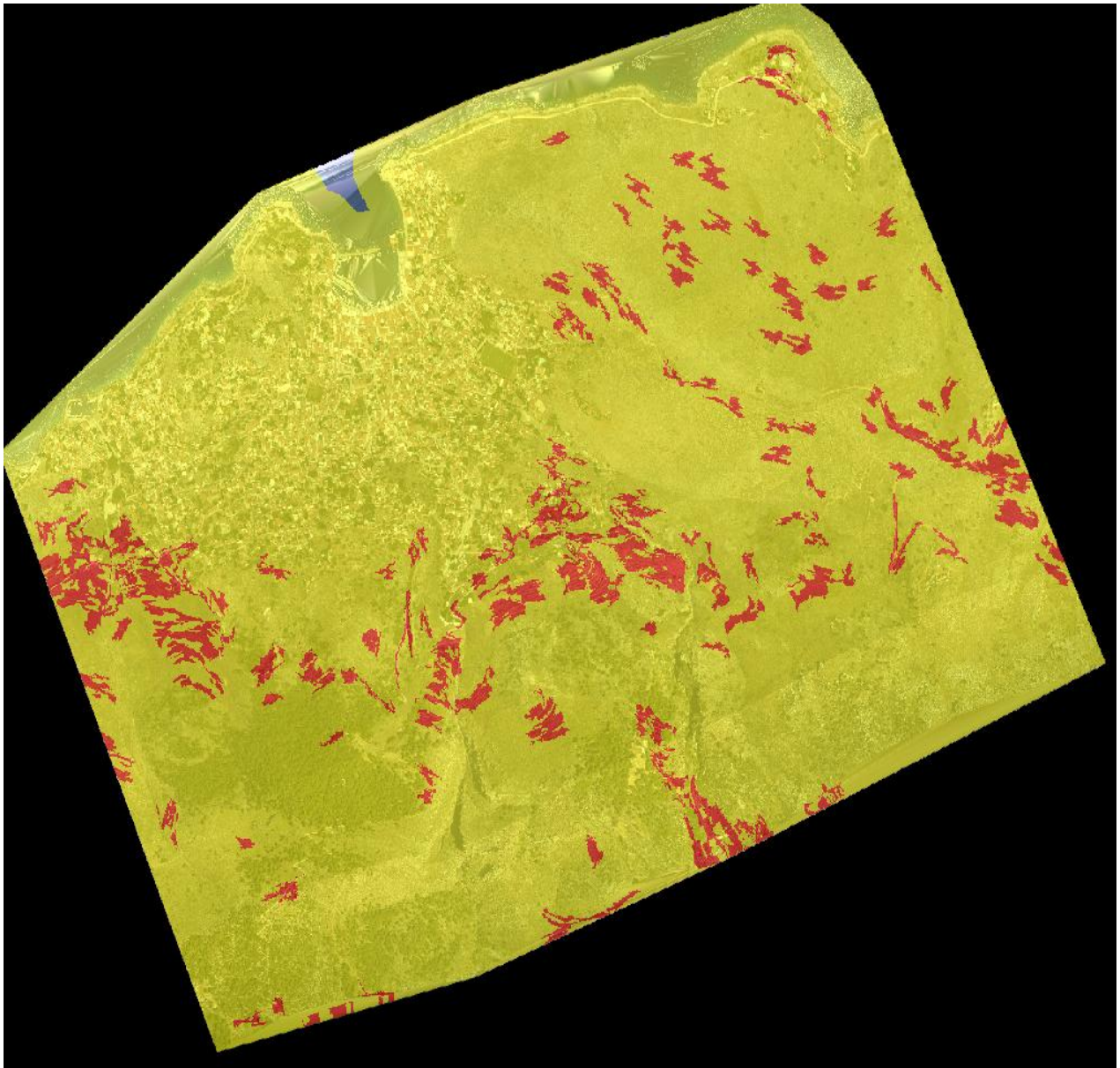
- buffer 30m buildings (L1)
- buffer 30m tiled roofs(L1)

Εικόνα 95: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μετά-ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1)



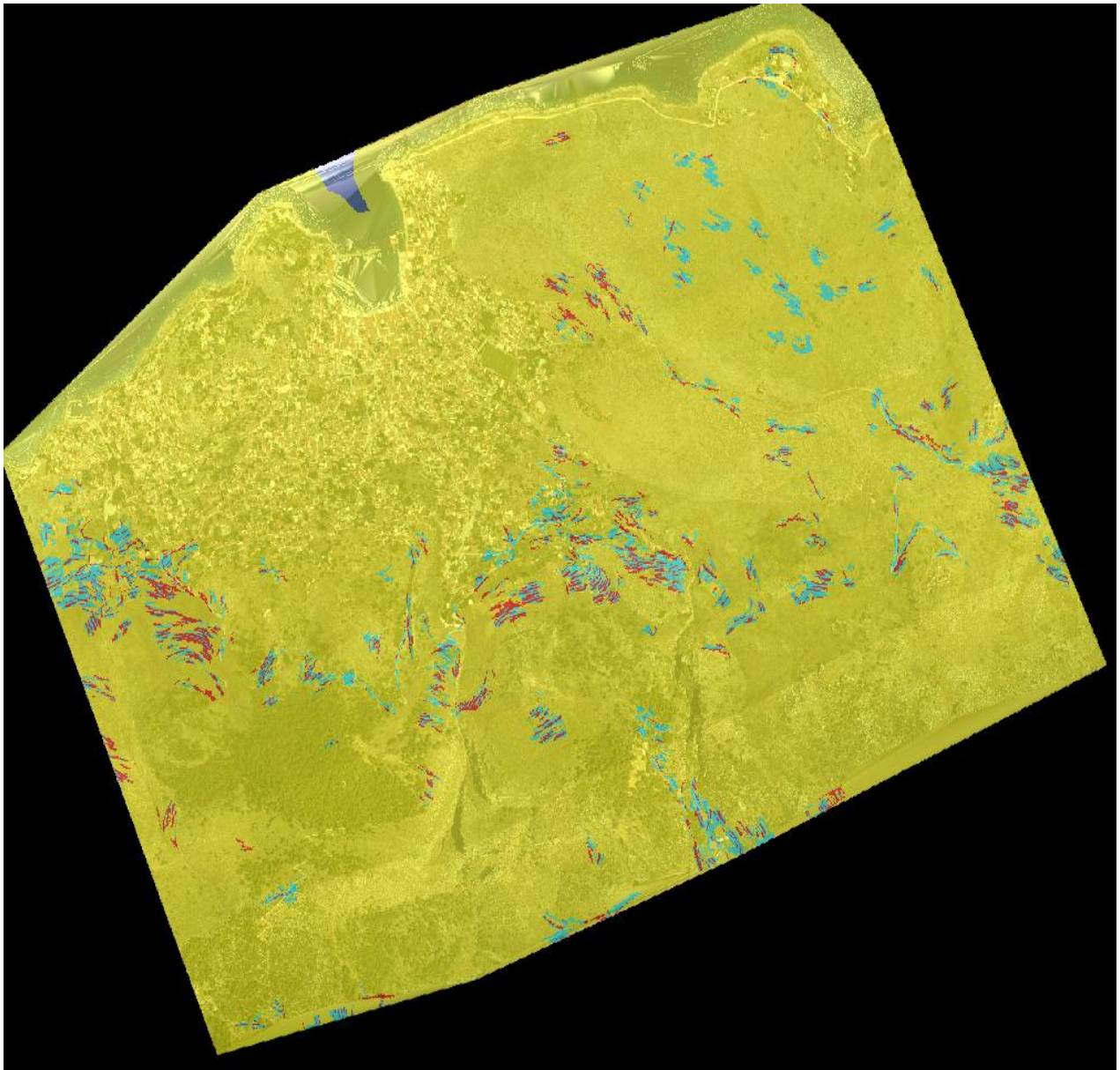
- no terrace like (L2)
- terrace with high slope like (L2)
- terrace with low slope like (L2)
- water (L2)

Εικόνα 96: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου (Level 2)



-● no terrace (L3)
-● terrace (L3)

Εικόνα 97: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου (Level 3)



- no terrace (L2A)
- terrace with high slope (L2A)
- terrace with low slope (L2A)

Εικόνα 98: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου (Level 4-2A)

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών της μεθοδολογίας (κατατηρήσεις και ταξινομήσεις), το επόμενο στάδιο ήταν η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για τον έλεγχο της ακρίβειας και της καταλληλότητας των τελικών αποτελεσμάτων των αλγορίθμων που εκτελέστηκαν. Ο έλεγχος αυτός, έγινε χρησιμοποιώντας τρία εργαλεία αξιολόγησης από το λογισμικό του eCognition, τα οποία ήταν:

- Η μέθοδος της σταθερότητας της ταξινόμησης (classification stability)
- Η μέθοδος με βάση το αποτέλεσμα της καλύτερης ταξινόμησης (best classification result)
- Η μέθοδος με βάση τα δείγματα ελέγχου (Πίνακας Σύγχυσης)

Στις μεθόδους της σταθερότητας της ταξινόμησης και με βάση το αποτέλεσμα της καλύτερης ταξινόμησης, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση σε όλα τα επίπεδα και η αναπαράσταση του αποτελέσματος έγινε σε μορφή πίνακα και γραφικά. Όσον αφορά τη μέθοδο με τα δείγματα ελέγχου, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση μόνο στο τρίτο και τέταρτο επίπεδο, διότι πάνω σε αυτά τα δύο επίπεδα βασίστηκε η χαρτογράφηση των αναβαθμίδων συνολικά (τρίτο επίπεδο) και τμηματικά (τέταρτο επίπεδο).

4.1. Αξιολόγηση βάσει της σταθερότητας της ταξινόμησης

Στη μέθοδο της σταθερότητας της ταξινόμησης (Classification Stability) διακρίνεται το πόσο σταθερή είναι η ταξινόμηση, ανάλογα με τη βεβαιότητα που ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στην πρώτη τάξη και αν ταυτόχρονα διεκδικούνται από μια άλλη τάξη. Για να επιτευχθεί αυτό συγκρίνονται ο πρώτος και ο δεύτερος βαθμός συμμετοχής που τα αντικείμενα ταξινομούνται στις θεματικές κατηγορίες. Η μέθοδος αυτή εκτελείται σε όλα τα επίπεδα.

Το αριθμητικό εξαγόμενο της μεθόδου είναι ένας πίνακας με τιμές από στατιστικές συναρτήσεις για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα. Στον πίνακα εμφανίζονται τα ονόματα των θεματικών κατηγοριών (Class) και το σύνολο των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν σε αυτές. Επιπλέον στον πίνακα περιλαμβάνονται και τα εξής τέσσερα στατιστικά στοιχεία: Mean όπου είναι ο μέσος όρος της διαφορά μεταξύ του πρώτου και δεύτερου βαθμού των συναρτήσεων συμμετοχής των αντικειμένων, StdDev όπου αναφέρεται στην τυπική απόκλιση, Minimum όπου είναι η ελάχιστη τιμή που παίρνει διαφορετικές τιμές του 1 αν υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο που έχει ταξινομηθεί με υψηλή αβεβαιότητα στην κατηγορία και τέλος Maximum όπου είναι η μέγιστη τιμή που παίρνει τιμή 1 αν υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο που πληροί 100% τις συνθήκες για να ταξινομηθεί στην κατηγορία που τελικώς ταξινομήθηκε.

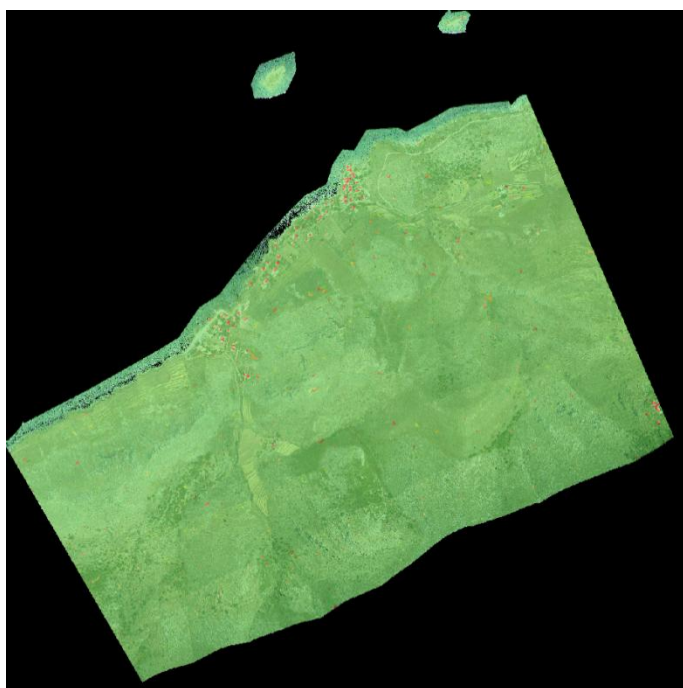
Τέλος, όσον αφορά το οπτικό αποτέλεσμα της μεθόδου, με πράσινο χρώμα απεικονίζονται τα αντικείμενα με τη μικρότερη αμφισβήτηση για την ταξινόμηση, ενώ με κόκκινο χρώμα τα αντικείμενα με τη μεγαλύτερη αμφισβήτηση.

4.1.1 Classification Stability για το πρώτο επίπεδο (Level 1)

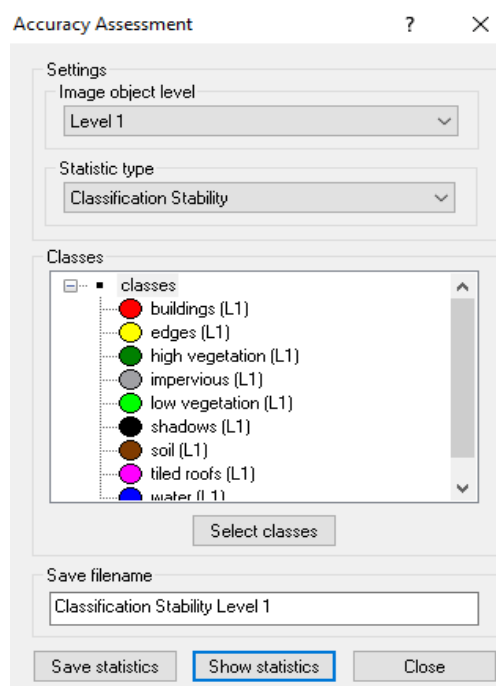
| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|----------------------|---------|---------------|---------------|------------------|-----------|
| low vegetation (L1) | 37818 | 0.9758482 | 0.116 | 0.0005340576172 | 1 |
| high vegetation (L1) | 7223 | 0.9267617 | 0.2048152 | 0 | 1 |
| soil (L1) | 10618 | 0.9854977 | 0.09578617241 | 0 | 1 |
| impervious (L1) | 25060 | 0.9807044 | 0.1018155 | 0 | 1 |
| tiled roofs (L1) | 98 | 0.9875940 | 0.09326022847 | 0.1387614 | 1 |
| shadows (L1) | 1470 | 0.8703035 | 0.263 | 2.026557922e-006 | 1 |
| edges (L1) | 211 | 0.00539441329 | 0.02946857246 | 0 | 0.2513652 |
| water (L1) | 7900 | 0.9726209 | 0.1018309 | 0.01049721241 | 1 |
| buildings (L1) | 88 | 0.878 | 0.2842531 | 0 | 1 |

Εικόνα 99: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου

(α)



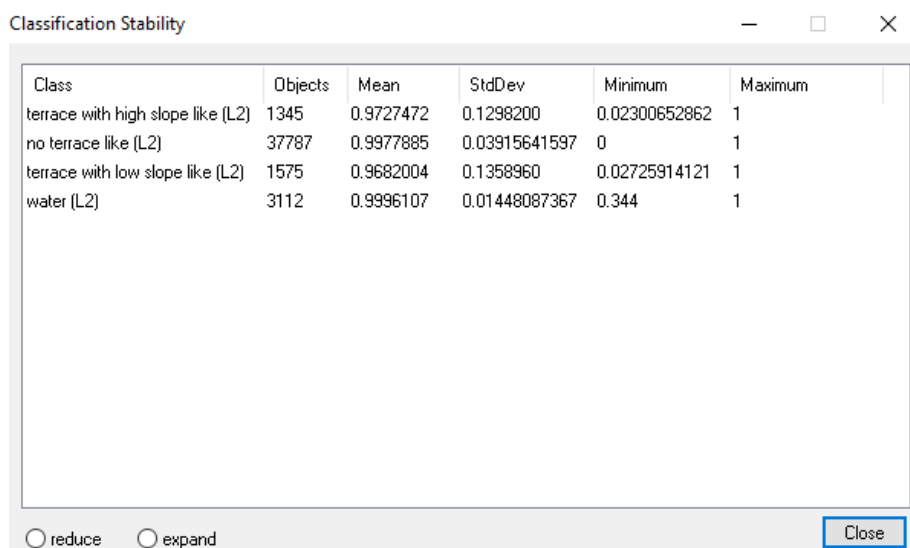
(β)



Εικόνα 100: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

Από τον στατιστικό πίνακα της αξιολόγησης για το πρώτο επίπεδο, συμπεραίνεται ότι σχεδόν όλες οι κατηγορίες έχουν μέση τιμή (Mean) πολύ κοντά στο 1, κάτι που σημαίνει ότι εμφανίζουν μεγάλη διαφορά ανάμεσα στον πρώτο και δεύτερο βαθμό συμμετοχής, οπότε είναι σταθερές. Επίσης, έχουν τη μέγιστη τιμή (Maximum) ένα, οπότε υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο πληροί 100% τις συνθήκες για να ταξινομηθεί στην κατηγορία. Τέλος, όλες οι ελάχιστες τιμές (Minimum) των κατηγοριών είναι μηδέν ή πολύ κοντά σε αυτό, επομένως υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο σε αυτές τις κατηγορίες, το οποίο πληροί 100% τις συνθήκες και κάποιας άλλης κατηγορίας. Για τη γραφική απεικόνιση, το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας είναι πράσινο, οπότε είναι αρκετά σταθερή.

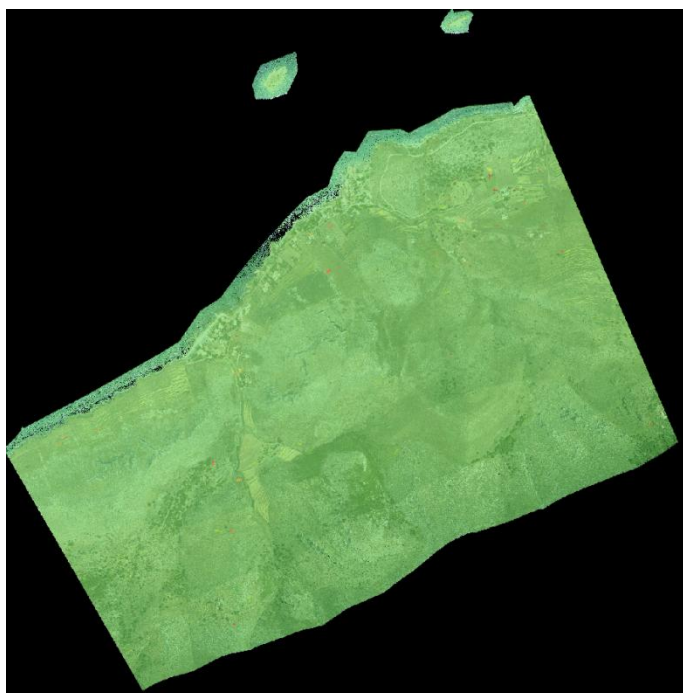
4.1.2 Classification Stability για το δεύτερο επίπεδο (Level 2)



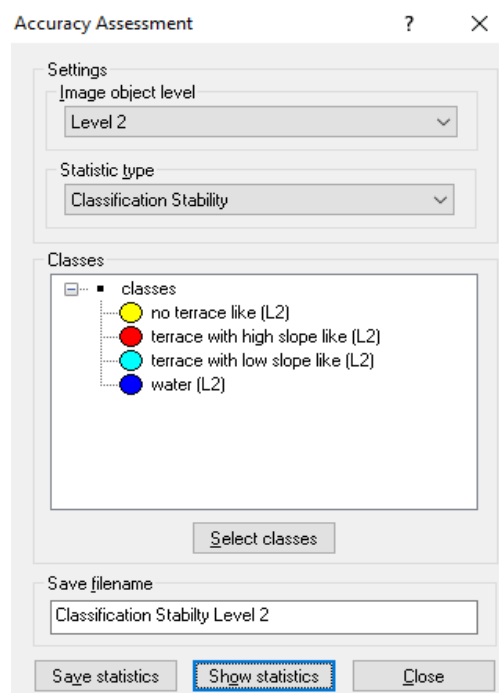
| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|-----------------------------------|---------|-----------|---------------|---------------|---------|
| terrace with high slope like (L2) | 1345 | 0.9727472 | 0.1298200 | 0.02300652862 | 1 |
| no terrace like (L2) | 37787 | 0.9977885 | 0.03915641597 | 0 | 1 |
| terrace with low slope like (L2) | 1575 | 0.9682004 | 0.1358960 | 0.02725914121 | 1 |
| water (L2) | 3112 | 0.9996107 | 0.01448087367 | 0.344 | 1 |

Εικόνα 101: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου

(α)



(β)



Εικόνα 102: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

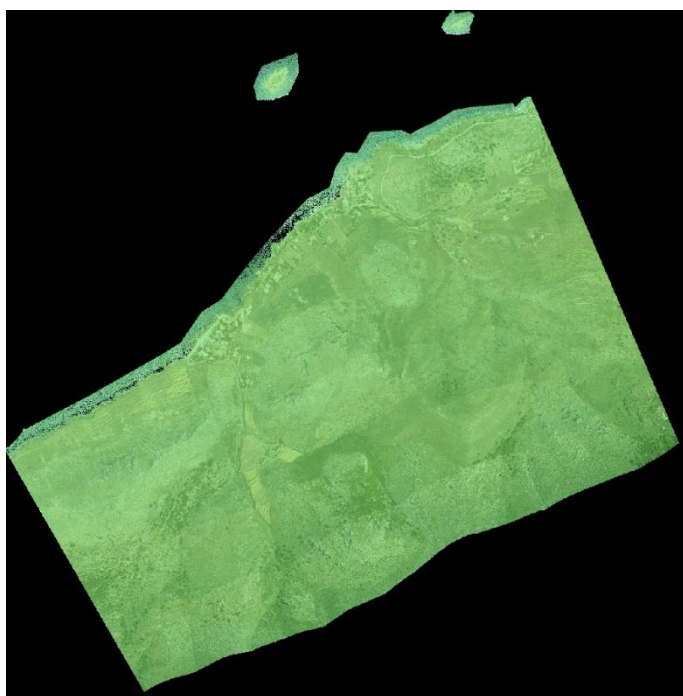
Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου είναι επίσης σταθερή όπως στο πρώτο επίπεδο, καθώς ξανά σχεδόν ολόκληρη η εικόνα έχει πράσινο χρώμα και στον στατιστικό πίνακα οι τιμές των βαθμών συμμετοχής είναι αρκετά υψηλές για όλες τις κατηγορίες.

4.1.3 Classification Stability για το τρίτο επίπεδο (Level 3)

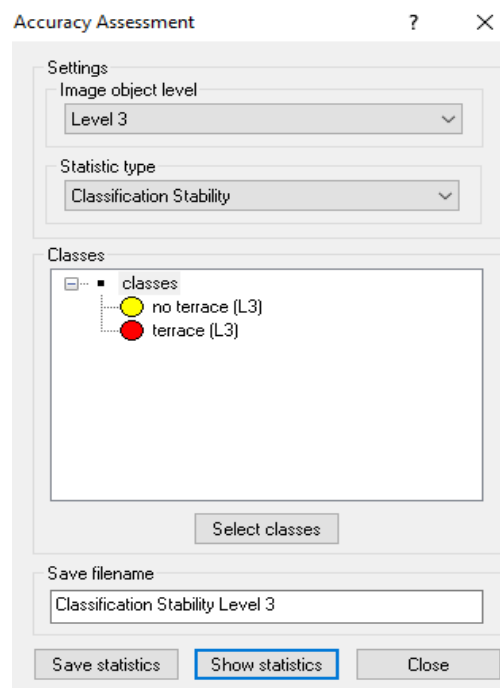
| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|-----------------|---------|------|--------|---------|---------|
| no terrace (L3) | 23286 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| terrace (L3) | 61 | 1 | 0 | 1 | 1 |

Εικόνα 103: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου

(α)



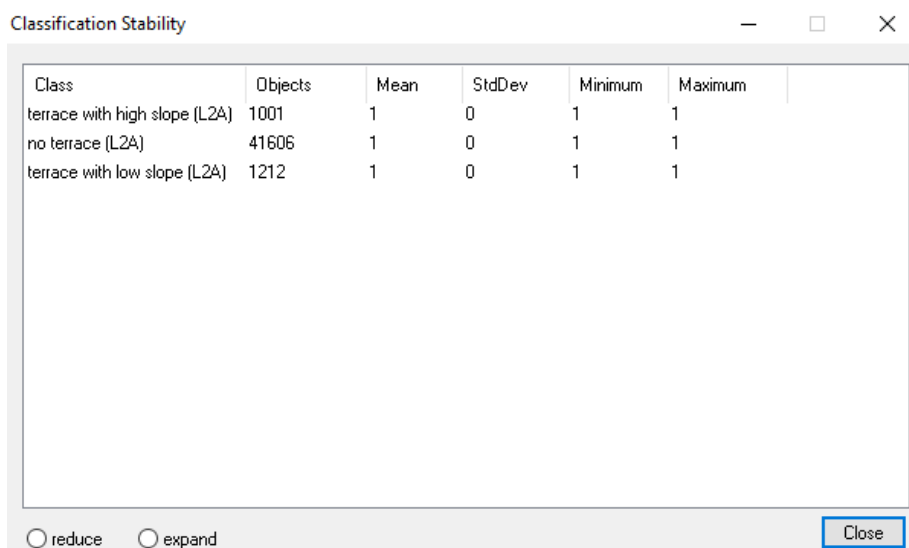
(β)



Εικόνα 104: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

Συμπεραίνεται ότι και στο τρίτο επίπεδο η ταξινόμηση είναι αρκετά σταθερή, με ολόκληρη την εικόνα να έχει πράσινο χρώμα και στον στατιστικό πίνακα οι τιμές των βαθμών συμμετοχής να είναι αρκετά υψηλές.

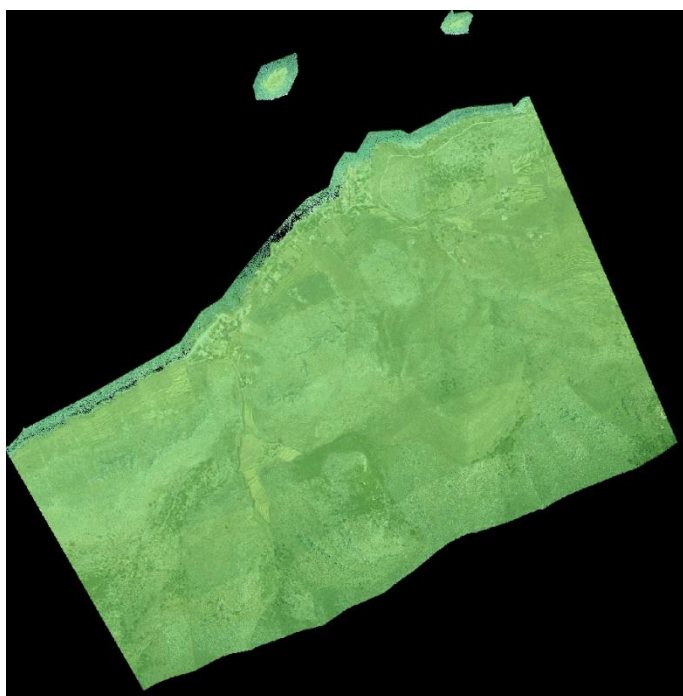
4.1.4 Best Classification Result για το τέταρτο επίπεδο (Level 4-2A)



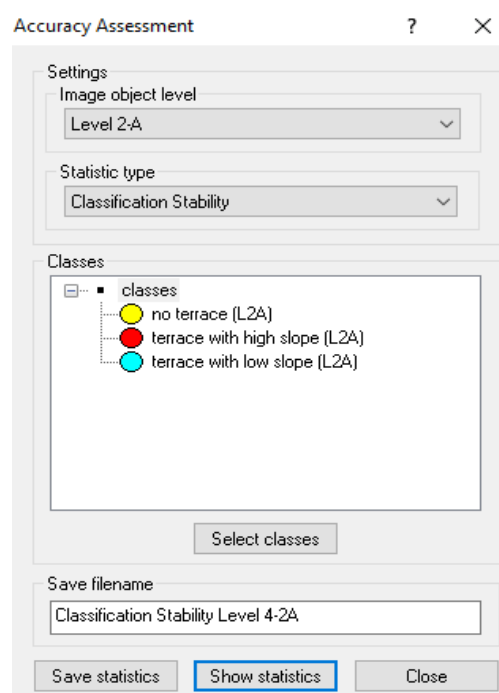
| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|-------------------------------|---------|------|--------|---------|---------|
| terrace with high slope (L2A) | 1001 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| no terrace (L2A) | 41606 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| terrace with low slope (L2A) | 1212 | 1 | 0 | 1 | 1 |

Εικόνα 105: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του τέταρτου επιπέδου

(α)



(β)



Εικόνα 106: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

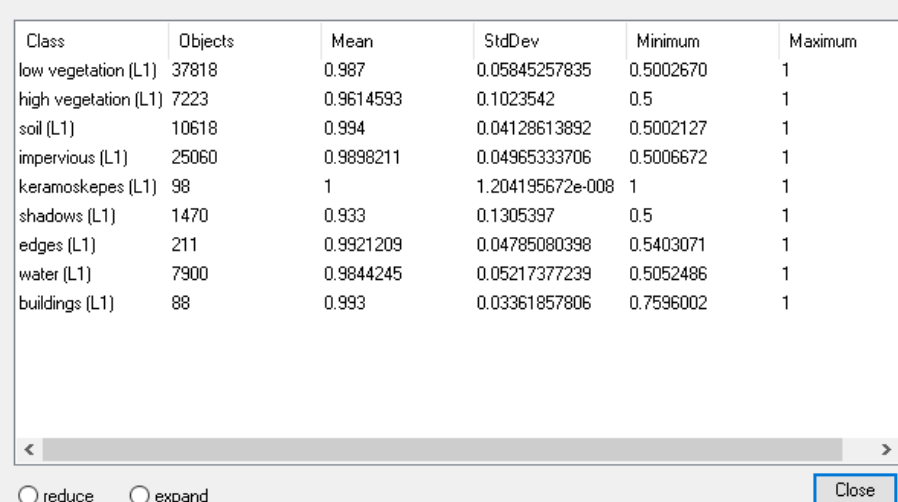
Και στο τελευταίο επίπεδο η ταξινόμηση είναι αρκετά σταθερή, με ολόκληρη την εικόνα να έχει πράσινο χρώμα και στον στατιστικό πίνακα οι τιμές των βαθμών συμμετοχής είναι αρκετά υψηλές.

4.2. Αξιολόγηση βάσει της καλύτερης ταξινόμησης

Στη μέθοδο του αποτελέσματος της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result), ερευνείται το πόσο υψηλές είναι οι τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής βάσει των οποίων διαμορφώθηκε η τελική ταξινόμηση. Γενικά, τα αντικείμενα της εικόνας μπορούν να ανήκουν μερικώς σε περισσότερες από μία κατηγορίες, ανάλογα με το βαθμό που τα χαρακτηριστικά τους είναι κοντά στις περιγραφές που έχουν δοθεί στις κλάσεις και τελικά στις ταξινομήσεις εντάσσονται σε αυτές που παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Η μέθοδος αυτή εκτελείται σε όλα τα επίπεδα της ταξινόμησης.

Όπως και στη μέθοδο της σταθερότητας της ταξινόμησης έτσι και σε αυτή, το αριθμητικό παραγόμενο είναι πάλι ένας πίνακας με τιμές που προήρθαν από στατιστικές συναρτήσεις για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα και στο οπτικό αποτέλεσμα, τα αντικείμενα με τη μικρότερη αμφισβήτηση για την ταξινόμηση απεικονίζονται με πράσινο χρώμα, ενώ τα αντικείμενα με τη μεγαλύτερη αμφισβήτηση με κόκκινο χρώμα. Τέλος, και αυτή η μέθοδος εκτελείται σε όλα τα επίπεδα που έχουν ταξινομηθεί.

4.2.1 Best Classification Result για το πρώτο επίπεδο (Level 1)



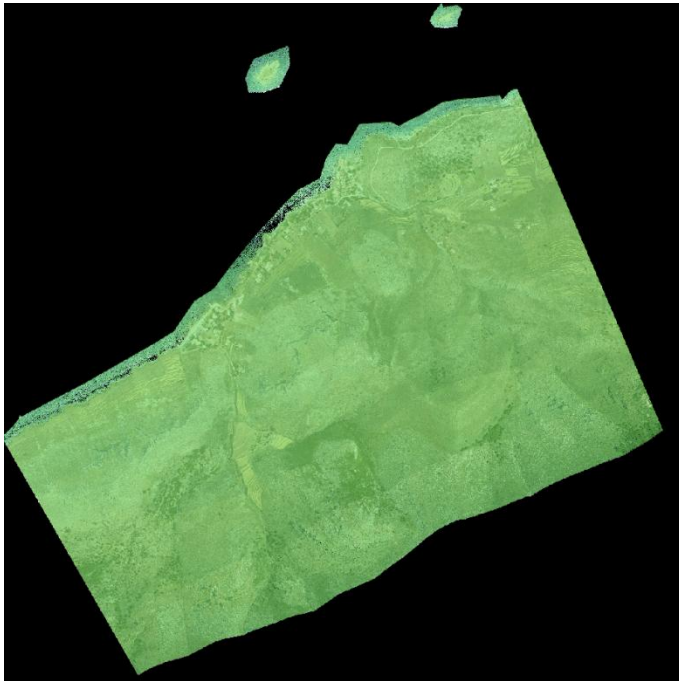
The screenshot shows a window titled "Best Classification Result" with a table of statistical data for Level 1 classification. The table has six columns: Class, Objects, Mean, StdDev, Minimum, and Maximum. The data is as follows:

| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|----------------------|---------|-----------|------------------|-----------|---------|
| low vegetation (L1) | 37818 | 0.987 | 0.05845257835 | 0.5002670 | 1 |
| high vegetation (L1) | 7223 | 0.9614593 | 0.1023542 | 0.5 | 1 |
| soil (L1) | 10618 | 0.994 | 0.04128613892 | 0.5002127 | 1 |
| impervious (L1) | 25060 | 0.9898211 | 0.04965333706 | 0.5006672 | 1 |
| keramoskepes (L1) | 98 | 1 | 1.204195672e-008 | 1 | 1 |
| shadows (L1) | 1470 | 0.933 | 0.1305397 | 0.5 | 1 |
| edges (L1) | 211 | 0.9921209 | 0.04785080398 | 0.5403071 | 1 |
| water (L1) | 7900 | 0.9844245 | 0.05217377239 | 0.5052486 | 1 |
| buildings (L1) | 88 | 0.993 | 0.03361857806 | 0.7596002 | 1 |

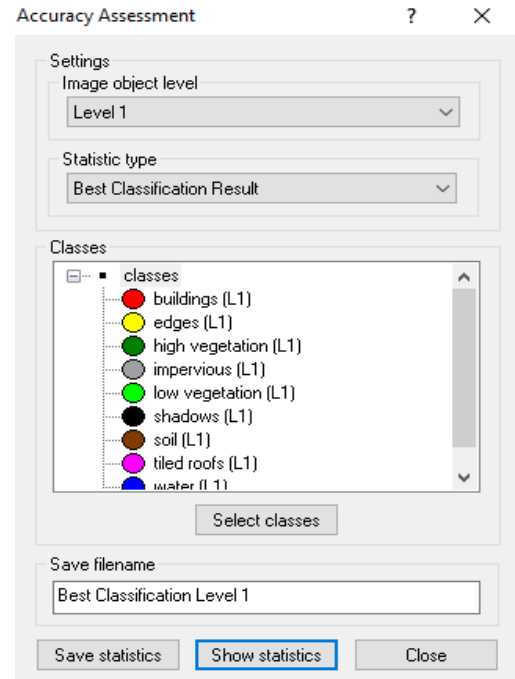
At the bottom of the window, there are radio buttons for "reduce" and "expand", and a "Close" button.

Εικόνα 107: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου

(α)



(β)



Εικόνα 108: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου έχει υψηλή ακρίβεια, καθώς σχεδόν ολόκληρη η εικόνα έχει πράσινο χρώμα και στον στατιστικό πίνακα οι τιμές των βαθμών συμμετοχής είναι αρκετά υψηλές για όλες τις κατηγορίες.

4.2.2 Best Classification Result για το δεύτερο επίπεδο (Level 2)

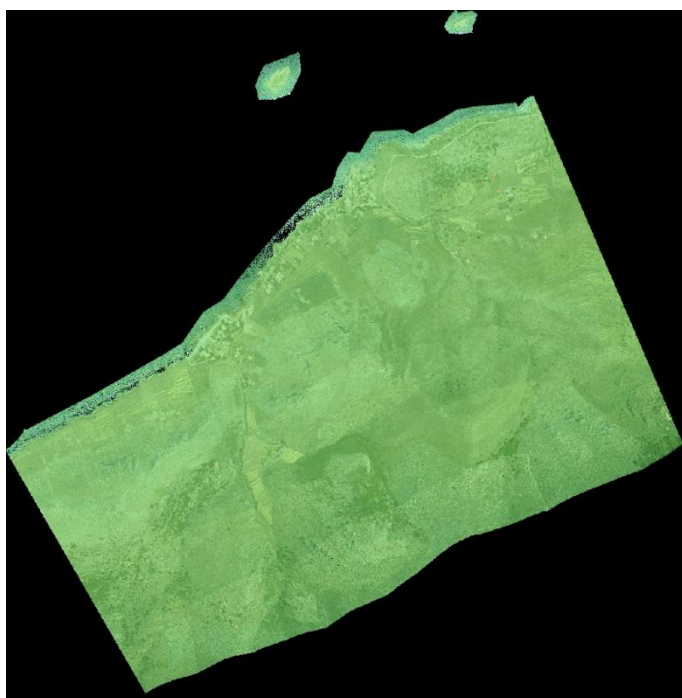
Best Classification Result

| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|-----------------------------------|---------|-----------|----------------|-----------|---------|
| terrace with high slope like (L2) | 1345 | 0.9856911 | 0.06515614203 | 0.5115033 | 1 |
| no terrace like (L2) | 37787 | 0.9988423 | 0.0196823787 | 0.5 | 1 |
| terrace with low slope like (L2) | 1575 | 0.983 | 0.0683661833 | 0.5136296 | 1 |
| water (L2) | 3112 | 0.9997904 | 0.007382135676 | 0.672 | 1 |

reduce expand Close

Εικόνα 109: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου

(α)



(β)

Accuracy Assessment

Settings

Image object level: Level 2

Statistic type: Best Classification Result

Classes

- no terrace like (L2)
- terrace with high slope like (L2)
- terrace with low slope like (L2)
- water (L2)

Select classes

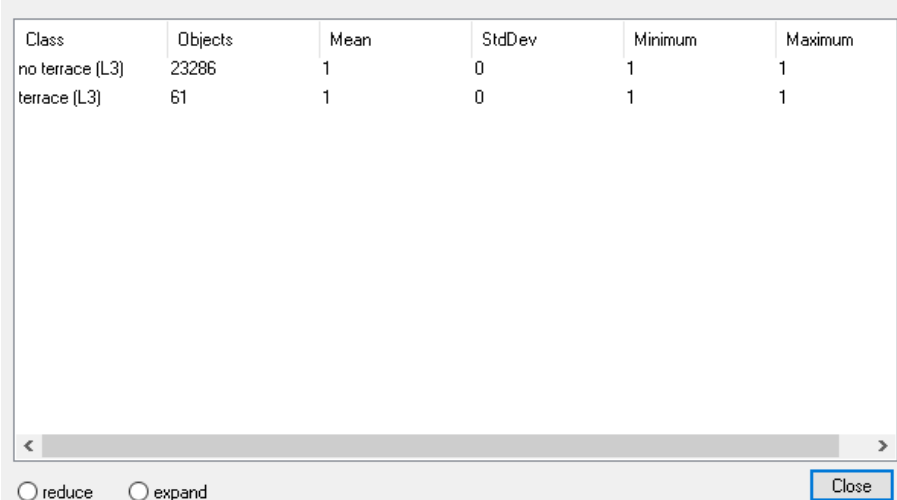
Save filename: Best Classification Result Level 2

Save statistics Show statistics Close

Εικόνα 110: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου έχει εξίσου υψηλή ακρίβεια με αυτή του πρώτου, καθώς πάλι το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας έχει πράσινο χρώμα και στον στατιστικό πίνακα οι τιμές των βαθμών συμμετοχής είναι αρκετά υψηλές.

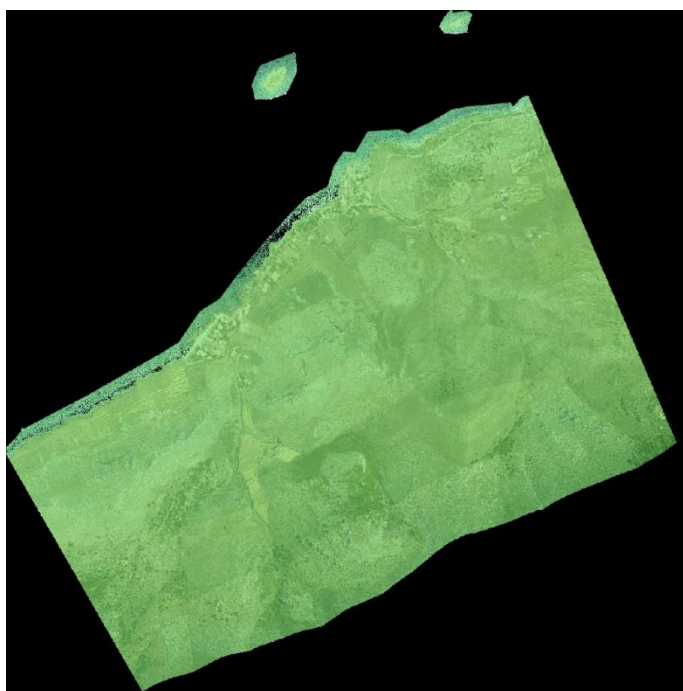
4.2.3 Best Classification Result για το τρίτο επίπεδο (Level 3)



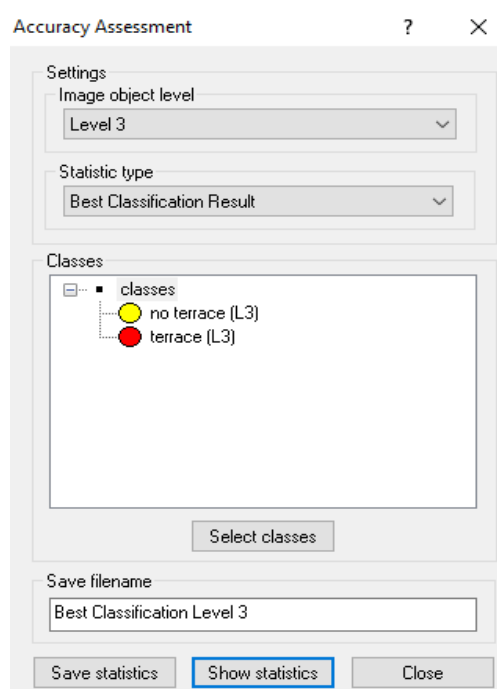
| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|-----------------|---------|------|--------|---------|---------|
| no terrace (L3) | 23286 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| terrace (L3) | 61 | 1 | 0 | 1 | 1 |

Εικόνα 111: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

(α)



(β)



Εικόνα 112: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

Συμπεραίνεται ότι και στο τρίτο επίπεδο η ταξινόμηση έχει υψηλή ακρίβεια με σχεδόν ολόκληρη την εικόνα να έχει πράσινο χρώμα και οι τιμές των βαθμών συμμετοχής στον στατιστικό πίνακα να είναι αρκετά υψηλές.

4.2.4 Best Classification Result για το τέταρτο επίπεδο (Level 4-2A)

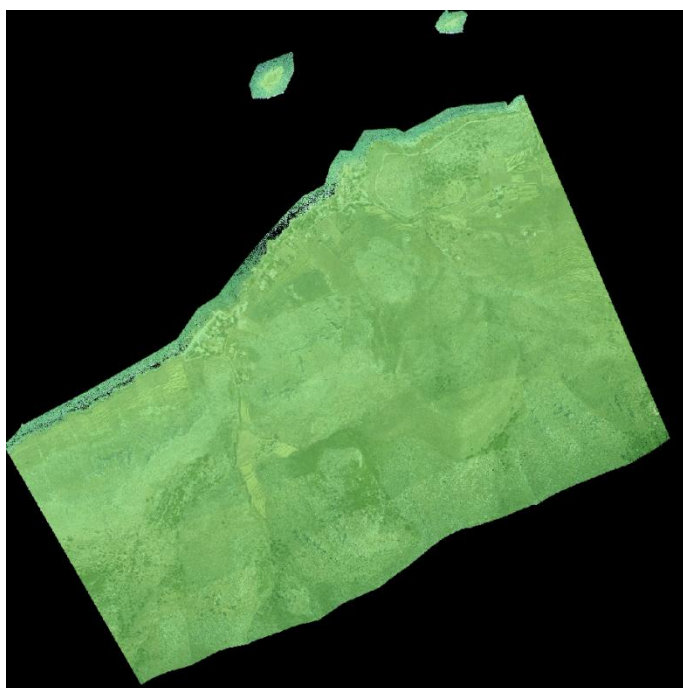
Best Classification Result

| Class | Objects | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|-------------------------------|---------|------|--------|---------|---------|
| terrace with high slope (L2A) | 1001 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| no terrace (L2A) | 41606 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| terrace with low slope (L2A) | 1212 | 1 | 0 | 1 | 1 |

reduce expand Close

Εικόνα 113: Απεικόνιση του στατιστικού πίνακα της αξιολόγησης του τέταρτου επιπέδου

(α)



(β)

Accuracy Assessment

Settings

Image object level: Level 2-A

Statistic type: Best Classification Result

Classes

- no terrace (L2A)
- terrace with high slope (L2A)
- terrace with low slope (L2A)

Select classes

Save filename: Best Classification Level 4-2A

Save statistics Show statistics Close

Εικόνα 114: (α) Οπτική παρατήρηση των αντικειμένων και (β) Θεματικές κατηγορίες επιπέδου

Και στο τελευταίο επίπεδο η ταξινόμηση έχει υψηλή ακρίβεια με ολόκληρη την εικόνα να έχει πράσινο χρώμα και στον στατιστικό πίνακα οι τιμές των βαθμών συμμετοχής είναι αρκετά υψηλές.

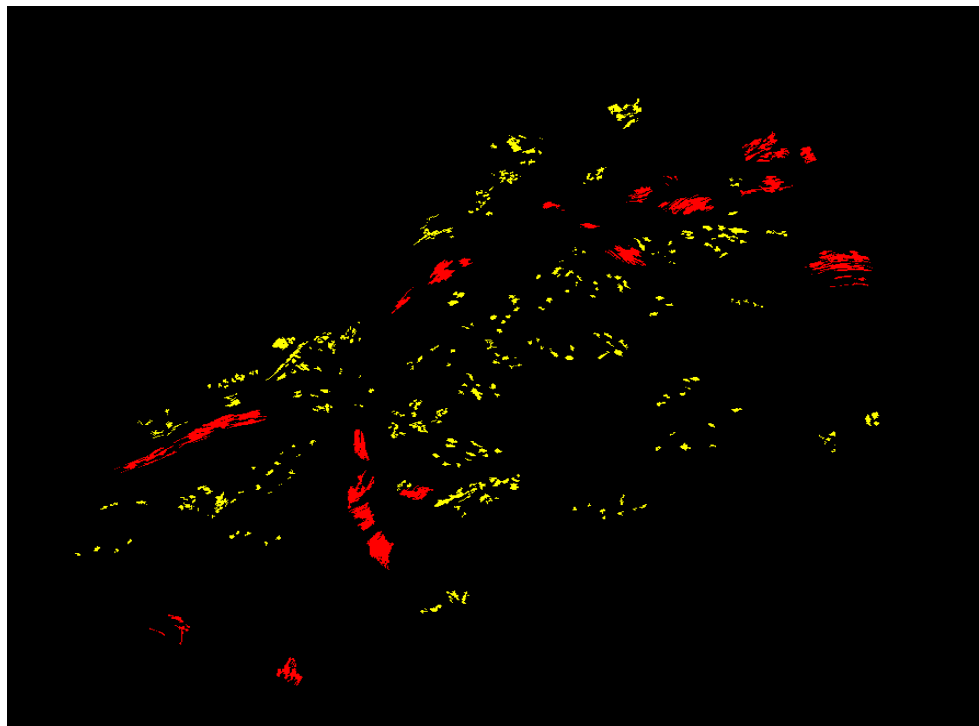
4.3. Αξιολόγηση βάσει δειγμάτων αξιολόγησης (TTA Mask)

Ο πιο ολοκληρωμένος τρόπος για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης είναι η χρήση των δειγμάτων αξιολόγησης και του πίνακα σύγχυσης. Ο λόγος είναι ότι με αυτόν τον τρόπο συγκρίνεται η σχέση των αληθινών δεδομένων (γνωστά επίγεια δεδομένα αναφοράς) με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αυτόματη διαδικασία της ταξινόμησης. Για να γίνει αυτό, αρχικά θα πρέπει ο χρήστης να επιλέξει τις κατάλληλες περιοχές αξιολόγησης δηλαδή τα δείγματα, τα οποία αποτελούν ένα υποσύνολο εικονοστοιχείων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δειγμάτων, τόσο πιο αξιόπιστη γίνεται η εξαγωγή των συμπερασμάτων, διότι έτσι θα μπορέσουν να καλυφθούν όλα τα φασματικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θεματικών κατηγοριών που έχουν οριστεί στη διαδικασία. Αφού οριστούν τα απαραίτητα δείγματα για όλες τις κατηγορίες, τότε δημιουργείται η μάσκα και στη συνέχεια εξάγεται αυτόματα ο πίνακας σύγχυσης (Error Matrix based on TTA Mask).

Όσον αφορά τον πίνακα σύγχυσης, τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου είναι τα τμήματα που επιλέχθηκαν για τις περιοχές ελέγχου και ταξινομήθηκαν ορθά στις κατηγορίες, ενώ όλα τα υπόλοιπα αποτελούν σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά χωρίζονται σε δύο είδη, όπου το πρώτο είδος είναι τα σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) και το δεύτερο είναι τα σφάλματα συμπερίληψης. Τα σφάλματα παράλειψης αφορούν τις ακρίβειες του παραγωγού (Producer), οι οποίες δείχνουν το πόσο καλά ταξινομήθηκαν οι περιοχές αξιολόγησης (δείγματα) για κάθε κατηγορία, ενώ τα σφάλματα συμπερίληψης (User) αναφέρονται στις ακρίβειες της ταξινόμησης. Στην συγκεκριμένη εργασία έγιναν δύο αξιολογήσεις με βάσει τα δείγματα για το τρίτο επίπεδο, όπου έγινε η διάκριση των αναβαθμιδών συνολικά. Η πρώτη έγινε στην αρχική ταξινόμηση, πριν χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος “merge region” για τη συνένωση των γειτονικών αντικειμένων της κατηγορίας “terrace (L3)”, ενώ η δεύτερη αξιολόγηση αφορούσε τα τελικά αποτελέσματα της μετά - ταξινόμησης του επιπέδου.

4.3.1 TTA Mask για την πρώτη αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου (Level 3)

Η αξιολόγηση και η επιλογή δειγμάτων πραγματοποιήθηκε για τις δύο κατηγορίες του τρίτου επιπέδου: “terrace (L3)” (κόκκινο χρώμα) και “no terrace (L3)” (κίτρινο χρώμα). Παρακάτω παρουσιάζονται η μάσκα TTA (Εικόνα 115) και ο πίνακας σύγχυσης (Εικόνα 116):



Εικόνα 115: Απεικόνιση της μάσκας TTA της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Error Matrix based on TTA Mask

| User \ Referenc... | no terrace (L3) | terrace (L3) | Sum |
|-------------------------|-----------------|--------------|--------|
| Confusion Matrix | | | |
| no terrace (L3) | 144638 | 30887 | 175525 |
| terrace (L3) | 2509 | 124090 | 126599 |
| unclassified | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 147147 | 154977 | |
| Accuracy | | | |
| Producer | 0.983 | 0.8006995 | |
| User | 0.824 | 0.9801815 | |
| Hellden | 0.8965017 | 0.8813961 | |
| Short | 0.8124179 | 0.788 | |
| KIA Per Class | 0.9593085 | 0.657 | |
| Totals | | | |
| Overall Accuracy | 0.8894626 | | |
| KIA | 0.7798492 | | |

reduce expand Close

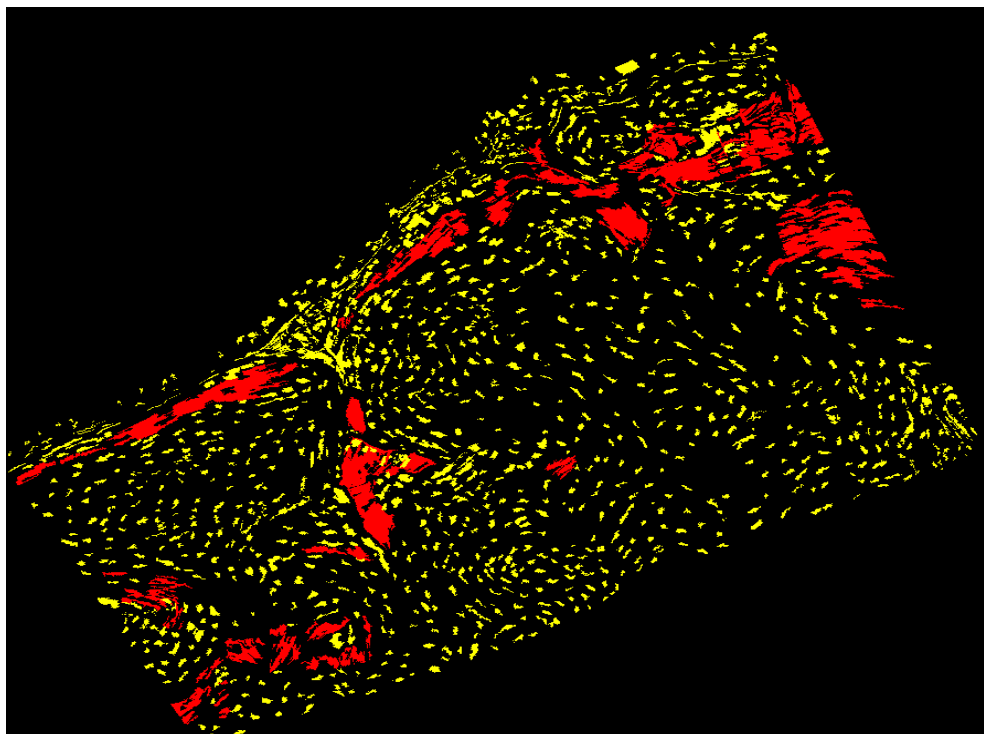
Εικόνα 116: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Από τον πίνακα προκύπτει ότι η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) είναι αρκετά ικανοποιητική για την πρώτη αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου καθώς η τιμή της είναι 0.889. Ο δείκτης KIA (Kappa index of agreement) έχει τιμή 0.779 που είναι εξίσου υψηλός.

Όσον αφορά τα σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) δεν υπήρξε κανένα και στις δύο κατηγορίες του επιπέδου, καθώς δεν έμεινε κάποιο ρixel αταξινόμητο. Αντίθετα, σφάλματα συμπερίληψης υπήρξαν και στις δύο κατηγορίες και πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία “terrace (L3)” τα 30887 pixels από τα 154977 συμπεριλήφθηκαν στην κατηγορία “no terrace (L3)” και αντίστοιχα στην κατηγορία “no terrace (L3)” τα 2509 pixels από τα 147147 συμπεριλήφθηκαν στην κατηγορία “terrace (L3)”.

4.3.2 TTA Mask για τη δεύτερη αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου (Level 3)

Για την τελική αξιολόγηση του επιπέδου, η επιλογή δειγμάτων πραγματοποιήθηκε ξανά για τις δύο κατηγορίες του επιπέδου “terrace (L3)” (κόκκινο χρώμα) και “no terrace (L3)” (κίτρινο χρώμα). Η μάσκα TTA (Εικόνα 117) και ο πίνακας σύγχυσης (Εικόνα 118) παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 117: Απεικόνιση της μάσκας TTA της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Error Matrix based on TTA Mask

| User \ Reference Class | no terrace (L3) | terrace (L3) | Sum |
|-------------------------|-----------------|--------------|--------|
| Confusion Matrix | | | |
| no terrace (L3) | 815020 | 48210 | 863230 |
| terrace (L3) | 56526 | 589915 | 646441 |
| unclassified | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 871546 | 638125 | |
| Accuracy | | | |
| Producer | 0.9351428 | 0.9244505 | |
| User | 0.9441516 | 0.9125581 | |
| Hellden | 0.9396256 | 0.9184658 | |
| Short | 0.8861263 | 0.8492250 | |
| KIA Per Class | 0.8485353 | 0.8678743 | |
| Totals | | | |
| Overall Accuracy | 0.9306233 | | |
| KIA | 0.858 | | |

reduce expand Close

Εικόνα 118: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Από τον πίνακα προκύπτει ότι η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) είναι αρκετά ικανοποιητική για το τέταρτο επίπεδο, καθώς η τιμή της είναι 0.930 και ο δείκτης KIA (Kappa index of agreement) έχει τιμή 0.858 που είναι εξίσου υψηλός. Οι δείκτες της τελικής αξιολόγησης του επιπέδου είχαν μεγαλύτερες τιμές από αυτές της αρχικής.

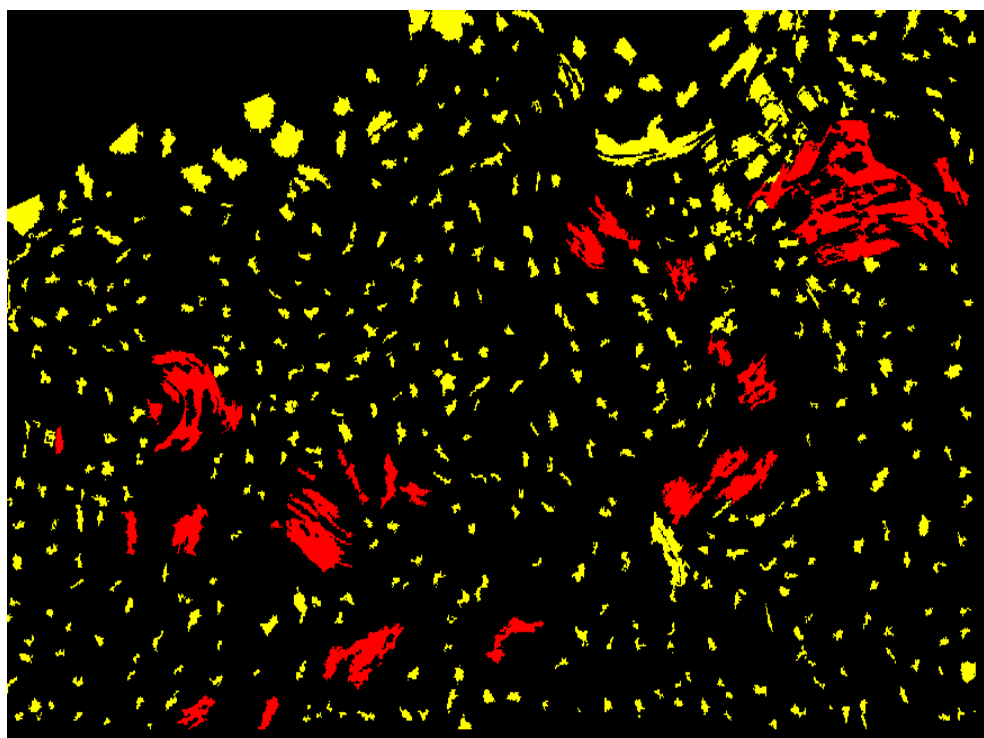
Σχετικά με τα σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) σε όλες τις θεματικές κατηγορίες του επιπέδου δεν υπήρξε κανένα σφάλμα, αφού δεν υπήρξε κάποιο pixel που να έμεινε αταξινόμητο.

Τέλος, υπήρξαν σφάλματα συμπερίληψης και στις δύο θεματικές κατηγορίες του επιπέδου και πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία “terrace (L3)” από τα 638125 pixels τα 48210 συμπεριλήφθηκαν στην κατηγορία “no terrace (L3)”, ενώ στην κατηγορία “no terrace (L3)” από τα 871546 pixels τα 56526 συμπεριλήφθηκαν στην κατηγορία “terrace (L3)”.

4.4. Αξιολόγηση βάσει δειγμάτων ελέγχου στις υπόλοιπες περιοχές

Όπως η μεθοδολογία διατηρήθηκε και στις τρεις διαφορετικές περιοχές στην Ύδρα, έτσι πραγματοποιήθηκε και η αξιολόγηση μέσω των δειγμάτων ελέγχου και των πινάκων σύγχυσης, καθώς όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, είναι ο πιο ολοκληρωμένος και αξιόλογος τρόπος για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Και σε αυτή την περίπτωση έγιναν δύο αξιολογήσεις για το τρίτο επίπεδο (Level 3).

4.4.1 Αξιολόγηση δεύτερης περιοχής μελέτης στην Ύδρα



Εικόνα 119: Απεικόνιση της μάσκας ΤΤΑ της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Error Matrix based on TTA Mask

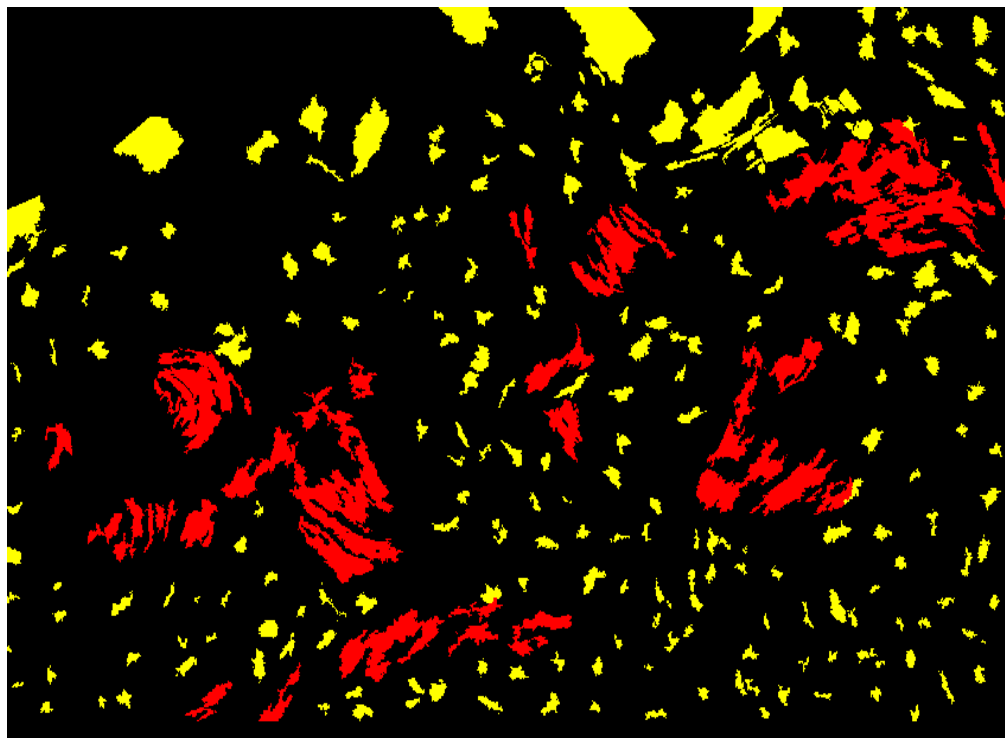
| User \ Referenc... | no terrace (L3) | terrace (L3) | Sum |
|--------------------|-----------------|--------------|-------|
| terrace (L3) | 3744 | 57706 | 61450 |
| unclassified | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 178055 | 103895 | |

| Accuracy | | |
|---------------|-----------|-----------|
| Producer | 0.979 | 0.5554262 |
| User | 0.7905261 | 0.939 |
| Hellden | 0.8747149 | 0.698 |
| Short | 0.7773274 | 0.5361068 |
| KIA Per Class | 0.9035212 | 0.4315302 |

| Totals | | |
|------------------|-------|--|
| Overall Accuracy | 0.823 | |
| KIA | 0.584 | |

reduce expand Close

Εικόνα 120: Απεικόνιση του πίνακα σύγκρισης της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου



Εικόνα 121: Απεικόνιση της μάσκας TTA της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Error Matrix based on TTA Mask

| User \ Referenc... | no terrace (L3) | terrace (L3) | Sum |
|--------------------|-----------------|--------------|--------|
| terrace (L3) | 0 | 164263 | 164263 |
| unclassified | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 180395 | 175472 | |

| Accuracy | | |
|---------------|-----------|-----------|
| Producer | 1 | 0.9361209 |
| User | 0.9414991 | 1 |
| Hellden | 0.9698682 | 0.967 |
| Short | 0.9414991 | 0.9361209 |
| KIA Per Class | 1 | 0.8813570 |

| Totals | | |
|------------------|-----------|--|
| Overall Accuracy | 0.9685023 | |
| KIA | 0.937 | |

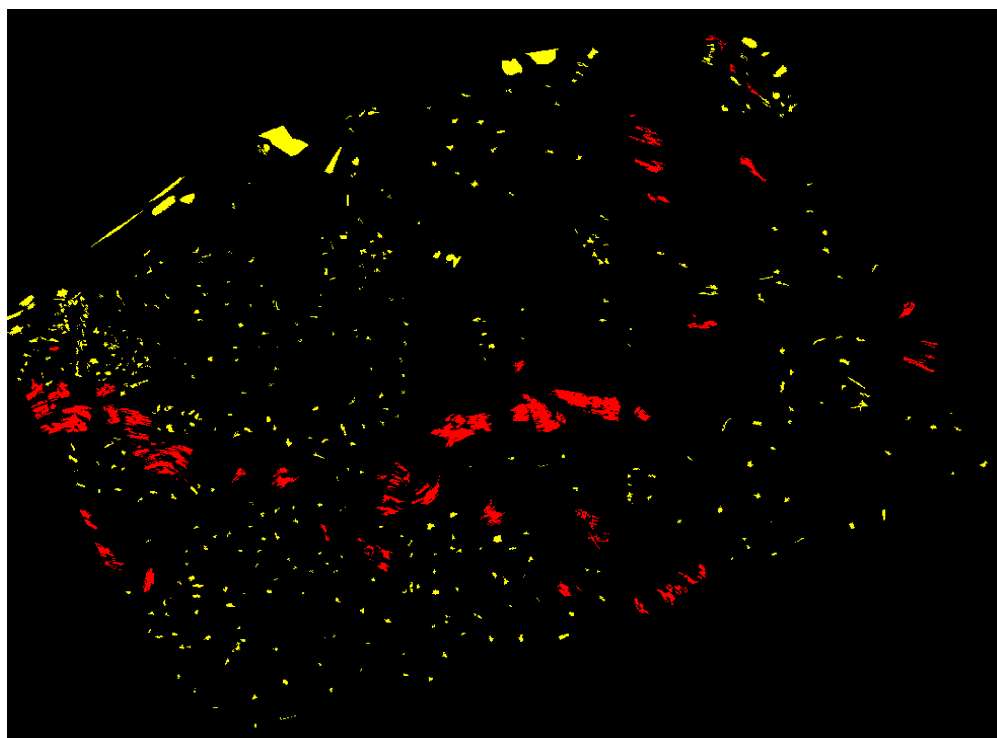
reduce expand Close

Εικόνα 122: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Για την αρχική αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου, από τους πίνακες προκύπτει ότι η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) είναι αρκετά ικανοποιητική, καθώς η τιμή της είναι 0.823. Ο δείκτης KIA (Kappa index of agreement) έχει τιμή 0.584 που είναι δεν αρκετά υψηλός. Σε σχέση με την αρχική αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου της πρώτης περιοχής μελέτης της Ύδρας, όπου η συνολική ακρίβεια ήταν 0.889 και ο δείκτης ΚΑΙ ήταν 0.779, η συνολική ακρίβεια είναι περίπου η ίδια, ενώ ο δείκτης KIA έχει μικρότερη τιμή.

Για την τελική αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου, από τους πίνακες προκύπτει ότι η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) είναι αρκετά ικανοποιητική, καθώς η τιμή της είναι 0.968. Ο δείκτης KIA (Kappa index of agreement) έχει τιμή 0.937 που είναι εξίσου υψηλός. Σε αυτή την περίπτωση, σε σχέση με την τελική αξιολόγηση του τρίτου επιπέδου της πρώτης περιοχής της Ύδρας, όπου η συνολική ακρίβεια ήταν 0.930 και ο δείκτης ΚΑΙ ήταν 0.858 οι τιμές είναι μεγαλύτερες.

4.4.2 Αξιολόγηση τρίτης περιοχής μελέτης στην Ύδρα



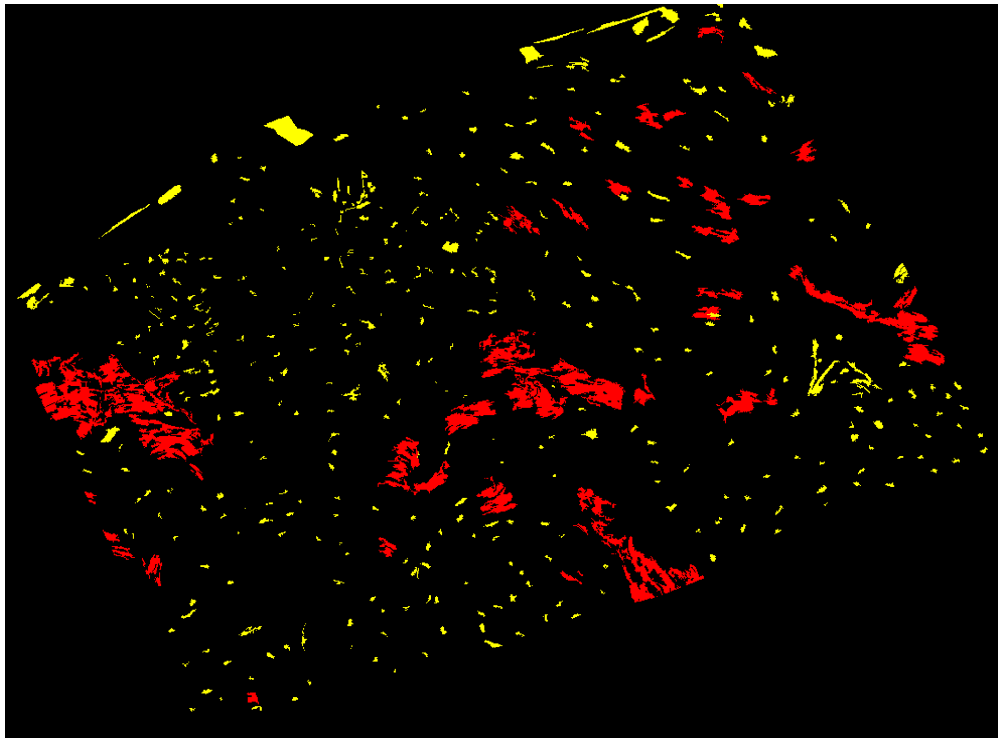
Εικόνα 123: Απεικόνιση της μάσκας TTA της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Error Matrix based on TTA Mask

| User \ Reference Class | no terrace (L3) | terrace (L3) | Sum |
|-------------------------|-----------------|--------------|--------|
| Confusion Matrix | | | |
| no terrace (L3) | 194835 | 82928 | 277763 |
| terrace (L3) | 6432 | 143878 | 150310 |
| unclassified | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 201267 | 226806 | |
| Accuracy | | | |
| Producer | 0.968 | 0.6343659 | |
| User | 0.7014433 | 0.9572084 | |
| Hellden | 0.8134564 | 0.763 | |
| Short | 0.6855680 | 0.6168720 | |
| KIA Per Class | 0.909 | 0.4365050 | |
| Totals | | | |
| Overall Accuracy | 0.7912506 | | |
| KIA | 0.5897877 | | |

reduce expand Close

Εικόνα 124: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της πρώτης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου



Εικόνα 125: Απεικόνιση της μάσκας TTA της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Error Matrix based on TTA Mask

| User \ Reference Class | no terrace (L3) | terrace (L3) | Sum |
|-------------------------|-----------------|--------------|--------|
| Confusion Matrix | | | |
| no terrace (L3) | 259535 | 18452 | 277987 |
| terrace (L3) | 22794 | 549944 | 572738 |
| unclassified | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 282329 | 568396 | |
| Accuracy | | | |
| Producer | 0.9192644 | 0.9675367 | |
| User | 0.9336228 | 0.9602017 | |
| Hellden | 0.9263880 | 0.9638553 | |
| Short | 0.8628703 | 0.9302322 | |
| KIA Per Class | 0.88 | 0.9006525 | |
| Totals | | | |
| Overall Accuracy | 0.9515166 | | |
| KIA | 0.8902465 | | |

reduce expand Close

Εικόνα 126: Απεικόνιση του πίνακα σύγχυσης της δεύτερης αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου

Για την τρίτης περιοχή μελέτης της Ύδρας, οι αξιολογήσεις του τρίτου επιπέδου ήταν ικανοποιητικές και δεν παρουσίασαν μεγάλες διαφορές από τις άλλες δύο. Οι τιμές της αρχικής αξιολόγησης για την συνολική ακρίβεια και τον δείκτη KIA ήταν 0.791 και 0.589 αντίστοιχα. Και για την τελική αξιολόγηση του επιπέδου η συνολική ακρίβεια είχε τιμή 0.951 και ο δείκτης KIA 0.890.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

5.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αναπτύχθηκαν αρκετές μέθοδοι για την ανίχνευση και την αυτοματοποιημένη χαρτογράφηση των αναβαθμίδων στο νησί της Ύδρας με όσον το δυνατόν ευρύτερη εφαρμογή, καθώς πραγματοποιήθηκαν μελέτες σε τρεις διαφορετικές περιοχές. Για την έρευνα αυτή, χρησιμοποιήθηκαν τηλεπισκοπικά δεδομένα τεχνολογίας LiDAR και πιο συγκεκριμένα για κάθε περιοχή, δύο ψηφιακά μοντέλα επιφανείας (Zmin και Zmax) και μία ορθοφωτογραφία με τρία κανάλια (κόκκινο, πράσινο και μπλε κανάλια), όπου αποτελούν παράγωγα τεχνολογίας LiDAR. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της εργασίας παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η χρήση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης με τηλεπισκοπικά δεδομένα LiDAR, έχει απεριόριστες δυνατότητες για την αυτόματη εξαγωγή αναβαθμίδων και άλλων παρόμοιων γεωμορφών. Οι γεωμορφομετρικοί δείκτες που παράχθηκαν από το Ψ.Μ.Ε. σε συνδυασμό με τους κανόνες της ασαφούς λογικής μπορούν να δώσουν πολλές σημαντικές λύσεις.
- Η χαρτογράφηση των αναβαθμίδων είναι αρκετά δύσκολη για πολλούς λόγους. Ο πρώτος αφορά τον εντοπισμό τους, και στο αρχικό στάδιο της φωτοερμηνείας άλλα και στο στάδιο της αυτόματης χαρτογράφησης, καθώς χρειάζονται δεδομένα με πολύ υψηλή χωρική ανάλυση, όπως χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία (0.6μ x 0.6μ). Ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι αναβαθμίδες αποτελούνται από διαφορετικά κομμάτια (οριζόντια και κάθετα) με διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα οι κλίσεις, οι υψομετρικές διαφορές άλλα και σχηματικά.
- Ο ταυτόχρονος συνδυασμός πολλών τύπων δεδομένων τηλεπισκόπησης που παρέχει το λογισμικό eCognition, όπως εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη εργασία που χρησιμοποιήθηκαν ταυτόχρονα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας και ορθοφωτογραφία, διευκολύνει πολύ τον χρήστη σε μελέτες όπως οι αναβαθμίδες.
- Η χρήση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης σε τηλεπισκοπικά δεδομένα που έχουν ίση ή παρόμοια χωρική ανάλυση με αυτή των παραγώγων της τεχνολογίας LiDAR δεν αντιμετωπίζει μεγάλες δυσκολίες στη διάκριση των αναβαθμίδων.
- Η εφαρμογή των μεθόδων εντοπισμού αναβαθμίδων σε σύγκριση με τις μέχρι τώρα απόπειρες πάνω στον ίδιο στόχο, ήταν αρκετά ικανοποιητική. Τα αποτελέσματα του εντοπισμού των αναβαθμίδων σε σύγκριση με τις μελέτες των δημοσιεύσεων που υπήρχαν για αυτές είναι αρκετά καλά.
- Τα αρκετά καλά αποτελέσματα των μεθόδων και στις τρεις διαφορετικές περιοχές στο νησί της Ύδρας, χρησιμοποιώντας ακριβώς ίδιες κατατμήσεις, ίδιες ταξινομήσεις και κανόνες, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η χρήση αυτών μπορεί να είναι καθολική για ολόκληρο το νησί της Ύδρας, αλλά και για οποιοδήποτε νησί της Ελλάδας που διαθέτει αναβαθμίδες και έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την Ύδρα.

5.2. Προοπτικές

Λαμβάνοντας υπόψη όλη τη μεθοδολογία που έχει περιγραφεί στις προηγούμενες παραγράφους και με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αναφέρονται παρακάτω ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- Εφαρμογή της μεθοδολογίας για τις αναβαθμίδες με διαφορετικά τηλεπισκοπικά δεδομένα παρόμοιων χαρακτηριστικών (υψηλή χωρική ανάλυση).
- Μεγαλύτερη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων τεχνολογίας LiDAR με μεθόδους αντικειμενοστραφούς ανάλυσης για την ανίχνευση γεωμορφών.
- Η ακριβής και γρήγορη ταξινόμηση των αναβαθμίδων θα μπορούσε να οδηγήσει στην επανένταξη τους στον πρωτογενή τομέα και στην ευρεία χρήση τους.
- Εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε λογισμικό πακέτο για την μέτρηση των διαστάσεων των θέσεων αναβαθμίδων (περίμετρος, μήκος κλπ) και εξαγωγή συμπερασμάτων για το είδος των αναβαθμίδων.
- Το σύνολο των κανόνων που χρησιμοποιήθηκε στις κατατμήσεις και στις ταξινομήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε περιοχή της Ύδρας, άλλα και σε οποιοδήποτε άλλο ελληνικό νησί με παρόμοια χαρακτηριστικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διπλωματικές εργασίες:

- Αϊναλή Α., (2012). Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS και WorldView2 στην ταξινόμηση τύπων βλάστησης με την ανάπτυξη Αντικειμενοστραφούς ανάλυσης: Εφαρμογή στην περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Παγωνιού, Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Αργυροπούλου Ε., (2013). Αυτόματη Αναγνώριση Ρηξιγενών Ζωνών με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση σε Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Ανάγλυφου, στην Περιοχή του Βορείου Αιγαίου, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Βλαχούλης Ι., (2017). Αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας σε τηλεπισκοπικά δεδομένα για την εκτίμηση του δυναμικού παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά σε μια πόλη, Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Δερζέκος Π., (2002). Μελέτη του αστικού πράσινου με αντικειμενοστραφή ανάλυση δεδομένων Ikonos”, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Καλαματάς Β., (2014). Παραγωγή γεωμορφολογικού χάρτη από ψηφιακό μοντέλο εδάφους με γεωμορφομετρική και αντικειμενοστραφή ανάλυση, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Καραγιάννης Γ., (2008). Ανίχνευση μεταβολών κτηρίων περιαστικό χώρο από εικόνες QUICKBIRD με Αντικειμενοστραφής διαδικασία στο λογισμικό ERDAS IMAGINE OBJECTIVE, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Κούλη Ρ., (2014). Αυτόματη Αναγνώριση των Γεωμορφολογικών και Μορφοτεκτονικών Δομών με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Εικόνας σε Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Ανάγλυφου στην περιοχή νότια της Κρήτης, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Κτένα Κ., (2016). Ανίχνευση μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης στη περιοχή του Πηλίου με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Λιμνιώτη Ι., (2016). Διερεύνηση μεθόδων μηχανικής μάθησης και αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης στην ανίχνευση οδικού δικτύου από τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μαραγκουδάκης Α., (2014). Ανίχνευση και Εξαγωγή των Αδιαπέραστων Επιφανειών με Ανάπτυξη Βάσης Γνώσης σε Περιβάλλον Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Δεδομένων, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

- Μιχαηλίδου Σ., (2011). Αυτόματη ανίχνευση μεταβολών των κτισμάτων σε περιαστικό χώρο από δορυφορικές απεικονίσεις πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας μέσω ανάπτυξης ασαφούς βάσης γνώσης σε αντικειμενοστραφές περιβάλλον ανάλυσης εικόνων, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μπέκα Σ., (2015). Ανίχνευση κτιρίων με γεωμορφομετρία και αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνων, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Παπαγεωργίου Μ., (2007). Χαρτογράφηση χρήσης & κάλυψη γης αγροτικής περιοχής της Πάφου με μεθόδους & τεχνικές Αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων QUICKBIRD, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Σαμοϊλή Σ., (2008). Αυτόματη αναγνώριση οχημάτων από πολυφασματικά και υψομετρικά δεδομένα Lidar με αντικειμενοστρεφή ανάλυση, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Τσαφάρας Σ., (2016). Ημιαυτόματος εντοπισμός πεδίων προσγείωσης ανάγκης για ελαφρά αεροσκάφη με αντικειμενοστρεφή ανάλυση σε δορυφορικές εικόνες και ψηφιακό μοντέλο εδάφους, Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Φαναρά Λ., (2011). Αυτόματη ανίχνευση ελαιόδεντρων από δορυφορικές απεικονίσεις υψηλής διακριτικής ικανότητας με Αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Χουντουλέσης Χ., (2020). Εντοπισμός και αυτόματη χαρτογράφηση αδιαπέραστων επιφανειών σε άγονες απρόσιτες ορεινές περιοχές με αντικειμενοστραφή ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Επιστημονικά άρθρα-Δημοσιεύσεις:

- Αργιαλάς Δ. και Δερζέκος Π., (2002). Διερεύνηση της Χρήσης Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης Δεδομένων IKONOS για τη Μελέτη του Αστικού Πράσινου. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα.
- Αργιαλάς Δ. και Τζώτσος Α., (2002). Η Συμβολή του eCognition στην Χαρτογράφηση Γεωμορφολογικών Σχηματισμών από Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα.
- Αργιαλάς Δ. και Τζώτσος Α., (2007). Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας στην Τηλεπισκόπηση. Θεωρία και Εφαρμογές, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Addink, E.A., Van Coillie, F.M.B. and De Jong, S.M., (2012). Introduction to the GEOBIA 2010 special issue: from pixels to geographic objects in remote sensing image analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 15, pp. 1–6.

- Anders N.S., Seijmonsbergen A.C., Bouten W., (2010). Semi-automated geomorphological mapping using stratified object-based analysis of LiDAR data. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics (IBED), University of Amsterdam, Remote Sensing Seminar, TU Delf.
- Baatz, M. and Schape, A., (2000). Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation, *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*, Heidelberg: Herbert Wichmann-Verlag, pp. 12–23.
- Diaz-Varela R.A., (2014). Automatic identification of agricultural terraces through objectoriented analysis of very high resolution DSMs and multispectral imagery obtained from an unmanned aerial vehicle, *Journal of Environmental Management*, vol. 134, pp. 117-26 vol 6, pp. 157.
- Hanqing Zhao, (2017). Extraction of Terraces on the Loess Plateau from High-Resolution DEMs and Imagery Utilizing Object-Based Image Analysis, *International Journal of Geo - Information*
- Pike, R.J., Evans, I., Hengl, T., (2008). *Geomorphometry: a brief guide - Concepts, Software, Applications*, Hengl, T. and Hannes I. Reuter (eds.), *Series Developments in Soil Science* vol. 33, Elsevier, pp. 3-33.
- Weibel, R., and M. Heller, (1991) "Digital Terrain Modelling". In *Geographical Information Systems. Principles and Applications (Volume 1, D. Maguire, M.F. Goodchild, and D.W. Rhind Eds.)*, Longman Scientific & Technical, Essex: 269-297.
- Weiss Andrew D., (1999). Topographic Position and Landforms, *The Nature Conservancy (Conference Poster)*.
- Zevenbergen, L.W., Thorne, C.R., (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surf. Process. Landf.* 12, 47–56.

Εγχειρίδια προγραμμάτων:

- eCognition Reference Book. 2014. Trimble eCognition® Developer 9.0 Reference Book.
- eCognition User Guide. 2014. Trimble eCognition® Developer 9.0 User Guide.
- Cimmery V, SAGA version 2.3.2, User Guide, 2016, volume 1

Διαδικτυακοί χώροι:

- <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>
- <https://www.trimble.com/en/>
- <http://147.102.106.44/rs/wiki/index.php/Terraces>
- <https://www.wikipedia.org/>
- <https://aerophoto.gr/trisdiastati-sarosi-lidar/>