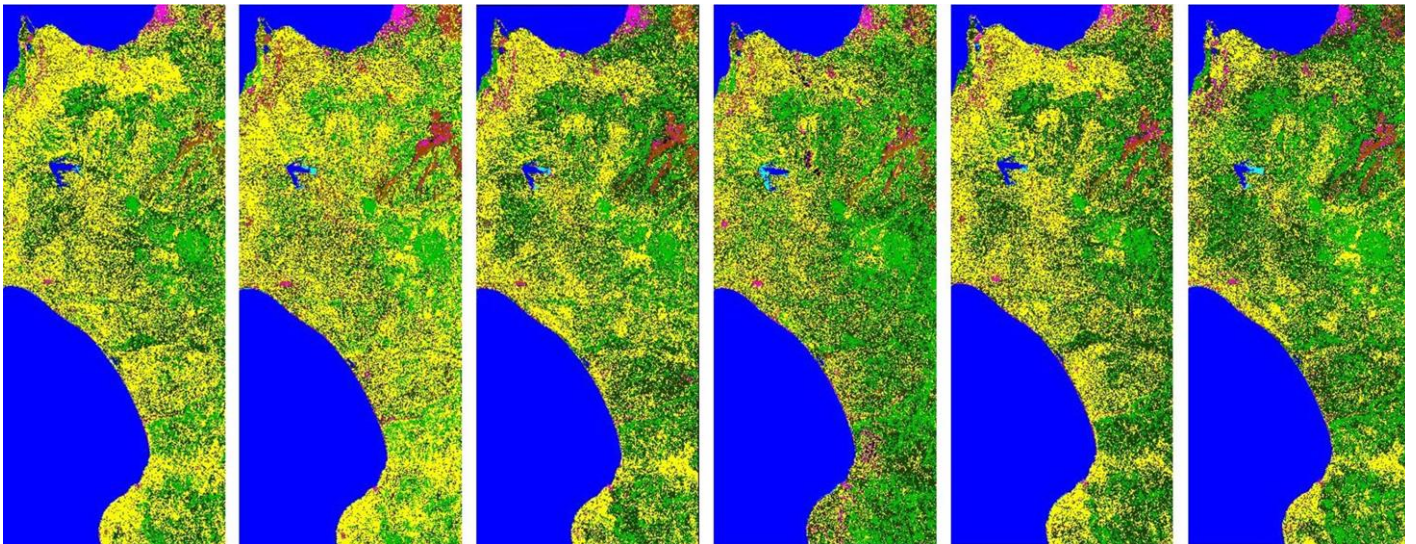




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

**«Διερεύνηση και αξιολόγηση ταξινομήσεων για τη  
χαρτογράφηση χρήσης/ κάλυψης γης από διαχρονικά  
τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης»**



**Διπλωματική εργασία**

**Αίγλη Μιχαηλίδου**

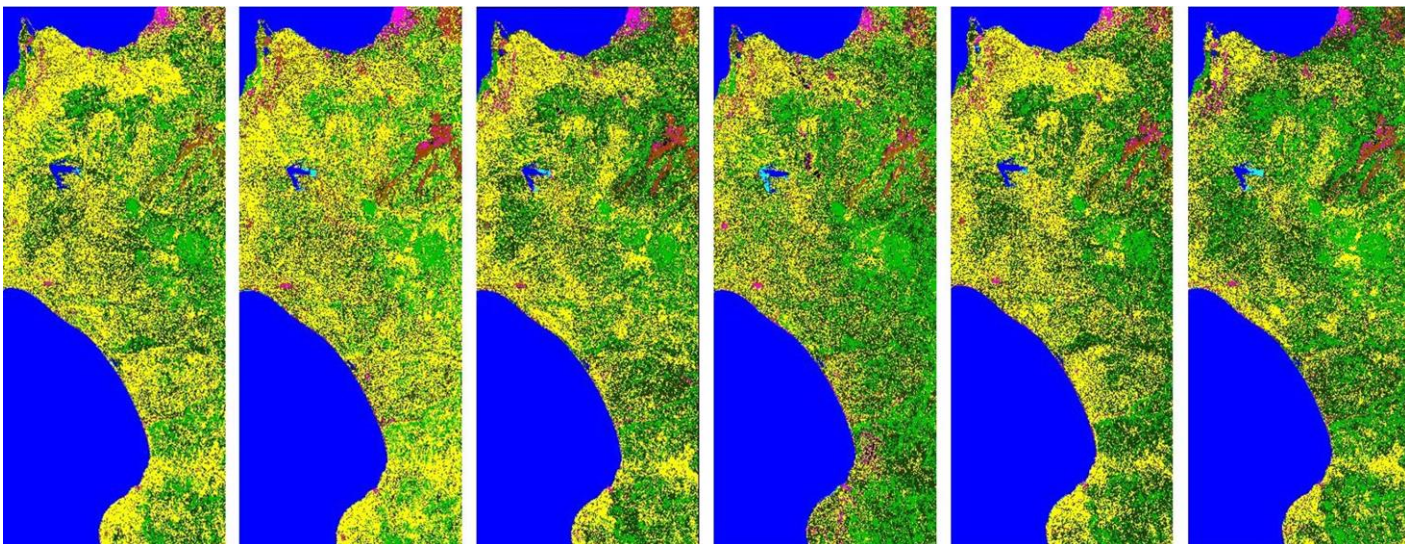
**Αθήνα,**

**Ιούλιος 2015**



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING  
REMOTE SENSING LABORATORY**

**«Classifications of high resolution multitemporal remote sensing  
data for land use/cover mapping»**



**Diploma thesis**

**Egli Michailidou**

**Athens,**

**July 2015**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

**«Διερεύνηση και αξιολόγηση ταξινομήσεων για την  
χαρτογράφηση χρήσης/ κάλυψης γης από διαχρονικά  
τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης»**

**Διπλωματική εργασία**

**Αίγλη Μιχαηλίδου**

**Τριμελής εξεταστική επιτροπή:**

**Κ. Καραντζαλος**

**Δ. Αργιαλάς**

**Β. Καραθανάση**

**Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Επιβλέπων**

**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα,**

**Ιούλιος 2015**

Copyright © All rights reserved Αίγλη Μιχαηλίδου, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση ότι αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό ή άλλο σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

*Αφιερώνεται  
στην οικογένεια μου*

**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών**

**Διερεύνηση και αξιολόγηση ταξινομήσεων για την χαρτογράφηση χρήσης/ κάλυψης  
γης από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης**

**Μιχαηλίδου Αίγλη  
Διπλωματική εργασία  
Ιούλιος 2015**

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η αυτοματοποιημένη και ακριβής παραγωγή χαρτών χρήσης/ κάλυψης γης και η παρακολούθηση των διαχρονικών μεταβολών τους από δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα μεγάλης χωρικής ανάλυσης αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημονικών εργασιών και ερευνητικών προγραμμάτων την τελευταία δεκαετία. Η γνώση τέτοιου είδους πληροφοριών είναι εξαιρετικής σημασίας για την κατανόηση της παγκόσμιας περιβαλλοντικής και κλιματικής αλλαγής, εξαιτίας της άμεσης επιρροής που έχουν οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης και στην ατμόσφαιρα. Οι μέχρι τώρα μελέτες και ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην παραγωγή διαχρονικών χαρτών με παγκόσμια κάλυψη και χωρική ανάλυση στα 300m και 1000m. Παρόλα αυτά, τα δεδομένα αυτά κρίνονται ανεπαρκή για την ανίχνευση μεταβολών σε επίπεδο ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και για τον λόγο αυτό την τελευταία πενταετία το ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί στην παρακολούθηση και διαχρονική χαρτογράφηση της κάλυψης γης σε χωρική ανάλυση των 30 μέτρων ή και μεγαλύτερη.

Προς την κατεύθυνση αυτή, στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν και αξιολογήθηκαν προηγμένες τηλεπισκοπικές μέθοδοι και τεχνικές ταξινόμησης για την συστηματική χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης. Ειδικότερα, αξιοποιήθηκαν πολυφασματικά δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης (15m και 30m) του δορυφόρου Landsat 8, σε διάφορες χρονικές στιγμές για την περιοχή της Δυτικής Πελοποννήσου, με στόχο τη δημιουργία διαχρονικών χαρτών κάλυψης γης. Επιλέγηκαν εννέα εικόνες για τα έτη 2013 και 2014 για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο με περιορισμένη παρουσία σύννεφων. Στην περιοχή αυτή και στα διαχρονικά δεδομένα έγινε με φωτοερμηνεία συλλογή δειγμάτων εκπαίδευσης καθώς και δεδομένων ελέγχου για την ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Επίσης, έγιναν πολλαπλά και σύνθετα πειράματα με ταξινομήσεις που βασίζονταν στην μέθοδο των μηχανών υποστήριξης διανυσμάτων (support vector machines, SVM). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με ταξινομήσεις στα 30 μέτρα και 15 μέτρα, ενώ πραγματοποιήθηκαν και επιμέρους πειράματα με βάση *i)* επιβλεπόμενες ταξινομήσεις ανά εικόνα, *ii)* στατιστικό μοντέλο εκπαίδευσης ανά εποχή, *iii)* στατιστικό μοντέλο εκπαίδευσης ανά έτος και *iv)* ενιαίο και διαχρονικό στατιστικό μοντέλο εκπαίδευσης για όλα τα δεδομένα. Ακολούθησε η συγκριτική αξιολόγηση των ταξινομήσεων και των διαχρονικών αλλαγών στην κάλυψη γης.

Τα αποτελέσματα και η ποσοτική αξιολόγηση σε όλες τις πειραματικές διατάξεις συμφωνούν σε γενικές γραμμές με τη σχετική βιβλιογραφία και τις ακρίβειες που πετυχαίνουν σημερινές προηγμένες μέθοδοι. Συγκεκριμένα, ποσοτικά οι ακρίβειες των ταξινομήσεων κινήθηκαν στο εύρος 80% με 90% με σχετικά μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους. Ειδικότερα, στην πλειοψηφία τους οι ταξινομήσεις με στατιστικά μοντέλα ανά εικόνα έδωσαν, όπως ήταν αναμενόμενο, τις μεγαλύτερες ακρίβειες, ενώ ακολούθησαν οι ταξινομήσεις με στατιστικά μοντέλα ανά εποχή. Οι σχετικά μικρές διαφορές (<10%) που προέκυψαν στις ακρίβειες των παραγόμενων διαχρονικών χαρτών με ένα ενιαίο στατιστικό μοντέλο εκπαίδευσης δίνει ιδιαίτερα ελπιδοφόρα αποτελέσματα για την συστηματική παρακολούθηση σε μικρές χωρικές κλίμακες των χρήσεων/καλύψεων γης και των αλλαγών τους. Τέτοια συστήματα είναι αναγκαία για την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση των μεγάλων διαχρονικών τηλεπισκοπικών δεδομένων παρατήρησης γης, για ποικίλες εφαρμογές όπως η παρακολούθηση της παγκόσμιας περιβαλλοντικής και κλιματικής αλλαγής.

**National Technical University of Athens, Greece  
School of Rural and Surveying Engineering**

***Classifications of high resolution multitemporal remote sensing data for land cover/use mapping***

**Michailidou Egli  
Diploma Thesis  
July 2015**

## **ABSTRACT**

The automated and accurate land cover/use mapping and monitoring of land cover changes over time, through high spatial resolution remote sensing data, has gained during the last decade a significant amount of research and development efforts. This information is crucial for the understanding of global environmental and climate change, because of the direct influence of human activities on the Earth's surface and the atmosphere. Previous global land cover assessments and research efforts have focused on producing multitemporal global land cover maps using spatial resolution in 300m and 1000m. However, such data is considered inadequate to detect changes in the level of human activity, thus efforts has been focused on monitoring and mapping the multitemporal land use in high spatial resolution (30m), given the current availability of Landsat 8 and Sentinel 2 open datasets.

To this end, in this diploma thesis remote sensing methods and classification techniques were studied and evaluated for the systematic multitemporal mapping of land cover and land use. In particular, satellite multispectral high spatial resolution data (15m and 30m) from Landsat 8 were used at various time periods for the region of west Peloponnisos, in order to generate multitemporal land cover maps. Multitemporal data were selected for the years 2013 and 2014 and the months of June, July, August, September and October, with limited presence of clouds. Training samples and evaluation data were selected in this region through interpretation of data for the quantitative evaluation of results. Several extensive experiments were performed based on a support vector machines (SVM) classification framework. In particular, experiments were performed with various classifications at a spatial resolution of 30m and of 15m based on *i)* a supervised classification per image, *ii)* a statistical training model per season, *iii)* a statistical training model per year and *iv)* a single, multitemporal statistical training model for all datasets. Then a comparative assessment of the classifications and the multitemporal land cover changes was performed.

The results and the quantitative assessment of all the experiments agree, in general, with similar effort in the literature and the accuracy achieved by the current state-of-the-art methods. In particular, the accuracy of the classifications was in the range of 80% to 90%, with small deviations between them. Furthermore, the majority of the classification results with the statistical models per image achieved the highest accuracy, followed by the classifications performed with the statistical models per season. The relatively small variation (<10%) in the accuracy of the multitemporal maps produced by the single statistical training model, leads to very promising results for the systematic monitoring of land cover, land use and land cover changes in small spatial scales. Such systems are necessary for the automated classification of big multitemporal remote sensing earth observation data for various applications, such as the monitoring of global environmental and climate change.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την επίβλεψη του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της, τις συμβουλές, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση του. Επιπλέον, ευχαριστώ τους μεταπτυχιακούς φοιτητές Δημήτρη Μπληζιώτη και Θανάση Κάρμα για την παροχή δεδομένων και την απεριόριστη βοήθεια σε κάθε απορία και δυσκολία που συνάντησα.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την αγάπη και την υποστήριξη της σε κάθε βήμα της ζωής μου, καθώς και τους φίλους μου που βρίσκονται δίπλα μου.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |            |
|---|------------|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>  | <b>i</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>ii</b>  |
| <b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....</b>  | <b>iii</b> |
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>  | <b>1</b>   |
| 1.1 Χάρτες Χρήσης/Κάλυψης Γης .....   | 1          |
| 1.2 Αντικείμενο και Στόχοι .....  | 2          |
| 1.3 Κίνητρο και Συνεισφορά .....  | 2          |
| 1.4 Δομή Εργασίας.....  | 3          |
| <b>2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....</b>  | <b>4</b>   |
| 2.1 Γενική Βιβλιογραφία .....   | 4          |
| 2.2 Ειδική Βιβλιογραφία.....  | 7          |
| <b>3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....</b>   | <b>17</b>  |
| 3.1 Επιλογή Περιοχής Μελέτης και Τηλεπισκοπικών Δεδομένων.....  | 17         |
| 3.2 Διαδικασία Μάθησης και Ταξινόμηση .....   | 19         |
| 3.3 Ανίχνευση Μεταβολών .....   | 30         |
| <b>4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....</b>   | <b>31</b>  |
| 4.1 Αξιολόγηση Διαχρονικών Ταξινομήσεων Με Χωρική Ανάλυση Στα 30m .....                                 | 32         |
| 4.1.1 Επιβλεπόμενες ταξινομήσεις ανά εικόνα με SVM.....   | 32         |
| 4.1.2 Μοντέλο εκπαίδευσης ανά εποχή και ταξινόμηση με SVM .....   | 57         |
| 4.1.3 Μοντέλο εκπαίδευσης ανά έτος και ταξινόμηση με SVM.....   | 81         |
| 4.1.4 Ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο εκπαίδευσης για όλα τα δεδομένα και ταξινόμηση με SVM .             | 105        |
| 4.2 Αξιολόγηση Διαχρονικών Ταξινομήσεων Με Χωρική Ανάλυση Στα 15m .....                                 | 129        |
| 4.2.1 Επιβλεπόμενες ταξινομήσεις ανά εικόνα με SVM.....   | 129        |
| 4.2.2 Ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο εκπαίδευσης για όλα τα δεδομένα και ταξινόμηση με SVM .             | 142        |
| 4.3 Συγκριτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Και Εκτίμηση Διαχρονικών Αλλαγών Στις Χρήσεις/κάλυψη Γης .....  | 154        |
| <b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>   | <b>159</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  | <b>162</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....</b>  | <b>I</b>   |
| Παράρτημα Α.....  | I          |
| Α1. Εντολές αλγορίθμων του Orfeo Toolbox και Python όπως εκτελέστηκαν σε λειτουργικό σύστημα Linux..... | I          |
| Α2. Τεχνική μετα-ταξινόμησης για ανίχνευση μεταβολών σε Matlab .....                                    | I          |
| Παράρτημα Β.....  | II         |
| Β1. Πίνακας Σχημάτων .....  | II         |
| Β2. Πίνακας Πινάκων.....  | V          |

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αρχικά μια συνοπτική περιγραφή γενικών στοιχείων που αφορούν τις προσπάθειες χαρτογράφησης της κάλυψης γης με τηλεπισκοπικά δεδομένα. Επίσης, περιγράφονται το αντικείμενο και οι στόχοι της εργασίας, καθώς και το κίνητρο και η συνεισφορά της.

## 1.1 Χάρτες Χρήσης/Κάλυψης Γης

Η κάλυψη γης εξηγείται ως η «φυσική και βιολογική κάλυψη της επιφάνειας της γης, συμπεριλαμβανομένων των τεχνητών επιφανειών, των γεωργικών περιοχών, των δασών, των φυσικών περιοχών, των υδροτόπων και των υδάτινων όγκων» σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Μερικά από τα στοιχεία που απαρτίζουν το τοπίο είναι τα κτήρια, οι δρόμοι, τα δέντρα, τα φυτά και ο συνδυασμός τους σε μια μονάδα γης αποτελεί τον τύπο κάλυψης της. Η χαρτογράφηση και περιγραφή της κάλυψης γης με ένα συγκεκριμένο σύστημα ταξινόμησης είναι διαφορετική από τη χαρτογράφηση ξεχωριστά των στοιχείων που απαρτίζουν το τοπίο και αφορά την απεικόνιση μιας συνεχούς επιφάνειας και όχι των στοιχείων που την συνθέτουν. Αντίστοιχα, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η χρήση γης εξηγείται ως η «περιοχή που χαρακτηρίζεται σύμφωνα με την τωρινή και μελλοντική σχεδιασμένη λειτουργική της διάσταση ή την κοινωνικο-οικονομική της διάσταση (π.χ. οικιστική, βιομηχανική, εμπορική, γεωργική, δασική, ψυχαγωγική)» (Arnold et al., 2013).

Οι πληροφορίες σχετικά με τη χρήση και κάλυψη γης είναι εξαιρετικής σημασίας, εφόσον η γη είναι το μέρος στο οποίο ζούμε και μας παρέχει ζωτικής σημασίας πράγματα, όπως τροφή, νερό και άλλες πρώτες ύλες. Πέρα από αυτό, η επιφάνεια της γης σχετίζεται άμεσα με τη διαμόρφωση του κλιματικού συστήματος του πλανήτη. Η κατανόηση της κατανομής και της δυναμικής της παγκόσμιας κάλυψης γης είναι σημαντική για την καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της γης και τις διεργασίες της, όπως ο βιοχημικός κύκλος, ο υδρολογικός κύκλος και η βιοποικιλότητα.

Η χρήση/κάλυψη γης έχει γίνει η κύρια κινητήρια δύναμη της παγκόσμιας αλλαγής, καθώς ο ανθρώπινος πληθυσμός αλλοιώνει τη γη με σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών του σε τροφή, ένδυση, ενέργεια και κατοικία. Η ανθρώπινη χρήση της βιόσφαιρας έχει φθάσει σε τέτοιο βαθμό, ώστε περισσότερο από 75% της γης που δεν καλύπτεται από πάγους να έχει σημάδια αλλοίωσης και σχεδόν 30% της παγκόσμιας γήινης καθαρής παραγωγής να προορίζεται για ανθρώπινη χρήση. Είναι πλέον φανερό πως το σημερινό παγκόσμιο σύστημα κάλυψης γης είναι μη βιώσιμο (Vaclavik et al., 2013).

Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια η γη βρίσκεται υπό πίεση λόγω της κλιματικής αλλαγής και των διαφόρων διαδικασιών υποβάθμισης της από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, και οι ηγέτες των χωρών έχουν κληθεί να λάβουν μέτρα για την εύρεση ισορροπίας μεταξύ της κάλυψης των ανθρωπίνων αναγκών και της χρήσης των φυσικών πόρων. Για τον σκοπό αυτό, η χαρτογράφηση της παγκόσμιας κάλυψης γης παρέχει τις δυνατότητες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών. Συγκεκριμένα, οι δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη, προσφέρουν τη δυνατότητα για παρατήρηση της γης, μέτρηση και χαρτογράφηση για το πως, που και πότε αλλάζουν οι φυσικοί πόροι. Ο αυξανόμενος αριθμός των δορυφόρων που τίθενται σε τροχιά, από την ημέρα που εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος με σκοπό την παρατήρηση της γης, αποδεικνύει την ανάγκη για απόκτηση δεδομένων.

Οι προηγούμενες προσπάθειες για τη χαρτογράφηση της παγκόσμιας κάλυψης γης έγιναν με χρήση δεδομένων χαμηλής χωρικής ανάλυσης 300m – 1km, δεδομένα τα οποία δεν είναι ικανά για την ανίχνευση της αλλαγής στην κάλυψη γης με μεγάλη λεπτομέρεια στην κλίμακα των περισσότερων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Τη δεδομένη στιγμή η ανάγκη για τη δημιουργία χαρτών και τον χαρακτηρισμό της κάλυψης γης με δεδομένα υψηλής ανάλυσης (30m) είναι επιτακτική, αλλά και εφικτή. Πολλοί δορυφόροι, μεταξύ τους και ο Landsat 8, προσφέρουν υψηλής ποιότητας και ανάλυσης τηλεπισκοπικά δεδομένα,

κατάλληλα για τέτοιου είδους εφαρμογές. Παρόλα αυτά υπάρχουν αρκετά προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν προκειμένου να παραχθούν τέτοια σύνολα δεδομένων, όπως η μη διαθεσιμότητα δορυφορικών δεδομένων συνεχούς παγκόσμιας κάλυψης, ο τεράστιος όγκος των απαιτούμενων δεδομένων, η μη διαθεσιμότητα επίκαιρων και ορθών δεδομένων εκπαίδευσης και αξιολόγησης, οι δυσκολίες στην παραγωγή μωσαϊκών από εικόνες και οι απαιτήσεις σε υψηλής απόδοσης υπολογισμούς (Giri et al., 2013). Αρκεί να αναφερθεί πως για τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων που να καλύπτει την παγκόσμια κάλυψη γης με χωρική ανάλυση 30m για τα έτη 2000 και 2010, χρειάστηκαν επεξεργασία περισσότερες από 20000 εικόνες Landsat και HJ-1 και διήρκεσε σχεδόν 4 χρόνια (Chen et al., 2014).

Η ταξινόμηση είναι ένα κλασικό τηλεπισκοπικό πρόβλημα, που έχει μελετηθεί ιδιαίτερα, και παρέχει ένα σύνολο παραμέτρων για διάφορες τηλεπισκοπικές εφαρμογές, όπως είναι η χαρτογράφηση χρήσης/κάλυψης γης και η ανίχνευση μεταβολών. Αρκετοί αλγόριθμοι ταξινόμησης χρησιμοποιούν μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη τη φασματική πληροφορία ανά εικονοστοιχείο, όπως είναι η μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), το δέντρο αποφάσεων (decision tree), οι μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων (support vector machines), αλλά και πολλές άλλες μέθοδοι. Αυτές οι μέθοδοι αναπτύχθηκαν βασίζομενες σε μέσης χωρικής ανάλυσης εικόνες, όπου υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός εικονοστοιχείων και τα ραδιομετρικά σήματα αποτελούν την πιο σημαντική πληροφορία για την ερμηνεία τους (Huang et al., 2014).

Γενικά οι τεχνικές ταξινόμησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους παραμετρικούς ταξινομητές και τους μη παραμετρικούς. Στην πρώτη κατηγορία οι ταξινομητές θεωρούν πως τα δεδομένα για κάθε κλάση κατανέμονται ομοιόμορφα, όπως ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας που ταξινομεί τα εικονοστοιχεία βασισμένος στον μέσο όρο και τη διακύμανση της κάθε κλάσης. Αντίθετα, οι μη παραμετρικοί ταξινομητές όπως ο SVM δεν κάνουν καμία υπόθεση για τη στατιστική φύση των δεδομένων (Srivastava et al., 2012). Η τεχνική SVM περιέχει ένα σύνολο σχετιζόμενων αλγόριθμων μάθησης που χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση και κατάτμηση και εφαρμόζεται με επιτυχία σε τηλεπισκοπικές εφαρμογές όπου διατίθεται ένας μικρός αριθμός δεδομένων (Mountrakis et al., 2011).

## 1.2 Αντικείμενο και Στόχοι

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση και αξιολόγηση προηγμένων τηλεπισκοπικών μεθόδων για χαρτογράφηση κάλυψης γης από διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης. Ειδικότερα, πραγματοποιείται συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων, μελέτη τεχνικών επεξεργασίας και μεθόδων ταξινόμησης, επεξεργασία των δεδομένων, για τη δημιουργία διαχρονικών χαρτών κάλυψης γης υψηλής χωρικής ανάλυσης, και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Στόχος της μελέτης είναι η διερεύνηση μεθοδολογιών ταξινόμησης και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου SVM, όσο αφορά τον σαφή διαχωρισμό των κατηγοριών κάλυψης γης που τέθηκαν, με χρήση μόνο φασματικών δεδομένων. Επιπλέον, σημαντικό στόχο αποτελεί η διερεύνηση της πιθανότητας δημιουργίας χαρτών κάλυψης γης σε εθνικό επίπεδο με τη μέθοδο αυτή και η παραγωγή υψηλής ακρίβειας αποτελεσμάτων. Τέλος, επιδιώκεται η αξιολόγηση διαφορετικών στατιστικών μοντέλων εκπαίδευσης και η αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων με χρήση των μοντέλων αυτών.

## 1.3 Κίνητρο και Συνεισφορά

Κίνητρο για τη διερεύνηση και αξιολόγηση προηγμένων τηλεπισκοπικών μεθόδων για χαρτογράφηση κάλυψης γης αποτέλεσε η σύγχρονη και επιτακτική ανάγκη για μελέτη της κάλυψης γης και δημιουργία αυτοματοποιημένων μεθόδων για εξαγωγή χαρτών, όπως και η ανάπτυξη των σύγχρονων τηλεπισκοπικών συστημάτων που παρέχουν δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης και είναι κατάλληλα για τέτοιου είδους εφαρμογές. Επιπλέον, κίνητρο αποτέλεσε η περιβαλλοντική και κλιματική αλλαγή που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, για την αντιμετώπιση της οποίας και προσαρμογή σε αυτή απαιτούνται τέτοιου είδους δεδομένα.

Η συνεισφορά της εργασίας συνοψίζεται στις παρακάτω συνιστώσες:

1. Αξιολόγηση μεθοδολογίας για τη δημιουργία δεδομένων κάλυψης γης σε πολυφασματικές εικόνες με τη χρήση μόνο φασματικής πληροφορίας.
2. Αξιολόγηση μεθοδολογίας και αποτελεσμάτων μέσω εφαρμογής διαχρονικών μοντέλων σε εικόνες Landsat 8 χωρικής ανάλυσης 30m και 15m.
3. Παραγωγή χαρτών κάλυψης γης στην περιοχή της Δυτικής Πελοποννήσου για ανίχνευση διαχρονικών μεταβολών.

## 1.4 Δομή Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε πέντε (5) κεφάλαια.

Στο **Κεφάλαιο 2** πραγματοποιείται ανασκόπηση βιβλιογραφίας, όπου αρχικά παρουσιάζονται οι εξελίξεις στη βιβλιογραφία που αφορούν γενικά τις προσπάθειες για χαρτογράφηση με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και στη συνέχεια γίνεται μια εμβάνθυνση σε συγκεκριμένες επιστημονικές εργασίες που σχετίζονται άμεσα με το αντικείμενο της εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναλύεται η μεθοδολογία για την ταξινόμηση των εικόνων. Αρχικά, περιγράφεται η διαδικασία επιλογής της περιοχής μελέτης και των απαραίτητων τηλεπισκοπικών δεδομένων για αυτή την εφαρμογή. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος ταξινόμησης που επιλέχθηκε και τα επιμέρους στάδια στα οποία διακρίνεται, τη διαδικασία μάθησης και την ταξινόμηση των εικόνων, και παρουσιάζεται το σύστημα ταξινόμησης που επιλέχθηκε για την εργασία. Τέλος, περιγράφεται η μέθοδος ανίχνευσης μεταβολών που εφαρμόστηκε.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα πειράματα που εκτελέστηκαν με βάση τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο για κάθε εικόνα και η αξιολόγηση τους. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων χωρίζονται σε επιμέρους ενότητες ανάλογα με τη χωρική ανάλυση των εικόνων και το χρησιμοποιούμενο μοντέλο.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία και προτείνονται κάποιες προτάσεις εξέλιξής της.

# 2.

## ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ανασκόπηση της σημαντικότερης διεθνούς βιβλιογραφίας που σχετίζεται με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, γίνεται αρχικά μια γενική ανασκόπηση, που αφορά τις εξελίξεις και την έρευνα στο πεδίο της χαρτογράφησης με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων, και ακολουθεί μια ειδικότερη εμβάθυνση σε συγκεκριμένες μελέτες και εφαρμογές, που σχετίζονται άμεσα με το αντικείμενο της εργασίας.

### 2.1 Γενική Βιβλιογραφία

Η γνώση της χρήσης και κάλυψης γης αποτελεί σημαντικό ζήτημα για την κατανόηση της περιβαλλοντικής αλλαγής, εφόσον τυχόν αλλαγές στην κάλυψη γης επηρεάζουν άμεσα τη βιοφυσική και βιοχημεία της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας (Giri et al., 2013; Vaclavik et al., 2013). Το γεγονός αυτό καθιστά επιτακτική την ανάγκη για παραγωγή χαρτών κάλυψης γης και ανάλυση τους για την παραγωγή αποτελεσμάτων και μελέτη των αλλαγών στην επιφάνεια της γης, οι οποίες προέρχονται κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη, παρέχουν ένα σημείο θέασης, ικανό για χαρτογράφηση, μέτρηση και παρακολούθηση για το πως, που και πότε αλλάζουν οι φυσικοί πόροι ανά τον κόσμο (Belward and Skoien, 2015). Για τον λόγο αυτό, πολλοί ερευνητές, μεταξύ τους και οι Belward and Skoien (2015), έχουν μελετήσει τα είδη των δορυφόρων, που έχουν τεθεί σε λειτουργία για να παράγουν παρατηρήσεις ικανές για μελέτες που αφορούν την κάλυψη της γης. Συγκεκριμένα, κατέληξαν πως η πρώτη αποστολή που καλύπτει όλες τις απαιτήσεις για αυτού του είδους την μελέτη αφορά τον Landsat 1, που εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουλίου 1972. Από τότε μέχρι σήμερα, ο αριθμός των δορυφόρων που έχουν τη δυνατότητα παρατήρησης της κάλυψης της γης, έχει αυξηθεί με ραγδαίους ρυθμούς, ενώ ταυτόχρονα έχει αυξηθεί και ο χρόνος ζωής των δορυφόρων. Χαρακτηριστικό είναι, επίσης, πως έχουν αυξηθεί και οι χώρες που εκτοξεύουν και διαχειρίζονται τους δορυφόρους, καθώς όλο και περισσότερα κράτη θέλουν να γνωρίζουν για τις αλλαγές στους φυσικούς πόρους της γης. Παραδείγματα κάποιων προγραμμάτων που δραστηριοποιούνται στο πεδίο αυτό αποτελούν: Landsat, SPOT, NOAA, CBERS, IRS, JERS, Resurs και DMC.

Αξίζει να σημειωθεί πως παρόλα αυτά, η ύπαρξη αξιόπιστων δεδομένων για την κάλυψη γης και την αλλαγή στην κάλυψη γης (land cover and land cover change, LCLCC) είναι περιορισμένη, για αυτό και κρίνεται αναγκαία η χαρτογράφηση της με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης (30m). Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες χαρτογράφησης, οι οποίες καθώς τα χρόνια περνούν βελτιώνονται όσο αφορά τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται, τη χωρική ανάλυση των δεδομένων και τις πηγές προέλευσης τους. Όπως αναφέρει μία ομάδα ερευνητών από τις Ηνωμένες Πολιτείες, (Giri et al., 2013), επιδίωξη τους είναι η παραγωγή δεδομένων για την παγκόσμια κάλυψη γης στα 30m, καθώς σε αυτή την ανάλυση μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί η αλλαγή στη γη σε επίπεδο ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Αυτό είναι εφικτό με τη χρήση δεδομένων Landsat που παρέχονται δωρεάν. Επιπλέον, αναφέρεται πως για τη χαρτογράφηση της κάλυψης γης χρειάζονται περίπου 10000 εικόνες Landsat χωρίς σύννεφα, γεγονός που δεν καθιστά το εγχείρημα αυτό εύκολο. Παράλληλα, χρειάζονται επιπλέον τηλεπισκοπικά δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης, όπως QuickBird, IKONOS, RapidEye, WorldView-2, για την προετοιμασία των δεδομένων εκπαίδευσης και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από τον δορυφόρο Landsat 8, ο οποίος ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Φεβρουάριο του 2013 και αποτελείται από δύο δέκτες, τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS). Ο δορυφόρος Landsat 8 βρίσκεται στην ίδια ηλιοσύγχρονη, σχεδόν πολική, κυκλική τροχιά ακτίνας 705km και θέση όπως ο δορυφόρος Landsat 5, που έχει πρόσφατα αποσυρθεί. Τα δεδομένα του δορυφόρου λαμβάνονται σε λωρίδες 185km και χωρίζονται σε σκηνές 185km x 185km και είναι ορισμένα από το World-wide Reference System (WRS-2) με

συντεταγμένες  $\rho$ ath και  $\rho$ ow. Επίσης, ο κύκλος του δορυφόρου επαναλαμβάνεται κάθε 16 μέρες και τα δεδομένα επεξεργάζονται και μετατρέπονται σε προϊόντα 185km x 180km Level 1 terrain-corrected (L1T). Όλα τα φασματικά κανάλια των δύο δεκτών αποθηκεύονται ως γεωαναφερμένοι ψηφιακοί αριθμοί 16 bit στον ίδιο φάκελο L1T. Επιπλέον, τα θερμικά κανάλια που έχουν χωρική ανάλυση 100m, όπως φαίνεται στον πίνακα 2-1, υπόκεινται σε επεξεργασία μέσω κυβικής συνέλιξης και αποκτούν χωρική ανάλυση 30m, όπως και τα υπόλοιπα κανάλια. Ακόμη, διατίθενται κάποια αρχεία στα οποία δίνεται η πιθανότητα ύπαρξης σύννεφων. Σημειώνεται ότι το σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα WGS84 (World Geodetic System 1984) και η χαρτογραφική προβολή UTM (Universal Transverse Mercator). Τέλος, αναφέρεται πως τα δεδομένα Landsat L1T περιλαμβάνουν ραδιομετρική βαθμονόμηση, συστηματική γεωμετρική διόρθωση, διορθώσεις ακριβείας και χρήση ενός υψομετρικού μοντέλου για διόρθωση σφάλματος παράλλαξης (Roy et al., 2014).

| <b>Bands</b>                        | <b>Wavelength (<math>\mu</math>m)</b> | <b>Resolution (m)</b> |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Band 1 - Coastal aerosol            | 0.43 - 0.45                           | 30                    |
| Band 2 - Blue                       | 0.45 - 0.51                           | 30                    |
| Band 3 - Green                      | 0.53 - 0.59                           | 30                    |
| Band 4 - Red                        | 0.64 - 0.67                           | 30                    |
| Band 5 - Near Infrared (NIR)        | 0.85 - 0.88                           | 30                    |
| Band 6 - SWIR 1                     | 1.57 - 1.65                           | 30                    |
| Band 7 - SWIR 2                     | 2.11 - 2.29                           | 30                    |
| Band 8 - Panchromatic               | 0.50 - 0.68                           | 15                    |
| Band 9 - Cirrus                     | 1.36 - 1.38                           | 30                    |
| Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1 | 10.60 - 11.19                         | 100                   |
| Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2 | 11.50 - 12.51                         | 100                   |

*Πίνακας 2-1: Παρουσίαση των καναλιών του Landsat 8*

Παράλληλα, σχεδιάζεται η εκτόξευση δορυφόρων της αποστολής Sentinel-2 από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία, η οποία θα παρέχει υπηρεσίες σχετικές με πολυφασματικά δεδομένα υψηλής ακρίβειας για την παγκόσμια παρατήρηση της επιφάνειας της γης. Η αποστολή θα ενισχύσει τις αποστολές των SPOT 4/5 και θα συμπληρώσει τις παρατηρήσεις της αποστολής Landsat. Χαρακτηριστικά των δορυφόρων αποτελούν ο κύκλος επισκευιμότητας τους που έχει οριστεί στις 5 ημέρες, το πλάτος της λωρίδας λήψης δεδομένων στα 290km, τα 13 φασματικά κανάλια που θα παρέχουν εικόνες υψηλής ραδιομετρικής και γεωμετρικής ακρίβειας και η παγκόσμια κάλυψη τους. Τα μήκη κύματος των καναλιών τους κυμαίνονται από το ορατό φάσμα (VIS) και το εγγύς υπέρυθρο (NIR) στο μέσο υπέρυθρο (SWIR), σε διαφορετική χωρική ανάλυση από 10m μέχρι 60m. Τα τέσσερα κανάλια με χωρική ανάλυση στα 10m εξασφαλίζουν την συμβατότητα με το SPOT 4 και 5, τα έξι κανάλια έχουν χωρική ανάλυση 20m και τα τελευταία κανάλια στα 60m αφορούν κυρίως ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Οι παρατηρήσεις από την αποστολή αυτή προβλέπεται να προσφέρουν σε εφαρμογές κάλυψης γης και αλλαγές στην κάλυψη γης (Drusch et al., 2012).

Σε πιο συγκεκριμένες εφαρμογές αναφέρεται, επίσης, πως για την κατανόηση των επιπτώσεων της εντατικοποίησης της γεωργίας και τη συσχέτιση τους με την περιβαλλοντική αλλαγή, είναι χρήσιμη η αναγνώριση των παγκόσμιων μοτίβων των συστημάτων της γης. Οι μελετητές Vaclavik et al. (2013) έχουν εξάγει μια παγκόσμια απεικόνιση γήινων συστημάτων βασισμένα σε τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης (30m), σε περιβαλλοντικές συνθήκες και σε κοινωνικο-οικονομικούς δείκτες. Χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο αυτο-οργάνωσης χάρτη (self-organizing map, SOM), εντόπισαν και

χαρτογράφησαν δώδεκα πρότυπα συστημάτων γης για το έτος 2005. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής βοήθησαν στον εντοπισμό γενικών προτύπων πίεσης της γης και περιβαλλοντικής απειλής, και παρέχουν τα μέσα για ανάπτυξη στρατηγικών για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής.

Μια άλλη παράμετρος που είναι χρήσιμη προκειμένου να διαγνωσθεί η απόκριση του οικοσυστήματος στην παγκόσμια αλλαγή, είναι η πληροφορία σχετικά με τη φαινολογία. Η φαινολογία είναι ο επιστημονικός κλάδος που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό, την καταγραφή, τη μελέτη και τη διερεύνηση της έναρξης και της λήξης των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης των φυτών, καθώς και των δραστηριοτήτων της πανίδας από έτος σε έτος και σε σχέση με τις μεταβολές και αλλαγές του καιρού και του κλίματος (Μπαλούτσος και συν, 2008). Σύμφωνα με τους Ganguly et al. (2010), η μελέτη της φαινολογίας των φυτών σε αρκετές περιοχές και ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μπορεί να επιτευχθεί με τηλεπισκοπικές μεθόδους. Συγκεκριμένα, μελέτησαν την εκδοχή Collection 5 του MODIS Global Land Cover Dynamics (MLCD) Product, σε σχέση με το Collection 4. Η νέα εκδοχή παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη φαινολογία της επιφάνειας της γης σε καλύτερη χωρική ανάλυση (500m αντί 1km) και βασίζεται σε δεδομένα 8 ημερών. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος MLCD, ο οποίος χαρακτηρίζει τον κύκλο ανάπτυξης της βλάστησης χρησιμοποιώντας 4 μεταβατικές ημερομηνίες, οι οποίες εκτιμώνται μέσω των χρονικών σειρών των δεδομένων του MODIS enhanced vegetation index (EVI). Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι το προϊόν Collection 5 είναι ποιοτικά όμοιο με το Collection 4, αν και το Collection 5 έχει λιγότερες κενές τιμές σε περιοχές που καλύπτονται συνεχώς από σύννεφα και ατμοσφαιρικά λύματα.

Επιπλέον, έχει προταθεί από τους Vaduva et al. (2013) μια διαφορετική προοπτική για τη δυναμική ταξινόμηση χρονικών σειρών δορυφορικών εικόνων (satellite image time series, SITS). Σύμφωνα με αυτούς, τέσσερα μεγέθη, ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient, CC), η απόκλιση Kullback-Leibler (Kullback-Liebler divergence, KLD), οι πληροφορίες κατάστασης (conditional information, CI) και η κανονικοποιημένη απόσταση συμπίεσης (normalized compression distance, NCD), χρησιμοποιούν γραμμικές εξαρτήσεις, στατιστικές μετρήσεις και χωρικές συσχετίσεις για τον υπολογισμό ραδιομετρικών, φασματικών αλλαγών και αλλαγών στην υφή και προσφέρουν μια περιγραφή για την πολυφασματική συμπεριφορά των χρονικών σειρών δορυφορικών δεδομένων. Μέσω μετατροπής των σειρών αυτών παράγεται χάρτης αλλαγών χρονικών σειρών (change map time series, CMTS), που αναλύεται χρησιμοποιώντας τη λανθάνουσα κατανομή Dirichlet (latent Dirichlet allocation, LDA). Τα αποτελέσματα της μελέτης τους υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας έντεκα εικόνες Landsat, που καλύπτουν την πόλη του Βουκουρέστι και τις περιοχές γύρω από αυτήν. Οι εικόνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν αρχικά ανά ζεύγη, ώστε να υπολογιστούν οι μεταξύ τους διαφορές και συγκεντρώθηκαν σε μία νέα εικόνα, τον χάρτη αλλαγών χρονικών σειρών, προκύπτοντας έτσι εικονοστοιχεία που δεν χαρακτηρίζονται πλέον από στατική πληροφορία, αλλά εκφράζουν δυναμικά δεδομένα. Από τα αποτελέσματα προκύπτει, πως η μέθοδος αυτή μπορεί να διακρίνει διάφορες αστικές περιοχές και τύπους δασών, καθώς και να διαχωρίσει διαφορετικές κατηγορίες καλλιέργειών σύμφωνα με διάφορες παραμέτρους. Παρόλα αυτά, σημειώνεται πως το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η έλλειψη αξιόπιστων παραμέτρων αξιολόγησης σχετιζόμενα με τη δυναμική εξέλιξη της κάλυψης γης. Επιπλέον, η απόκτηση δεδομένων κατάλληλων για αυτή τη μέθοδο είναι δύσκολη, καθώς πολλές παράμετροι όπως το σχήμα των αντικειμένων και οι σκιές τους επηρεάζουν τη διαδικασία.

Ένας άλλος τρόπος παραγωγής χαρτών κάλυψης γης που έχει προταθεί, σχετίζεται με ανάπτυξη διαδικτυακών συστημάτων που υποστηρίζουν τέτοιες εφαρμογές. Οι Han et al. (2015) παρουσίασαν τον σχεδιασμό και την παραγωγή ενός διαδικτυακού συστήματος που υποστηρίζει την παραγωγή δεδομένων παγκόσμιας κάλυψης γης ανάλυσης 30m, συνδυάζοντας γεωχωρικές διαδικτυακές υπηρεσίες με την τεχνολογία Computer Support Collaborative Work (CSCW). Το σύστημα αυτό είναι χρήσιμο για την καλύτερη ανταλλαγή διαφόρων συνόλων δεδομένων, για την υποστήριξη διαδικασιών μετα-ταξινόμησης (post-classification) και διευκόλυνση της συνεργασίας για έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων και επαλήθευση τους. Αντίστοιχα, οι Ferran et al. (2013) περιέγραψαν ένα διαδικτυακό σύστημα που επιτρέπει άπειρους χρήστες να πραγματοποιήσουν μη επιβλεπόμενες ταξινόμησεις δορυφορικών εικόνων με τους αλγόριθμους k-means και ISODATA. Ένα χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού αποτελεί η δυνατότητα επεξεργασίας των εικόνων σε διαφορετικά επίπεδα μεγέθυνσης, επιτρέποντας στον χρήστη να επιβλέψει καλύτερα το τελικό αποτέλεσμα.

Όσο αφορά τους ήδη υπάρχοντες παγκόσμιους χάρτες κάλυψης γης (global land cover maps, GLC maps), έχει γίνει από αρκετούς μελετητές προσπάθεια για αξιολόγηση της ακρίβειας τους για διάφορες εφαρμογές (Tsendbazar et al., 2015; Bai et al., 2014; Pengra et al., 2015). Συγκεκριμένα οι Tsendbazar et al. (2015), ανέλυσαν πληροφορίες μεταδεδομένων (metadata) από δώδεκα παγκόσμια σύνολα δεδομένων παγκόσμιας κάλυψης γης και αξιολόγησαν τα χαρακτηριστικά τους και τις χρήσεις τους, όσο αφορά τέσσερις ομάδες χρηστών που σχετίζονται με κλιματικά μοντέλα, ανάλυση παγκόσμιας αλλαγής δασών, παρακολούθηση της γεωργίας και παραγωγή παγκόσμιων χαρτών κάλυψης γης. Μέσω σύγκρισης χαρακτηριστικών ορισμένων συνόλων δεδομένων, προέκυψε πως μεταξύ τους διαφέρουν σε πτυχές όπως το μέγεθος και ο τύπος της ελάχιστης μονάδας δείγματος, το σύστημα επιλογής των δειγμάτων και η χρονική τους κάλυψη. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως τα σύνολα δεδομένων έχουν περιορισμούς στις εφαρμογές εκτός της χρήσης για την οποία προορίζονται. Για τον λόγο αυτό, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες, πρέπει να ελέγχονται ως προς την καταλληλότητα τους, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους.

Αντίστοιχα, οι Bai et al. (2014) αξιολόγησαν πέντε διαφορετικά σύνολα δεδομένων παγκόσμιας κάλυψης γης, ως προς τη συνοχή και την ασυμφωνία τους, στην περιοχή της Κίνας. Επειδή τα δεδομένα αυτά έχουν παραχθεί με χρήση διαφορετικών δεδομένων και αλγορίθμων αλλά και διαφορετικές κλάσεις, υπήρξε αβεβαιότητα κατά τη χρήση τους και έγινε προσπάθεια διαμόρφωσής τους. Συγκεκριμένα, έγινε αλλαγή της γεωγραφικής προβολής στην οποία αναφέρονται σε μία κοινή, και αναδειγματοληψία ώστε να έχουν κοινό μέγεθος εικονοστοιχείου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν φανέρωσαν ασυμφωνία μεταξύ των συνόλων δεδομένων, η οποία μπορεί να οφείλεται σε διαφορές στους αισθητήρες, στις χρονικές περιόδους και στους αλγόριθμους ταξινόμησης. Παρόλα αυτά, το βασικό πρόβλημα μεταξύ των δεδομένων είναι η δυσκολία διαχωρισμού συγκεκριμένων κατηγοριών με φασματικές υπογραφές που επικαλύπτονται. Οι κατηγορίες αυτές στην περιοχή της Κίνας αφορούν τη θαμνώδη βλάστηση, τα μεικτά δάση και τους υγροτόπους.

Τέλος, αναφέρεται πως οι διαδικασίες μετά την ταξινόμηση μπορεί να δώσουν καλύτερα αποτελέσματα από την απλή ταξινόμηση (post-classification). Συγκεκριμένα, οι Huang et al. 2014 μελέτησαν τέσσερις τεχνικές μετα-επεξεργασίας της ταξινόμησης (classification post processing, CPP), τις filtering, random field, object based-voting και relearning. Από τη μελέτη αυτή κατέληξαν πως οι τεχνικές αυτές βελτιώνουν τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων και τα κάνουν πιο ακριβή, ενώ μεταξύ τους η μέθοδος relearning δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα.

## 2.2 Ειδική Βιβλιογραφία

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται κάποιες μελέτες που σχετίζονται άμεσα με το θέμα της συγκεκριμένης διπλωματικής. Ειδικότερα, οι μελέτες αυτές αφορούν εφαρμογές χαρτογράφησης της κάλυψης γης με τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης. Αρχικά, γίνεται αναφορά στην προσπάθεια δημιουργίας ενός παγκόσμιου χάρτη κάλυψης γης για τα έτη 2000 και 2010, στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα μιας μελέτης χαρτογράφησης με χρήση διαδικτυακής υπηρεσίας και ακολούθως περιγράφεται η προσπάθεια δημιουργίας μιας παγκόσμιας βάσης δεδομένων αναφοράς για εφαρμογή σε δεδομένα κάλυψης γης προερχόμενα από Landsat. Τέλος, αναφέρονται κάποιες προσπάθειες για δημιουργία συστημάτων ταξινόμησης.

### GlobeLand30

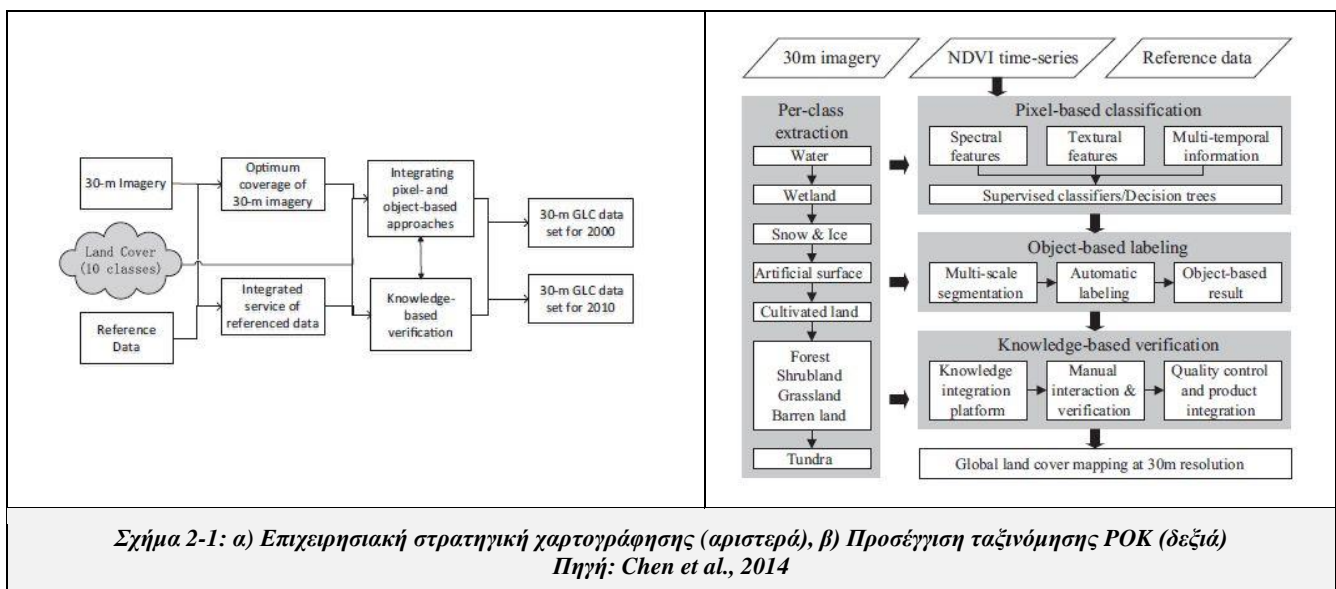
Το GlobeLand30 αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων ανάλυσης 30m για την παγκόσμια κάλυψη γης. Το 2010 μια ομάδα ερευνητών στην Κίνα ξεκίνησε να αναπτύσσει αυτά τα σύνολα δεδομένων για τα έτη 2000 και 2010. Σε επιστημονική συνάντηση που έγινε το 2013 στο Πεκίνο, έλαβαν μέρος 60 άτομα από 20 οργανισμούς και συζήτησαν για την πρόοδο στην έρευνα σχετικά με την παγκόσμια κάλυψη γης και συγκεκριμένα για το εγχείρημα αυτό. Τη συγκεκριμένη στιγμή δεν είχε ολοκληρωθεί η μελέτη, αλλά όπως ανέφερε ο Chen Jun είχαν ήδη επεξεργαστεί 10000 σκηνές Landsat και Chinese HJ-1 χωρικής ανάλυσης 30m για κάθε έτος (2000 και 2010), που να καλύπτουν ολόκληρη τη γη. Επιπλέον, ανέφερε πως τα δεδομένα αυτά αφορούν διαφορετικές χρονικές στιγμές ενώ υπάρχουν ακόμα περιοχές που καλύπτονται από σύννεφα.

Σύμφωνα με τους Chen et al. (2014) το εγχείρημα αυτό δεν ήταν εύκολο, κυρίως λόγω του όγκου των δεδομένων και της ανάγκης για δεδομένα καλής ποιότητας ικανά να δώσουν αποτέλεσμα. Επιπλέον, εφόσον



πρόκειται για παγκόσμια συλλογή δεδομένων, ένα άλλο πρόβλημα αποτελούν τα πολυσύνθετα φασματικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά υψής των τοπιών. Για τον λόγο αυτό, αρχικά, εξέτασαν την αποτελεσματικότητα τεσσάρων υπάρχοντων αυτοματοποιημένων μεθόδων ταξινόμησης, Maximum Likelihood Classifier (MLC), Decision Tree Classifier (DTC), Random Forest Classifier (RF) και Support Vector Machines (SVM), σε περισσότερες από 8000 εικόνες του έτους 2000 και προέκυψε πως η μέθοδος SVM παρείχε το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 64,9%. Επειδή το ποσοστό αυτό δεν είναι μεγάλο, αποφάσισαν πως σε τέτοιου είδους μελέτη δεν θα μπορούσε να γίνει μόνο αυτόματη ταξινόμηση. Έτσι, υιοθέτησαν μια προσέγγιση pixel-object-knowledge-based (POK-based), η οποία θα εξηγηθεί παρακάτω.

Όσο αφορά, τον σχεδιασμό της ταξινόμησης, κατέληξαν σε 10 κύριες κλάσεις, υδάτινοι όγκοι, υγρότοποι, τεχνητές επιφάνειες, καλλιέργειες, μόνιμοι πάγοι/χιόνια, δάση, θαμνώδεις εκτάσεις, λιβάδια, γυμνές εκτάσεις και τούνδρα (water bodies, wetland, artificial surfaces, cultivated land, permanent snow/ice, forest, shrubland, grassland, bareland, tundra). Σχετικά με την ανάλυση των εικόνων, ενώ στα 30m είναι εύκολο να παρατηρηθούν οι επιπτώσεις από τις ανθρώπινες ενέργειες, σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει μεγάλη φασματική ετερογένεια στις κλάσεις και φασματική σύγχυση μεταξύ των διαφορετικών κλάσεων. Το γεγονός αυτό καθιστά αδύνατο να επιλεγεί μια μέθοδος ταξινόμησης ανά εικονοστοιχείο που να αποδώσει επαρκώς. Συνεπώς, αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι κατάτμησης εικόνας και αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού.



**Σχήμα 2-1: α) Επιχειρησιακή στρατηγική χαρτογράφησης (αριστερά), β) Προσέγγιση ταξινόμησης POK (δεξιά)**  
 Πηγή: Chen et al., 2014

Η στρατηγική που ακολούθησαν σε αυτή τη μελέτη φαίνεται στο σχήμα 2-1α. Συγκεκριμένα αναφέρεται, πως η αντικειμενοστραφής τεχνική χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των χωρικών ορίων των χαρακτηριστικών της γης, μαζί με πληροφορίες σχετικές με τη δομή τους, ώστε να σχηματιστούν γήινα αντικείμενα. Στη συνέχεια, για κάθε αντικείμενο αντλήθηκαν μεταβλητές μέσω ταξινομητών ανά εικονοστοιχείο και ακολούθησε επαλήθευση των παραγόμενων δεδομένων, η οποία βασίζεται στην υπάρχουσα γνώση των ειδικών και είναι απαραίτητη για τον έλεγχο των προϊόντων ως προς την λογική τους συνέχεια. Οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη κατά την επαλήθευση ήταν πολλοί και διαφορετικοί, μεταξύ των οποίων είναι οι σχέσεις μεταξύ διαφόρων στοιχείων του φυσικού περιβάλλοντος, οι παραδόσεις και τα κοινωνικο-οικονομικά γεγονότα που έχουν επίπτωση στην κατανομή της κάλυψης γης. Όσο αφορά τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, όπως ήδη αναφέρθηκε, έχουν συλλέξει εικόνες Landsat TM/ETM+ και από τον δορυφόρο HJ-1, καθώς και άλλα δεδομένα χρήσιμα για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, όπως χρονικές σειρές MODIS-NDVI. Στα δεδομένα αυτά εκτελέστηκαν ραδιομετρικές διορθώσεις και συγκεκριμένα ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές. Επιπλέον, βοηθητικά δεδομένα, σχετικά με την αναγνώριση κατηγοριών κάλυψης γης με υψηλή φασματική διαφορά αλλά και τη διάκριση μεταξύ κλάσεων με όμοια φασματική υπογραφή, βοήθησαν τη βελτίωση της ακρίβειας των ταξινομήσεων. Έχοντας τα παραπάνω υπόψη, σχεδιάστηκε η προσέγγιση που θα ακολουθούσαν για την ταξινόμηση, η οποία

φαίνεται στο σχήμα 2-1β. Σύμφωνα με αυτό οι κλάσεις θα προσδιορίζονται με συγκεκριμένη σειρά και στο τέλος θα συγχωνευθούν όλα τα αποτελέσματα.

| Land cover type        | Pixel-based method                                      |                            | Object-based method     |
|------------------------|---|----------------------------|-------------------------|
|                        | Features  | Classifiers                |                         |
| Water bodies           | NDWI, TC-W, spectral bands, DEM and slope               | MLC/SVM/DT                 | Percentage thresholding |
| Wetland                | /   | /                          | Expert interpretation   |
| Permanent snow and ice | NDSI, spectral bands                                    | Automated thresholding/MLC | /                       |
| Artificial surfaces    | Spectral bands, texture, NDBI                           | SVM                        | Percentage thresholding |
| Cultivated land        | Spectra bands, NDVI time-series and texture             | MLC                        | Percentage thresholding |
| Forest                 | Spectral bands, NDVI time-series and priori probability | MLC                        | Expert interpretation   |
| Shrubland              |   |                            |                         |
| Grassland              |   |                            |                         |
| Bareland               |   |                            |                         |

**Σχήμα 2-2: Η εξαγωγή κάθε κλάσης με την προσέγγιση POK**  
**Πηγή: Chen et al., 2014**

Όσο αφορά τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μέθοδοι για τον εντοπισμό της κάθε κλάσης, οι οποίες συνοψίζονται στον σχήμα 2-2. Οι υδάτινοι όγκοι και οι μόνιμοι πάγοι/χιόνια είχαν σαφή φασματική υπογραφή, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σύγχυση με κάποια άλλη κατηγορία. Αντίθετα, οι υγρότοποι εντοπίστηκαν με φωτοερμηνεία καθώς κανένας ταξινομητής δεν έδωσε την επιθυμητή ακρίβεια. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα ήταν ο διαχωρισμός των κατηγοριών δάση, θαμνώδεις εκτάσεις, λιβάδια και γυμνές εκτάσεις, επειδή μεγάλος αριθμός εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αυτές τις κατηγορίες έχουν φασματικές ομοιότητες. Παρόλα αυτά, η επιτυχία του εγχειρήματος βασίστηκε αρκετά στη διαδικασία επαλήθευσης και τροποποίησης των αποτελεσμάτων, από φορείς με μεγάλη εμπειρία στον τομέα αυτό, όσο αφορά τη γνώση της φύσης και τις σχέσεις των στοιχείων του φυσικού περιβάλλοντος, την παράδοση, την πολιτική κατάσταση και τα κοινωνικο-οικονομικά γεγονότα που προκάλεσαν επιπτώσεις στην κατανομή κάλυψης γης.

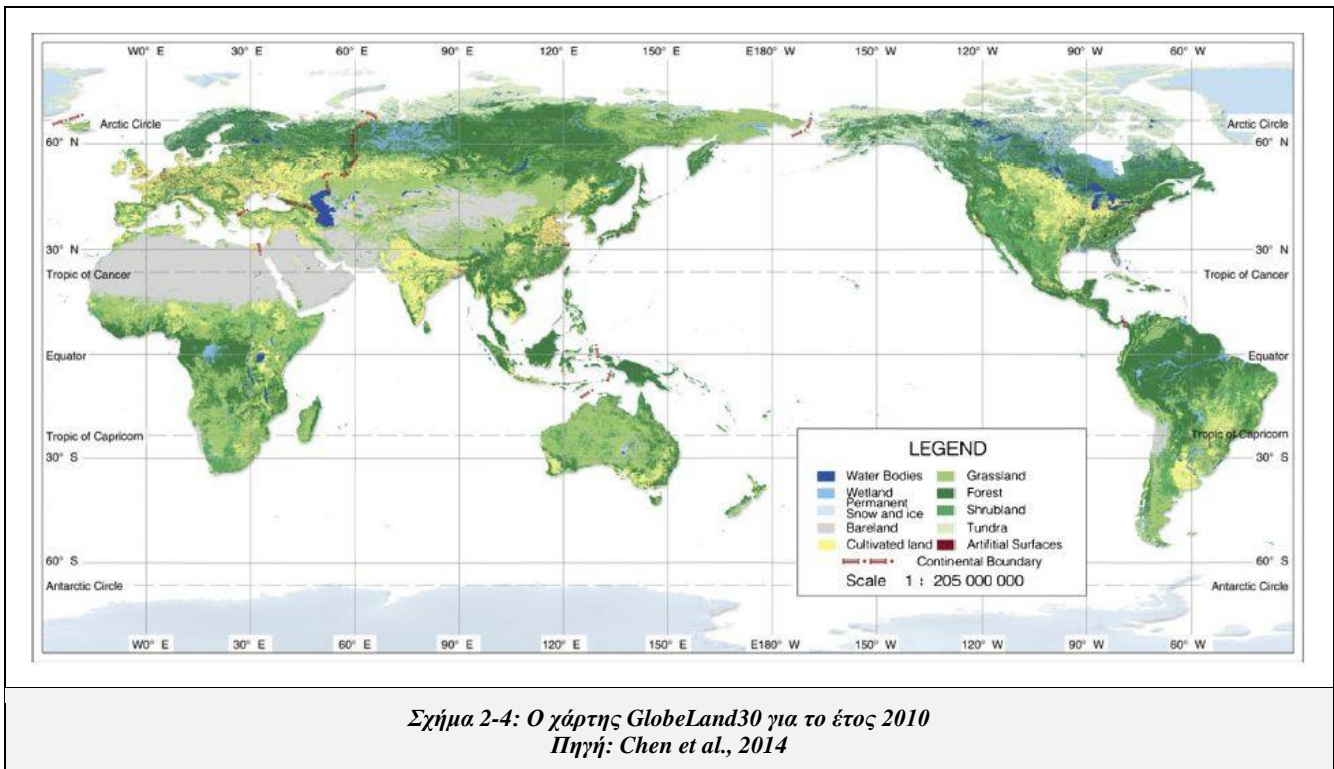
| Method                            | Overall accuracy (%) | Kappa coefficient |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------|
| Pixel-object-knowledge-classifier | 78.6                 | 0.720             |
| Support vector machine            | 73.4                 | 0.608             |
| Decision tree (J48)               | 70.4                 | 0.562             |
| Random forest                     | 71.6                 | 0.584             |
| Maximum likelihood classification | 63.1                 | 0.462             |

| Class                  | 2010                |            |                  |                                |
|------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------------|
|                        | User's accuracy (%) | Area ratio | Overall accuracy | Area-weighted overall accuracy |
| Cultivated land        | 82.76               | 0.150478   | 80.33% ± 0.2%    | 79.26% ± 0.2%                  |
| Forest                 | 83.58               | 0.299418   |                  |                                |
| Grassland              | 72.16               | 0.244509   |                  |                                |
| Shrubland              | 72.64               | 0.073392   |                  |                                |
| Wetland                | 74.87               | 0.026222   |                  |                                |
| Water bodies           | 84.70               | 0.024507   |                  |                                |
| Artificial surfaces    | 86.70               | 0.009458   |                  |                                |
| Bareland               | 81.76               | 0.153051   |                  |                                |
| Permanent snow and ice | 75.79               | 0.018964   |                  |                                |
| Kappa                  |                     | 0.75       |                  |                                |

**Σχήμα 2-3: α) Σύγκριση ακρίβειας ταξινόμησης μεταξύ διάφορων μεθόδων ταξινόμησης για την περιοχή Shaanxi (πάνω) β) Προκαταρκτικά αποτελέσματα ακρίβειας του GlobeLand30 για το έτος 2010 (κάτω)**  
**Πηγή: Chen et al., 2014**

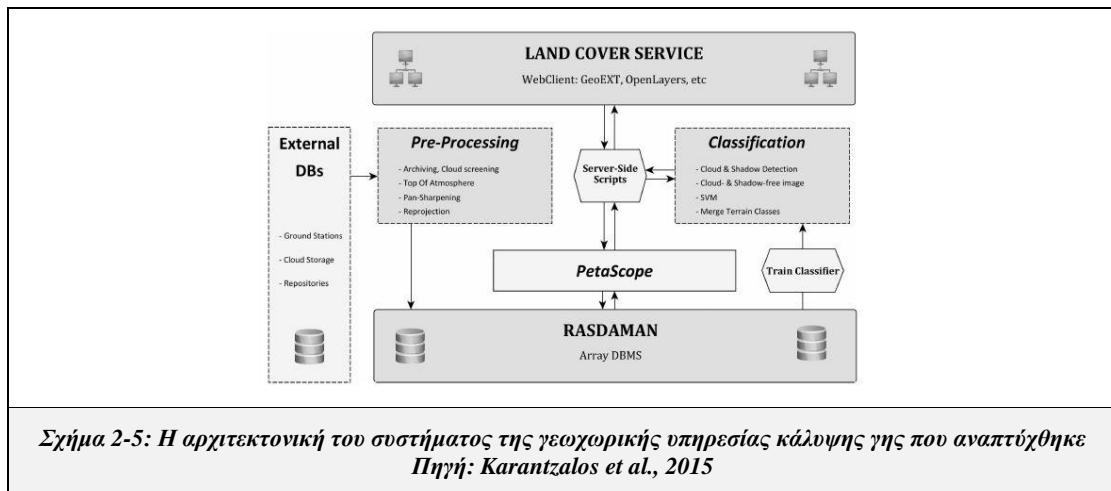
Τέλος, έγινε αξιολόγηση της μεθόδου ταξινόμησης που ακολουθήθηκε σε σχέση με άλλες μεθόδους σε μια συγκεκριμένη περιοχή της Κίνας, και προέκυψε πως η προσέγγιση ΡΟΚ, είχε τη μεγαλύτερη ακρίβεια και δείκτη Κ. Ακολούθως, έγινε μια προκαταρκτική εκτίμηση της ακρίβειας από τρίτους εμπειρογνώμονες και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 2-3.



#### A scalable web geospatial service for near real-time, high-resolution land cover mapping

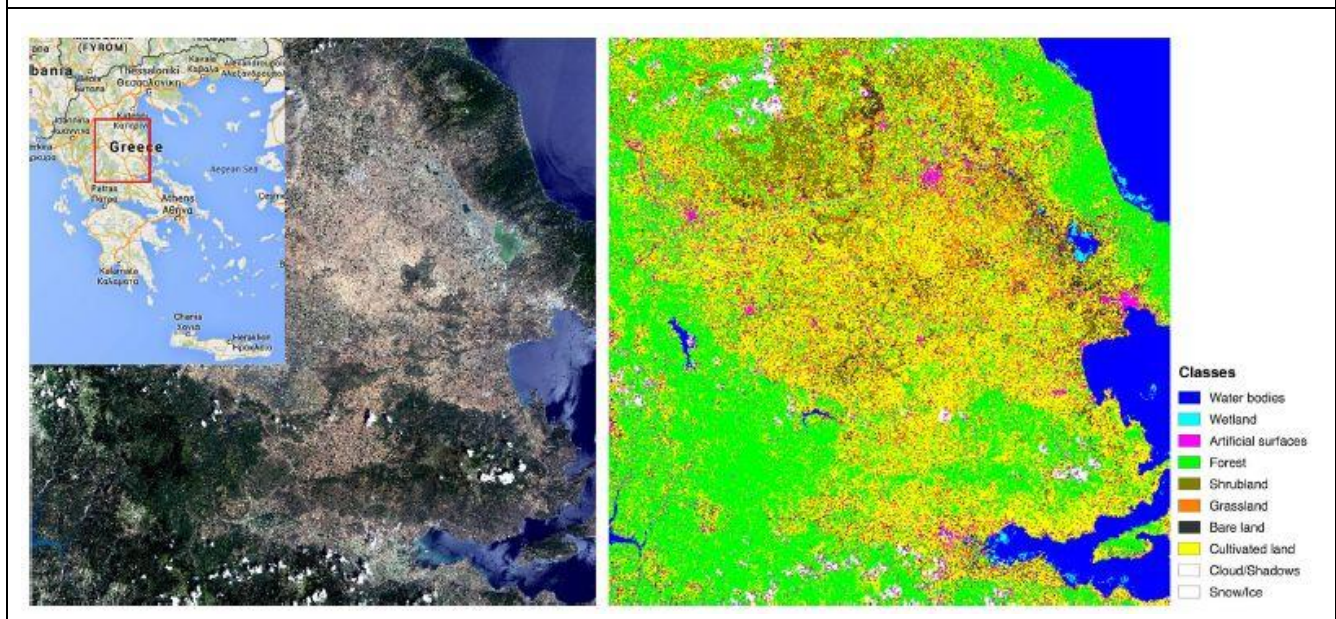
Στη μελέτη αυτή σύμφωνα με τους Karantzalos et al. (2015), στόχος είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η αξιολόγηση μιας διαδικτυακής υπηρεσίας ικανή για αυτοματοποιημένη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων και παραγωγή χαρτών κάλυψης γης υψηλής χωρικής ανάλυσης. Ο πυρήνας λειτουργίας της πλατφόρμας είναι το Rasdaman Array DBMS, για την αποθήκευση των τηλεπισκοπικών δεδομένων, και η διεπαφή OGC WCPS, για την αίτηση τους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι Landsat 8, τα οποία προεπεξεργάζονται αυτόματα από το σύστημα, υποβάλλονται σε ραδιομετρικές διορθώσεις και έπειτα μέσω της μεθόδου pansharpening, που διενεργείται μέσω του Orfeo ToolBox, αυξάνεται η χωρική τους ανάλυση στα 15m. Αναφέρεται επίσης, πως επιλέγηκε το rasdaman επειδή η τεχνολογία του επιτρέπει την αποθήκευση πολυδιάστατων πινάκων πολύ μεγάλου μεγέθους, οπότε μπορεί να διαχειριστεί την επεξεργασία μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων. Αυτή τη στιγμή το σύστημα διαθέτει εικόνες από τον Landsat 8 σε διάφορες χρονικές στιγμές για όλη την Ελλάδα.

Όσο αφορά τη μέθοδο ταξινόμησης των εικόνων, αυτή ολοκληρώνεται σε δύο στάδια, όπου αρχικά προσδιορίζονται 31 υποκατηγορίες και στη συνέχεια αυτές ενώνονται δίνοντας το τελικό αποτέλεσμα χωρισμένο σε 10 κλάσεις. Οι 10 κύριες κλάσεις είναι οι εξής: υδάτινοι όγκοι, υγρότοποι, τεχνητές επιφάνειες, δάση, θαμνώδεις περιοχές, λιβάδια, γυμνές επιφάνειες, καλλιέργειες, σύννεφα/σκιάς και χιόνι/πάγος (water bodies, wetland, artificial surfaces, forest, shrubland, grassland, bareland, cultivated land, cloud/shadows, snow/ice). Για τη μέθοδο της εκπαίδευσης του ταξινομητή SVM, ψηφιοποιήθηκαν χειροκίνητα δείγματα από διάφορες εικόνες και χρονικές στιγμές. Ακολούθως, έγιναν πειράματα σε όλα τα δεδομένα με διάφορους ταξινομητές και συγκεκριμένα, για τις 31 κλάσεις η ακρίβεια ήταν πάνω από 70%, ενώ για τις 10 κλάσεις ξεπέρασε το 80% σε όλες τις περιπτώσεις. Σημειώνεται πως ο ταξινομητής SVM έδωσε την καλύτερη ακρίβεια.



| Reference data        |              |         |                     |        |           |           |          |                 |               |          |       |        |
|-----------------------|--------------|---------|---------------------|--------|-----------|-----------|----------|-----------------|---------------|----------|-------|--------|
| # of pixels           | Water Bodies | Wetland | Artificial surfaces | Forest | Shrubland | Grassland | Bareland | Cultivated land | Cloud/Shadows | Snow/Ice | Total | UA (%) |
| <b>Classification</b> |              |         |                     |        |           |           |          |                 |               |          |       |        |
| Water bodies          | 3004         | 0       | 23                  | 0      | 0         | 0         | 0        | 0               | 0             | 0        | 3027  | 99.2   |
| Wetland               | 14           | 1296    | 0                   | 0      | 0         | 0         | 0        | 0               | 0             | 0        | 1310  | 98.9   |
| Artificial surfaces   | 0            | 0       | 1103                | 0      | 0         | 21        | 95       | 15              | 125           | 0        | 1359  | 81.2   |
| Forest                | 0            | 66      | 0                   | 3743   | 9         | 0         | 0        | 16              | 0             | 0        | 3834  | 97.6   |
| Shrubland             | 0            | 0       | 14                  | 143    | 3370      | 6         | 20       | 643             | 0             | 0        | 4196  | 80.3   |
| Grassland             | 0            | 0       | 32                  | 0      | 1         | 1069      | 78       | 381             | 0             | 0        | 1561  | 68.5   |
| Bareland              | 0            | 0       | 542                 | 0      | 0         | 134       | 942      | 15              | 56            | 0        | 1689  | 55.8   |
| Cultivated land       | 0            | 0       | 0                   | 1015   | 58        | 83        | 247      | 3107            | 0             | 0        | 4510  | 68.9   |
| Cloud/Shadows         | 0            | 0       | 1                   | 0      | 0         | 0         | 0        | 0               | 2698          | 0        | 2699  | 99.9   |
| Snow/Ice              | 0            | 0       | 0                   | 0      | 0         | 0         | 0        | 0               | 0             | 0        | 0     | 0      |
| <b>Total</b>          | 3018         | 1362    | 1715                | 4901   | 3438      | 1313      | 1382     | 4177            | 2879          | 0        | 24185 |        |
| <b>PA (%)</b>         | 99.5         | 95.1    | 64.3                | 76.4   | 98        | 81.4      | 68.2     | 74.4            | 93.7          | 0        |       |        |

**Overall accuracy = 82.8%, Kappa coefficient = 0.801**

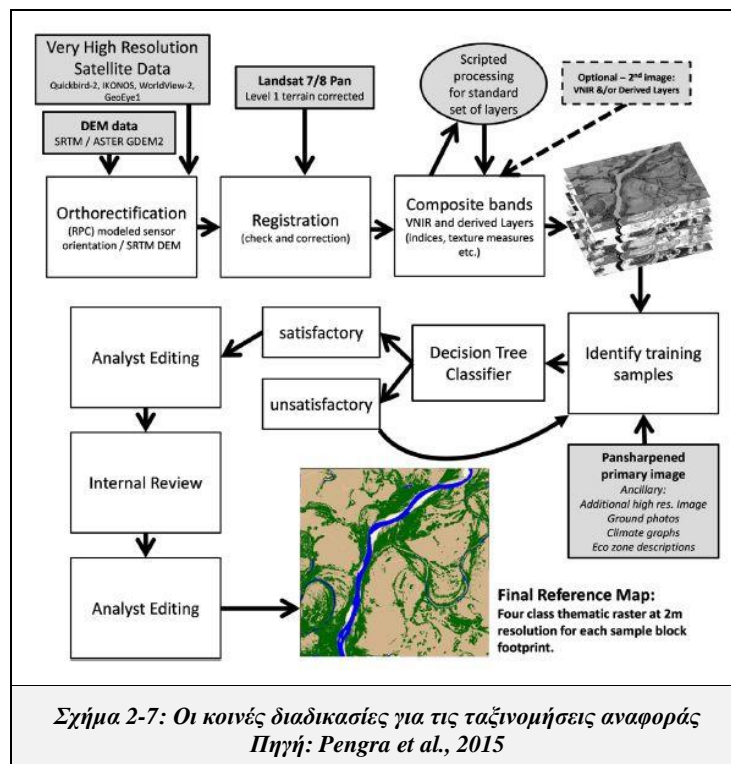


*Σχήμα 2-6: α) Πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης της εικόνας στις 25/6/2013 (πάνω) β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης από την γεωχωρική υπηρεσία που αναπτύχθηκε (κάτω)*  
*Πηγή: Karantzalos et al., 2015*

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε έπειτα από συλλογή πολυγώνων ελέγχου από διάφορες εικόνες και χρονικές στιγμές. Ειδικότερα, περίπου 50000 εικονοστοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για τη μέθοδο μάθησης και άλλα 50000 εικονοστοιχεία για την ποσοτική αξιολόγηση. Τα πολύγωνα ελέγχου επαληθεύτηκαν μέσω σύγκρισης από εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης. Στο σχήμα 2-6 φαίνεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης στις 25/6/2013 σε περιοχή της κεντρικής Ελλάδας, καθώς τα αποτελέσματα αυτά είναι αντιπροσωπευτικά όλων των κλάσεων και υποκατηγοριών της Ελλάδας. Όπως φαίνεται, τα υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας σημείωσε η κατηγορία υδάτινοι όγκοι, ενώ χαρακτηριστικό είναι πως οι τεχνητές επιφάνειες συστηματικά ταξινομούνταν ως γυμνό έδαφος και αντίστοιχα εικονοστοιχεία γυμνού εδάφους ταξινομούνταν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Επίσης, η κατηγορία καλλιέργειες είχε μεγάλη σύγχυση με την κατηγορία θαμνώδεις επιφάνειες.

#### A global reference database from very high resolution commercial satellite data

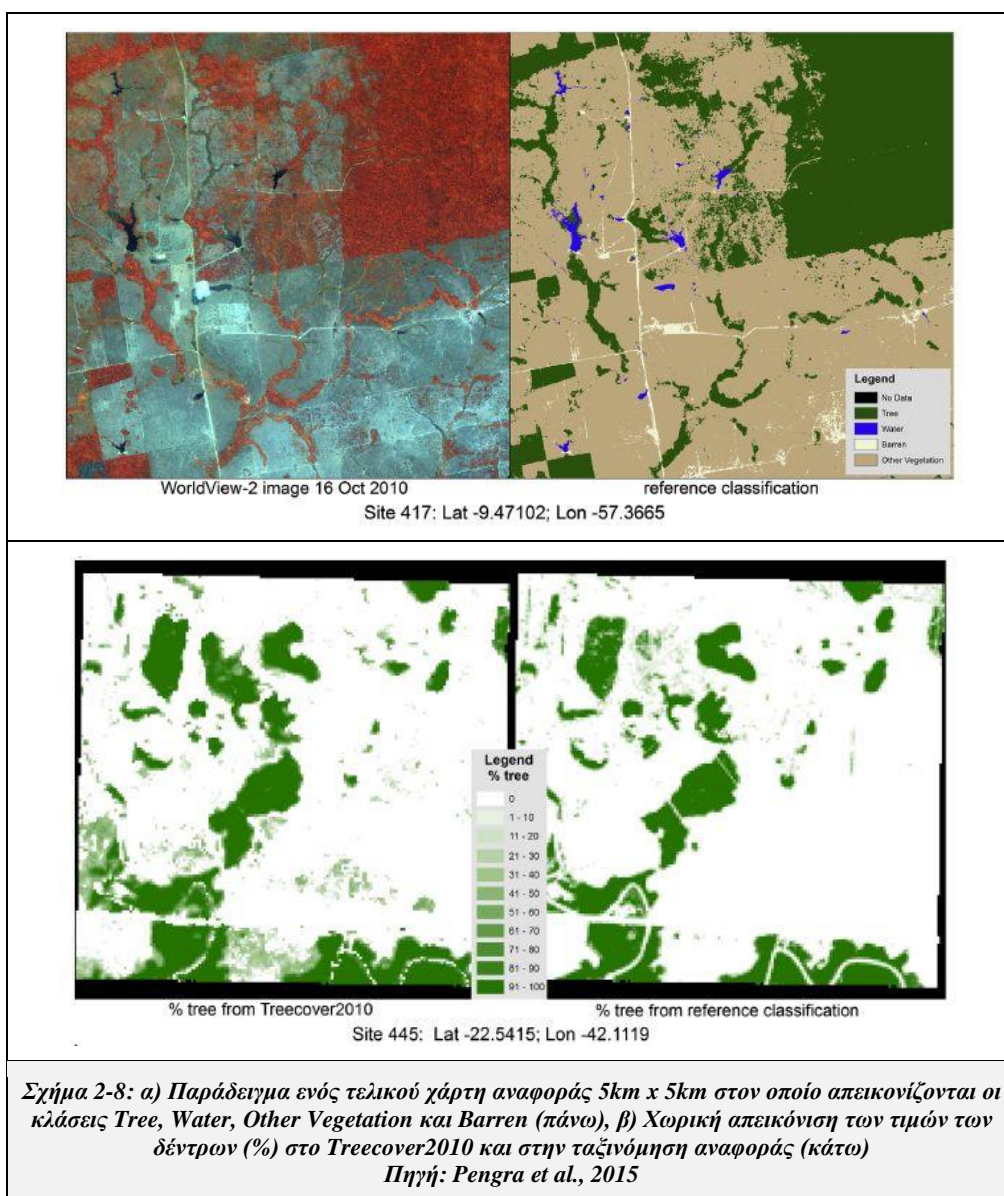
Στη συγκεκριμένη μελέτη σύμφωνα με τους Pengra et al. (2015) παρουσιάζεται η μεθοδολογία για επιλογή, δημιουργία και εφαρμογή ενός παγκοσμίου συνόλου δεδομένων τηλεπισκοπικής αναφοράς με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης. Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκε ένα παγκόσμιο πλαίσιο δειγμάτων, με διαίρεση της επιφάνειας της γης σε κελιά μεγέθους 5km x 5km, και από αυτά επιλέχθηκαν τα 500. Η διαδικασία αυτή βρίσκεται ακόμα σε εφαρμογή και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται βασίζονται σε 25 κομμάτια δείγματος στη Νότια Αμερική. Στη μελέτη χρησιμοποιούνται επίσης δεδομένα Vegetation Continuous Field (VCF), τα οποία είναι εκτιμήσεις χαρακτηριστικών βλάστησης. Το θεματικό επίπεδο VCF προέρχεται από εικόνες Landsat 7 ETM+ και έχουν παραχθεί μέσω συνεργασίας μεταξύ του πανεπιστημίου του Maryland και του Google Earth. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένα θεματικό επίπεδο κάλυψης δέντρων Treecover2010, το οποίο έχει συντεθεί από προϊόντα ετήσιας κάλυψης δέντρων, προερχόμενα από δεδομένα Landsat 7. Τέλος, τα δεδομένα για τον χάρτη αναφοράς που συμπληρώνουν τα κελιά 5km x 5km, αποτελούνται από εικόνες χωρίς σύννεφα με υψηλή πολυφασματική ανάλυση για την αιχμή της καλλιεργητικής περιόδου το έτος 2010.



Η διαδικασία που ακολουθήθηκε αποτελείται από διάφορα στάδια. Αρχικά, έγινε προεπεξεργασία στις εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης χρησιμοποιώντας παράλληλα και δεδομένα ψηφιακών υψομέτρων. Επειδή τα δεδομένα των προϊόντων που θα επαληθεύονταν είναι Landsat, τα παγχρωματικά δεδομένα ανάλυσης 15m Landsat 7 και 8 χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της εγγραφής και επεξεργασίας των εικόνων. Στη

συνέχεια, επιλέγηκαν οι εικόνες που πληρούν όλα τα κριτήρια που τέθηκαν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και υπολογίστηκαν μερικοί δείκτες κατάλληλοι για τη μελέτη. Ακολούθως, ορίστηκαν οι κλάσεις των χαρτών αναφοράς, οι οποίες σχετίζονταν με αυτές των θεματικών επιπέδων που προέκυψαν από το πανεπιστήμιο του Maryland – δέντρα, νερό, άγονη γη και άλλη βλάστηση, trees, water, barren and other vegetation – και προστέθηκαν κάποιες άλλες κλάσεις, πάγος και χιόνι, σύννεφα και σκιές. Με το τέλος του σταδίου αυτού, καθορίστηκε ο ταξινομητής που χρησιμοποιήθηκε, ο οποίος είναι ο See5 univariate decision tree, και συλλέχτηκαν τα δεδομένα εκπαίδευσης, που προέρχονται από δεδομένα ran-sharpened των αρχικών εικόνων και άλλες βοηθητικές πηγές. Τέλος, δημιουργήθηκαν οι χάρτες αναφοράς και οι ταξινομήσεις κρίθηκαν ως ικανοποιητικές εφόσον ταίριαζαν περίπου με τα αποτελέσματα φωτοερμηνείας των αναλυτών.

Παρόλη την απλότητα του σχεδίου ταξινόμησης στην εφαρμογή αυτή, δεν έχει περιοριστεί η γενική χρήση των δεδομένων αυτών για άλλους σκοπούς. Στην περίπτωση που η ποιότητα των δεδομένων ήταν πολύ υψηλή και το τοπίο δεν ήταν περίπλοκο, χρειαστήκαν λιγότερες από 10 επαναλήψεις για την παραγωγή ενός επαρκούς χάρτη. Γενικά όμως μεταξύ συγκεκριμένων κλάσεων υπήρχαν συγχύσεις, που δεν μπόρεσαν να λυθούν εντελώς. Ο σκοπός παραγωγής αυτών των δεδομένων αναφοράς είναι η επαλήθευση των προϊόντων Landsat που σχετίζονται με συνεχή πεδία κάλυψης γης και η συμβολή της μελέτης αυτής στην παραγωγή ενός παγκόσμιου συνόλου δεδομένων επαλήθευσης.



**Σχήμα 2-8:** α) Παράδειγμα ενός τελικού χάρτη αναφοράς 5km x 5km στον οποίο απεικονίζονται οι κλάσεις Tree, Water, Other Vegetation και Barren (πάνω), β) Χωρική απεικόνιση των τιμών των δέντρων (%) στο Treecover2010 και στην ταξινόμηση αναφοράς (κάτω)  
 Πηγή: Pengra et al., 2015

### Συστήματα ταξινόμησης

Σημαντικό στάδιο στην ταξινόμηση είναι ο προσδιορισμός των κύριων κατηγοριών και υποκατηγοριών με βάση τις οποίες θα γίνει η ταξινόμηση. Όσο αφορά το θέμα αυτό, έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι κατηγοριοποίησης των κλάσεων που λαμβάνουν μέρος στις ταξινομήσεις. Συγκεκριμένα, υπάρχει το σχέδιο EAGLE, το οποίο είναι ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων για την παρατήρηση της γης. Σύμφωνα με τους Arnold et al. (2013) σκοπός του σχεδίου αυτού είναι η δημιουργία ενός μελλοντικού ολοκληρωμένου και εναρμονισμένου ευρωπαϊκού συστήματος παρατήρησης γης, το οποίο είναι σχεδιασμένο για την αποθήκευση όλων των ειδών των περιβαλλοντικών πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια της γης.

Ο τεχνικός σκοπός της ομάδας EAGLE (EIONET Action Group on Land monitoring in Europe) είναι να παρέχει την εννοιολογική βάση για ένα Ευρωπαϊκό μοντέλο δεδομένων, το οποίο θα διαχωρίζει την πληροφορία κάλυψης γης από την αντίστοιχη της χρήσης γης και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του τοπίου, θα προμηθεύει μια ολοκληρωμένη παρουσίαση της χρήσης και κάλυψης γης και θα επιτρέπει τη χρήση και ολοκλήρωση πληροφοριών από εθνικά και ευρωπαϊκά σύνολα δεδομένων, για την υποστήριξη ενός ευρωπαϊκού συστήματος παρατήρησης γης. Τα παραδοτέα της ομάδας αυτής είναι ο πίνακας EAGLE, ο οποίος αποτελεί ένα εργαλείο σημασιολογικής σύγκρισης μεταξύ των ορισμών των κλάσεων διαφορετικών συστημάτων ταξινόμησης από την αποσύνθεση τους σε στοιχεία κάλυψης γης, χαρακτηριστικά χρήσης γης και επιπλέον χαρακτηριστικά τοπίου, και το μοντέλο δεδομένων EAGLE, το οποίο είναι ένα UML (Unified Modeling Language) μοντέλο αναπαράστασης του εννοιολογικού μοντέλου δεδομένων.

Όσο αφορά τον πίνακα EAGLE, αυτός είναι χωρισμένος σε τρία πεδία, όπου το καθένα περιέχει στις στήλες μια συλλογή από ατομικές περιγραφές τοπίου για στοιχεία κάλυψης γης (land cover components, LCC), χαρακτηριστικά χρήσης γης (land use attributes, LUA) και χαρακτηριστικά τοπίου (landscape characteristics, CH). Παραδείγματα του πίνακα φαίνονται στο σχήμα 2-9. Ο πίνακας αυτός δεν έχει σκοπό να αποτελέσει ακόμα ένα σύστημα ταξινόμησης, αλλά ένα εργαλείο περιγραφής μιας τάξης ενός συγκεκριμένου συστήματος ταξινόμησης, μέσω αποσύνθεσης της σημασίας της κλάσης σε ενότητες πληροφοριών, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη κατανόηση της κλάσης.

Για τη δημιουργία του πίνακα χρειάζονται μεγάλες ποσότητες περιγραφικών πληροφοριών για τον χαρακτηρισμό του τοπίου, μέρος των οποίων έχουν παρθεί από παρατήρηση της γης με τηλεπισκοπικές μεθόδους. Η πληροφορία αυτή εξαρτάται από τη χωρική και φασματική ανάλυση των εικόνων και τον αριθμό των διαθέσιμων εικόνων, καθώς διαφορετικές χρονικές στιγμές και φασματικές αναλύσεις είναι απαραίτητες για τον διαχωρισμό πλήθους κατηγοριών.

Πέρα από αυτό έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα ταξινόμησης κάλυψης γης (land cover classification system, LCCS), από τον FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) και από το UNEP (United Nations Environment Programme), για να καλύψει τις ανάγκες για βελτιωμένη πρόσβαση σε αξιόπιστες πληροφορίες για την κάλυψη γης και την αλλαγή της κάλυψης γης. Το LCCS είναι ένα a-priori σύστημα ταξινόμησης σχεδιασμένο για να καλύπτει συγκεκριμένες απαιτήσεις των χρηστών και δημιουργήθηκε για θέματα χαρτογράφησης ανεξάρτητα της κλίμακας ή της χρήσης του χάρτη.

Ο λόγος δημιουργίας του συστήματος αυτού αποτελεί η περιορισμένη δυνατότητα των υπάρχοντων συστημάτων ταξινόμησης να προσδιορίσουν ολόκληρο το εύρος των πιθανών κλάσεων κάλυψης γης. Επιπλέον, στις περισσότερες ταξινομήσεις τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των κλάσεων δεν εφαρμόζονται συστηματικά, αλλά συχνά η χρήση διαφορετικών κριτηρίων εξαρτάται από την σημαντικότητα που δίνεται από τον χρήστη σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό.

|  |  |                                       |  |
|--|--|---------------------------------------|--|
| <b>ABIOTIC / NON-VEGETATED</b>   | Artificial Surfaces and Constructions    | Sealed                                | Buildings<br>Other Constructions                             |
|  |  | Non-Sealed                            | Waste Materials<br>Other Artificial Surfaces                 |
|  | Natural Material Surface                 | Consolidated Surface                  | Mineral Fragments<br>Bare Soils<br>Natural Deposits          |
|  |  | Un-Consolidated Surface               | Broadleaved Trees<br>Coniferous Trees<br>Palm Trees          |
|  |  |                                       | Regular Shrubs<br>Dwarf Shrubs                               |
|  |  | Herbaceous Plants (grasses and forbs) | Graminaceous (grass-like)<br>Non-Graminaceous (forbs, ferns) |
| Succulents and Others  |  |                                       |  |
| <b>BIOTIC / VEGETATION</b>   | Woody Vegetation                         | Trees                                 |  |
|  |  | Bushes, Shrubs                        |  |
|  | Lichens and Mosses                       | Lichens                               |  |
|  |  | Mosses                                |  |
|  | Liquid                                   | Inland Water                          | Water Courses<br>Water Bodies                                |
|  |  |                                       | Coastal Water  |
| Open Sea   |  |                                       |  |
| Solid  |  | Permanent Snow                        |  |
|  | Ice and Glaciers                         |                                       |  |
| <b>PRIMARY Production Sector</b>   | Agriculture                              | Commercial crop production            |  |
|  |  | Agricultural facilities               |  |
|  |  | Production for own consumption        |  |
|  | Forestry                                 | Short rotation                        |  |
|  |  | Interim or long rotation              |  |
|  |  | Continuous cover, selective logging   |  |
|  | Mining and quarrying extraction sites    | Surface mining                        |  |
|  |  | Underground mining                    |  |
|  |  | Under water mining                    |  |
|  | Aquaculture and fishing                  |                                       |  |
| Other primary production   |  |                                       |  |
| <b>SECONDARY Production Sector / Industries</b>  | Manufacturing/producing industry         |                                       |  |
|  | Energy production                        |                                       |  |
| <b>TERTIARY Production sector / Services</b>   | Commerce, Finances                       |                                       |  |
|  | Communication, Information services      |                                       |  |
|  | Accommodation, gastronomy                |                                       |  |
| <b>Land Management</b>   | Agricultural cultivation type            | Arable crop land                      |  |
|  |  | Permanent crop land                   |  |
|  |  | Permanent grass land                  |  |
|  | Cultivation pattern                      | Crop rotation                         |  |
|  |  | No crop rotation                      |  |
|  |  | Plantation (intensive)                |  |
|  |  | Orchards (extensive)                  |  |
|  |  | Agroforestry                          |  |
|  |  | Shifting cultivation                  |  |
|  | Cultivation measures                     | Fertilizing                           |  |
|  |  | Irrigation                            |  |
|  |  | Drainage                              |  |
|  |  | Mowing                                |  |
|  |  | Grazing                               |  |
|  |  | Shrub clearance                       |  |
| Forest management type   | Intensive monoculture                    |                                       |  |
|  | Regular<br>Extensive (selective logging) |                                       |  |
| Forest history type  | Endemic, primary                         |                                       |  |
| <p><b>Σχήμα 2-9: Αποσπάσματα από τον πίνακα EAGLE α) Land cover components (πάνω), β) Land use attributes (κέντρο) και γ) Landscape characteristics (κάτω)</b><br/> <b>Πηγή: Arnold et al., 2013</b></p> |  |                                       |  |

Στο a-priori σύστημα ταξινόμησης οι κλάσεις είναι προκαθορισμένες. Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος προϋποθέτει ότι μπορεί να γίνει εξαγωγή όλων των πιθανών κλάσεων, ανεξάρτητα από την κλίμακα και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν. Το πλεονέκτημα του συστήματος είναι κυρίως πως αυτός είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την παραγωγή τυποποιημένων αποτελεσμάτων ταξινόμησης μεταξύ των



χρηστών. Μειονέκτημα, όμως, αποτελεί το γεγονός πως για την περιγραφή όλων των κλάσεων κάλυψης γης που είναι δυνατόν να υπάρχουν στον κόσμο απαιτείται μεγάλος αριθμός προκαθορισμένων κλάσεων. Η πρώτη φάση διχοτόμησης του συστήματος συνίσταται από οκτώ κύριους τύπους κάλυψης γης: Cultivated and Managed Terrestrial Areas, Natural and Semi-Natural Terrestrial Vegetation, Cultivated Aquatic or Regularly Flooded Areas, Natural and Semi-Natural Aquatic or Regularly Flooded Vegetation, Artificial Surfaces and Associated Areas, Bare Areas, Artificial Waterbodies, Snow and Ice και Natural Waterbodies, Snow and Ice. Στη συνέχεια γίνεται επόμενη ιεράρχηση, όπου οι κλάσεις προκύπτουν από τον συνδυασμό του συνόλου των προκαθορισμένων ταξινομητών.

Εκτός από το σύστημα αυτό, υπάρχει και το σύστημα ταξινόμησης που χρησιμοποιεί το Corine Land Cover, το οποίο φαίνεται παρακάτω. Το Corine Land Cover είναι μια βάση δεδομένων κάλυψης/χρήσης γης που περιλαμβάνει τις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες και δημιουργήθηκε για την εύκολη και ακριβή παροχή πληροφοριών σχετικά με την κάλυψη γης στην Ευρώπη. Χωρίζεται σε 44 κλάσεις οργανωμένες ιεραρχικά σε τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αφορά τις κύριες κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης όπως φαίνεται στο αντίστοιχο σχήμα.

| Level 1                              | Level 2   | Level 3   |                                  |
|--------------------------------------|---|---|----------------------------------|
| 1. Artificial surfaces               | 1.1 Urban fabric                                    | 1.1.1 Continuous urban fabric   |                                  |
|                                      |   | 1.1.2 Discontinuous urban fabric  |                                  |
|                                      | 1.2 Industrial, commercial and transport units      | 1.2.1 Industrial or commercial units  |                                  |
|                                      |   | 1.2.2 Road and rail networks and associated land  |                                  |
|                                      |   | 1.2.3 Port areas  |                                  |
|                                      |   | 1.2.4 Airports  |                                  |
|                                      | 1.3 Mine, dump and construction sites               | 1.3.1 Mineral extraction sites  |                                  |
|                                      |   | 1.3.2 Dump sites  |                                  |
|                                      |   | 1.3.3 Construction sites  |                                  |
|                                      | 1.4 Artificial, non-agricultural vegetated areas    | 1.4.1 Green urban areas   |                                  |
|                                      |   | 1.4.2 Sport and leisure facilities  |                                  |
|                                      | 2. Agricultural areas                               | 2.1 Arable land   | 2.1.1 Non-irrigated arable land  |
|                                      |   |   | 2.1.2 Permanently irrigated land |
| 2.1.3 Rice fields                    |   |   |                                  |
| 2.2 Permanent crops                  |   | 2.2.1 Vineyards   |                                  |
|                                      |   | 2.2.2 Fruit trees and berry plantations   |                                  |
|                                      |   | 2.2.3 Olive groves  |                                  |
| 2.3 Pastures                         |   | 2.3.1 Pastures  |                                  |
| 2.4 Heterogeneous agricultural areas |   | 2.4.1 Annual crops associated with permanent crops  |                                  |
|                                      |   | 2.4.2 Complex cultivation patterns  |                                  |
|                                      |   | 2.4.3 Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation |                                  |
|                                      |   | 2.4.4 Agro-forestry areas   |                                  |
| 3. Forests and semi-natural areas    |   | 3.1 Forests   | 3.1.1 Broad-leaved forest        |
|                                      | 3.1.2 Coniferous forest                             |   |                                  |
|                                      | 3.1.3 Mixed forest                                  |   |                                  |
|                                      | 3.2 Shrub and/or herbaceous vegetation associations | 3.2.1 Natural grassland   |                                  |
|                                      |   | 3.2.2 Moors and heathland   |                                  |
|                                      |   | 3.2.3 Sclerophyllous vegetation   |                                  |
|                                      |   | 3.2.4 Transitional woodland scrub   |                                  |
|                                      | 3.3 Open spaces with little or no vegetation        | 3.3.1 Beaches, dunes, sand plains   |                                  |
|                                      |   | 3.3.2 Bare rock   |                                  |
|                                      |   | 3.3.3 Sparsely vegetated areas  |                                  |
|                                      |   | 3.3.4 Burnt areas   |                                  |
|                                      |   | 3.3.5 Glaciers and perpetual snow   |                                  |
| 4. Wetlands                          | 4.1 Inland wetlands                                 | 4.1.1 Inland marshes  |                                  |
|                                      |   | 4.1.2 Peat bogs   |                                  |
|                                      | 4.2 Coastal wetlands                                | 4.2.1 Salt marshes  |                                  |
|                                      |   | 4.2.2 Salines   |                                  |
|                                      |   | 4.2.3 Intertidal flats  |                                  |
| 5. Water bodies                      | 5.1 Continental waters                              | 5.1.1 Water courses   |                                  |
|                                      |   | 5.1.2 Water bodies  |                                  |
|                                      | 5.2 Marine waters                                   | 5.2.1 Coastal lagoons   |                                  |
|                                      |   | 5.2.2 Estuaries   |                                  |
|                                      |   | 5.2.3 Sea and ocean   |                                  |

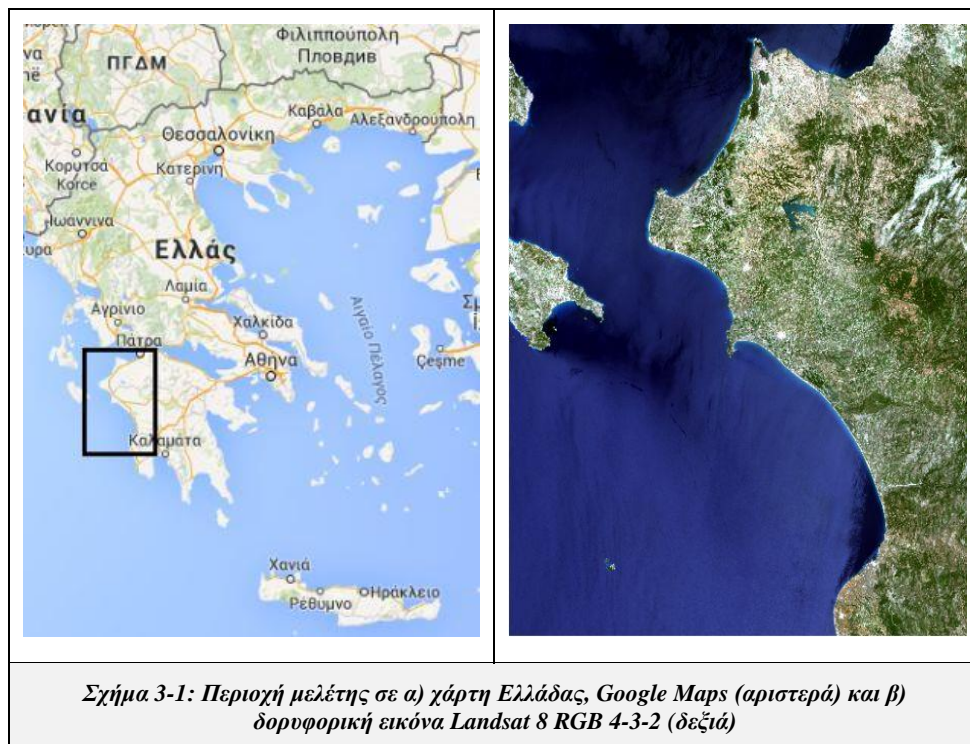
Σχήμα 2-10: Κατηγορίες Corine Land Cover  
 Πηγή: <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/about.htm>

## 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται και αναλύεται η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας για την εξαγωγή των διαχρονικών χαρτών κάλυψης γης. Για τον σκοπό αυτό, αρχικά επιλέγηκε η περιοχή μελέτης για την οποία συλλέχτηκαν τα κατάλληλα δορυφορικά δεδομένα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν διάφορα στατιστικά μοντέλα εκπαίδευσης από κατάλληλα δεδομένα εκπαίδευσης, τα οποία προέκυψαν από ψηφιοποίηση πολυγώνων σε όλες τις δορυφορικές εικόνες. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των εικόνων σύμφωνα με τα διάφορα μοντέλα εκπαίδευσης και αξιολογήθηκαν βάσει ενός πλήθους πολυγώνων ελέγχου, τα οποία επίσης ψηφιοποιήθηκαν σε κάθε εικόνα.

### 3.1 Επιλογή Περιοχής Μελέτης και Τηλεπισκοπικών Δεδομένων

Αρχικά, επιλέγηκε η περιοχή μελέτης για την οποία θα συλλέγονταν σε επόμενο στάδιο τα τηλεπισκοπικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, επιλέγηκε η περιοχή της Δυτικής Πελοποννήσου, εφόσον συνδυάζει διάφορες χρήσεις γης και κατηγορίες κάλυψης γης με τις κύριες να είναι οι καλλιέργειες, οι αστικές περιοχές και οι υδάτινοι όγκοι. Η περιοχή αυτή υπολογίζεται να έχει εμβαδόν περίπου 12500km<sup>2</sup>, με τα θαλάσσια ύδατα να καλύπτουν περισσότερο από τη μισή περιοχή, περίπου 7000km<sup>2</sup>. Παράλληλα, διαθέτει τόσο ορεινές περιοχές, όπως το όρος Ερύμανθος, όσο και πεδινές περιοχές, με πυκνή έντονη βλάστηση αλλά και θαμνώδεις περιοχές.

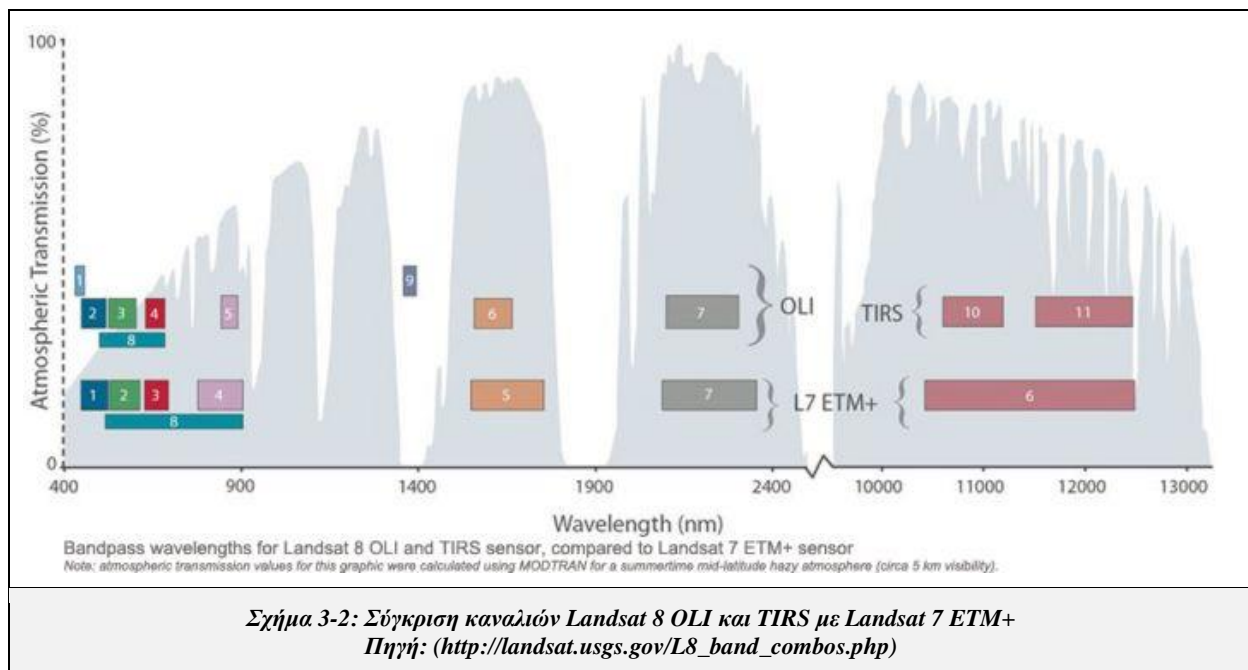


Επιπλέον, στο σύνολο της η περιοχή διαθέτει οικισμούς τόσο πυκνής αστικής δόμησης, με τον μεγαλύτερο να είναι αυτός της Πάτρας, αλλά και μικρότεροι όπως ο Πύργος, όσο και αραιής αστικής δόμησης, ενώ γύρω τους διακρίνονται μεγάλες εκτάσεις με διαφορετικά είδη καλλιεργειών. Επίσης, συναντώνται πλήθος λιμανιών, βιομηχανικές περιοχές και τρία αεροδρόμια, το στρατιωτικό αεροδρόμιο Ανδραβίδας και οι κρατικοί αερολιμένες Αράξου και Ζακύνθου. Όσο αφορά το υδάτινο στοιχείο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η περιοχή περιλαμβάνει θάλασσα, αλλά και λίμνες, υγροτόπους και ποτάμια, με κυριότερο τον Αλφειό ποταμό.

Η ποικιλία των χρήσεων γης, ήταν απαραίτητη για τη συγκεκριμένη μελέτη, καθώς σκοπός είναι να εξεταστεί η ποιότητα των αποτελεσμάτων και η δυνατότητα διαχωρισμού όσο το δυνατόν περισσότερων διαφορετικών χρήσεων γης.

Στη συνέχεια, επιλέγηκαν τα κατάλληλα δεδομένα για τη μελέτη με προσοχή, καθώς το στάδιο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη διαδικασία ανίχνευσης μεταβολών, όσο αφορά την επιλογή των χρονικών στιγμών των δεδομένων και της χρονικής διαφοράς ανάμεσα τους. Πολλοί μελετητές, όπως οι Corpin and Bauer (1996) και Sinha et al. (2011) έχουν τονίσει την σημασία της συλλογής δορυφορικών δεδομένων όσο αφορά τον αριθμό τους και τη χρονική στιγμή τους, για ταξινομήσεις κάλυψης γης, αν και είναι εξαιρετικά δύσκολο να προκαθοριστούν οι μεταβλητές αυτές λόγω των διαφορετικών καιρικών συνθηκών και των ιδιοτήτων της κάθε περιοχής.

Στη συγκεκριμένη μελέτη μελετώνται εικόνες χωρικής ανάλυσης 30m και 15m από τον δορυφόρο Landsat 8. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Φεβρουάριο του 2013 και αποτελείται από δύο δέκτες, τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS). Τα φασματικά κανάλια των OLI και TIRS παραμένουν συγκρίσιμα με αυτά του Landsat 7 ETM+, αν και έχουν προστεθεί δύο επιπλέον κανάλια στον OLI, ένα μπλε κανάλι μικρότερου μήκους κύματος (0,43-0,45 $\mu$ m) για βελτιωμένη ευαισθησία στη χλωροφύλλη και αιωρούμενα υλικά στα παράκτια ύδατα και ένα υπέρυθρο κανάλι (1,36-1,39 $\mu$ m) για ανίχνευση νεφών (Roy et al, 2014).



Σύμφωνα με τα παραπάνω και από μελέτη βιβλιογραφίας προκύπτει πως οι εικόνες Landsat 8 είναι κατάλληλες για τη συγκεκριμένη μελέτη και μπορούν να δώσουν ακριβή αποτελέσματα στην ανίχνευση μεταβολών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρήθηκαν κατάλληλες εικόνες στις εξής ημερομηνίες: 24 Ιουνίου, 27 Αυγούστου και 28 Σεπτεμβρίου 2013, 29 Ιουλίου, 14 Αυγούστου και 1 Οκτωβρίου 2014. Ο δορυφόρος Landsat 8 πραγματοποιεί λήψεις σκηνών της συγκεκριμένης περιοχής στο 184 - 034 (path - row). Επιλέγηκαν εικόνες σε αυτές τις ημερομηνίες, γιατί κατά τους μήνες αυτούς η κάλυψη της περιοχής από σύννεφα είναι πιο σπάνια, καθώς η ύπαρξη συννεφοκάλυψης είναι ανεπιθύμητη σε περιπτώσεις ταξινομήσεων. Επιπλέον, σε αυτό το διάστημα οι αλλαγές στις καιρικές συνθήκες δεν είναι μεγάλες ώστε να προκαλούν επιπλέον προβλήματα στην ταξινόμηση, εφόσον οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα τα δορυφορικά δεδομένα.

Ειδικότερα, στις εικόνες του καλοκαιριού η βλάστηση και κάποιες καλλιέργειες είναι όμοιες φασματικά, αν και στους διάφορους μήνες του καλοκαιριού οι καλλιέργειες περνάνε διάφορες φάσεις ανάπτυξης, με αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι περισσότερο όμοιες με το γυμνό έδαφος. Αυτό εξαρτάται από

τα διαφορετικά ήδη καλλιεργείων και βλάστησης που υπάρχουν στην περιοχή. Επίσης, χρησιμοποιούνται και εικόνες προς το τέλος του καλοκαιριού και αρχές φθινοπώρου για τον καλύτερο διαχωρισμό κάποιων καλλιεργείων από τις αστικές περιοχές, αλλά και επιφανειών που είναι όμοιες φασματικά με το γυμνό έδαφος κυρίως την εποχή της άνοιξης (Yan et al, 2005).

Σημειώνεται, επίσης, πως οι εικόνες των 30m διαθέτουν τα στοιχεία που έχουν αναφερθεί προηγούμενα και δεν έχουν υποστεί κάποια άλλη επεξεργασία, και λαμβάνονται ελεύθερα από το διαδίκτυο. Οι εικόνες των 15m έχουν υποστεί pansharpening, διαδικασία η οποία εκμεταλλεύεται τη χωρική ανάλυση του 8<sup>ου</sup> καναλιού, το παγχρωματικό που είναι στα 15m, και δημιουργεί μια νέα πολυφασματική εικόνα χωρικής ανάλυσης 15m.

### 3.2 Διαδικασία Μάθησης και Ταξινόμηση

Μετά την επιλογή της περιοχής μελέτης και των τηλεπισκοπικών δεδομένων σειρά έχει η επιλογή αλγόριθμου ταξινόμησης και μηχανικής μάθησης. Στη μελέτη αυτή επιλέχθηκε η μέθοδος των μηχανών υποστήριξης διανυσμάτων SVM (Support Vector Machines), επειδή σύμφωνα με διάφορες μελέτες φαίνεται να δίνει αποτελέσματα με υψηλότερη ακρίβεια σε σχέση με άλλες μεθόδους (Melgani and Bruzzone, 2004; Shao and Lunetta, 2012; Karantzalos et al., 2015). Επιπλέον, ένα άλλο χαρακτηριστικό της τεχνικής αποτελεί η μη άμεση εξάρτηση της επίδοσης της από το μέγεθος των διαθέσιμων δεδομένων εκπαίδευσης, κρίνοντας τον έτσι κατάλληλο για τηλεπισκοπικές εφαρμογές όπου παρέχεται περιορισμένη ποσότητα δεδομένων αναφοράς (Mountrakis et al., 2011).

Οι μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων (SVM) αντιπροσωπεύουν μια ομάδα από θεωρητικά ανώτερους αλγόριθμους μάθησης μηχανής και χρησιμοποιούν αλγόριθμους βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό των βέλτιστων ορίων μεταξύ κλάσεων. Όσο αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μεθόδου, αυτή έχει προταθεί και αναπτυχθεί από τον Vapnik τη δεκαετία του 1970 και βασίζεται στην αρχή της ελαχιστοποίησης του δομικού κινδύνου (structural risk minimization, SRM), στρατηγική της οποίας αποτελεί η διατήρηση του εμπειρικού κινδύνου, που προσδιορίζεται από τα δείγματα εκπαίδευσης, σταθερού και η μεγιστοποίηση του περιθωρίου μεταξύ ενός υπερεπιπέδου (hyperplane) και των πλησιέστερων σημείων δεδομένων εκπαίδευσης (Huang et al., 2002). Πιο συγκεκριμένα, η τεχνική SVM είναι μια επιβλεπόμενη μη παραμετρική τεχνική στατιστικής μάθησης και κύριος σκοπός της αποτελεί η προσπάθεια εύρεσης ενός υπερεπιπέδου που να διαχωρίζει το σύνολο δεδομένων σε ένα διακριτό αριθμό κλάσεων, ο οποίος έχει ήδη προσδιοριστεί.

#### *Linear SVM: Γραμμικά διαχωρίσιμη περίπτωση*

Σχετικά με το μαθηματικό μοντέλο που σχετίζεται με την τεχνική αυτή, πιο κάτω φαίνεται ένα γραμμικό μοντέλο στην περίπτωση που οι κλάσεις διαχωρίζονται γραμμικά. Θεωρείται πως το πρόβλημα είναι δυαδικό και υπάρχει ένα σύνολο εκπαίδευσης που αποτελείται από  $N$  διανύσματα,  $x_i \in R^n$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), και ένα σύνολο  $y_i \in \{-1, +1\}$ , όπου κάθε  $y_i$  σχετίζεται με κάθε  $x_i$ . Σε αυτή την εξεταζόμενη περίπτωση είναι δυνατό να υπάρχει τουλάχιστον ένα υπερεπιπέδο που να ορίζεται από ένα διάνυσμα  $w_i \in R^n$  και  $b \in R$  και να βασίζεται στην σχέση:  $f(x) = w * x + b$ . Το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί να διαχωριστεί από ένα υπερεπιπέδο, αν ισχύουν οι ακόλουθες εξισώσεις:  $w * x - b \geq 1$  για  $y = +1$  και  $w * x - b \leq 1$  για  $y = -1$ . Τέλος, η εξίσωση που συνοψίζει τον περιορισμό που πρέπει να ικανοποιείται προκειμένου ένα υπερεπιπέδο να διαχωρίζει γραμμικά τις δύο κλάσεις είναι:  $y_i * (w * x - b) \geq 1$ .

#### *Linear SVM: Μη γραμμικά διαχωρίσιμη περίπτωση*

Η προηγούμενη περίπτωση που περιγράφηκε είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί σε πραγματικά δεδομένα ταξινόμησης, για αυτό στην περίπτωση αυτή η υπόθεση για ένα διαχωριστικό υπερεπιπέδο γενικεύεται στην λύση η οποία ελαχιστοποιεί μια συνάρτηση κόστους, που εκφράζει το συνδυασμό δυο κριτηρίων: μεγιστοποίηση του περιθωρίου και ελαχιστοποίηση του λάθους. Η νέα συνάρτηση κόστους είναι η εξής:  $\psi(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \xi_i$ , όπου  $\{\xi_i\}_i$  είναι ένα σύνολο χαλαρών μεταβλητών (slack variables), υπεύθυνα για τη μεγιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των υπερεπιπέδων κλάσης. Η σταθερά  $C$  χρησιμοποιείται για

τον έλεγχο του μεγέθους της ποινής εξαιτίας του λανθασμένου διαχωρισμού των εικονοστοιχείων. Η ελαχιστοποίηση της προηγούμενης συνάρτησης δίνει την εξής εξίσωση υπερεπιπέδου:

$$y_i * (\mathbf{w} * \mathbf{x} - b) \geq 1 - \xi_i, \xi_i > 0$$

*Non-linear SVM: Μέθοδος Kernel*

Μια μέθοδος για περαιτέρω βελτίωση της διαχωρισιμότητας μεταξύ δύο κλάσεων αποτελεί η χρήση πυρήνων kernel. Η συνάρτηση kernel επιτρέπει στα δεδομένα εκπαίδευσης να προβληθούν σε μεγαλύτερο διάστημα στο οποίο μπορεί να βρεθεί πιο εύκολα ένα ανώτερο περιθώριο διαχωρισμού για το βέλτιστο υπερεπιπέδο διαχωρισμού (Srivastava et al., 2012). Ο αλγόριθμος που προκύπτει είναι ίδιος, αν και το εσωτερικό γινόμενο αντικαθίσταται από μια μη γραμμική συνάρτηση. Κάποιοι πυρήνες kernel είναι οι εξής:

Linear:  $K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$

Polynomial:  $K(x_i, x_j) = (\gamma x_i^T x_j + r)^d, \gamma > 0$

Gaussian radial basis function:  $K(x_i, x_j) = (-\gamma \| (x_i, x_j) \|^2), \gamma > 0$









Όπου  $\gamma$  είναι το πλάτος της συνάρτησης kernel και  $d$  είναι ο βαθμός του πολυωνύμου.











Όπως φαίνεται από τα παραπάνω η χρήση της SVM προϋποθέτει τον καθορισμό μερικών παραμέτρων. Η χρήση kernel έχει αποδειχθεί πως δίνει διαφορετικά αποτελέσματα και μερικές συναρτήσεις δεν παρέχουν τη βέλτιστη σύνθεση SVM για τηλεπισκοπικές εφαρμογές (Mountrakis et al., 2011).









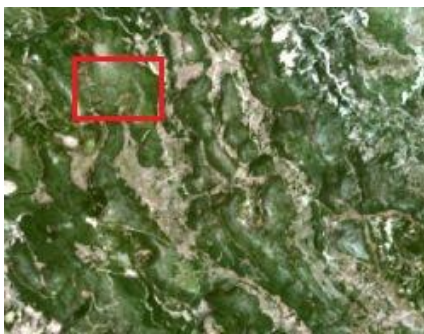

Πέρα από αυτά έχουν αναπτυχθεί, επίσης, διάφορες στρατηγικές για την προσαρμογή της SVM σε προβλήματα περισσότερων κλάσεων, εφόσον όσα έχουν ήδη αναφερθεί πρόκειται για το διαχωρισμό δύο κλάσεων. Ενδεικτικά αναφέρονται δύο, η πρώτη σχετίζεται με τη διαμόρφωση μιας μηχανής μάθησης για κάθε ζεύγος κλάσεων και η δεύτερη αφορά τον διαχωρισμό της περίπτωσης των N-κλάσεων σε N περιπτώσεις των δύο κλάσεων όπου κάθε μηχανή εκπαιδεύεται για την ταξινόμηση της μιας κλάσης εναντίον των υπολοίπων (Huang et al., 2002).

Στη συγκεκριμένη εργασία εκτελέστηκε ο αντίστοιχος αλγόριθμος του λογισμικού ανοικτού κώδικα Orfeo Toolbox από τη βιβλιοθήκη LibSVM, εφόσον παράγει υψηλής ποιότητας δεδομένα. Η εκπαίδευση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε από τα δεδομένα εκπαίδευσης κάθε εικόνας, όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από ψηφιοποίηση πολυγώνων, αφού προηγήθηκε φωτοερμηνεία σε εικόνες της περιοχής μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης, όπως εικόνες από το Google Earth. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκε γραμμική συνάρτηση kernel.











Στο σημείο αυτό προσδιορίστηκε το σύστημα ταξινόμησης που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία. Οι κύριες κατηγορίες βάσει των οποίων ταξινομήθηκαν οι εικόνες είναι εννιά (9) και έχουν προσδιοριστεί κυρίως με βάση την κωδικοποίηση του Corine Land Cover σε συνάρτηση με τις κωδικοποιήσεις των εφαρμογών Chen et al. (2014) και Karantzas et al. (2015). Οι κύριες αυτές κατηγορίες χωρίζονται σε υποκατηγορίες για τις οποίες δημιουργήθηκαν τα πολύγωνα εκπαίδευσης και οι οποίες στο τελευταίο στάδιο της ταξινόμησης συγχωνεύτηκαν στις 9 κύριες κατηγορίες. Για τις εικόνες των 30m ανιχνεύθηκαν 34 συνολικά υποκατηγορίες, ενώ στις εικόνες των 15m ανιχνεύθηκαν 37 υποκατηγορίες. Η διαφορά στον αριθμό τους οφείλεται στην ανίχνευση περισσότερων διαφορετικών φασματικών ειδών καλλιεργειών και συννεφοκάλυψης στις εικόνες με τη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση. Οι κατηγορίες και οι υποκατηγορίες των εικόνων των 30m φαίνονται στο σχήμα 3-3. Σημειώνεται επίσης, πως το μέγεθος των πολυγώνων στις εικόνες διαφορετικής χωρικής ανάλυσης διαφέρει, καθώς στις εικόνες των 15m, παρουσιάζονται περισσότερες φασματικές διαφορές στα εικονοστοιχεία των κλάσεων με αποτέλεσμα τα πολύγωνα να είναι τέτοια ώστε να μην παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές.











| Κατηγορία                      | Υποκατηγορία                     | RGB 432   | RGB 654   |
|--------------------------------|----------------------------------|---|---|
| <b>1.<br/>WATER<br/>BODIES</b> | <b>1.1 Inland waters #1</b>      |    |    |
|                                | <b>1.2 Inland waters #2</b>      |    |    |
|                                | <b>1.3 Swallow marine waters</b> |  |  |
|                                | <b>1.4 Marine waters</b>         |  |  |






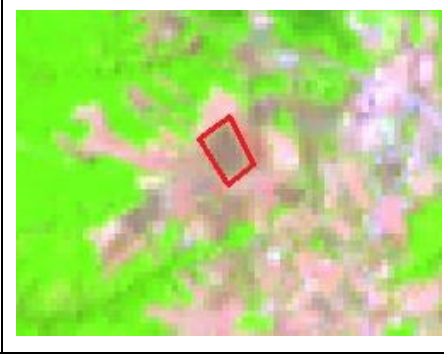
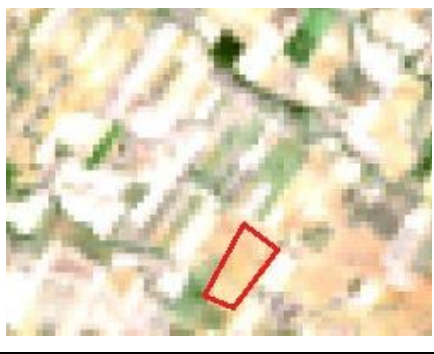
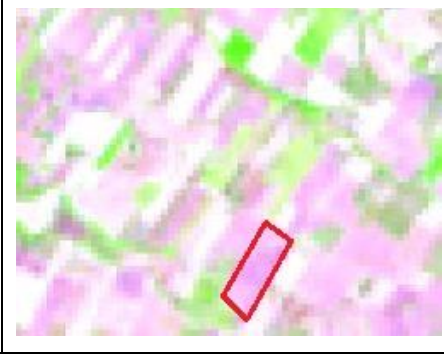


|                               |                                 |   |   |
|-------------------------------|---------------------------------|---|---|
| <b>2. WETLAND</b>             | <b>2.1 Wetland lakes</b>        |    |    |
|                               | <b>2.2 Wetland rivers</b>       |    |    |
| <b>3. ARTIFICIAL SURFACES</b> | <b>3.1 Urban Fabric</b>         |   |   |
|                               | <b>3.2 Urban Infrastructure</b> |  |  |
|                               | <b>3.3 Asphalt roads</b>        |  |  |











|                             |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|
|                             | <p><b>3.4 Mining Fields</b></p>             |    |    |
| <p><b>4. FORESTS</b></p>    | <p><b>4.1 Forest #1</b></p>                 |    |    |
|                             | <p><b>4.2 Forest #2</b></p>                 |   |   |
|                             | <p><b>4.3 Forest #3</b></p>                 |  |  |
| <p><b>5. SHRUB LAND</b></p> | <p><b>5.1 Sclerophyllous vegetation</b></p> |  |  |



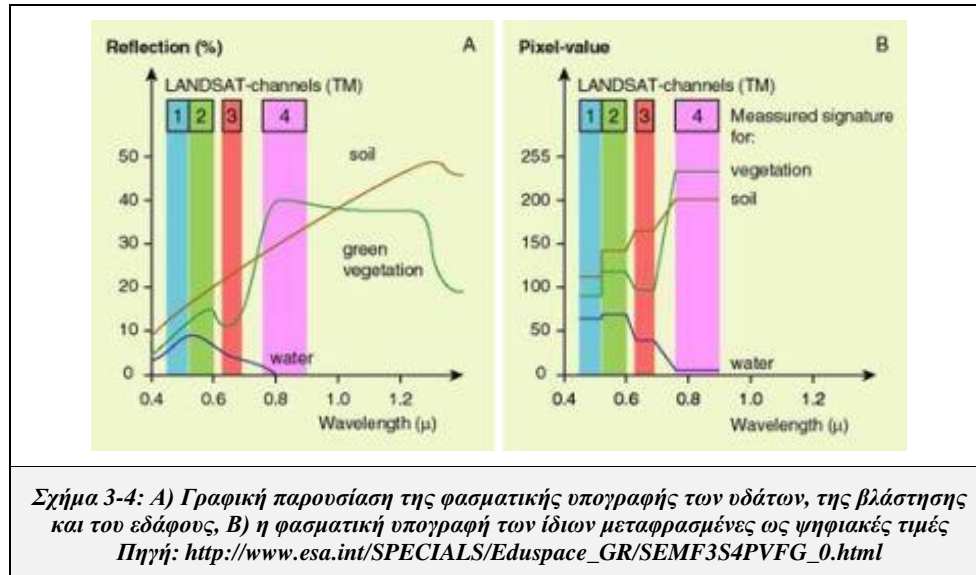
|                     |                                    |   |   |
|---------------------|------------------------------------|---|---|
|                     | <b>5.2 Heathland</b>               |    |    |
| <b>6. GRASSLAND</b> | <b>6.1 Little or no vegetation</b> |    |    |
| <b>7. BARE LAND</b> | <b>7.1 Bare land #1</b>            |   |   |
|                     | <b>7.2 Bare land #2</b>            |  |  |
|                     | <b>7.3 Bare land #3</b>            |  |  |

|                              |                     |   |   |
|------------------------------|---------------------|---|---|
| <b>8. AGRICULTURAL AREAS</b> | <b>8.1 Corps #1</b> |    |    |
|                              | <b>8.2 Corps #2</b> |    |    |
|                              | <b>8.3 Corps #3</b> |   |   |
|                              | <b>8.4 Corps #4</b> |  |  |
|                              | <b>8.5 Corps #5</b> |  |  |

|                       |  |   |
|-----------------------|--|---|
| <b>8.6 Corps #6</b>   |    |    |
| <b>8.7 Corps #7</b>   |    |    |
| <b>8.8 Corps #8</b>   |   |   |
| <b>8.9 Corps #9</b>   |  |  |
| <b>8.10 Corps #10</b> |  |  |

|   |                       |   |   |
|---|-----------------------|---|---|
|   | <b>8.11 Corps #11</b> |    |    |
|   | <b>8.12 Corps #12</b> |    |    |
|   | <b>8.13 Corps #13</b> |   |   |
| <b>9. CLOUDS / SHADOWS</b>  | <b>9.1 Clouds</b>     |  |  |
|   | <b>9.2 Shadows</b>    |  |  |
| <i>Σχήμα 3-3: Παραδείγματα περιοχών για κάθε κατηγορία σε εικόνες 30m</i> |                       |   |   |

Στη συνέχεια, έγινε κατάλληλη επιλογή των καναλιών που θα συμμετάσχουν στη διαδικασία της ταξινόμησης. Συγκεκριμένα, επιλέγηκαν τα κανάλια 1-7 του δορυφόρου Landsat 8, όπως αυτά παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα και δύο επιπλέον δείκτες. Οι δείκτες αυτοί είναι οι NDVI και NDWI και είναι κατάλληλοι για ανίχνευση της βλάστησης και των υδάτων αντίστοιχα. Επίσης, βελτιώνουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και βασίζονται στις φασματικές υπογραφές των στοιχείων αυτών.

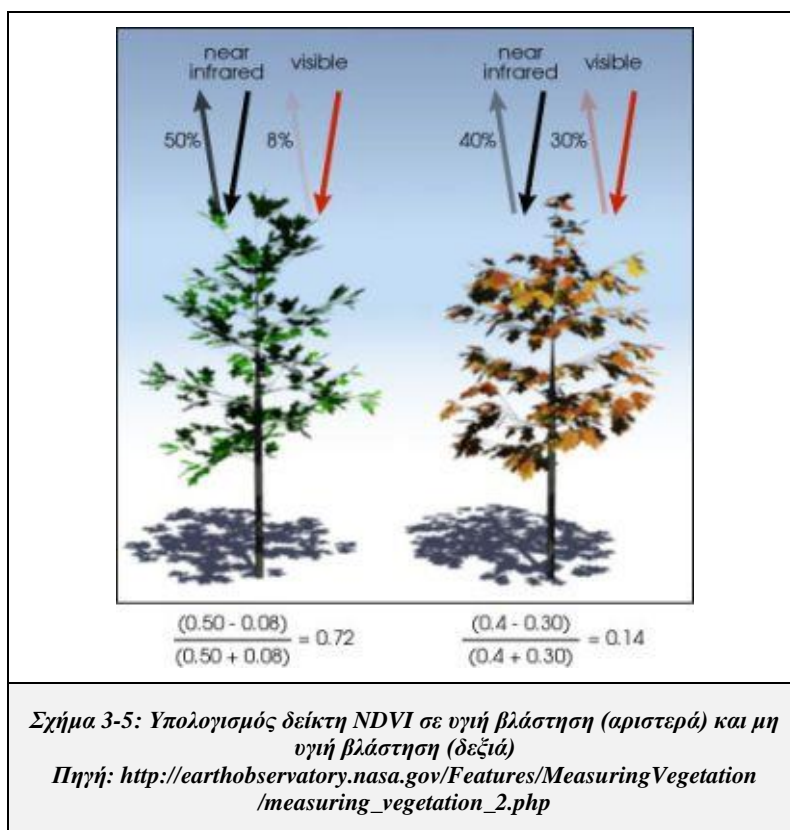


Ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) αποτελεί έναν από τους πολλούς δείκτες που υπάρχουν για τη βλάστηση και χρησιμοποιείται ευρέως για τη μελέτη της βλάστησης, όσο αφορά τον τύπο της, την ποσότητα της αλλά και το πόσο υγιής είναι. Ιδιαίτερα σε μελέτες μεγάλου χρονικού διαστήματος ο δείκτης αυτός μπορεί να αποκαλύψει αλλαγές στη βλάστηση, λόγω δραστηριοτήτων των ανθρώπων όπως αποψίλωση και πυρκαγιές ([http://phenology.cr.usgs.gov/ndvi\\_foundation.php](http://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php)).

Συγκεκριμένα, ο δείκτης βασίζεται στο γεγονός πως η χλωροφύλλη της υγιούς βλάστησης έχει την τάση να απορροφά την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού φάσματος και ιδιαίτερα στο κόκκινο, για χρήση στη φωτοσύνθεση, ενώ τα φύλλα έχουν την τάση να αντανακλούν την ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο. Αντίθετα, η μη υγιής βλάστηση ή η αραιή βλάστηση αντανακλά περισσότερη ποσότητα ακτινοβολίας στο ορατό φάσμα παρά στο εγγύς υπέρυθρο, έτσι εύκολα μπορεί να διαχωριστεί από την υγιή ή πυκνή βλάστηση. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται στο εύρος +1.0 με -1.0, και συγκεκριμένα στις περιοχές γυμνού εδάφους, στις αμμώδεις περιοχές και στις περιοχές που καλύπτονται από χιόνι παίρνει πολύ χαμηλές τιμές (μικρότερες από 0.1), στις θαμνώδεις περιοχές, στις περιοχές με αραιή βλάστηση ή με καλλιέργειες παίρνει μεσαίες τιμές (περίπου 0.2 με 0.5), ενώ στις περιοχές με πυκνή βλάστηση ή με καλλιέργειες πολύ αναπτυγμένες παίρνει υψηλές τιμές (περίπου 0.6 με 0.9). Αρνητικές τιμές ο δείκτης παίρνει σε περιοχές που καλύπτονται από νερό ([http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)). Σύμφωνα με τα παραπάνω φαίνεται πόσο σημαντική είναι η χρήση του δείκτη σε τέτοιου είδους μελέτες και εφαρμογές όπως στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

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

**Εξίσωση 3-1: Η μαθηματική εξίσωση του δείκτη NDVI, όπου  $\rho_{NIR}$  είναι η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο και  $\rho_{RED}$  η ακτινοβολία στο κόκκινο κανάλι**



Ο δείκτης NDWI (Normalized Difference Water Index) χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των υδατινών όγκων σε δορυφορικές εικόνες. Όπως φαίνεται από την μαθηματική του εξίσωση που βρίσκεται παρακάτω, για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται οι τιμές ακτινοβολίας στο πράσινο κανάλι και στο εγγύς υπέρυθρο. Με τα κανάλια αυτά επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της ανάκλασης του νερού (στο πράσινο κανάλι) και η ελαχιστοποίηση της (στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι) και η διαφοροποίηση από τη βλάστηση, εφόσον αυτή παρουσιάζει υψηλές τιμές ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι (Χυ, 2006).

$$NDVI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}}$$

**Εξίσωση 3-2: Η μαθηματική εξίσωση του δείκτη NDVI, όπου  $\rho_{NIR}$  είναι η ακτινοβολία στο μέσο υπέρυθρο και  $\rho_{GREEN}$  η ακτινοβολία στο πράσινο κανάλι**

Ακολουθώντας, επιλέγηκαν τα κατάλληλα δεδομένα εκπαίδευσης, μέσω ψηφιοποίησης πολυγώνων στις εικόνες, με βάση τα οποία δημιουργήθηκαν τα στατιστικά μοντέλα εκπαίδευσης και τα οποία εφαρμόστηκαν για την ταξινόμηση των εικόνων. Η ψηφιοποίηση έγινε έπειτα από προσεκτική παρατήρηση και φωτοερμηνεία της περιοχής και των διαφορετικών κατηγοριών μέσω εικόνων με μεγαλύτερη χωρική ανάλυση, όπως εικόνες από Google Earth. Σημειώνεται πως για κάθε πολύγωνο εκπαίδευσης έγινε ο έλεγχος ιστογράμματός του, ώστε να μην υπάρχει μεγάλη διασπορά μεταξύ των φασματικών τιμών των καναλιών για κάθε εικονοστοιχείο.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων επιτυγχάνεται με τη δημιουργία και παρατήρηση του πίνακα σύγκρισης. Μέσω του πίνακα σύγκρισης οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης και εξάγονται εύκολα συμπεράσματα σχετικά με το ποιες κλάσεις δεν μπορούν να διαχωριστούν επαρκώς. Αυτό μπορεί να εντοπιστεί μέσω του σφάλματος συμπερίληψης και παράλειψης. Το πρώτο αφορά τα εικονοστοιχεία που ανήκουν σε άλλη κατηγορία και λανθασμένα ταξινομήθηκαν στην κατηγορία ενδιαφέροντος και συναντώνται μελετώντας τον πίνακα ανά γραμμή. Αντίστοιχα, το σφάλμα παράλειψης

αφορά τα εικονοστοιχεία που λανθασμένα δεν συμπεριλαμβάνονται σε μια κατηγορία και συναντώνται μελετώντας τον πίνακα ανά στήλη.

Επιπλέον, υπολογίζονται η συνολική ακρίβεια (overall accuracy) της ταξινόμησης και ο δείκτης K. Η συνολική ακρίβεια αποτελεί μέτρο αξιολόγησης του ποσοστού των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ορθά και προκύπτει από τη διαίρεση του πλήθους των εικονοστοιχείων της διαγωνίου του πίνακα προς το συνολικό πλήθος των εικονοστοιχείων. Παρόλο που η συνολική ακρίβεια είναι εύκολο να υπολογιστεί, δεν αποτελεί την καλύτερη ένδειξη για την ποιότητα της αξιολόγησης. Αντίθετα, ο δείκτης K επειδή λαμβάνει υπόψη του τόσο το σφάλμα συμπερίληψης όσο και το σφάλμα παράλειψης είναι πιο χρήσιμος στην ποσοτική αξιολόγηση.

$$\text{Overall accuracy} = \sum_{i=1}^k n_{ij} / T$$

*Εξίσωση 3-3: Υπολογισμός συνολικής ακρίβειας, όπου δίνεται ο πίνακας σύγκρισης  $N = (n_{ij})$  και  $T$  ο συνολικός αριθμός του πλήθους των εικονοστοιχείων*

$$K = \frac{\text{Overall accuracy} - p_c}{1 - p_c}$$

$$p_c = \frac{\sum_i n_i \cdot n_j}{n}, n_i = \sum_j n_{ij}, n_j = \sum_i n_{ij}$$

*Εξίσωση 3-4: Υπολογισμός δείκτη K όπου  $p_c$  το ποσοστό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν τυχαία ορθά*

### 3.3 Ανίχνευση Μεταβολών

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η διαδικασία για την ανίχνευση των μεταβολών της συγκεκριμένης περιοχής. Στη μελέτη αυτή εφαρμόστηκε η μέθοδος μετα-ταξινόμησης (post-classification), εφόσον έχουν ήδη προηγηθεί οι ταξινομήσεις των εικόνων. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη και σύμφωνα με διάφορες μελέτες έχει δώσει υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα, παρόλο που η ακρίβεια της εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια των ταξινομήσεων (Mas, 1999). Σύμφωνα με τη μέθοδο, παρέχονται πληροφορίες μεταβολών «από-προς», έτσι τα αποτελέσματα των μεταβολών που συνέβησαν στο τοπίο μπορούν εύκολα να υπολογιστούν και να χαρτογραφηθούν (Yan et al., 2005).

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου συνοψίζονται στην ελαχιστοποίηση των ατμοσφαιρικών και περιβαλλοντικών διαφορών, εφόσον τα δεδομένα που υπόκεινται στην επεξεργασία ανίχνευσης μεταβολών ταξινομήθηκαν ξεχωριστά. Παρόλα αυτά η μέθοδος μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα, λόγω των διαφορετικών ραδιομετρικών χαρακτηριστικών των εικόνων από τις οποίες προκύπτουν οι ταξινομήσεις (Al-doski et al, 2013).

Για την εφαρμογή της μεθόδου στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ακολουθήθηκε η διαδικασία που εξηγείται. Αρχικά, έγινε ένωση μερικών κλάσεων μεταξύ τους, και συγκεκριμένα των υδατικών όγκων και υγροτόπων σε ύδατα, και των δασών, της θαμνώδους βλάστησης και των λιβαδιών σε δάση. Η ένωση αυτή έγινε για την ελάττωση των λαθών στην ανίχνευση μεταβολών, καθώς στις ταξινομήσεις δεν εφαρμόστηκε κάποιο φίλτρο που να μειώνει το ποσοστό των λανθασμένα ταξινομημένων εικονοστοιχείων. Μετά την ανακατάταξη αυτή, σε κάθε κατηγορία εκχωρήθηκε μια τιμή από το 1-6 και στην πρώτη χρονικά εικόνα από κάθε εξεταζόμενο ζεύγος εικόνων οι τιμές αυτές πολλαπλασιάστηκαν επί 10. Στη συνέχεια, οι εικόνες του ζεύγους προστέθηκαν και το αποτέλεσμα που προέκυψε είναι οι τιμές εικονοστοιχείων 11, 22, 33, 44, 55 και 66 να υποδηλώνουν την ύπαρξη καμίας μεταβολής και οι υπόλοιπες τιμές να υποδηλώνουν την μεταβολή του εικονοστοιχείου από τη μια κατηγορία στην άλλη.

# 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα πειράματα που έγιναν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν με βάση τη μεθοδολογία που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, καθώς και η αξιολόγηση τους. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν εικόνες της περιοχής της δυτικής Πελοποννήσου από τον δορυφόρο Landsat 8, ο οποίος πραγματοποιεί λήψεις σκηνών της συγκεκριμένης περιοχής στο 184 - 034 (path - row), όπως φαίνεται στο σχήμα 4-1. Επιλέγηκαν εικόνες σε διαφορετικές ημερομηνίες τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, όπου η πιθανότητα ύπαρξης σύννεφων είναι μικρότερη, τα έτη 2013 και 2014, σε διαφορετικές αναλύσεις, στα 30 και 15 μέτρα.

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν χωρίστηκαν σε τρεις (3) βασικές κατηγορίες:

## A. Πειραματικές ταξινομήσεις σε δεδομένα με χωρική ανάλυση στα 30 μέτρα (κεφ. 4.1)

Στην πρώτη κατηγορία έγιναν επιμέρους πειράματα με βάση:

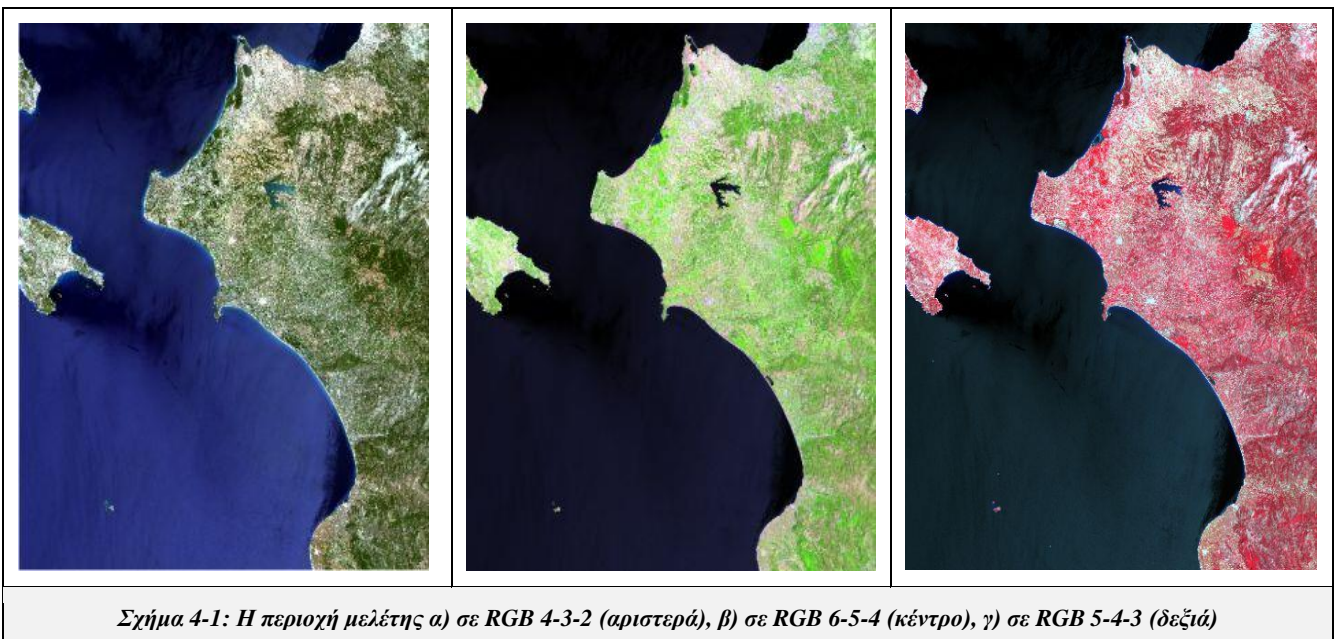
- Επιβλεπόμενη ταξινόμηση ανά εικόνα με SVM
- Μοντέλο εκπαίδευσης ανά εποχή και ταξινόμηση με SVM
- Μοντέλο εκπαίδευσης ανά έτος και ταξινόμηση με SVM
- Ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο εκπαίδευσης για όλα τα δεδομένα και ταξινόμηση με SVM

## B. Πειραματικές ταξινομήσεις σε δεδομένα με χωρική ανάλυση στα 15 μέτρα (κεφ. 4.2)

Στην δεύτερη κατηγορία έγιναν επιμέρους πειράματα με βάση:

- Επιβλεπόμενη ταξινόμηση ανά εικόνα με SVM
- Ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο εκπαίδευσης για όλα τα δεδομένα και ταξινόμηση με SVM

## Γ. Συγκριτική αξιολόγηση ταξινομήσεων και διαχρονικών αλλαγών στις χρήσεις/κάλυψη γης (κεφ. 4.3)





Για τη δημιουργία του κάθε μοντέλου, λήφθηκαν διάφορα δείγματα από κάθε υποκατηγορία κάλυψης γης, όπως αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.2, με φωτοερμηνεία και έλεγχο της φασματικής τους υπογραφής. Ο διαχωρισμός των κύριων κλάσεων σε υποκατηγορίες έγινε για την καλύτερη εκπαίδευση του μοντέλου και την αποφυγή λαθών. Επίσης, κάποιες κατηγορίες, όπως είναι οι καλλιέργειες και τα δάση, διαχωρίστηκαν σε υποκατηγορίες ανάλογα με τη φασματική τους διάκριση και όχι ανάλογα με το είδος τους. Αναφέρεται πως για την καλύτερη οπτικοποίηση των τελικών αποτελεσμάτων στις ταξινομημένες εικόνες εμφανίζονται οι εννέα (9) κύριες κλάσεις, έπειτα από συγχώνευση των αποτελεσμάτων με τις 34 και 37 υποκατηγορίες, σύμφωνα με τις οποίες υπολογίζονται και οι αντίστοιχοι πίνακες σύγχυσης. Τα κανάλια του Landsat 8 που επιλέγηκαν για να συμμετέχουν στην εκπαίδευση των μοντέλων είναι τα 1-7 και με βάση αυτά υπολογίστηκαν και οι δείκτες NDVI και NDWI, οι οποίοι βοηθούν στον διαχωρισμό της βλάστησης και των υδάτων αντίστοιχα.

## 4.1 Αξιολόγηση Διαχρονικών Ταξινομήσεων Με Χωρική Ανάλυση Στα 30m

Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων που προέκυψαν από τις εικόνες με χωρική ανάλυση στα 30 μέτρα. Για τις εικόνες αυτές δημιουργήθηκαν μοντέλα ανά εικόνα, ανά εποχή, ανά έτος και ένα ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο και ταξινομήθηκαν αντίστοιχα.

### 4.1.1 Επιβλεπόμενες ταξινομήσεις ανά εικόνα με SVM

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων όπως προέκυψαν από στατιστικά μοντέλα με πολύγωνα εκπαίδευσης από κάθε μια εικόνα ξεχωριστά.

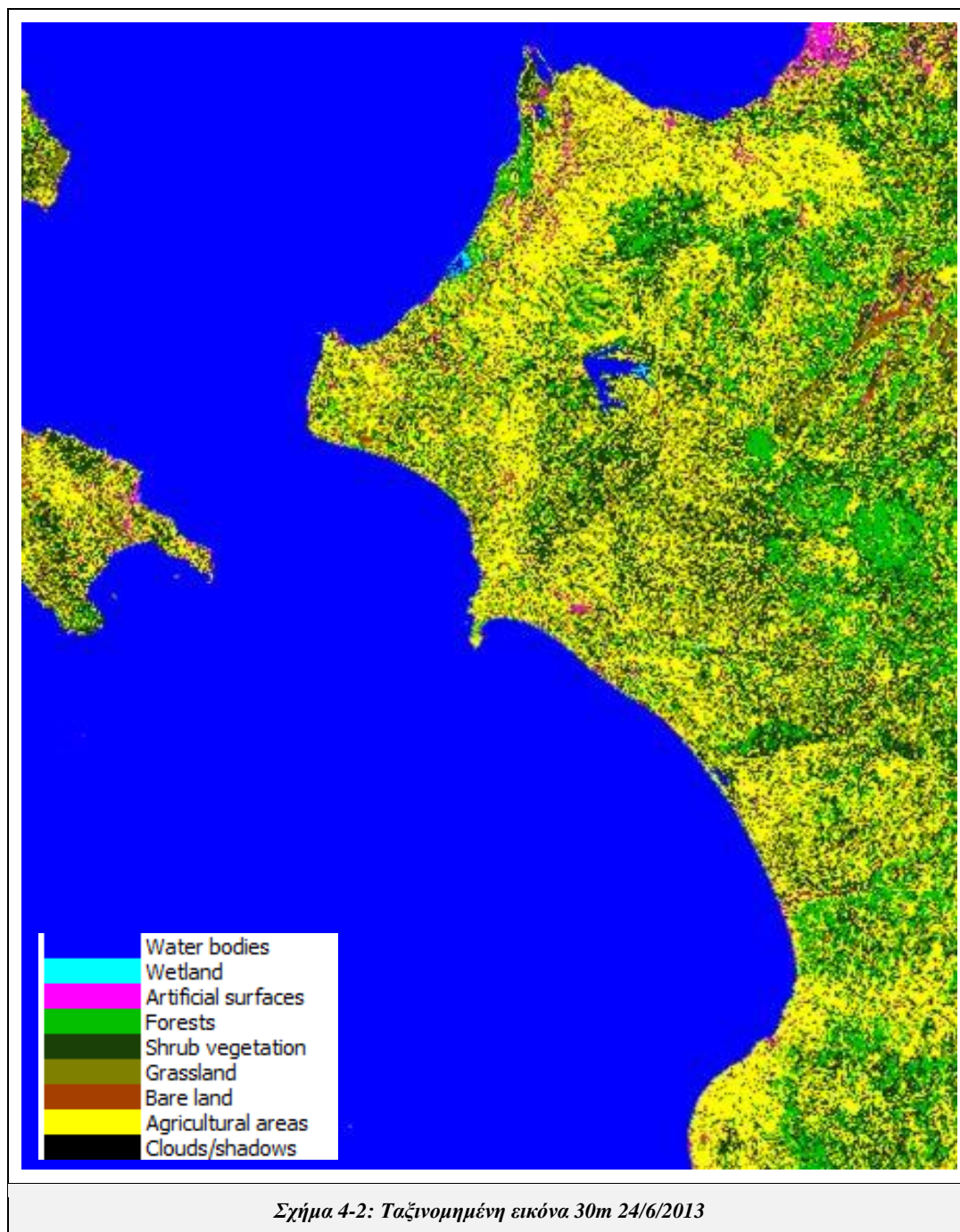
#### Εικόνα 1 – 24/6/2013

Για την ταξινόμηση της συγκεκριμένης εικόνας χρησιμοποιήθηκαν 195 διαφορετικά πολύγωνα εκπαίδευσης για 34 κλάσεις και το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 4-2.

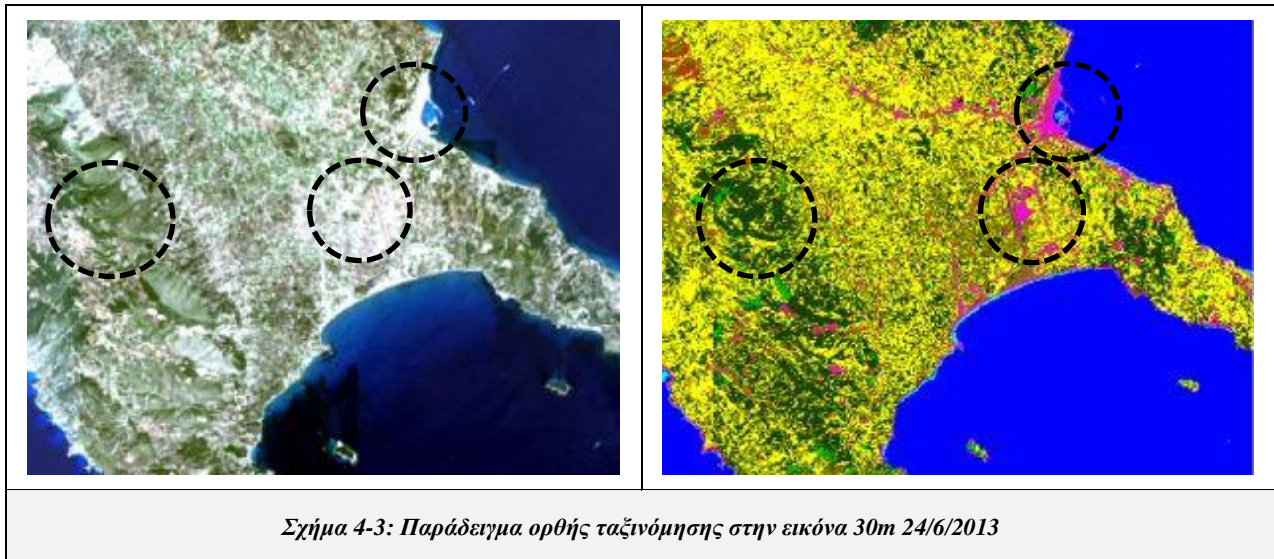
Παρατηρώντας την ταξινομημένη εικόνα προκύπτει πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Ο μεγάλος αστικός ιστός (Πάτρα), που φαίνεται στο πάνω μέρος της εικόνας με ροζ χρώμα, έχει ανιχνευθεί επαρκώς όπως και κάποιοι μικρότεροι αστικοί ιστοί σε άλλες περιοχές. Επιπλέον, διακρίνεται πως το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας καλύπτεται από καλλιέργειες (κίτρινο χρώμα), αν και σε κάποια σημεία φαίνεται να παρεμβάλλονται λανθασμένα σκούρες και ανοικτές αποχρώσεις του πράσινου που αντιστοιχούν σε θαμνώδη βλάστηση και δάση αντίστοιχα. Επίσης, λίγο πιο πάνω από το κέντρο στο αριστερό άκρο της εικόνας παρατηρείται το όρος Ερύμανθος, που καλύπτεται από θαμνώδη βλάστηση, αραιή βλάστηση και πετρώματα. Επιπλέον, οι υδάτινες περιοχές, τόσο οι λίμνες και τα ποτάμια όσο και η θάλασσα εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά.

Μετά το τέλος της ταξινόμησης ακολούθησε η ποιοτική αξιολόγηση της με φωτοερμηνεία και εντοπίστηκαν κάποιες περιοχές στις οποίες φαίνεται πως ταξινομήθηκαν σωστά οι κατηγορίες και πως το μοντέλο λειτούργησε σωστά, και κάποιες άλλες περιοχές όπου διαπιστώνεται ότι είναι δύσκολο κάποιες κατηγορίες να διαχωριστούν. Συγκεκριμένα, πλήθος καλλιεργειών ταξινομήθηκαν λανθασμένα είτε ως δάση είτε ως θαμνώδης βλάστηση και επιπλέον οι τεχνητές επιφάνειες ήταν δύσκολο να διαχωριστούν από το έδαφος, επειδή η φασματική τους υπογραφή είναι σχεδόν όμοια. Παρακάτω ακολουθούν παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης.

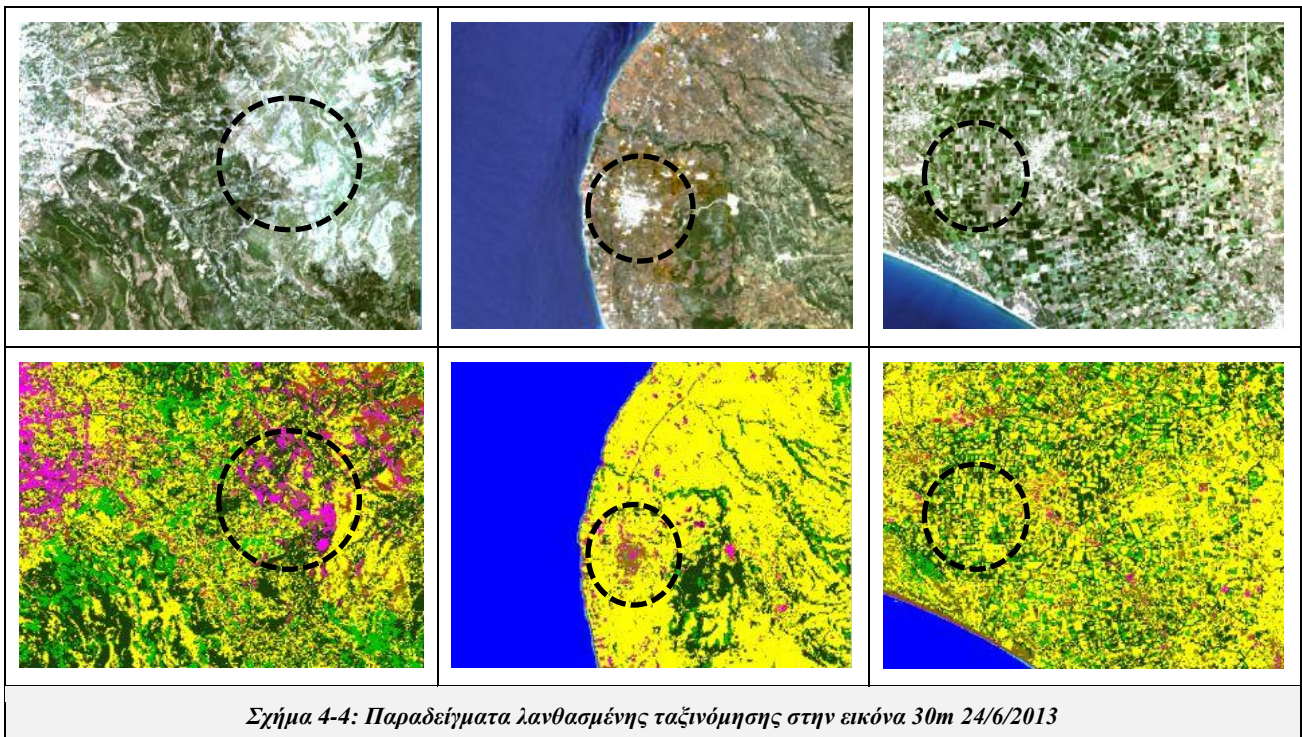
Όπως γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 4-3 η εικόνα ταξινομήθηκε ορθά στη συγκεκριμένη περιοχή, όσο αφορά την ύπαρξη αστικού ιστού, αεροδρομίου και δρόμου και δεν υπήρξε κάποια σύγχυση με άλλη κατηγορία. Επιπλέον, επισημαίνονται κάποιες περιοχές με θαμνώδη βλάστηση (σκούρο πράσινο) στο αριστερό άκρο της εικόνας που ταξινομήθηκαν ορθά και δεν αποδόθηκαν λανθασμένα ως δάση ή καλλιέργειες.



Στην εικόνα αριστερά του σχήματος 4-4 φαίνεται πως κάποια εικονοστοιχεία γυμνού εδάφους ταξινομήθηκαν λανθασμένα στην κατηγορία τεχνητές επιφάνειες. Αντίθετα, στην κεντρική εικόνα διαπιστώνεται πως μέρος του αστικού ιστού ταξινομήθηκε ως λιβάδι και αυτό οφείλεται κυρίως σε προβλήματα της αρχικής εικόνας, αφού όπως διαπιστώνεται σε κάποια σημεία υπάρχουν εικονοστοιχεία με λανθασμένες φασματικές τιμές που προκαλούν προβλήματα στην ταξινόμηση. Τέλος, κάποιες καλλιέργειες στην εικόνα δεξιά, οι οποίες φαίνεται να είναι αρκετά ανεπτυγμένες, ταξινομήθηκαν ως δάση και θαμνώδης βλάστηση, λόγω της όμοιας φασματικής τους υπογραφής.



Μετά την ποιοτική αξιολόγηση της ταξινόμησης ακολουθεί η ποσοτική αξιολόγηση για την εκτέλεση της οποίας ψηφιοποιήθηκαν 84 πολύγωνα ελέγχου, με βάση τα οποία υπολογίστηκε ο πίνακας σύγχυσης που φαίνεται παρακάτω. Μέσα από τον πίνακα εξάγονται τα ίδια συμπεράσματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω, εφόσον είναι αντιληπτό ότι αρκετά εικονοστοιχεία που ανήκουν στις καλλιέργειες ταξινομήθηκαν ως θαμνώδης βλάστηση αλλά και αντίθετα πολλά εικονοστοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία αυτή ως καλλιέργειες. Επιπλέον, είναι εμφανής η δυσκολία διαχωρισμού των τεχνητών επιφανειών με τη θαμνώδη βλάστηση και το γυμνό έδαφος.



Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 90,2% και 0,883 αντίστοιχα, παρ' όλες τις αστοχίες που προαναφέρθηκαν. Ειδικότερα, η κατηγορία σύννεφα/σκιές έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο producer's accuracy (PA), το οποίο αναφέρεται στην πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου μιας συγκεκριμένης χρήσης γης να ταξινομηθεί ως τέτοιο, όσο και στο user's accuracy (UA), το οποίο αναφέρεται στην πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου που ταξινομήθηκε να

ανήκει όντως στην κατηγορία που ταξινομήθηκε. Οι δύο αυτές ποσότητες σχετίζονται με το λάθος περιληψης και συμπερίληψης που έχουν ήδη αναφερθεί.

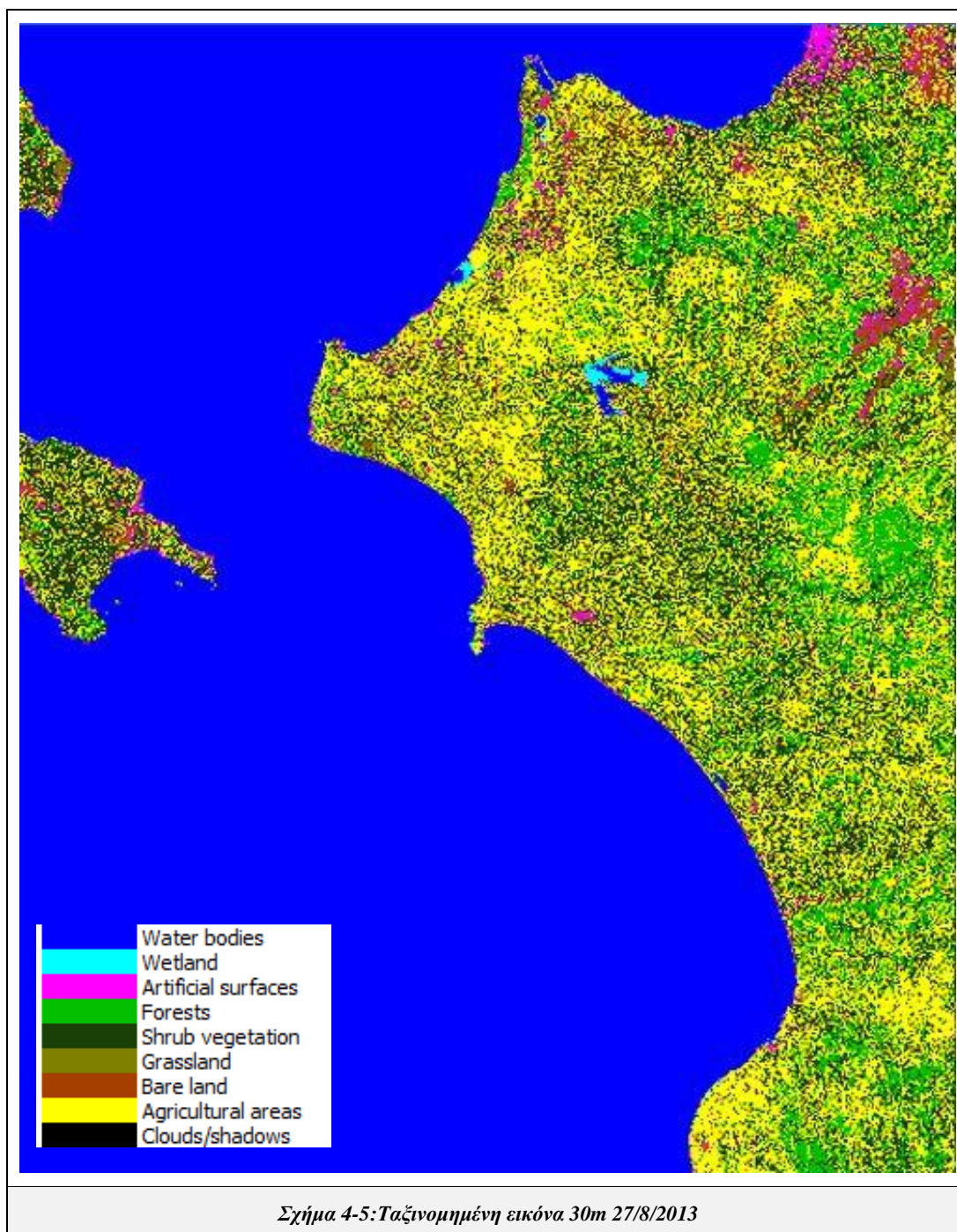
Επίσης, υψηλά ποσοστά ακρίβειας PA και UA έχουν σημειώσει οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι (99,6% UA και 100% PA) και υγρότοποι (100% UA και 90,9% PA). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως οι κατηγορίες αυτές είναι εύκολο να διαχωριστούν από τις υπόλοιπες κατηγορίες, λόγω διαφορετικής φασματικής συμπεριφοράς. Επιπλέον, παρατηρείται πως έχουν σημειωθεί υψηλότερα ποσοστά PA, πάνω από 80%, σε αντίθεση με το χαμηλότερο ποσοστό UA το οποίο ανέρχεται στα 71,3% και αφορά την κατηγορία λιβάδια (grassland). Πιο συγκεκριμένα, η κατηγορία γυμνό έδαφος και η κατηγορία δάση σημείωσαν υψηλό ποσοστό PA, 93,1% και 97,8% αντίστοιχα, με τα ποσοστά UA να είναι ελάχιστα χαμηλότερα, 86,6% και 94,5% λόγω λανθασμένης συμπερίληψης σε αυτές εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών και καλλιεργειών αντίστοιχα. Υψηλό ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία τεχνητές επιφάνειες, 97,5%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό PA είναι χαμηλότερο, 82,9%, εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αυτή ως λιβάδια και γυμνό έδαφος.

Αξίζει να σημειωθεί, πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 85,3% και δείκτη K 0,844. Η συγχώνευση των υποκατηγοριών στις κύριες κατηγορίες αυξάνει την ακρίβεια, εφόσον υπήρχαν κάποια λάθη ταξινόμησης κυρίως μεταξύ των διαφορετικών υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους και των καλλιεργειών.

| <b>Reference data</b>   |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|---|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|   | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>   |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies  | <b>758</b>   | 3         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 761          | 99,61         |
| Wetland   | 0            | <b>30</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 30           | 100,00        |
| Artificial surfaces   | 0            | 0         | <b>476</b>          | 0          | 0          | 0          | 11         | 1                  | 0               | 488          | 97,54         |
| Forests   | 0            | 0         | 0                   | <b>498</b> | 1          | 0          | 0          | 28                 | 0               | 527          | 94,50         |
| Shrubland   | 0            | 0         | 4                   | 10         | <b>355</b> | 0          | 0          | 98                 | 0               | 467          | 76,02         |
| Grassland   | 0            | 0         | 48                  | 0          | 5          | <b>223</b> | 11         | 26                 | 0               | 313          | 71,25         |
| Bare land   | 0            | 0         | 37                  | 0          | 0          | 0          | <b>309</b> | 11                 | 0               | 357          | 86,55         |
| Agricultural areas  | 0            | 0         | 9                   | 1          | 57         | 27         | 1          | <b>888</b>         | 0               | 983          | 90,34         |
| Cloud / shadows   | 0            | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>43</b>       | 43           | 100,00        |
| <b>Total</b>  | 758          | 33        | 574                 | 509        | 418        | 250        | 332        | 1052               | 43              | <b>3969</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00       | 90,91     | 82,93               | 97,84      | 84,93      | 89,20      | 93,07      | 84,41              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 90,2%, Δείκτης K= 0,883</b>                              |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-1: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

**Εικόνα 2 – 27/8/2013**

Για την ταξινόμηση της συγκεκριμένης εικόνας χρησιμοποιήθηκαν 166 διαφορετικά πολύγωνα εκπαίδευσης για 32 κλάσεις και το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω.

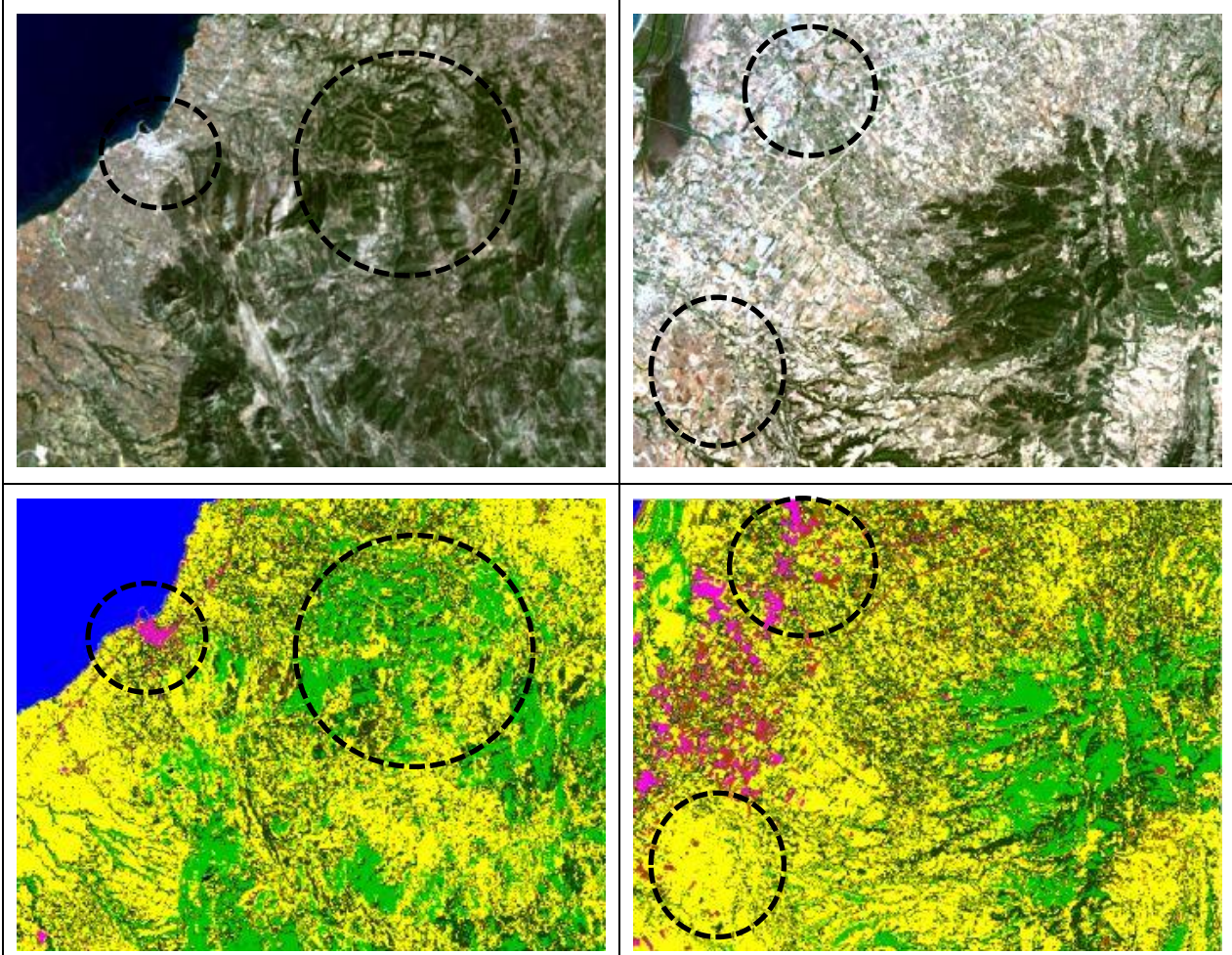


*Σχήμα 4-5: Ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013*

Από το σχήμα παραπάνω προκύπτει πως η εικόνα ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς. Επιπλέον, διακρίνεται πως ενώ ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας, σε αρκετές περιοχές παρεμβάλλεται θαμνώδης βλάστηση, όπως γύρω από τον οικισμό της Πάτρας, όπου βρίσκονται κυρίως καλλιέργειες και στο μικρό μέρος της νήσου Ζακύνθου, που φαίνεται στο κέντρο δεξιά της εικόνας. Επίσης, λάθος στην ταξινόμηση παρατηρείται και στο όρος Ερύμανθος, όπου διακρίνονται με ροζ απόχρωση οι τεχνητές επιφάνειες, οι οποίες μπερδεύονται κυρίως με το γυμνό έδαφος εξαιτίας του

είδους των πετρωμάτων που κυριαρχούν στη συγκεκριμένη περιοχή. Τέλος, διακρίνεται στη λίμνη, στο κέντρο περίπου της εικόνας, λόγω λανθασμένων τιμών της αρχικής εικόνας πως μέρος της ταξινομήθηκε ως υγρότοποι.

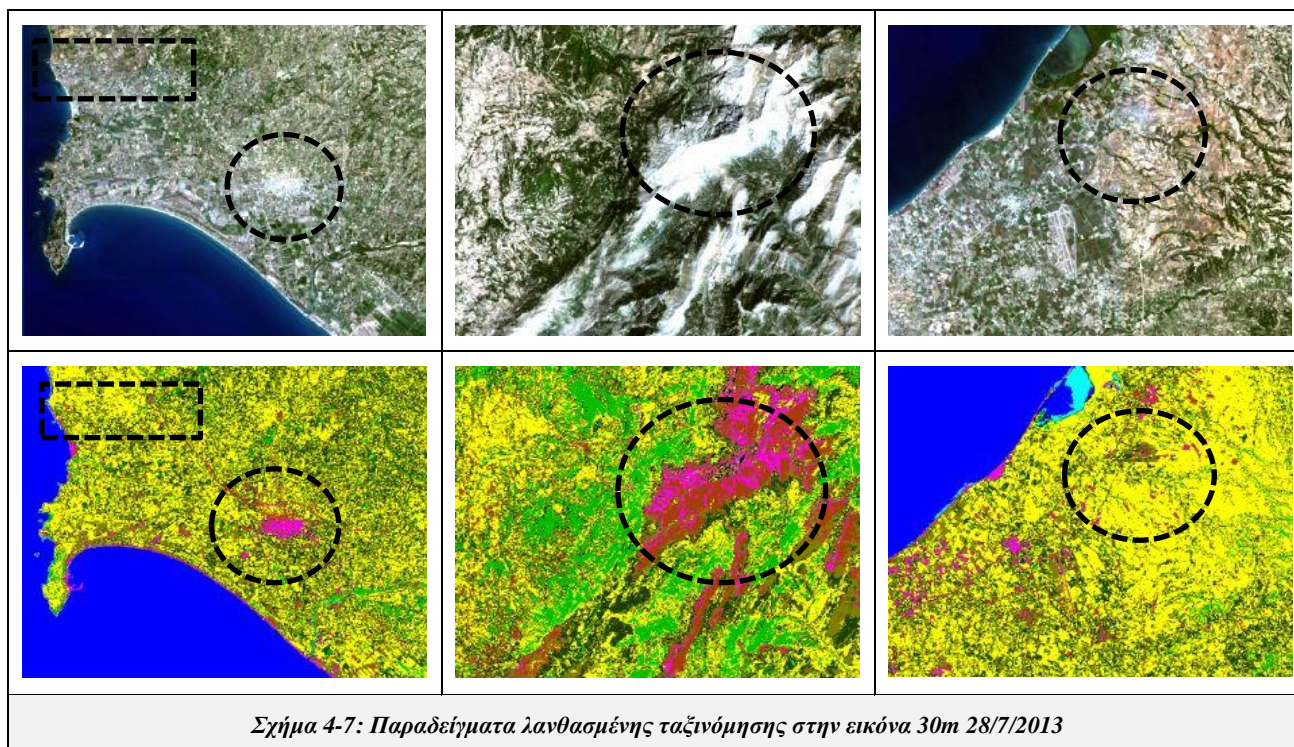
Στη συνέχεια, ακολουθούν παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης στην συγκεκριμένη εικόνα με περισσότερη λεπτομέρεια, έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Σχήμα 4-6: Παράδειγμα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013

Όπως φαίνεται παραπάνω, στην εικόνα αριστερά ο αλγόριθμος εντόπισε ορθά τον αστικό ιστό και τα εικονοστοιχεία ταξινομήθηκαν στην κατηγορία τεχνητές επιφάνειες. Αντίστοιχα, στην ίδια εικόνα ταξινομήθηκαν ορθά τα εικονοστοιχεία που αφορούν τα δάση και τη θαμνώδη βλάστηση στα δεξιά του οικισμού. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται πως στην περιοχή υπάρχουν καλλιέργειες αλλά και τεχνητές επιφάνειες όπως θερμοκήπια, η ύπαρξη των οποίων επιβεβαιώθηκε από φωτοερμηνεία της περιοχής σε εικόνες με μεγαλύτερη ανάλυση, και ταξινομήθηκαν στις κατηγορίες που ανήκουν αντίστοιχα.

Όσο αφορά το σχήμα 4-7, στην εικόνα αριστερά διακρίνονται κάποιες εναλλαγές στη φωτεινότητα της εικόνας, οι οποίες οφείλονται σε προβλήματα της εικόνας, και έχουν προκαλέσει λάθος στην ταξινόμηση κυρίως όσο αφορά τον αστικό ιστό, όπου μέρος του ταξινομήθηκε ως γυμνό έδαφος. Στην κεντρική εικόνα διακρίνεται λάθος ταξινόμηση μέρους του όρους Ερύμανθος, που ταξινομήθηκε λανθασμένα ως τεχνητή επιφάνεια και όχι ως γυμνό έδαφος. Τέλος, στη δεξιά εικόνα εντοπίζονται κάποια σύννεφα τα οποία δεν είναι πολύ πυκνά ώστε να ταξινομηθούν στην κατηγορία σύννεφα αλλά προκαλούν λάθος στην ταξινόμηση της συγκεκριμένης περιοχής, εφόσον μέρος της συννεφοκάλυψης αποδόθηκε ως λιβάδι.



Ακολουθεί ο πίνακας σύγκρισης για την παραπάνω ταξινόμηση, ο οποίος προέκυψε έπειτα από ψηφιοποίηση 96 πολυγώνων ελέγχου. Από την μελέτη του πίνακα είναι εμφανές ότι οι κατηγορίες που δεν διαχωρίζονται εύκολα είναι κυρίως η θαμνώδης βλάστηση, τα λιβάδια και οι καλλιέργειες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όλα αποτελούν μέρος της βλάστησης και έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές.

Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 86,7% και 0,842 αντίστοιχα. Ειδικότερα, η κατηγορία σύννεφα/σκιές έχουν το πιο ψηλό ποσοστό ακρίβειας τόσο PA, όσο και UA, 100%. Στη συνέχεια, με υψηλά ποσοστά ακολουθούν οι υδάτινοι όγκοι (98,7% UA και 100% PA) και τα δάση (97,9% UA και 99,2% PA). Επιπλέον, παρατηρείται πως οι τεχνητές επιφάνειες ταξινομήθηκαν επίσης με καλά ποσοστά (87,8% UA και 85,4% PA), όπως και η θαμνώδης βλάστηση (79,1% UA και 81,6% PA) αν και στην κατηγορία συμπεριλήφθηκαν λανθασμένα εικονοστοιχεία καλλιεργειών και το γυμνό έδαφος (90,2% UA και 81,9% PA). Τα χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας σημείωσε η κατηγορία λιβάδια (59,1% UA και 73,9% PA), στην οποία συμπεριλήφθηκαν λανθασμένα πλήθος εικονοστοιχείων που ανήκουν κυρίως στις καλλιέργειες και δευτερευόντως στη θαμνώδη βλάστηση. Χαμηλά ποσοστά PA σημείωσαν η κατηγορία υγρότοποι και η κατηγορία καλλιέργειες, 72,1% και 77,6%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της πρώτης κατηγορίας ως υδάτινοι όγκοι και της δεύτερης ως θαμνώδης βλάστηση και λιβάδια.

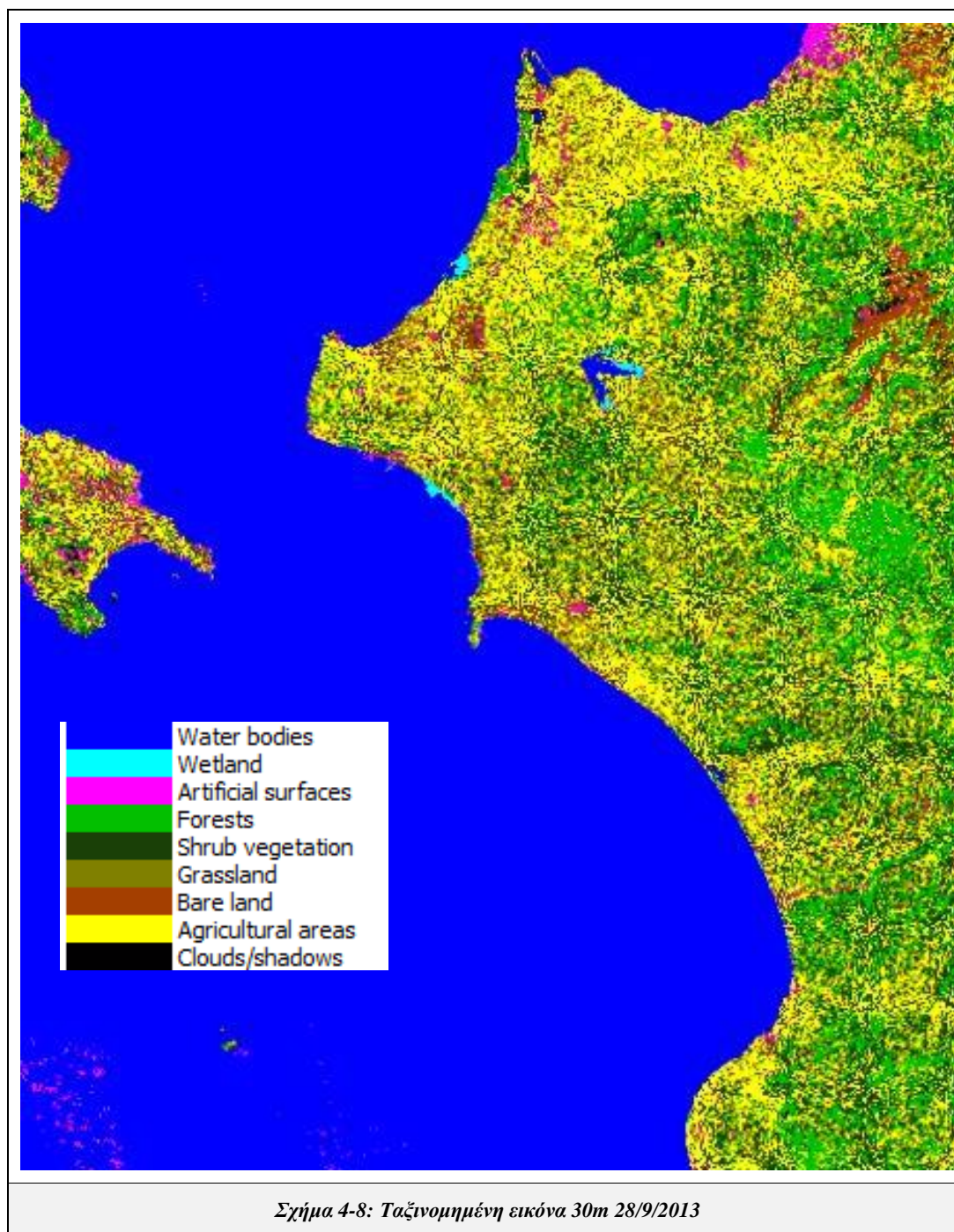
Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης, που σημειώθηκε με τις 32 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 80,9% και δείκτη K 0,798. Η συγχώνευση των υποκατηγοριών των καλλιεργειών ήταν η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας.



|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>859</b>     | 11        | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 870         | 98,74  |
| Wetland   | 0              | <b>31</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 31          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 0         | <b>317</b>          | 0          | 3          | 0          | 40         | 1                  | 0               | 361         | 87,81  |
| Forests   | 0              | 1         | 0                   | <b>516</b> | 6          | 0          | 0          | 4                  | 0               | 527         | 97,91  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 1                   | 0          | <b>500</b> | 32         | 2          | 97                 | 0               | 632         | 79,11  |
| Grassland   | 0              | 0         | 7                   | 0          | 18         | <b>201</b> | 30         | 84                 | 0               | 340         | 59,12  |
| Bare land   | 0              | 0         | 41                  | 0          | 0          | 0          | <b>430</b> | 6                  | 0               | 477         | 90,15  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 5                   | 4          | 86         | 39         | 23         | <b>666</b>         | 0               | 823         | 80,92  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>17</b>       | 17          | 100,00 |
| <b>Total</b>  | 859            | 43        | 371                 | 520        | 613        | 272        | 525        | 858                | 17              | <b>4078</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 72,09     | 85,44               | 99,23      | 81,57      | 73,90      | 81,90      | 77,62              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 86,7%, Δείκτης K= 0,842</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-2: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

**Εικόνα 3 – 28/9/2013**

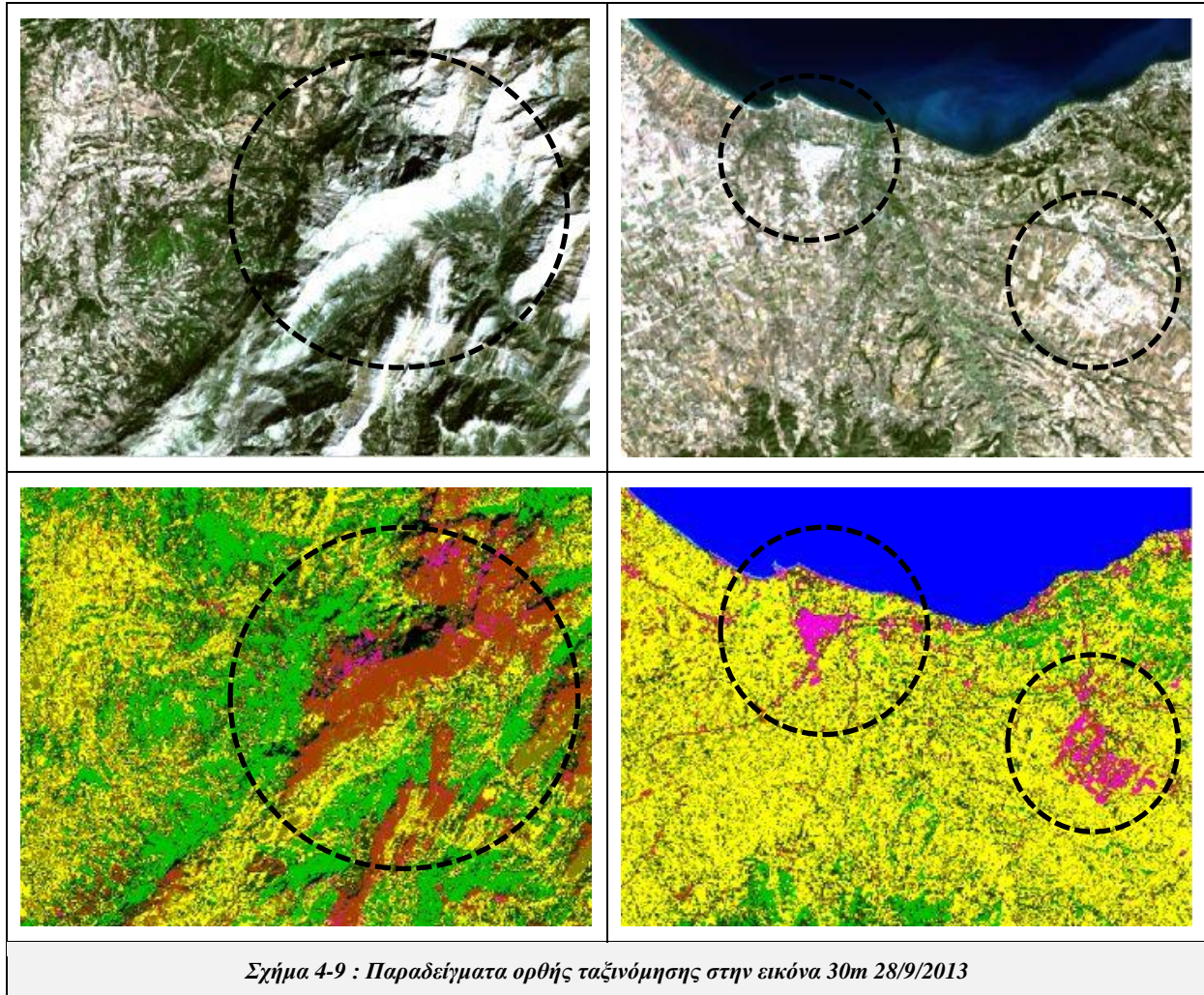
Για την ταξινόμηση της εικόνας αυτής ψηφιοποιήθηκαν 133 διαφορετικά πολύγωνα εκπαίδευσης για 29 κλάσεις.



Παρατηρώντας την ταξινομημένη εικόνα παραπάνω προκύπτει πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας, και παρεμβάλλεται θαμνώδης βλάστηση σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τις προηγούμενες εικόνες. Επίσης, ορθά ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, όπου διακρίνονται με καφέ απόχρωση το γυμνό έδαφος, αλλά και η περιοχή δεξιά από την Πάτρα στο πάνω δεξί άκρο της εικόνας.

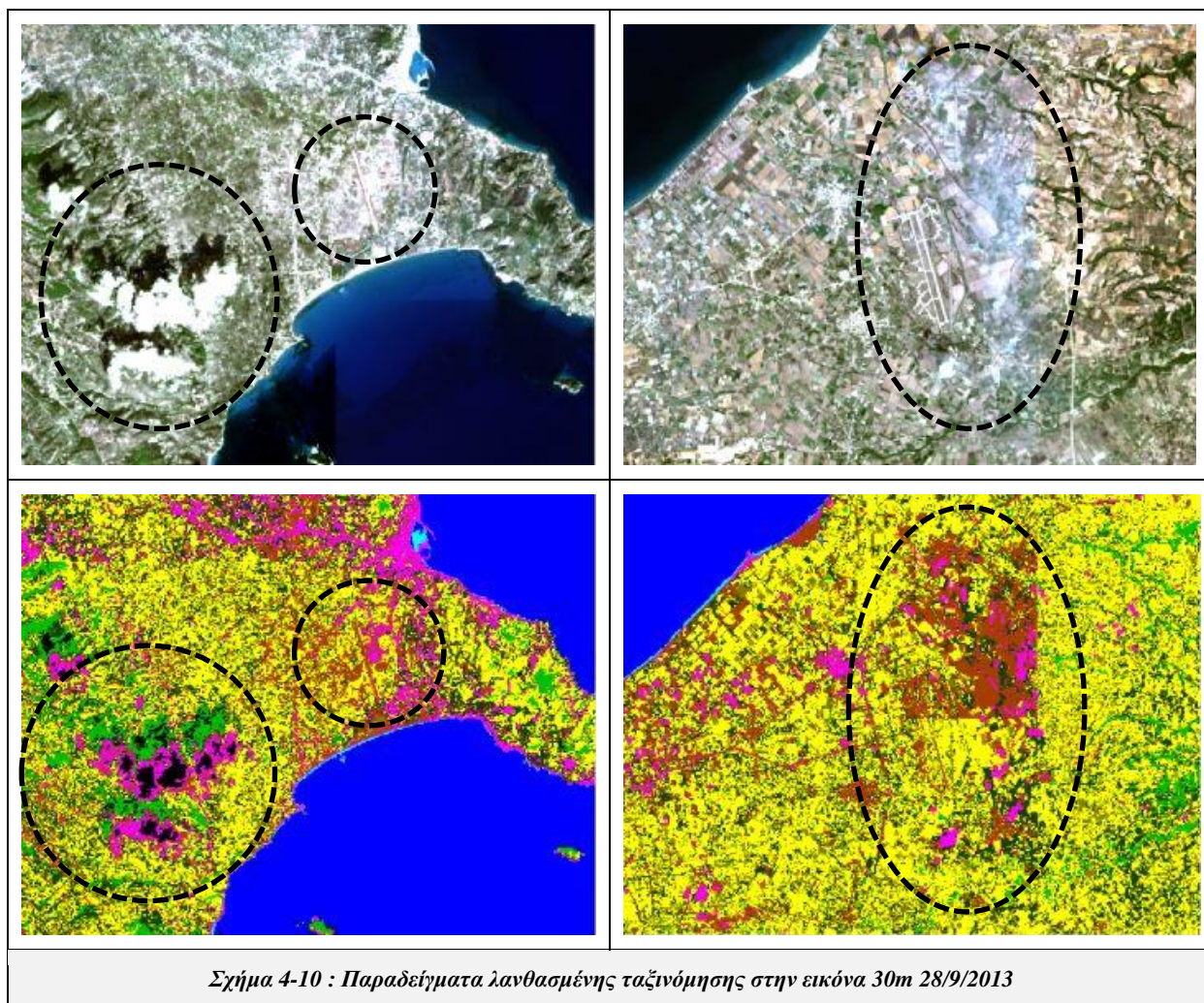
Τέλος, διακρίνεται σε κάποιο σημείο της εικόνας που φαίνεται λεπτομερέστερα παρακάτω στο σχήμα 4-10 λάθος στην ταξινόμηση λόγω αραιής συννεφοκάλυψης.

Παρακάτω φαίνονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης της εικόνας αυτής, έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση.



Στο πιο πάνω σχήμα διακρίνεται ότι σε αντίθεση με άλλες ταξινομήσεις που φαίνονται στην εργασία, το συγκεκριμένο μοντέλο κατάφερε να διαχωρίσει σε μεγάλο βαθμό και με μεγάλη επιτυχία το γυμνό έδαφος του όρους Ερύμανθος στην αριστερή εικόνα και τις σκιές που δημιουργήθηκαν στην εικόνα λόγω της μορφολογίας της περιοχής. Επιπρόσθετα, όπως φαίνεται στη δεξιά εικόνα τόσο η βιομηχανική περιοχή στο δεξιό μέρος της, όσο και ο αστικός ιστός, ταξινομήθηκαν ορθά ως τεχνητές επιφάνειες. Επιπλέον, οι περιοχές γύρω από τον αστικό ιστό που καλύπτονται από καλλιέργειες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επίσης ορθά.

Από το παρακάτω σχήμα και την εικόνα αριστερά γίνεται αντιληπτό ότι ενώ σε κάποιες περιοχές, όπως η οροσειρά που προαναφέρθηκε, διαχωρίστηκε το γυμνό έδαφος από τις τεχνητές επιφάνειες επιτυχώς, σε κάποιες άλλες περιοχές, όπως το αεροδρόμιο υπήρξε σύγχυση και έτσι μέρος του αεροδρομίου ταξινομήθηκε ως γυμνό έδαφος. Επίσης, στην ίδια εικόνα διαπιστώνεται ένα άλλο πρόβλημα που προέκυψε και σε άλλες εικόνες, όπου μέρος των σύννεφων δεν μπόρεσαν να ταξινομηθούν ορθά, όπως και μέρος των σκιών τους που αντιμετωπίστηκε ως δάσος. Στη δεξιά εικόνα του σχήματος 4-10 φαίνεται πως σε ένα μέρος της περιοχής υπήρχε αραιή συννεφοκάλυψη κατά την λήψη της εικόνας, η οποία είναι αρκετά αραιή ώστε να ταξινομηθεί στην κατηγορία σύννεφα και αποδόθηκε λανθασμένα κυρίως ως γυμνό έδαφος και καλλιέργειες.



Σχήμα 4-10 : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013

Στην συνέχεια φαίνεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης όπως προέκυψε από ψηφιοποίηση 76 πολυγώνων ελέγχου. Από τον πίνακα φαίνονται ποσοτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ποιοτική αξιολόγηση που έγινε παραπάνω. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 87,5% και 0,853 αντίστοιχα.

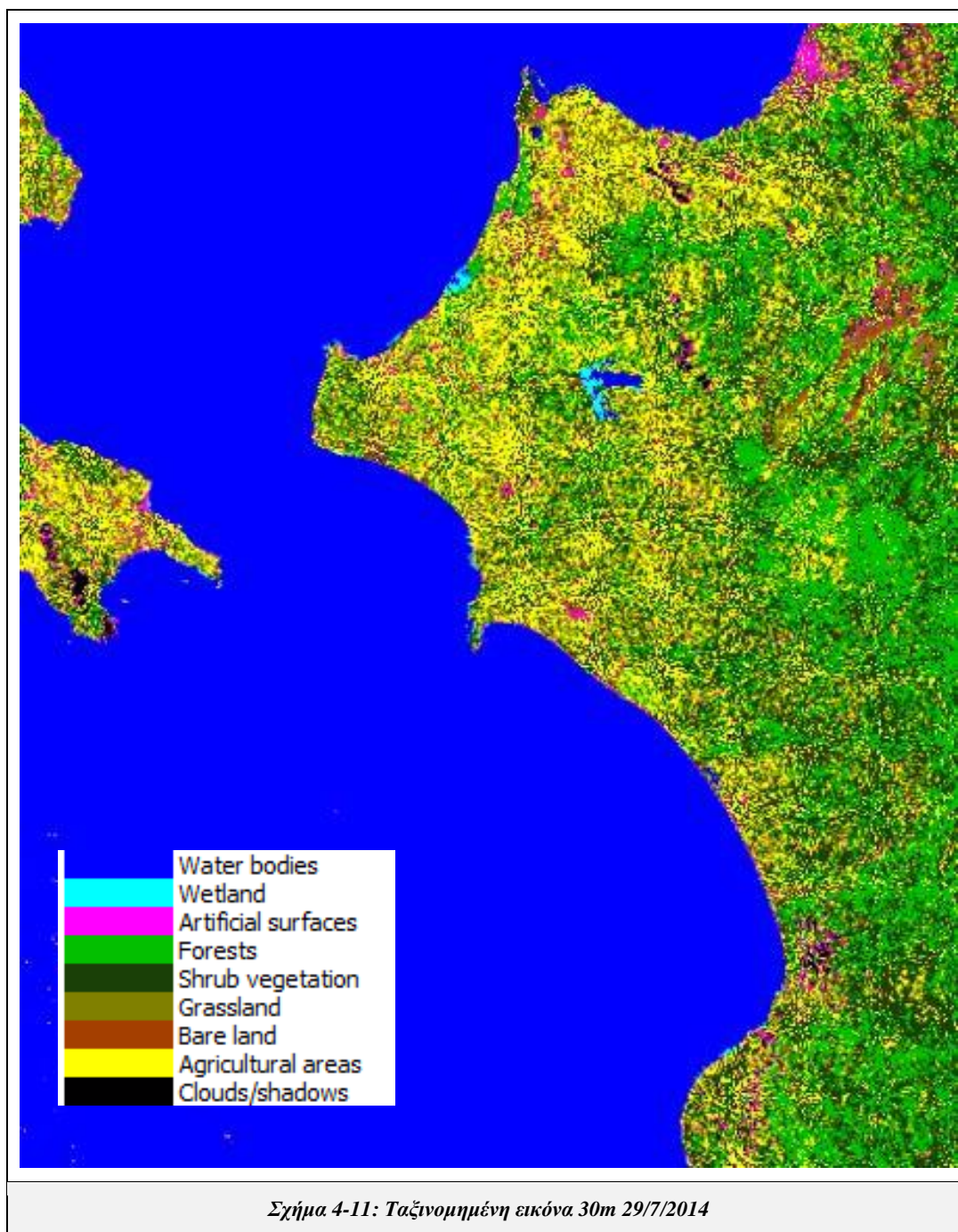
Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο PA, όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθούν οι κατηγορίες σύννεφα/σκιές (90,3% UA και 100% PA) και δάση (99,1% UA και 97,3% PA). Επιπλέον, παρατηρείται πως οι τεχνητές επιφάνειες ταξινομήθηκαν με καλά ποσοστά (95,9% UA και 85,5% PA) και το γυμνό έδαφος (77,2% UA και 82,5% PA). Τα χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας PA σημείωσαν οι κατηγορίες θαμνώδης βλάστηση και λιβάδια με 69,2% και 65,8% αντίστοιχα, εφόσον εικονοστοιχεία των κατηγοριών αυτών ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Επίσης, το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία καλλιέργειες, 70,1%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων κυρίως θαμνώδους βλάστησης και λιβαδιών.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 29 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 82,9% και δείκτη K 0,819. Η συγχώνευση των υποκατηγοριών των καλλιεργειών ήταν και σε αυτή την ταξινόμηση η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας.

|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>699</b>     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 699         | 100,00 |
| Wetland   | 0              | <b>63</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 63          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 0         | <b>602</b>          | 0          | 0          | 0          | 25         | 1                  | 0               | 628         | 95,86  |
| Forests   | 0              | 0         | 0                   | <b>575</b> | 5          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 580         | 99,14  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 13                  | 5          | <b>407</b> | 0          | 5          | 34                 | 0               | 464         | 87,72  |
| Grassland   | 0              | 0         | 1                   | 0          | 0          | <b>150</b> | 8          | 22                 | 0               | 181         | 82,87  |
| Bare land   | 0              | 0         | 74                  | 0          | 0          | 13         | <b>329</b> | 10                 | 0               | 426         | 77,23  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 14                  | 1          | 176        | 65         | 32         | <b>676</b>         | 0               | 964         | 70,12  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 0                   | 10         | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>93</b>       | 103         | 90,29  |
| <b>Total</b>  | 699            | 63        | 704                 | 591        | 588        | 228        | 399        | 743                | 93              | <b>4108</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 100,00    | 85,51               | 97,29      | 69,22      | 65,79      | 82,46      | 90,98              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 87,5%, Δείκτης K= 0,853</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-3: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

**Εικόνα 4 - 29/7/2014**

Για την ταξινόμηση της εικόνας αυτής ψηφιοποιήθηκαν 166 πολύγωνα εκπαίδευσης για 34 διαφορετικές κλάσεις.

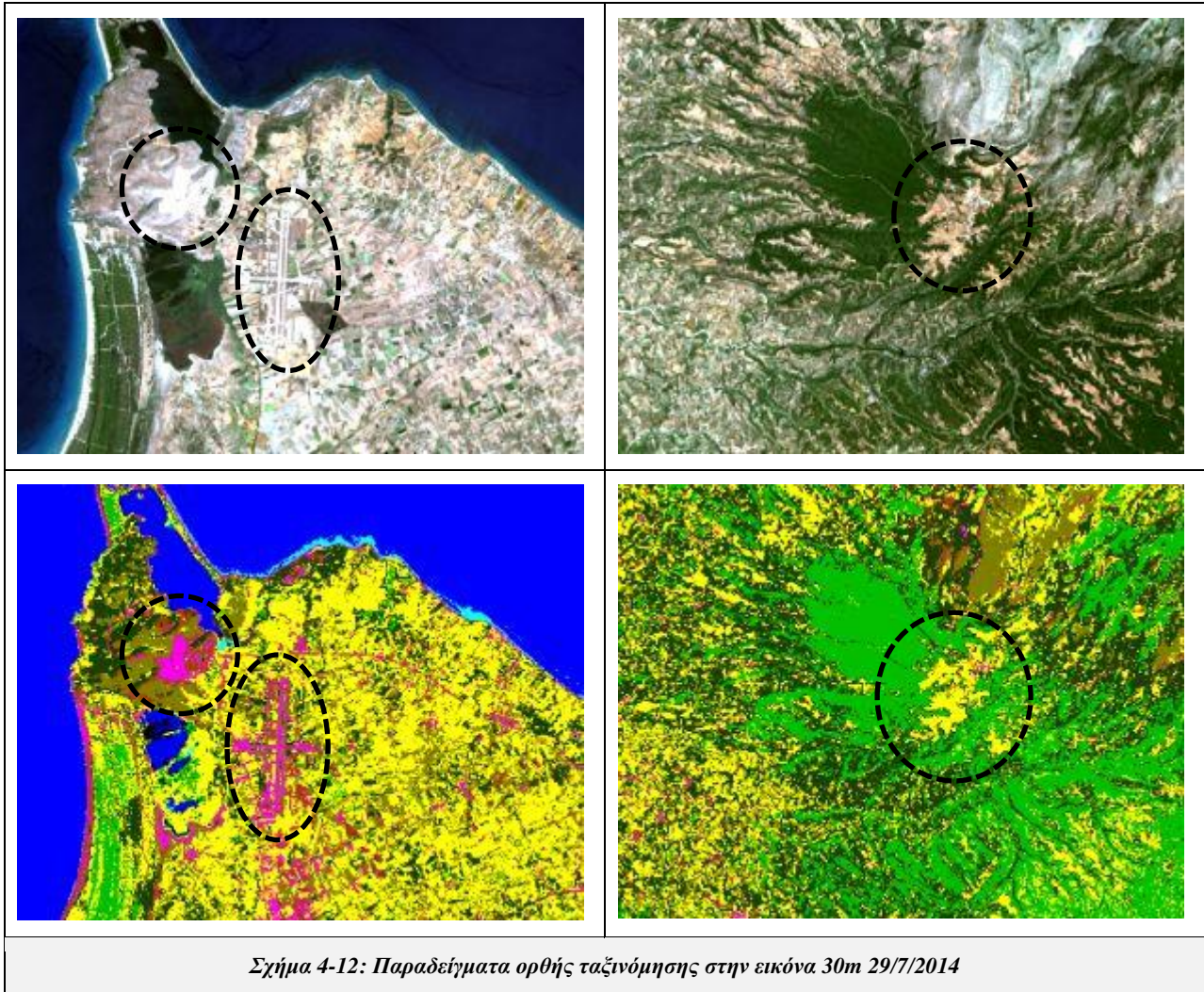


Σχήμα 4-11: Ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014

Από την παρατήρηση της εικόνας παραπάνω προκύπτει πως η ταξινόμηση έχει ολοκληρωθεί σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας, αν και παρεμβάλλεται έντονα θαμνώδης βλάστηση σε μερικές περιοχές. Επίσης, μέτρια ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, όπου διακρίνονται οι κατηγορίες γυμνό έδαφος, λιβάδια και τεχνητές επιφάνειες. Ακόμη, παρατηρείται λανθασμένη ταξινόμηση σε μέρος της λίμνης στο κέντρο της εικόνας λόγω

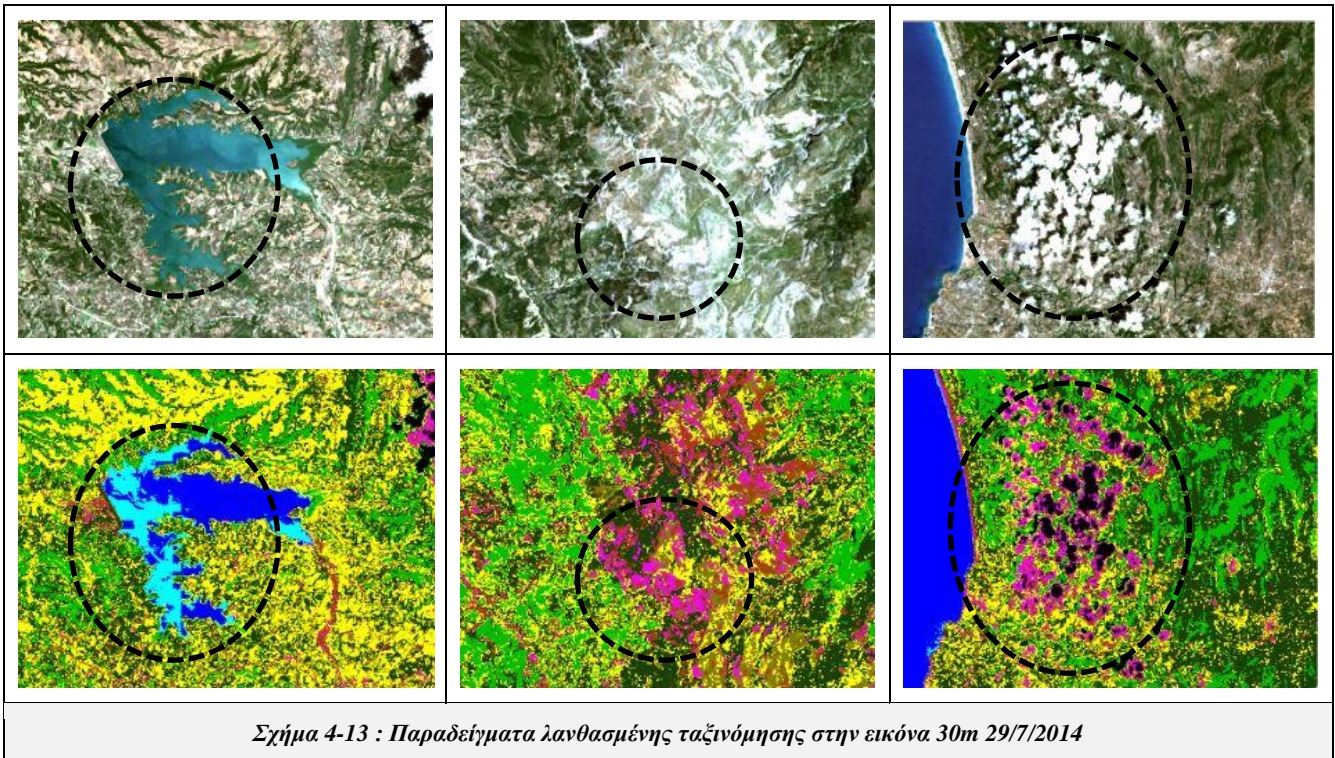
λανθασμένων τιμών στην αρχική εικόνα. Τέλος, διακρίνονται στο κάτω μέρος της εικόνας, που φαίνεται λεπτομερέστερα παρακάτω στο σχήμα 4-13, λάθος στην ταξινόμηση των σύννεφων.

Παρακάτω, ακολουθούν παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Στην εικόνα αριστερά του παραπάνω σχήματος είναι φανερό πως ταξινομήθηκαν ορθά οι τεχνητές επιφάνειες της συγκεκριμένης περιοχής. Ειδικότερα, πρόκειται για ένα αεροδρόμιο και μια περιοχή ορυχείων. Επιπλέον, η περιοχή γύρω από το ορυχείο που καλύπτεται από θαμνώδη βλάστηση και λιβάδι αποδόθηκε επίσης ορθά. Αντίστοιχα, στην εικόνα δεξιά ταξινομήθηκαν ορθά τόσο οι περιοχές δάσους που διακρίνονται με πράσινο χρώμα, όσο και κάποιες καλλιέργειες που βρίσκονται κοντά.

Όσο αφορά το παρακάτω σχήμα, στην αριστερή εικόνα διακρίνεται και σε αυτή την περίπτωση πρόβλημα με τις φασματικές τιμές της αρχικής εικόνας σε σημεία της λίμνης, το οποίο προκαλεί λάθος στην ταξινόμηση μερικών εικονοστοιχείων της, τα οποία κατηγοριοποιούνται ως υγρότοποι. Επιπλέον, στην κεντρική εικόνα εντοπίζεται το φαινόμενο της λάθος ταξινόμησης εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους ως τεχνητές επιφάνειες. Τέλος, στη δεξιά εικόνα γίνεται αντιληπτό πως κάποια εικονοστοιχεία συννεφοκάλυψης ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως τεχνητές επιφάνειες.



*Σχήμα 4-13 : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014*

Ακολούθως, φαίνεται ο πίνακας σύγχυσης της εικόνας για τον υπολογισμό του οποίου ψηφιοποιήθηκαν 92 πολύγωνα ελέγχου. Όπως διακρίνεται από τον πίνακα, πλήθος εικονοστοιχείων που ανήκουν στο γυμνό έδαφος ταξινομήθηκαν ως τεχνητές επιφάνειες και θαμνώδης βλάστηση. Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 86,9% και 0,848 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η κατηγορία σύννεφα/σκιές έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία υδάτινοι όγκοι (99% UA και 100% PA) και τα δάση (94,7% UA και 98,9% PA). Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι κατηγορίες τεχνητές επιφάνειες και καλλιέργειες ενώ έχουν υψηλά ποσοστά UA, 85,5% και 92,2% αντίστοιχα, τα ποσοστά PA είναι αισθητά πιο χαμηλά, 79,3% και 82,8%. Αυτό οφείλεται, όσο αφορά την κατηγορία των τεχνητών επιφανειών στη λανθασμένη ταξινόμηση εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως γυμνό έδαφος, ενώ όσο αφορά την κατηγορία καλλιέργειες, οφείλεται στην λάθος ταξινόμηση εικονοστοιχείων της κατηγορίας κυρίως ως θαμνώδης βλάστηση και λιβάδια. Αντίθετα, η θαμνώδης βλάστηση σημείωσε ψηλό ποσοστό PA, 90,9%, σε σχέση με το ποσοστό UA, 74,4%, εξαιτίας της λανθασμένης συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους. Τα χαμηλότερο ποσοστό ακρίβειας σημείωσε το γυμνό έδαφος (70,9% UA και 70,6% PA), εφόσον πλήθος εικονοστοιχείων που ανήκουν στις κατηγορίες τεχνητές επιφάνειες και λιβάδια συμπεριλήφθηκαν στην κατηγορία αυτή, ενώ πλήθος εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους ταξινομήθηκαν ως θαμνώδης βλάστηση.

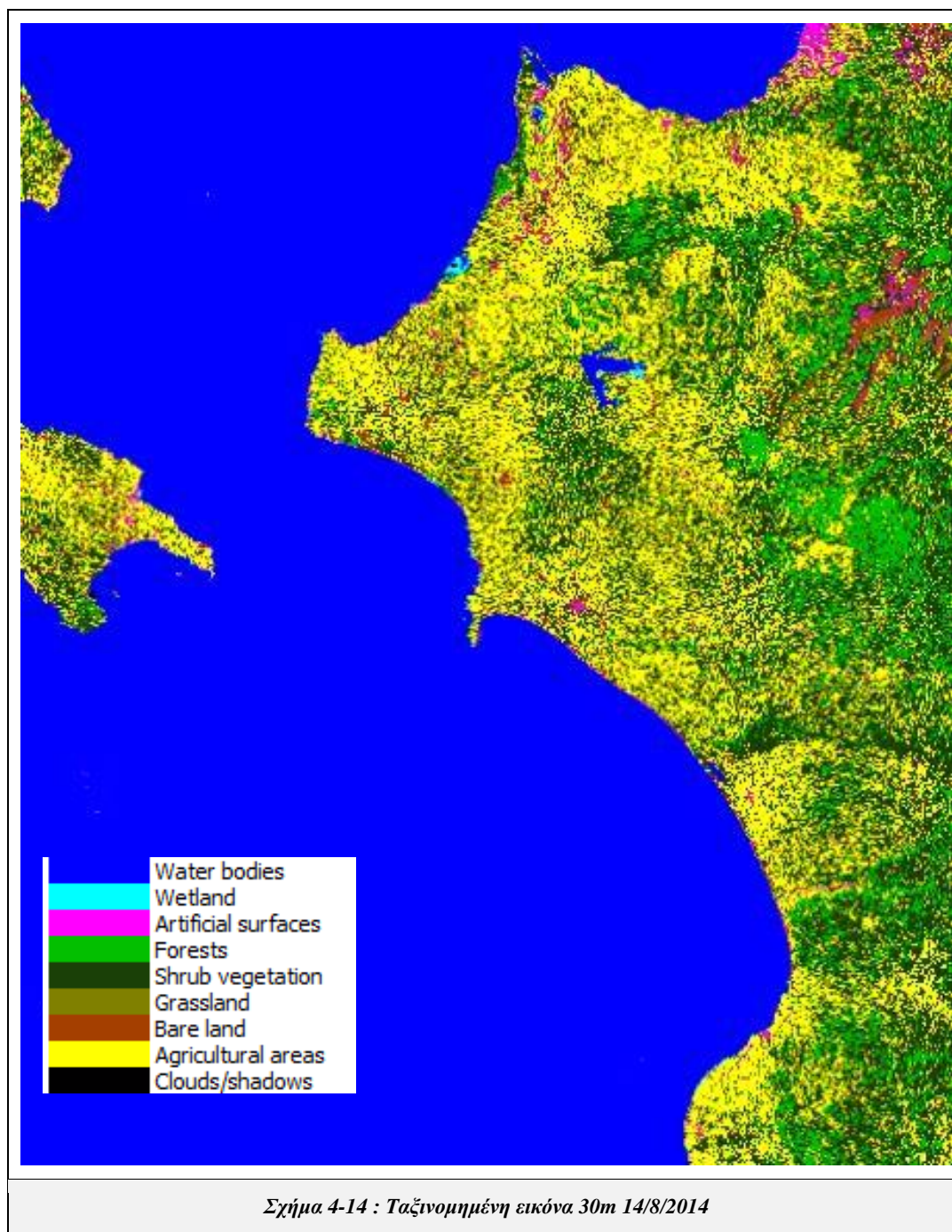
Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 80,7% και δείκτη K 0,797. Η συγχώνευση των υποκατηγοριών των καλλιεργειών ήταν και σε αυτή την ταξινόμηση η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας, όπως και η συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους.



|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>776</b>     | 8         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 784         | 98,98  |
| Wetland   | 0              | <b>28</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 28          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 0         | <b>371</b>          | 0          | 1          | 4          | 45         | 13                 | 0               | 434         | 85,48  |
| Forests   | 0              | 0         | 0                   | <b>539</b> | 25         | 0          | 0          | 5                  | 0               | 569         | 94,73  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 3                   | 1          | <b>537</b> | 0          | 120        | 61                 | 0               | 722         | 74,38  |
| Grassland   | 0              | 0         | 8                   | 0          | 0          | <b>227</b> | 5          | 46                 | 0               | 286         | 79,37  |
| Bare land   | 0              | 0         | 74                  | 0          | 2          | 81         | <b>410</b> | 11                 | 0               | 578         | 70,93  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 12                  | 5          | 26         | 11         | 1          | <b>653</b>         | 0               | 708         | 92,23  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>223</b>      | 223         | 100,00 |
| <b>Total</b>  | 776            | 36        | 468                 | 545        | 591        | 323        | 581        | 789                | 223             | <b>4332</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 77,78     | 79,27               | 98,90      | 90,86      | 70,28      | 70,57      | 82,76              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 86,9%, Δείκτης K= 0,848</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-4: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

**Εικόνα 5 - 14/8/2014**

Για την ταξινόμηση της συγκεκριμένης εικόνας ψηφιοποιήθηκαν 162 πολύγωνα εκπαίδευσης για 32 διαφορετικές κλάσεις.

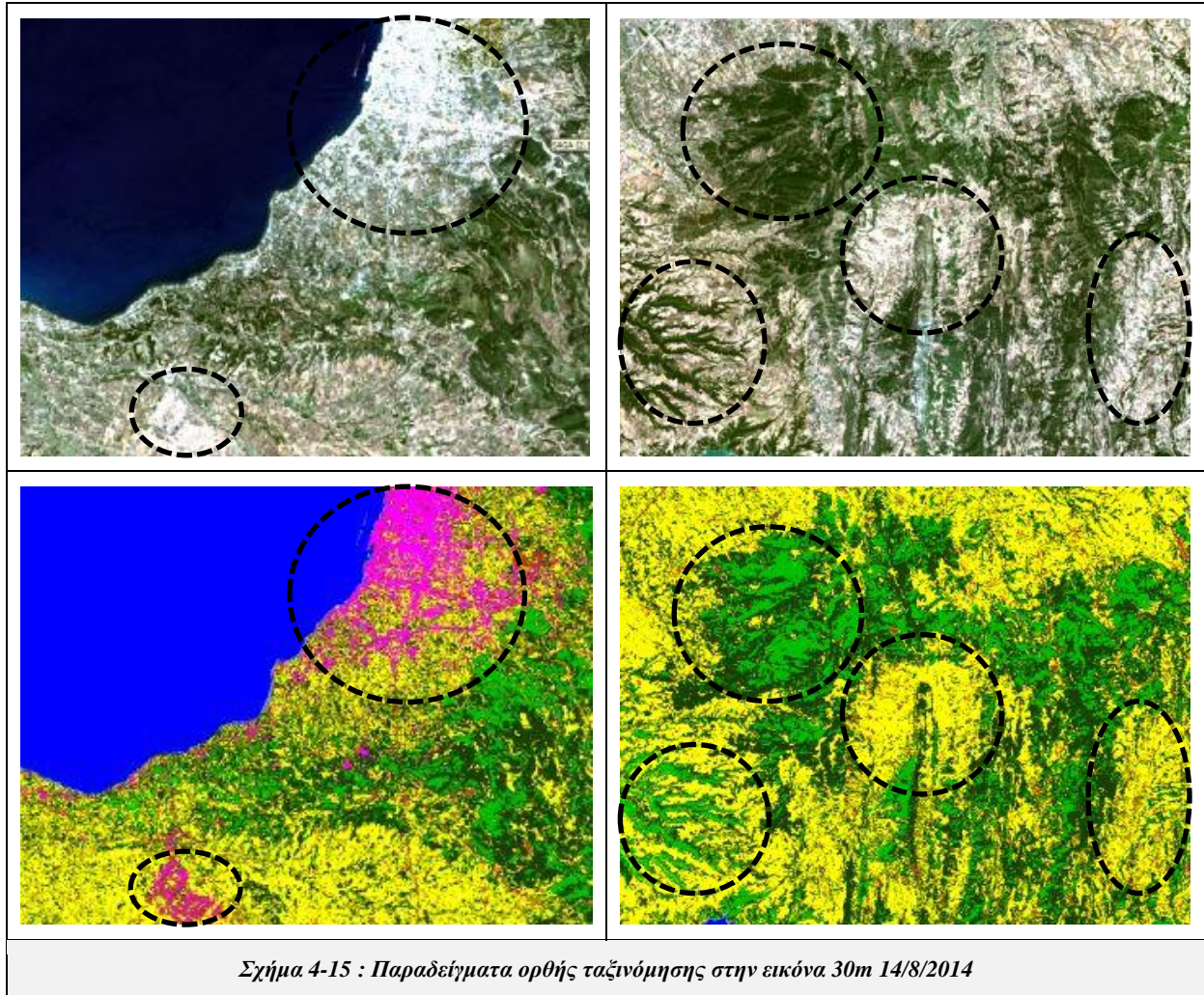


Σχήμα 4-14 : Ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014

Η εικόνα παραπάνω φαίνεται πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επιτυχώς και ιδιαίτερα ο μικρός οικισμός στο κάτω μέρος της εικόνας, που δύσκολα εντοπίστηκε στις προηγούμενες εικόνες. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας και η παρεμβολή της θαμνώδους βλάστησης σε αυτές δεν είναι έντονη. Επίσης, μέτρια ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, όπως φαίνεται στο σχήμα 4-16 παρακάτω, όπου μέρος του ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Τέλος, όσο αφορά το μικρό μέρος της νήσου Ζακύνθου που φαίνεται στα αριστερά της εικόνας, αυτό ταξινομήθηκε

ορθά, τόσο οι τεχνητές επιφάνειες όσο και τα δάση, με εξαίρεση κάποια σημεία στα οποία τα εικονοστοιχεία της αρχικής εικόνας έχουν λανθασμένες τιμές.

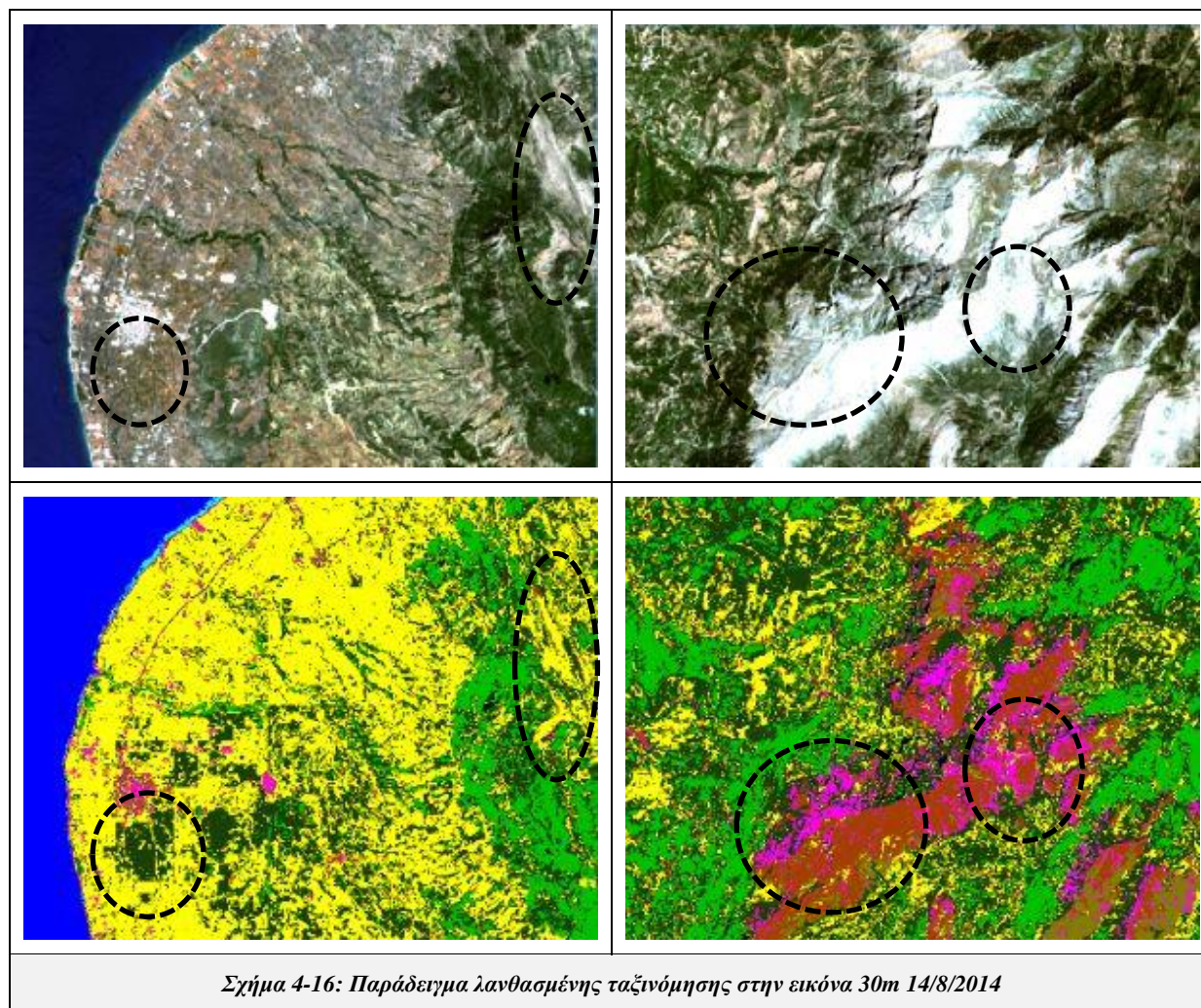
Παρακάτω ακολουθούν παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης όπως προέκυψαν από ποιοτική αξιολόγηση.



Σχήμα 4-15 : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014

Στο παραπάνω σχήμα στην εικόνα αριστερά, διακρίνεται ορθή ταξινόμηση των τεχνητών επιφανειών τόσο σε επίπεδο αστικού ιστού όσο και σε επίπεδο βιομηχανικής περιοχής. Επιπλέον, η περιοχή γύρω από τον αστικό ιστό, που καλύπτεται από καλλιέργειες, ταξινομήθηκε σε μεγάλο ποσοστό επιτυχώς. Αντίστοιχα, στην εικόνα δεξιά ορθά ταξινομήθηκαν οι περιοχές δάσους και θαμνώδους βλάστησης, οι οποίες συμβολίζονται με πράσινο και σκούρο πράσινο χρώμα αντίστοιχα. Τέλος, στην ίδια εικόνα στις περιοχές στο κέντρο και δεξιά, με επιτυχία εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν κάποιες καλλιέργειες.

Στην αριστερή εικόνα του σχήματος 4-16 διακρίνεται στο κάτω αριστερό μέρος πρόβλημα με τις φασματικές τιμές της αρχικής εικόνας, το οποίο προκάλεσε λάθος στην ταξινόμηση του συγκεκριμένου τμήματος. Επιπλέον, στο δεξί άκρο της ίδιας εικόνας παρατηρείται λάθος στην ταξινόμηση της περιοχής ως καλλιέργειες αφού η περιοχή αποτελείται από θαμνώδη βλάστηση και λιβάδια. Επιπλέον, στη δεξιά εικόνα εντοπίζεται λανθασμένη ταξινόμηση μέρους της οροσειράς ως τεχνητή επιφάνεια, ενώ η περιοχή καλύπτεται από γυμνό έδαφος και λίγη βλάστηση.



Στη συνέχεια, παρατίθεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης αυτής, όπως υπολογίστηκε από 84 πολύγωνα ελέγχου. Από τον πίνακα διακρίνεται ότι σημαντικό πλήθος εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους ταξινομήθηκαν ως τεχνητή επιφάνεια αλλά και αντίθετα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-16. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 88,1% και 0,860 αντίστοιχα.

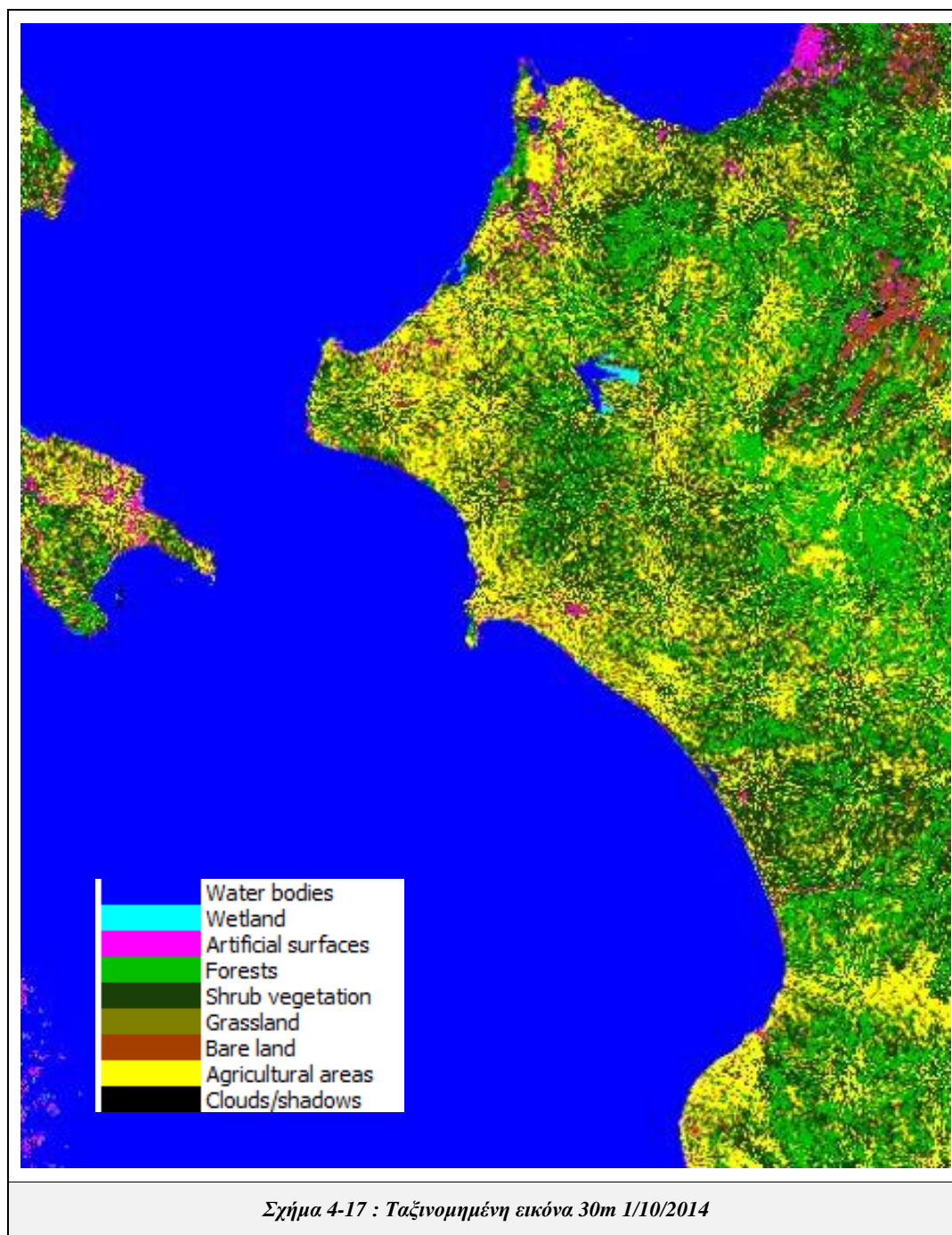
Ειδικότερα, οι κατηγορίες σύννεφα/σκιές (96% UA και 100% PA), υδάτινοι όγκοι (99,9% UA και 100% PA) και υγρότοποι (100% UA και 97,5% PA) έχουν τα υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας τόσο PA, όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθούν η κατηγορία δάση (96,8% UA και 98,4% PA), λιβάδια (97,3% UA και 90,8% PA), καλλιέργειες (86,3% UA και 84% PA) και θαμνώδης βλάστηση (82% UA και 84,5% PA). Χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας UA σημείωσαν το γυμνό έδαφος και οι τεχνητές επιφάνειες 75,5% και 75,8% αντίστοιχα, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Επίσης, το χαμηλότερο ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία γυμνό έδαφος, 70,9%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως τεχνητές επιφάνειες. Γενικά, όλες οι κατηγορίες είχαν πολύ υψηλά ποσοστά ακρίβειας στη συγκεκριμένη ταξινόμηση.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 32 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 84,0% και δείκτη K 0,831. Η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας είναι η συγχώνευση των κατηγοριών των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.

|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>712</b>     | 1         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 713         | 99,86  |
| Wetland   | 0              | <b>39</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 39          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 0         | <b>451</b>          | 0          | 27         | 2          | 114        | 1                  | 0               | 595         | 75,80  |
| Forests   | 0              | 0         | 0                   | <b>601</b> | 6          | 0          | 0          | 14                 | 0               | 621         | 96,78  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 4                   | 8          | <b>365</b> | 0          | 31         | 37                 | 0               | 445         | 82,02  |
| Grassland   | 0              | 0         | 4                   | 0          | 0          | <b>285</b> | 0          | 4                  | 0               | 293         | 97,27  |
| Bare land   | 0              | 0         | 76                  | 0          | 0          | 2          | <b>373</b> | 43                 | 0               | 494         | 75,51  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 14                  | 1          | 34         | 25         | 8          | <b>518</b>         | 0               | 600         | 86,33  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 0                   | 1          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>24</b>       | 25          | 96,00  |
| <b>Total</b>  | 712            | 40        | 549                 | 611        | 432        | 314        | 526        | 617                | 24              | <b>3825</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 97,50     | 82,15               | 98,36      | 84,49      | 90,76      | 70,91      | 83,95              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 88,1%, Δείκτης K= 0,860</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-5: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

**Εικόνα 6 – 1/10/2014**

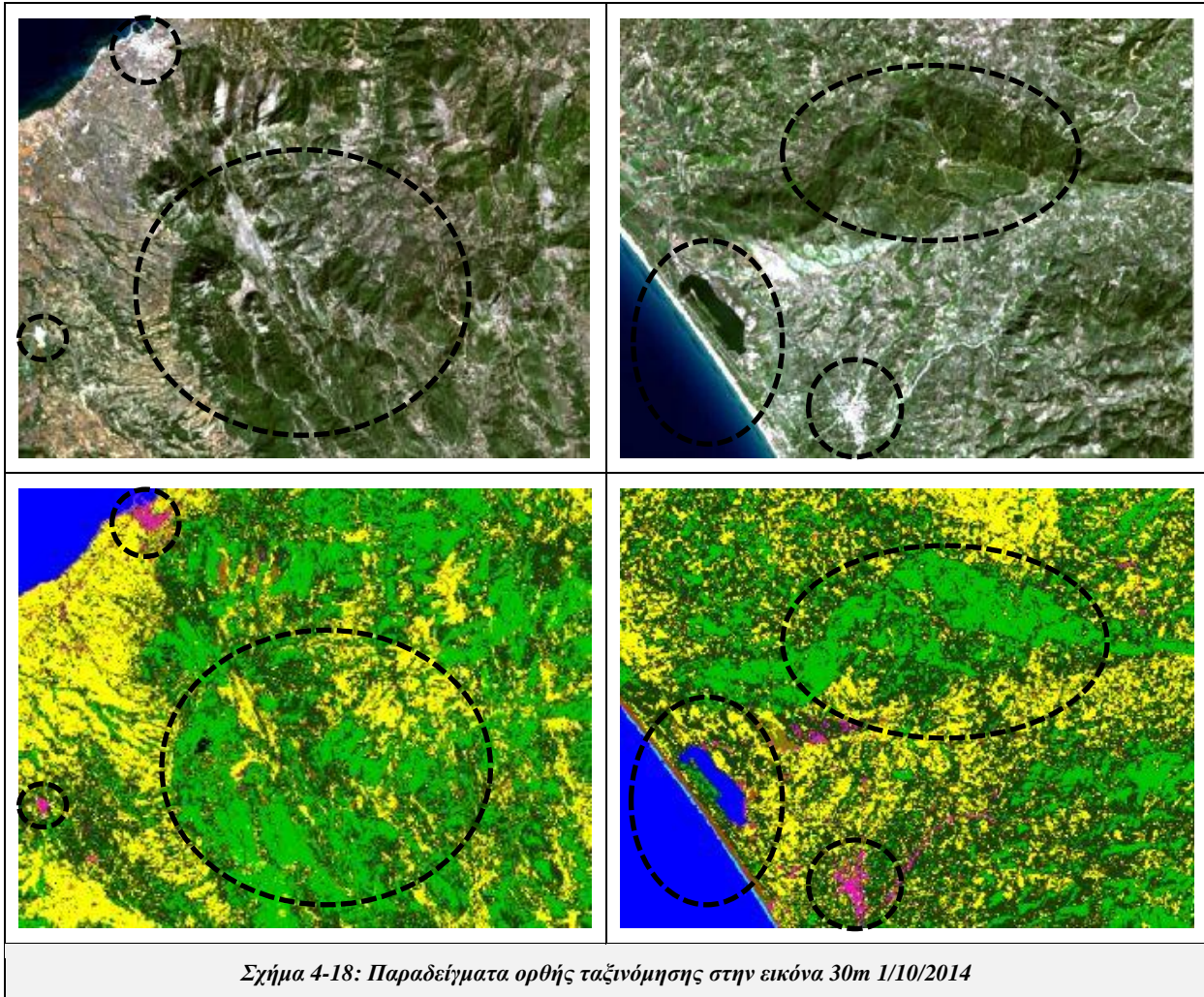
Για την ταξινόμηση της παρακάτω εικόνας ψηφιοποιήθηκαν 129 πολύγωνα εκπαίδευσης για 30 διαφορετικές κλάσεις.



Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα, προκύπτει πως η ταξινόμηση έχει ολοκληρωθεί σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επιτυχώς, εκτός από κάποιους μικρούς αστικούς ιστούς που δεν μπόρεσαν να εντοπιστούν σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας, εκτός από την περιοχή γύρω από τον αστικό ιστό της Πάτρας, που βρίσκεται πάνω δεξιά, η οποία ταξινομήθηκε ως θαμνώδης βλάστηση. Επίσης, μέτρια ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, όπου μέρος του ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Τέλος, δεξιά της νήσου Ζακύνθου παρατηρούνται σε περιοχή

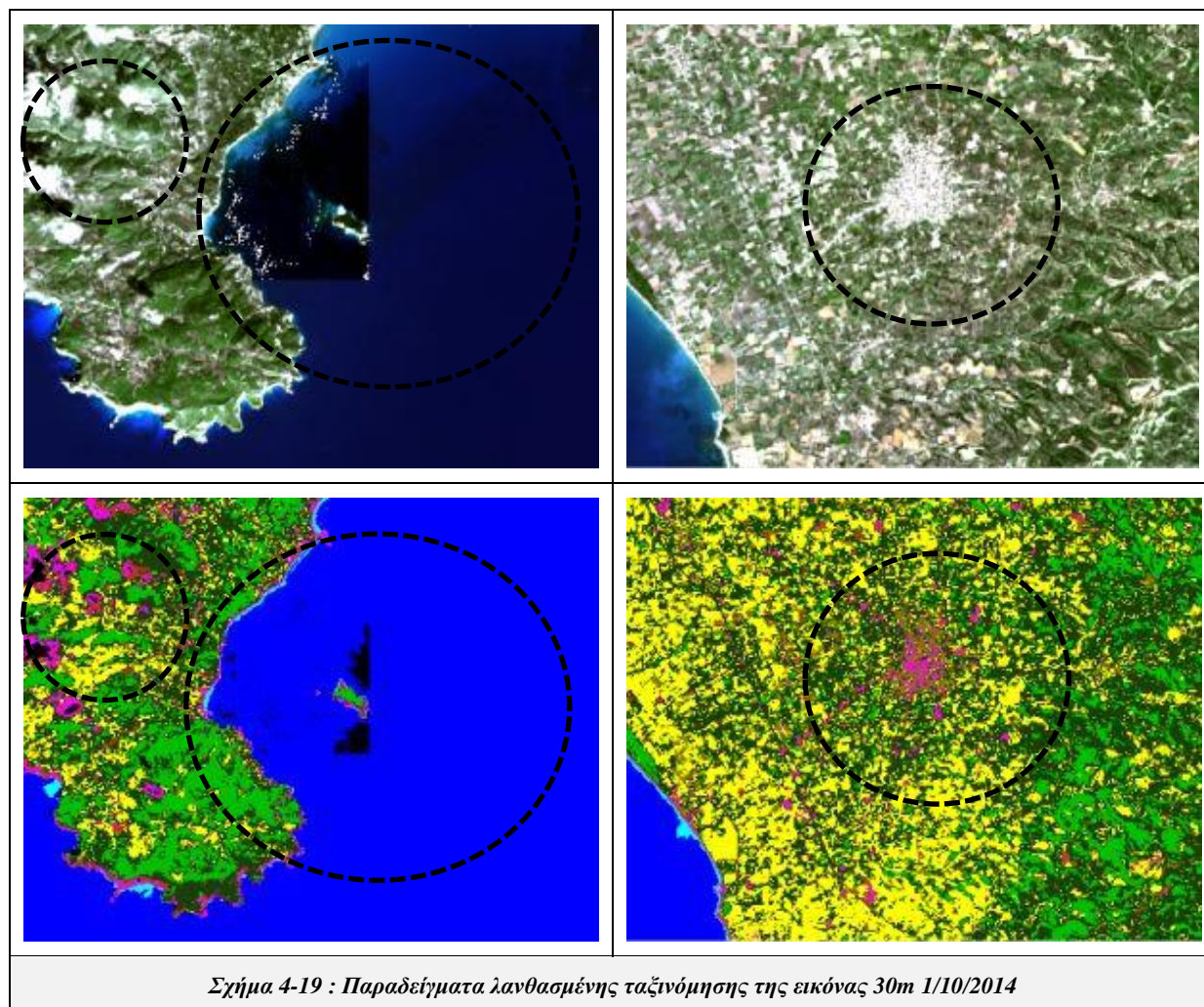
θάλασσας κάποια εικονοστοιχεία ταξινομημένα ως σύννεφα/σκιές, όπως φαίνεται λεπτομερέστερα παρακάτω στο σχήμα 4-19.

Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης της ίδιας εικόνας, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση.



Στο σχήμα 4-18 αριστερά, φαίνεται γενικά μια περιοχή που ταξινομήθηκε ορθά, όπως ο αστικός ιστός και το ορυχείο ως τεχνητές επιφάνειες αλλά και οι καλλιέργειες, η θαμνώδης βλάστηση και τα δάση που κυριαρχούν στο συγκεκριμένο κομμάτι της εικόνας. Στην εικόνα δεξιά διακρίνεται ότι ταξινομήθηκε ορθά τόσο η λίμνη όσο και ο αστικός ιστός στο αριστερό άκρο της εικόνας. Επιπλέον, όπως και στην εικόνα αριστερά, τα δάση και η θαμνώδης βλάστηση γύρω τους εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά.

Στο σχήμα 4-19 φαίνεται στην αριστερή εικόνα λάθος ταξινόμηση σε μια περιοχή υδάτων που υπάρχουν λανθασμένες φασματικές τιμές στην αρχική εικόνα. Αυτό προκάλεσε την κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων ως σύννεφα/σκιές και όχι ως υδάτινοι όγκοι. Επιπλέον, λανθασμένα ταξινομήθηκαν μερικά σύννεφα και οι σκιές τους στο αριστερό μέρος της εικόνας ως τεχνητές επιφάνειες και δάση αντίστοιχα. Αντίθετα, στην εικόνα δεξιά, μέρος του αστικού ιστού ταξινομήθηκε ως γυμνό έδαφος και κάποιες καλλιέργειες γύρω από αυτόν ως θαμνώδης βλάστηση. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως οι καλλιέργειες είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες την εποχή αυτή και αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό ήδη από την αρχική εικόνα.



Σχήμα 4-19 : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης της εικόνας 30m 1/10/2014

Στη συνέχεια φαίνεται ο πίνακας σύγκρισης της εικόνας αυτής όπως προέκυψε έπειτα από ψηφιοποίηση 76 πολυγώνων ελέγχου. Σύμφωνα με αυτόν το κυριότερο πρόβλημα της ταξινόμησης εντοπίζεται στο διαχωρισμό των τεχνητών επιφανειών με το γυμνό έδαφος αλλά και τα λιβάδια. Επιπλέον, και σε αυτή την εικόνα υπάρχουν εικονοστοιχεία που ανήκουν στη θαμνώδη βλάστηση και ταξινομήθηκαν ως καλλιέργειες, όπως ήδη αναφέρθηκε στην ποιοτική αξιολόγηση της εικόνας.

Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 90,4% και 0,888 αντίστοιχα. Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθούν η κατηγορία των υγροτόπων (100% UA και 97,6% PA) και των δασών (99,2% UA και 99% PA). Υψηλά ποσοστά PA σημείωσαν, επίσης, κατηγορίες λιβάδια, γυμνό έδαφος και καλλιέργειες με 96,9%, 91,7% και 99% αντίστοιχα. Επίσης, υψηλά ποσοστά UA σημείωσαν οι τεχνητές επιφάνειες και η θαμνώδης βλάστηση, με 91,9%. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία σύννεφα/σκιές με 79,4%, εξαιτίας της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων που ανήκουν στα δάση. Αντίστοιχα, το χαμηλότερο ποσοστό PA σημείωσαν οι τεχνητές επιφάνειες, 64%, εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας κυρίως ως γυμνό έδαφος και λιβάδια, όπως ήδη προαναφέρθηκε.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 30 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 85,1% και δείκτη K 0,841. Η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας είναι η συγχώνευση των κατηγοριών των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.



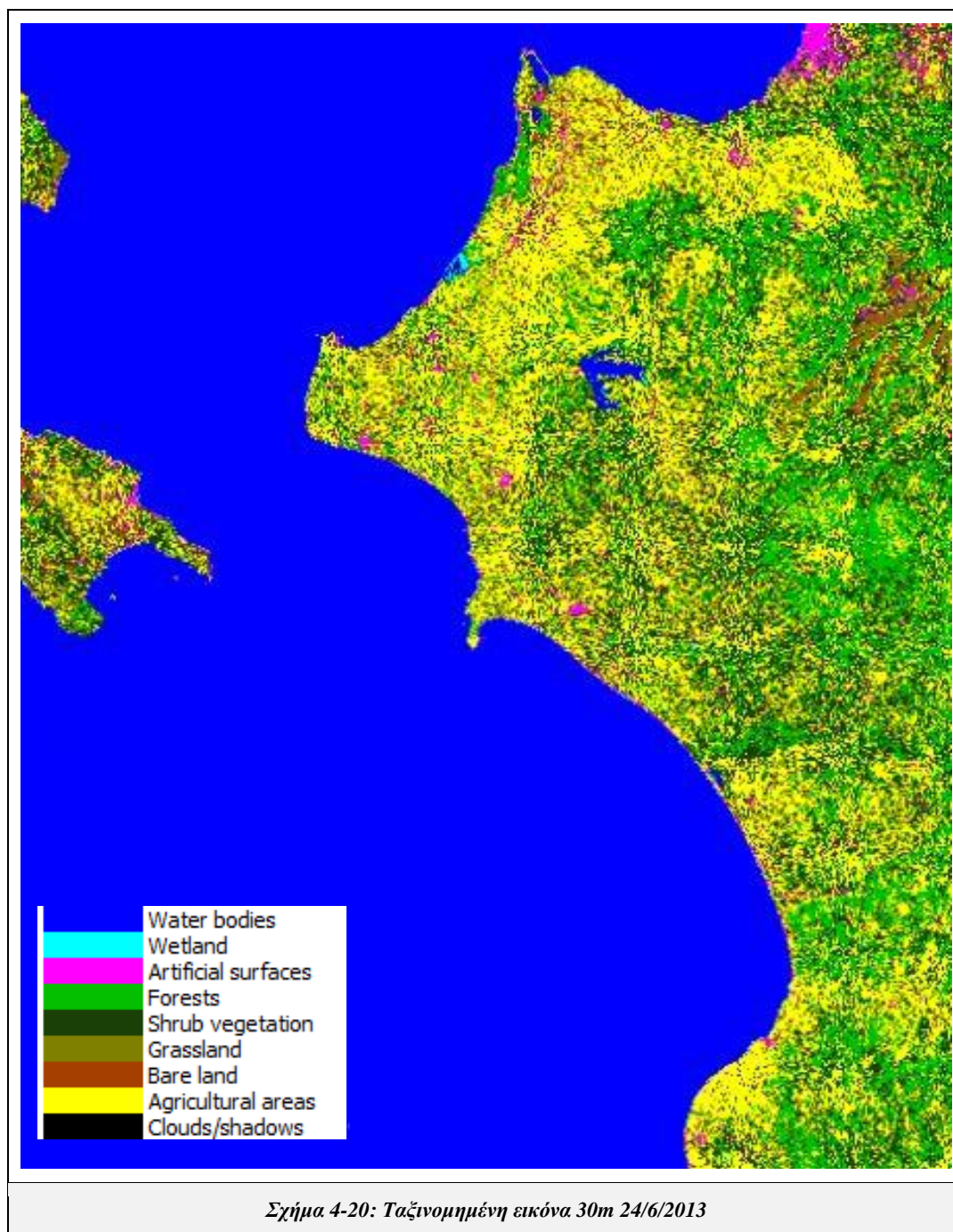
|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>856</b>     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 856         | 100,00 |
| Wetland   | 0              | <b>41</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 41          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 1         | <b>364</b>          | 0          | 0          | 5          | 19         | 0                  | 7               | 396         | 91,92  |
| Forests   | 0              | 0         | 0                   | <b>707</b> | 5          | 0          | 1          | 0                  | 0               | 713         | 99,16  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 34                  | 0          | <b>509</b> | 0          | 4          | 7                  | 0               | 554         | 91,88  |
| Grassland   | 0              | 0         | 65                  | 0          | 0          | <b>308</b> | 12         | 0                  | 0               | 385         | 80,00  |
| Bare land   | 0              | 0         | 86                  | 0          | 0          | 5          | <b>398</b> | 0                  | 0               | 489         | 81,39  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 19                  | 1          | 135        | 0          | 0          | <b>692</b>         | 0               | 847         | 81,70  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 1                   | 6          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>27</b>       | 34          | 79,41  |
| <b>Total</b>  | 856            | 42        | 569                 | 714        | 649        | 318        | 434        | 699                | 34              | <b>4315</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 97,62     | 63,97               | 99,02      | 78,43      | 96,86      | 91,71      | 99,00              | 79,41           |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 90,4%, Δείκτης K= 0,888</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-6: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

#### 4.1.2 Μοντέλο εκπαίδευσης ανά εποχή και ταξινόμηση με SVM

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων όπως προέκυψαν από χρήση στατιστικών μοντέλων που δημιουργήθηκαν με βάση τα πολύγωνα εκπαίδευσης των εικόνων ανά εποχή. Για τον λόγο αυτό τα πολύγωνα, που ψηφιοποιήθηκαν ξεχωριστά για κάθε εικόνα για τη δημιουργία των προηγούμενων μοντέλων, συνδυάστηκαν ανά δύο εικόνες, μια από κάθε έτος, ώστε να προκύψουν τα μοντέλα ανά εποχή.

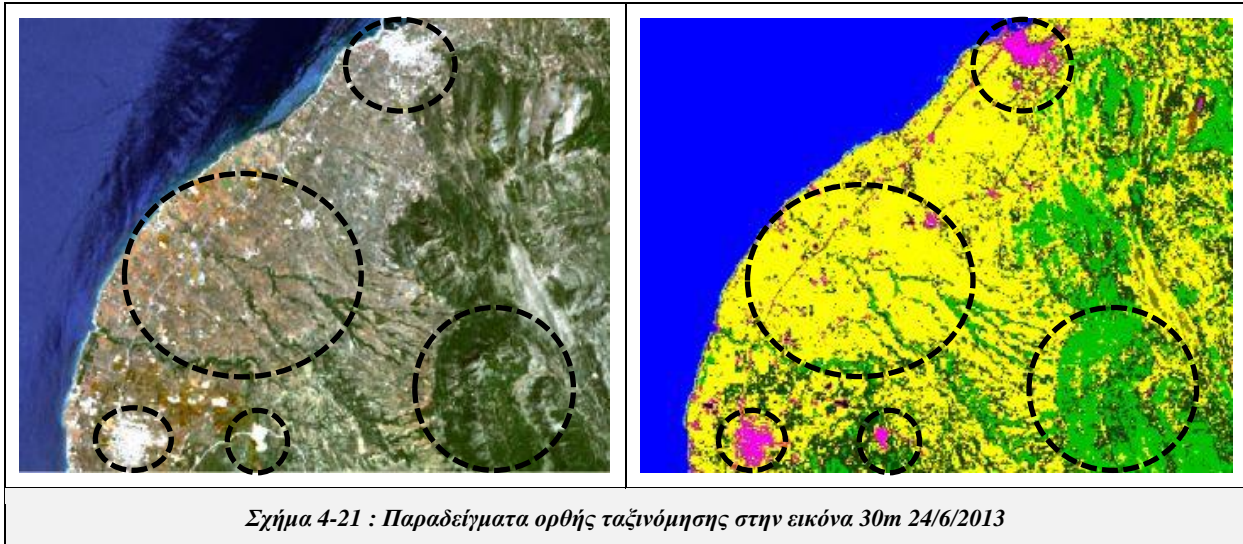
##### Ιούνιος – Ιούλιος: Εικόνες 24/6/2013 και 29/7/2014

Για την ταξινόμηση των εικόνων αυτών δημιουργήθηκε μοντέλο από 361 πολύγωνα εκπαίδευσης για 34 διαφορετικές κλάσεις.



Η εικόνα παραπάνω φαίνεται πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επιτυχώς σε όλη την εικόνα. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες και υπάρχει σε πολύ μικρό βαθμό σύγχυση με τη θαμνώδη βλάστηση. Επίσης, με μεγάλη επιτυχία ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, με εξαίρεση κάποια σημεία που ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια.

Ακολουθούν κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης στην συγκεκριμένη εικόνα όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση μέσω φωτοερμηνείας.



Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείται πως ο αστικός ιστός στο πάνω και κάτω μέρος της εικόνας αλλά και η περιοχή με ορυχεία στο κάτω μέρος ταξινομήθηκαν ορθά ως τεχνητές επιφάνειες. Επίσης, η περιοχή με καλλιέργειες και δάση ανάμεσα στους δύο αστικούς ιστούς εντοπίστηκε και ταξινομήθηκε ορθά, όπως και η περιοχή με δάση στο δεξί κάτω άκρο της εικόνας. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η συγκεκριμένη περιοχή ταξινομήθηκε με μεγάλη επιτυχία και έχουν αναγνωριστεί ορθά οι κλάσεις.

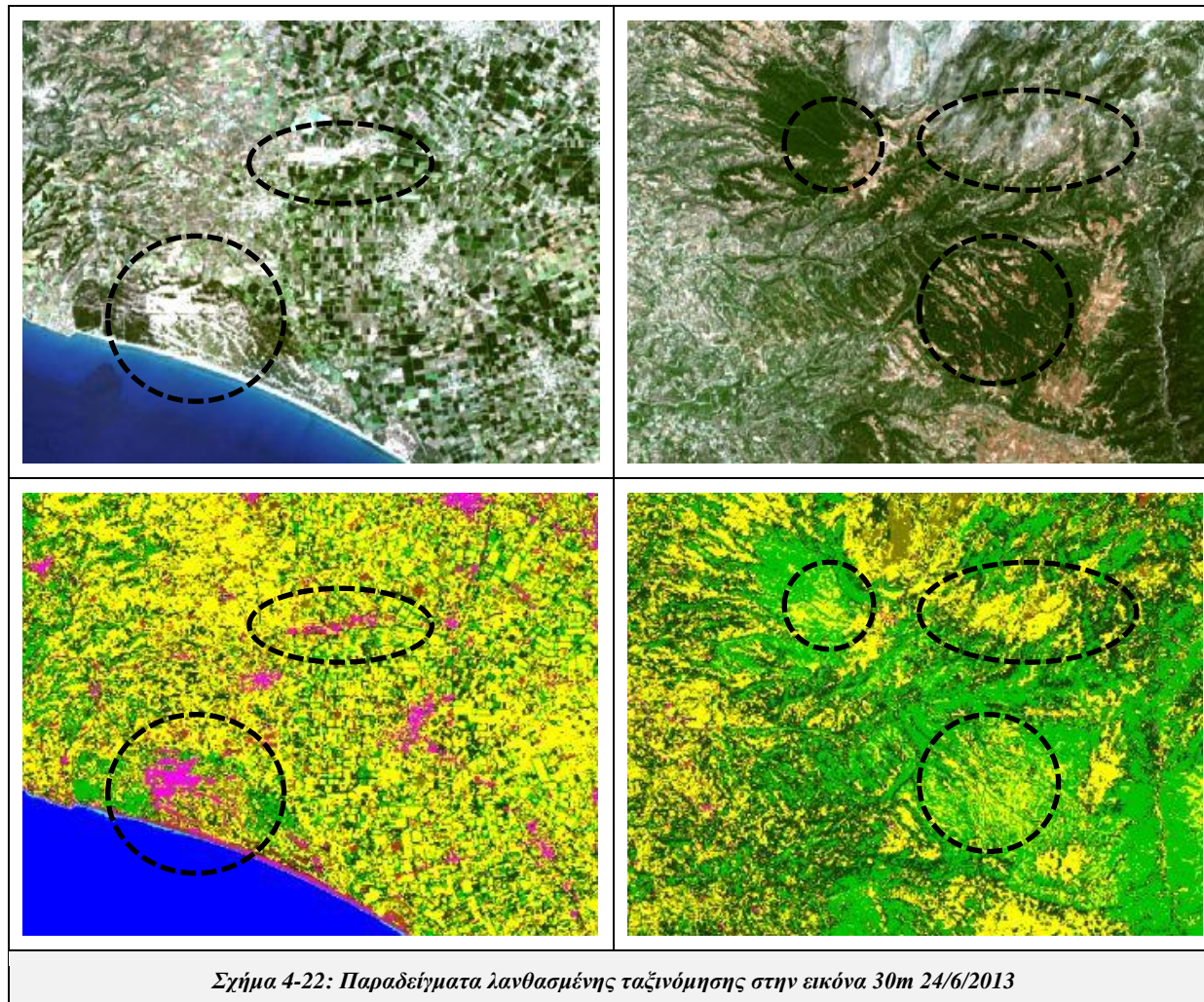
Σύμφωνα με την εικόνα αριστερά στο σχήμα 4-22 στο κάτω άκρο της εικόνας υπάρχει αμώδης περιοχή, η οποία λανθασμένα ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα παρατηρείται πως κάποιοι μικροί οικισμοί της περιοχής δεν έχουν ανιχνευθεί πλήρως και μερικές καλλιέργειες γύρω τους ταξινομήθηκαν ως δάση και θαμνώδης βλάστηση. Αντίστοιχα, στην εικόνα δεξιά του σχήματος διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις μη επαρκής εντοπισμός του δάσους και σύγχυση με την κλάση των καλλιεργειών, εξάγοντας έτσι το συμπέρασμα πως τη συγκεκριμένη περίοδο στην περιοχή υπάρχουν αρκετές καλλιέργειες ανεπτυγμένες, με όμοια φασματική υπογραφή με την πλούσια βλάστηση. Τέλος, στην ίδια εικόνα φαίνεται λανθασμένη ταξινόμηση θαμνώδους περιοχής ως καλλιέργειες.

Στον παρακάτω πίνακα σύγχυσης, ο οποίος υπολογίστηκε με βάση 84 πολύγωνα ελέγχου, αποδεικνύεται από τα στατιστικά πως η ταξινόμηση έχει αρκετά μεγάλη ακρίβεια, παρά τις μικρές αστοχίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 87,5% και 0,849 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι (99,6% UA και 100% PA) και σύννεφα/σκιές (97,7% UA και 100% PA) έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, τόσο PA, όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθούν η κατηγορία των υγροτόπων (100% UA και 90,9% PA), των δασών (90,7% UA και 86,4% PA) και των λιβαδιών (83,3% UA και 100% PA). Χαμηλότερα ποσοστά σημείωσε η θαμνώδης βλάστηση (79,5% UA και 73,4% PA) εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων καλλιεργειών ως θαμνώδης βλάστηση αλλά και αντίθετα. Το χαμηλότερο ποσοστό PA σημείωσε το γυμνό έδαφος με 53%, εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία ως τεχνητές επιφάνειες. Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία τεχνητές επιφάνειες, 95,1%, αν και το αντίστοιχο UA είναι χαμηλότερο,

78,5%, λόγω συμπεριλήψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους. Επίσης, παρατηρείται πως η κατηγορία καλλιέργειες (85,7% UA και 87,6% PA), σημείωσε γενικά πολύ καλά ποσοστά ακρίβειας.

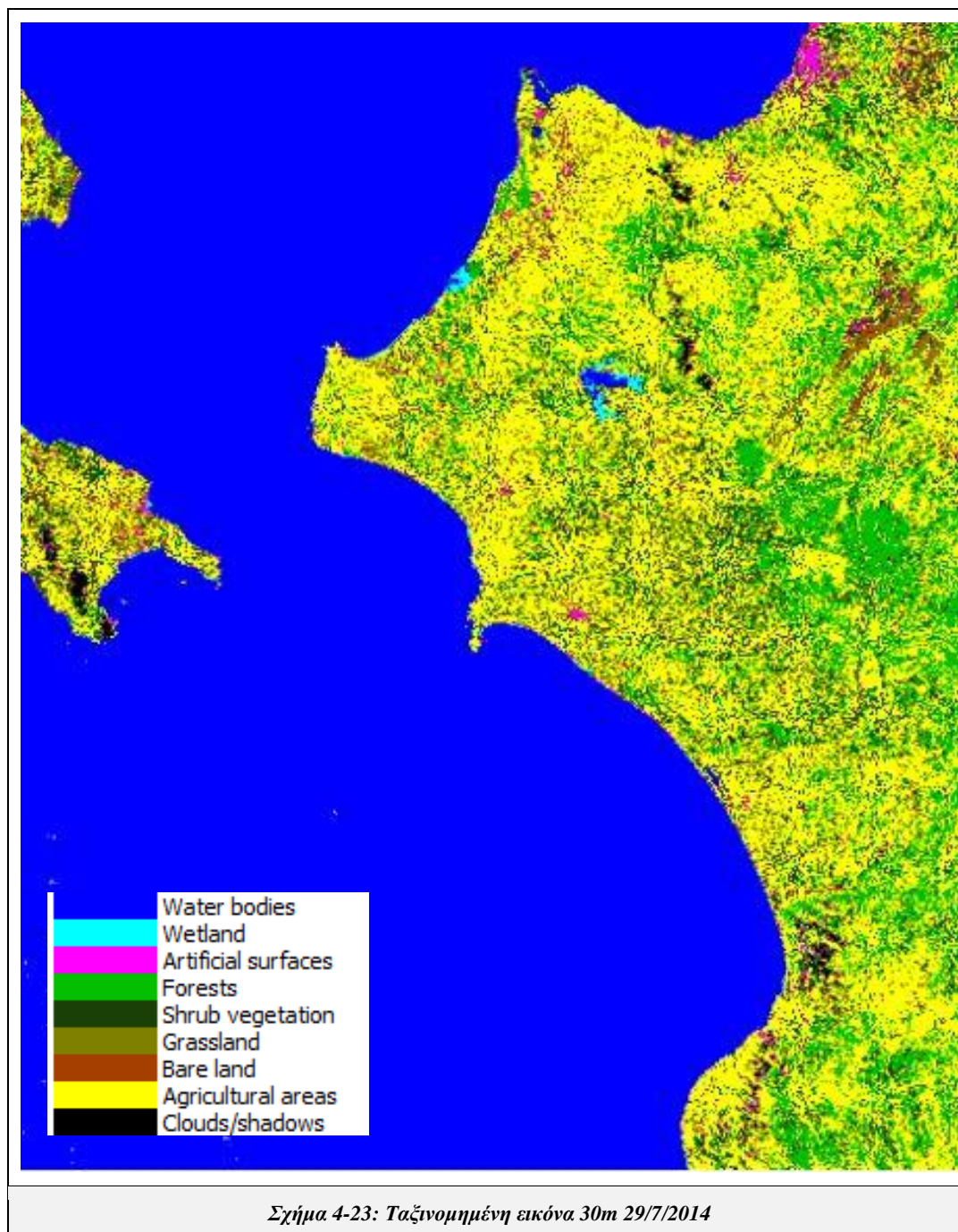
Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 78,4% και δείκτη K 0,771. Η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας είναι η συγχώνευση των κατηγοριών των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.



Σχήμα 4-22: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013

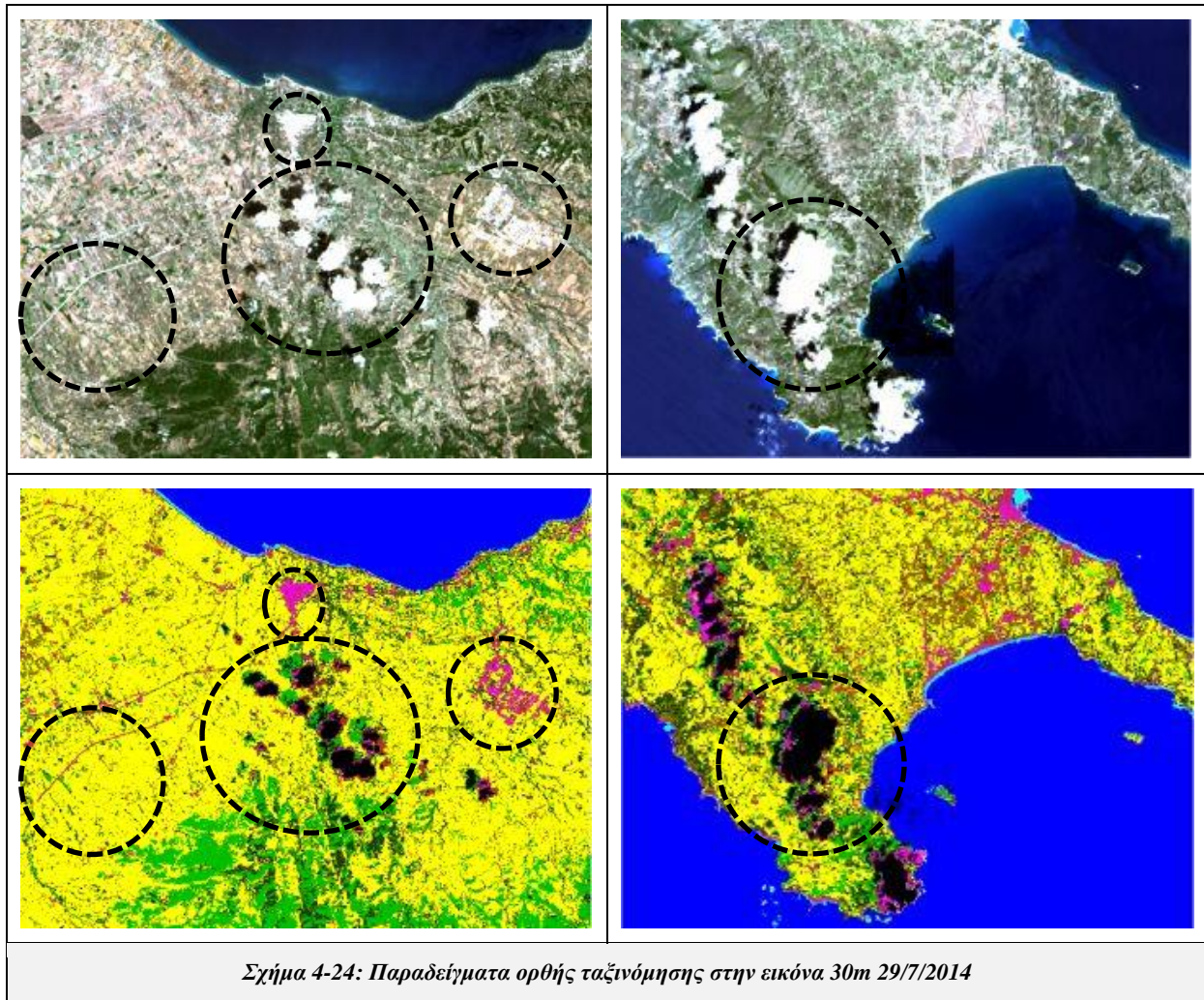
|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>758</b>     | 3         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 761         | 99,61  |
| Wetland   | 0              | <b>30</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 30          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 0         | <b>546</b>          | 0          | 0          | 0          | 144        | 6                  | 0               | 696         | 78,45  |
| Forests   | 0              | 0         | 0                   | <b>440</b> | 27         | 0          | 0          | 18                 | 0               | 485         | 90,72  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 6                   | 0          | <b>307</b> | 0          | 0          | 73                 | 0               | 386         | 79,53  |
| Grassland   | 0              | 0         | 8                   | 0          | 6          | <b>250</b> | 8          | 28                 | 0               | 300         | 83,33  |
| Bare land   | 0              | 0         | 10                  | 0          | 0          | 0          | <b>176</b> | 6                  | 0               | 192         | 91,67  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 3                   | 69         | 78         | 0          | 4          | <b>921</b>         | 0               | 1075        | 85,67  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 1                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>43</b>       | 44          | 97,73  |
| <b>Total</b>  | 758            | 33        | 574                 | 509        | 418        | 250        | 332        | 1052               | 43              | <b>3969</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 90,91     | 95,12               | 86,44      | 73,44      | 100,00     | 53,01      | 87,55              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 87,5%, Δείκτης K= 0,849</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-7: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

Ακολουθεί η ταξινόμηση της εικόνας στις 29/7/2014 η οποία εκτελέστηκε με το ίδιο μοντέλο με το οποίο εκτελέστηκε και η προηγούμενη ταξινόμηση.



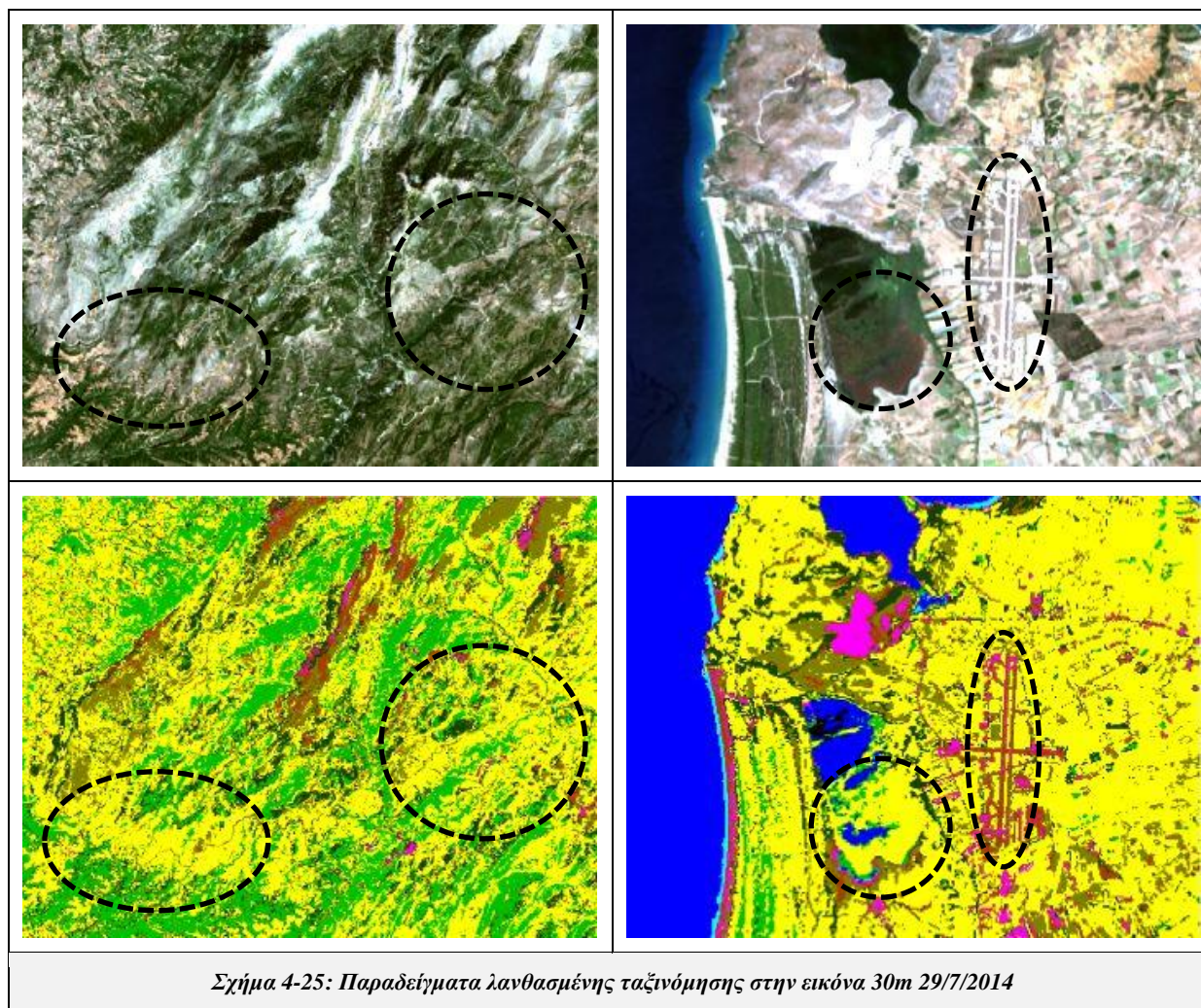
Παρατηρώντας το παραπάνω αποτέλεσμα ταξινόμησης, διαπιστώνεται ότι σε μεγάλο μέρος της εικόνας δεν διακρίνεται καθόλου θαμνώδης βλάστηση στις περιοχές όπου πραγματικά υφίσταται, οι οποίες είναι κυρίως γύρω από τα δάση, εφόσον αυτές ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Επιπλέον, διακρίνεται ότι οι τεχνητές επιφάνειες, αστικοί ιστοί, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι δεν εντοπίστηκαν πλήρως σε όλες τις περιοχές της εικόνας όπως φαίνεται στο σχήμα 4-25 παρακάτω. Επίσης, παρατηρείται πως το όρος Ερύμανθος ταξινομήθηκε επαρκώς ως γυμνό έδαφος και λιβάδια. Τέλος, φαίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά πλήθος σύννεφων που καλύπτουν την περιοχή.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια πιο συγκεκριμένα παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται να ταξινομήθηκαν επαρκώς οι τεχνητές επιφάνειες, οι οποίες στη συγκεκριμένη περιοχή αφορούν τον αστικό ιστό στο πάνω μέρος, τη βιομηχανική περιοχή στο δεξί άκρο και τον δρόμο στο αριστερό άκρο της εικόνας. Επιπλέον, τα σύννεφα στο κέντρο της εικόνας εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά σε μεγάλο βαθμό, σε αντίθεση όμως με τις σκιές τους οι οποίες ταξινομήθηκαν ως δάση. Τέλος, παρατηρείται πως οι καλλιέργειες της περιοχής ταξινομήθηκαν ορθά και δεν παρεμβάλλεται σε αυτές θαμνώδης βλάστηση. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, διαπιστώνεται ότι και σε αυτή την περίπτωση τα σύννεφα ταξινομήθηκαν ορθά όπως και οι σκιές τους.

Από το παρακάτω σχήμα και ιδιαίτερα από την αριστερή εικόνα διαπιστώνεται αυτό που προαναφέρθηκε ως γενικό συμπέρασμα παραπάνω, πως περιοχές θαμνώδους βλάστησης ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Επίσης, στη δεξιά εικόνα φαίνεται ένα αεροδρόμιο της περιοχής το οποίο δεν ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια, αλλά ως γυμνό έδαφος. Ταυτόχρονα, στην ίδια εικόνα διακρίνεται στα αριστερά του αεροδρομίου περιοχή δάσους που ταξινομήθηκε λανθασμένα ως καλλιέργεια.



Σχήμα 4-25: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014

Στον πίνακα σύγκρισης που βρίσκεται παρακάτω, και υπολογίστηκε με βάση 92 πολύγωνα ελέγχου, αποδεικνύεται από τα στατιστικά πως η ταξινόμηση έχει χαμηλή ακρίβεια στις κατηγορίες του γυμνού εδάφους και της θαμνώδους βλάστησης, όπως ήδη παρατηρήθηκε από την ποιοτική αξιολόγηση. Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 78,2% και 0,746 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, τόσο PA όσο και UA, 100%. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία σύννεφα/σκιές (99,6% UA και 100% PA). Υψηλά ποσοστά PA σημείωσαν οι κατηγορίες των δασών και καλλιέργειες, 98,7% και 89% αντίστοιχα. Τα χαμηλότερα ποσοστά PA έχουν οι τεχνητές επιφάνειες 64,5%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως γυμνό έδαφος, η θαμνώδης βλάστηση 40,8%, εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως καλλιέργειες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, και το γυμνό έδαφος 58%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως θαμνώδης βλάστηση και τεχνητές επιφάνειες. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε το γυμνό έδαφος με 63,4%, εξαιτίας της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των τεχνητών επιφανειών και η θαμνώδης βλάστηση, 63,8%, λόγω συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους.

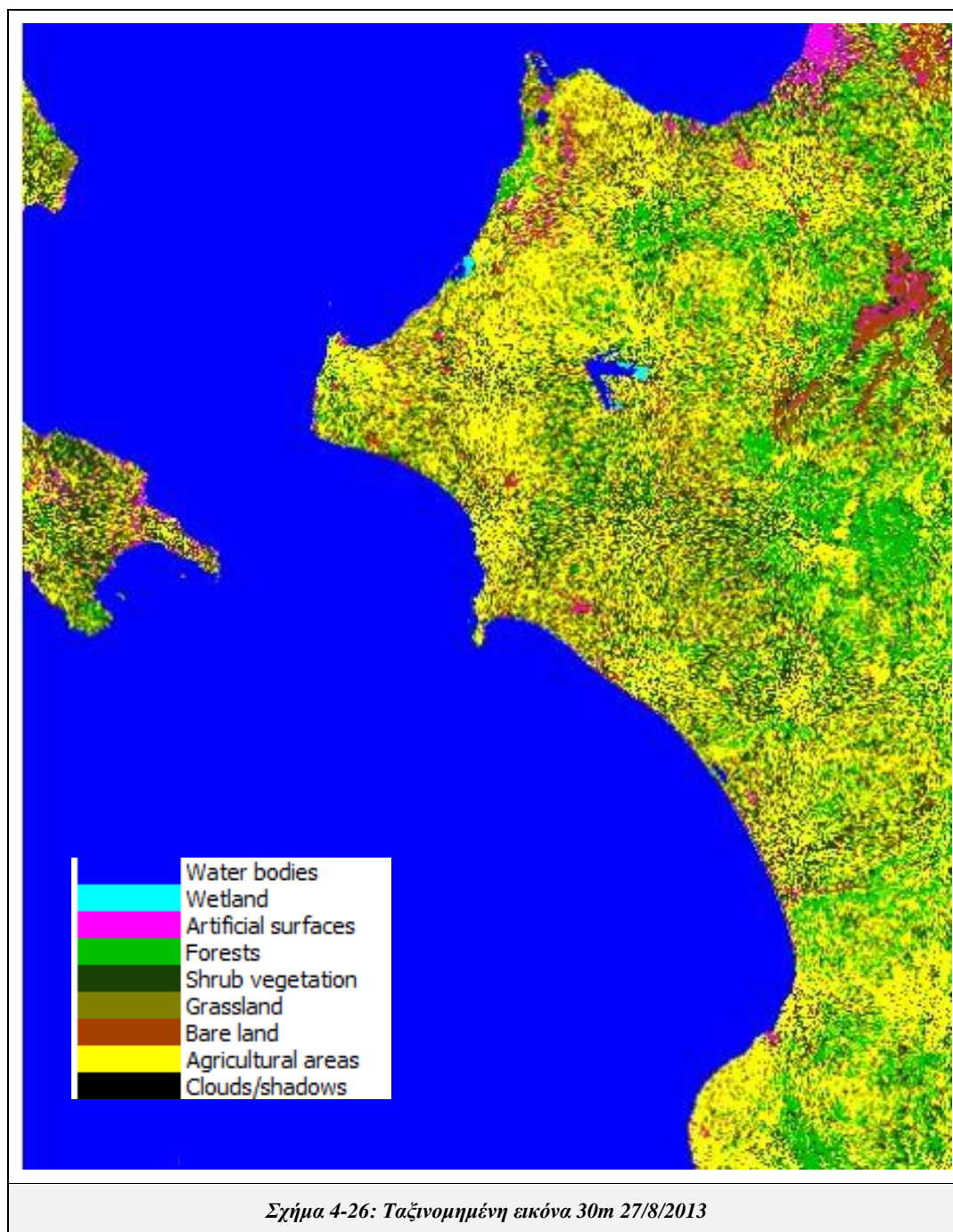
Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 73,4% και δείκτη K 0,721. Η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας είναι η συγχώνευση των κατηγοριών των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.



|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>776</b>     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 776         | 100,00 |
| Wetland   | 0              | <b>36</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 36          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 0         | <b>302</b>          | 0          | 0          | 0          | 91         | 0                  | 0               | 393         | 76,84  |
| Forests   | 0              | 0         | 0                   | <b>538</b> | 10         | 0          | 0          | 73                 | 0               | 621         | 86,63  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 8                   | 7          | <b>241</b> | 0          | 108        | 14                 | 0               | 378         | 63,76  |
| Grassland   | 0              | 0         | 23                  | 0          | 0          | <b>233</b> | 21         | 0                  | 0               | 277         | 84,12  |
| Bare land   | 0              | 0         | 122                 | 0          | 2          | 71         | <b>337</b> | 0                  | 0               | 532         | 63,35  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 12                  | 0          | 338        | 19         | 24         | <b>702</b>         | 0               | 1095        | 64,11  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 1                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>223</b>      | 224         | 99,55  |
| <b>Total</b>  | 776            | 36        | 468                 | 545        | 591        | 323        | 581        | 789                | 223             | <b>4332</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 100,00    | 64,53               | 98,72      | 40,78      | 72,14      | 58,00      | 88,97              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 78,2%, Δείκτης K= 0,746</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-8: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

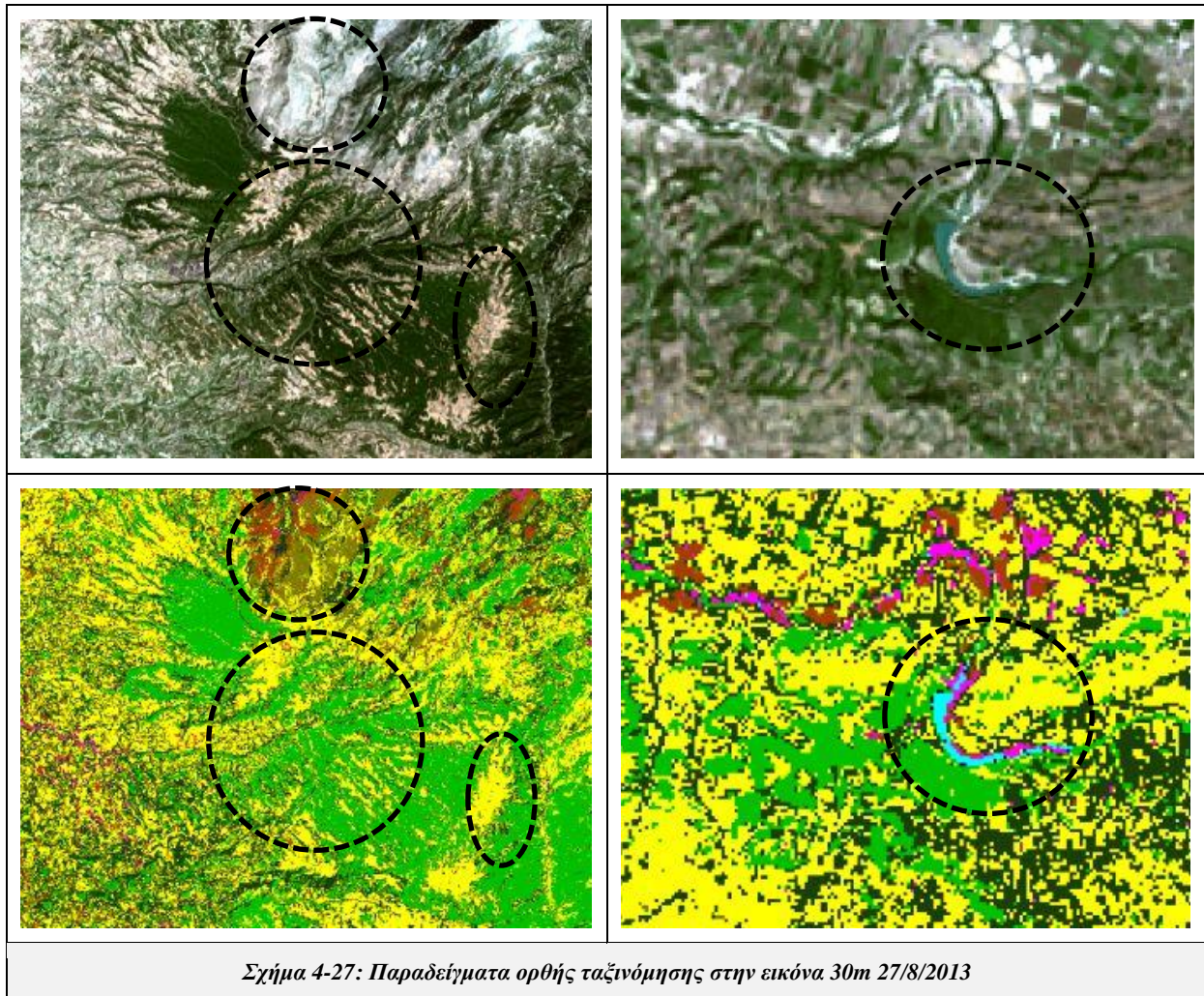
**Αύγουστος: Εικόνες 27/8/2013 και 14/8/2014**

Για την ταξινόμηση των εικόνων αυτών δημιουργήθηκε μοντέλο από 328 πολύγωνα εκπαίδευσης για 32 διαφορετικές κλάσεις.



Η εικόνα παραπάνω φαίνεται πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν σε όλη την εικόνα, εκτός από κάποιους μικρούς οικισμούς, όπως φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 4-28. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες και υπάρχει σε πολύ μικρό βαθμό σύγχυση με τη θαμνώδη βλάστηση, κυρίως γύρω από τον οικισμό της Πάτρας, στο πάνω δεξί άκρο της εικόνας. Επίσης, μέτρια ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, εφόσον περιοχές γυμνού εδάφους αποδόθηκαν ως τεχνητή επιφάνεια.

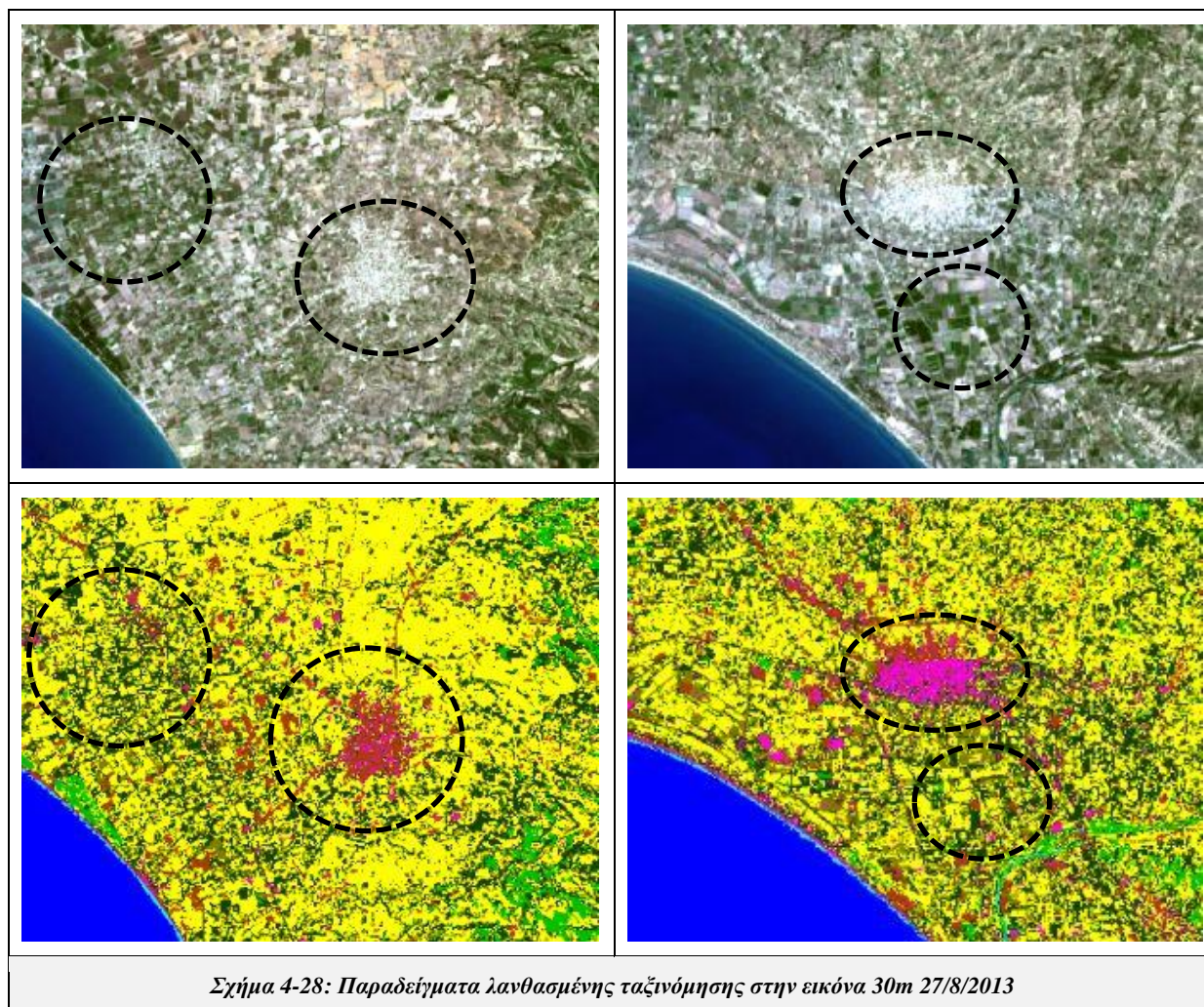
Παρακάτω ακολουθούν κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία.



Σχήμα 4-27: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013

Στο παραπάνω σχήμα και στην εικόνα αριστερά, διακρίνεται πως στη συγκεκριμένη περιοχή υπάρχουν διάφορες κατηγορίες κάλυψης γης όπως δάση, καλλιέργειες, θαμνώδης βλάστηση, λιβάδια και γυμνό έδαφος, και όλες εντοπίστηκαν και διαχωρίστηκαν μεταξύ τους οδηγώντας σε ορθή ταξινόμηση. Όσο αφορά τη δεξιά εικόνα, παρατηρείται ένα μέρος ενός ποταμιού της περιοχής το οποίο ταξινομήθηκε ως υγρότοπος. Αυτό οφείλεται, όπως φαίνεται και στην αρχική εικόνα, στο γεγονός πως το ποτάμι δεν είναι αρκετά καθαρό ώστε να ταξινομηθεί ως υδάτινος όγκος. Επιπλέον, γύρω από το ποτάμι διακρίνονται κάποιες περιοχές δάσους οι οποίες ταξινομήθηκαν εξίσου ορθά.

Στο σχήμα 4-28 που βρίσκεται παρακάτω, διακρίνονται και στις δύο εικόνες, περιοχές καλλιεργειών που αποδόθηκαν λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση, λόγω της έντονης ανάπτυξης των εν λόγω καλλιεργειών τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Ακόμη, παρατηρούνται και στις δύο εικόνες λανθασμένες φασματικές τιμές στην αρχική εικόνα, το οποίο προκαλεί λανθασμένη ταξινόμηση μέρους των αστικών ιστών ως γυμνό έδαφος, στο συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας.



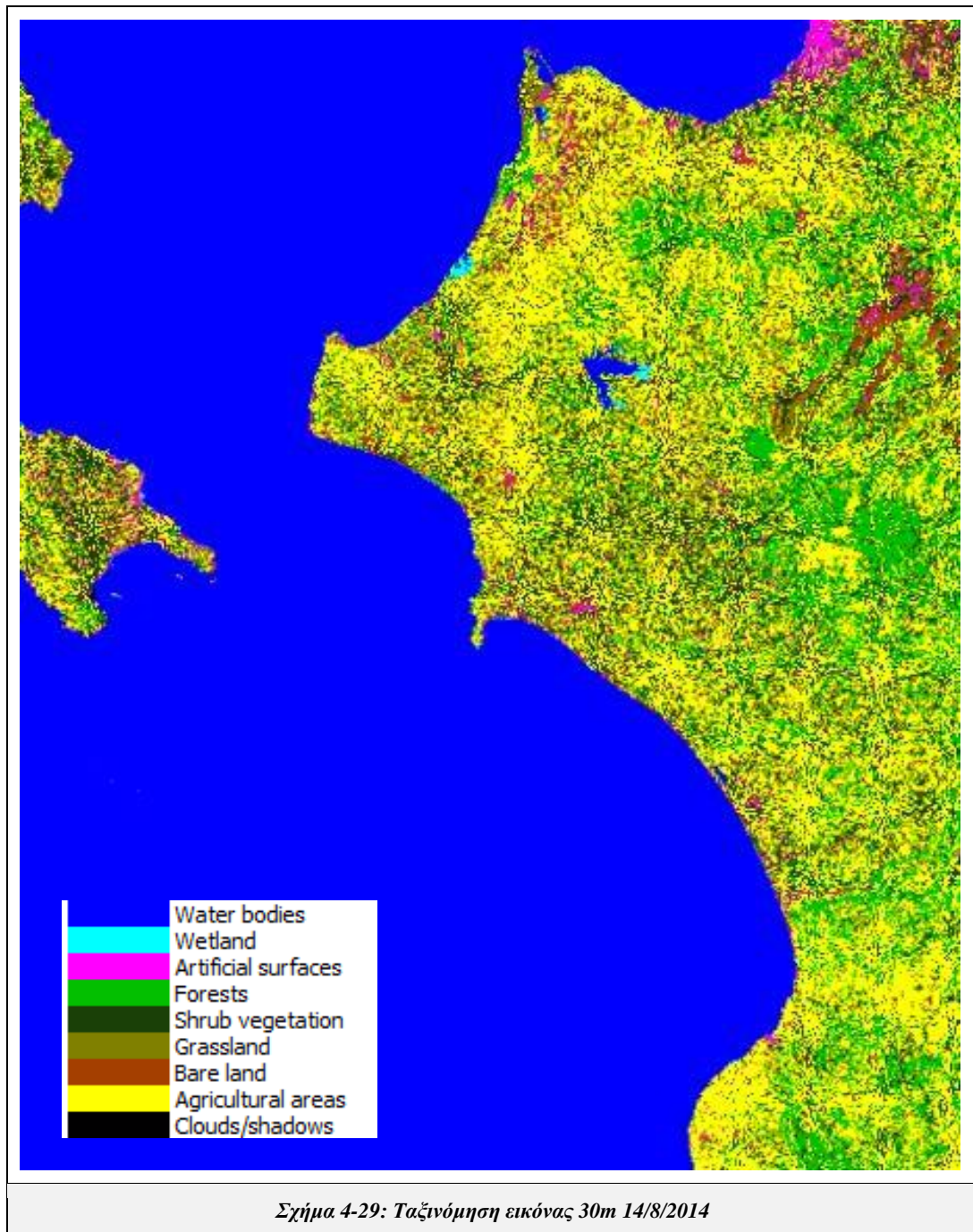
Παρακάτω βρίσκεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης, ο οποίος υπολογίστηκε με βάση 96 πολύγωνα ελέγχου, και αποδεικνύεται στατιστικά πως η ταξινόμηση έχει αρκετά καλή ακρίβεια, ανεξάρτητα από τις αστοχίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί πως στις περιοχές που υπάρχουν προβλήματα από την αρχική εικόνα δεν έχουν παρθεί πολύγωνα ελέγχου, επειδή τα λάθη που προκύπτουν στην ταξινόμηση δεν οφείλονται σε λάθος του μοντέλου.

Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 91,1% και 0,895 αντίστοιχα. Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι (99,8% UA και 100% PA), υγρότοποι (100% UA και 93% PA) και σύννεφα/σκιές (94,4% UA και 100% PA) έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, τόσο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθούν τα δάση (95,9% UA και 99,6% PA). Υψηλά ποσοστά PA σημείωσαν οι κατηγορίες λιβάδια και γυμνό έδαφος, 90,4% και 91,6% αντίστοιχα. Επίσης, υψηλά ποσοστά UA σημείωσαν οι τεχνητές επιφάνειες και η θαμνώδης βλάστηση, 90,3% και 89,1% αντίστοιχα. Το χαμηλότερο ποσοστό PA έχει η θαμνώδης βλάστηση 80,3%, εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως καλλιέργειες. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία λιβάδια 76,6%, εξαιτίας της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των καλλιεργειών. Σε γενικές γραμμές διαπιστώνεται πως όλες οι κατηγορίες σημείωσαν πολύ υψηλά ποσοστά ακρίβειας.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 32 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 86,5% και δείκτη K 0,857. Η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας είναι η συγχώνευση των κατηγοριών των καλλιεργειών και σε αυτή την περίπτωση.

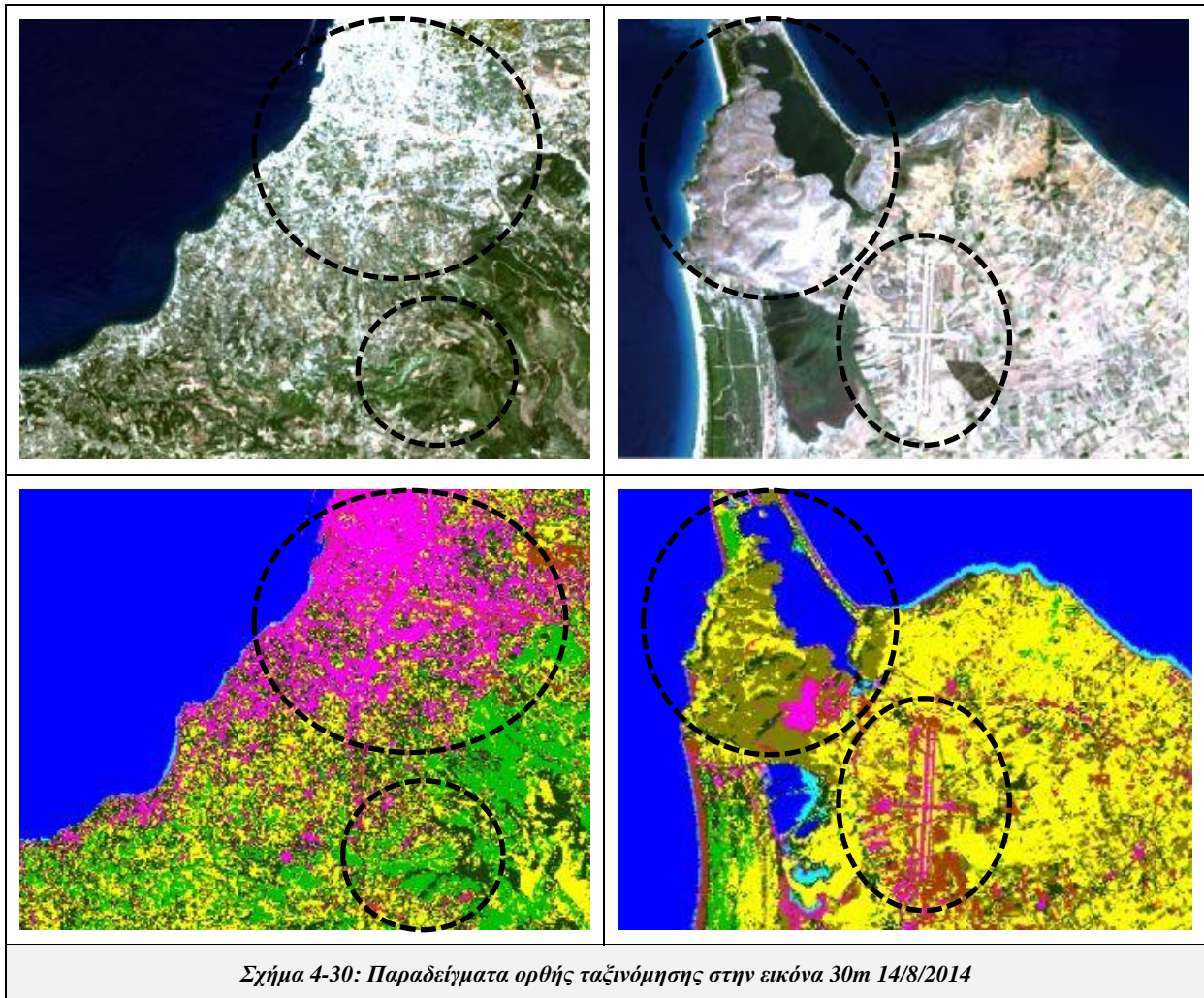
|   | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|---|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|   | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>   |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies  | <b>859</b>     | 2         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 861         | 99,77  |
| Wetland   | 0              | <b>40</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 40          | 100,00 |
| Artificial surfaces   | 0              | 0         | <b>325</b>          | 0          | 2          | 0          | 31         | 2                  | 0               | 360         | 90,28  |
| Forests   | 0              | 1         | 0                   | <b>518</b> | 19         | 0          | 0          | 2                  | 0               | 540         | 95,93  |
| Shrubland   | 0              | 0         | 3                   | 0          | <b>492</b> | 4          | 2          | 51                 | 0               | 552         | 89,13  |
| Grassland   | 0              | 0         | 2                   | 0          | 12         | <b>246</b> | 11         | 50                 | 0               | 321         | 76,64  |
| Bare land   | 0              | 0         | 38                  | 0          | 0          | 0          | <b>481</b> | 14                 | 0               | 533         | 90,24  |
| Agricultural areas  | 0              | 0         | 3                   | 1          | 88         | 22         | 0          | <b>739</b>         | 0               | 853         | 86,64  |
| Cloud / shadows   | 0              | 0         | 0                   | 1          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>17</b>       | 18          | 94,44  |
| <b>Total</b>  | 859            | 43        | 371                 | 520        | 613        | 272        | 525        | 858                | 17              | <b>4078</b> |        |
| <b>PA (%)</b>   | 100,00         | 93,02     | 87,60               | 99,62      | 80,26      | 90,44      | 91,62      | 86,13              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 91,1%, Δείκτης K= 0,895</b>                              |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-9: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

Ακολουθεί η ταξινόμηση της εικόνας στις 14/8/2014 η οποία εκτελέστηκε με το ίδιο μοντέλο με το οποίο εκτελέστηκε και η προηγούμενη ταξινόμηση.



Η εικόνα παραπάνω φαίνεται πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν σε όλη την εικόνα, εκτός από κάποιους μικρούς οικισμούς και το αεροδρόμιο που φαίνεται στο σχήμα 4-31. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες και υπάρχει σε πολύ μικρό βαθμό σύγχυση με τη θαμνώδη βλάστηση. Επίσης, μέτρια ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, εφόσον περιοχές γυμνού εδάφους σε αυτόν αποδόθηκαν ως τεχνητή επιφάνεια. Τέλος, διακρίνεται στα δεξιά του οικισμού της Πάτρας στο πάνω δεξί άκρο της εικόνας, περιοχή γυμνού εδάφους και λιβαδιών, ταξινομημένη ως τεχνητή επιφάνεια.

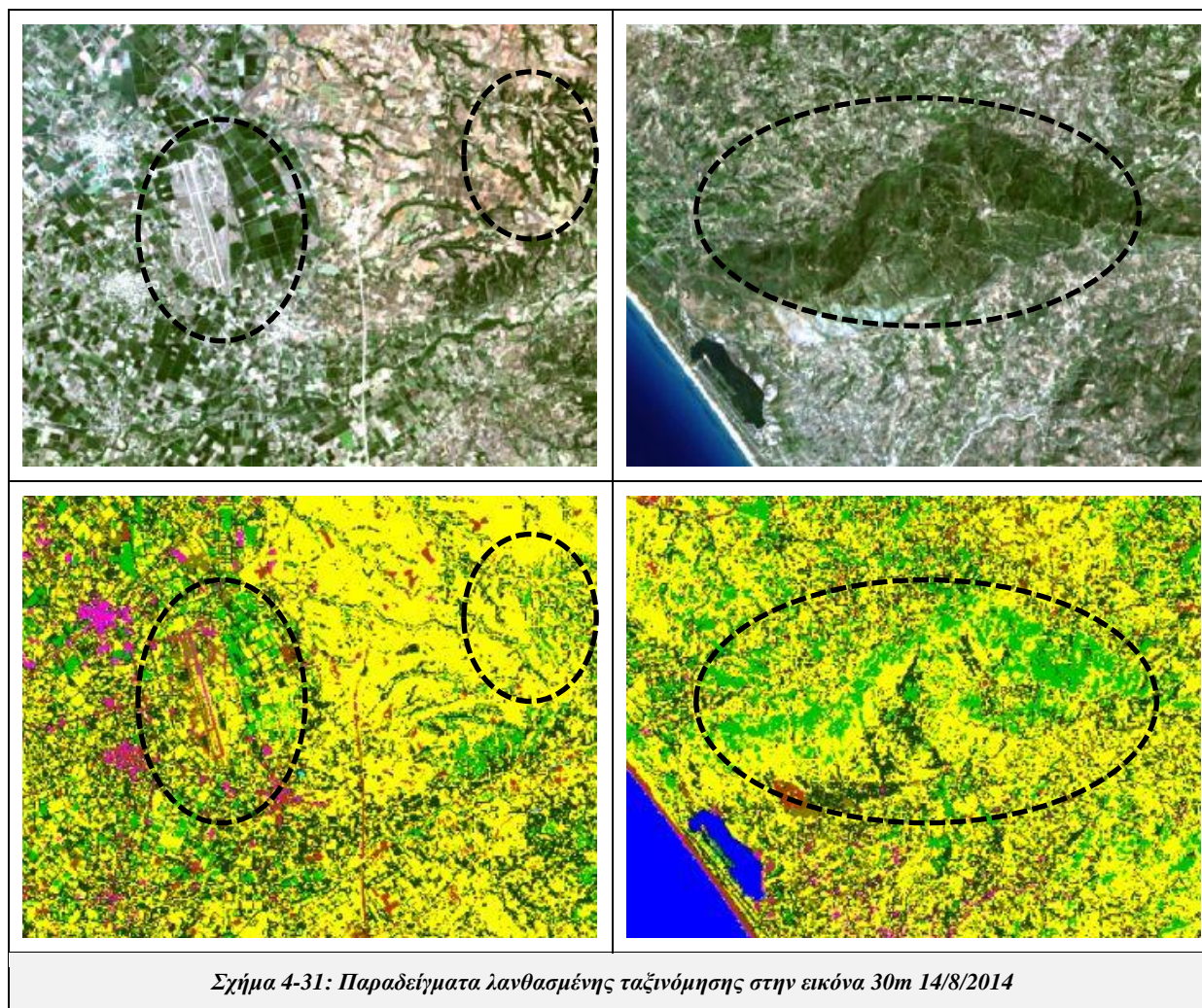
Παρακάτω ακολουθούν κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία.



Σχήμα 4-30: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014

Στην εικόνα αριστερά του παραπάνω σχήματος παρατηρείται πως ο οικισμός της Πάτρας ταξινομήθηκε ορθά, όπως και οι δρόμοι γύρω από αυτόν. Επίσης, κάτω από τον οικισμό φαίνεται περιοχή δάσους και θαμνώδους βλάστησης που αποδόθηκε ορθά. Όσο αφορά τη δεξιά εικόνα, σε αυτή διακρίνεται ένα αεροδρόμιο, που αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια κι η περιοχή γύρω από αυτό ως καλλιέργειες. Επιπλέον, λίγο παραπάνω γίνεται αντιληπτή μια περιοχή με λίμνη, ορυχείο στα αριστερά και λιβάδια γύρω από αυτό, που επίσης εντοπίστηκε και ταξινομήθηκε ορθά.

Στο σχήμα 4-31 παρακάτω φαίνεται στην εικόνα αριστερά ένα άλλο αεροδρόμιο, μέρος του οποίου ταξινομήθηκε ως γυμνό έδαφος και όχι ως τεχνητή επιφάνεια. Ταυτόχρονα, οι καλλιέργειες στα δεξιά του αεροδρομίου ταξινομήθηκαν ως δάση, λόγω της έντονης ανάπτυξης τους και της όμοιας φασματικής τους υπογραφής. Αντίθετα, στο δεξί άκρο της ίδιας εικόνας και στην εικόνα δεξιά παρατηρείται πως τα δάση των συγκεκριμένων περιοχών δεν εντοπίστηκαν ορθά και ταξινομήθηκαν ως καλλιέργειες.



Ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, που φαίνεται παρακάτω, υπολογίστηκε με βάση 84 πολύγωνα ελέγχου, και μέσω αυτού αποδεικνύεται και στατιστικά πως η ταξινόμηση έχει αρκετά καλή ακρίβεια, ανεξάρτητα από τις αστοχίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 86,8% και 0,846 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι, υγρότοποι και σύννεφα/σκιές έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθούν τα λιβάδια (89,4% UA και 96,5% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία των δασών, 99,7%, αν και όπως έχει ήδη αναφερθεί σε κάποιες περιοχές υπάρχουν εικονοστοιχεία δάσους που δεν ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αυτή. Επίσης, υψηλό ποσοστό UA σημείωσε η θαμνώδης βλάστηση, 93,1%, αν και σημείωσε το χαμηλότερο ποσοστό PA, 69%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία αυτή κυρίως ως δάση και καλλιέργειες. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε το γυμνό έδαφος, 73,7%, εξαιτίας της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των τεχνητών επιφανειών.

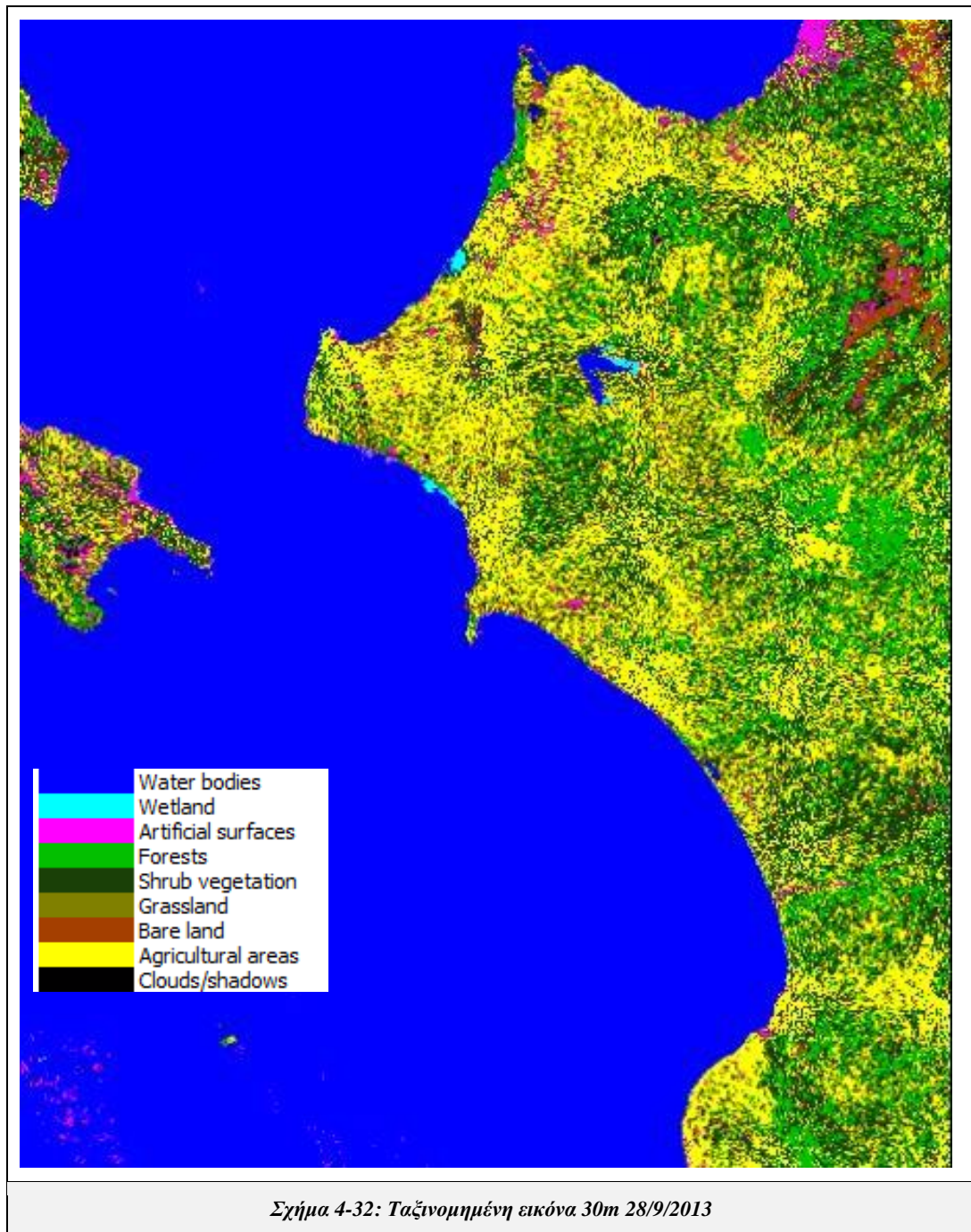
Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 32 υποκατηγορίες, ήταν πολύ χαμηλότερη και συγκεκριμένα 80,1% και δείκτη K 0,791. Η κύρια αιτία που οδήγησε στην αύξηση της ακρίβειας είναι η συγχώνευση των κατηγοριών των καλλιεργειών και των τεχνητών επιφανειών και σε αυτή την περίπτωση.



| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>712</b>   | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 712          | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>40</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 40           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>433</b>          | 0          | 15         | 1          | 87         | 10                 | 0               | 546          | 79,30         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>609</b> | 45         | 0          | 0          | 49                 | 0               | 703          | 86,63         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 1                   | 0          | <b>298</b> | 0          | 3          | 18                 | 0               | 320          | 93,13         |
| Grassland  | 0            | 0         | 2                   | 0          | 0          | <b>303</b> | 8          | 26                 | 0               | 339          | 89,38         |
| Bare land  | 0            | 0         | 106                 | 0          | 1          | 10         | <b>423</b> | 34                 | 0               | 574          | 73,69         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 7                   | 2          | 73         | 0          | 5          | <b>480</b>         | 0               | 567          | 84,66         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>24</b>       | 24           | 100,00        |
| <b>Total</b>   | 712          | 40        | 549                 | 611        | 432        | 314        | 526        | 617                | 24              | <b>3825</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 100,00    | 78,87               | 99,67      | 68,98      | 96,50      | 80,42      | 77,80              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 86,8%, Δείκτης K= 0,846</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-10: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

**Σεπτέμβριος – Οκτώβριος: Εικόνες 28/9/2013 και 1/10/2014**

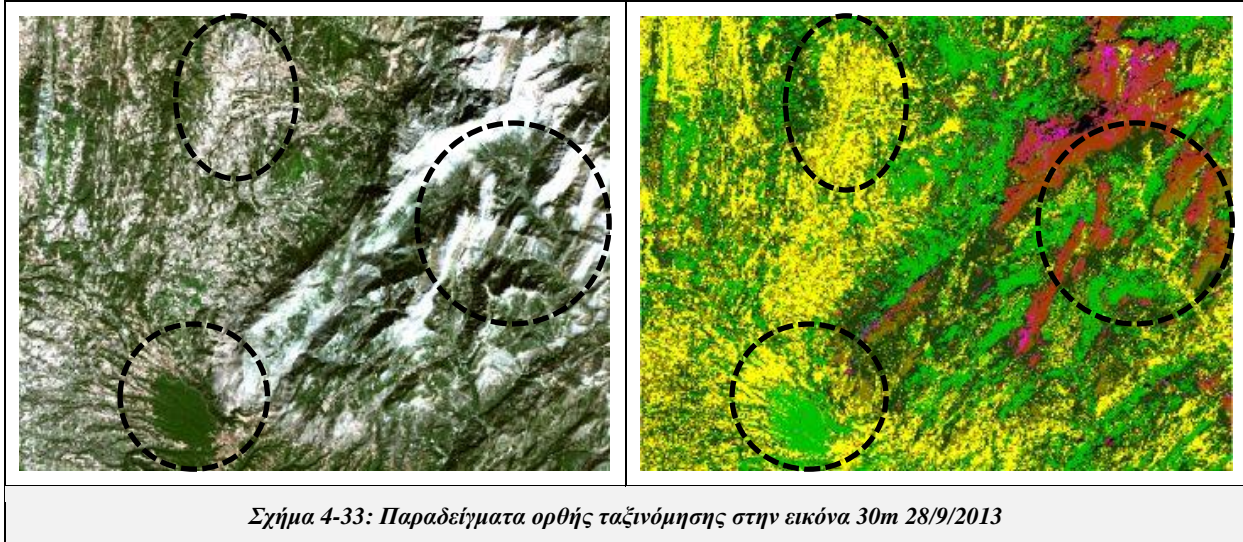
Για την ταξινόμηση των εικόνων αυτών δημιουργήθηκε μοντέλο από 262 πολύγωνα εκπαίδευσης για 30 διαφορετικές κλάσεις.



Η εικόνα παραπάνω φαίνεται πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Γενικά, διακρίνεται πως λίγο πάνω από το κέντρο της εικόνας υπάρχει αραιή συννεφοκάλυψη, η οποία και σε αυτή την περίπτωση δεν μπόρεσε να ανιχνευθεί από το μοντέλο, με αποτέλεσμα μέρος της εικόνας που επηρεάζεται από αυτήν να έχει ταξινομηθεί λανθασμένα. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά σε όλη την εικόνα, εκτός από την περιοχή που προαναφέρθηκε. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες και υπάρχει σε πολύ μικρό βαθμό σύγχυση με τη θαμνώδη βλάστηση. Επίσης, με επιτυχία ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος, και οι γειτονικές του

περιοχές, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-33 παρακάτω. Τέλος, παρατηρείται πως τα σύννεφα δεν ταξινομήθηκαν ορθά, αλλά μέρος τους αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια, όπως φαίνεται στο κάτω αριστερό μέρος της ταξινομημένης εικόνας.

Παρακάτω φαίνονται μερικά παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης με περισσότερη λεπτομέρεια, όπως προέκυψαν από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία.



Σχήμα 4-33: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013

Από το σχήμα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως σε αυτήν την εικόνα η περιοχή γύρω από το όρος ταξινομήθηκε επιτυχώς. Συγκεκριμένα, αποδόθηκε ορθά τόσο το δάσος και η θαμνώδης βλάστηση, όσο και τα λιβάδια και το γυμνό έδαφος. Επίσης, διακρίνεται ότι υπάρχει σύγχυση σε κάποια σημεία με τις τεχνητές επιφάνειες, και ότι διαχωρίστηκε η θαμνώδης βλάστηση από τις καλλιέργειες σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον, στο πάνω μέρος της εικόνας ταξινομήθηκαν ορθά πλήθος καλλιεργειών που βρίσκεται ανάμεσα σε περιοχές θαμνώδους βλάστησης. Τέλος, στο κάτω μέρος της εικόνας, φαίνεται ότι η περιοχή δάσους ταξινομήθηκε ορθά και δεν υπάρχει σύγχυση με καλλιέργειες.

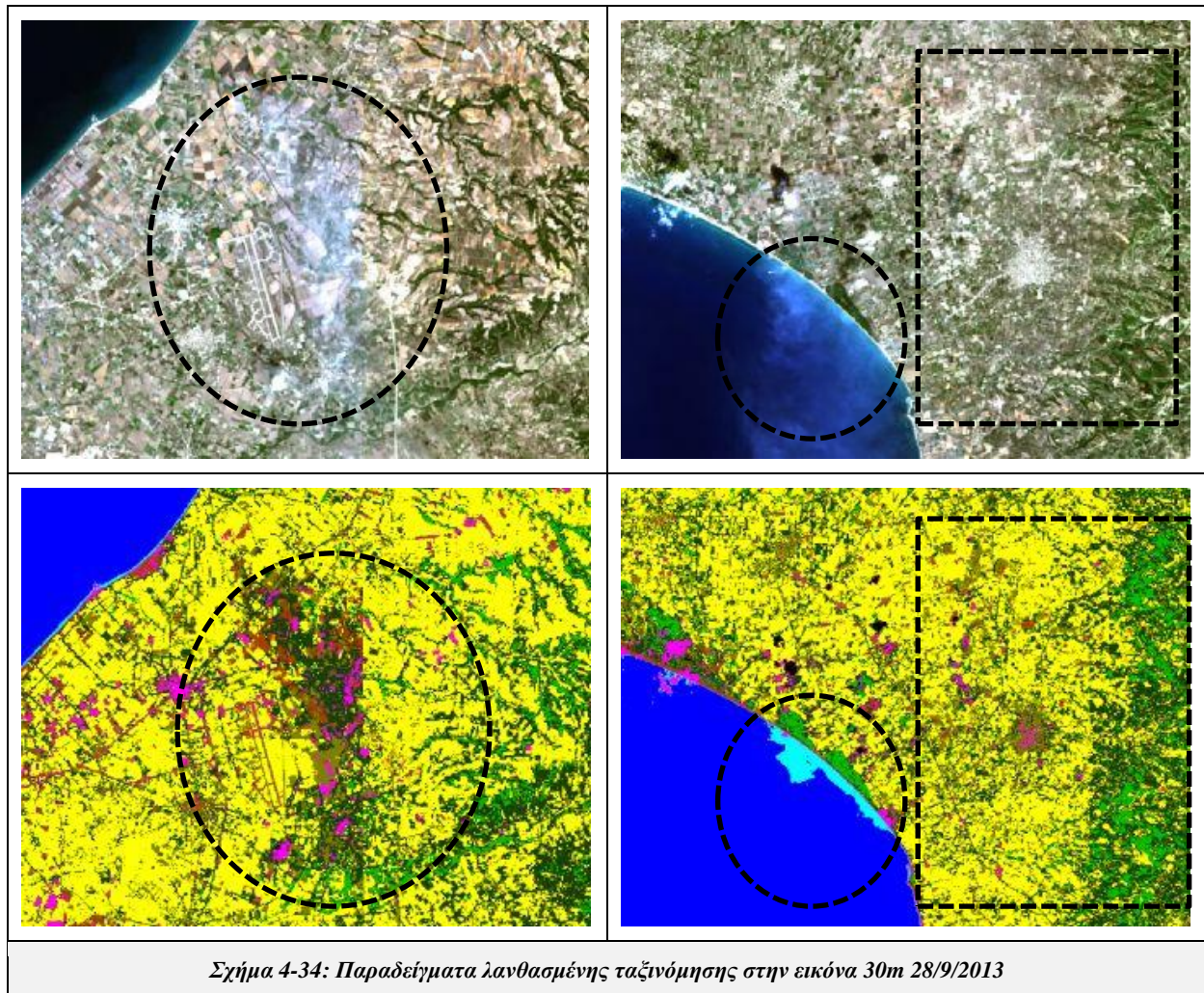
Στο σχήμα παρακάτω και στην εικόνα αριστερά είναι εμφανής η αστοχία που περιγράφηκε πιο πάνω, λόγω της αραιής συννεφοκάλυψης. Συγκεκριμένα, η περιοχή φαίνεται να καλύπτεται από καλλιέργειες, αλλά ταξινομήθηκε λανθασμένα ως τεχνητή επιφάνεια, θαμνώδης βλάστηση, γυμνό έδαφος και λιβάδια. Επιπλέον, το αεροδρόμιο που υπάρχει στην περιοχή και κάποιοι μικροί αστικοί ιστοί λίγο παρακάτω δεν εντοπίστηκαν ορθά και αποδόθηκαν ως λιβάδια. Στην εικόνα δεξιά διακρίνεται πως η αραιή συννεφοκάλυψη φτάνει μέχρι και την περιοχή της θάλασσας και μέρος της ταξινομήθηκε λανθασμένα ως υγρότοπος. Επίσης, στην ίδια εικόνα παρατηρείται το πρόβλημα με τις τιμές της αρχικής εικόνας που έχει ήδη αναφερθεί, και πως αυτό επηρεάζει την ταξινόμηση. Όπως φαίνεται, υπάρχει σύγχυση των φασματικών τιμών μεταξύ καλλιεργειών και θαμνώδους βλάστησης και μεταξύ τεχνητών επιφανειών και λιβαδιών.

Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, ο οποίος υπολογίστηκε με βάση 76 πολύγωνα ελέγχου, και μέσω αυτού αποδεικνύεται και στατιστικά πως η ταξινόμηση έχει αρκετά καλή ακρίβεια, ανεξάρτητα από τις αστοχίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί πως στις περιοχές που υπάρχουν προβλήματα από την αρχική εικόνα και στην περιοχή της συννεφοκάλυψης δεν έχουν παρθεί πολύγωνα ελέγχου και σε αυτή την περίπτωση, επειδή τα λάθη που προκύπτουν στην ταξινόμηση δεν οφείλονται σε λάθος του μοντέλου.

Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 88,1% και 0,861 αντίστοιχα. Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας 100%, τόσο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία δάση (97,1% UA και 97,5% PA), η κατηγορία σύννεφα/σκιές (90,3% UA και 100% PA) και οι τεχνητές επιφάνειες (96,8% UA και 89,1% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία των καλλιεργειών 93,1%, όμως το

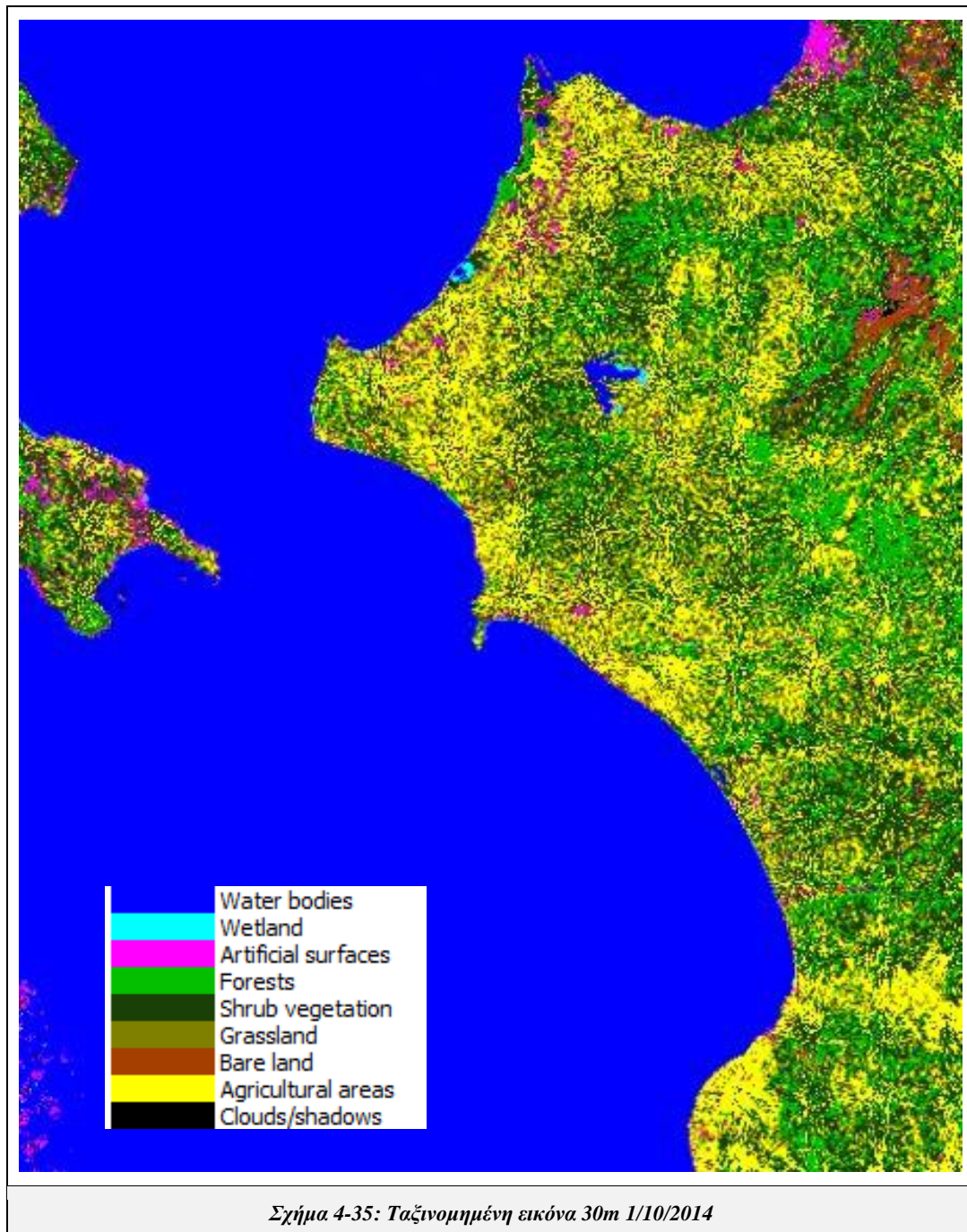
αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 76,1%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης. Επίσης, υψηλό ποσοστό UA σημείωσε το γυμνό έδαφος 84,2%, αν και σημείωσε χαμηλό ποσοστό PA, 73,7%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία αυτή ως λιβάδια. Το χαμηλότερο ποσοστό PA σημείωσε η θαμνώδης βλάστηση, 67%, εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως καλλιέργειες.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 30 υποκατηγορίες, ήταν ελάχιστα χαμηλότερη και συγκεκριμένα 86,8% και δείκτη K 0,860.



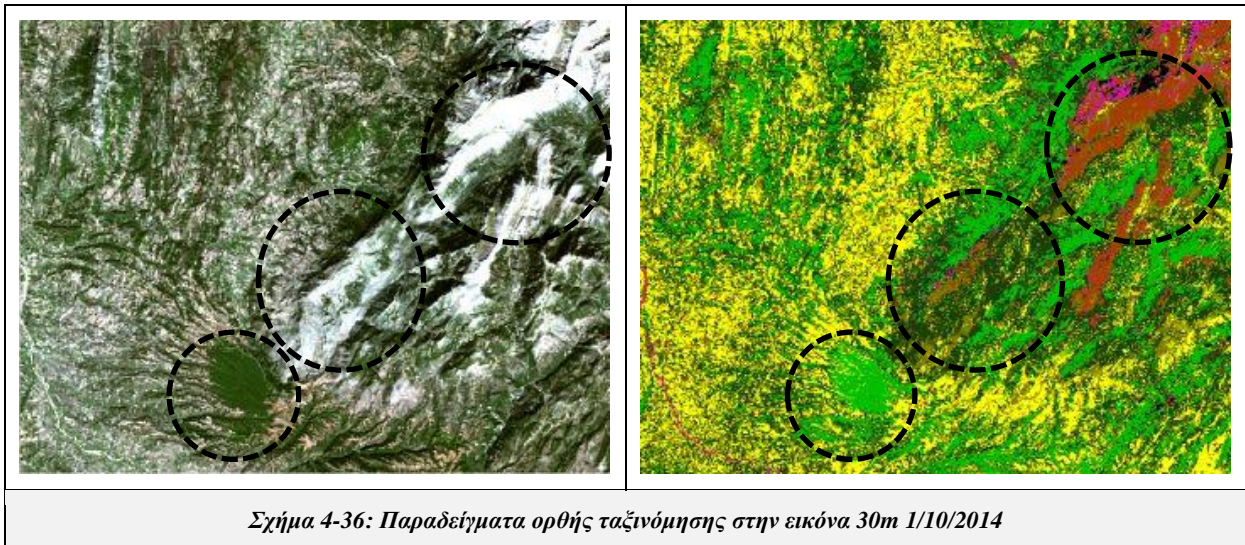
| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>699</b>   | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 699          | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>63</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 63           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>627</b>          | 0          | 0          | 0          | 18         | 3                  | 0               | 648          | 96,76         |
| Forests  | 0            | 0         | 5                   | <b>576</b> | 3          | 0          | 0          | 9                  | 0               | 593          | 97,13         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 13                  | 6          | <b>394</b> | 43         | 1          | 36                 | 0               | 493          | 79,92         |
| Grassland  | 0            | 0         | 1                   | 0          | 0          | <b>183</b> | 64         | 3                  | 0               | 251          | 72,91         |
| Bare land  | 0            | 0         | 47                  | 0          | 7          | 1          | <b>294</b> | 0                  | 0               | 349          | 84,24         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 10                  | 0          | 184        | 1          | 22         | <b>692</b>         | 0               | 909          | 76,13         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 1                   | 9          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>93</b>       | 103          | 90,29         |
| <b>Total</b>   | 699          | 63        | 704                 | 591        | 588        | 228        | 399        | 743                | 93              | <b>4108</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 100,00    | 89,06               | 97,46      | 67,01      | 80,26      | 73,68      | 93,14              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 88,1%, Δείκτης K= 0,861</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-11: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

Ακολουθεί η ταξινόμηση της εικόνας στις 1/10/2014 η οποία εκτελέστηκε με το ίδιο μοντέλο με το οποίο εκτελέστηκε και η προηγούμενη ταξινόμηση.



Η εικόνα παραπάνω φαίνεται πως ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Από την αρχική εικόνα προκύπτει ότι αρκετές καλλιέργειες είναι σε φάση ανάπτυξης, κάτι το οποίο ευνοεί τη σύγχυση των καλλιεργειών με την θαμνώδη βλάστηση, και γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω ταξινόμηση. Οι αστικοί ιστοί και οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά σε όλη την εικόνα. Επιπλέον, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι περισσότερες καλλιέργειες και με επιτυχία ταξινομήθηκε το όρος Ερύμανθος και οι γειτονικές του περιοχές, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-36 παρακάτω. Τέλος, παρατηρείται πως και σε αυτή την περίπτωση μέρος των σύννεφων που διακρίνονται κυρίως στο κάτω αριστερό μέρος της εικόνας ταξινομήθηκαν ως τεχνητές επιφάνειες.

Παρακάτω φαίνονται μερικά παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης με περισσότερη λεπτομέρεια, όπως προέκυψαν από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία.



Σχήμα 4-36: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014

Στο σχήμα παραπάνω διακρίνεται μια περιοχή που ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό ορθά. Συγκεκριμένα, το όρος Ερύμανθος ταξινομήθηκε ως γυμνό έδαφος και υπάρχει πολύ μικρή σύγχυση με τις τεχνητές επιφάνειες στο συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας. Επιπλέον, η περιοχή γύρω από το όρος αλλά και λίγο πιο κάτω, η οποία καλύπτεται από θαμνώδη βλάστηση ταξινομήθηκε ορθά, όπως και η περιοχή δάσους και λιβαδιών που φαίνεται στο κάτω μέρος και στο κέντρο της εικόνας.

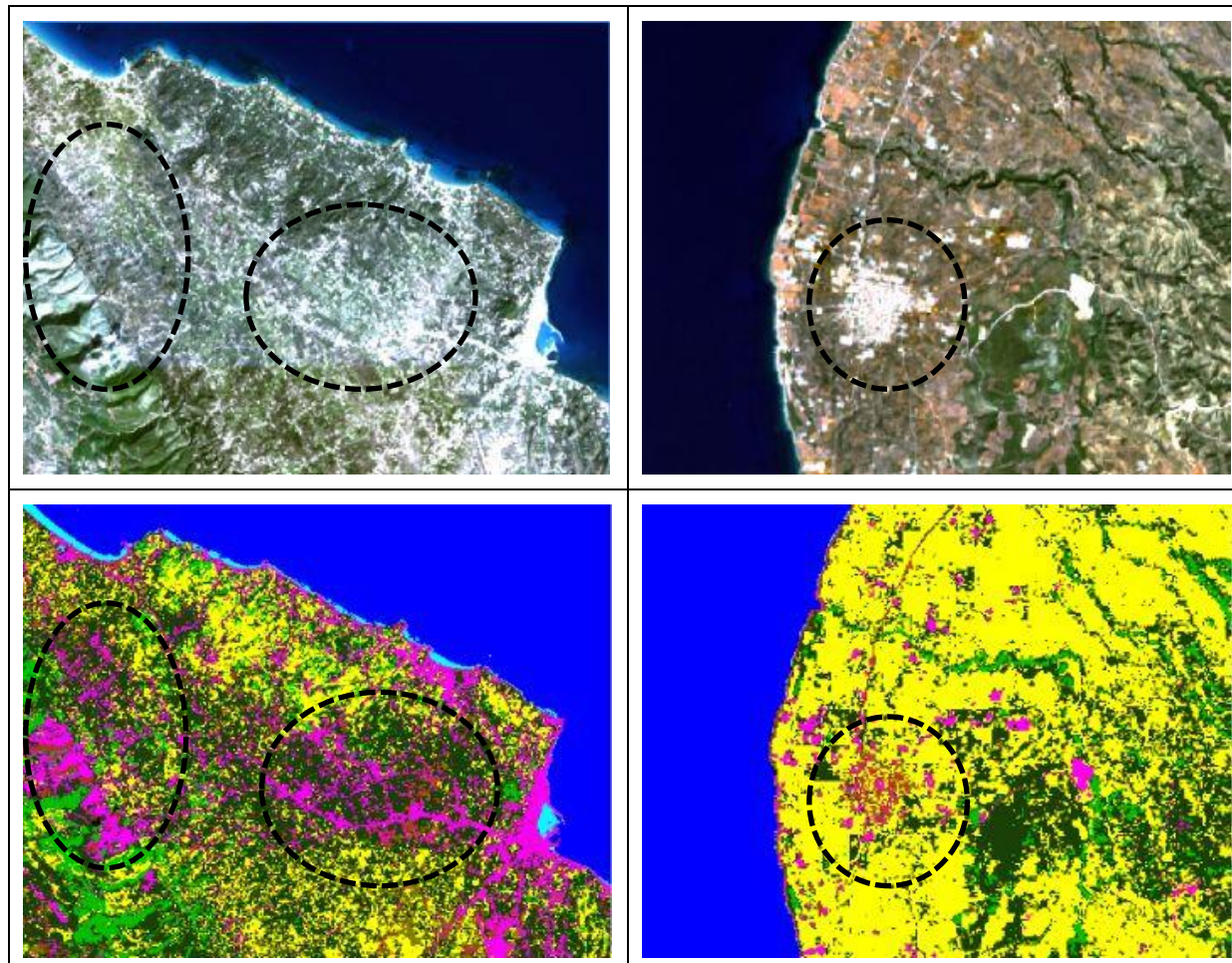
Στο σχήμα 4-37, παρουσιάζονται κάποια λάθη της ταξινόμησης όπως προέκυψαν από το μοντέλο αυτό. Στην εικόνα αριστερά, λόγω λανθασμένων τιμών της αρχικής εικόνας, προκαλείται λάθος στην ταξινόμηση της περιοχής γύρω από τον δρόμο που φαίνεται στο κέντρο της εικόνας και οι καλλιέργειες αποδόθηκαν ως θαμνώδης βλάστηση. Επιπλέον, εξαιτίας του προβλήματος που προαναφέρθηκε, περιοχή δάσους ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Επίσης, στην εικόνα δεξιά του σχήματος διακρίνεται λανθασμένη ταξινόμηση του αστικού ιστού ως γυμνό έδαφος. Αυτό οφείλεται τόσο σε λάθος της αρχικής εικόνας, όσο και στο γεγονός πως πρόκειται για οικισμό με έντονες διαφοροποιήσεις στις φασματικές τιμές των εικονοστοιχείων που τον απαρτίζουν, προκαλώντας σύγχυση στο μοντέλο και λανθασμένη ταξινόμηση.

Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, ο οποίος υπολογίστηκε με βάση 76 πολύγωνα ελέγχου, και μέσω αυτού αποδεικνύεται και στατιστικά πως η ταξινόμηση έχει καλή ακρίβεια, ανεξάρτητα από τις αστοχίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί, πως στις περιοχές που υπάρχουν προβλήματα από την αρχική εικόνα, όπως αυτά αναφέρθηκαν προηγουμένως, δεν έχουν παρθεί πολύγωνα ελέγχου και σε αυτή την περίπτωση, επειδή τα λάθη που προκύπτουν στην ταξινόμηση δεν οφείλονται σε λάθος του μοντέλου.

Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 85,4% και 0,829 αντίστοιχα. Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας 100%, τόσο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία των υγροτόπων (100% UA και 95,2% PA), και των δασών (100% UA και 93% PA). Όσο αφορά την κατηγορία σύννεφα/σκιές που σημείωνε πολύ υψηλά ποσοστά στις προηγούμενες ταξινομήσεις, στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουν χαμηλώσει τα ποσοστά ακρίβειας, 76,9% UA και 88,2% PA, λόγω της σύγχυσης της κατηγορίας με τις τεχνητές επιφάνειες και τα δάση. Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία των καλλιεργειών 96,9%, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 72,5%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης, όπως προαναφέρθηκε στην ποιοτική αξιολόγηση. Επίσης, υψηλό ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία τεχνητές επιφάνειες, 92%, αν και σημείωσε το χαμηλότερο ποσοστό PA, 56,2%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία αυτή κυρίως ως

γυμνό έδαφος. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε το γυμνό έδαφος, 65,1%, εξαιτίας της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή πλήθους εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των τεχνητών επιφανειών.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 30 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 78,7% και δείκτη K 0,774. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται στην συγχώνευση των υποκατηγοριών των καλλιεργειών και των τεχνητών επιφανειών.



Σχήμα 4-37: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014



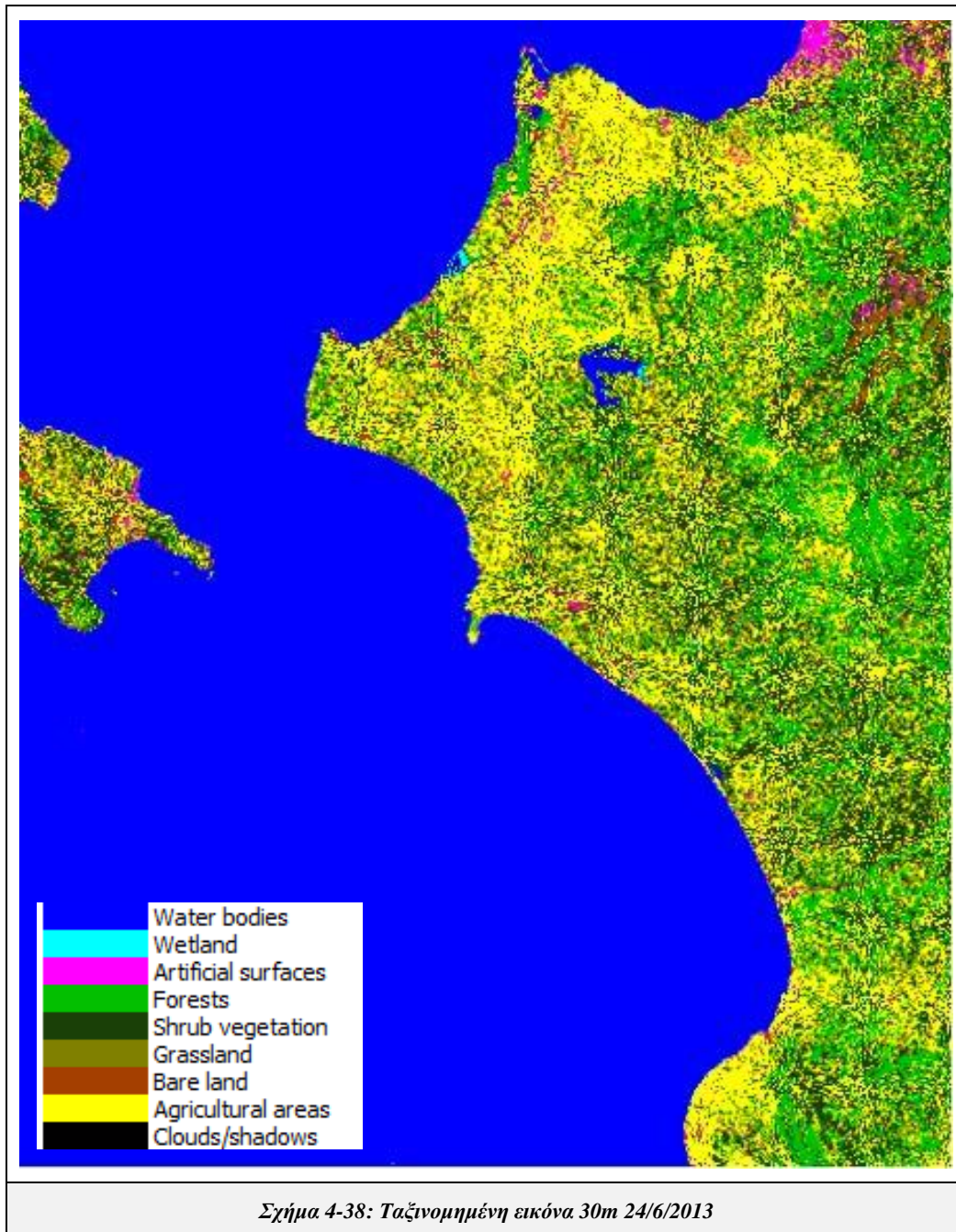
| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>856</b>   | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 856          | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>40</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 40           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 2         | <b>320</b>          | 0          | 1          | 0          | 21         | 0                  | 4               | 348          | 91,95         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>664</b> | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 664          | 100,00        |
| Shrubland  | 0            | 0         | 25                  | 13         | <b>459</b> | 0          | 1          | 20                 | 0               | 518          | 88,61         |
| Grassland  | 0            | 0         | 57                  | 0          | 0          | <b>242</b> | 5          | 2                  | 0               | 306          | 79,08         |
| Bare land  | 0            | 0         | 141                 | 0          | 0          | 72         | <b>397</b> | 0                  | 0               | 610          | 65,08         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 22                  | 33         | 189        | 4          | 9          | <b>677</b>         | 0               | 934          | 72,48         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 4                   | 4          | 0          | 0          | 1          | 0                  | <b>30</b>       | 39           | 76,92         |
| <b>Total</b>   | 856          | 42        | 569                 | 714        | 649        | 318        | 434        | 699                | 34              |              |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 95,24     | 56,24               | 93,00      | 70,72      | 76,10      | 91,47      | 96,85              | 88,24           |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 85,4%, Δείκτης K= 0,829</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-12: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

### 4.1.3 Μοντέλο εκπαίδευσης ανά έτος και ταξινόμηση με SVM

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων από μοντέλα που προέκυψαν από τα πολύγωνα εκπαίδευσης των εικόνων ανά έτος. Για τον λόγο αυτό τα πολύγωνα, που ψηφιοποιήθηκαν ξεχωριστά για κάθε εικόνα για τη δημιουργία των μοντέλων ανά εικόνα, συνδυάστηκαν σε αυτή την περίπτωση ανά τρεις εικόνες, μια από κάθε μήνα, ώστε να προκύψουν τα μοντέλα ανά έτος.

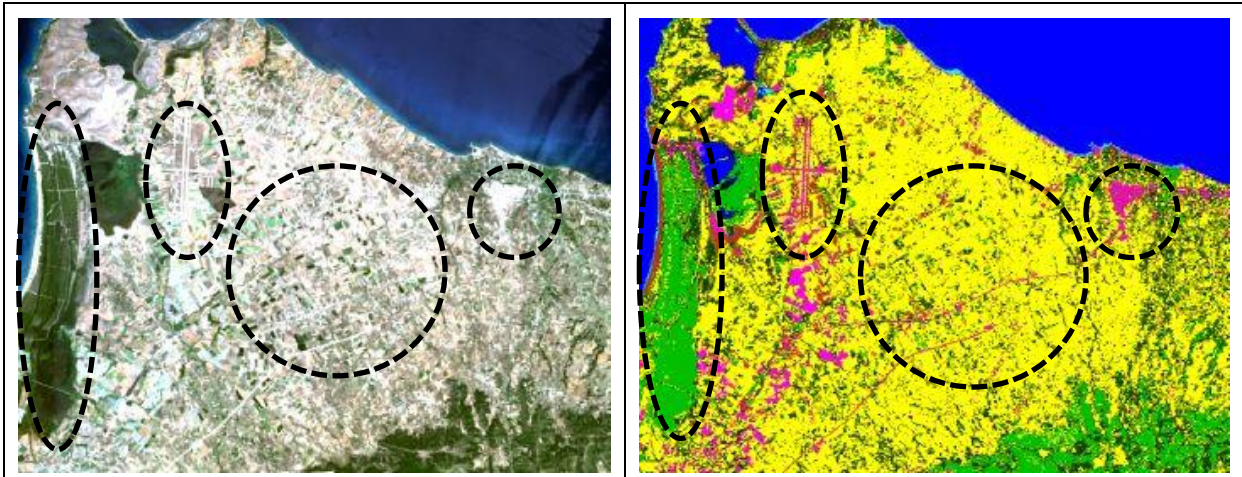
#### Έτος 2013: Εικόνες 24/6/2013, 27/8/2013 και 28/9/2013

Για την ταξινόμηση των εικόνων αυτών δημιουργήθηκε μοντέλο από 494 πολύγωνα εκπαίδευσης για 34 διαφορετικές κλάσεις. Παρακάτω φαίνονται τα οι ταξινομημένες εικόνες καθώς και τα αποτελέσματα από ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση για την καθεμιά.



Από την παραπάνω εικόνα προκύπτει ότι η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με επιτυχία, καθώς εντοπίστηκαν και διαχωρίστηκαν σε μεγάλο βαθμό οι κατηγορίες κάλυψης γης της περιοχής. Συγκεκριμένα, στην ταξινόμηση αυτή οι αστικές υποδομές, αεροδρόμια, λιμάνια και δρόμοι, εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επιτυχώς, σε αντίθεση με τους αστικούς ιστούς της περιοχής που δεν ταξινομήθηκαν όλοι ορθά. Ειδικότερα, κάποιοι αστικοί ιστοί, όπως φαίνεται στο σχήμα 4-40, ταξινομήθηκαν ως γυμνό έδαφος, αλλά και πολλές περιοχές γυμνού εδάφους, όπως το όρος Ερύμανθος και η περιοχή στα δεξιά του οικισμού της Πάτρας στο πάνω δεξί άκρο της εικόνας, ταξινομήθηκαν ως τεχνητές επιφάνειες. Επιπλέον, διακρίνεται σε κάποιες περιοχές θαμνώδους βλάστησης, ότι αυτές αποδόθηκαν ως δάση και αντίστοιχα κάποιες περιοχές καλλιεργειών αποδόθηκαν ως θαμνώδης βλάστηση και δάση, αν και όπως φαίνεται οι καλλιέργειες ταξινομήθηκαν σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς.

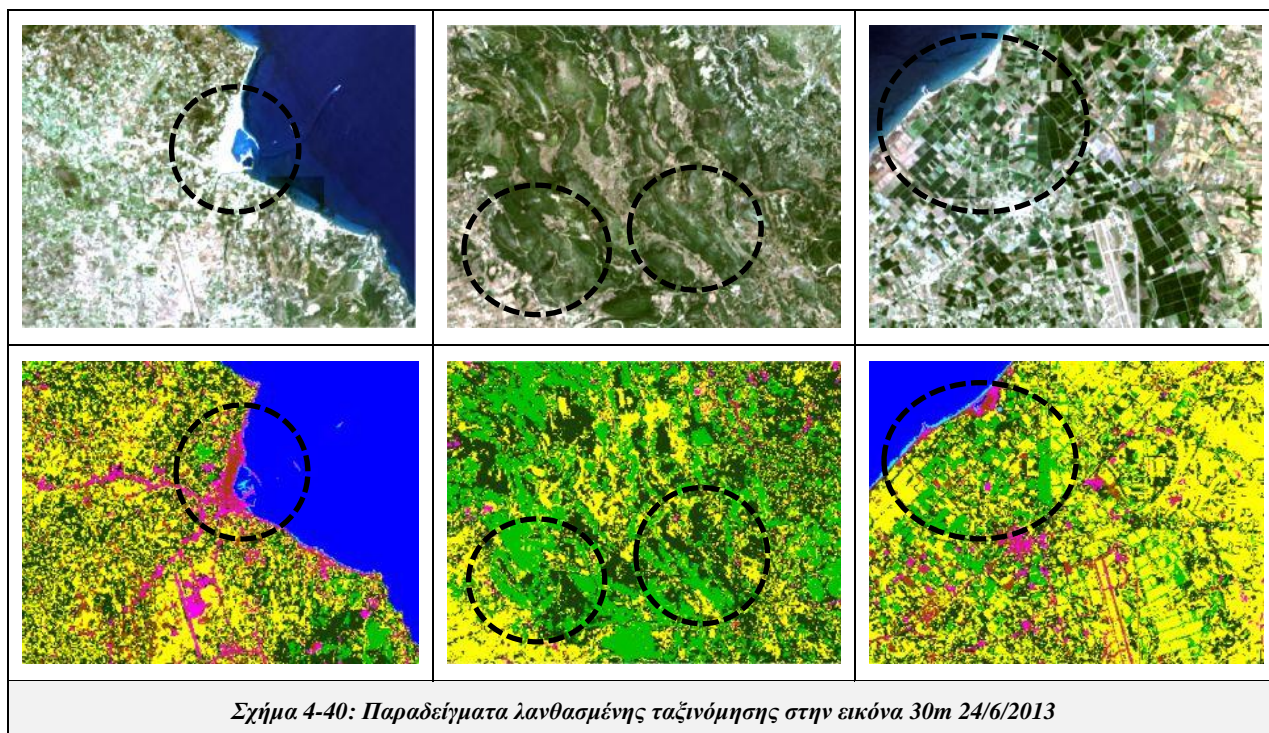
Παρακάτω ακολουθούν κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με την μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Σχήμα 4-39: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013

Στο σχήμα παραπάνω απεικονίζονται κάποια παραδείγματα ορθής ταξινόμησης των διαφορετικών καλύψεων γης που κυριαρχούν στην περιοχή. Όπως φαίνεται, στο κέντρο της εικόνας υπάρχουν καλλιέργειες οι οποίες ταξινομήθηκαν ορθά και επηρεάζονται σε πολύ μικρό βαθμό από λανθασμένες ταξινομήσεις μερικών εικονοστοιχείων ως θαμνώδης βλάστηση. Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς οι τεχνητές επιφάνειες, που αποτελούνται από τον αστικό ιστό στο δεξί άκρο της εικόνας, το αεροδρόμιο στο αριστερό άκρο της εικόνας και τους δρόμους στο κέντρο της εικόνας. Τέλος, στα αριστερά διακρίνεται περιοχή δάσους η οποία αποδόθηκε ορθά και ένα κομμάτι γης γυμνού εδάφους που επίσης ταξινομήθηκε ορθά.

Στο σχήμα παρακάτω διακρίνονται κάποιες περιοχές που δεν ταξινομήθηκαν ορθά. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα παρατηρείται πως ο αστικός ιστός της περιοχής δεν αποδόθηκε ορθά αφού μέρος του ταξινομήθηκε ως γυμνό έδαφος, σε αντίθεση με τους γειτονικούς δρόμους και το αεροδρόμιο που ταξινομήθηκαν ορθά. Στην κεντρική εικόνα διακρίνεται μια περιοχή στην οποία κυριαρχεί το δάσος και η θαμνώδης βλάστηση, αλλά οι περιοχές θαμνώδους βλάστησης που επισημαίνονται στην εικόνα ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως δάση. Τέλος, στην εικόνα δεξιά φαίνονται κάποιες καλλιέργειες που είναι έντονα ανεπτυγμένες με αποτέλεσμα να έχουν ταξινομηθεί επίσης λανθασμένα ως δάση.



Σχήμα 4-40: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013

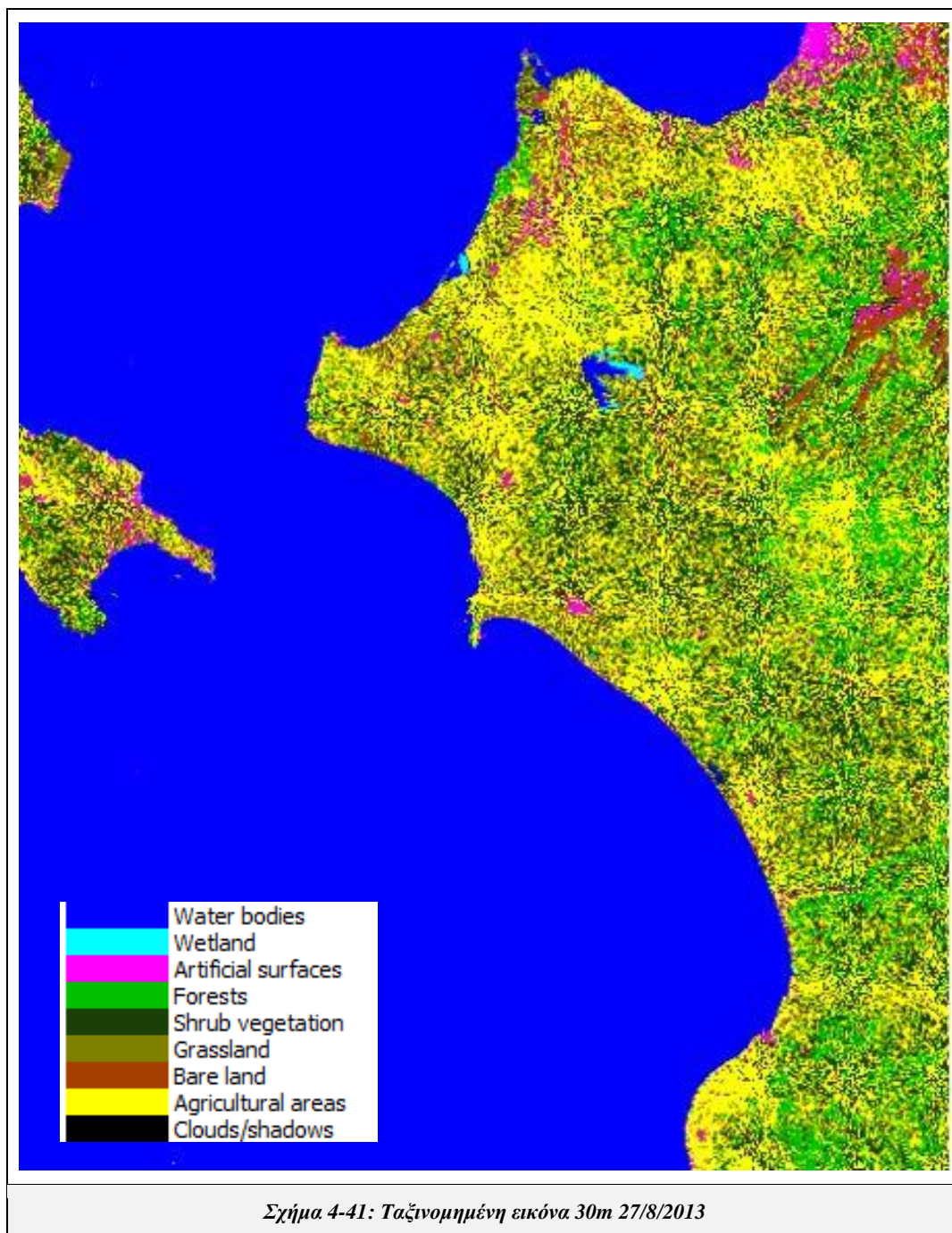
Παρακάτω βρίσκεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 84 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Επιπλέον, μέσω αυτού αποδεικνύεται και στατιστικά πως η ταξινόμηση έχει καλή ακρίβεια, ανεξάρτητα από τις αστοχίες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 84,7% και 0,816 αντίστοιχα. Ειδικότερα, η κατηγορία σύννεφα/σκιές έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας 100%, τόσο στο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία των υδάτινων όγκων (99,6% UA και 100% PA), των υγροτόπων (100% UA και 90,9% PA) και η κατηγορία των λιβαδιών (98,7% UA και 89,6% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία δάση, 89,6%, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 78,4%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης, όπως προαναφέρθηκε στην ποιοτική αξιολόγηση. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε το γυμνό έδαφος, 63,5%, εξαιτίας της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή πλήθος εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των τεχνητών επιφανειών. Η θαμνώδης βλάστηση σημείωσε χαμηλά ποσοστά (71,1% UA και 62,9% PA) λόγω της συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων καλλιεργειών και λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αυτήν ως καλλιέργειες και δάση. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι καλλιέργειες σημείωσαν πολύ καλή ακρίβεια (86,1% UA και 86,6% PA), εφόσον παρόλα τα λάθη ταξινόμησης που σχετίζονται με την κατηγορία αυτή, η πλειοψηφία των εικονοστοιχείων της κατηγορίας ταξινομήθηκαν ορθά.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν πολύ χαμηλότερη και συγκεκριμένα 72,5% και δείκτη K 0,710. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται στην συγχώνευση όλων των υποκατηγοριών, αλλά κυρίως των καλλιεργειών και του γυμνού εδάφους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως οι εικόνες διαφέρουν χρονικά, με αποτέλεσμα τα δείγματα που έχουν ληφθεί από τις διαφορετικές χρονικές στιγμές να διαφέρουν ελαφρώς φασματικά για κάθε υποκατηγορία.

|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>758</b>     | 3         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 761         | 99,61  |
| Wetland  | 0              | <b>30</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 30          | 100,00 |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>404</b>          | 0          | 0          | 0          | 57         | 10                 | 0               | 471         | 85,77  |
| Forests  | 0              | 0         | 0                   | <b>456</b> | 88         | 0          | 0          | 38                 | 0               | 582         | 78,35  |
| Shrubland  | 0              | 0         | 0                   | 0          | <b>263</b> | 15         | 0          | 92                 | 0               | 370         | 71,08  |
| Grassland  | 0              | 0         | 1                   | 0          | 0          | <b>224</b> | 2          | 0                  | 0               | 227         | 98,68  |
| Bare land  | 0              | 0         | 144                 | 0          | 0          | 11         | <b>271</b> | 1                  | 0               | 427         | 63,47  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 25                  | 53         | 67         | 0          | 2          | <b>911</b>         | 0               | 1058        | 86,11  |
| Cloud / shadows  | 0              | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>43</b>       | 43          | 100,00 |
| <b>Total</b>   | 758            | 33        | 574                 | 509        | 418        | 250        | 332        | 1052               | 43              | <b>3969</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00         | 90,91     | 70,38               | 89,59      | 62,92      | 89,60      | 81,63      | 86,60              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 84,7%, Δείκτης K= 0,816</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-13: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

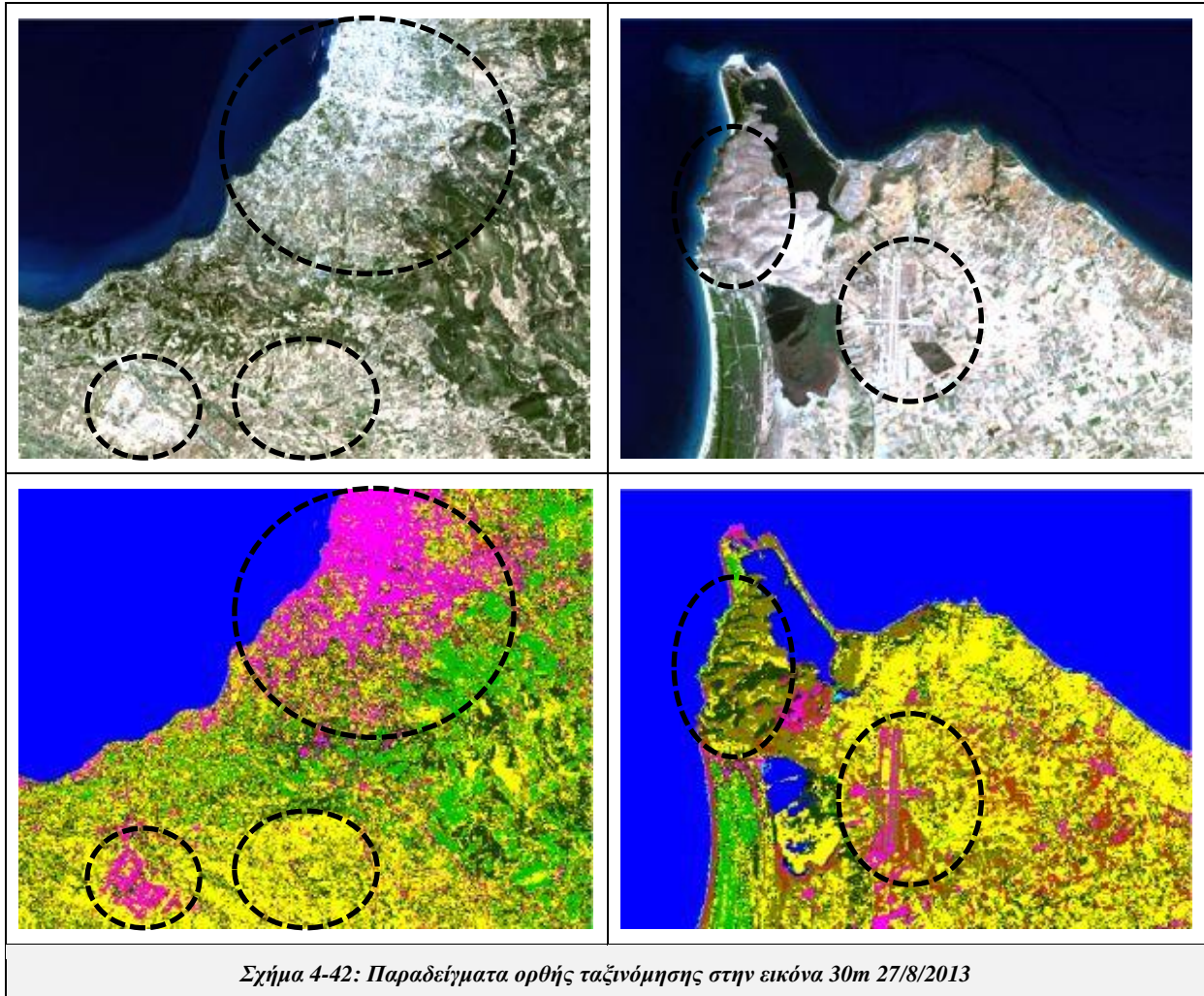
Παρακάτω φαίνεται η ταξινόμηση της εικόνας στις 27/8/2013 όπως αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση του ίδιου μοντέλου που έχει αναφερθεί.



Από την παραπάνω εικόνα φαίνεται πως η ταξινόμηση έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία, καθώς διαχωρίστηκαν επαρκώς οι κατηγορίες κάλυψης γης της περιοχής. Συγκεκριμένα, σε αυτήν την ταξινόμηση τόσο οι αστικοί ιστοί όσο και οι αστικές υποδομές εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επιτυχώς με ελάχιστες αστοχίες, κυρίως σε μικρούς οικισμούς με αραιή δόμηση. Επιπλέον, οι καλλιέργειες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά στην περιοχή, όμως σε αυτήν την περίπτωση, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-43 λεπτομερέστερα, πολλές περιοχές δάσους και θαμνώδους βλάστησης έχουν ενταχθεί λανθασμένα στην κατηγορία των καλλιεργειών. Επίσης, παρατηρείται και σε αυτήν την περίπτωση λανθασμένη ταξινόμηση σε περιοχή αραιής συννεφοκάλυψης, λόγω αδυναμίας του μοντέλου και του αλγορίθμου να την εντοπίσει και να την

ταξινομήσει. Τέλος, μέτρια ταξινομήθηκε και το όρος Ερύμανθος, καθώς περιοχές του ταξινομήθηκαν ως τεχνητές επιφάνειες.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με την μέθοδο της φωτοερμηνείας.

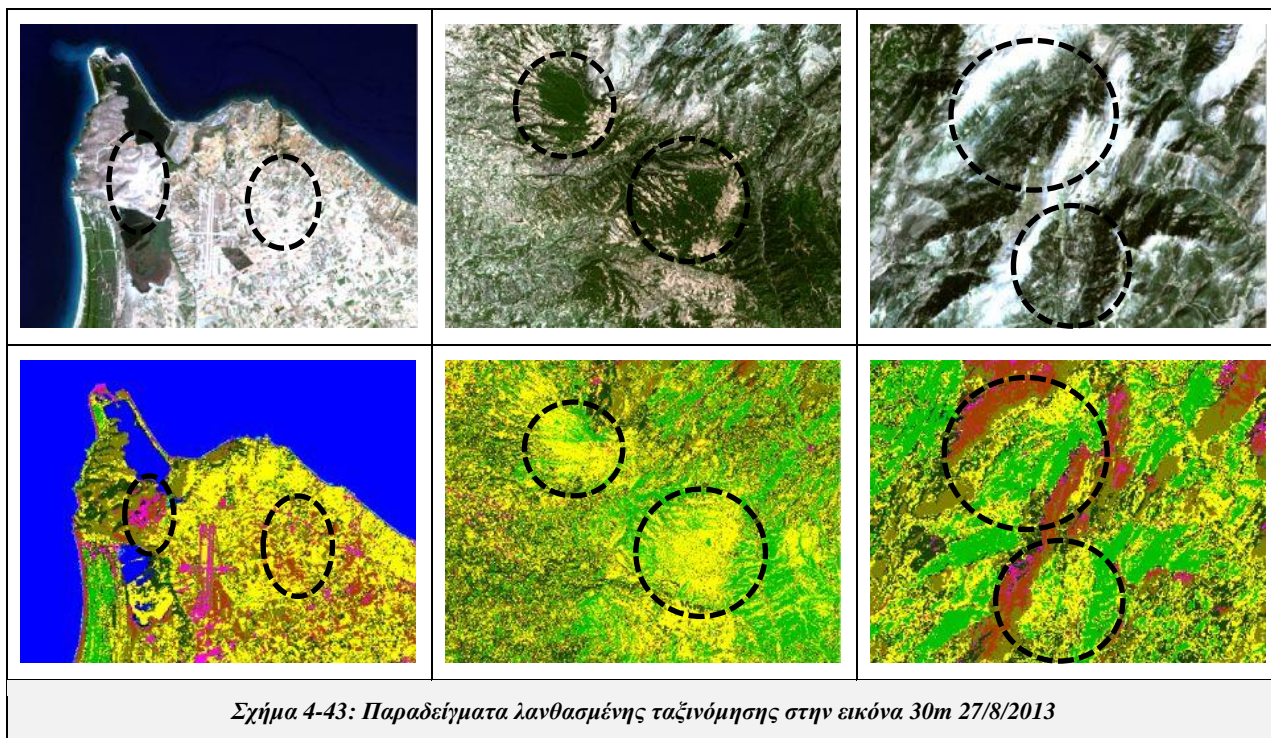


Σχήμα 4-42: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013

Στο παραπάνω σχήμα και στην εικόνα αριστερά διακρίνεται πως ο μεγαλύτερος οικισμός της περιοχής, η Πάτρα, εντοπίστηκε και ταξινομήθηκε επιτυχώς, όπως και οι αστικές υποδομές στο κάτω αριστερό μέρος της εικόνας που αποδόθηκαν ορθά ως τεχνητές επιφάνειες. Αντίστοιχα, το αεροδρόμιο της δεξιάς εικόνας ταξινομήθηκε ορθά, κάτι που αποδεικνύει ότι ο αλγόριθμος και το μοντέλο λειτούργησαν ορθά για τις τεχνητές επιφάνειες αυτών των περιοχών. Επιπλέον, στην αριστερή εικόνα, στην επισημασμένη περιοχή, παρατηρείται πως οι καλλιέργειες ταξινομήθηκαν ορθά και δεν υπάρχει σύγχυση με άλλες κατηγορίες, όπως δάση, που παρατηρούνται στη γύρω περιοχή. Τέλος, στη δεξιά εικόνα στην περιοχή αριστερά από τη λίμνη, κυριαρχεί η θαμνώδης βλάστηση και τα λιβάδια, οι οποίες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά χωρίς να υπάρχει σύγχυση με την κατηγορία των καλλιεργειών.

Στο σχήμα 4-43, που βρίσκεται παρακάτω και στην εικόνα αριστερά, παρατηρείται λανθασμένη ταξινόμηση μερικών εικονοστοιχείων που ανήκουν στο ορυχείο στα αριστερά της εικόνας ως σύννεφα/σκιές αντί ως τεχνητή επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει επειδή η φασματική υπογραφή σύννεφων και ορυχείων είναι όμοια και δύσκολα διαχωρίζονται. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα υπάρχουν καλλιέργειες οι οποίες ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως γυμνό έδαφος και λιβάδια. Στην κεντρική εικόνα διακρίνονται περιοχές δασών, οι οποίες αποδόθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτό συμβαίνει επειδή τα πολύγωνα εκπαίδευσης προέρχονται από τρεις εικόνες διαφορετικής περιόδου και σε κάποιες υπάρχουν

πολύγωνα από έντονα ανεπτυγμένες καλλιέργειες με όμοια φασματική υπογραφή με τα δάση. Τέλος, στην εικόνα δεξιά φαίνονται κάποιες περιοχές θαμνώδους βλάστησης γύρω από το όρος Ερύμανθος, οι οποίες αποδόθηκαν ως καλλιέργειες.



Πιο κάτω παρατίθεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, ο οποίος υπολογίστηκε από 96 πολύγωνα ελέγχου και σε αυτόν αποδεικνύεται και στατιστικά πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με μεγάλη ακρίβεια. Συγκεκριμένα, ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 84,6% και 0,818 αντίστοιχα. Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, τόσο PA όσο και UA, 99,8% UA και 100% PA.

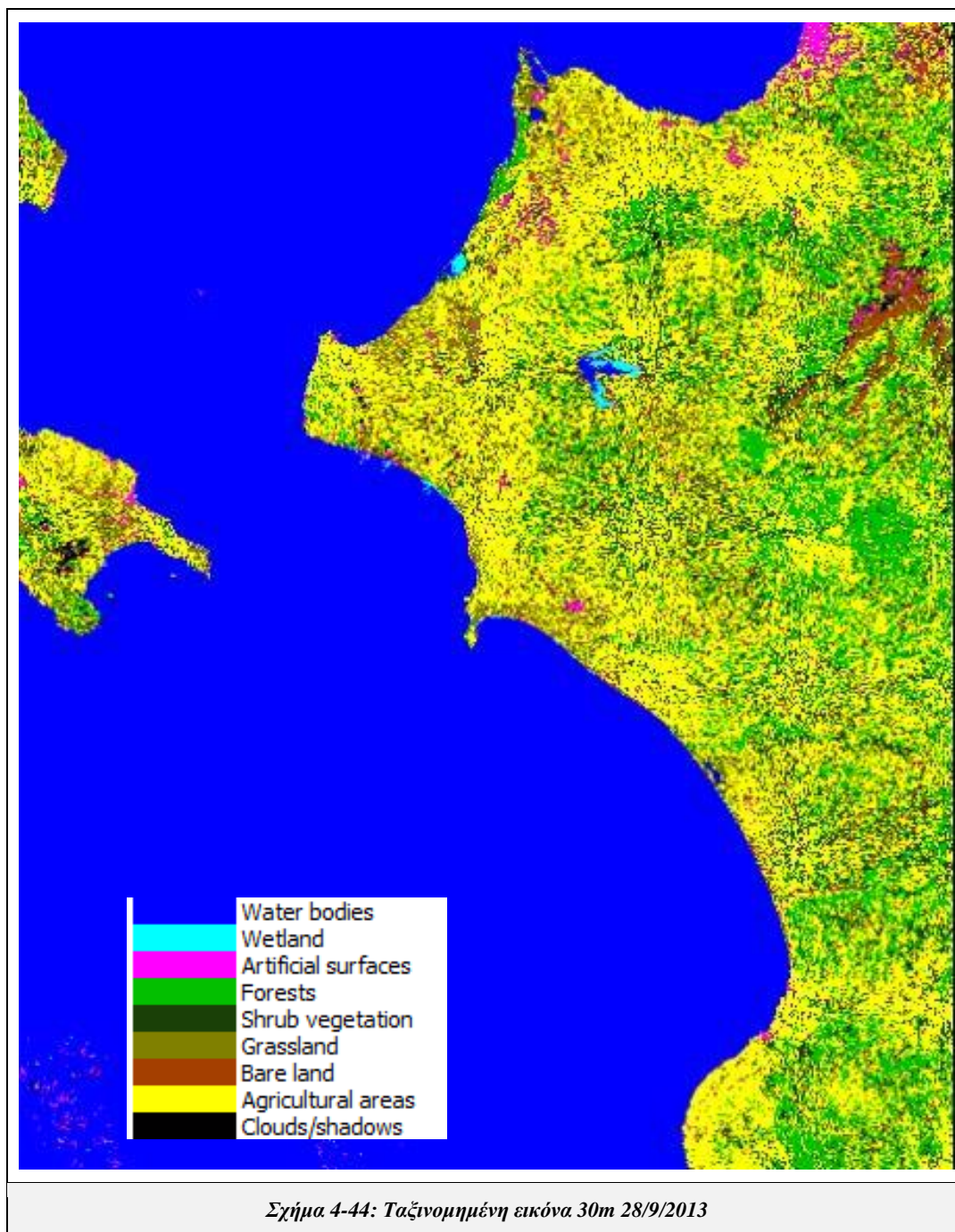
Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία των υγροτόπων (100% UA και 93% PA). Όσο αφορά την κατηγορία σύννεφα/σκιές που σημείωνε πολύ υψηλά ποσοστά στις προηγούμενες ταξινομήσεις, στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει χαμηλώσει πολύ το ποσοστό UA στα 63%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών, όπως προαναφέρθηκε, ενώ το ποσοστό PA παραμένει υψηλό στα 100%. Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία των λιβαδιών 89%, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 67%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης και καλλιεργειών.

Υψηλό ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία των δασών και της θαμνώδους βλάστησης, 98,7% και 86,4% αντίστοιχα, οι οποίες και οι δύο σημείωσαν χαμηλότερα ποσοστά PA, 73,5% και 80,6% αντίστοιχα, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων τους ως καλλιέργειες. Όσο αφορά την κατηγορία των καλλιεργειών (76,1% UA και 83,3% PA), διαπιστώνεται και ποσοτικά πως πλήθος εικονοστοιχείων δασών και θαμνώδους βλάστησης έχουν συμπεριληφθεί λανθασμένα στην κατηγορία αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4-43. Επίσης, και σε αυτήν την ταξινόμηση υπάρχει σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών των τεχνητών επιφανειών (74,4% UA και 84,6% PA) και του γυμνού εδάφους (83,1% UA και 74,1% PA). Αξίζει να σημειωθεί πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 80,2% και δείκτη K 0,791.



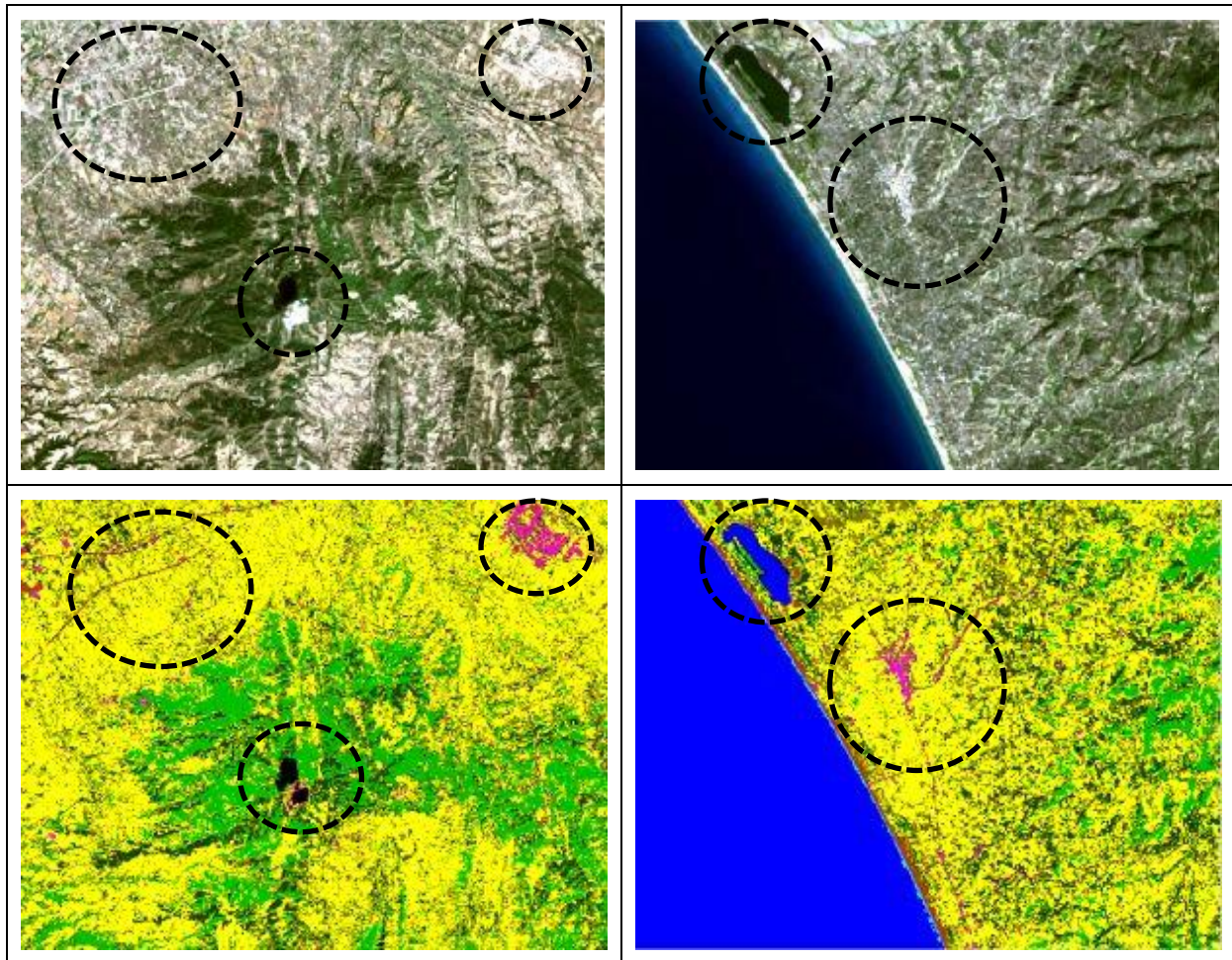
|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>859</b>     | 2         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 861         | 99,77  |
| Wetland  | 0              | <b>40</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 40          | 100,00 |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>314</b>          | 0          | 6          | 0          | 96         | 6                  | 0               | 422         | 74,41  |
| Forests  | 0              | 0         | 0                   | <b>382</b> | 4          | 0          | 0          | 1                  | 0               | 387         | 98,71  |
| Shrubland  | 0              | 1         | 0                   | 0          | <b>494</b> | 0          | 25         | 52                 | 0               | 572         | 86,36  |
| Grassland  | 0              | 0         | 6                   | 0          | 47         | <b>242</b> | 1          | 65                 | 0               | 361         | 67,04  |
| Bare land  | 0              | 0         | 39                  | 0          | 0          | 21         | <b>389</b> | 19                 | 0               | 468         | 83,12  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 2                   | 138        | 62         | 9          | 14         | <b>715</b>         | 0               | 940         | 76,06  |
| Cloud / shadows  | 0              | 0         | 10                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>17</b>       | 27          | 62,96  |
| <b>Total</b>   | 859            | 43        | 371                 | 520        | 613        | 272        | 525        | 858                | 17              | <b>4078</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00         | 93,02     | 84,64               | 73,46      | 80,59      | 88,97      | 74,10      | 83,33              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 84,6%, Δείκτης K= 0,818</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-14: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

Παρακάτω φαίνεται η ταξινόμηση της εικόνας 28/9/2013 όπως αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση του ίδιου μοντέλου που προαναφέρθηκε.



Από την παραπάνω εικόνα μπορεί να διαπιστωθεί ότι αυτή ταξινομήθηκε με επιτυχία όσο αφορά μερικές κατηγορίες κάλυψης γης, καθώς στη συγκεκριμένη ταξινόμηση οι περιοχές θαμνώδους βλάστησης δεν εντοπίστηκαν αλλά ταξινομήθηκαν ως καλλιέργειες. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη εικόνα, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, υπάρχει περιοχή που καλύπτεται από αραιή συννεφοκάλυψη, η οποία ούτε με αυτό το μοντέλο δεν ταξινομήθηκε ορθά, οπότε στη συγκεκριμένη περιοχή υπάρχει σύγχυση μεταξύ διαφόρων κατηγοριών. Όσο αφορά τις υπόλοιπες κατηγορίες, οι τεχνητές επιφάνειες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά, όπως και το γυμνό έδαφος, αν και σε μερικές περιοχές υπάρχει σύγχυση μεταξύ των δύο κατηγοριών, αφού εικονοστοιχεία γυμνού εδάφους ταξινομήθηκαν ως τεχνητή επιφάνεια. Επίσης, τα δάση ταξινομήθηκαν επαρκώς στην συγκεκριμένη εικόνα, όπως και τα λιβάδια.

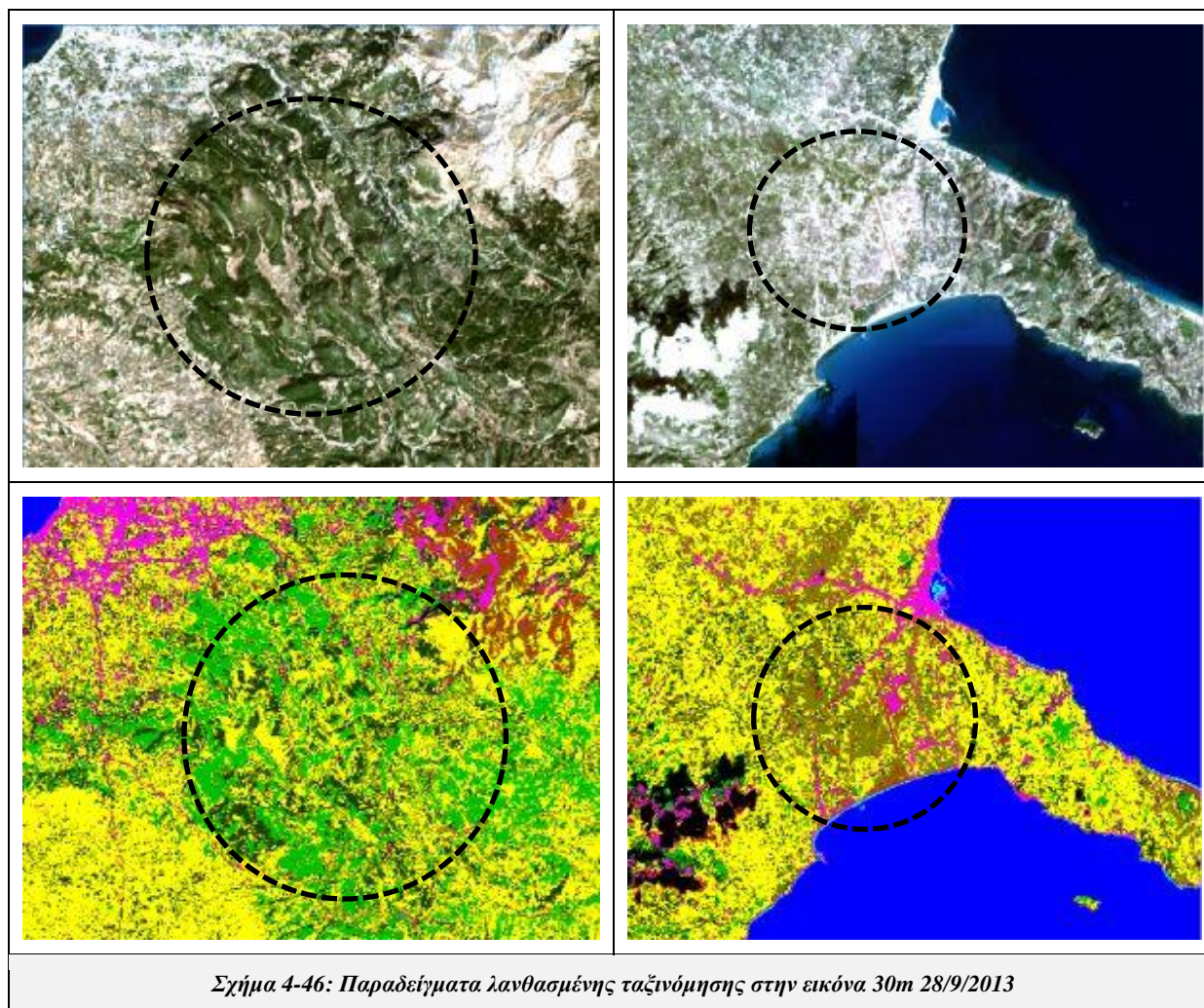
Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία. Στα παραδείγματα αυτά φαίνονται με περισσότερη λεπτομέρεια οι παρατηρήσεις που έγιναν παραπάνω.



Σχήμα 4-45: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013

Στο παραπάνω σχήμα και την εικόνα αριστερά παρατηρείται πως στη συγκεκριμένη περιοχή ορθά ταξινομήθηκαν οι αστικές επιφάνειες, στο δεξιό άκρο της εικόνας, και ο δρόμος στο αριστερό άκρο, οι καλλιέργειες σε όλη την εικόνα, τα δάση στο κέντρο της εικόνας και το σύννεφο και η σκιά του, επίσης στο κέντρο της εικόνας. Στη συγκεκριμένη περιοχή φαίνεται πως δεν υπήρξε σύγχυση μεταξύ της κατηγορίας των δασών και αυτής των σκιών, όπως έτυχε να συμβεί με άλλο μοντέλο και σχολιάστηκε προηγουμένως. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, ορθά ταξινομήθηκε η λίμνη στο πάνω αριστερό άκρο της εικόνας και ο αστικός ιστός λίγο παρακάτω. Αν και ο συγκεκριμένος αστικός ιστός είναι μικρός, εντοπίστηκε ορθά, όπως και οι καλλιέργειες που βρίσκονται γύρω του.

Στο σχήμα παρακάτω και στην αριστερή εικόνα, διακρίνεται μια περιοχή δάσους και θαμνώδους βλάστησης. Στη συγκεκριμένη περιοχή η θαμνώδης βλάστηση δεν εντοπίστηκε επιτυχώς, αλλά αντιθέτως ταξινομήθηκε ως καλλιέργεια. Αυτό οφείλεται, στο γεγονός πως στο μοντέλο συμμετέχουν πολύγωνα από εικόνες διαφορετικής χρονικής στιγμής με αποτέλεσμα τα πολύγωνα των καλλιεργειών και το επίπεδο θαμνώδους βλάστησης να διαφέρουν μεταξύ τους και να υπάρχει σύγχυση, λόγω όμοιας φασματικής υπογραφής. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται μια περιοχή καλλιεργειών που ταξινομήθηκε ως λιβάδια, λόγω των λανθασμένων τιμών που έχουν τα εικονοστοιχεία της αρχικής εικόνας στη συγκεκριμένη περιοχή.



Σχήμα 4-46: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013

Παρακάτω βρίσκεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 76 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Σημειώνεται, ότι και σε αυτήν την περίπτωση δεν έχουν παρθεί πολύγωνα ελέγχου σε περιοχές συννεφοκάλυψης και λανθασμένων τιμών της αρχικής εικόνας.

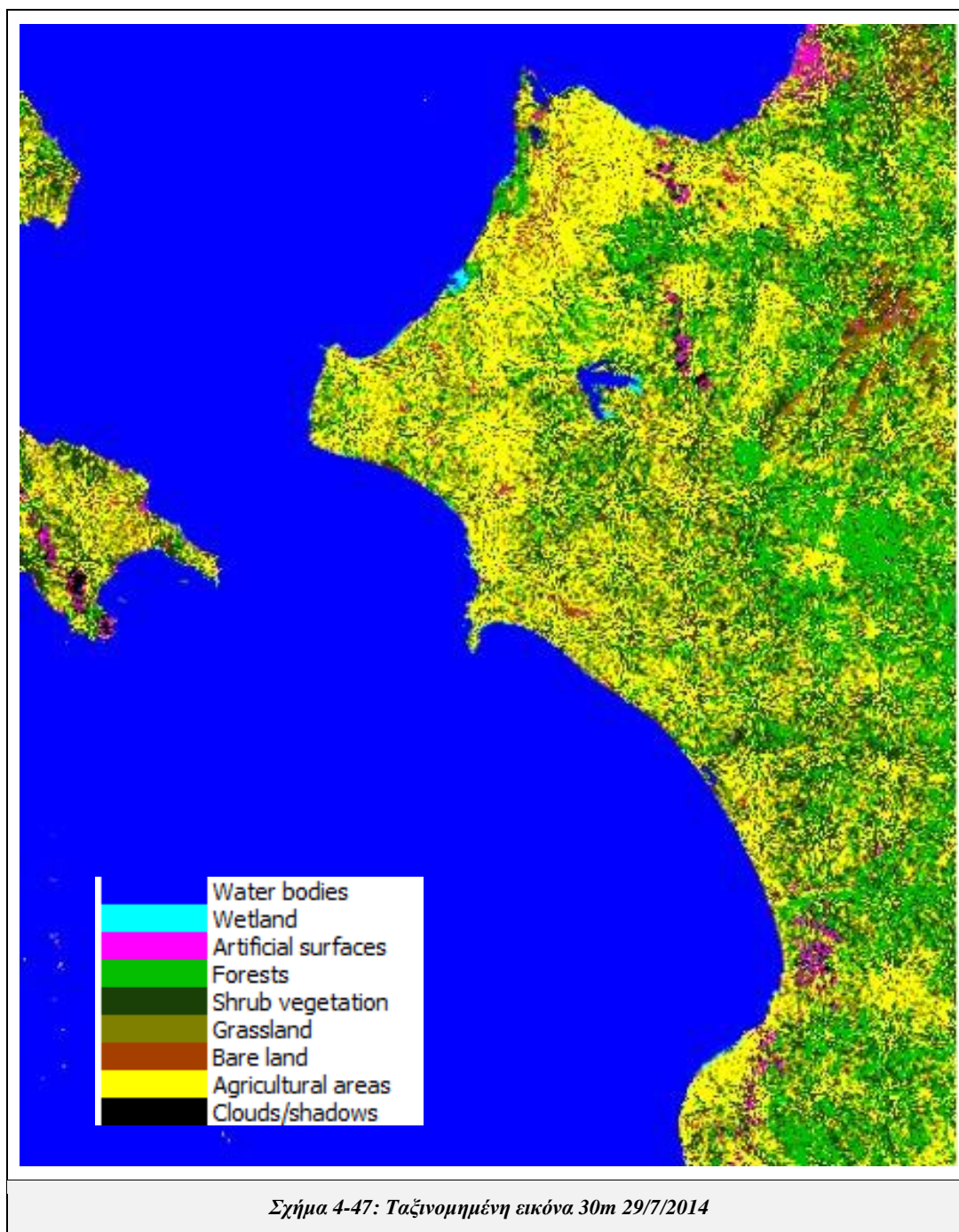
Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 83,2% και 0,804 αντίστοιχα. Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας 100%, τόσο PA όσο και UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία των δασών (98,9% UA και 94,8% PA) και η κατηγορία σύννεφα/σκιές (80,9% UA και 100% PA), στην οποία το χαμηλότερο ποσοστό UA οφείλεται σε λανθασμένη συμπερίληψη στην κατηγορία εικονοστοιχείων δάσους, γεγονός που δεν ανιχνεύθηκε στην ποιοτική αξιολόγηση που προηγήθηκε. Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία λιβάδια, 89,9%, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 52,6%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης και καλλιεργειών. Χαμηλά ποσοστά PA σημείωσαν οι κατηγορίες θαμνώδης βλάστηση και γυμνό έδαφος, 52,6% και 58,7%, αντίστοιχα, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της πρώτης ως καλλιέργειες και της δεύτερης κυρίως ως καλλιέργειες και τεχνητές επιφάνειες.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 75,3% και δείκτη K 0,737. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται στην συγχώνευση όλων των υποκατηγοριών, αλλά κυρίως των καλλιεργειών και των τεχνητών επιφανειών.

| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>699</b>   | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 699          | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>63</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 63           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>625</b>          | 0          | 0          | 0          | 76         | 1                  | 0               | 702          | 89,03         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>560</b> | 6          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 566          | 98,94         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 6                   | 6          | <b>309</b> | 1          | 30         | 19                 | 0               | 371          | 83,29         |
| Grassland  | 0            | 0         | 2                   | 0          | 73         | <b>205</b> | 18         | 92                 | 0               | 390          | 52,56         |
| Bare land  | 0            | 0         | 47                  | 0          | 0          | 16         | <b>234</b> | 2                  | 0               | 299          | 78,26         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 24                  | 3          | 200        | 6          | 41         | <b>629</b>         | 0               | 903          | 69,66         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 0                   | 22         | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>93</b>       | 115          | 80,87         |
| <b>Total</b>   | 699          | 63        | 704                 | 591        | 588        | 228        | 399        | 743                | 93              | <b>4108</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 100,00    | 88,78               | 94,75      | 52,55      | 89,91      | 58,65      | 84,66              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 83,2%, Δείκτης K= 0,804</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-15: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

**Έτος 2014: Εικόνες 29/7/2014, 14/8/2014 και 1/10/2014**

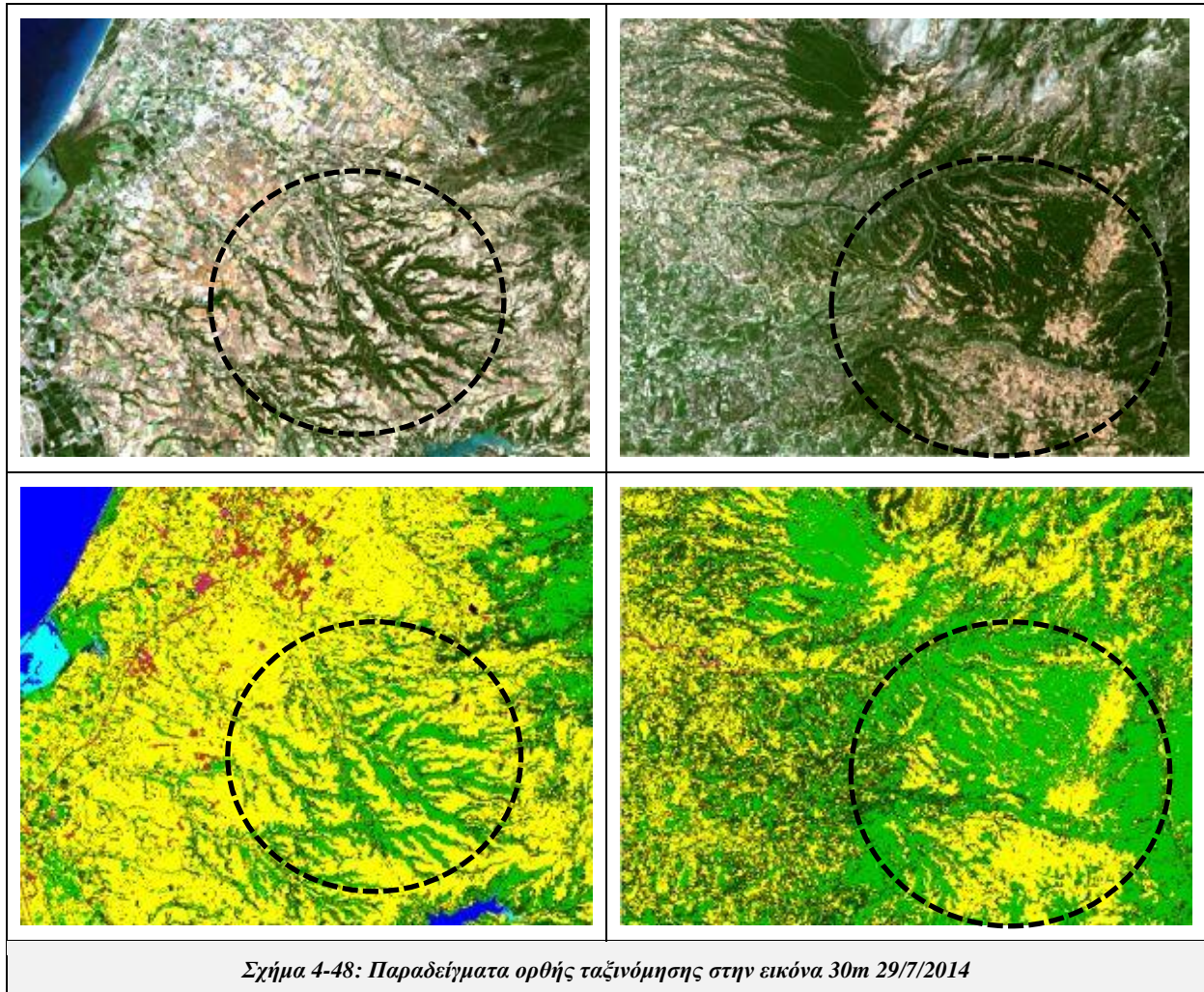
Για την ταξινόμηση των εικόνων αυτών δημιουργήθηκε μοντέλο από 457 πολύγωνα εκπαίδευσης για 34 διαφορετικές κλάσεις. Παρακάτω φαίνονται οι ταξινομημένες εικόνες καθώς και τα αποτελέσματα από ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση για την καθεμιά.



Στην παραπάνω ταξινόμηση παρατηρείται πως κάποιες κατηγορίες ταξινομήθηκαν ορθά, όπως τα δάση, οι υδάτινοι όγκοι, οι υγρότοποι, τα λιβάδια, ενώ άλλες όχι, όπως οι τεχνητές επιφάνειες, το γυμνό έδαφος και η θαμνώδης βλάστηση. Συγκεκριμένα, φαίνεται πως εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά οι περιοχές δασών και λιβαδιών στην εικόνα, ενώ αξιοσημείωτο είναι πως σε αυτήν την ταξινόμηση αποδόθηκε με μεγάλη επιτυχία το όρος Ερύμανθος. Παρόλα αυτά, υπάρχουν σημαντικές αστοχίες, όπως ότι αρκετοί αστικοί ιστοί ταξινομήθηκαν ως γυμνό έδαφος και πολλές περιοχές θαμνώδους βλάστησης, κυρίως γύρω

από το όρος, αποδόθηκαν ως καλλιέργειες. Τέλος, διακρίνεται πως τα σύννεφα και οι σκιές στη συγκεκριμένη εικόνα, ταξινομήθηκαν ορθά στο κεντρικό κομμάτι στα αριστερά της εικόνας, αντίθετα όμως ταξινομήθηκαν λανθασμένα στην περιοχή κάτω δεξιά της εικόνας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-49 παρακάτω.

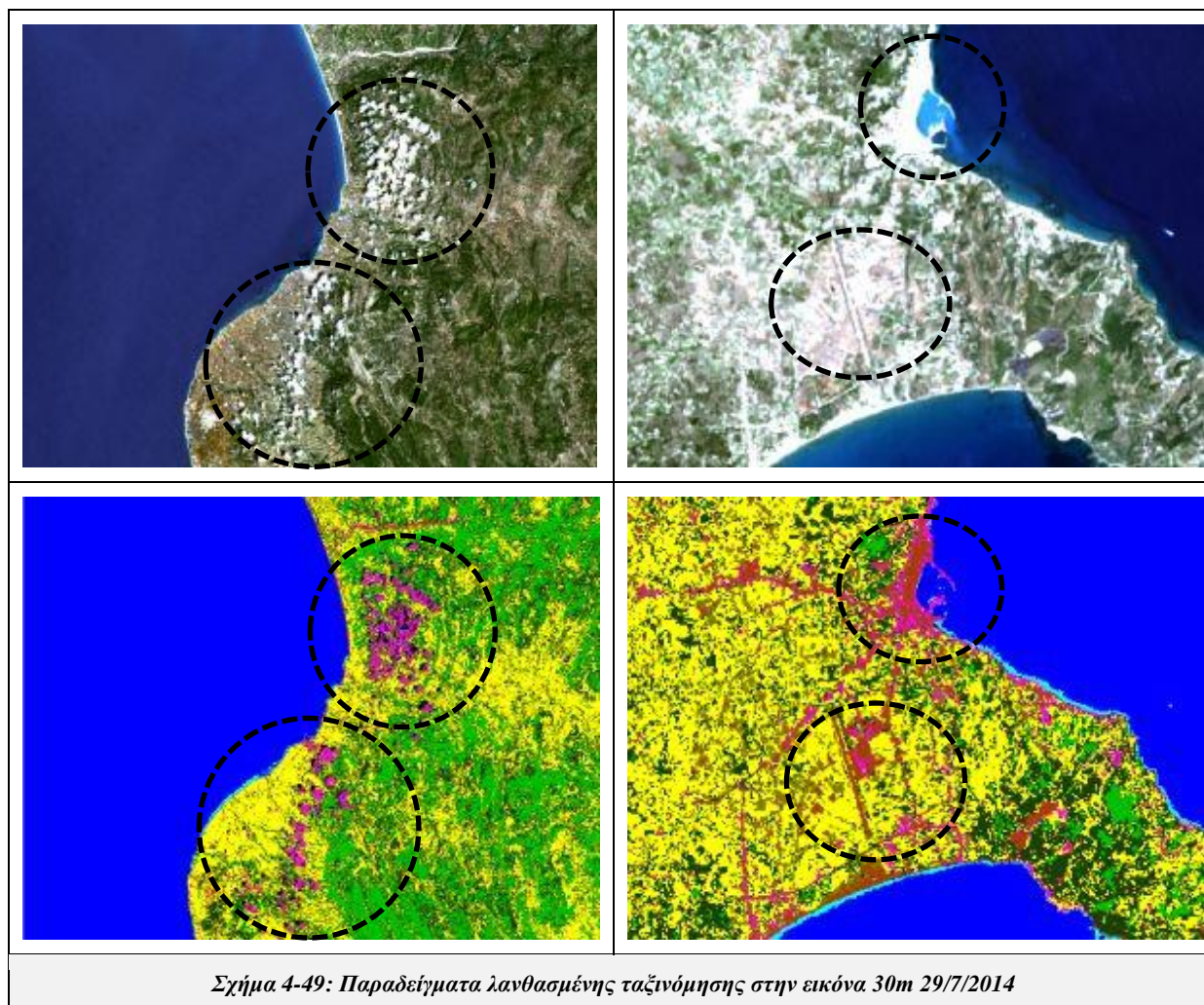
Πιο κάτω βρίσκονται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από φωτοερμηνεία της περιοχής.



Σχήμα 4-48: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014

Στο παραπάνω σχήμα και στην εικόνα αριστερά, αποδεικνύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια ότι τα δάση της περιοχής εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά, όπως προαναφέρθηκε, και δεν υπάρχει κάποια σύγχυση με τις γύρω καλλιέργειες. Το ίδιο συμπέρασμα εξαγεται και από την εικόνα στα δεξιά, στην οποία φαίνεται πως επίσης δάση και καλλιέργειες διαχωρίστηκαν με μεγάλη ακρίβεια και επιτυχία.

Στο σχήμα 4-49 φαίνονται παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης και συγκεκριμένα στην εικόνα αριστερά παρατηρείται αυτό που προαναφέρθηκε, ότι τα σύννεφα στην περιοχή αυτή δεν ταξινομήθηκαν ορθά, καθώς αυτά αποδόθηκαν ως τεχνητή επιφάνεια. Επιπλέον, στην εικόνα δεξιά διακρίνεται πως τόσο ο αστικός ιστός της περιοχής όσο και το αεροδρόμιο ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως γυμνό έδαφος.



Πιο κάτω παρατίθεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης, όπως έχει υπολογιστεί με χρήση 92 πολυγώνων ελέγχου και στον οποίο αποδεικνύεται ποσοτικά και στατιστικά ότι η ταξινόμηση αυτή ολοκληρώθηκε με μέτρια ποσοστά ακρίβειας. Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση σημείωσε 76,2% συνολική ακρίβεια και 0,723 δείκτη K.

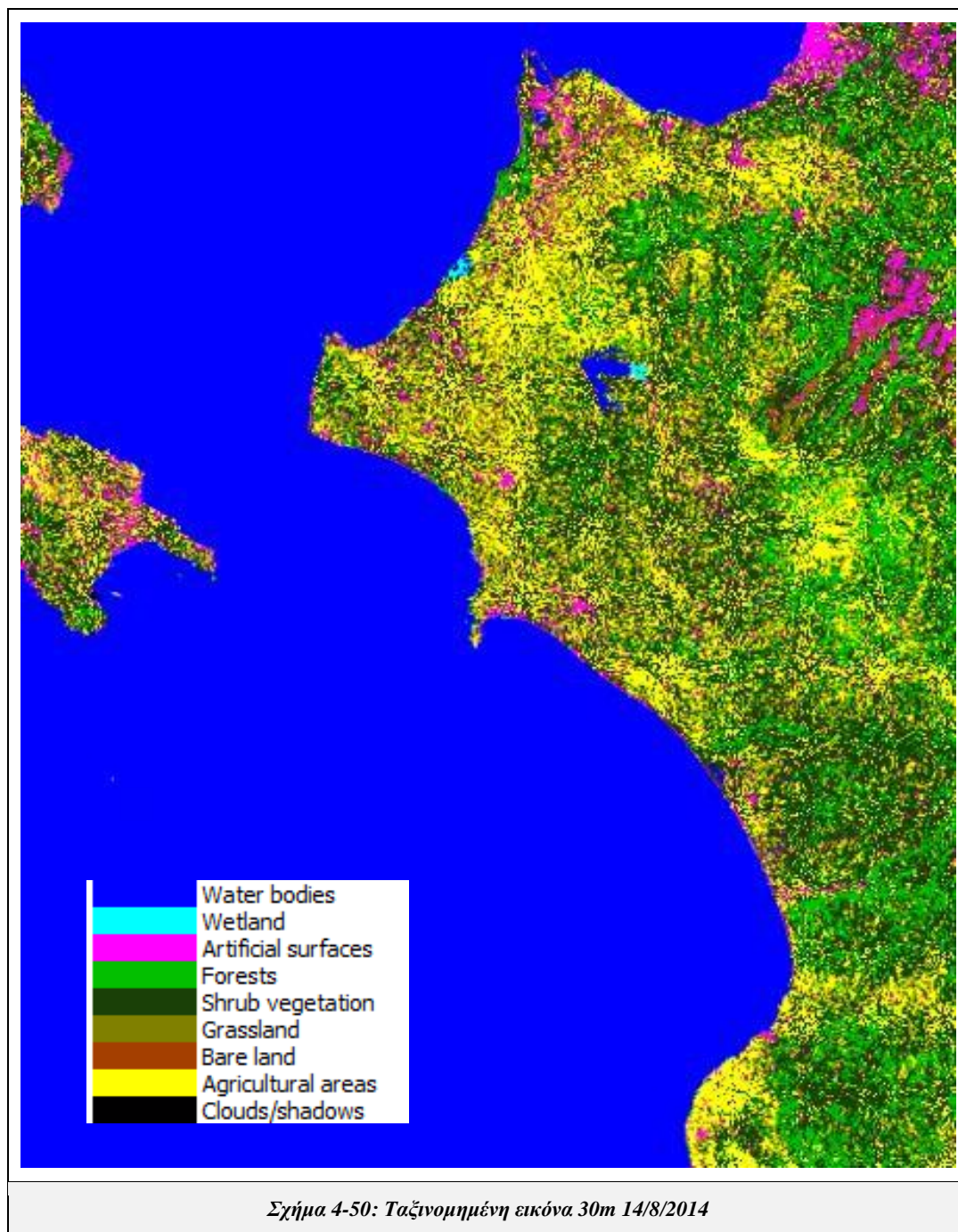
Ειδικότερα, η κατηγορία σύννεφα/σκιές έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας 100%, τόσο PA όσο και UA, παρόλο που αναφέρθηκε πως υπήρξαν λάθη στην ταξινόμηση, κάτι που δείχνει πως δεν έχουν παρθεί πολύγωνα ελέγχου από τη συγκεκριμένη περιοχή. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλά ποσοστά ακολουθεί η κατηγορία των υδάτινων όγκων (100% UA και 99,2% PA) και των υγροτόπων (85,7% UA και 100% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία των δασών, 100%, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 85,2%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων καλλιεργειών. Χαμηλά ποσοστά PA σημείωσαν οι κατηγορίες τεχνητές επιφάνειες και θαμνώδης βλάστηση, 34,4% και 43,5%, αντίστοιχα, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της πρώτης ως γυμνό έδαφος και της δεύτερης ως καλλιέργειες, όπως έχει ήδη επισημανθεί από την ποιοτική αξιολόγηση. Χαμηλά ποσοστά UA έχουν αντίστοιχα οι κατηγορίες του γυμνού εδάφους και των καλλιεργειών, 59,6% και 60,9% αντίστοιχα, λόγω συμπερίληψης σε αυτές εικονοστοιχείων που ανήκουν στις τεχνητές επιφάνειες και στην θαμνώδη βλάστηση αντίστοιχα.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 68,7% και δείκτη K 0,672. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται στην συγχώνευση των όλων υποκατηγοριών, αλλά κυρίως των καλλιεργειών και του γυμνού εδάφους.



|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrubland  | Grassland  | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>770</b>     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 770         | 100,00 |
| Wetland  | 6              | <b>36</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 42          | 85,71  |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>161</b>          | 0          | 0          | 1          | 29         | 9                  | 0               | 200         | 80,50  |
| Forests  | 0              | 0         | 0                   | <b>545</b> | 8          | 0          | 0          | 87                 | 0               | 640         | 85,16  |
| Shrubland  | 0              | 0         | 1                   | 0          | <b>257</b> | 1          | 97         | 40                 | 0               | 396         | 64,90  |
| Grassland  | 0              | 0         | 19                  | 0          | 0          | <b>243</b> | 24         | 5                  | 0               | 291         | 83,51  |
| Bare land  | 0              | 0         | 260                 | 0          | 1          | 24         | <b>421</b> | 1                  | 0               | 707         | 59,55  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 27                  | 0          | 325        | 54         | 10         | <b>647</b>         | 0               | 1063        | 60,87  |
| Cloud / shadows  | 0              | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>223</b>      | 223         | 100,00 |
| <b>Total</b>   | 776            | 36        | 468                 | 545        | 591        | 323        | 581        | 789                | 223             | <b>4332</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 99,23          | 100,00    | 34,40               | 100,00     | 43,49      | 75,23      | 72,46      | 82,00              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 76,2%, Δείκτης K= 0,723</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-16: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

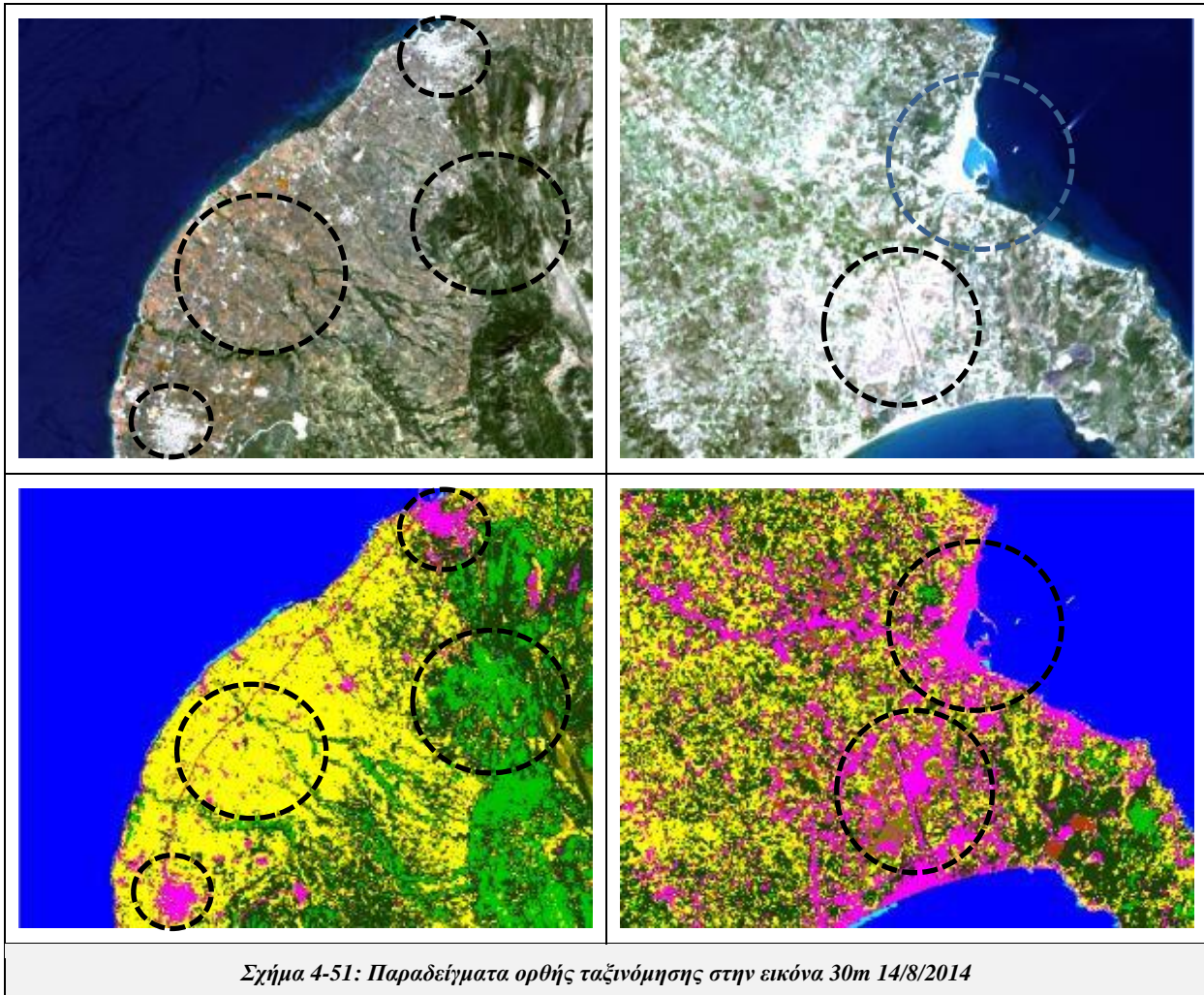
Η ταξινόμηση της εικόνας 14/8/2014, που φαίνεται παρακάτω, προήλθε από το ίδιο μοντέλο με την προηγούμενη εικόνα.



Από την παρατήρηση της παραπάνω ταξινομημένης εικόνας προκύπτει πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με μέτρια επιτυχία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως κάποιες κατηγορίες ταξινομήθηκαν με πολύ μεγάλη επιτυχία και κάποιες άλλες με πολύ μικρότερη. Συγκεκριμένα, οι τεχνητές επιφάνειες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά, με επιτυχία μεγαλύτερη σε σχέση με τις προηγούμενες ταξινομήσεις. Αστικοί ιστοί που δεν εντοπίζονταν από άλλα μοντέλα σε άλλες εικόνες, σε αυτήν εντοπίστηκαν και αποδόθηκαν όπως φαίνεται και από το σχήμα 4-51. Αντίθετα όμως από τις προηγούμενες ταξινομήσεις, σε αυτήν προκύπτει πως το όρος Ερύμανθος ταξινομήθηκε εντελώς λάθος, καθώς αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια και όχι ως γυμνό έδαφος ή λιβάδια. Αυτό αποδεικνύει μεγάλη αδυναμία του μοντέλου καθώς και σε άλλες περιοχές, όπως δεξιά του οικισμού της Πάτρας, στο πάνω δεξί μέρος της εικόνας, παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο.

Παράλληλα, φαίνεται πως οι καλλιέργειες δεν εντοπίστηκαν ορθά, καθώς μεγάλο μέρος των περιοχών που καλύπτονται από καλλιέργειες αποδόθηκαν ως τεχνητές επιφάνειες, γυμνό έδαφος, δάση και θαμνώδης βλάστηση. Ταυτόχρονα, περιοχή δάσους, που φαίνεται και στο σχήμα 4-52, αποδόθηκε ως καλλιέργεια, αποκαλύπτοντας ακόμα μια αδυναμία του μοντέλου.

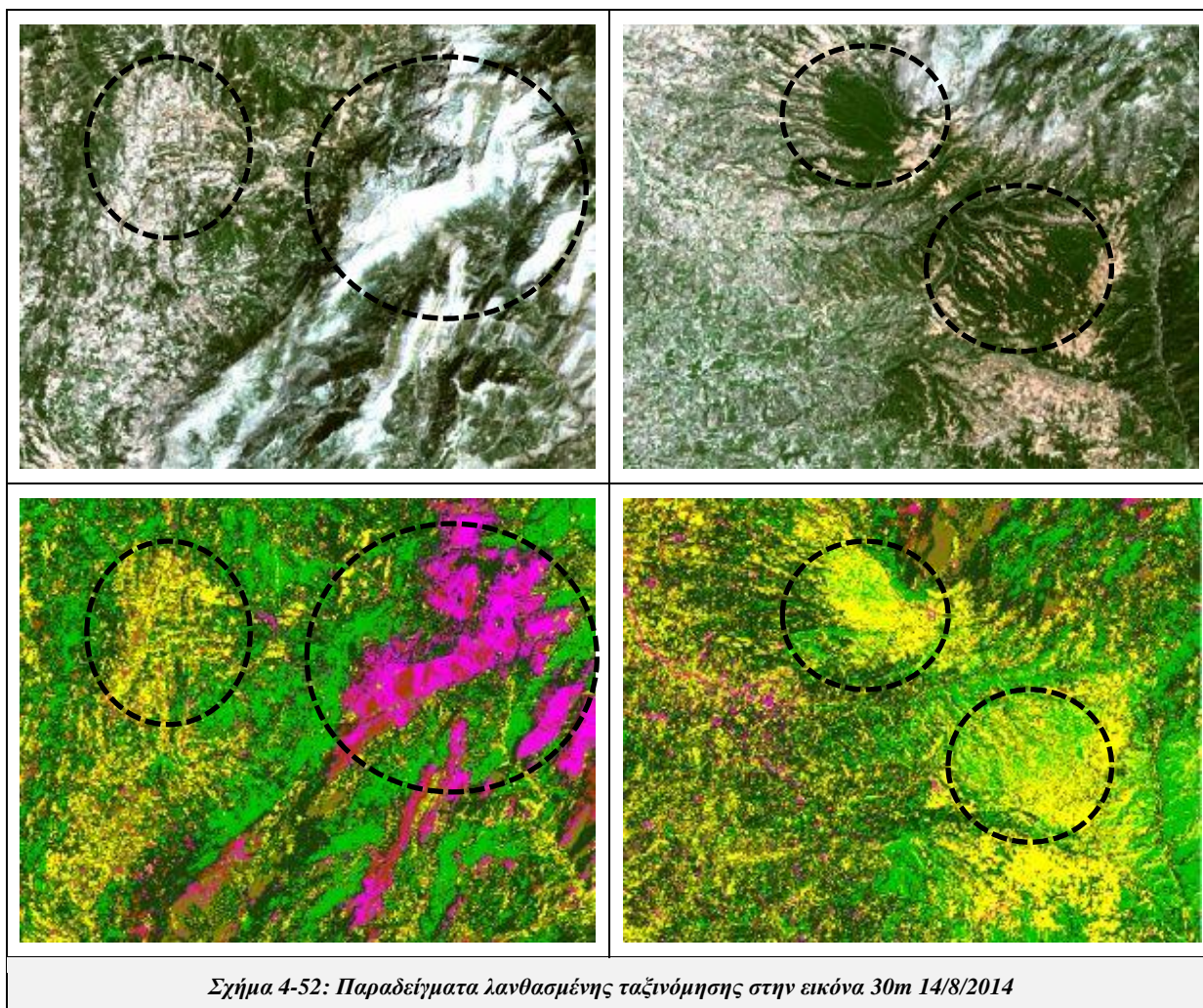
Παρακάτω παρατίθενται με λεπτομέρεια μερικά παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με φωτοερμηνεία.



Σχήμα 4-51: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014

Από το σχήμα παραπάνω και την αριστερή εικόνα προκύπτει ότι οι αστικοί ιστοί της περιοχής εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά. Αξίζει να σημειωθεί, πως ο αστικός ιστός στο κάτω μέρος της εικόνας, πολύ δύσκολα εντοπιζόταν μέρος του από προηγούμενα μοντέλα σε άλλες εικόνες. Επιπλέον, οι καλλιέργειες της περιοχής έχουν διαχωριστεί από τη θαμνώδη βλάστηση και τα δάση και ταξινομήθηκαν και οι τρεις κατηγορίες ορθά. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, παρατηρείται αυτό που αναφέρθηκε και πιο πάνω, πως οι τεχνητές επιφάνειες της συγκεκριμένης εικόνας ταξινομήθηκαν ορθά, όπως ο συγκεκριμένος αστικός ιστός και το αεροδρόμιο.

Στο σχήμα 4-52 που βρίσκεται πιο κάτω, παρατηρείται στην εικόνα αριστερά, η μεγάλη αστοχία του μοντέλου όσο αφορά το όρος Ερύμανθος, που λανθασμένα ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια, κάτι που δεν έχει παρατηρηθεί σε προηγούμενη ταξινόμηση. Επίσης, στην ίδια εικόνα κάποιες καλλιέργειες στα αριστερά ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση και γυμνό έδαφος. Στη δεξιά εικόνα διακρίνεται πως οι δυο περιοχές δασών που επισημειώνονται, δεν εντοπίστηκαν και αποδόθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες.



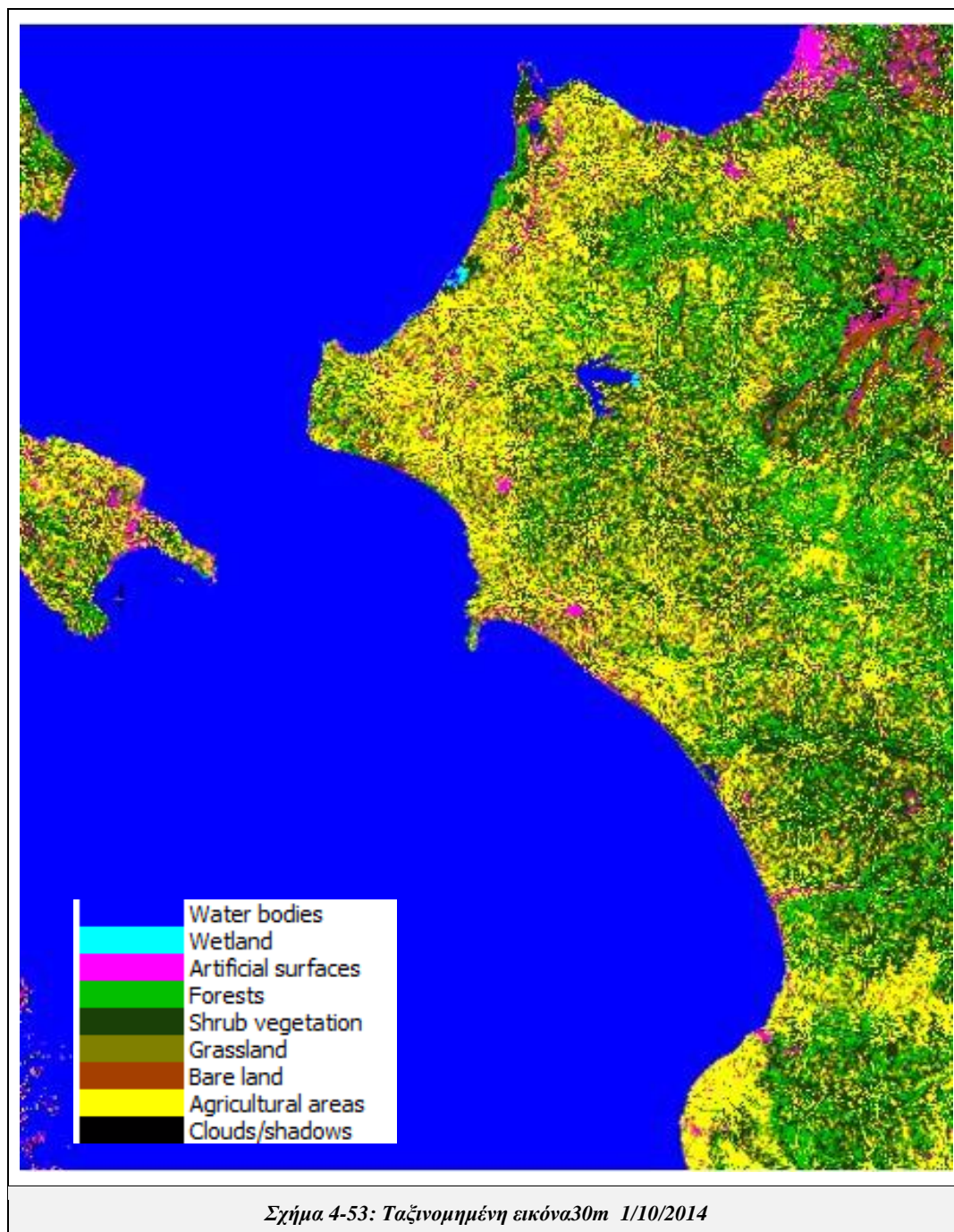
Παρακάτω βρίσκεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 84 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Όπως φαίνεται η ταξινόμηση παρ' όλες τις αστοχίες που προαναφέρθηκαν ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 80,0% και 0,765 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία των τεχνητών επιφανειών, 95,5%, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 62,8%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους. Χαμηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία σύννεφα/σκιές και γυμνό έδαφος, 41,7% και 58,6% αντίστοιχα, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της πρώτης ως δάση και της δεύτερης ως τεχνητές επιφάνειες, όπως έχει ήδη επισημανθεί. Υψηλό ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία δάση, 91,2%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό PA είναι χαμηλότερο, 72,5%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία αυτή ως καλλιέργειες. Όσο αφορά τη θαμνώδη βλάστηση, αυτή σημείωσε καλή ακρίβεια (83,4% UA και 80,1% PA) και η μόνη σύγκριση με άλλη κατηγορία αφορά τις καλλιέργειες.

Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 72,0% και δείκτη K 0,706. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται στην συγχώνευση των υποκατηγοριών των καλλιεργειών και των δασών.

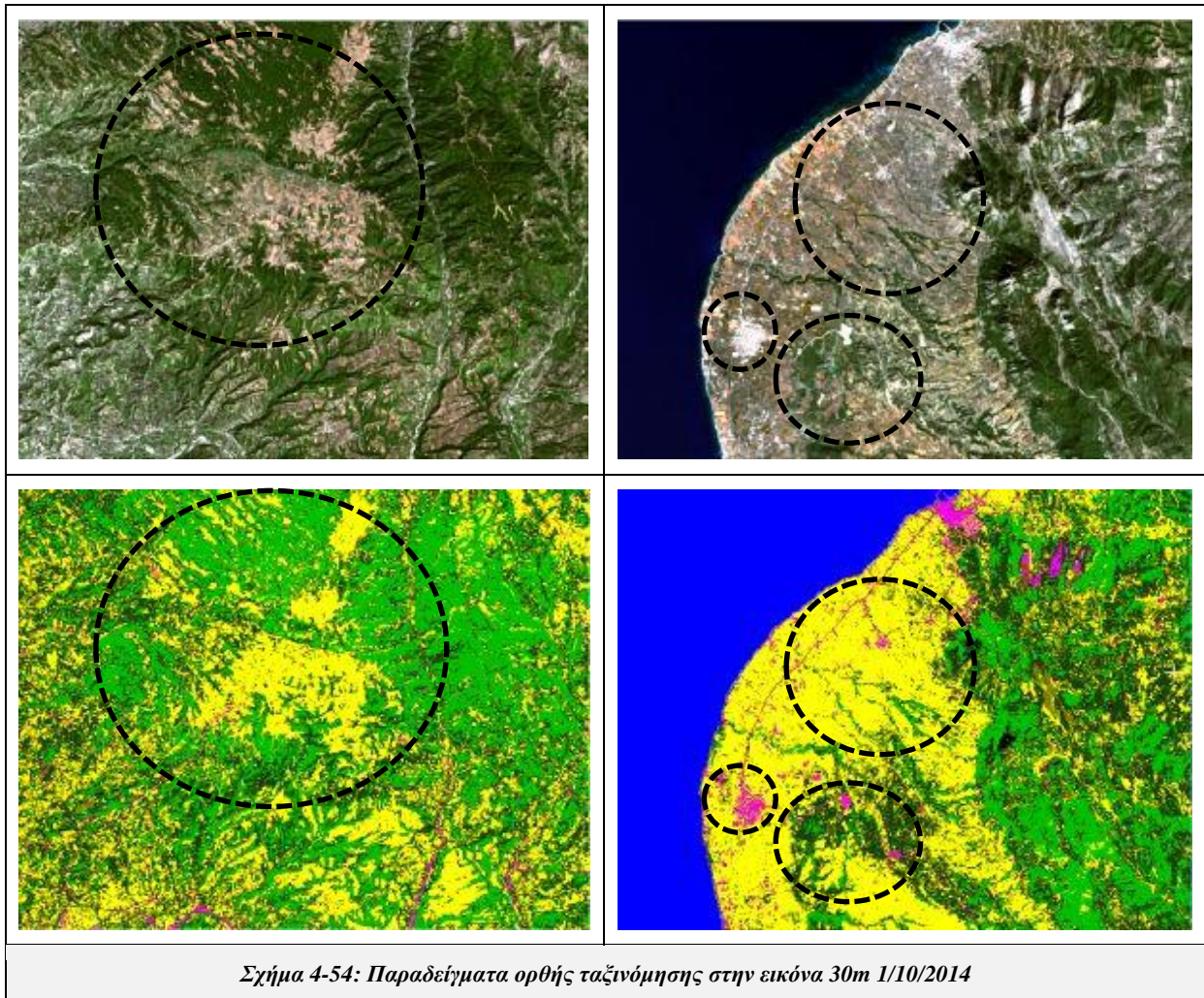
|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>712</b>     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 712         | 100,00 |
| Wetland  | 0              | <b>40</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 40          | 100,00 |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>524</b>          | 0          | 16         | 89         | 194        | 11                 | 0               | 834         | 62,83  |
| Forests  | 0              | 0         | 0                   | <b>443</b> | 29         | 0          | 0          | 0                  | 14              | 486         | 91,15  |
| Shrubland  | 0              | 0         | 1                   | 1          | <b>346</b> | 0          | 19         | 48                 | 0               | 415         | 83,37  |
| Grassland  | 0              | 0         | 1                   | 0          | 0          | <b>225</b> | 1          | 52                 | 0               | 279         | 80,65  |
| Bare land  | 0              | 0         | 14                  | 0          | 1          | 0          | <b>308</b> | 55                 | 0               | 378         | 81,48  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 5                   | 167        | 40         | 0          | 4          | <b>451</b>         | 0               | 667         | 67,62  |
| Cloud / shadows  | 0              | 0         | 4                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>10</b>       | 14          | 71,43  |
| <b>Total</b>   | 712            | 40        | 549                 | 611        | 432        | 314        | 526        | 617                | 24              | <b>3825</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00         | 100,00    | 95,45               | 72,50      | 80,09      | 71,66      | 58,56      | 73,10              | 41,67           |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 80,0%, Δείκτης K= 0,765</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-17: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

Παρακάτω φαίνεται η ταξινόμηση της εικόνας 1/10/2014 όπως προέκυψε από χρήση του ίδιου μοντέλου με τις προηγούμενες ταξινομήσεις.



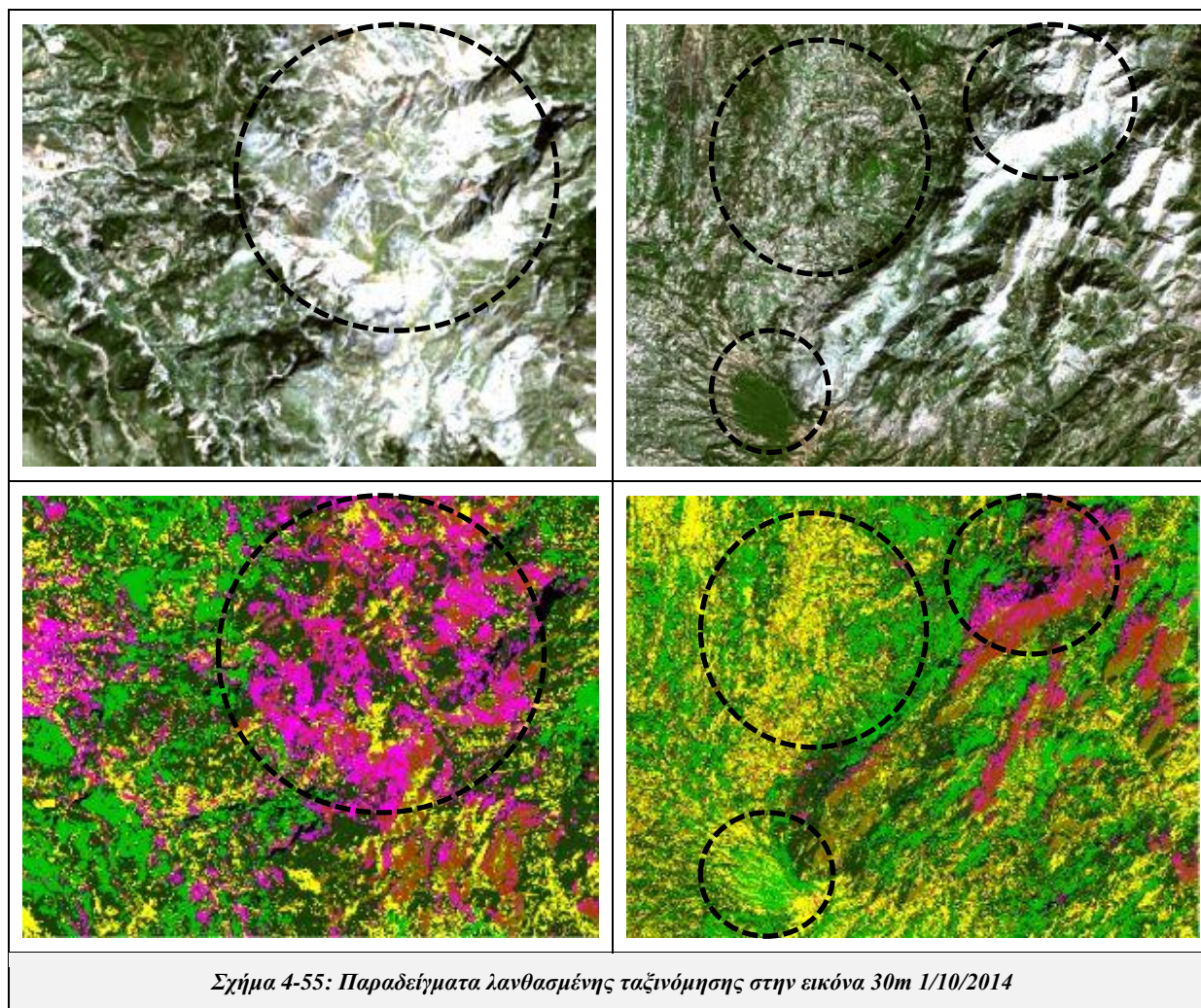
Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει πως η ταξινόμηση έχει ολοκληρωθεί με καλή ακρίβεια. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πως οι τεχνητές επιφάνειες, αστικοί ιστοί, αεροδρόμια, λιμάνια, δρόμοι και ορυχεία, εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν με μεγάλη επιτυχία, αν και σε αυτή την ταξινόμηση διακρίνεται να υπάρχει έντονη σύγχυση των τεχνητών επιφανειών με το γυμνό έδαφος, στην περιοχή του όρους Ερύμανθος και στην περιοχή δεξιά του οικισμού της Πάτρας. Επιπλέον, σε πολλά σημεία οι καλλιέργειες εντοπίστηκαν επιτυχώς, με εξαίρεση κάποιες περιοχές που ταξινομήθηκαν ως θαμνώδης βλάστηση, λόγω της έντονης ανάπτυξης κάποιων καλλιεργειών. Επίσης, τα δάση της περιοχής εντοπίστηκαν μέτρια και παρατηρείται πως σε αυτήν την ταξινόμηση αποδόθηκαν λάθος κάποια σύννεφα ως τεχνητές επιφάνειες.

Παρακάτω φαίνονται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Στο παραπάνω σχήμα, και στην εικόνα αριστερά διακρίνεται πως στη συγκεκριμένη περιοχή της ταξινόμησης, αποδόθηκαν ορθά τόσο οι καλλιέργειες όσο και τα δάση, χωρίς να υπάρχει κάποια σύγχυση μεταξύ τους. Στην εικόνα δεξιά παρατηρείται πως οι τεχνητές επιφάνειες της περιοχής, ο αστικός ιστός, οι δρόμοι και το ορυχείο εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά. Επιπλέον, η περιοχή θαμνώδους βλάστησης στα δεξιά του αστικού ιστού αποδόθηκε ορθά, όπως και η περιοχή δάσους αντίστοιχα. Τέλος, στην ίδια εικόνα οι καλλιέργειες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν χωρίς αστοχίες.

Στο σχήμα 4-55 παρακάτω, παρατίθενται παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης. Στην εικόνα αριστερά παρατηρείται πως η συγκεκριμένη περιοχή που καλύπτεται κυρίως από γυμνό έδαφος και θαμνώδη βλάστηση, ταξινομήθηκε λανθασμένα ως τεχνητή επιφάνεια. Η ίδια παρατήρηση προκύπτει και από την εικόνα δεξιά, εφόσον τμήμα του όρους Ερύμανθος αποδόθηκε επίσης ως τεχνητή επιφάνεια. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα διακρίνεται στα αριστερά περιοχή καλλιεργειών, στην οποία ταξινομήθηκαν εικονοστοιχεία ως θαμνώδης βλάστηση. Τέλος, στο κάτω μέρος της εικόνας, φαίνεται μια περιοχή δάσους, όπου μέρος του ταξινομήθηκε ως καλλιέργεια.



Παρακάτω βρίσκεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 76 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Σύμφωνα με αυτόν, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια και συγκεκριμένα με ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 81,0% και 0,777 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας (98,4% UA και 100% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία σύννεφα/σκιές, θαμνώδης βλάστηση και καλλιέργειες, 94,1%, 93,2 και 90,4% αντίστοιχα, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA τους είναι χαμηλότερο, 69,6%, 85,8% και 71,4% αντίστοιχα, λόγω της συμπερίληψης στην πρώτη κατηγορία εικονοστοιχείων δάσους, στη δεύτερη κατηγορία εικονοστοιχείων καλλιεργειών και δάσους και στην τρίτη εικονοστοιχείων δάσους. Χαμηλό ποσοστό PA και UA σημείωσε η κατηγορία γυμνό έδαφος, 46,3% και 52,5% αντίστοιχα, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων ως τεχνητές επιφάνειες και λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων λιβαδιών και τεχνητών επιφανειών. Υψηλό ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία των υγροτόπων και των δασών, 100% και 99,8%, αν και τα αντίστοιχα ποσοστά PA είναι χαμηλότερα, 64,3% και 65,7% αντίστοιχα, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν στην πρώτη ως υδάτινοι όγκοι και στη δεύτερη ως καλλιέργειες, όπως έχει ήδη επισημανθεί. Όσο αφορά τις τεχνητές επιφάνειες, σημείωσαν χαμηλό ποσοστό UA 68,5%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους.

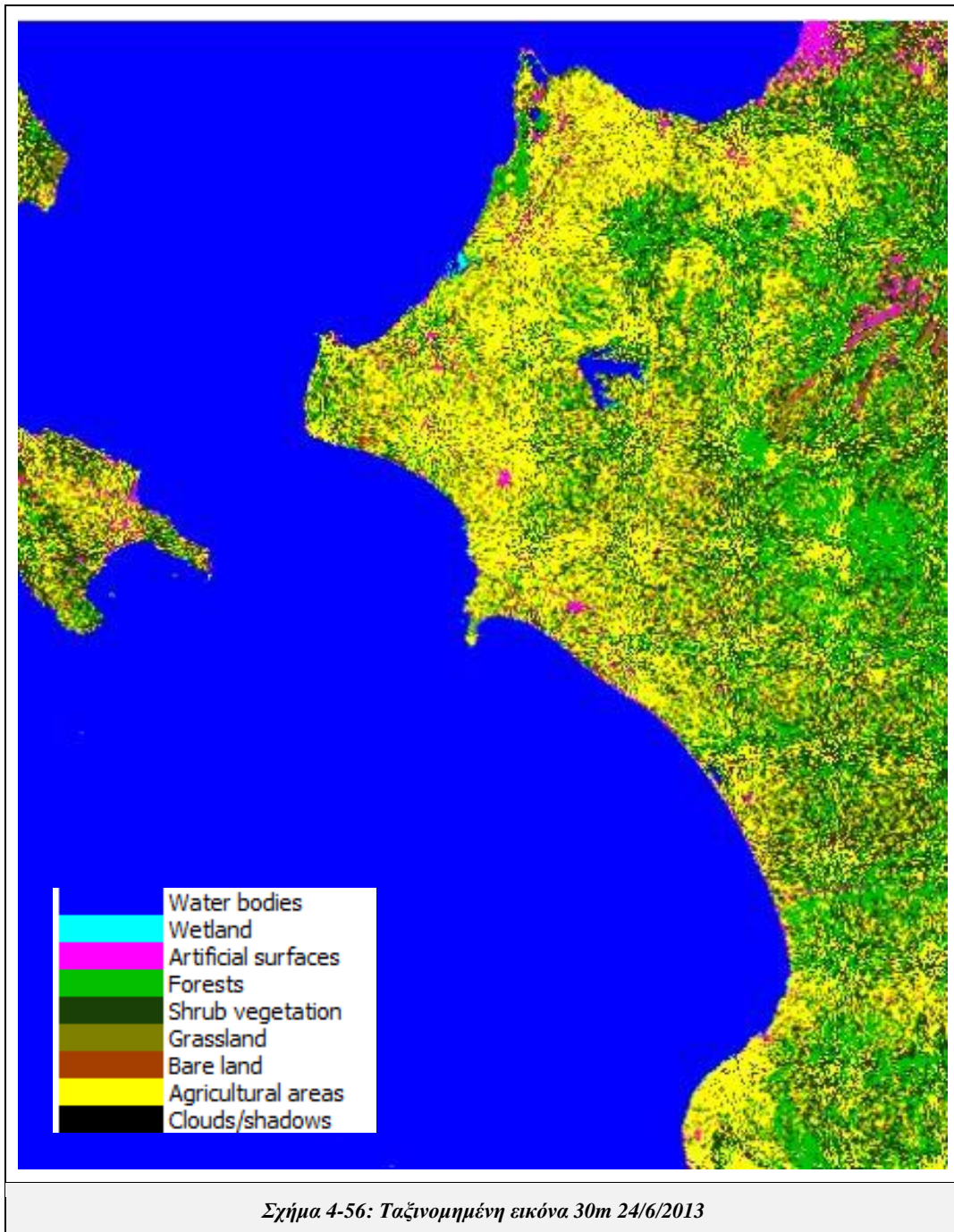
Η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 70,4% και δείκτη K 0,689. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται στην συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους, των τεχνητών επιφανειών και του δάσους.



| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>856</b>   | 14        | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 870          | 98,39         |
| Wetland  | 0            | <b>27</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 27           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 1         | <b>506</b>          | 0          | 0          | 10         | 218        | 2                  | 2               | 739          | 68,47         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>469</b> | 1          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 470          | 99,79         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 4                   | 34         | <b>605</b> | 0          | 6          | 56                 | 0               | 705          | 85,82         |
| Grassland  | 0            | 0         | 3                   | 0          | 0          | <b>169</b> | 9          | 9                  | 0               | 190          | 88,95         |
| Bare land  | 0            | 0         | 43                  | 0          | 0          | 139        | <b>201</b> | 0                  | 0               | 383          | 52,48         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 13                  | 197        | 43         | 0          | 0          | <b>632</b>         | 0               | 885          | 71,41         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 0                   | 14         | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>32</b>       | 46           | 69,57         |
| <b>Total</b>   | 856          | 42        | 569                 | 714        | 649        | 318        | 434        | 699                | 34              | <b>4315</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 64,29     | 88,93               | 65,69      | 93,22      | 53,14      | 46,31      | 90,41              | 94,12           |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 81,0%, Δείκτης K= 0,777</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-18: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

#### 4.1.4 Ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο εκπαίδευσης για όλα τα δεδομένα και ταξινόμηση με SVM

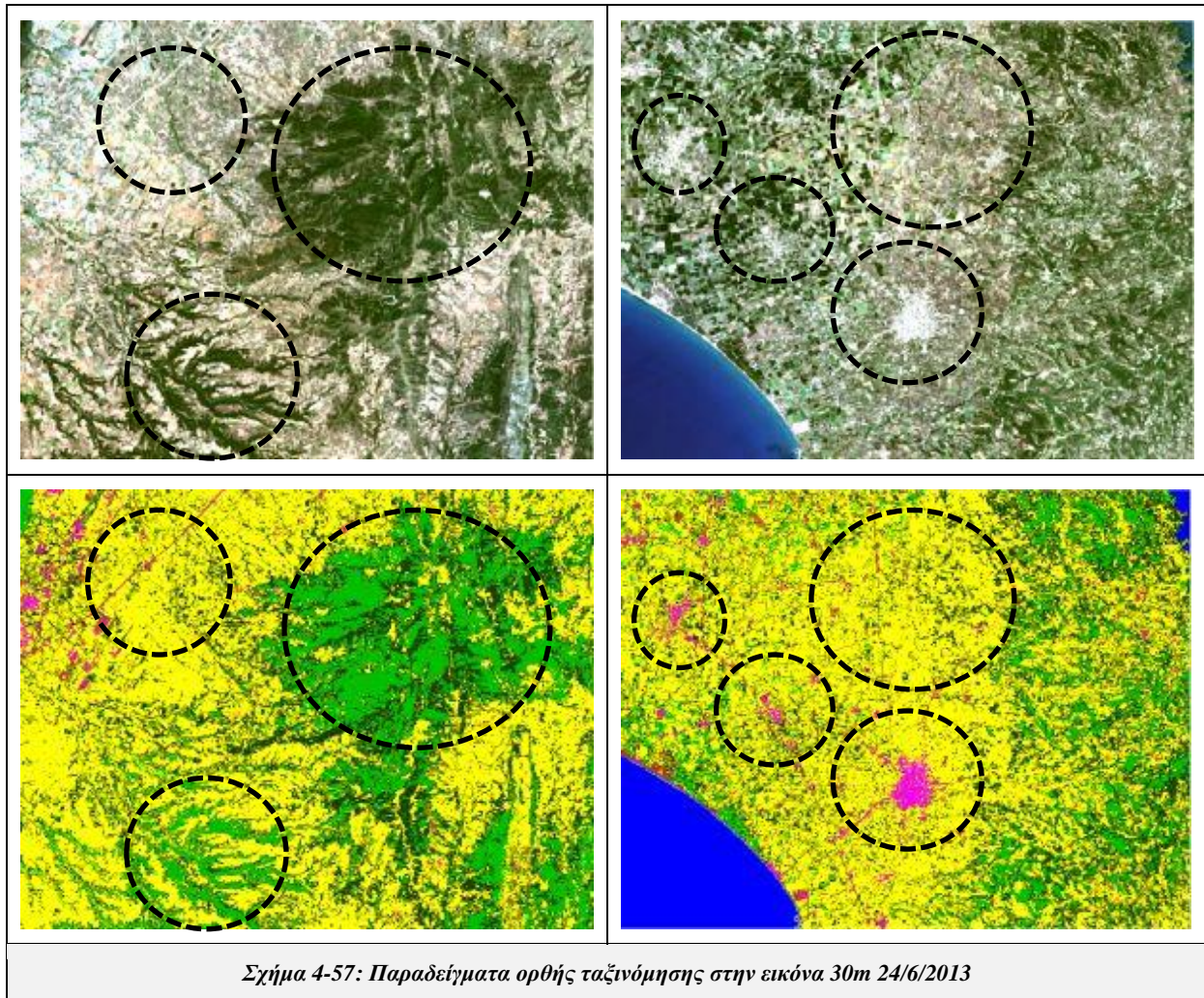
Στην ενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων όλων των εικόνων όπως προέκυψαν από χρήση ενός ενιαίου και διαχρονικού μοντέλου εκπαίδευσης. Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου μοντέλου συνδυάστηκαν όλα τα πολύγωνα εκπαίδευσης που έχουν ψηφιοποιηθεί για κάθε εικόνα ξεχωριστά και για τον λόγο αυτό, το συγκεκριμένο μοντέλο δημιουργήθηκε από 951 διαφορετικά πολύγωνα για 34 κλάσεις. Παρακάτω φαίνονται οι ταξινομημένες εικόνες για κάθε χρονική στιγμή, συνοδευόμενες από ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση.



Από την εικόνα παραπάνω προκύπτει πως η ταξινόμηση έχει ολοκληρωθεί με καλή ακρίβεια, καθώς διαχωρίστηκαν με μεγάλη επιτυχία οι πλείστες κατηγορίες κάλυψης γης της περιοχής. Συγκεκριμένα, οι

τεχνητές επιφάνειες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά, ακόμα και σε δύσκολες περιοχές. Επιπλέον, οι καλλιέργειες αποδόθηκαν ορθά και δεν παρεμβάλλονται εικονοστοιχεία που ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και για τις περιοχές δάσους, οι οποίες ταξινομήθηκαν ορθά και δεν υπάρχει σύγχυση με την κατηγορία των καλλιεργειών. Αντιθέτως, στην εικόνα παρατηρείται πως η περιοχή στο όρος Ερύμανθος ταξινομήθηκε λανθασμένα, καθώς μεγάλο τμήμα του αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια και όχι ως γυμνό έδαφος, όπως φαίνεται λεπτομερέστερα στο σχήμα 4-58 παρακάτω.

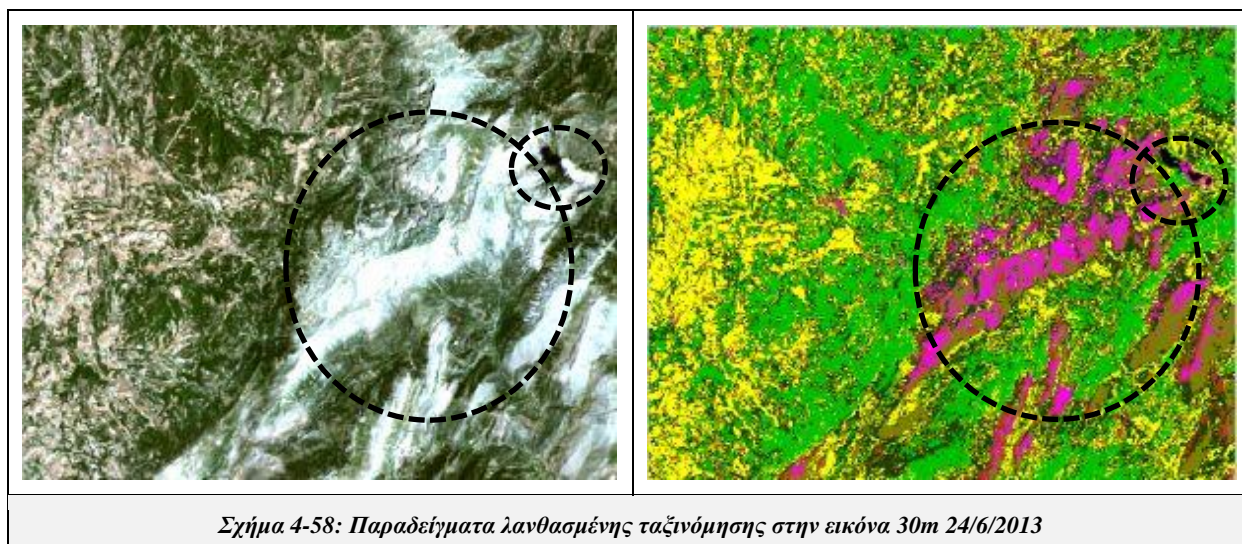
Παρακάτω φαίνονται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία.



Σχήμα 4-57: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013

Από την εικόνα αριστερά στο σχήμα παραπάνω προκύπτει ότι τα δάση της συγκεκριμένης περιοχής ταξινομήθηκαν ορθά και δεν υπάρχει σύγχυση με τις καλλιέργειες και τη θαμνώδη βλάστηση. Επιπλέον, οι καλλιέργειες στο αριστερό άκρο της εικόνας αποδόθηκαν ορθά. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, διακρίνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά οι τεχνητές επιφάνειες και ειδικότερα κάποιοι αστικοί ιστοί με αραιή δόμηση που δύσκολα εντοπιζόνταν από προηγούμενα μοντέλα. Τέλος, και σε αυτή την εικόνα οι περιοχές των καλλιεργειών αποδόθηκαν ορθά και υπάρχει σε πολύ μικρό βαθμό σύγχυση με θαμνώδη βλάστηση και γυμνό έδαφος.

Στο παρακάτω σχήμα επισημαίνεται η κύρια αστοχία της ταξινόμησης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, και αφορά κυρίως την περιοχή στο όρος Ερύμανθος που καλύπτεται από γυμνό έδαφος και λιβάδια, αλλά ταξινομήθηκε λανθασμένα ως τεχνητή επιφάνεια, λόγω σύγχυσης της κατηγορίας με το γυμνό έδαφος. Επίσης, στην ίδια εικόνα παρατηρείται πως το σύννεφο ταξινομήθηκε μερικώς λανθασμένα ως τεχνητή επιφάνεια.



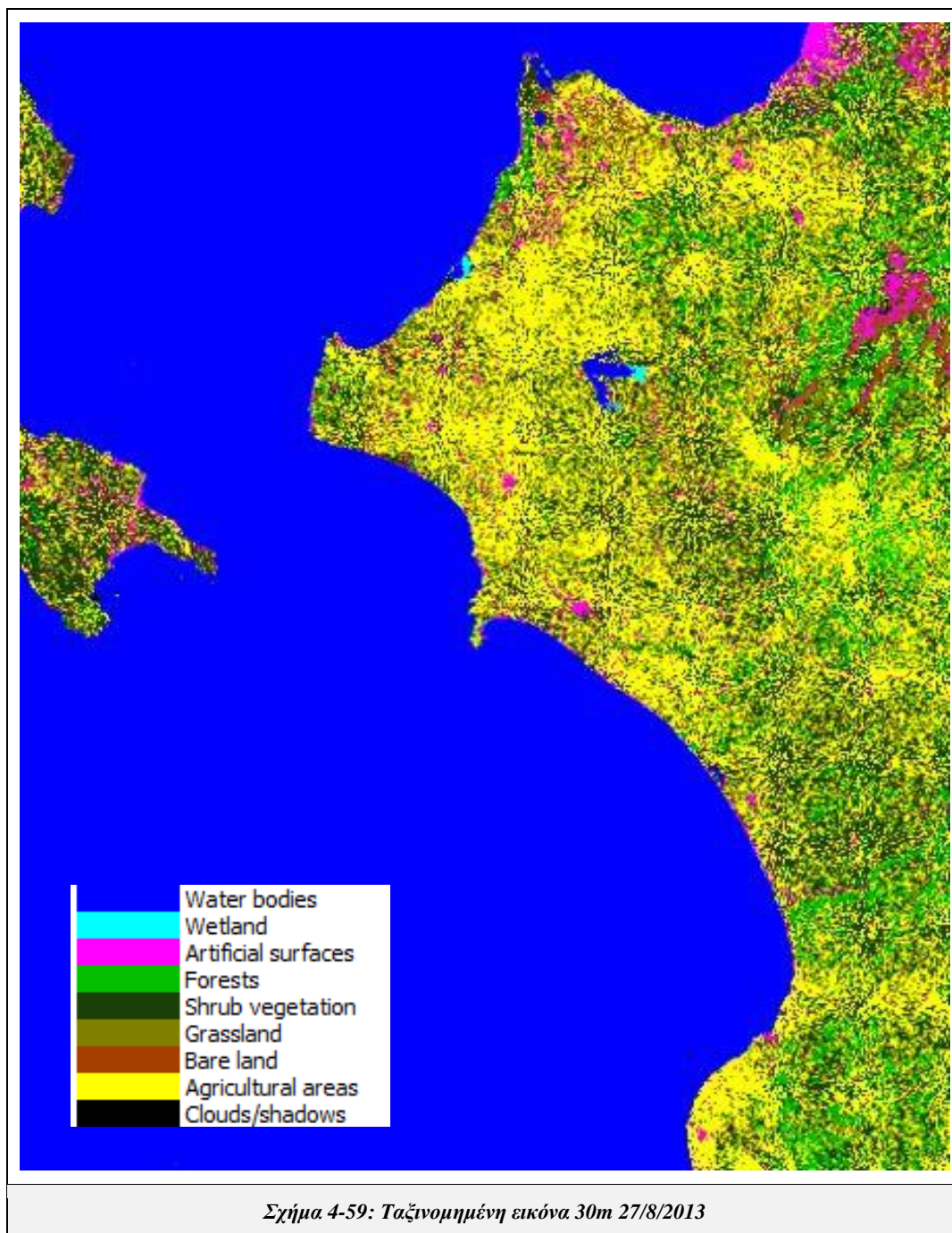
Στη συνέχεια, ακολουθεί ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 84 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Από την παρατήρηση του προκύπτει πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια και πως τα χαμηλά ποσοστά αφορούν κυρίως την κατηγορία του γυμνού εδάφους.

Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 87,0% και 0,844 αντίστοιχα. Ειδικότερα, η κατηγορία σύννεφα/σκιές έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια, ακολουθεί με πολύ υψηλά ποσοστά η κατηγορία υδάτινοι όγκοι (99,3% UA και 100% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία δάση, 99,8%, όμως το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 83%, λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης και καλλιιεργειών. Χαμηλό ποσοστό PA και UA σημείωσε η κατηγορία γυμνό έδαφος, 36,5% και 68% αντίστοιχα, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων ως τεχνητές επιφάνειες και λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης και τεχνητών επιφανειών. Υψηλό ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία των υγροτόπων, 100%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό PA είναι χαμηλότερο, 84,9%, λόγω της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αυτήν ως υδάτινοι όγκοι. Υψηλό ποσοστό PA και UA σημείωσε η κατηγορία λιβάδια, 94,8% και 88,4% αντίστοιχα, και οι καλλιιεργειες, 89,7% και 92,8% αντίστοιχα. Όσο αφορά τη θαμνώδη βλάστηση (91,4% UA και 66,0% PA), ταξινομήθηκαν λανθασμένα εικονοστοιχεία της κατηγορίας κυρίως ως καλλιιεργειες και δάση.

Αξίζει να σημειωθεί πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 79,3% και δείκτη K 0,781. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται και σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους και των καλλιιεργειών.

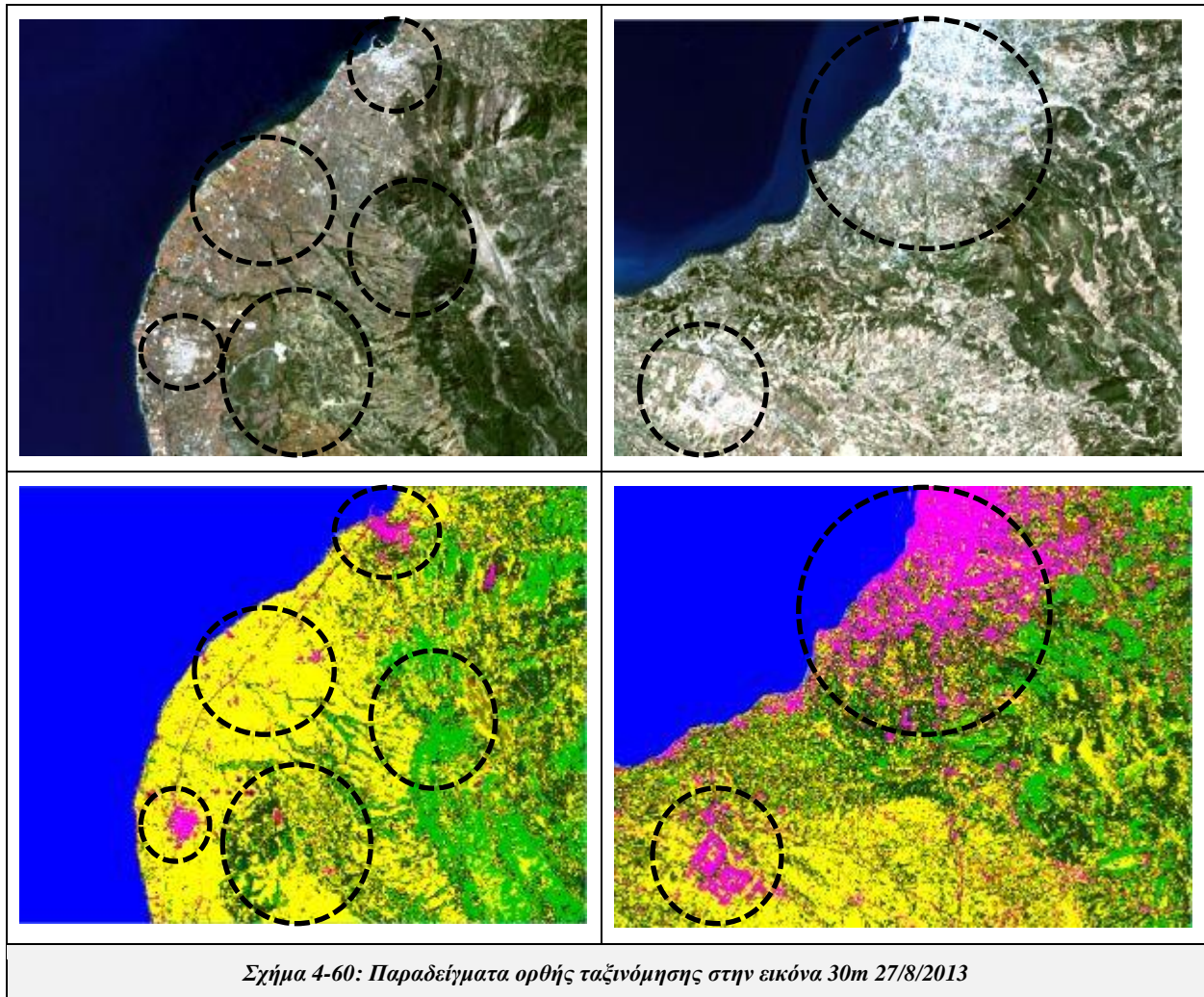
| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>758</b>   | 5         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 763          | 99,34         |
| Wetland  | 0            | <b>28</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 28           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>539</b>          | 0          | 0          | 12         | 204        | 3                  | 0               | 758          | 71,11         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>508</b> | 50         | 0          | 0          | 54                 | 0               | 612          | 83,01         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 1                   | 0          | <b>276</b> | 1          | 0          | 24                 | 0               | 302          | 91,39         |
| Grassland  | 0            | 0         | 4                   | 0          | 2          | <b>237</b> | 5          | 20                 | 0               | 268          | 88,43         |
| Bare land  | 0            | 0         | 25                  | 0          | 25         | 0          | <b>121</b> | 7                  | 0               | 178          | 67,98         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 5                   | 1          | 65         | 0          | 2          | <b>944</b>         | 0               | 1017         | 92,82         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>43</b>       | 43           | 100,00        |
| <b>Total</b>   | 758          | 33        | 574                 | 509        | 418        | 250        | 332        | 1052               | 43              | <b>3969</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 84,85     | 93,90               | 99,80      | 66,03      | 94,80      | 36,45      | 89,73              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 87,0%, Δείκτης K= 0,844</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-19: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της εικόνας 27/8/2013, με τη χρήση του ενιαίου μοντέλου.



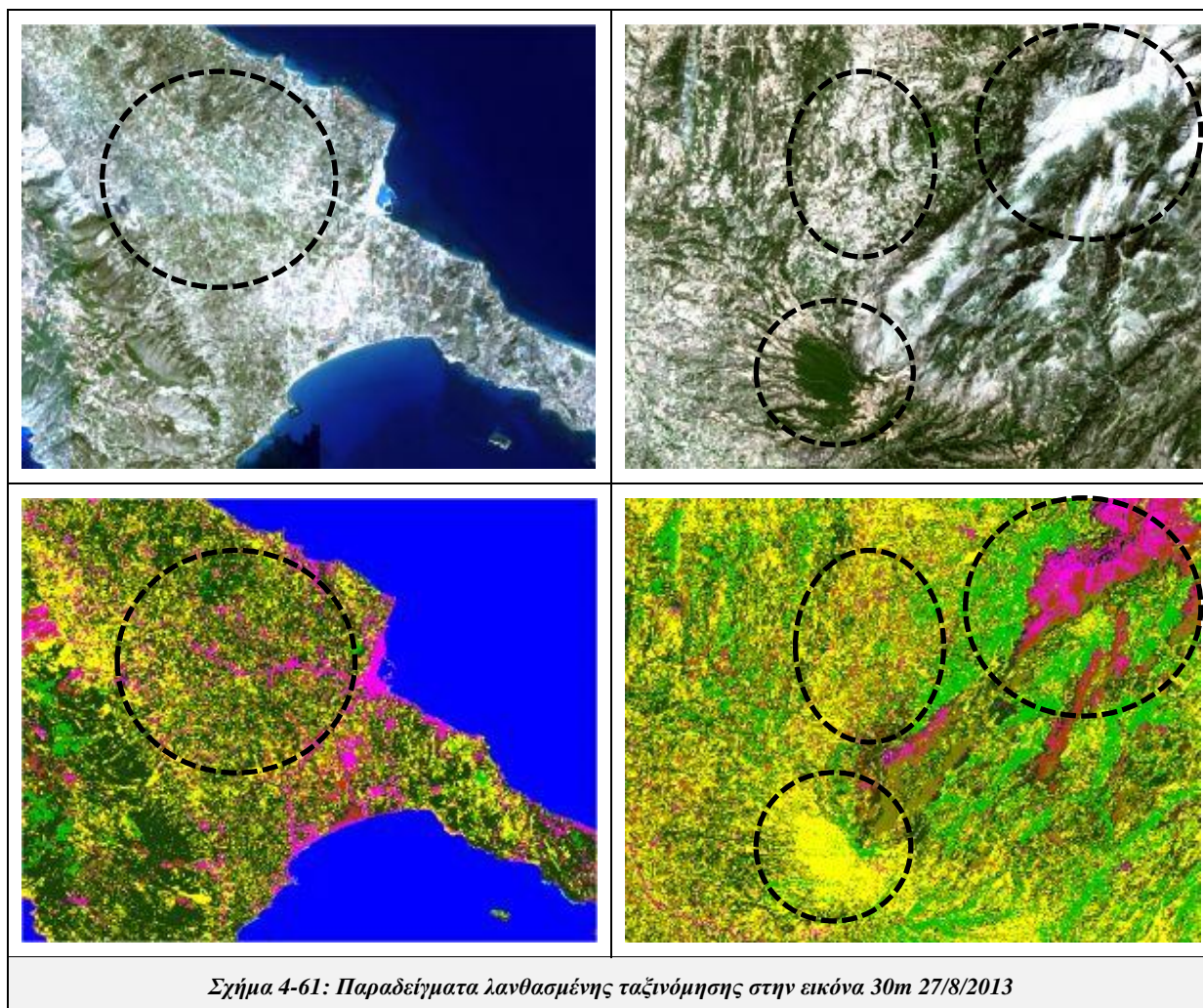
Από την παραπάνω εικόνα προκύπτει πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια και επιτυχία. Συγκεκριμένα, οι τεχνητές επιφάνειες της περιοχής, αστικοί ιστοί, αεροδρόμια, λιμάνια, δρόμοι και ορυχεία εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά. Αντίστοιχα, ορθά ταξινομήθηκαν οι περιοχές καλλιέργειών, εκτός από την περιοχή της νήσου Ζακύνθου που φαίνεται στο κέντρο αριστερά της εικόνας, και αποδόθηκε ως θαμνώδης βλάστηση. Επιπλέον, παρατηρείται ότι τα δάση εντοπίστηκαν ορθά στην εικόνα, εκτός από την περιοχή κάτω από το όρος Ερύμανθος που ταξινομήθηκε λανθασμένα ως καλλιέργεια. Όσο αφορά το όρος Ερύμανθος και σε αυτήν την περίπτωση ταξινομήθηκε λανθασμένα και μέρος γυμνού εδάφους που το καλύπτει αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια.

Παρακάτω βρίσκονται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης της εικόνας, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία.



Όπως φαίνεται στην εικόνα αριστερά του παραπάνω σχήματος, οι τεχνητές επιφάνειες, αστικοί ιστοί και ορυχείο, ταξινομήθηκαν ορθά και δεν αποδόθηκαν λανθασμένα ως γυμνό έδαφος όπως έχει συμβεί με άλλα μοντέλα. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα ταξινομήθηκαν ορθά οι καλλιέργειες, η θαμνώδης βλάστηση και τα δάση, χωρίς να υπάρχει σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών, στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής. Στην εικόνα δεξιά παρατηρείται ότι και σε αυτή την περίπτωση ορθά ταξινομήθηκαν οι τεχνητές επιφάνειες, που στη συγκεκριμένη περιοχή αφορούν τον οικισμό της Πάτρας και μια βιομηχανική περιοχή κοντά σε αυτόν.

Αντίστοιχα, στο σχήμα παρακάτω εντοπίζονται κάποια παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης. Στην εικόνα αριστερά διακρίνεται πως οι περιοχές καλλιεργειών που επισημαίνονται στην περιοχή ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Παράλληλα, στην εικόνα δεξιά προκύπτει παρόμοιο συμπέρασμα, καθώς στην περιοχή καλλιεργειών ταξινομήθηκαν μερικά εικονοστοιχεία λανθασμένα ως γυμνό έδαφος και λιβάδια. Στην ίδια εικόνα φαίνεται πως η περιοχή δάσους που επισημαίνεται, αποδόθηκε λανθασμένα ως καλλιέργεια. Τέλος, διακρίνεται η λανθασμένη ταξινόμηση περιοχής του όρους Ερύμανθος ως τεχνητή επιφάνεια και όχι ως γυμνό έδαφος.



Σχήμα 4-61: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013

Πιο κάτω παρατίθεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 96 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Από την παρατήρηση του προκύπτει πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια και συγκεκριμένα η ταξινόμηση σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 83,1% και 0,799 αντίστοιχα.

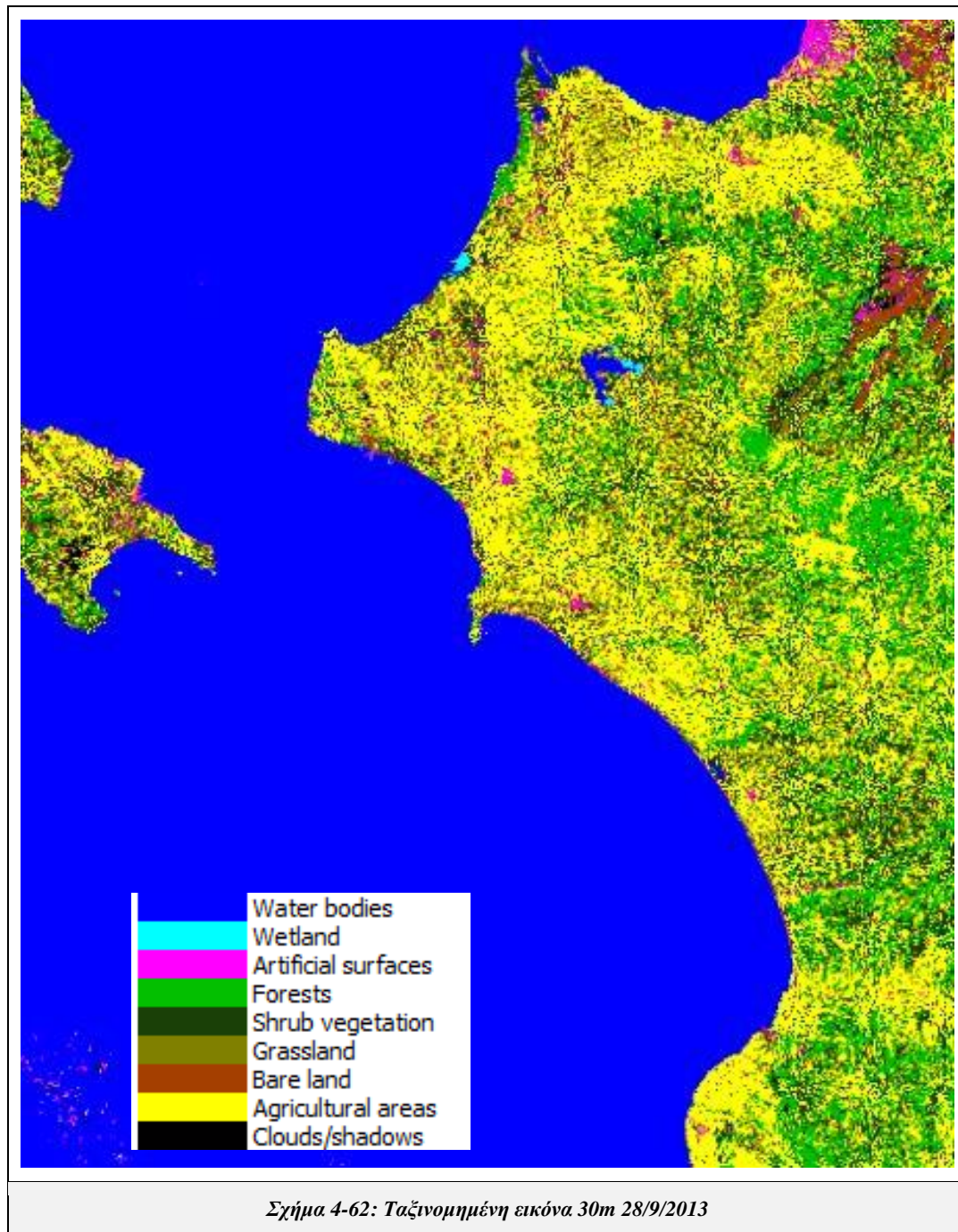
Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι έχει το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας (99,4% UA και 100% PA), τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια ακολουθεί με πολύ υψηλά ποσοστά η κατηγορία υγρότοποι (100% UA και 86,1% PA). Υψηλό ποσοστό PA και UA σημείωσε η κατηγορία λιβάδια, 95,6% και 83,3% αντίστοιχα. Χαμηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία δάση, 50,4%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης πλήθους εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως καλλιέργειες, όπως έχει ήδη επισημανθεί στο σχήμα 4-61, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι πολύ υψηλό, 99,6%. Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία σύννεφα/σκιές, 100%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 68%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών. Όσο αφορά τις υπόλοιπες κατηγορίες, αυτές σημείωσαν υψηλά ποσοστά γενικά και ιδιαίτερα παρατηρείται ότι στην κατηγορία των καλλιεργειών έχουν συμπεριληφθεί πλήθος εικονοστοιχείων κυρίως δασών και ακολούθως θαμνώδους βλάστησης.

Αξίζει να σημειωθεί πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, κινήθηκε στα ίδια επίπεδα και συγκεκριμένα ήταν 81,3% και ο δείκτης K 0,802. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η συγχώνευση των υποκατηγοριών δεν προκάλεσε κάποια ιδιαίτερη αύξηση στην ακρίβεια.



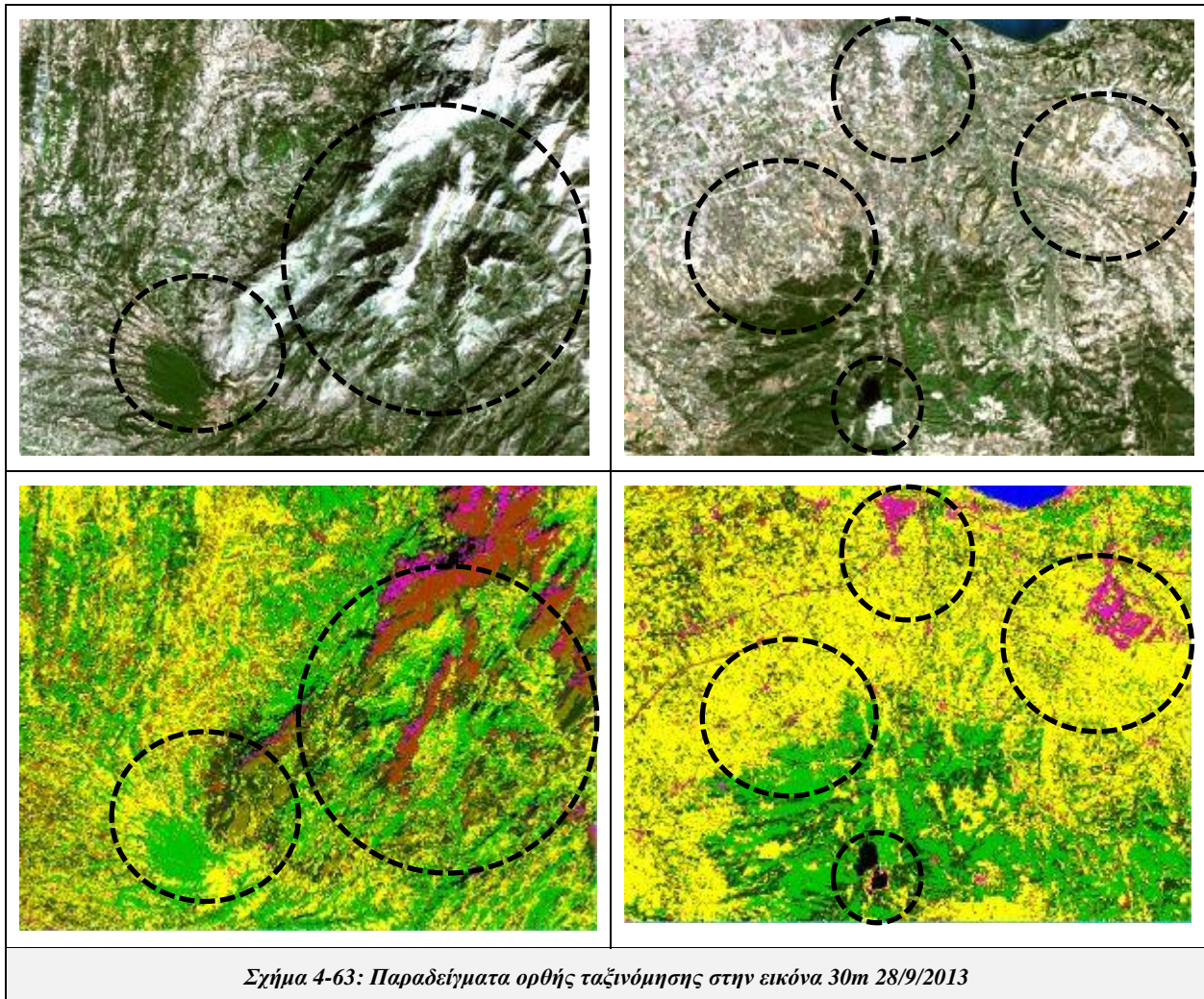
|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>859</b>     | 5         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 864         | 99,42  |
| Wetland  | 0              | <b>37</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 37          | 100,00 |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>324</b>          | 0          | 2          | 1          | 90         | 15                 | 0               | 432         | 75,00  |
| Forests  | 0              | 1         | 0                   | <b>262</b> | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 263         | 99,62  |
| Shrubland  | 0              | 0         | 5                   | 12         | <b>520</b> | 9          | 37         | 55                 | 0               | 638         | 81,50  |
| Grassland  | 0              | 0         | 1                   | 0          | 5          | <b>260</b> | 2          | 44                 | 0               | 312         | 83,33  |
| Bare land  | 0              | 0         | 31                  | 0          | 0          | 0          | <b>396</b> | 31                 | 0               | 458         | 86,46  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 2                   | 246        | 86         | 2          | 0          | <b>713</b>         | 0               | 1049        | 67,97  |
| Cloud / shadows  | 0              | 0         | 8                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>17</b>       | 25          | 68,00  |
| <b>Total</b>   | 859            | 43        | 371                 | 520        | 613        | 272        | 525        | 858                | 17              | <b>4078</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00         | 86,05     | 87,33               | 50,38      | 84,83      | 95,59      | 75,43      | 83,10              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 83,1%, Δείκτης K= 0,799</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-20: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

Παρακάτω φαίνεται η ταξινόμηση της εικόνας 28/9/2013, όπως προέκυψε από το ενιαίο μοντέλο που χρησιμοποιείται σε αυτή την ενότητα.



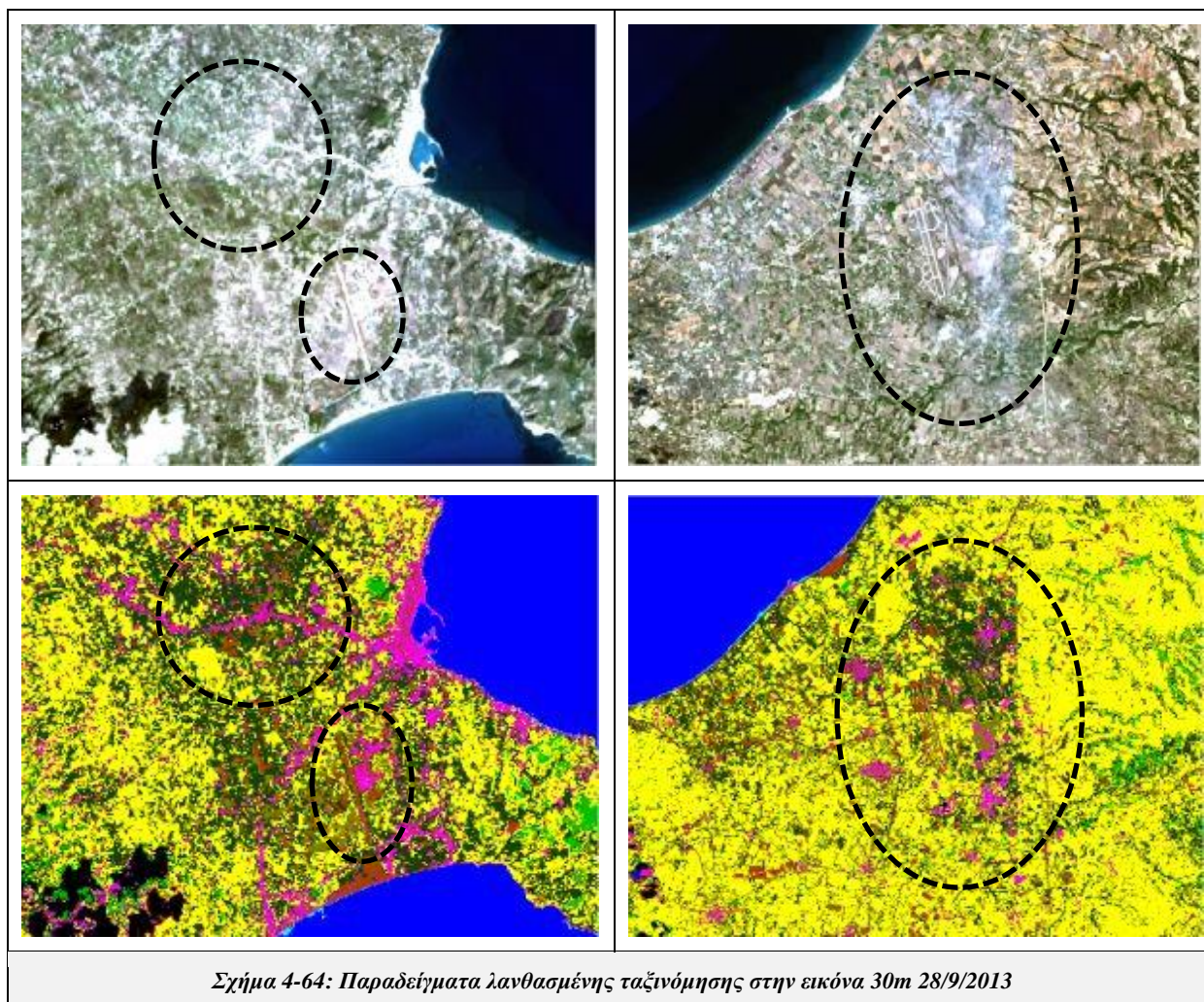
Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται πως η εικόνα ταξινομήθηκε με καλή ακρίβεια, καθώς διαχωρίστηκαν με μεγάλη επιτυχία οι διάφορες κατηγορίες κάλυψης γης της περιοχής. Όσο αφορά τις τεχνητές επιφάνειες, αυτές εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν με επιτυχία σε όλη την περιοχή, εκτός από το σημείο της αραιής συνεφοκάλυψης που δεν ταξινομήθηκε ορθά ούτε με αυτό το μοντέλο. Τα δάση, τα λιβάδια και οι καλλιέργειες ταξινομήθηκαν ορθά, όπως και κάποια σύννεφα στη νήσο Ζάκυνθο, στο κέντρο αριστερά της εικόνας. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως σε αυτή την εικόνα ταξινομήθηκε με επιτυχία το όρος Ερύμανθος και οι περιοχές γυμνού εδάφους διαχωρίστηκαν από τις τεχνητές επιφάνειες.

Παρακάτω βρίσκονται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Στο σχήμα 4-63 παραπάνω διακρίνονται κάποια παραδείγματα ορθής ταξινόμησης. Στην εικόνα αριστερά, διακρίνεται το όρος Ερύμανθος το οποίο ταξινομήθηκε ορθά και τόσο η περιοχή γυμνού εδάφους όσο και η περιοχή λιβαδιών εντοπίστηκαν και αποδόθηκαν με επιτυχία. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα είναι εμφανής η ορθή ταξινόμηση του δάσους και της θαμνώδους βλάστησης, στην επισημασμένη περιοχή. Στη δεξιά εικόνα παρατηρείται πως η βιομηχανική περιοχή και ο αστικός ιστός που επισημαίνονται, ταξινομήθηκαν ορθά ως τεχνητές επιφάνειες. Παράλληλα, οι καλλιέργειες γύρω τους αποδόθηκαν επίσης ορθά, όπως και τα δάση της περιοχής. Επίσης, στο κάτω μέρος της εικόνας φαίνεται ένα σύννεφο και η σκιά του, όπου και οι δύο οντότητες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά.

Στο παρακάτω σχήμα και στην εικόνα αριστερά διακρίνεται ένα αεροδρόμιο το οποίο δεν εντοπίστηκε, και ταξινομήθηκε λανθασμένα ως γυμνό έδαφος. Στην ίδια εικόνα, λίγο πιο πάνω από το αεροδρόμιο, υπάρχει περιοχή καλλιεργείων που ταξινομήθηκε λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η περιοχή που καλύπτεται από αραιή συννεφοκάλυψη, η οποία έχει προκαλέσει λανθασμένη ταξινόμηση στις καλλιέργειες και στο αεροδρόμιο που αποδόθηκαν ως γυμνό έδαφος, θαμνώδης βλάστηση και λιβάδια.



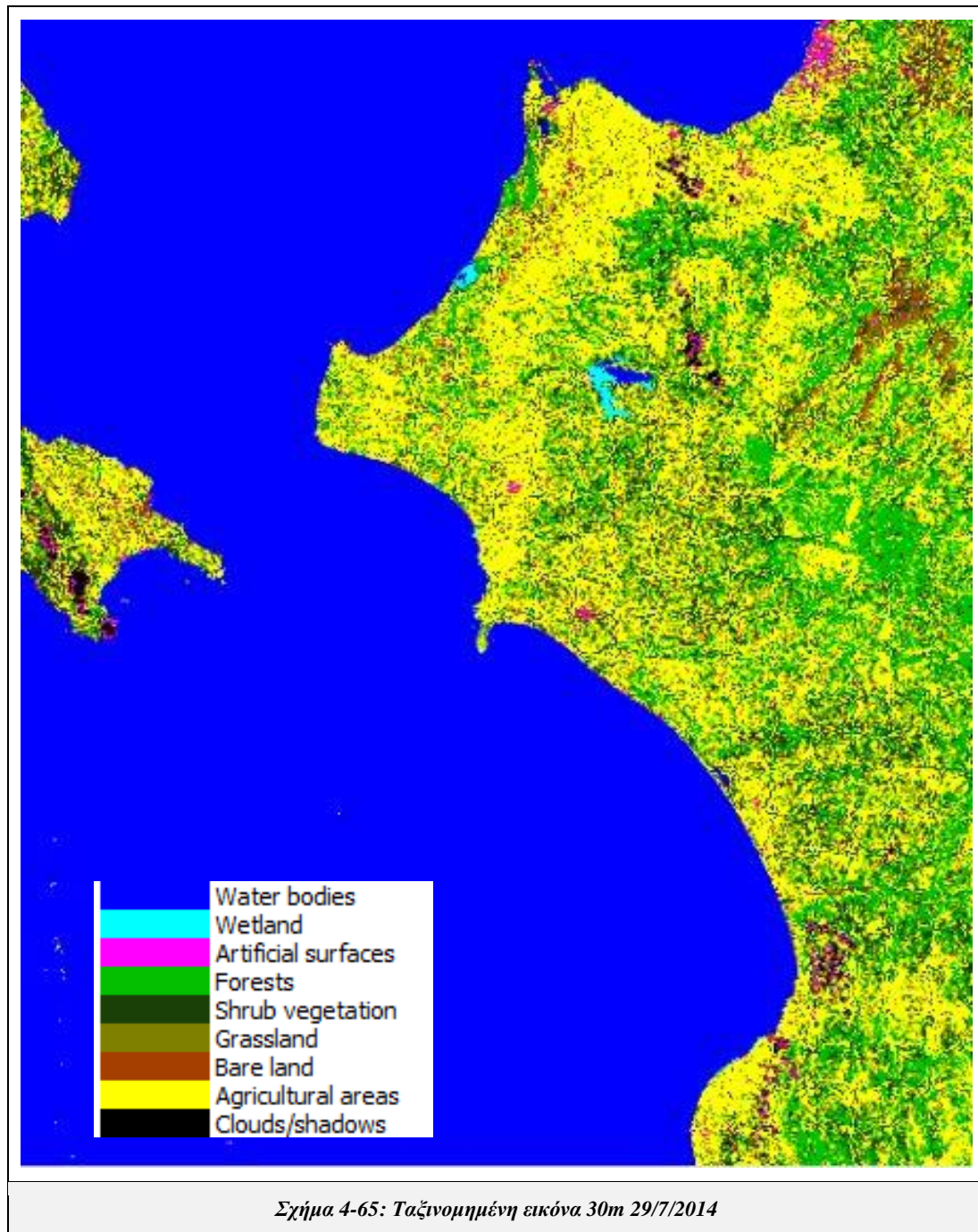
Στη συνέχεια, παρατίθεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 76 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Από την παρατήρηση του προκύπτει πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια και συγκεκριμένα η ταξινόμηση σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 84,5% και 0,819 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι έχουν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια, ακολουθεί με πολύ υψηλά ποσοστά η κατηγορία δάση (98,5% UA και 89,2% PA). Υψηλό ποσοστό PA και UA σημείωσε η κατηγορία λιβάδια, 84,7% και 82,8% αντίστοιχα, και η κατηγορία των καλλιεργειών, 86,5% και 78,7% αντίστοιχα. Το χαμηλότερο ποσοστό PA σημείωσε το γυμνό έδαφος, 69,7%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων κυρίως ως τεχνητές επιφάνειες. Τα χαμηλότερα ποσοστά UA σημείωσαν η κατηγορία σύννεφα/σκιές και η κατηγορία γυμνό έδαφος, 67,4% και 65,4% αντίστοιχα, λόγω της συμπερίληψης στην πρώτη εικονοστοιχείων δάσους και στη δεύτερη εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών. Όσο αφορά την κατηγορία της θαμνώδους βλάστησης (73,4% UA και 75,2% PA), πλήθος εικονοστοιχείων της ταξινομήθηκαν ως καλλιέργειες και έχουν λανθασμένα συμπεριληφθεί σε αυτή κυρίως εικονοστοιχεία γυμνού εδάφους και καλλιεργειών.

Αξίζει να σημειωθεί πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 75,9% και δείκτη K 0,744. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται και σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους, των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.

| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>699</b>   | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 699          | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>63</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 63           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>533</b>          | 0          | 0          | 0          | 62         | 1                  | 0               | 596          | 89,43         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>527</b> | 7          | 0          | 0          | 1                  | 0               | 535          | 98,50         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 15                  | 24         | <b>442</b> | 19         | 30         | 72                 | 0               | 602          | 73,42         |
| Grassland  | 0            | 0         | 0                   | 0          | 0          | <b>193</b> | 14         | 26                 | 0               | 233          | 82,83         |
| Bare land  | 0            | 0         | 133                 | 0          | 0          | 14         | <b>278</b> | 0                  | 0               | 425          | 65,41         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 17                  | 1          | 139        | 2          | 15         | <b>643</b>         | 0               | 817          | 78,70         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 6                   | 39         | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>93</b>       | 138          | 67,39         |
| <b>Total</b>   | 699          | 63        | 704                 | 591        | 588        | 228        | 399        | 743                | 93              | 4108         |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 100,00    | 75,71               | 89,17      | 75,17      | 84,65      | 69,67      | 86,54              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 84,5%, Δείκτης K= 0,819</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-21: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

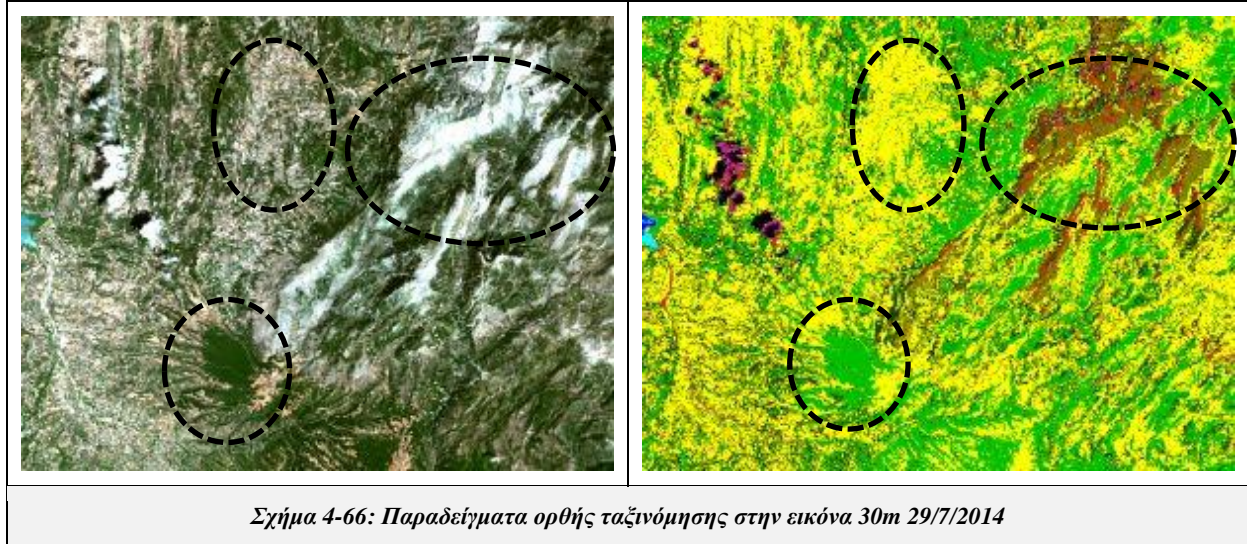
Παρακάτω βρίσκεται η ταξινόμηση της εικόνας 29/7/2014 όπως προέκυψε από χρήση του αλγορίθμου με το ενιαίο μοντέλο.



Από την εικόνα παραπάνω προκύπτει πως η ταξινόμηση έχει ολοκληρωθεί με μέτρια ακρίβεια, εφόσον παρατηρούνται κάποιες σημαντικές αστοχίες. Συγκεκριμένα, διακρίνεται πως οι περιοχές θαμνώδους βλάστησης δεν εντοπίστηκαν ορθά και ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες σχεδόν σε όλη την εικόνα. Ακόμη, φαίνεται πως κάποιοι αστικοί ιστοί και αεροδρόμια, δεν αποδόθηκαν ως τεχνητές επιφάνειες αλλά ως γυμνό έδαφος, γεγονός που ελαττώνει την ακρίβεια της ταξινόμησης. Επιπλέον, παρατηρείται πως κομμάτι της λίμνης στο κέντρο της εικόνας ταξινομήθηκε λανθασμένα ως υγρότοπος, λόγω λανθασμένων φασματικών τιμών της αρχικής εικόνας. Αντιθέτως, διαπιστώνεται από την εικόνα πως οι περιοχές δάσους εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά, αν και φαίνεται πως κάποιες καλλιέργειες έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία, λόγω της έντονης ανάπτυξης τους. Επίσης, παρατηρείται πως η περιοχή του όρους Ερύμανθος

ταξινομήθηκε ορθά ως γυμνό έδαφος και λιβάδια, κάτι που δεν είχε παρατηρηθεί σε κάποιες από τις προηγούμενες ταξινομήσεις. Τέλος, φαίνεται πως τα σύννεφα και οι σκιές τους εντοπίστηκαν και αποδόθηκαν σε πολύ μεγάλο βαθμό ορθά.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Σχήμα 4-66: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται με λεπτομέρεια παραδείγματα ορθής ταξινόμησης για τις κατηγορίες που έχουν ήδη αναφερθεί πιο πάνω. Ειδικότερα, διακρίνεται πως τα δάση ταξινομήθηκαν ορθά και δεν υπάρχει σύγχυση με την κατηγορία των καλλιεργείων. Επίσης, στην εικόνα επισημαίνεται μια περιοχή που καλύπτεται από καλλιέργειες, η οποία αποδόθηκε ορθά και δεν υπάρχει παρεμβολή εικονοστοιχείων λανθασμένα ταξινομημένα ως θαμνώδης βλάστηση. Τέλος, παρατηρείται πως στο όρος Ερύμανθος ταξινομήθηκε ορθά το γυμνό έδαφος και τα λιβάδια, γεγονός που δεν είχε παρατηρηθεί στις προηγούμενες εικόνες που ταξινομήθηκαν με το ίδιο μοντέλο.

Στο σχήμα 4-67, φαίνονται τρεις εικόνες στις οποίες ταξινομήθηκαν λανθασμένα κάποιες περιοχές. Συγκεκριμένα, στην εικόνα αριστερά διακρίνεται πως τόσο ο αστικός ιστός, όσο και το αεροδρόμιο της περιοχής αποδόθηκαν λανθασμένα ως γυμνό έδαφος, οδηγώντας στο συμπέρασμα πως το μοντέλο στην εικόνα αυτή δεν κατάφερε να εντοπίσει επαρκώς τις αστικές επιφάνειες. Στην κεντρική εικόνα παρατηρείται πως οι συγκεκριμένες περιοχές θαμνώδους βλάστησης που επισημαίνονται, ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες, αποκαλύπτοντας έτσι, ακόμα μια αστοχία του μοντέλου. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, σε αυτήν φαίνονται ακόμα ένα αεροδρόμιο που αποδόθηκε ως γυμνό έδαφος, αποδεικνύοντας πως το πρόβλημα του μοντέλου είναι καθολικό και δεν αφορά κάποια συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα, αριστερά του αεροδρομίου επισημαίνεται μια περιοχή θαμνώδους βλάστησης και λιβαδιών η οποία αποδόθηκε επίσης λανθασμένα ως καλλιέργεια.

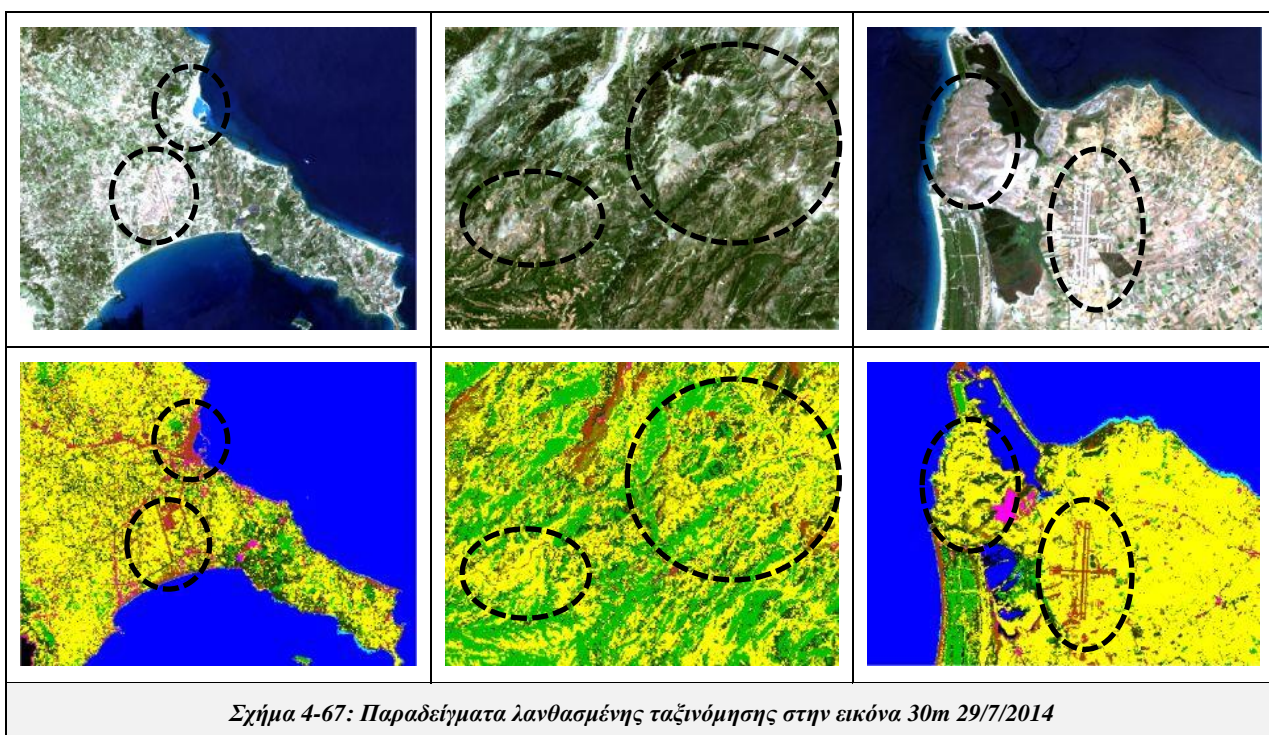
Παρακάτω, ακολουθεί ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 92 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Από την παρατήρηση του προκύπτει πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με μέτρια ακρίβεια, όπως διαπιστώθηκε από την ποιοτική αξιολόγηση που έχει ήδη προηγηθεί. Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 78,1% και 0,745 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η κατηγορία σύννεφα/σκιές σημείωσε το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια, με πολύ υψηλό ποσοστό ακολουθεί η κατηγορία υδάτινοι όγκοι (99,5% UA και 100% PA) και η κατηγορία υγρότοποι (100% UA και 88,9% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία δάση, 100%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 78,6%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων καλλιεργείων. Χαμηλά ποσοστά PA σημείωσαν η θαμνώδης βλάστηση,

42,8%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως καλλιέργειες, και η κατηγορία τεχνητές επιφάνειες, 47,0%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής κυρίως ως γυμνό έδαφος και ακολούθως ως καλλιέργειες. Για τις δύο αυτές αστοχίες έχουν ήδη αναφερθεί και επισημανθεί παραδείγματα με λεπτομέρεια στο σχήμα 4-67, που βρίσκεται παρακάτω.

Σημειώνεται, επίσης, πως η κατηγορία τεχνητές επιφάνειες σημείωσε υψηλό ποσοστό UA, 91,3%, ανεξάρτητα από το χαμηλό ποσοστό PA, λόγω της μη λανθασμένης συμπερίληψης άλλων εικονοστοιχείων στην κατηγορία. Υψηλό ποσοστό UA και PA σημείωσε η κατηγορία λιβάδια, 83,9% και 80,8% αντίστοιχα. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία καλλιέργειες, 59,7%, λόγω της συμπερίληψης σε αυτήν κυρίως εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης. Όσο αφορά την κατηγορία γυμνό έδαφος (67,4% UA και 76,4% PA), σε αυτήν έχουν συμπεριληφθεί λανθασμένα εικονοστοιχεία κυρίως τεχνητών επιφανειών.

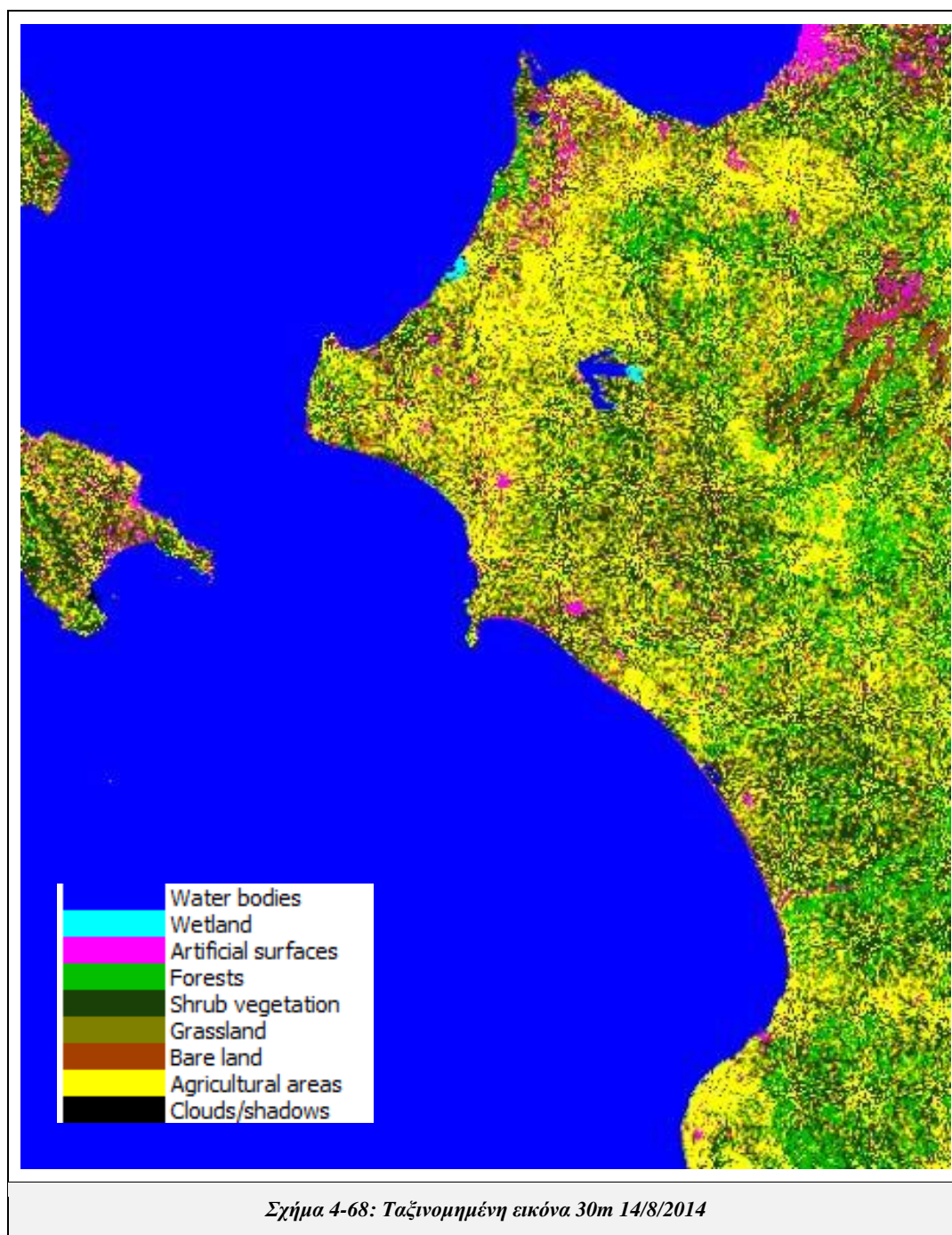
Αξίζει να σημειωθεί πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 69,7% και δείκτη K 0,683. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στη συγχώνευση των υποκατηγοριών του δάσους, των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.





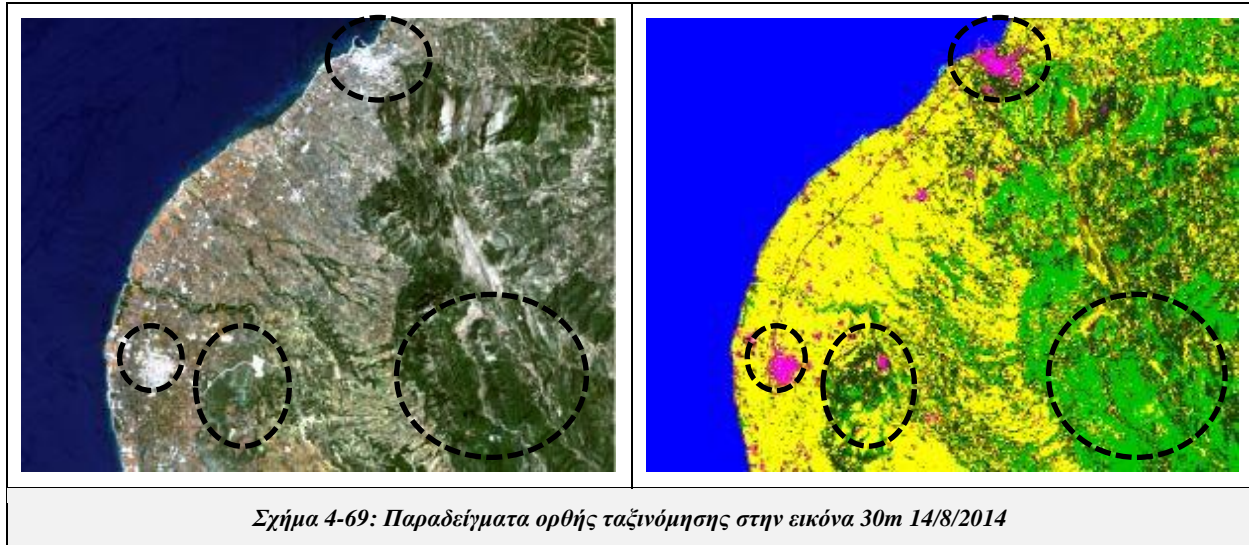
| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>776</b>   | 4         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 780          | 99,49         |
| Wetland  | 0            | <b>32</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 32           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>220</b>          | 0          | 0          | 0          | 21         | 0                  | 0               | 241          | 91,29         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>545</b> | 18         | 0          | 0          | 130                | 0               | 693          | 78,64         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 4                   | 0          | <b>253</b> | 0          | 55         | 24                 | 0               | 336          | 75,30         |
| Grassland  | 0            | 0         | 2                   | 0          | 0          | <b>261</b> | 44         | 4                  | 0               | 311          | 83,92         |
| Bare land  | 0            | 0         | 198                 | 0          | 9          | 8          | <b>444</b> | 0                  | 0               | 659          | 67,37         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 44                  | 0          | 311        | 54         | 17         | <b>631</b>         | 0               | 1057         | 59,70         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>223</b>      | 223          | 100,00        |
| <b>Total</b>   | 776          | 36        | 468                 | 545        | 591        | 323        | 581        | 789                | 223             | <b>4332</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 88,89     | 47,01               | 100,00     | 42,81      | 80,80      | 76,42      | 79,97              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 78,1%, Δείκτης K= 0,745</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-22: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 27/9/2014</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

Παρακάτω φαίνεται η ταξινόμηση της εικόνας 14/8/2014, όπως προέκυψε από το ενιαίο μοντέλο.



Από το σχήμα παραπάνω προκύπτει ότι σε αυτή την περίπτωση η εικόνα ταξινομήθηκε επαρκώς με κάποιες μικρές αστοχίες. Ειδικότερα, φαίνεται πως οι τεχνητές επιφάνειες, μικροί και μεγάλοι οικισμοί, λιμάνια, αεροδρόμια και δρόμοι, εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά σε όλη την περιοχή. Επιπλέον, οι περιοχές καλλιεργειών και θαμνώδους βλάστησης έχουν διαχωριστεί επαρκώς και ταξινομήθηκαν ορθά χωρίς ιδιαίτερες αστοχίες. Τα κυριότερα λάθη που παρατηρούνται στην ταξινομημένη εικόνα αφορούν τα δάση και το γυμνό έδαφος. Συγκεκριμένα, η περιοχή δάσους κάτω από το όρος Ερύμανθος ταξινομήθηκε λανθασμένα ως καλλιέργειες και η περιοχή γυμνού εδάφους στο όρος Ερύμανθος αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια, όπως έχει ήδη παρατηρηθεί σε προηγούμενες ταξινομήσεις με το ίδιο μοντέλο. Οι δύο αυτές αστοχίες έχουν ελαττώσει την ακρίβεια της ταξινόμησης και μελετώνται με περισσότερη λεπτομέρεια στη συνέχεια.

Ακολουθώς, παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση.



Σχήμα 4-69: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014

Στην εικόνα του παραπάνω σχήματος παρατηρείται πως οι δύο αστικοί ιστοί της περιοχής που επισημαίνονται εντοπίστηκαν και αποδόθηκαν ορθά σε μεγάλο βαθμό. Παράλληλα, το ορυχείο που τοποθετείται στα δεξιά του οικισμού που βρίσκεται κάτω αριστερά, εντοπίστηκε και ταξινομήθηκε επίσης ορθά. Επιπλέον, η περιοχή δάσους στο δεξί μέρος της εικόνας αποδόθηκε επιτυχώς χωρίς κάποια αστοχία, ιδιαίτερα όσο αφορά τον διαχωρισμό της με τις καλλιέργειες. Τέλος, στην ίδια εικόνα παρατηρείται πως οι περιοχές θαμνώδους βλάστησης ταξινομήθηκαν επίσης ορθά στο συγκεκριμένο κομμάτι της εικόνας.

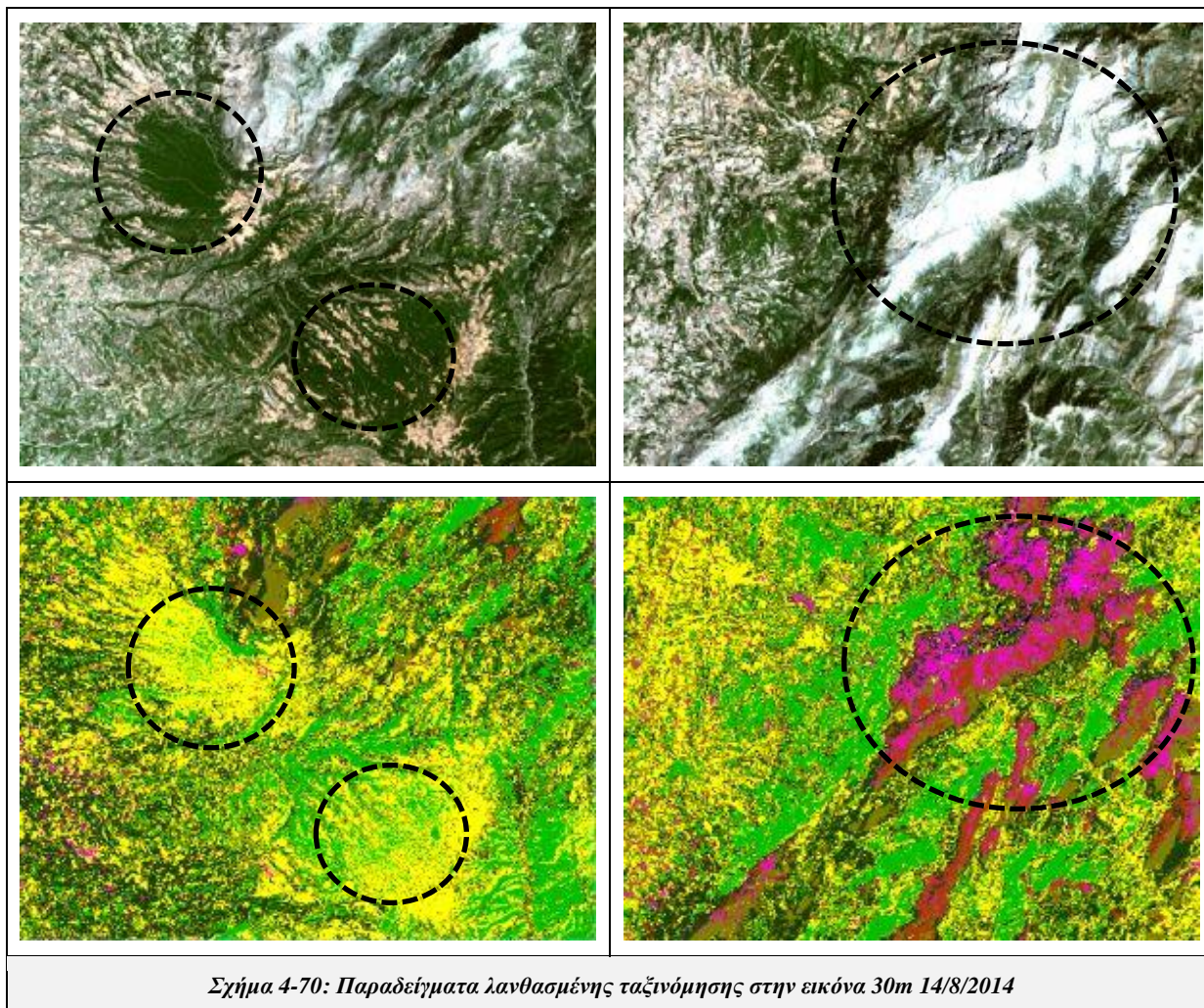
Στο σχήμα 4-70 παρατίθενται παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης κατηγοριών που έχουν ήδη αναφερθεί. Στην εικόνα αριστερά διακρίνονται κάποιες περιοχές δάσους που ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Αξίζει να αναφερθεί, ότι το ίδιο λάθος στη ταξινόμηση προέκυψε ξανά από το ενιαίο μοντέλο μόνο στην εικόνα του Αυγούστου για το έτος 2013 που έχει εξεταστεί προηγουμένως, οδηγώντας στο συμπέρασμα πως τη συγκεκριμένη περίοδο οι φασματικές τιμές των δασών της περιοχής αυτής δεν διαφέρουν σημαντικά από τις φασματικές τιμές των καλλιεργειών, με επακόλουθο τη δυσκολία στον διαχωρισμό τους. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, σε αυτήν διακρίνεται η λανθασμένη ταξινόμηση του γυμνού εδάφους της περιοχής του όρους Ερύμανθος, ως τεχνητή επιφάνεια, γεγονός που έχει επίσης παρατηρηθεί στην ταξινόμηση της εικόνας του Αυγούστου 2013, με το ίδιο μοντέλο.

Στη συνέχεια, βρίσκεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 84 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Σύμφωνα με αυτόν η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια, και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 82,2% και 0,792 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι σημείωσαν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια με υψηλό ποσοστό ακολουθεί η κατηγορία λιβάδια (92,2% UA και 98,1% PA). Υψηλά ποσοστά PA σημείωσαν η κατηγορία σύννεφα/σκιές, 100%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 70,6%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών, και η κατηγορία τεχνητές επιφάνειες, 92,2%, της οποίας και αυτής το ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 74,7%, λόγω συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους. Χαμηλά ποσοστά PA σημείωσαν η κατηγορία δάση, 65%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως καλλιέργειες, και η κατηγορία γυμνό έδαφος, 65,8%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως τεχνητές επιφάνειες, όπως επισημαίνεται με συγκεκριμένα παραδείγματα στο σχήμα 4-70. Σημειώνεται, επίσης, πως η κατηγορία δάση σημείωσε υψηλό ποσοστό UA, 94,8%, ανεξάρτητα από το χαμηλό ποσοστό PA, λόγω της μη λανθασμένης συμπερίληψης στην κατηγορία άλλων εικονοστοιχείων. Τα

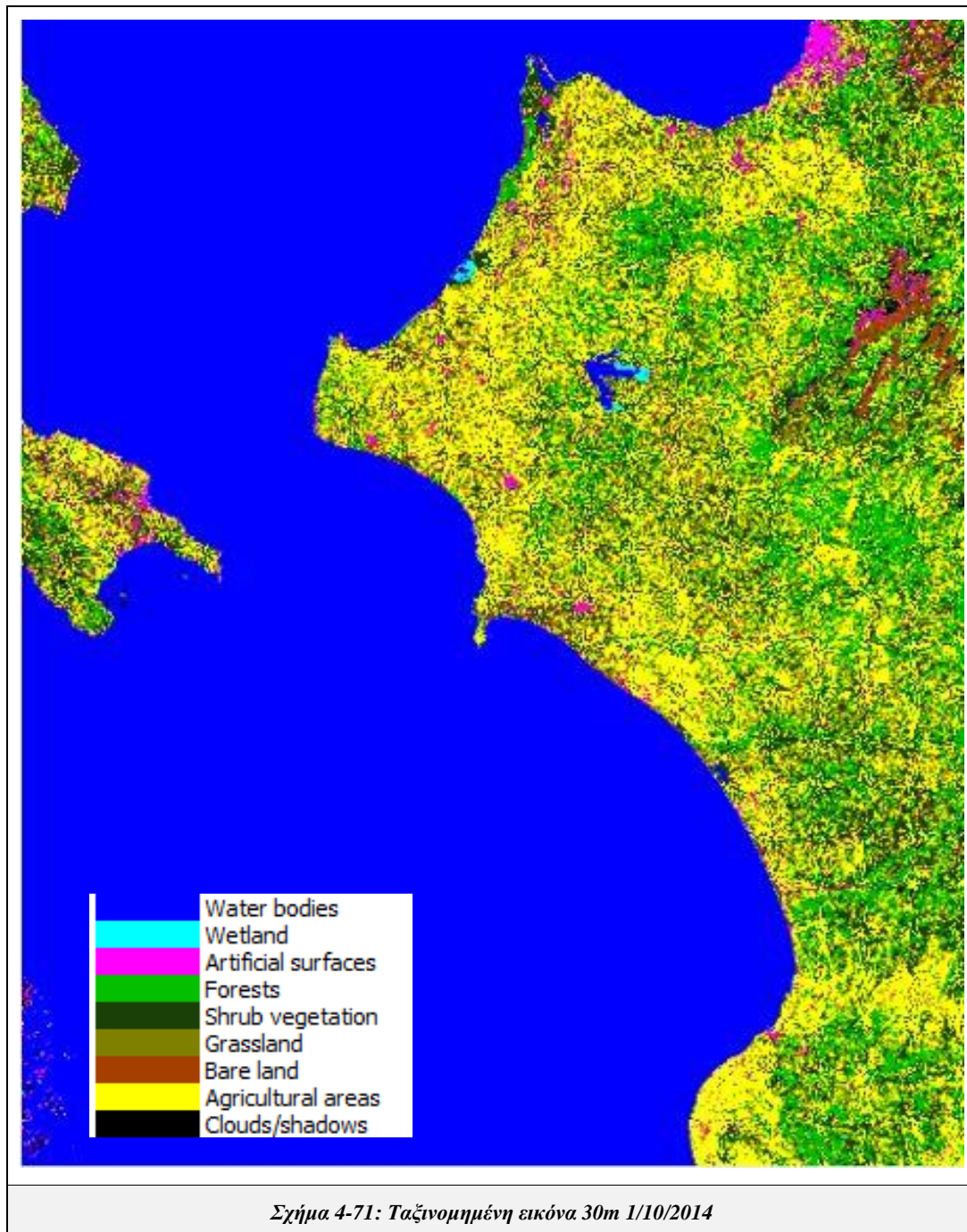
χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία καλλιέργειες, 63,5%, λόγω της συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων δάσους.

Αξίζει να σημειωθεί πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 75,9% και δείκτη K 0,746. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών των δασών, του γυμνού εδάφους, των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.



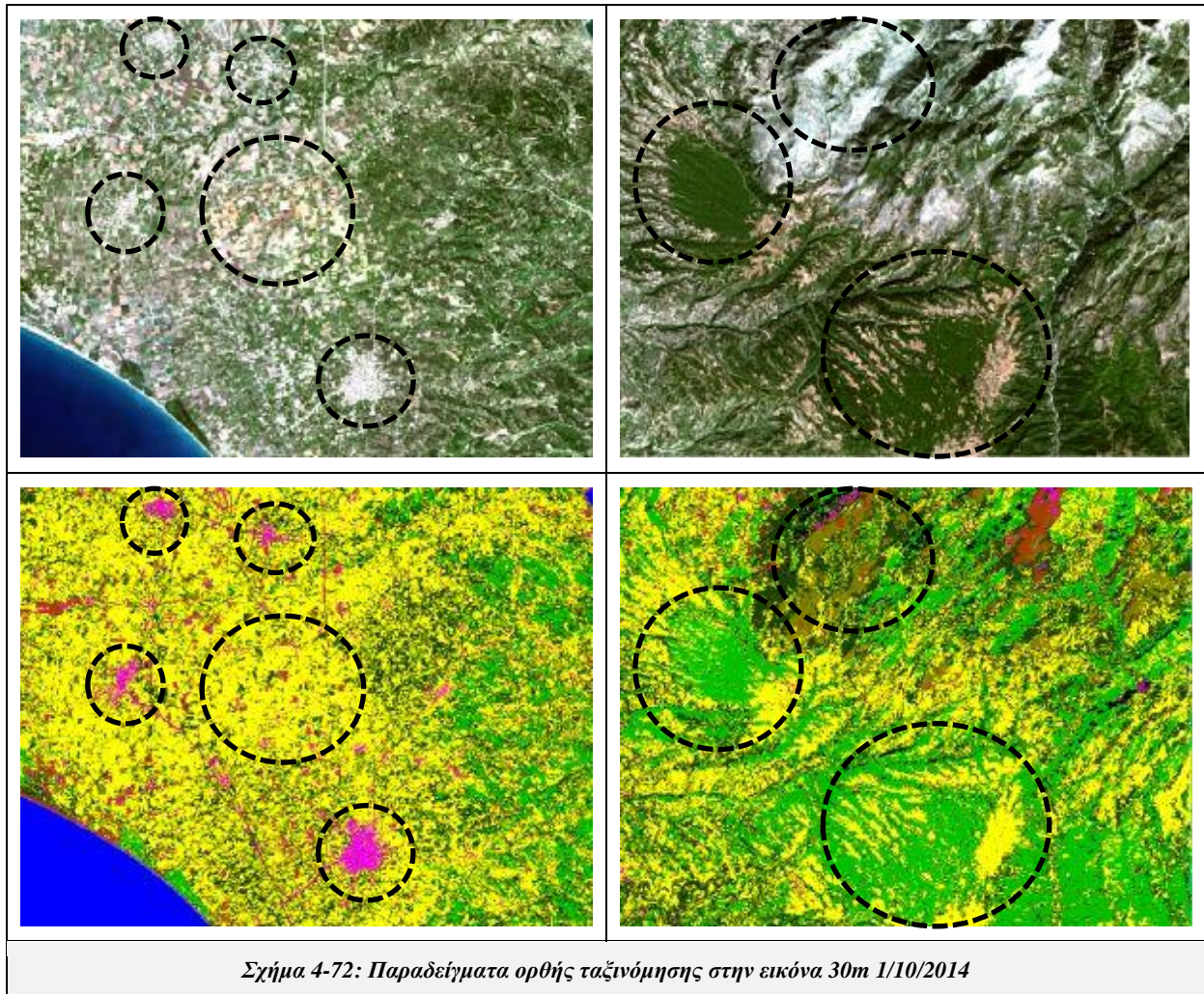
|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>712</b>     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 712         | 100,00 |
| Wetland  | 0              | <b>40</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 40          | 100,00 |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>506</b>          | 0          | 9          | 4          | 156        | 2                  | 0               | 677         | 74,74  |
| Forests  | 0              | 0         | 0                   | <b>397</b> | 22         | 0          | 0          | 0                  | 0               | 419         | 94,75  |
| Shrubland  | 0              | 0         | 1                   | 15         | <b>336</b> | 0          | 19         | 34                 | 0               | 405         | 82,96  |
| Grassland  | 0              | 0         | 0                   | 0          | 0          | <b>308</b> | 0          | 26                 | 0               | 334         | 92,22  |
| Bare land  | 0              | 0         | 27                  | 0          | 1          | 2          | <b>346</b> | 80                 | 0               | 456         | 75,88  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 5                   | 199        | 64         | 0          | 5          | <b>475</b>         | 0               | 748         | 63,50  |
| Cloud / shadows  | 0              | 0         | 10                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>24</b>       | 34          | 70,59  |
| <b>Total</b>   | 712            | 40        | 549                 | 611        | 432        | 314        | 526        | 617                | 24              | <b>3825</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00         | 100,00    | 92,17               | 64,98      | 77,78      | 98,09      | 65,78      | 76,99              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 82,2%, Δείκτης K= 0,792</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-23: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

Παρακάτω βρίσκεται η ταξινόμηση της εικόνας 1/10/2014, όπως προέκυψε από το ενιαίο μοντέλο που εξετάζεται σε αυτή την ενότητα.



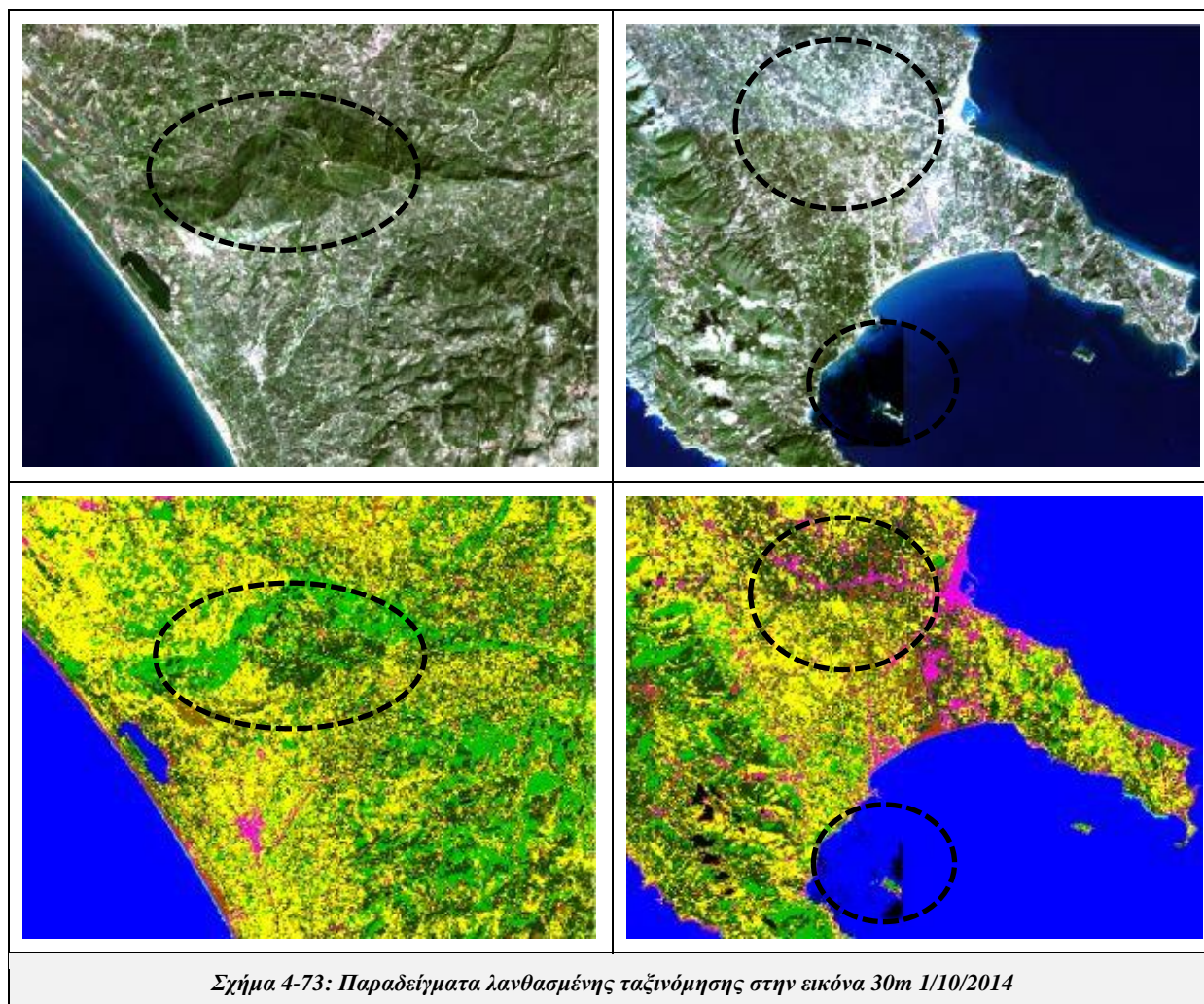
Από την παρατήρηση του παραπάνω σχήματος προκύπτει πως η ταξινόμηση της εικόνας αυτής έχει ολοκληρωθεί με σχετικά καλή ακρίβεια, εφόσον οι χρήσεις γης στην πλειοψηφία τους διαχωρίστηκαν ορθά με κάποιες μικρές αστοχίες. Αυτές αφορούν κυρίως την περιοχή στα δεξιά του οικισμού της Πάτρας στο πάνω δεξί μέρος της εικόνας που αποτελείται κυρίως από γυμνό έδαφος, αλλά αποδόθηκε ως λιβάδια, και κάποιες περιοχές θαμνώδους βλάστησης που ταξινομήθηκαν ως καλλιέργειες. Επίσης, μικρές αστοχίες εντοπίζονται σε περιοχές με λανθασμένες τιμές της αρχικής εικόνας, που αναπόφευκτα οδηγούν σε λάθη στην ταξινόμηση. Παρόλα αυτά, ορθά ταξινομήθηκαν οι τεχνητές επιφάνειες όλης της περιοχής, οι καλλιέργειες και τα δάση διαχωρίστηκαν επιτυχώς και η περιοχή του όρους Ερύμανθος ταξινομήθηκε επαρκώς.

Παρακάτω ακολουθούν κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο φωτοερμηνείας.



Στο παραπάνω σχήμα και στην εικόνα αριστερά επισημαίνονται κάποιοι αστικοί ιστοί μέτριου μεγέθους, οι οποίοι εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά ανεξάρτητα από το μέγεθος τους, συμπεραίνοντας πως το μοντέλο στη συγκεκριμένη εικόνα ανταποκρίθηκε ορθά όσο αφορά τις τεχνητές επιφάνειες και τους αστικούς ιστούς. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα παρατηρείται μια περιοχή καλλιεργειών που αποδόθηκε ορθά, με ελάχιστες παρεμβολές εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης και γυμνού εδάφους. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, διακρίνεται πως οι περιοχές δασών που επισημαίνονται ταξινομήθηκαν ορθά, όπως και η περιοχή λιβαδιών στο πάνω μέρος της εικόνας.

Στο σχήμα 4-73 και στην αριστερή εικόνα φαίνεται μια περιοχή θαμνώδους βλάστησης, που μέρος της αποδόθηκε λανθασμένα ως καλλιέργεια. Στη δεξιά εικόνα του ίδιου σχήματος παρατηρούνται κάποιες περιοχές λανθασμένων φασματικών τιμών της αρχικής εικόνας που έχουν οδηγήσει σε λανθασμένη ταξινόμηση τους. Συγκεκριμένα, στο πάνω μέρος της εικόνας γύρω από το δρόμο βρίσκονται κάποιες καλλιέργειες, οι οποίες αποδόθηκαν λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση, ενώ παράλληλα στο κάτω μέρος της εικόνας, μέρος της θάλασσας ταξινομήθηκε ως σκιά.



Σχήμα 4-73: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014

Ακολουθώς, παρατίθεται ο πίνακας σύγκρισης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 76 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Σύμφωνα με αυτόν, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με μέτρια ακρίβεια, και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 79,4% και 0,757 αντίστοιχα. Σημειώνεται, πως στις περιοχές της αρχικής εικόνας που υπάρχουν λανθασμένες τιμές, δεν έχουν ψηφιοποιηθεί πολύγωνα ελέγχου, γιατί αυτά τα λάθη στην ταξινόμηση δεν οφείλονται στο εξεταζόμενο μοντέλο.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι σημείωσαν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια, με υψηλό ποσοστό ακολουθεί η κατηγορία δάση (99,8% UA και 81,7% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε, επίσης, η κατηγορία σύννεφα/σκιές, 100%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 50%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων δασών, γεγονός που δεν είχε γίνει αντιληπτό από την ποιοτική αξιολόγηση που έχει προηγηθεί. Επίσης, υψηλό ποσοστό PA σημείωσαν οι κατηγορίες τεχνητές επιφάνειες και καλλιέργειες, 81,7% και 91,3% αντίστοιχα. Χαμηλά ποσοστά PA σημείωσαν η κατηγορία λιβάδια, 43,1%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως γυμνό έδαφος, και η κατηγορία γυμνό έδαφος, 56,2%, εξαιτίας της λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως τεχνητές επιφάνειες. Τα χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία γυμνό έδαφος, 48,6%, λόγω της συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων λιβαδιών.

Σημειώνεται πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 69,0% και δείκτη K 0,672. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους και των καλλιεργειών.



| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>856</b>   | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 856          | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>42</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 42           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>465</b>          | 0          | 0          | 0          | 181        | 0                  | 0               | 646          | 71,98         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>583</b> | 1          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 584          | 99,83         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 13                  | 21         | <b>426</b> | 0          | 6          | 58                 | 0               | 524          | 81,30         |
| Grassland  | 0            | 0         | 0                   | 0          | 0          | <b>137</b> | 2          | 3                  | 0               | 142          | 96,48         |
| Bare land  | 0            | 0         | 77                  | 0          | 0          | 181        | <b>244</b> | 0                  | 0               | 502          | 48,61         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 14                  | 77         | 222        | 0          | 0          | <b>638</b>         | 0               | 951          | 67,09         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 0                   | 33         | 0          | 0          | 1          | 0                  | <b>34</b>       | 68           | 50,00         |
| <b>Total</b>   | 856          | 42        | 569                 | 714        | 649        | 318        | 434        | 699                | 34              | <b>4315</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 100,00    | 81,72               | 81,65      | 65,64      | 43,08      | 56,22      | 91,27              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 79,4%, Δείκτης K= 0,757</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-24: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

## 4.2 Αξιολόγηση Διαχρονικών Ταξινομήσεων Με Χωρική Ανάλυση Στα 15m

Με το τέλος της ταξινόμησης των εικόνων με χωρική ανάλυση στα 30m, ταξινομήθηκαν οι εικόνες με χωρική ανάλυση στα 15m. Οι εικόνες αυτές είναι στο σύνολο τρεις και έχουν ληφθεί στην ίδια ημερομηνία με τις εικόνες των 30m για το έτος 2013, δηλαδή στις 24/6/2013, 27/8/2013 και 28/9/2013. Τα αρχικά προϊόντα εικόνων Landsat που λαμβάνονται ελεύθερα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχουν εννέα (9) κανάλια που προέρχονται από τον δέκτη OLI, η χωρική ανάλυση των οποίων είναι 30m εκτός από το παγχρωματικό κανάλι, του οποίου είναι 15m. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας πολυφασματικής εικόνας με χωρική ανάλυση 15m, μέσω της τεχνικής του pansharpening. Οι εικόνες αυτές ταξινομήθηκαν με μοντέλα εκπαίδευσης που δημιουργήθηκαν ανά εικόνα και από ένα ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο εκπαίδευσης, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω. Οι κατηγορίες που ανιχνεύθηκαν σε αυτές τις εικόνες είναι οι ίδιες με τις προηγούμενες, με επιπλέον προσθήκη δύο υποκατηγοριών καλλιεργειών και μίας σύννεφου.

### 4.2.1 Επιβλεπόμενες ταξινομήσεις ανά εικόνα με SVM

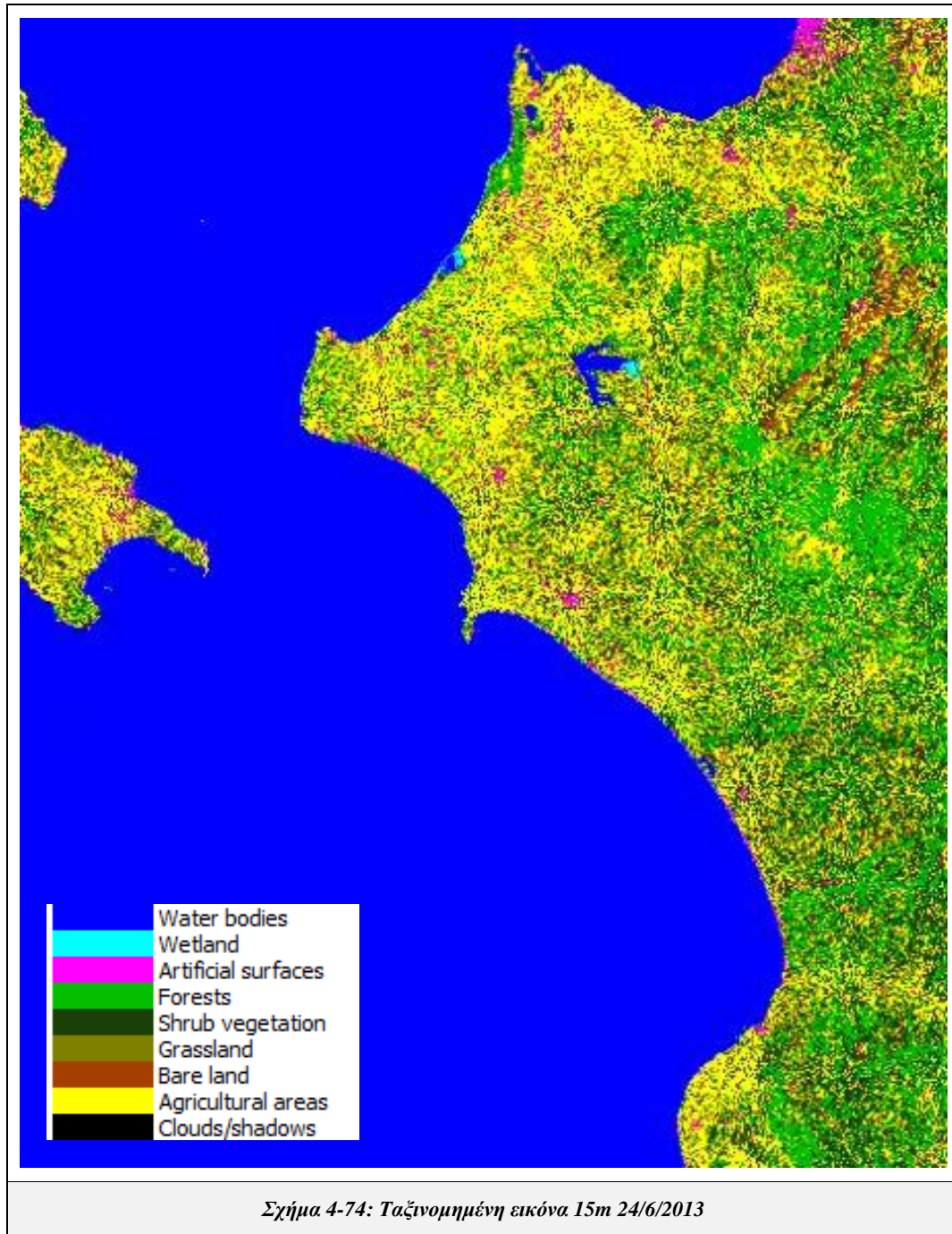
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων των εικόνων όπως προέκυψαν από μοντέλα που δημιουργήθηκαν από ψηφιοποίηση πολυγώνων εκπαίδευσης για κάθε εικόνα ξεχωριστά.

#### Εικόνα 1: 24/6/2013

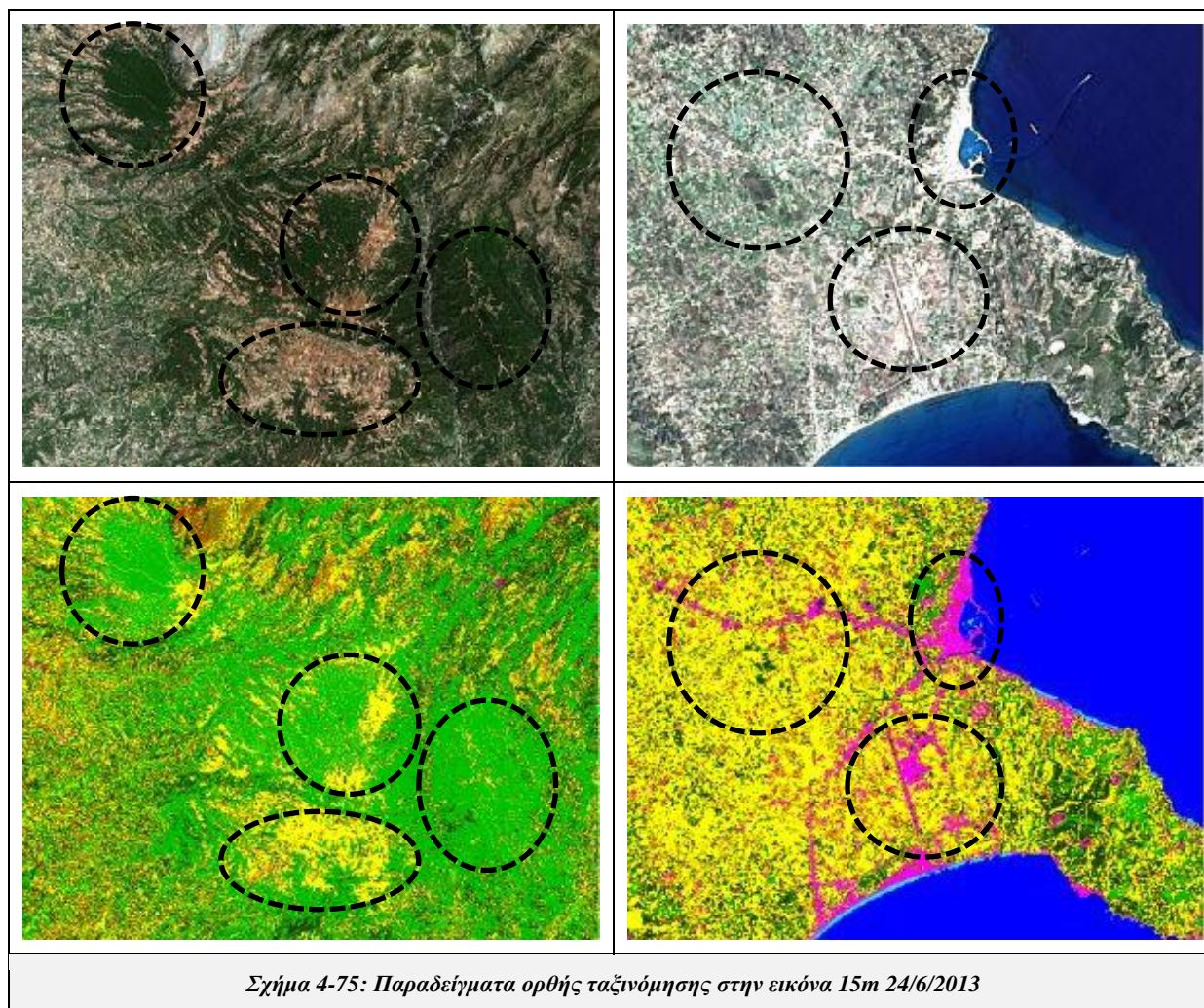
Για τη δημιουργία του μοντέλου αυτού ψηφιοποιήθηκαν 280 πολύγωνα εκπαίδευσης στην εικόνα, για 35 διαφορετικές κλάσεις. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης φαίνεται στο σχήμα 4-74 πιο κάτω, και παρατηρείται πως ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια. Αξίζει να αναφερθεί, πως επειδή στις συγκεκριμένες εικόνες η χωρική ανάλυση είναι μεγαλύτερη ανιχνεύθηκαν σε κάποιες περιοχές μερικές χρήσεις γης που δεν ήταν εφικτό να ανιχνευθούν στις εικόνες των 30m. Η αναφορά αυτή αφορά κυρίως τις καλλιέργειες όπου διακρίνονται κάποια εικονοστοιχεία ταξινομημένα λανθασμένα ως δάση, θαμνώδης βλάστηση και λιβάδια σε διάφορα σημεία στην εικόνα.

Στην ταξινόμηση αυτή συγκεκριμένα, φαίνεται πως οι τεχνητές επιφάνειες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς, αν και μερικά εικονοστοιχεία που τις απαρτίζουν ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως γυμνό έδαφος και καλλιέργειες, χωρίς όμως να προκαλούν δυσκολία στην αναγνώριση των τεχνητών επιφανειών. Επιπλέον, οι περιοχές δάσους αποδόθηκαν ορθά όπως και τα λιβάδια. Όσο αφορά τη θαμνώδη βλάστηση σε κάποιες περιοχές όπως γύρω από το όρος Ερύμανθος, αυτή ταξινομήθηκε λανθασμένα ως καλλιέργειες, γεγονός που εξετάζεται λεπτομερέστερα σε σχήμα παρακάτω. Επίσης, οι καλλιέργειες σε μεγάλο βαθμό εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά, εκτός από κάποιες αστοχίες σε καλλιέργειες έντονα ανεπτυγμένες, από τις οποίες μέρος του αποδόθηκε ως δάσος. Τέλος, παρατηρείται στην περιοχή δεξιά από τον οικισμό της Πάτρας, στο δεξιό άκρο της εικόνας, λανθασμένη ταξινόμηση εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους ως τεχνητές επιφάνειες.

Στο σχήμα 4-75 παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής ταξινόμησης, όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα παρατηρούνται κάποιες περιοχές δάσους και καλλιεργειών που εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά χωρίς σύγχυση με άλλες κατηγορίες. Στην εικόνα δεξιά επισημαίνονται τρεις περιοχές τεχνητών επιφανειών, αστικός ιστός, δρόμος και αεροδρόμιο, οι οποίες εντοπίστηκαν και αποδόθηκαν επίσης επιτυχώς.



Ακολουθώντας, στο σχήμα 4-76, φαίνονται κάποια παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης, τα οποία προέκυψαν επίσης από φωτοερμηνεία. Ειδικότερα, στην εικόνα αριστερά παρατηρούνται κάποιες περιοχές κοντά και γύρω από το όρος Ερύμανθος, οι οποίες αποτελούνται από θαμνώδη βλάστηση αλλά ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Σημειώνεται, όμως πως οι περιοχές γυμνού εδάφους στο όρος αποδόθηκαν ορθά. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα διακρίνεται ότι μέρος του σύννεφου αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται μια περιοχή από καλλιέργειες έντονα ανεπτυγμένες οι οποίες έχουν όμοια φασματική υπογραφή με τα δάση για αυτό και μέρος τους ταξινομήθηκε ως δάσος.

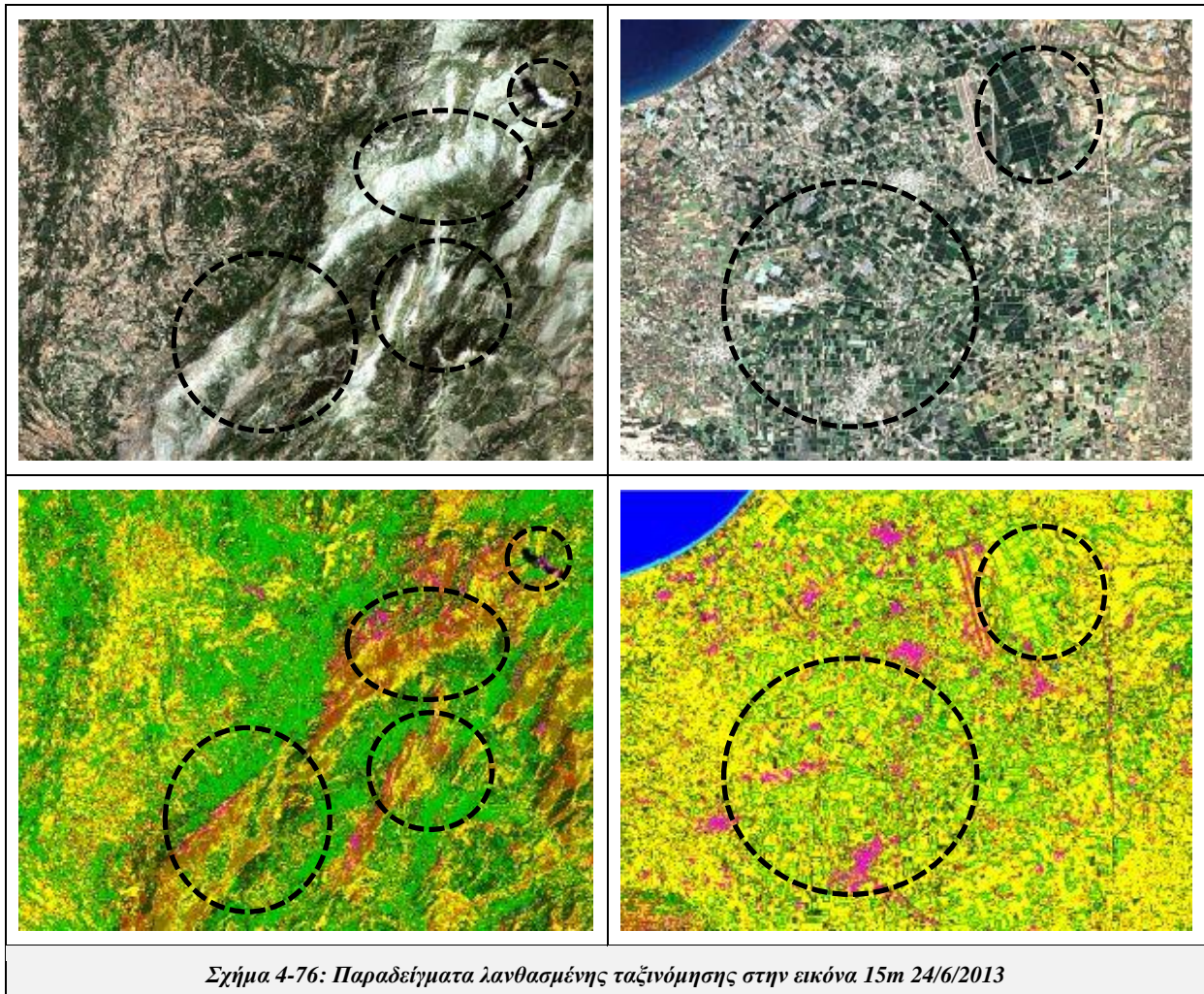


Τέλος, για την ταξινόμηση αυτή έγινε ποσοτική αξιολόγηση μέσω του πίνακα σύγχυσης που φαίνεται παρακάτω. Ο πίνακας υπολογίστηκε με βάση 89 πολύγωνα ελέγχου που ψηφιοποιήθηκαν στην εικόνα. Μέσω του πίνακα ποσοτικοποιούνται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης ώστε να αξιολογηθεί αυτή, και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με αρκετά καλή ακρίβεια, και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 86,0% και 0,834 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι σημείωσε τα υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας, 99,5% UA και 100% PA. Στη συνέχεια με υψηλό ποσοστό ακολουθεί η κατηγορία σύννεφα/σκιές (96,3% UA και 100% PA) και τα δάση (90,9% UA και 99,8% PA). Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε επίσης η κατηγορία καλλιέργειες, 88,9%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 77,6%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων κυρίως θαμνώδους βλάστησης.

Επίσης, υψηλό ποσοστό UA και PA σημείωσε η κατηγορία λιβάδια, 97,9% και 86,8% αντίστοιχα. Χαμηλά ποσοστά σημείωσε το γυμνό έδαφος (66,8% UA και 63% PA), λόγω λανθασμένης συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών και λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως τεχνητές επιφάνειες αντίστοιχα. Χαμηλό ποσοστό PA σημείωσε, επίσης, η θαμνώδης βλάστηση, 69,3%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως καλλιέργειες. Παραδείγματα για τις αστοχίες αυτές φαίνονται με λεπτομέρεια στο σχήμα 4-76. Όσο αφορά την κατηγορία τεχνητές επιφάνειες, αυτή σημείωσε καλά ποσοστά ακρίβειας (82,3% UA και 80,9% PA), και η μόνη σύγχυση που παρατηρείται είναι μεταξύ εικονοστοιχείων αυτής και του γυμνού εδάφους.

Σημειώνεται πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 35 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 79,6% και δείκτη  $K$  0,783. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών των τεχνητών επιφανειών, του γυμνού εδάφους και των καλλιεργειών.

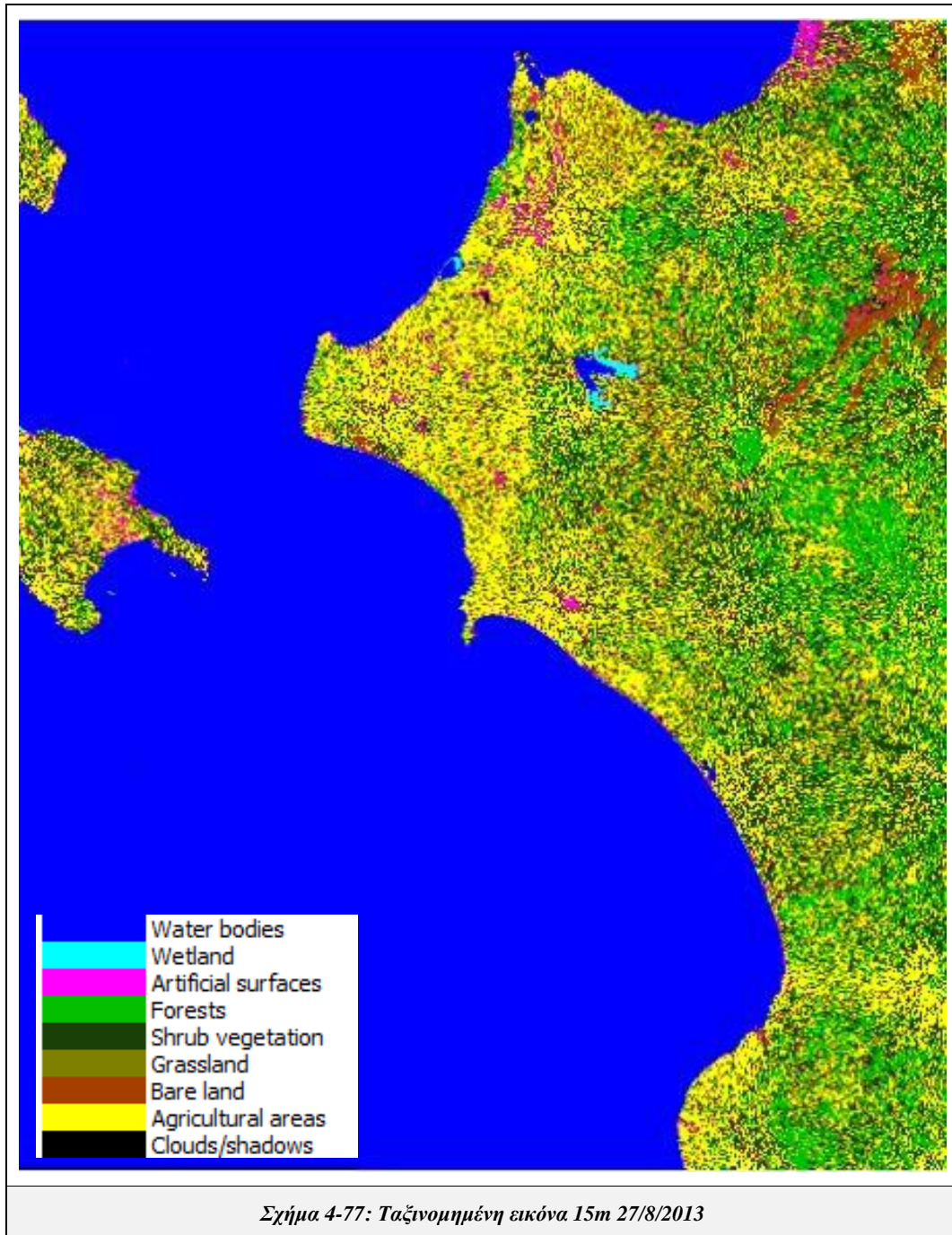


Σχήμα 4-76: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 24/6/2013

| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>933</b>   | 5         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 938          | 99,47         |
| Wetland  | 0            | <b>31</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 31           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>658</b>          | 0          | 0          | 0          | 142        | 0                  | 0               | 800          | 82,25         |
| Forests  | 0            | 0         | 2                   | <b>556</b> | 3          | 0          | 0          | 51                 | 0               | 612          | 90,85         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 11                  | 0          | <b>408</b> | 0          | 4          | 59                 | 0               | 482          | 84,65         |
| Grassland  | 0            | 0         | 1                   | 0          | 0          | <b>413</b> | 8          | 0                  | 0               | 422          | 97,87         |
| Bare land  | 0            | 0         | 103                 | 0          | 2          | 39         | <b>290</b> | 0                  | 0               | 434          | 66,82         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 37                  | 1          | 176        | 24         | 16         | <b>880</b>         | 0               | 1134         | 77,60         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 1                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>26</b>       | 27           | 96,30         |
| <b>Total</b>   | 933          | 36        | 813                 | 557        | 589        | 476        | 460        | 990                | 26              | <b>4880</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 86,11     | 80,93               | 99,82      | 69,27      | 86,76      | 63,04      | 88,89              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 86,0%, Δείκτης K= 0,834</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-25: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m 24/6/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

**Εικόνα 2: 27/8/2013**

Η εικόνα αυτή ταξινομήθηκε με βάση το μοντέλο που δημιουργήθηκε από 160 πολύγωνα εκπαίδευσης που ψηφιοποιήθηκαν στην εικόνα για 31 διαφορετικές κλάσεις.

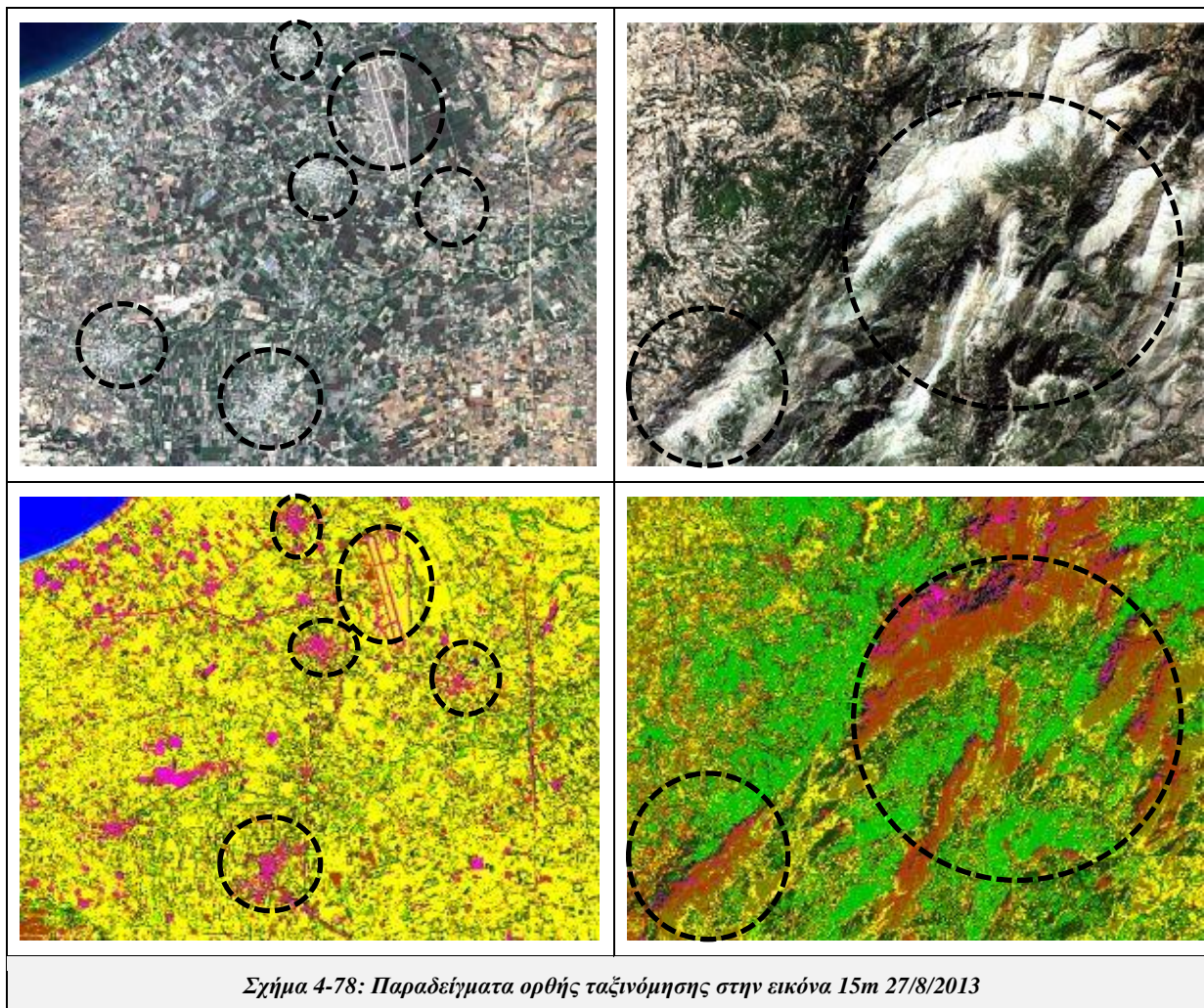


Σχήμα 4-77: Ταξινομημένη εικόνα 15m 27/8/2013

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια, αφού έχει γίνει ορθός διαχωρισμός των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης της περιοχής. Συγκεκριμένα, οι τεχνητές επιφάνειες της περιοχής, αστικοί ιστοί, αεροδρόμια, λιμάνια, δρόμοι και ορυχεία, εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς σε όλη την εικόνα, με μικρή σύγχυση με την κατηγορία του γυμνού εδάφους. Επιπλέον, παρατηρείται πως οι περιοχές γυμνού εδάφους στο όρος Ερύμανθος αποδόθηκαν ορθά, χωρίς να υπάρχει σύγχυση με τις τεχνητές επιφάνειες, ενώ αντίθετα στην περιοχή δεξιά του οικισμού της Πάτρας κάποιες περιοχές γυμνού εδάφους ταξινομήθηκαν ως καλλιέργειες, όπως φαίνεται με περισσότερη

λεπτομέρεια στο σχήμα 4-79. Επίσης, η θαμνώδης βλάστηση και τα δάση εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς στο σύνολο της εικόνας, όπως και οι καλλιέργειες. Τέλος, επισημαίνεται ότι η περιοχή αραιής συνεφοκάλυψης λίγο πιο πάνω από το κέντρο της εικόνας εντοπίστηκε ορθά και ταξινομήθηκε, κάτι που ήταν αδύνατο να επιτευχθεί στην αντίστοιχη εικόνα των 30m με όλα τα μοντέλα που δοκιμάστηκαν.

Παρακάτω ακολουθούν κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης όπως προέκυψαν από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.

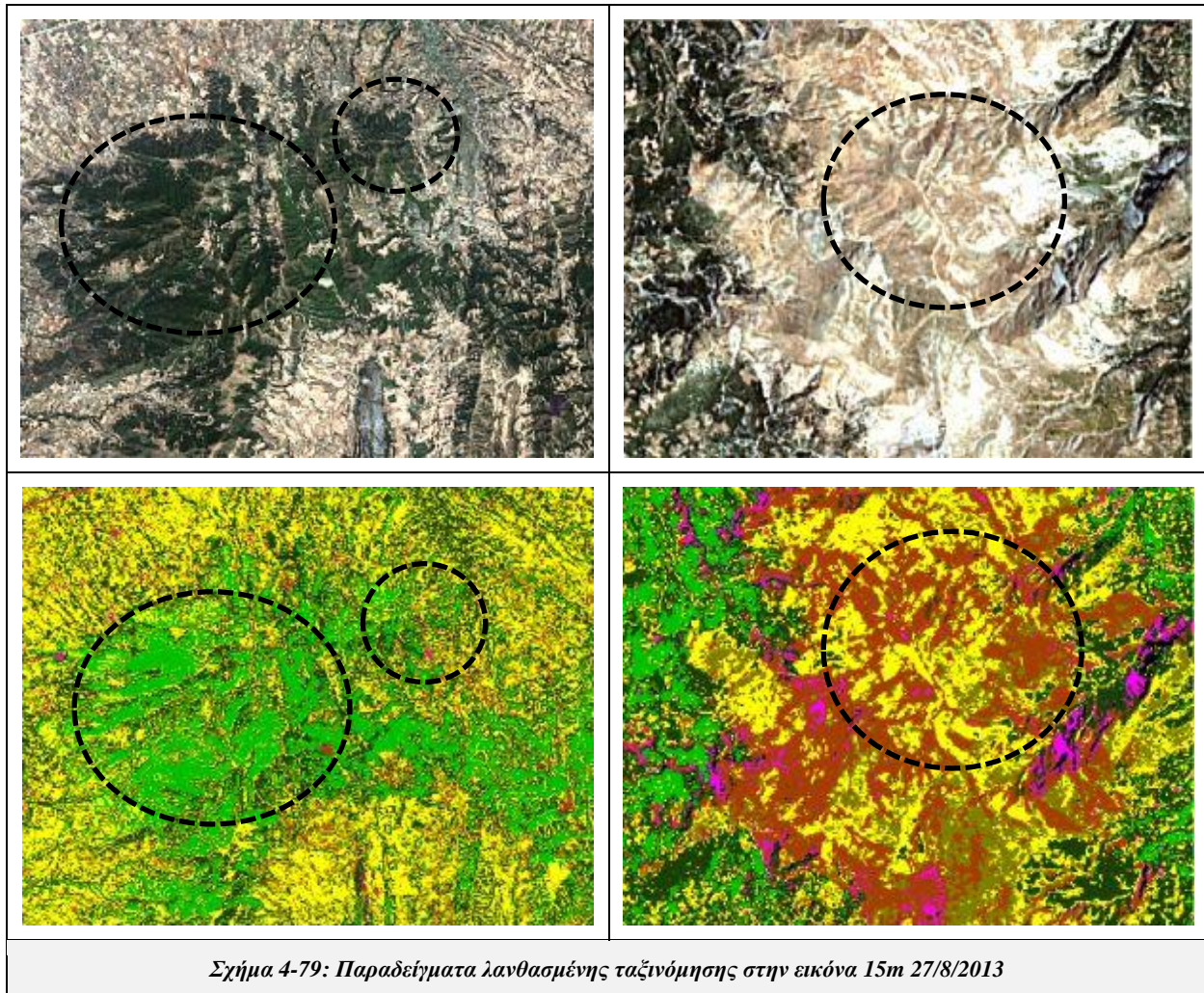


Σχήμα 4-78: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 27/8/2013

Στο παραπάνω σχήμα και στην εικόνα αριστερά επισημαίνονται κάποιες περιοχές τεχνητών επιφανειών που αποδόθηκαν ορθά, και συγκεκριμένα αυτές αφορούν μικρούς αστικούς ιστούς και αεροδρόμιο, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως το μοντέλο αυτό έχει ανιχνεύσει ορθά και αποδοτικά μέχρι και την αραιή αστική δόμηση. Στην εικόνα δεξιά του ίδιου σχήματος, φαίνεται η περιοχή του όρους Ερύμανθος, η οποία ταξινομήθηκε ορθά και έχουν διαχωριστεί σε μεγάλο βαθμό οι διάφορες κατηγορίες κάλυψης γης. Ειδικότερα, αποδόθηκαν οι περιοχές γυμνού εδάφους, θαμνώδους βλάστησης, λιβαδιών και δασών και υπάρχει σύγχυση μόνο με λίγα εικονοστοιχεία τα οποία αποδόθηκαν ως τεχνητή επιφάνεια.

Στην αριστερή εικόνα του σχήματος 4-79 διακρίνεται μια περιοχή δάσους και θαμνώδους βλάστησης, στην οποία κάποια εικονοστοιχεία θαμνώδους βλάστησης αποδόθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Όσο αφορά την εικόνα δεξιά, παρατηρείται η περιοχή δεξιά του οικισμού της Πάτρας που καλύπτεται από γυμνό έδαφος και λιβάδια, μέρος της οποίας ταξινομήθηκε επίσης λανθασμένα, ως καλλιέργεια και τεχνητή επιφάνεια.





Στη συνέχεια, βρίσκεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 71 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Όπως φαίνεται από τον πίνακα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια, και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 85,8% και 0,833 αντίστοιχα.

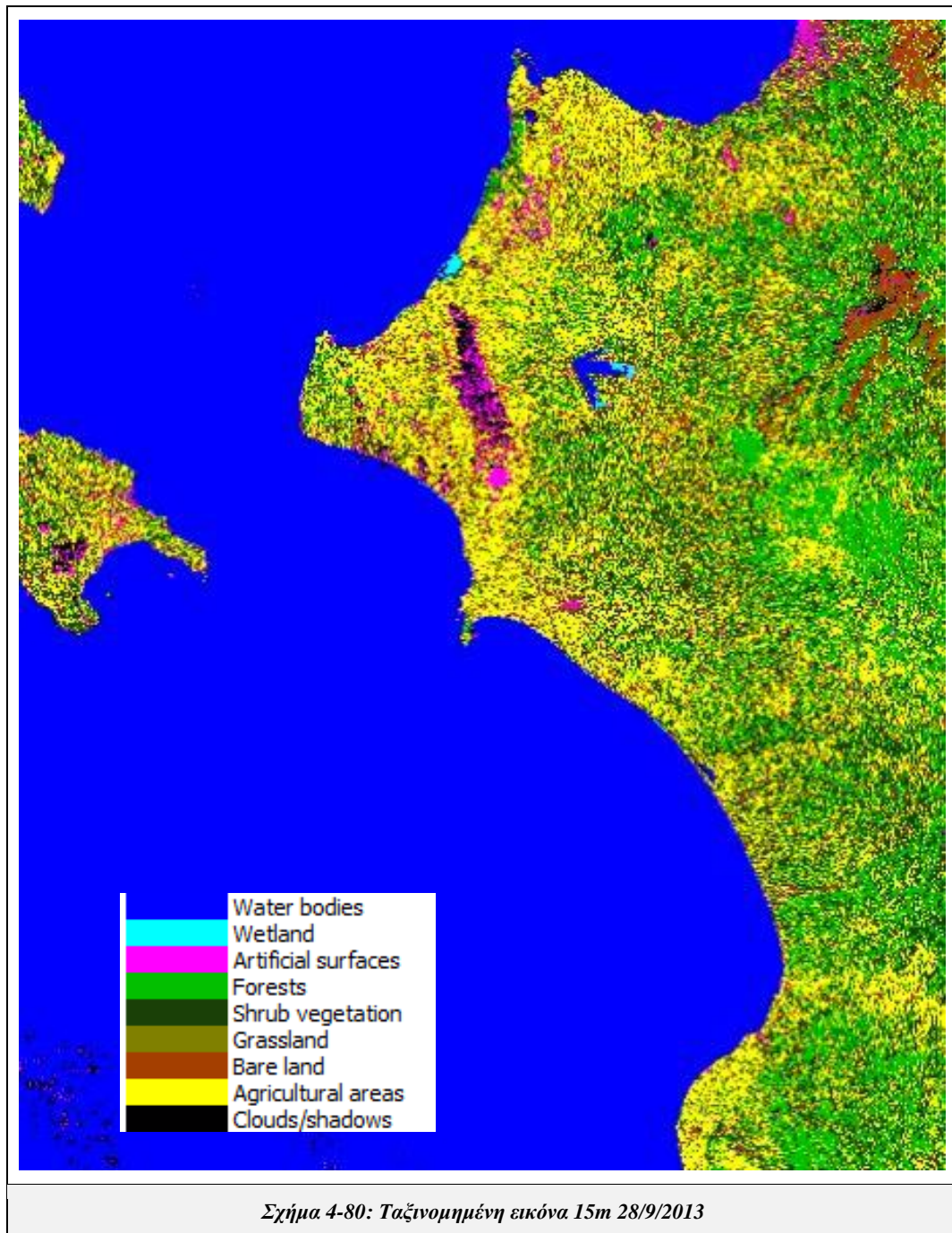
Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι σημείωσαν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια με υψηλό ποσοστό ακολουθούν η κατηγορία σύννεφα/σκιές (96,2% UA και 100% PA), η κατηγορία δάση (97,6% UA και 96,5% PA) και η κατηγορία λιβάδια (95,6% UA και 95,1% PA). Χαμηλό ποσοστό PA σημείωσε η θαμνώδης βλάστηση, 55,2%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως καλλιέργειες, και η κατηγορία γυμνό έδαφος, 66,0%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής επίσης ως καλλιέργειες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-79. Χαμηλά ποσοστά UA σημείωσαν η κατηγορία γυμνό έδαφος, 69%, λόγω της συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών, και η κατηγορία καλλιέργειες, 67,8% λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων θαμνώδους βλάστησης και γυμνού εδάφους.

Σημειώνεται πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 34 υποκατηγορίες, ήταν αισθητά χαμηλότερη και συγκεκριμένα 75,6% και δείκτη K 0,743. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους και των καλλιεργειών.

| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>1001</b>  | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 1001         | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>36</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 36           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>816</b>          | 0          | 0          | 0          | 23         | 39                 | 0               | 878          | 92,94         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>602</b> | 15         | 0          | 0          | 0                  | 0               | 617          | 97,57         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 5                   | 2          | <b>281</b> | 0          | 29         | 32                 | 0               | 349          | 80,52         |
| Grassland  | 0            | 0         | 1                   | 0          | 4          | <b>430</b> | 10         | 5                  | 0               | 450          | 95,56         |
| Bare land  | 0            | 0         | 119                 | 0          | 1          | 1          | <b>379</b> | 49                 | 0               | 549          | 69,03         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 10                  | 20         | 208        | 21         | 133        | <b>824</b>         | 0               | 1216         | 67,76         |
| Cloud / shadows  | 0            | 0         | 2                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>51</b>       | 53           | 96,23         |
| <b>Total</b>   | 1001         | 36        | 953                 | 624        | 509        | 452        | 574        | 949                | 51              | <b>5149</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 100,00    | 85,62               | 96,47      | 55,21      | 95,13      | 66,03      | 86,83              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 85,8%, Δείκτης K= 0,833</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-26: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m 27/8/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

**Εικόνα 3: 28/9/2013**

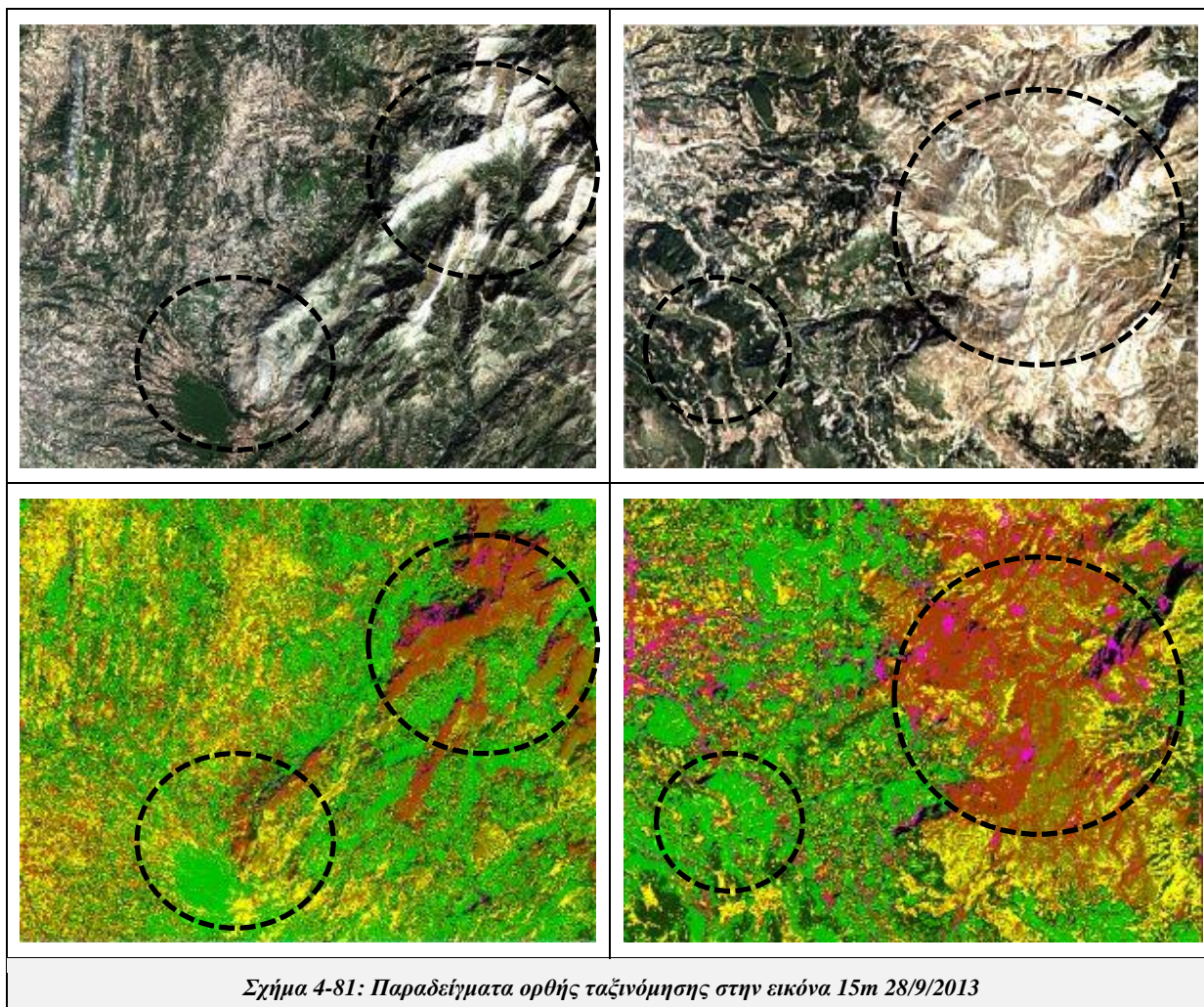
Αυτή η εικόνα ταξινομήθηκε με μοντέλο που δημιουργήθηκε από 147 πολύγωνα εκπαίδευσης, τα οποία ψηφιοποιήθηκαν στην εικόνα, για 32 διαφορετικές κλάσεις.



Από την παραπάνω εικόνα προκύπτει ότι η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια παρά τις αστοχίες που έχουν σημειωθεί. Αυτές αφορούν κυρίως την περιοχή της συννεφοκάλυψης, που καλύπτει σημαντικό μέρος της περιοχής, και δεν ταξινομήθηκε ολόκληρη η επιφάνεια της ορθά, καθώς όπως είναι αντιληπτό μέρος της αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Επιπλέον, παρατηρείται πως στη συγκεκριμένη εικόνα οι τεχνητές επιφάνειες σημείωσαν αρκετές αστοχίες, όσο αφορά την ταξινόμηση εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αυτές ως γυμνό έδαφος. Παρόλα αυτά, οι υπόλοιπες κατηγορίες διακρίνεται πως εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά, οι καλλιέργειες ταξινομήθηκαν επαρκώς, τα δάση και η θαμνώδης βλάστηση έχουν

διαχωριστεί από τις καλλιέργειες, η περιοχή του όρους Ερύμανθος ταξινομήθηκε ορθά ως γυμνό έδαφος και λιβάδια, όπως και η περιοχή δεξιά του οικισμού της Πάτρας.

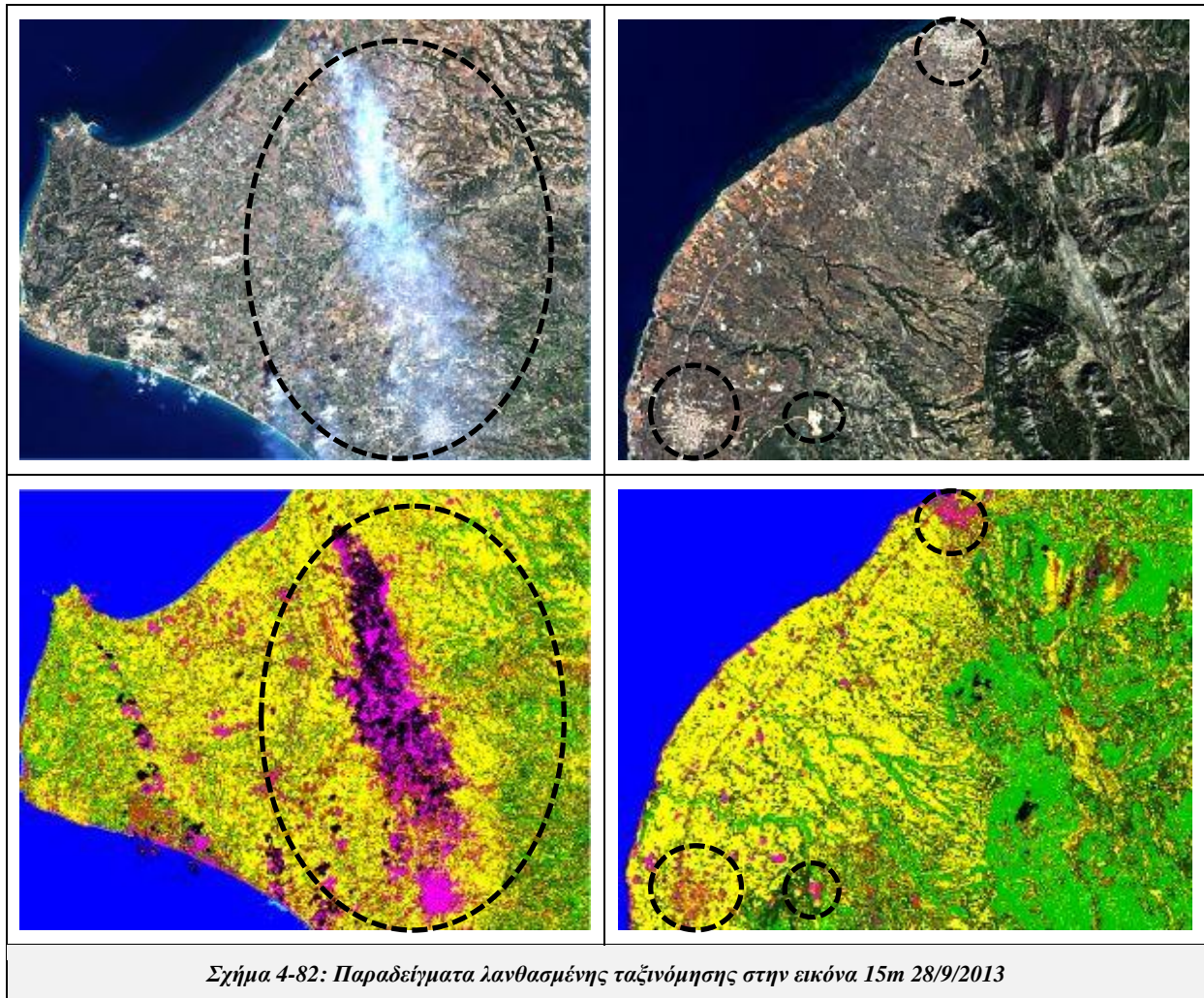
Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Σχήμα 4-81: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 28/9/2013

Στην αριστερή εικόνα του παραπάνω σχήματος φαίνεται η περιοχή του όρους Ερύμανθος που όπως έχει ήδη αναφερθεί, ταξινομήθηκε επαρκώς στη συγκεκριμένη εικόνα. Οι περιοχές γυμνού εδάφους διαχωρίστηκαν από τις τεχνητές επιφάνειες και οι περιοχές λιβαδιών και θαμνώδους βλάστησης έχουν διαχωριστεί από τις καλλιέργειες. Επιπλέον, στο κάτω μέρος της εικόνας επισημαίνεται μια περιοχή πυκνής βλάστησης που ταξινομήθηκε ορθά. Στη δεξιά εικόνα διακρίνεται στο αριστερό άκρο μια περιοχή δάσους, που ταξινομήθηκε επίσης ορθά και η περιοχή γυμνού εδάφους και λιβαδιών που διαχωρίστηκε από τις καλλιέργειες και ταξινομήθηκε ορθά.

Στην εικόνα αριστερά του σχήματος 4-82 παρατηρούνται με λεπτομέρεια τα σύννεφα που καλύπτουν την περιοχή και μέρος τους λανθασμένα ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Επίσης, διακρίνεται πως η συνεφοκάλυψη έχει προκαλέσει γενικά σύγχυση στις χρήσεις γης και στην ταξινόμηση της περιοχής που καλύπτεται από αυτή. Στη δεξιά εικόνα, παρουσιάζεται μια άλλη αστοχία του μοντέλου, εφόσον εικονοστοιχεία τεχνητών επιφανειών, αστικών ιστών και ορυχείων, ταξινομήθηκαν ως γυμνό έδαφος.



Παρακάτω, φαίνεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 74 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Σύμφωνα με τον πίνακα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια, και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 87,1% και 0,851 αντίστοιχα.

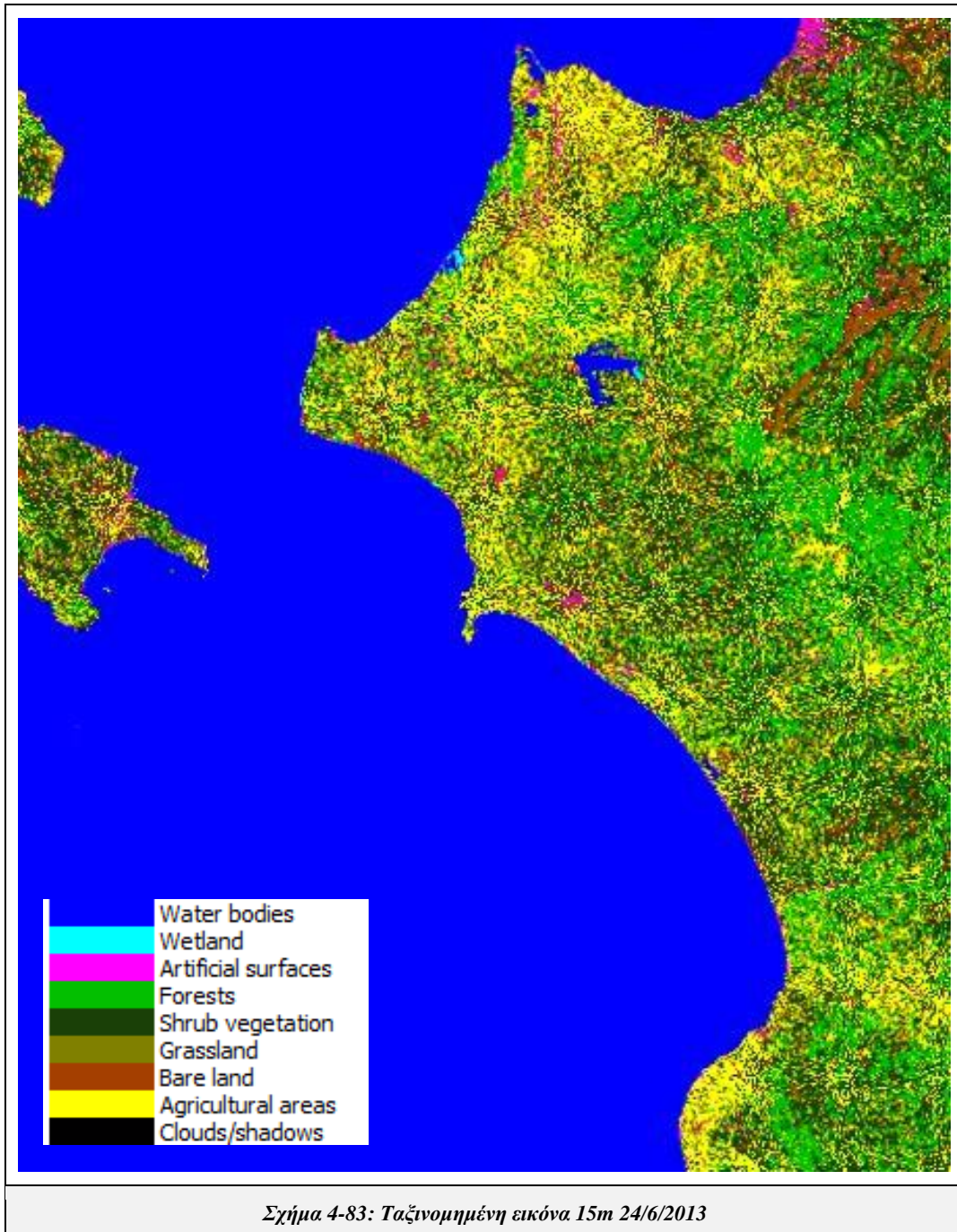
Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι σημείωσαν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και UA. Στη συνέχεια με υψηλό ποσοστό ακολουθούν η κατηγορία δάση (91,8% UA και 99,9% PA) και η κατηγορία λιβάδια (81,6% UA και 98,9% PA). Το χαμηλότερο ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία σύννεφα/σκιές, 68,6%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως τεχνητές επιφάνειες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-82. Το χαμηλότερο ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία γυμνό έδαφος, 70,6% λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών. Οι υπόλοιπες κατηγορίες, τεχνητές επιφάνειες (80,4% UA και 74% PA), θαμνώδης βλάστηση (91,3% UA και 78,1% PA) και καλλιέργειες (86,7% UA και 89,2% PA) σημείωσαν γενικά καλά ποσοστά ακρίβειας.

Σημειώνεται πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 32 υποκατηγορίες, ήταν αισθητά χαμηλότερη και συγκεκριμένα 74,7% και δείκτη K 0,734. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους, των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.

|  | <b>Reference data</b> |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
|--|-----------------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies          | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |              |               |
| <b>Classification</b>  |                       |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>925</b>            | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 925          | 100,00        |
| Wetland  | 0                     | <b>29</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 29           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0                     | 0         | <b>654</b>          | 0          | 0          | 0          | 7          | 14                 | 138             | 813          | 80,44         |
| Forests  | 0                     | 0         | 3                   | <b>662</b> | 1          | 0          | 0          | 44                 | 11              | 721          | 91,82         |
| Shrubland  | 0                     | 0         | 32                  | 0          | <b>421</b> | 0          | 5          | 3                  | 0               | 461          | 91,32         |
| Grassland  | 0                     | 0         | 0                   | 0          | 0          | <b>440</b> | 99         | 0                  | 0               | 539          | 81,63         |
| Bare land  | 0                     | 0         | 184                 | 0          | 0          | 5          | <b>551</b> | 41                 | 0               | 781          | 70,55         |
| Agricultural areas   | 0                     | 0         | 11                  | 1          | 117        | 0          | 0          | <b>840</b>         | 0               | 969          | 86,69         |
| Cloud / shadows  | 0                     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>325</b>      | 325          | 100,00        |
| <b>Total</b>   | 925                   | 29        | 884                 | 663        | 539        | 445        | 662        | 942                | 474             | <b>5563</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00                | 100,00    | 73,98               | 99,85      | 78,11      | 98,88      | 83,23      | 89,17              | 68,57           |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 87,1%, Δείκτης K= 0,851</b>                               |                       |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-27: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m 28/9/2013</i> |                       |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

#### 4.2.2 Ενιαίο και διαχρονικό μοντέλο εκπαίδευσης για όλα τα δεδομένα και ταξινόμηση με SVM

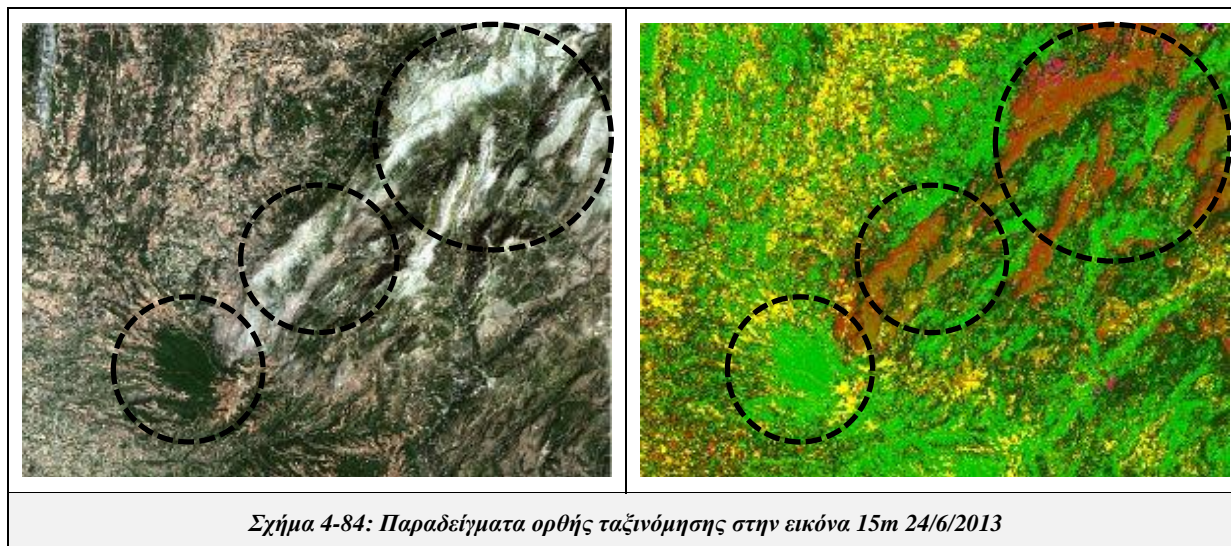
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων όλων των εικόνων χωρικής ανάλυσης 15m, όπως προέκυψαν από χρήση ενός ενιαίου και διαχρονικού μοντέλου εκπαίδευσης. Το ενιαίο μοντέλο δημιουργήθηκε από το συνδυασμό όλων των πολυγώνων εκπαίδευσης που ψηφιοποιήθηκαν για την κάθε εικόνα, σύνολο 587 πολύγωνα για 37 διαφορετικές κλάσεις. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της κάθε εικόνας μαζί με ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση.



Από την παραπάνω εικόνα συμπεραίνεται πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια, παρά τις αστοχίες που φαίνονται. Το σημαντικότερο λάθος στην ταξινόμηση αυτή, που γίνεται αντιληπτό αφορά τις τεχνητές επιφάνειες και ιδιαίτερα τους αστικούς ιστούς, όπου πλήθος εικονοστοιχείων που τους απαρτίζουν

ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως γυμνό έδαφος. Αντίθετα, στην εικόνα αυτή διαπιστώνεται πως ταξινομήθηκαν ορθά και επιτυχώς οι περιοχές γυμνού εδάφους, όπως στο όρος Ερύμανθος και στα δεξιά του οικισμού της Πάτρας, με ελάχιστη παρεμβολή εικονοστοιχείων ταξινομημένα ως τεχνητές επιφάνειες. Επιπλέον, παρατηρείται πως στις περιοχές των καλλιεργειών υπάρχουν εικονοστοιχεία λανθασμένα ταξινομημένα ως θαμνώδης βλάστηση και δάση, με αποτέλεσμα να μην είναι επαρκώς διακριτές οι καλλιέργειες. Όσο αφορά τις περιοχές δάσους και θαμνώδους βλάστησης, αυτές αποδόθηκαν ορθά στο σύνολο της εικόνας και διαχωρίστηκαν από τις καλλιέργειες.

Παρακάτω βρίσκονται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας, και φαίνονται με περισσότερη λεπτομέρεια αυτά που προαναφέρθηκαν.

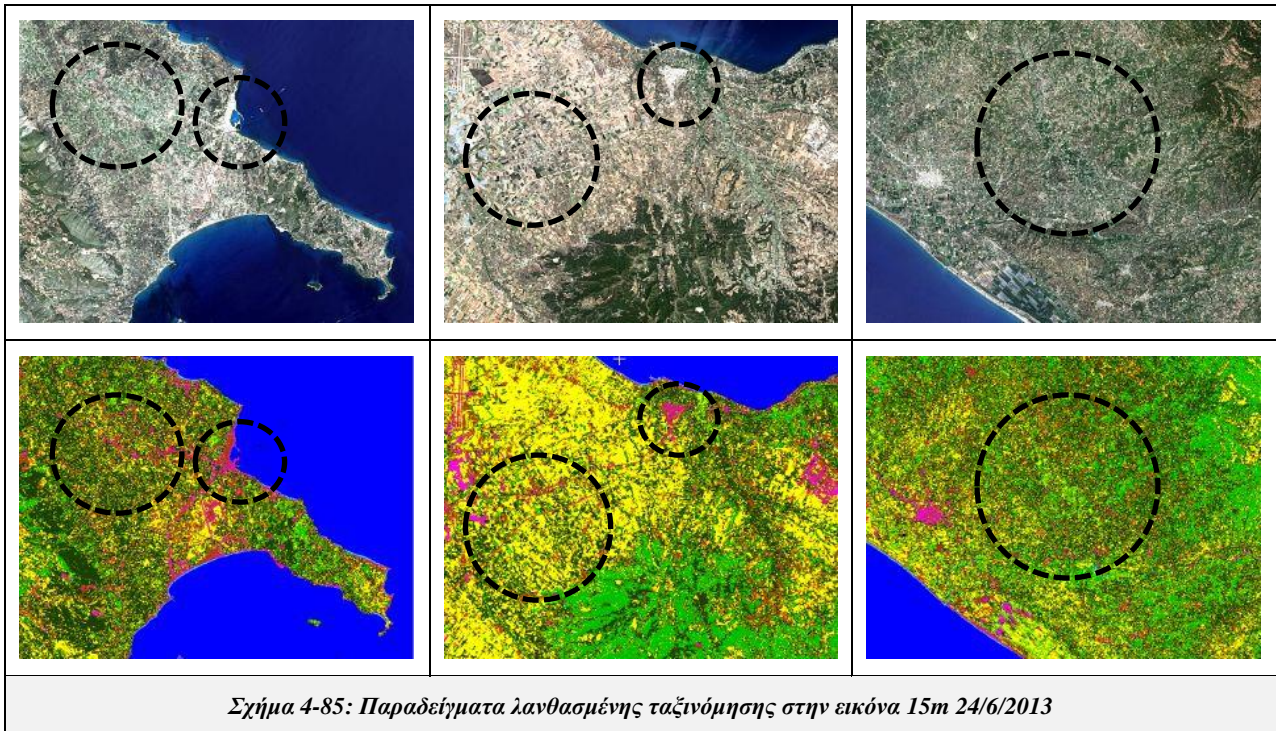


Σχήμα 4-84: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 24/6/2013

Στην εικόνα του παραπάνω σχήματος, επισημαίνονται κάποιες περιοχές δάσους, θαμνώδους βλάστησης, λιβαδιών και γυμνού εδάφους που αποδόθηκαν επιτυχώς. Συγκεκριμένα, οι περιοχή γυμνού εδάφους εντοπίστηκε και ταξινομήθηκε ορθά χωρίς παρεμβολές ταξινομημένων εικονοστοιχείων ως τεχνητές επιφάνειες. Επίσης, οι περιοχές λιβαδιών, θαμνώδους βλάστησης και δάσους εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν επαρκώς χωρίς να υπάρχει σύγχυση με την κατηγορία καλλιέργειες, όπως είχε παρατηρηθεί στην προηγούμενη ταξινόμηση της ίδιας εικόνας.

Στην αριστερή εικόνα του σχήματος 4-85 παρατηρείται πως ο αστικός ιστός αποδόθηκε λανθασμένα ως γυμνό έδαφος, όπως ήδη αναφέρθηκε. Η ίδια παρατήρηση γίνεται μελετώντας την κεντρική εικόνα, όπου μέρος του οικισμού που επισημαίνεται, ταξινομήθηκε λανθασμένα επίσης ως γυμνό έδαφος. Επιπλέον, και στις τρεις εικόνες διακρίνεται πως περιοχές καλλιεργειών ταξινομήθηκαν ως θαμνώδης βλάστηση. Συγκεκριμένα, στην αριστερή και δεξιά εικόνα, διαπιστώνεται πως οι καλλιέργειες που επισημαίνονται στις αρχικές εικόνες είναι έντονα ανεπτυγμένες και έχουν σκούρο πράσινο χρώμα, γεγονός που όντως δυσχεραίνει τον διαχωρισμό τους από τη θαμνώδη βλάστηση και τα δάση. Όσο αφορά την κεντρική εικόνα, υπάρχουν μερικές καλλιέργειες που έχουν τα χαρακτηριστικά που ήδη αναφέρθηκαν με αποτέλεσμα να έχουν ταξινομηθεί και αυτές ως θαμνώδης βλάστηση.





Σχήμα 4-85: Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 24/6/2013

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η ποσοτική αξιολόγηση της ταξινόμησης, η οποία επιτυγχάνεται μέσω του πίνακα σύγχυσης που φαίνεται παρακάτω, ο οποίος υπολογίστηκε με βάση 89 πολύγωνα ελέγχου που ψηφιοποιήθηκαν στην εικόνα. Μέσω του πίνακα ποσοτικοποιούνται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης ώστε να αξιολογηθεί, και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται πως η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια, και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 84,4% και 0,818 αντίστοιχα.

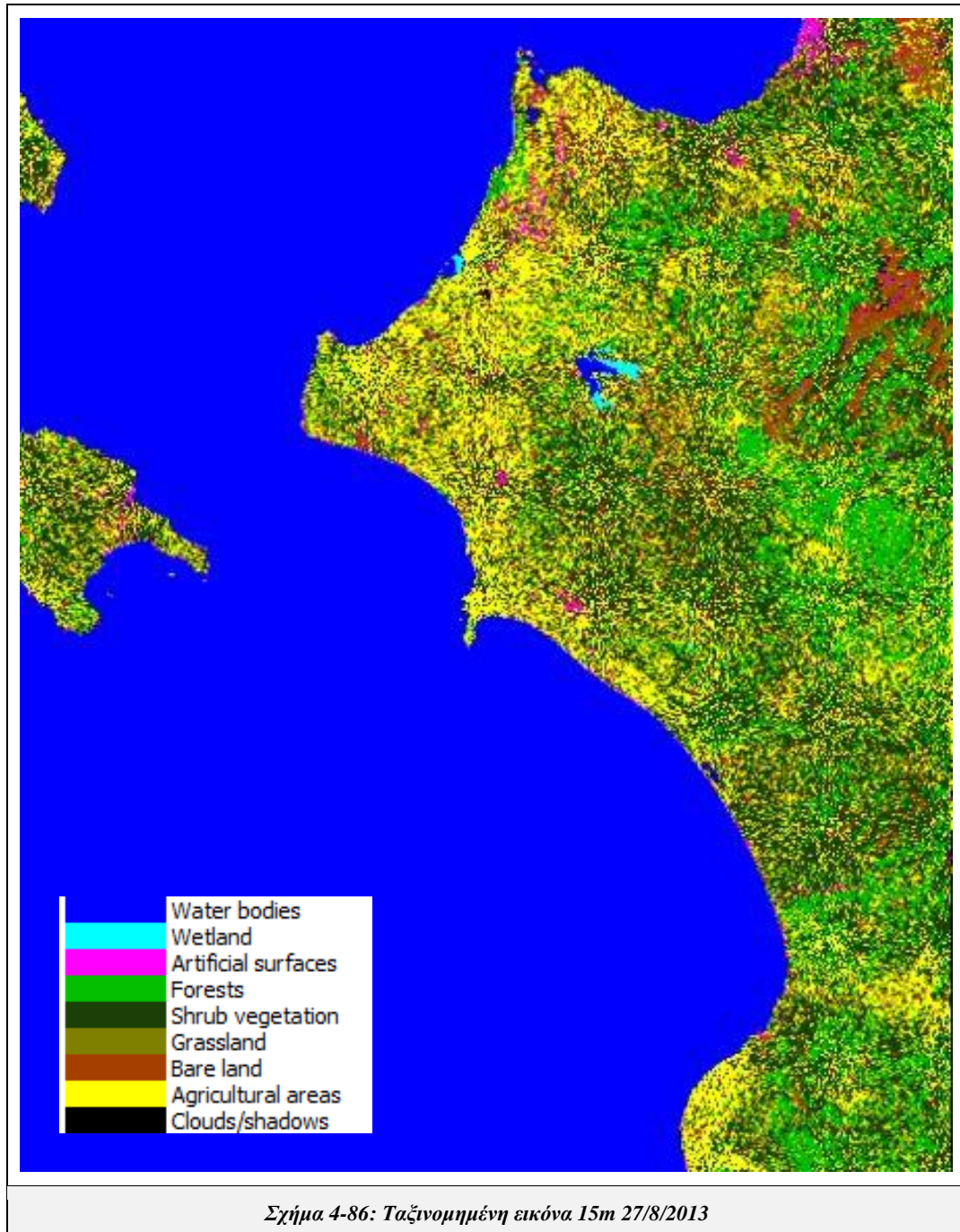
Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι σημείωσε το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια, με υψηλό ποσοστό ακολουθεί η κατηγορία υγρότοποι (100% UA και 97,2% PA) και η κατηγορία λιβάδια (93,6% UA και 95,6% PA). Υψηλά ποσοστά PA σημείωσαν επίσης η κατηγορία δάση, 99,8%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι λίγο χαμηλότερο, 88,4%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων καλλιεργείων, και η κατηγορία γυμνό έδαφος, 92,6%.

Χαμηλό ποσοστό UA σημείωσε το γυμνό έδαφος, 45,9% λόγω συμπερίληψης σε αυτήν πλήθους εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών. Το χαμηλότερο ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία τεχνητές επιφάνειες, 39,6%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής κυρίως ως γυμνό έδαφος και δευτερευόντως ως καλλιέργιες. Παρατηρείται ότι το ποσοστό ακρίβειας στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πολύ χαμηλό, αποκαλύπτοντας μια σοβαρή αστοχία του μοντέλου, παρά τα γενικά υψηλά ποσοστά ακρίβειας της ταξινόμησης. Οι υπόλοιπες κατηγορίες σημείωσαν γενικά υψηλά ποσοστά PA, έτσι εκτός από αυτές που αναφέρθηκαν ήδη, οι καλλιέργιες σημείωσαν 87,5% και η θαμνώδης βλάστηση 84,9%, συμπεραίνοντας πως το κύριο πρόβλημα της συγκεκριμένης ταξινόμησης αποτελεί η σύγχυση εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών με το γυμνό έδαφος.

Σημειώνεται, επίσης, πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 37 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 74,7% και δείκτη K 0,732. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών των τεχνητών επιφανειών, του γυμνού εδάφους, των δασών και των καλλιεργείων.

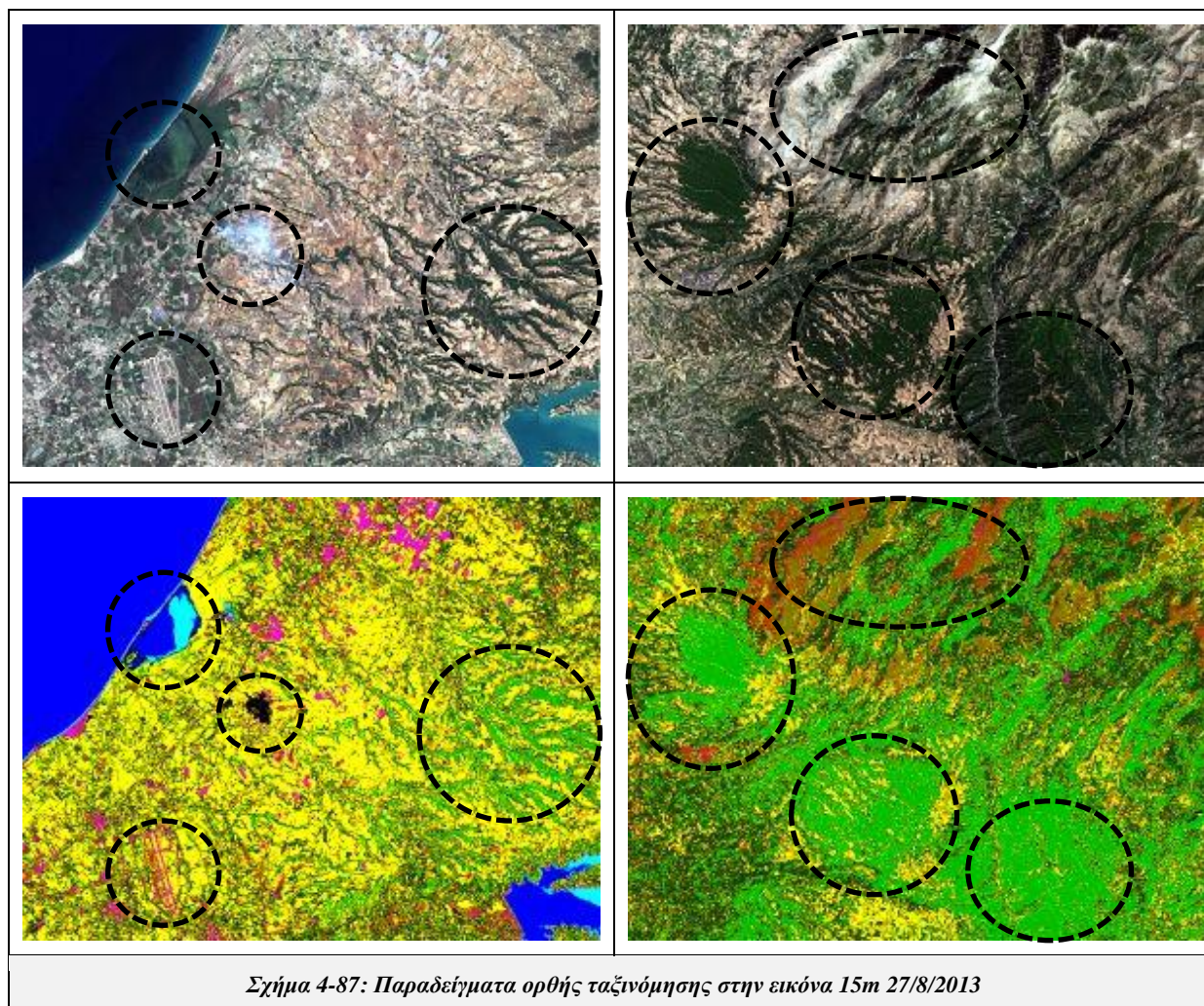
| <b>Reference data</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
|--|--------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|
|  | Water bodies | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows | <b>Total</b> | <b>UA (%)</b> |
| <b>Classification</b>  |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| Water bodies   | <b>933</b>   | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 933          | 100,00        |
| Wetland  | 0            | <b>35</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 35           | 100,00        |
| Artificial surfaces  | 0            | 0         | <b>322</b>          | 0          | 0          | 0          | 9          | 1                  | 0               | 332          | 96,99         |
| Forests  | 0            | 0         | 0                   | <b>556</b> | 3          | 0          | 0          | 70                 | 0               | 629          | 88,39         |
| Shrubland  | 0            | 0         | 2                   | 0          | <b>500</b> | 0          | 0          | 43                 | 0               | 545          | 91,74         |
| Grassland  | 0            | 0         | 0                   | 0          | 6          | <b>455</b> | 25         | 0                  | 0               | 486          | 93,62         |
| Bare land  | 0            | 0         | 444                 | 0          | 31         | 18         | <b>426</b> | 10                 | 0               | 929          | 45,86         |
| Agricultural areas   | 0            | 0         | 44                  | 1          | 49         | 3          | 0          | <b>866</b>         | 0               | 963          | 89,93         |
| Cloud / shadows  | 0            | 1         | 1                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>26</b>       | 28           | 92,86         |
| <b>Total</b>   | 933          | 36        | 813                 | 557        | 589        | 476        | 460        | 990                | 26              | <b>4880</b>  |               |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00       | 97,22     | 39,61               | 99,82      | 84,89      | 95,59      | 92,61      | 87,47              | 100,00          |              |               |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 84,4%, Δείκτης K= 0,818</b>                               |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |
| <i>Πίνακας 4-28: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m 24/6/2013</i> |              |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |              |               |

Ακολουθεί το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της εικόνας στις 27/8/2013, όπως προέκυψε από το ενιαίο μοντέλο που εξετάζεται σε αυτή την ενότητα.



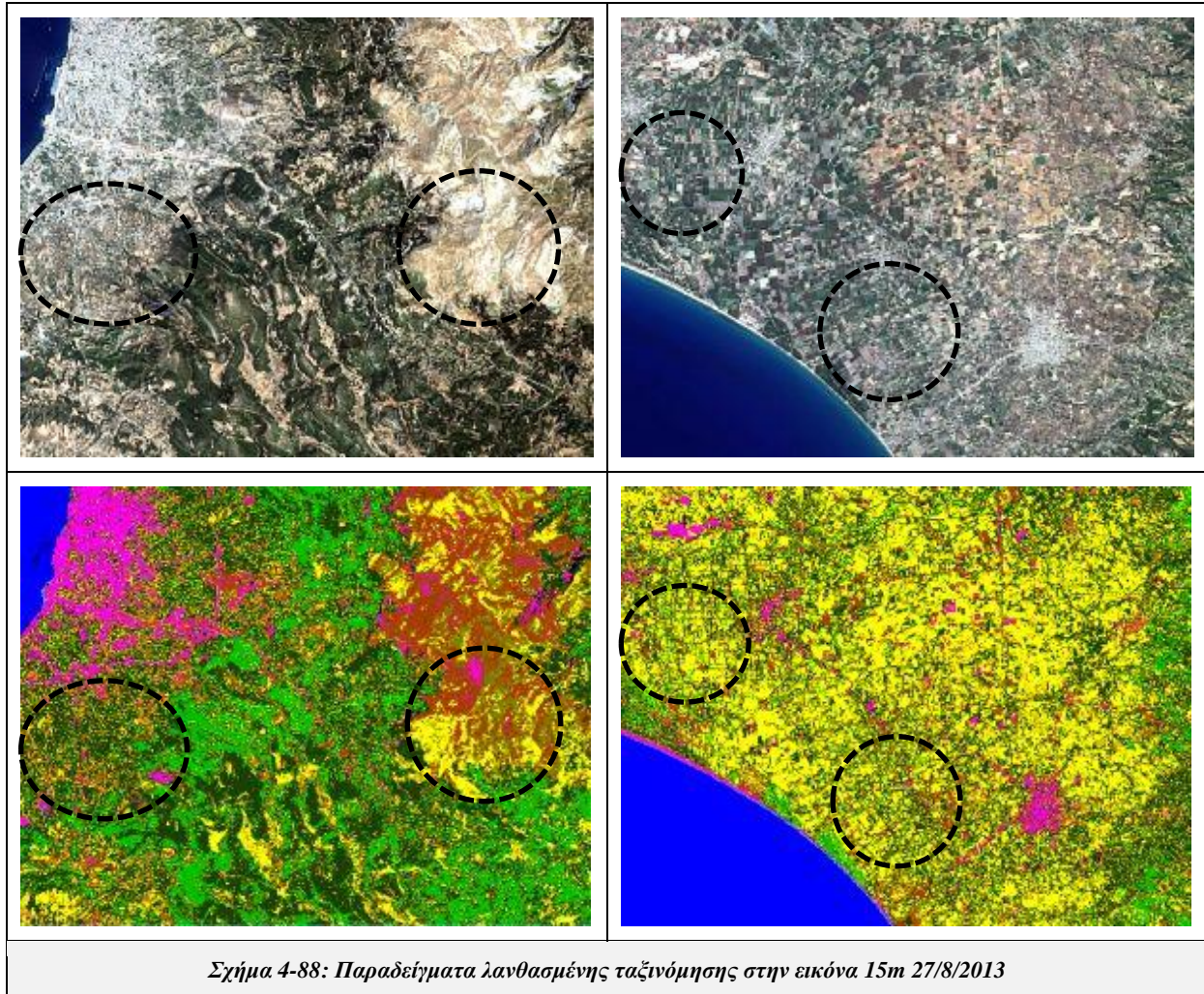
Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, η εικόνα αυτή ταξινομήθηκε με καλή ακρίβεια και επιτυχώς. Σε αυτή την ταξινόμηση παρατηρείται σε πολύ μικρότερο βαθμό η αστοχία της ταξινόμησης εικονοστοιχείων αστικού ιστού ως γυμνό έδαφος. Αντιθέτως, σε κάποιες περιπτώσεις εικονοστοιχεία τεχνητών επιφανειών αποδόθηκαν στην κατηγορία σύννεφα/σκιές, ενώ παράλληλα η αραιή συννεφοκάλυψη λίγο πάνω από το κέντρο της εικόνας εντοπίστηκε και ταξινομήθηκε επαρκώς. Επιπλέον, διακρίνεται πως η περιοχή του όρους Ερύμανθος αποδόθηκε ορθά, όπως και οι περιοχές δάσους και θαμνώδους βλάστησης. Τέλος, και σε αυτήν την εικόνα φαίνονται κάποιες περιοχές καλλιεργειών, κυρίως γύρω από οικισμούς, οι οποίες ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση με φωτοερμηνεία.



Στην αριστερή εικόνα του παραπάνω σχήματος παρατηρείται πως η λίμνη που επισημαίνεται ταξινομήθηκε επιτυχώς, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της αποδόθηκε ως υδάτινος όγκος και το υπόλοιπο ως υγρότοπος, λόγω της θολότητας των υδάτων στο συγκεκριμένο σημείο. Επιπλέον, φαίνεται με λεπτομέρεια, η αραιή συννεφοκάλυψη που εντοπίστηκε στην εικόνα αυτή και ταξινομήθηκε ορθά. Όσο αφορά τις τεχνητές επιφάνειες της περιοχής, διακρίνεται το αεροδρόμιο που ταξινομήθηκε επιτυχώς και στο πάνω μέρος της εικόνας κάποιες περιοχές θερμοκηπίων που επίσης αποδόθηκαν ορθά. Ακόμη, στην ίδια εικόνα και στη δεξιά εικόνα, επισημαίνονται κάποιες περιοχές δάσους που εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά και διαχωρίστηκαν από τις καλλιέργειες. Παράλληλα, στη δεξιά εικόνα επιτυχώς ταξινομήθηκαν και οι περιοχές γυμνού εδάφους, λιβαδιών και θαμνώδους βλάστησης.

Αντίθετα, στην αριστερή εικόνα του σχήματος 4-88, επισημαίνεται μια περιοχή καλλιεργειών κοντά στον οικισμό της Πάτρας, η οποία ταξινομήθηκε λανθασμένα ως θαμνώδης βλάστηση, λόγω της έντονης ανάπτυξης της. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα στο δεξί μέρος, παρατηρείται μια περιοχή γυμνού εδάφους και λιβαδιών, μέρος της οποίας αποδόθηκε ως καλλιέργειες. Στη δεξιά εικόνα του σχήματος, διακρίνονται δύο περιοχές καλλιεργειών, όπου κυρίως το περίγραμμά τους αποδόθηκε ως θαμνώδης βλάστηση και δάση, λόγω της όμοιας φασματικής υπογραφής των συγκεκριμένων καλλιεργειών με τις δύο κατηγορίες. Σημειώνεται επίσης ότι εικονοστοιχεία του οικισμού που φαίνεται στην εικόνα αποδόθηκαν λανθασμένα στην κατηγορία σύννεφα/σκιές.



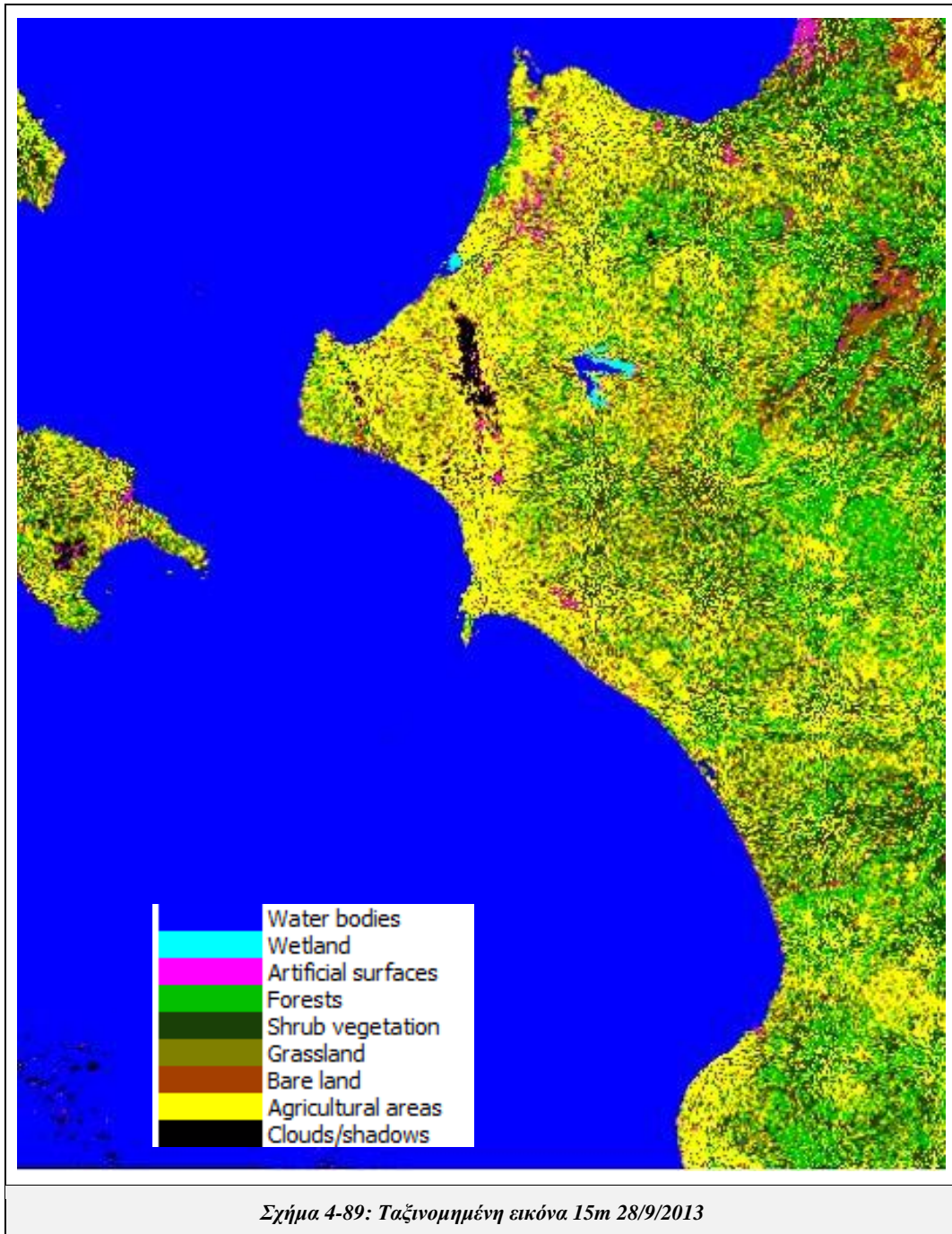
Ακολουθώντας, φαίνεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 71 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Όπως φαίνεται από τον πίνακα, η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με πολύ καλή ακρίβεια και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, 87,6% και 0,854 αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η κατηγορία υδάτινοι όγκοι σημείωσε το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια με υψηλό ποσοστό ακολουθούν η κατηγορία υγράτοποι (100% UA και 94,4% PA), η κατηγορία δάση (97,8% UA και 99,5% PA) και η κατηγορία λιβάδια (93,5% UA και 91,8% PA). Χαμηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία γυμνό έδαφος, 62,4%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως καλλιέργειες και τεχνητές επιφάνειες. Υψηλό ποσοστό PA σημείωσε η κατηγορία καλλιέργειες, 86,4%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 79,9%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους. Χαμηλά ποσοστά UA σημείωσαν η κατηγορία γυμνό έδαφος, 67,9%, λόγω της συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων κυρίως τεχνητών επιφανειών και η κατηγορία σύννεφα/σκιές, 63,8% λόγω της συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών.

Σημειώνεται πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 37 υποκατηγορίες, ήταν χαμηλότερη και συγκεκριμένα 84,0% και δείκτη K 0,831. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στη συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους και των καλλιεργειών.

|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>1001</b>    | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 1001        | 100,00 |
| Wetland  | 0              | <b>34</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 34          | 100,00 |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>833</b>          | 0          | 0          | 0          | 48         | 0                  | 0               | 881         | 94,55  |
| Forests  | 0              | 0         | 0                   | <b>621</b> | 14         | 0          | 0          | 0                  | 0               | 635         | 97,80  |
| Shrubland  | 0              | 0         | 3                   | 0          | <b>373</b> | 0          | 21         | 117                | 0               | 514         | 72,57  |
| Grassland  | 0              | 0         | 0                   | 0          | 3          | <b>415</b> | 23         | 3                  | 0               | 444         | 93,47  |
| Bare land  | 0              | 0         | 83                  | 0          | 57         | 26         | <b>358</b> | 3                  | 0               | 527         | 67,93  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 8                   | 3          | 62         | 11         | 124        | <b>825</b>         | 0               | 1033        | 79,86  |
| Cloud / shadows  | 0              | 2         | 26                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 1                  | <b>51</b>       | 80          | 63,75  |
| <b>Total</b>   | 1001           | 36        | 953                 | 624        | 509        | 452        | 574        | 949                | 51              | <b>5149</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00         | 94,44     | 87,41               | 99,52      | 73,28      | 91,81      | 62,37      | 86,93              | 100,00          |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 87,6%, Δείκτης K= 0,854</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-29: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m 27/8/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

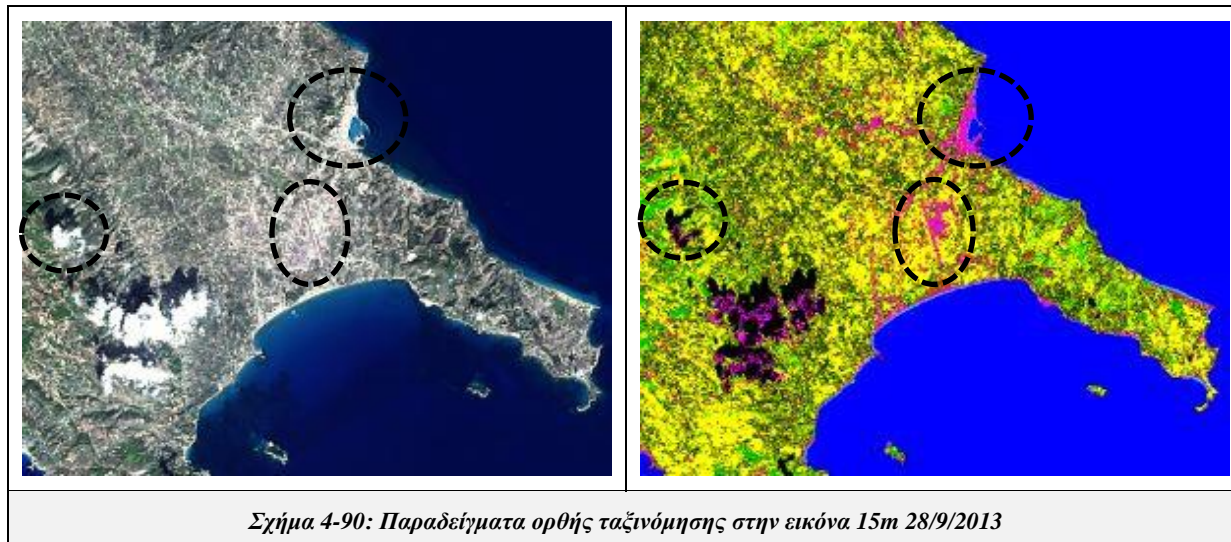
Τέλος, παρατίθεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της εικόνας 28/9/2013, με το ενιαίο μοντέλο, που εξετάζεται σε αυτή την ενότητα.



Στο παραπάνω σχήμα διακρίνεται πως η εικόνα ταξινομήθηκε με καλή ακρίβεια εφόσον οι διάφορες κατηγορίες έχουν διαχωριστεί σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι και σε αυτή την ταξινόμηση μερικοί οικισμοί δεν διαχωρίστηκαν επαρκώς από το γυμνό έδαφος, καθώς μερικά εικονοστοιχεία τους και σε αυτή την περίπτωση ταξινομήθηκαν λανθασμένα, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τις προηγούμενες ταξινομήσεις. Επιπλέον, παρατηρείται πως οι καλλιέργειες ταξινομήθηκαν ορθά σε μεγάλο μέρος της εικόνας, ενώ αντίθετα πολλές περιοχές θαμνώδους βλάστησης αποδόθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Επίσης, και σε αυτή την περίπτωση, η περιοχή του όρους Ερύμανθος ταξινομήθηκε ορθά με εξαίρεση μερικές περιοχές γυμνού εδάφους, που λανθασμένα αποδόθηκαν ως λιβάδια. Τέλος, διακρίνεται πως μεγάλο μέρος των συννέφων που καλύπτουν μέρος της κεντρικής περιοχής της εικόνας εντοπίστηκε

και ταξινομήθηκε ορθά, όπως αντίστοιχα ορθά ταξινομήθηκαν τα σύννεφα στο κάτω αριστερό μέρος της εικόνας.

Παρακάτω εξετάζονται με περισσότερη λεπτομέρεια κάποια παραδείγματα ορθής και λανθασμένης ταξινόμησης, όπως προέκυψαν έπειτα από ποιοτική αξιολόγηση της περιοχής με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Σχήμα 4-90: Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 28/9/2013

Στην εικόνα του σχήματος 4-90, επισημαίνονται τεχνητές επιφάνειες, το αεροδρόμιο και ο αστικός ιστός, οι οποίες εντοπίστηκαν και ταξινομήθηκαν ορθά με ελάχιστα εικονοστοιχεία του οικισμού να έχουν ταξινομηθεί ως γυμνό έδαφος. Επιπλέον, στην ίδια εικόνα παρατηρούνται κάποια σύννεφα και οι σκιές τους. Οι σκιές των σύννεφων ταξινομήθηκαν επιτυχώς, σε αντίθεση με τα σύννεφα όπου μέρος τους ταξινομήθηκε ως τεχνητή επιφάνεια. Παρόλα αυτά επισημαίνεται ένα σύννεφο που αποδόθηκε ορθά, και από το γεγονός αυτό συμπεραίνεται πως τα σύννεφα στην πλειοψηφία τους εντοπίστηκαν επαρκώς μέσω του μοντέλου αυτού.

Στην αριστερή εικόνα του σχήματος 4-91 φαίνονται κάποιες περιοχές κυρίως θαμνώδους βλάστησης και δευτερευόντως δασών, οι οποίες αποδόθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Το ίδιο παρατηρείται και στη δεξιά εικόνα, γεγονός που σημαίνει πως για τη συγκεκριμένη εικόνα το μοντέλο δεν ήταν κατάλληλο για το διαχωρισμό της θαμνώδους βλάστησης από τις καλλιέργειες σε μερικές περιοχές. Επιπλέον, στη δεξιά εικόνα παρατηρείται πως ο αστικός ιστός δεν εντοπίστηκε και η συγκεκριμένη περιοχή ταξινομήθηκε ως καλλιέργεια και γυμνό έδαφος.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης, όπως υπολογίστηκε από 74 πολύγωνα ελέγχου, και σε αυτόν παρουσιάζονται ποσοτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης που έχει προηγηθεί. Σημειώνεται πως δεν έχουν ψηφιοποιηθεί πολύγωνα ελέγχου στην περιοχή που καλύπτεται από την αραιή συννεφοκάλυψη, γιατί τα όποια λάθη συναντώνται στην ταξινόμηση στο σημείο αυτό δεν αφορούν λάθη του μοντέλου. Σύμφωνα με τον πίνακα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με καλή ακρίβεια, και συγκεκριμένα σημείωσε ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη  $K$ , 83,4% και 0,808 αντίστοιχα.

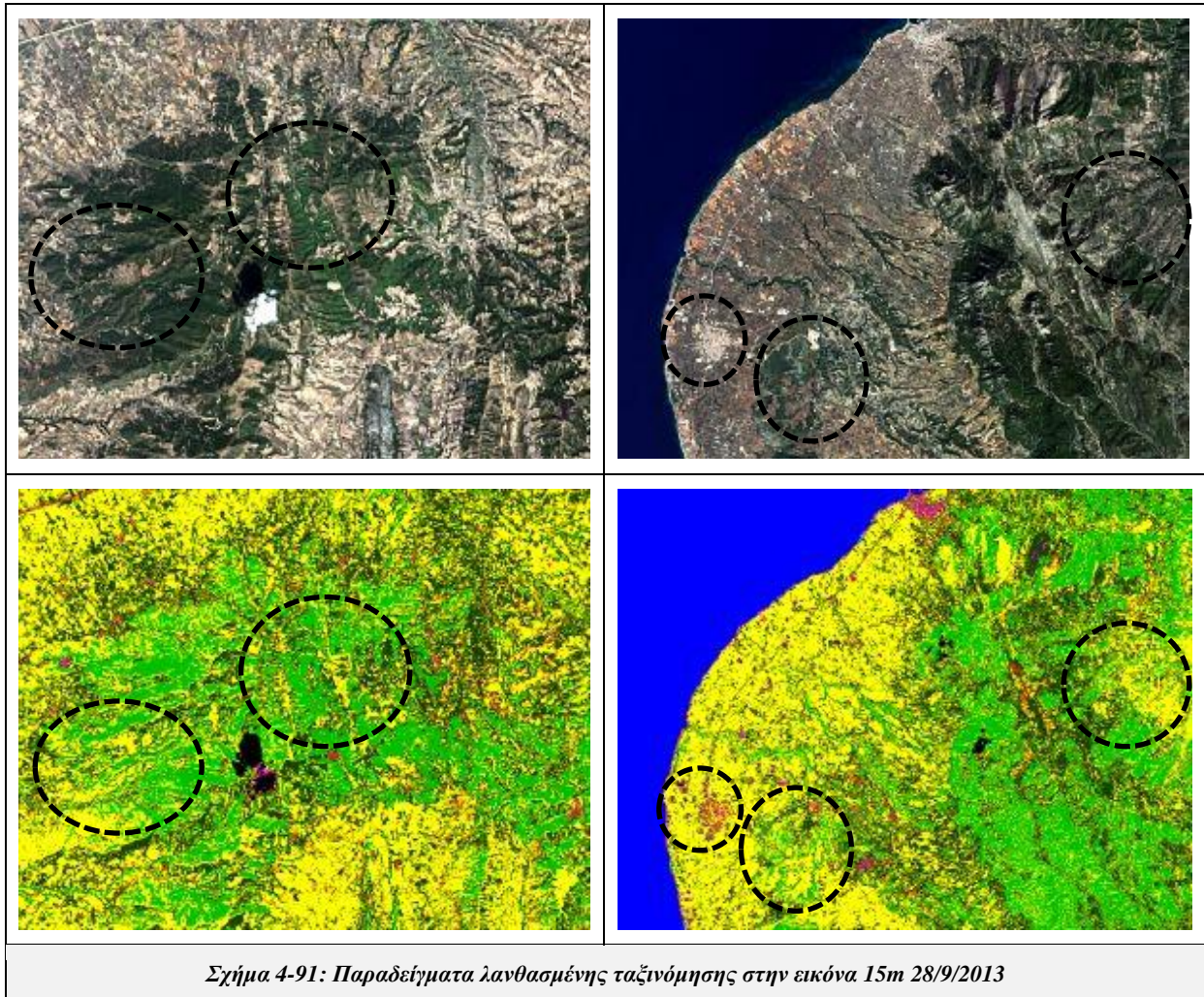
Ειδικότερα, οι κατηγορίες υδάτινοι όγκοι και υγρότοποι σημείωσαν το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας, 100%, τόσο στο PA όσο και στο UA. Στη συνέχεια, με υψηλό ποσοστό ακολουθούν η κατηγορία δάση (98,2% UA και 90,8% PA), και στην οποία παρατηρείται ότι μερικά εικονοστοιχεία της ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Υψηλά ποσοστά PA σημείωσαν οι καλλιέργειες, 98,9%, αν και το αντίστοιχο ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 68,6%, λόγω συμπερίληψης στην κατηγορία εικονοστοιχείων κυρίως θαμνώδους βλάστησης, και η κατηγορία λιβάδια, 89,0%, της οποίας επίσης το ποσοστό UA είναι χαμηλότερο, 71,2%, λόγω συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους.

Επίσης, χαμηλά ποσοστά PA σημείωσαν η κατηγορία γυμνό έδαφος, 61,8%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της κατηγορίας ως λιβάδια, και η κατηγορία θαμνώδης βλάστηση, 54,2%,



λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων αυτής ως καλλιέργειες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-91. Χαμηλό ποσοστό UA σημείωσε η κατηγορία γυμνό έδαφος, 69,6%, λόγω της συμπερίληψης σε αυτήν εικονοστοιχείων τεχνητών επιφανειών. Επιπλέον, αναφέρεται πως υψηλό ποσοστό UA σημείωσαν η κατηγορία θαμνώδης βλάστηση, 81,8%, και η κατηγορία σύννεφα/σκιές, 98,8%, η οποία όμως έχει χαμηλότερο ποσοστό PA, 85,4%, λόγω λανθασμένης ταξινόμησης εικονοστοιχείων της ως τεχνητές επιφάνειες.

Σημειώνεται πως η αρχική συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης που σημειώθηκε με τις 37 υποκατηγορίες, ήταν αισθητά χαμηλότερη και συγκεκριμένα 74,1% και δείκτη K 0,727. Η αύξηση της ακρίβειας οφείλεται σε αυτή την περίπτωση στην συγχώνευση των υποκατηγοριών του γυμνού εδάφους, των τεχνητών επιφανειών και των καλλιεργειών.



|  | Reference data |           |                     |            |            |            |            |                    |                 | Total       | UA (%) |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|--------|
|  | Water bodies   | Wetland   | Artificial surfaces | Forests    | Shrub-land | Grass-land | Bare land  | Agricultural areas | Cloud / shadows |             |        |
| <b>Classification</b>  |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| Water bodies   | <b>925</b>     | 0         | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 925         | 100,00 |
| Wetland  | 0              | <b>29</b> | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0               | 29          | 100,00 |
| Artificial surfaces  | 0              | 0         | <b>652</b>          | 0          | 0          | 0          | 15         | 0                  | 59              | 726         | 89,81  |
| Forests  | 0              | 0         | 1                   | <b>602</b> | 0          | 0          | 0          | 0                  | 10              | 613         | 98,21  |
| Shrubland  | 0              | 0         | 38                  | 1          | <b>292</b> | 0          | 16         | 10                 | 0               | 357         | 81,79  |
| Grassland  | 0              | 0         | 0                   | 0          | 0          | <b>396</b> | 160        | 0                  | 0               | 556         | 71,22  |
| Bare land  | 0              | 0         | 160                 | 0          | 0          | 19         | <b>409</b> | 0                  | 0               | 588         | 69,56  |
| Agricultural areas   | 0              | 0         | 28                  | 60         | 247        | 30         | 62         | <b>932</b>         | 0               | 1359        | 68,58  |
| Cloud / shadows  | 0              | 0         | 5                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                  | <b>405</b>      | 410         | 98,78  |
| <b>Total</b>   | 925            | 29        | 884                 | 663        | 539        | 445        | 662        | 942                | 474             | <b>5563</b> |        |
| <b>PA (%)</b>  | 100,00         | 100,00    | 73,76               | 90,80      | 54,17      | 88,99      | 61,78      | 98,94              | 85,44           |             |        |
| <b>Συνολική ακρίβεια = 83,4%, Δείκτης K= 0,808</b>                               |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |
| <i>Πίνακας 4-30: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m 28/9/2013</i> |                |           |                     |            |            |            |            |                    |                 |             |        |

### 4.3 Συγκριτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Και Εκτίμηση Διαχρονικών Αλλαγών Στις Χρήσεις/ κάλυψη Γης

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων ως προς την διαχρονική τους σημασία και τις αλλαγές που έχουν συμβεί στην περιοχή με την πάροδο του χρόνου. Για τον σκοπό αυτό, στο σχήμα 4-92 παρουσιάζεται μέρος της ταξινόμησης κάθε εικόνας των 30m που σημείωσε το μεγαλύτερο ποσοστό συνολικής ακρίβειας και δείκτη K, όπως αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 4-31.

Από την εξέταση του πίνακα 4-31, προκύπτει πως στην πλειοψηφία των περιπτώσεων σημειώθηκαν υψηλότερα ποσοστά συνολικής ακρίβειας και δείκτη K με τη χρήση του μοντέλου ανά εικόνα. Αυτό δεν έχει συμβεί στην περίπτωση των εικόνων 30m, στις 27/8/2013 και 28/9/2013, όπου η ταξινόμηση τους με το μοντέλο ανά εποχή σημείωσε ελάχιστα υψηλότερα ποσοστά, ενώ στις αντίστοιχες εικόνες του έτους 2014 το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρείται. Επίσης, υψηλότερη ακρίβεια σημείωσε η ταξινόμηση της εικόνας των 15m στις 28/9/2013 με το ενιαίο μοντέλο. Επιπλέον, διαπιστώνεται πως στην περίπτωση των εικόνων των 30m, το ενιαίο μοντέλο έδωσε υψηλότερης ακρίβειας ταξινομήσεις από τα μοντέλα ανά έτος, εκτός από την περίπτωση των εικόνων στις 28/9/2013 και στις 1/10/2014.

Όσο αφορά τις ταξινομήσεις με τα μοντέλα ανά έτος των εικόνων των 30m, σημείωσαν στην πλειοψηφία τους τα χαμηλότερα ποσοστά, σε σχέση με τις ταξινομήσεις με τα άλλα μοντέλα, όπως ήδη αναφέρθηκε. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνεται πως τα μοντέλα ανά έτος δεν είναι τα κατάλληλα για την ταξινόμηση της συγκεκριμένης περιοχής για αυτές τις χρονικές περιόδους. Επιπλέον, τα μοντέλα ανά εποχή είναι τα πιο αποτελεσματικά για χρήση σε ταξινομήσεις, μετά τα μοντέλα ανά εικόνα, εφόσον τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις συγκεκριμένες ταξινομήσεις ήταν πολύ καλά. Αναφέρεται ακόμα, πως τα ενιαία μοντέλα σημείωσαν σε γενικές γραμμές υψηλά ποσοστά, αποδεκτά για τέτοιου είδους εφαρμογές, γεγονός που ενθαρρύνει την συνέχιση ταξινομήσεων με χρήση φασματικών δεδομένων.

Από την εξέταση του σχήματος 4-92, στο οποίο παρουσιάζονται η ταξινόμηση κάθε εικόνας που σημείωσε την καλύτερη ακρίβεια, προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα. Αρχικά, διακρίνεται πως οι κατηγορίες κάλυψης γης στην περιοχή δεν αλλάζουν, αλλά διαφοροποιούνται χωρικά σε κάποια σημεία. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πως οι οικισμοί των περιοχών δεν παρουσιάζουν κάποια διαφορά στο μέγεθος τους, και αυτό είναι λογικό λόγω της μικρής χρονικής διαφοράς που έχουν οι εικόνες. Επιπλέον, διακρίνεται πως οι περιοχές που καλύπτονται από καλλιέργειες δεν αλλάζουν, αν και οι ίδιες οι καλλιέργειες έχουν διαφορετική φασματική υπογραφή ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης τους και τη χρονική στιγμή λήψης της εικόνας, όμως η χρήση δειγμάτων καλλιεργειών από διαφορετικές χρονικές στιγμές εξαλείφει αυτό το πρόβλημα.

Οι κύριες διαφορές που επισημαίνονται μεταξύ των εικόνων αφορούν κυρίως τη θαμνώδη βλάστηση, τα δάση, τα λιβάδια και το γυμνό έδαφος. Τα δάση παρατηρείται πως παραμένουν ίδια σε μεγάλο βαθμό, εκτός από την εικόνα στις 27/8/2013, που δεν εμφανίζεται τόσο έντονη η παρουσία τους. Το ίδιο συμπεραίνεται παρατηρώντας τη θαμνώδη βλάστηση η οποία φαίνεται να είναι πιο έντονη στις υπόλοιπες εικόνες παρά στις 27/8/2013. Ακόμη, διαπιστώνεται πως η σύγχυση της θαμνώδους βλάστησης με τις καλλιέργειες είναι πιο έντονη στις 28/9/2013, στις 29/7/2014 και στις 1/10/2014, γεγονός που μπορεί να συμβαίνει είτε λόγω της φύσης των συγκεκριμένων καλλιεργειών, οι οποίες μπορεί να είναι πιο ανεπτυγμένες τις δεδομένες φάσεις, είτε λόγω περισσότερης βροχόπτωσης σε αυτές τις χρονικές στιγμές που προκαλεί εντονότερη ανάπτυξη της βλάστησης σε πολλές περιοχές.

Όσο αφορά τις περιοχές γυμνού εδάφους, αυτές παραμένουν σχεδόν ίδιες, εκτός από κάποιες περιοχές που ανιχνεύονται λιβάδια και θαμνώδης βλάστηση. Αυτό παρατηρείται κυρίως στην περίπτωση των εικόνων στις 28/9/2013 και 1/10/2014, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως ίσως πρόκειται και σε αυτή την περίπτωση η αλλαγή να οφείλεται σε αυξημένη βροχόπτωση τη συγκεκριμένη εποχή.

Στο σχήμα 4-93, που βρίσκεται παρακάτω παρατίθενται για σύγκριση κάποια κομμάτια των εικόνων 15m και 30m του έτους 2013. Από την παρατήρηση των εικόνων στις 24/6/2013 προκύπτει πως είναι όμοιες, με μόνη κύρια διαφορά την ύπαρξη θαμνώδους βλάστησης στην εικόνα των 30m. Οι περιοχές στην εικόνα των 15m που δεν ταξινομήθηκαν έτσι, αποδόθηκαν ως καλλιέργειες. Από την παρατήρηση των εικόνων προκύπτει πως η διαφορά οφείλεται σε αστοχία του δεύτερου μοντέλου. Σημειώνεται πως και οι δύο

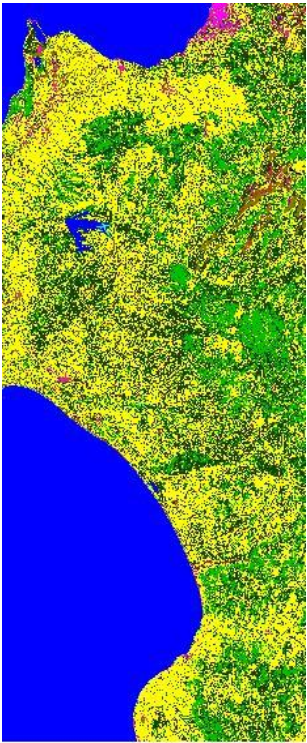
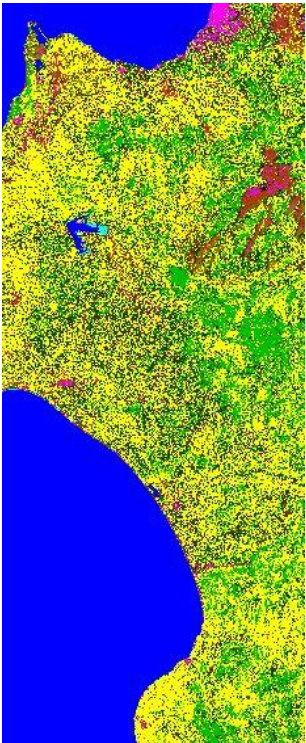
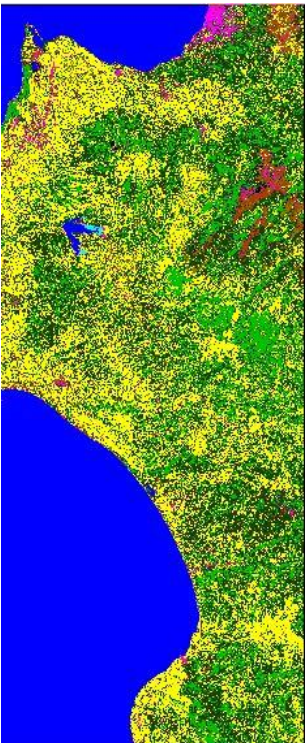
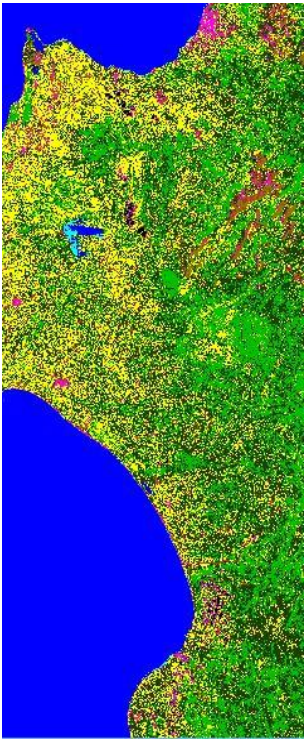
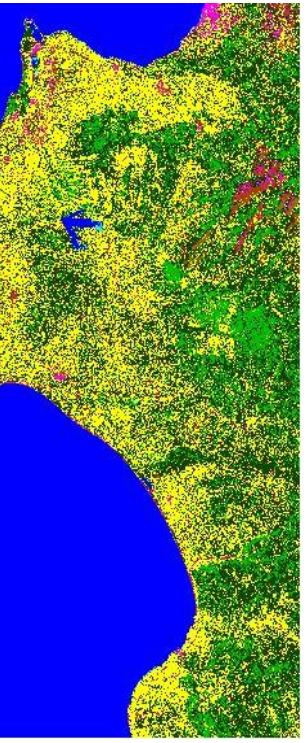

ταξινομήσεις προέρχονται από μοντέλα ανά εικόνα. Παρόλα αυτά, οι υπόλοιπες χρήσεις γης έχουν ανιχνευθεί όμοια, ακόμα και η αστοχία στο όρος Ερύμανθος όπου μέρος του ταξινομήθηκε ως καλλιέργεια.

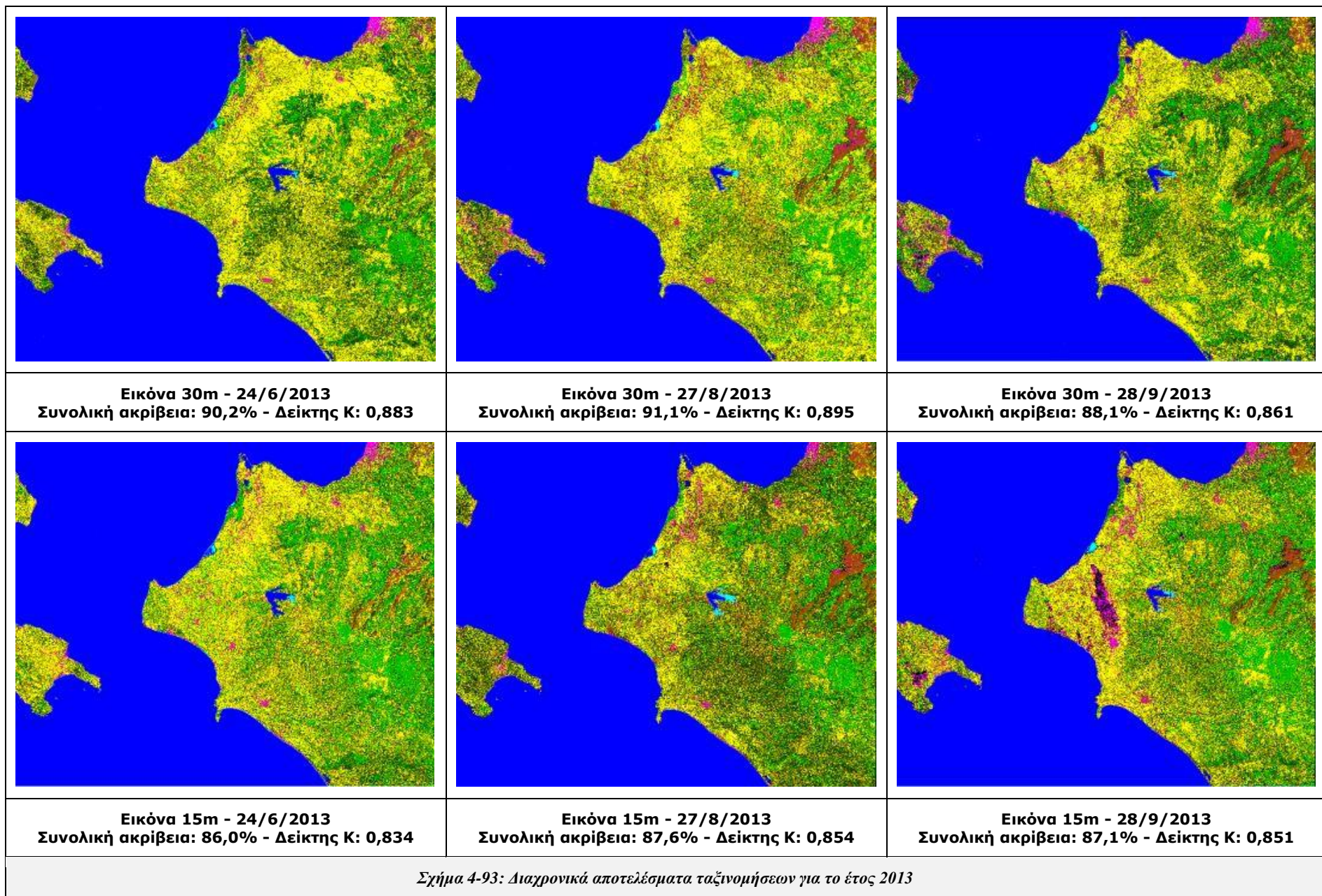
Όσο αφορά τις εικόνες στις 27/8/2013, προκύπτει ότι και αυτές έχουν κάποιες σημαντικές διαφορές ως προς την κατηγορία θαμνώδης βλάστηση. Στην περίπτωση αυτή οι περιοχές που ταξινομήθηκαν ως θαμνώδης βλάστηση είναι ίδιες με την διαφορά πως στην εικόνα των 15m είναι πιο έντονη η ύπαρξη της. Μια άλλη διαφορά που εντοπίζεται αφορά τον οικισμό της Πάτρας στο πάνω μέρος των εικόνων, όπου στην εικόνα των 15m φαίνεται να είναι πιο μικρός.

Κατά την παρατήρηση των εικόνων στις 28/9/2013 διακρίνεται και σε αυτή την περίπτωση ο οικισμός της Πάτρας στην εικόνα των 15m να είναι πιο μικρός, και στην εικόνα των 30m η ύπαρξη θαμνώδους βλάστησης είναι πιο έντονη. Επιπλέον, διακρίνεται ότι κάποιες περιοχές καλλιεργειών έχουν περισσότερες παρεμβολές από εικονοστοιχεία λανθασμένα ταξινομημένα στην εικόνα των 15m, σε σχέση με τις αντίστοιχες περιοχές στην εικόνα των 30m. Τέλος, παρατηρείται πως η περιοχή αραιής συννεφοκάλυψης, στην εικόνα των 30m δεν εντοπίστηκε με αποτέλεσμα να έχει ταξινομηθεί λανθασμένα η περιοχή των καλλιεργειών ως λιβάδια και γυμνό έδαφος, ενώ αντίθετα στην εικόνα των 15m, εντοπίστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό, αν και σε αυτή την εικόνα ταξινομήθηκε λανθασμένα ως τεχνητή επιφάνεια.

|     |           | Μοντέλο ανά εικόνα |           | Μοντέλο ανά εποχή |           | Μοντέλο ανά έτος  |           | Ενιαίο μοντέλο    |           |
|-----|-----------|--------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
|     |           | Συνολική ακρίβεια  | Δείκτης Κ | Συνολική ακρίβεια | Δείκτης Κ | Συνολική ακρίβεια | Δείκτης Κ | Συνολική ακρίβεια | Δείκτης Κ |
| 30m | 24/6/2013 | 90,2%              | 0,883     | 87,5%             | 0,849     | 84,7%             | 0,816     | 87,0%             | 0,844     |
|     | 27/8/2013 | 86,7%              | 0,842     | 91,1%             | 0,895     | 84,6%             | 0,818     | 83,1%             | 0,799     |
|     | 28/9/2013 | 87,5%              | 0,853     | 88,1%             | 0,861     | 83,2%             | 0,804     | 84,5%             | 0,819     |
|     | 29/7/2014 | 86,9%              | 0,848     | 78,2%             | 0,746     | 76,2%             | 0,723     | 78,1%             | 0,745     |
|     | 14/8/2014 | 88,1%              | 0,860     | 86,8%             | 0,846     | 80,0%             | 0,765     | 82,2%             | 0,792     |
|     | 1/10/2014 | 90,4%              | 0,888     | 85,4%             | 0,829     | 81,0%             | 0,777     | 79,4%             | 0,757     |
| 15m | 24/6/2013 | 86,0%              | 0,834     |                   |           |                   |           | 84,4%             | 0,818     |
|     | 27/8/2013 | 85,8%              | 0,833     |                   |           |                   |           | 87,6%             | 0,854     |
|     | 28/9/2013 | 87,1%              | 0,851     |                   |           |                   |           | 83,4%             | 0,808     |

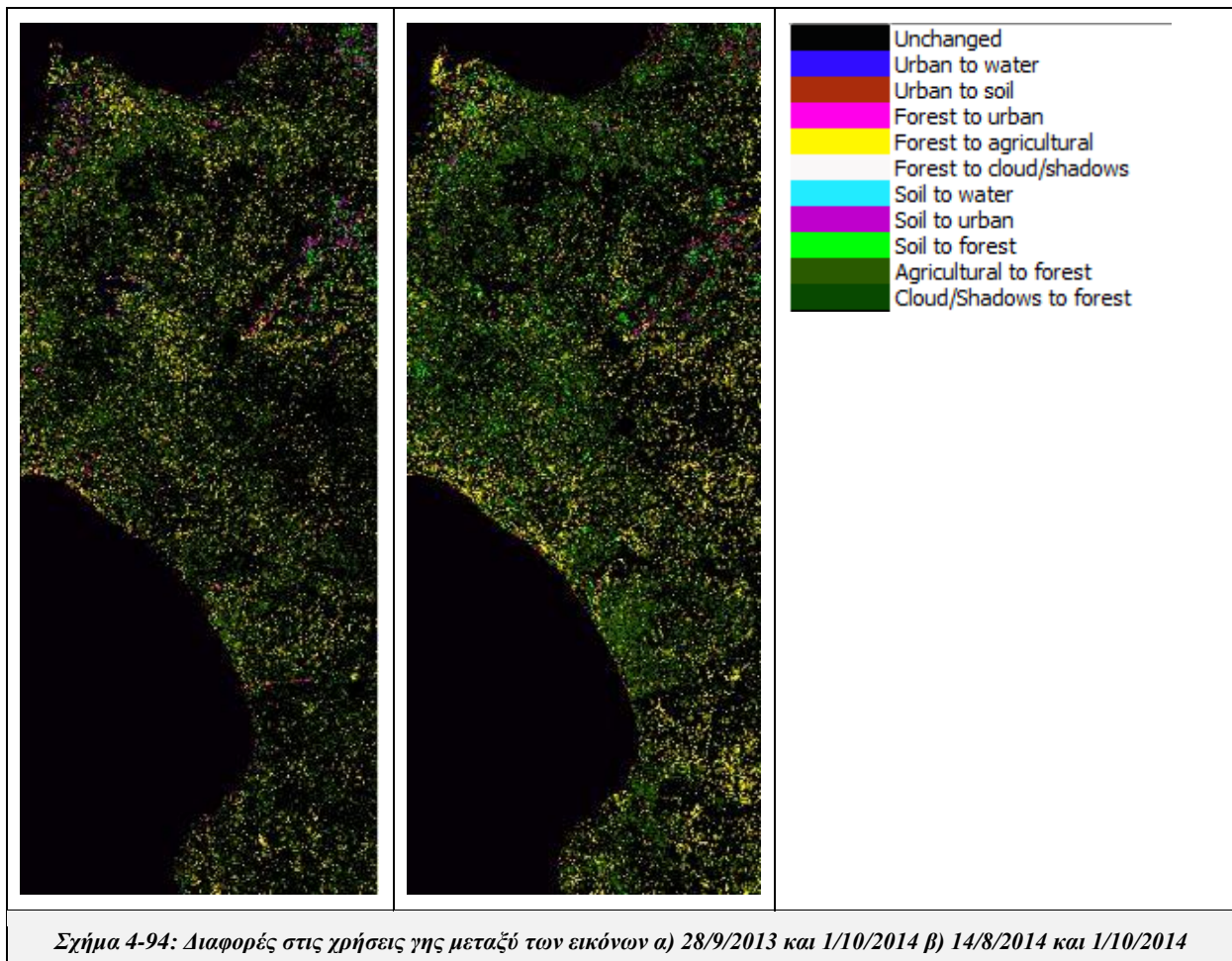
Πίνακας 4-31: Πίνακας συνολικής ακρίβειας και δείκτη Κ για όλες τις ταξινομήσεις

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
|                     |                     |                    |                   |                   |                   |
| <p><b>24/6/2013</b><br/> <b>Συνολική ακρίβεια:</b><br/> <b>90,2%</b><br/> <b>Δείκτης K: 0,883</b></p> | <p><b>27/8/2013</b><br/> <b>Συνολική ακρίβεια:</b><br/> <b>91,1%</b><br/> <b>Δείκτης K: 0,895</b></p> | <p><b>28/9/2013</b><br/> <b>Συνολική ακρίβεια:</b><br/> <b>88,1%</b><br/> <b>Δείκτης K: 0,861</b></p> | <p><b>29/7/2014</b><br/> <b>Συνολική ακρίβεια:</b><br/> <b>86,9%</b><br/> <b>Δείκτης K: 0,848</b></p> | <p><b>14/8/2014</b><br/> <b>Συνολική ακρίβεια:</b><br/> <b>88,1%</b><br/> <b>Δείκτης K: 0,860</b></p> | <p><b>1/10/2014</b><br/> <b>Συνολική ακρίβεια:</b><br/> <b>90,4%</b><br/> <b>Δείκτης K: 0,888</b></p> |
| <p><i>Σχήμα 4-92: Διαχρονικά αποτελέσματα ταξινόμησης για τις εικόνες 30m</i></p>                     |   |   |   |   |   |



Οι διαφορές μεταξύ των εικόνων των 15m και 30m που έχουν αναφερθεί οφείλονται κυρίως στην διαφορά μεγέθους των εικονοστοιχείων. Ειδικότερα, στις εικόνες των 15m ο αστικός ιστός φαίνεται να είναι μικρότερος καθώς μπορούν σε αυτή την ανάλυση να αναγνωρισθούν περισσότερα στοιχεία, όπως είναι το αστικό πράσινο, και προχωρώντας στα όρια του οικισμού η αστική δόμηση είναι πιο αραιή με αποτέλεσμα τα εικονοστοιχεία στις συγκεκριμένες περιοχές να έχουν διαφορετικές φασματικές τιμές από τα εικονοστοιχεία της πυκνής αστικής δόμησης. Αντίστοιχα, στις περιοχές των καλλιεργειών, ταξινομήθηκαν περισσότερα εικονοστοιχεία λανθασμένα στις εικόνες των 15m καθώς μικρές φασματικές διαφορές στις καλλιέργειες ανιχνεύονται πιο εύκολα.

Επιπλέον, για εποπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των διαφορών που ανιχνεύθηκαν εφαρμόστηκε η διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 3.3. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε να εξεταστούν διαφορές στις κατηγορίες κάλυψης γης μεταξύ δύο εικόνων διαφορετικού έτους, και δύο εικόνων διαφορετικής εποχής, έτσι στην αριστερή εικόνα φαίνονται οι διαφορές που ανιχνεύθηκαν μεταξύ των εικόνων στις 28/9/2013 και 1/10/2014 και στη δεξιά εικόνα οι διαφορές μεταξύ των εικόνων στις 14/8/2014 και 1/10/2014. Από την πρώτη εικόνα διαπιστώνεται πως οι βασικές διαφορές επικεντρώνονται στη μετατροπή καλλιεργειών σε δάση. Αυτό εξηγείται από το γεγονός πως όπως προαναφέρθηκε στην εικόνα στις 1/10/2014 είναι πιο έντονη η παρουσία θαμνώδους βλάστησης, λόγω κάποιων λανθασμένα ταξινομημένων εικονοστοιχείων. Αντίστοιχα, στην δεύτερη εικόνα παρατηρείται και σε αυτήν την περίπτωση πως οι κύριες διαφορές επικεντρώνονται στη μετατροπή καλλιεργειών σε δάση αλλά και αντίθετα σε αρκετές περιοχές. Διακρίνεται επίσης, και στις δύο εικόνες πως αναλλοίωτες μένουν οι περιοχές υδάτινων όγκων, αστικές περιοχές και περιοχές δασών.



# 5.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με την ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που έχουν περιγραφεί παραπάνω, προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα. Τα συμπεράσματα αυτά χωρίζονται σε ειδικά, που αφορούν τη συγκεκριμένη μελέτη, και γενικά, που αφορούν τις μελέτες τέτοιου είδους και περιλαμβάνουν γενικές παρατηρήσεις που συμπίπτουν με τη βιβλιογραφία.

### Ειδικά Συμπεράσματα

#### *Περιοχή μελέτης*

Όσο αφορά τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την περιοχή μελέτης, αυτά αφορούν σε μεγάλο βαθμό τη σύγχυση ορισμένων κατηγοριών, όπως οι καλλιέργειες με τη θαμνώδη βλάστηση. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε πως σε αρκετές εικόνες στο μέρος τους που καλύπτεται από καλλιέργειες, παρεμβάλλονται σε κάποια σημεία λανθασμένα σκούρες και ανοικτές αποχρώσεις του πράσινου, που αντιστοιχούν σε θαμνώδη βλάστηση και δάση αντίστοιχα. Το πρόβλημα αυτό σχετίζεται κυρίως με το είδος των καλλιεργειών στη συγκεκριμένη περιοχή, αλλά και τη χρονική στιγμή λήψης των εικόνων, όπου μερικές καλλιέργειες είναι πολύ ανεπτυγμένες και δύσκολα διαχωρίζονται από τις κατηγορίες που προαναφέρθηκαν.

Ταυτόχρονα, στις ταξινομήσεις του μήνα Αυγούστου για τις εικόνες των 30m και για τα δύο έτη από τα μοντέλα ανά εποχή και το ενιαίο μοντέλο διακρίνονται περιοχές δασών οι οποίες αποδόθηκαν λανθασμένα ως καλλιέργειες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτό συμβαίνει επειδή τα πολύγωνα εκπαίδευσης προέρχονται από πολλές διαφορετικές εικόνες διαφορετικής περιόδου και σε κάποιες υπάρχουν πολύγωνα από έντονα ανεπτυγμένες καλλιέργειες με όμοια φασματική υπογραφή δάσους που προκαλούν σύγχυση στον ταξινομητή.

Επιπλέον, σε αρκετές περιπτώσεις ταξινομήθηκαν λανθασμένα μερικά σύννεφα και σκιές ως τεχνητές επιφάνειες και δάση αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται επειδή τα σύννεφα έχουν αρκετά όμοια φασματική υπογραφή με ορισμένες τεχνητές επιφάνειες, όπως είναι τα ορυχεία, και για το λόγο αυτό είναι επιθυμητό οι εικόνες που χρησιμοποιούνται στις μελέτες αυτές να έχουν όσο το δυνατόν γίνεται μικρότερη κάλυψη σύννεφων. Όσο αφορά τη σύγχυση των σκιών με τα δάση, αυτό οφείλεται στο γεγονός πως σε ορισμένες περιπτώσεις οι σκιές των σύννεφων στο έδαφος δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθούν επαρκώς, καθώς συγχέονται με άλλες κατηγορίες που ήδη υπάρχουν εκεί.

Τέλος, σε αρκετές εικόνες παρατηρήθηκε πως κυρίως η περιοχή του όρους Ερύμανθος ταξινομήθηκε λανθασμένα, καθώς μεγάλο τμήμα του αποδόθηκε ως τεχνητή επιφάνεια και όχι ως γυμνό έδαφος. Στις εικόνες χωρικής ανάλυσης 30m του Ιουνίου και Αυγούστου 2013 και του Αυγούστου 2014 που ταξινομήθηκαν με το ενιαίο μοντέλο, παρατηρήθηκε το λάθος αυτό να είναι εντονότερο, ενώ χαρακτηριστικό είναι πως στις συγκεκριμένες ταξινομήσεις ανιχνεύθηκαν και ταξινομήθηκαν τεχνητές επιφάνειες οι οποίες δεν εντοπίζονταν από άλλα μοντέλα. Το γεγονός αυτό δείχνει τη μεγάλη συσχέτιση των φασματικών υπογραφών του είδους των πετρωμάτων που καλύπτουν το όρος με τις τεχνητές επιφάνειες.

#### *Τηλεπισκοπικά δεδομένα*

Όσο αφορά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, στις εικόνες των 30m παρατηρήθηκαν κάποιες περιοχές, όπου υπάρχουν λανθασμένες φασματικές τιμές στις αρχικές εικόνες. Αυτό προκάλεσε σε πολλές περιπτώσεις λανθασμένη κατηγοριοποίηση εικονοστοιχείων διαφόρων κατηγοριών, όπως αστικούς ιστούς και αστικές υποδομές που δεν εντοπίστηκαν, καλλιέργειες και θαμνώδη βλάστηση που επίσης δεν ανιχνεύθηκαν και ταξινομήθηκαν λανθασμένα αλλά και περιοχές υδάτων που αποδόθηκαν ως σκιές.

Ακόμη, παρατηρήθηκαν κάποιες διαφορές στις ταξινομήσεις μεταξύ των εικόνων των 30m και 15m. Αυτές αφορούν αρχικά το γεγονός πως στις εικόνες των 15m στις τεχνητές επιφάνειες πλήθος εικονοστοιχείων



αποδόθηκαν ως γυμνό έδαφος, ενώ η περιοχή του όρους Ερύμανθος αποδόθηκε ορθά. Αντίθετα, στις εικόνες των 30m τα εικονοστοιχεία που ανήκουν στις τεχνητές επιφάνειες αποδόθηκαν τις περισσότερες φορές ορθά, εκτός από τις περιπτώσεις που υπήρχε πρόβλημα στην αρχική εικόνα όπως προαναφέρθηκε, ενώ η περιοχή του όρους Ερύμανθος αντιμετώπισε τα περισσότερα λάθη. Αυτό οφείλεται σε ένα βαθμό στο γεγονός πως εκτός από την διαφορετική χωρική ανάλυση των εικόνων, τα δείγματα που ψηφιοποιήθηκαν ήταν επίσης διαφορετικά με αποτέλεσμα στην περίπτωση των εικόνων των 30m τα δείγματα να βοηθούν τον ταξινομητή να εντοπίσει με μεγαλύτερη ευκολία τις τεχνητές επιφάνειες σε σχέση με εκείνα των 15m.

### Γενικά Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε ο βαθμός απόδοσης ταξινομήσεων από εικόνες Landsat 8, χωρικής ανάλυσης 30m και 15m, διαφορετικών χρονικών στιγμών σε μια περιοχή, από διάφορα στατιστικά μοντέλα εκπαίδευσης. Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαφορετικών μοντέλων παρουσιάζεται αναλυτικά στο εδάφιο 4.3. Συνοπτικά αναφέρεται πως η απόδοση κάθε μοντέλου εξαρτάται τόσο από την εικόνα όσο και από την εποχή και τις διαφορές μεταξύ των δειγμάτων της ίδιας κλάσης που συναντώνται στις διάφορες εικόνες που λαμβάνουν μέρος στην εκπαίδευση.

Γενικά, αναφέρεται πως στις εικόνες των 30m υπάρχει υψηλή φασματική ετερογένεια σε μια κλάση όπως και στις εικόνες των 15m. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη φασματική σύγχυση μεταξύ διαφορετικών κλάσεων και για την εξάλειψη του προβλήματος αυτού λήφθηκαν πολλαπλά δείγματα για τις υποκατηγορίες που λάμβαναν κάθε φορά μέρος στην ταξινόμηση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μερικές κλάσεις που έχουν κοινές φασματικές υπογραφές είναι οι τεχνητές επιφάνειες, το γυμνό έδαφος και οι καλλιέργειες, και όπως αναφέρεται στα ειδικά συμπεράσματα, στις ταξινομήσεις που έγιναν αντιμετωπίστηκαν αυτά τα προβλήματα. Η φασματική διαφορά που διακρίνει κάποιες κατηγορίες κάνει την ταξινόμηση ανά εικονοστοιχείο πολύ δύσκολη. Επιπλέον, μεγάλη σύγχυση παρατηρείται σε αρκετές εφαρμογές μεταξύ των κατηγοριών λιβάδια, θαμνώδης βλάστηση και γυμνό έδαφος, επειδή αυτοί οι τύποι κάλυψης γης συναντώνται συνήθως μεικτοί στο έδαφος και δύσκολα διαχωρίζονται. Ένα άλλο πρόβλημα μεταξύ κλάσεων αποτελεί η όμοια φασματική υπογραφή των σκιών και των υδάτινων όγκων με αποτέλεσμα σκιές σύννεφων αλλά και σκιές λόγω μορφολογίας του τοπίου να ταξινομούνται λανθασμένα ως υδάτινοι όγκοι και να υπάρχει υπερεκτίμηση του ποσοστού των υδάτινων όγκων.

Όσο αφορά την ποσοτική αξιολόγηση, σε όλες τις πειραματικές διατάξεις επιτεύχθηκαν ακρίβειες που συμφωνούν με τη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, ποσοτικά οι ακρίβειες των ταξινομήσεων κινήθηκαν στο εύρος 80% με 90% με σχετικά μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους και όπως ήταν αναμενόμενο τις μεγαλύτερες ακρίβειες σημείωσαν στην πλειοψηφία τους οι ταξινομήσεις με στατιστικά μοντέλα ανά εικόνα και ακολούθησαν οι ταξινομήσεις με στατιστικά μοντέλα ανά εποχή. Οι σχετικά μικρές διαφορές (<10%) που προέκυψαν στις ακρίβειες των παραγόμενων διαχρονικών χαρτών με ένα ενιαίο στατιστικό μοντέλο εκπαίδευσης δίνει ιδιαίτερα ελπιδοφόρα αποτελέσματα για την συστηματική παρακολούθηση σε μικρές χωρικές κλίμακες των χρήσεων/καλύψεων γης και των αλλαγών τους.

Παρόλα αυτά, προκύπτει πως η χρήση μόνο φασματικών χαρακτηριστικών δεν είναι αρκετή για ακριβείς ταξινομήσεις κάλυψης γης σε περιοχές μεγαλύτερης έκτασης από την εξεταζόμενη ή σε εικόνες περισσότερων χρονικών στιγμών. Για τον λόγο αυτό, χρειάζονται κάποια βοηθητικά δεδομένα που θα παρέχουν περισσότερη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Τα βοηθητικά δεδομένα μπορεί να είναι ένα ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων και υπολογισμός της κλίσης του εδάφους, τα οποία θα αποκλείσουν την ύπαρξη τεχνητών επιφανειών σε περιοχές απότομης κλίσης και θα βοηθήσουν στην ταξινόμηση δασών. Επίσης, άλλοι δείκτες όπως πυκνότητα πληθυσμού ή τηλεπισκοπικοί δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να αποδειχτούν χρήσιμοι σε ταξινομήσεις.

### Προτάσεις

Προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη της προσπάθειας αυτόματης ταξινόμησης σε δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση των συνθηκών ταξινόμησης, με προσθήκη

περισσότερων παραμέτρων και χρήση βοηθητικών δεδομένων όπως αναφέρεται παραπάνω. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα ταξινόμησης σε εθνικό επίπεδο με χρήση δειγμάτων από διάφορες περιοχές της Ελλάδας σε διάφορες χρονικές στιγμές. Επιπλέον, με την ανάπτυξη μεθόδου αφαίρεσης σύννεφων χρησιμοποιώντας βοηθητικά δεδομένα, υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης μεγαλύτερου μέρους των εικόνων και μικρότερος βαθμός σύγχυσης της κατηγορίας σύννεφα/σκιές με τις τεχνητές επιφάνειες και τα δάση και υδάτινοι όγκοι αντίστοιχα.

Όσο αφορά τις μεθόδους ανίχνευσης μεταβολών μέσω υψηλής ακρίβειας ταξινομήσεων, μπορούν να εφαρμοσθούν αλγόριθμοι μετα-ταξινόμησης που να ανιχνεύουν τις μεταβολές που υφίσταται η κάλυψη γης, ώστε να εκτιμηθεί η επίπτωση των μεταβολών αυτών στην περιβαλλοντική αλλαγή. Έτσι, θα μπορούν να εφαρμοσθούν συγκεκριμένες στρατηγικές περιορισμού των επιπτώσεων, καθώς θα έχει προσδιοριστεί ποσοτικά το πρόβλημα. Η μέθοδος ανίχνευσης μεταβολών μπορεί, επίσης, να εφαρμοσθεί και σε συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης γης, ώστε να μελετηθεί σε μεγαλύτερο βάθος η μεταβολή αυτή και με την παροχή γνώσεων από ειδικούς εμπειρογνώμονες να μελετηθεί η επίπτωση της μεταβολής αλλά ακόμα και η αιτία.

Επίσης, προτείνεται η χρήση τεχνικών ταξινόμησης που λαμβάνουν υπόψη τόσο τη φασματική πληροφορία της εικόνας όσο και τη χωρική, για την ενίσχυση αυτού του είδους της προσέγγισης. Σύμφωνα με αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας (object-base image analysis, OBIA), βασική ιδέα της οποίας αποτελεί η κατάτμηση των χωρικά γειτονικών εικονοστοιχείων σε φασματικά όμοια αντικείμενα και διεξαγωγή ανάλυσης στα αντικείμενα σαν την ελάχιστη μονάδα πληροφορίας. Η τεχνική αυτή μπορεί να αποδώσει και να βοηθήσει στην μελέτη συγκεκριμένων κατηγοριών κάλυψης γης, όπως το αστικό πράσινο, τα δάση και τα κτήρια.

Τέλος, προτείνεται ο έλεγχος κάποιων παγκόσμιων συνόλων δεδομένων αναφοράς που υπάρχουν ήδη, με τη χρήση μεθόδων που προτείνονται παραπάνω, σχετικά με συγκεκριμένες εφαρμογές ή χαρτογράφηση κάλυψης γης σε εθνικό επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο θα διαπιστωθεί κατά πόσο οι ήδη υπάρχοντες χάρτες αναφοράς κάλυψης γης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιοι σε εφαρμογές στην Ελλάδα ή χρειάζεται να υποστούν κάποια επεξεργασία ως προς την ολοκλήρωσή τους και βελτίωση της ακεραιότητάς τους, για την υποστήριξη της παγκόσμιας προσπάθειας ως προς την δημιουργία τέτοιων συνόλων δεδομένων ικανών για χρήση από το υπόλοιπο κοινό.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Afify, H. A., 2011. **Evaluation of change detection techniques for monitoring land-cover changes: A case study in new Burg El-Arab area**, *Alexandria Engineering Journal*, 50: 187-195.
2. Al-doski, J., Mansor, S. B., Shafri, H. Z. M., 2013. **Change Detection Process and Techniques**, *Civil and Environmental Research* 3:(10).
3. Arnold, S., Kosztra, B., Banko, G., Smith, G., Hazeu, G., Bock, M., Valcarcel Sanz, N., 2013. **The EAGLE concept - A vision of a future European Land Monitoring Framework**, *In: EARSeL symposium proceedings "Towards Horizon 2020"*.
4. Bai, Y., Feng, M., Jiang, H., Wang, J., Zhu, Y., Liu, Y., 2014. **Assessing Consistency of Five Global Land Cover Data Sets in China**, *Remote Sensing*, 8739-8759.
5. Belward, A. S., Skoien, J. O., 2015. **Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103: 115-128.
6. Chen, J., Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., Han, G., Peng, S., Lu, M., Zhang, W., Tong, X., Mills, J., 2014. **Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103: 7-27.
7. Chen, L., Trinder, J., Ban, Y., 2013. **Report of ISPRS/GEO Workshop on High Resolution Global Land Cover (GLC) Mapping, held in Beijing China on 27-28 April 2013**.
8. Commission of the Communities, 1995. **CORINE Land Cover**.
9. Coppin, P. R., Bauer, M. E., 1996. **Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Digital Imagery**, *Remote Sensing Reviews*, 13: 207-234.
10. Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., Bargellini, P., 2012. **Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services**, *Remote Sensing of Environment*, 120: 25-36.
11. Environmental Protection Agency, 2005. **Wetland Mapping and Classification Methodology – Overall Framework – A Method to Provide Baseline Mapping and Classification for Wetlands in Queensland, Version 1.2 - Water Body Mapping Using the Normalised Difference Water Index (NDWI)**.
12. Ferran, A., Bernabe, S., Rodriguez, P. G., Plaza, A., 2013. **A Web-Based System for Classification of Remote Sensing Data**, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6: 1934 - 1948.
13. Food and Agriculture Organization of the Nations, 2005. **Land Cover Classification System - Classification concepts and user manual - Software version (2)**.
14. Ganguly, S., Friedl, M. A., Tan, B., Zhang, X., Verma, M., 2010. **Land surface phenology from MODIS: Characterization of the Collection 5 global land cover dynamics product**, *Remote Sensing of Environment*, 114: 1805-1816.
15. Gidudu, A., Hulley, G., Marwala, T., 2007. **Classification of Images Using Support Vector Machines**.

16. Giri, C., Pengra, B., Long, J., Loveland, T. R., 2013. **Next generation of global land cover characterization, mapping and monitoring**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 25: 30-37.
17. Gomez, D., ., J., 2011. **Determining the accuracy in image supervised classification problems**, *Advances in Intelligent Systems Research*, 1: 342-349.
18. Han, G., Chen, J., He, C., Li, S., Wu, H., Liao, A., Peng, S., 2015. **A web-based system for supporting global land cover data production**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103: 66-80.
19. Xu, H., 2006. **Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery**, *International Journal of Remote Sensing*, 27:(14) 3025-3033.
20. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., Townshend, J. R. G., 2013. **High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change**, *Science*, 342: 850-853.
21. Huang, C., Davis, L. S., Townshend, J. R. G., 2002. **An assessment of support vector machines for land cover classification**, *International Journal of Remote Sensing*, 23:(4) 725-749.
22. Huang, X., Lu, Q., Zhang, L., Plaza, A., 2014. **New Postprocessing Methods for Remote Sensing Image Classification: A Systematic Study**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52: 7140 - 7159.
23. Karantzalos, K., Bliziotis, D., Karmas, A., 2015. **A Scalable Web Geospatial Service for Near Real-Time, High-Resolution Land Cover Mapping**, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Special Issue on "Big Data in Remote Sensing"*.
24. Mas, J. F., 1999. **Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques**, *International Journal of Remote Sensing*, 20:(1) 139-152.
25. Melgani, F., Bruzzone, L., 2004. **Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42:(8) 1778 - 1790.
26. Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C., 2011. **Support vector machines in remote sensing: A review**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66: 247-259.
27. Pengra, B., Long, J., Dahal, D., Stehman, S. V., Loveland, T. R., 2015. **A global reference database from very high resolution commercial satellite data and methodology for application to Landsat derived 30 m continuous field tree cover data**, *Remote Sensing of Environment*, 165: 234-248.
28. Roli, F., Fumera, G. **Support Vector Machines for Remote-Sensing Image Classification**, *In: Spie*.
29. Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindaschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., Hipple, J. D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C. O., Kilic, A., Kovalsky, V., Lee, Z. P., Lymburner, L., Masek, J. G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R. H., Zhu, Z., 2014. **Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research**, *Remote Sensing of Environment*, 145: 154-172.

30. Shao, Y., Lunetta, R. S., 2012. **Comparison of support vector machine, neural network, and CART algorithms for the land-cover classification using limited training data points**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 70: 78-87.
31. Sinha, P., Kumar, L., Reid, N., 2011. **Seasonal land use / land cover mapping: Accuracy comparison of various band combinations**, *In: 34th International Symposium for Remote Sensing of the Environment (ISRSE)*.
32. Srivastava, P. K., Han, D., Rico-Ramirez, M. A., Bray, M., Islam T., 2012. **Selection of classification techniques for land use / land cover change investigation**, *Advances in Space Research*, 50: 1250-1265.
33. Szuster, B. W., Chen, Q., Borger, M., 2011. **A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones**, *Applied Geography*, 31: 525-532.
34. Tsendbazar, N. E., Bruin, S., Herold, M., 2015. **Assessing global land cover reference datasets for different user communities**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 103: 93-114.
35. Václavík, T., Lautenbach, S., Kuemmerle, T., Seppelt, R., 2013. **Mapping global land system archetypes**, *Global Environmental Change*, 23: 1637-1647.
36. Vaduva, C., Costachioiu, T., Patrascu, C., Gavat, I., Lazarescu, V., Datcu, M., 2013. **A Latent Analysis of Earth Surface Dynamic Evolution Using Change Map Time Series**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51: 2105 - 2118.
37. Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., Bauer, M. E., 2005. **Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing**, *Remote Sensing of Environment*, 98: 317-328.
38. Μπαλούτσος, Γ., Μπουρλέτσικας, Α., Καούκης, Κ., 2008. **Η φαινολογία και οι εφαρμογές της στο περιβάλλον και στην αλλαγή του κλίματος**.
39. Μπληζιώτης, Δ., 2014. **Ανάπτυξη και αξιολόγηση αλγορίθμων τηλεπισκόπησης για τη διαχείριση και ανάλυση μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων**, *Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.*

#### Διαδικτυακοί Τόποι

1. **European Space Agency**. Διαθέσιμο σε <<http://www.esa.int>> [Πρόσβαση 05/2015]
2. **Landsat**. Διαθέσιμο σε <<http://landsat.usgs.gov>> [Πρόσβαση 06/2015]
3. **NASA Earth Observatory**. Διαθέσιμο σε <<http://earthobservatory.nasa.gov>> [Πρόσβαση 05/2015]
4. **Orfeo ToolBox**. Διαθέσιμο σε <<https://www.orfeo-toolbox.org/>> [Πρόσβαση 06/2015]
5. **Remote Sensing Phenology**. Διαθέσιμο σε <<http://phenology.cr.usgs.gov>> [Πρόσβαση 05/2015]
6. **USGS Earth Explorer**. Διαθέσιμο σε <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> [Πρόσβαση 04/2015]

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## Παράρτημα Α

### A1. Εντολές αλγορίθμων του Orfeo Toolbox και Python όπως εκτελέστηκαν σε λειτουργικό σύστημα Linux

1. Ένωση καναλιών για τη δημιουργία μιας πολυφασματικής εικόνας:

```
gdal_merge.py -n 0 -a_nodata 0 -separate -of Gtiff -o Multiband.tif Band1.tif Band2.tif ...
```

2. Υπολογισμός στατιστικών εικόνας:

```
otbcli_ComputeImagesStatistics -il image.tif -out statistics.xml – Για μια εικόνα  
otbcli_ComputeImagesStatistics -il image1.tif image2.tif ... -out statistics_all.xml – Για  
πολλαπλές εικόνες
```

3. Εκπαίδευση μοντέλου από δεδομένα εκπαίδευσης χρησιμοποιώντας γραμμικό μοντέλο μηχανών υποστήριξης διανυσμάτων:

```
otbcli_TrainImagesClassifier -io.il image.tif -io.vd Train_sample.shp -io.imstat statistics.xml  
-sample.vfn class -classifier libsvm -classifier.libsvm.k linear -io.out model.svm – Για μια  
εικόνα
```

```
otbcli_TrainImagesClassifier -io.il image1.tif image2.tif ... -io.vd Train_sample1.shp  
Train_sample2.shp ... -io.imstat statistics_all.xml -sample.vfn class -classifier libsvm -  
classifier.libsvm.k linear -io.out model_all.svm – Για πολλαπλές εικόνες
```

4. Ταξινόμηση εικόνας με εφαρμογή μοντέλου εκπαίδευσης:

```
otbcli_ImageClassifier -in image.tif -model model.svm -imstat statistics.xml -out  
classification.tif
```

5. Υπολογισμός πίνακα σύγχυσης εικόνας:

```
otbcli_ComputeConfusionMatrix -in classification.tif -ref vector -ref.vector.in  
Ground_truth.shp -ref.vector.field class -out confusion_matrix.csv
```

### A2. Τεχνική μετα-ταξινόμησης για ανίχνευση μεταβολών σε Matlab

```
im1=imread('class1.tif'); %read first image  
  
im2=im1*10; %multiply first image by 10  
  
imwrite(im2,'class1_new.tif'); %save new image  
  
im3=imread('class2.tif'); %read second image  
  
im4=im2+im3; %sum new image and second image  
  
imwrite(im4,'class_change.tif') %save the final image
```

## Παράρτημα Β

### Β1. Πίνακας Σχημάτων

|  |    |
|--|----|
| <b>Σχήμα 2-1:</b> α) Επιχειρησιακή στρατηγική χαρτογράφησης (αριστερά), β) Προσέγγιση ταξινόμησης ΡΟΚ (δεξιά) .....  | 8  |
| <b>Σχήμα 2-2:</b> Η εξαγωγή κάθε κλάσης με την προσέγγιση ΡΟΚ.....   | 9  |
| <b>Σχήμα 2-3:</b> α) Σύγκριση ακρίβειας ταξινόμησης μεταξύ διάφορων μεθόδων ταξινόμησης για την περιοχή Shaanxi (πάνω) β) Προκαταρκτικά αποτελέσματα ακρίβειας του GlobeLand30 για το έτος 2010 (κάτω) .....   | 9  |
| <b>Σχήμα 2-4:</b> Ο χάρτης GlobeLand30 για το έτος 2010.....   | 10 |
| <b>Σχήμα 2-5:</b> Η αρχιτεκτονική του συστήματος της γεωχωρικής υπηρεσίας κάλυψης γης που αναπτύχθηκε  | 11 |
| <b>Σχήμα 2-6:</b> α) Πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης της εικόνας στις 25/6/2013 (πάνω) β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης από την γεωχωρική υπηρεσία που αναπτύχθηκε (κάτω) .....  | 11 |
| <b>Σχήμα 2-7:</b> Οι κοινές διαδικασίες για τις ταξινομήσεις αναφοράς .....  | 12 |
| <b>Σχήμα 2-8:</b> α) Παράδειγμα ενός τελικού χάρτη αναφοράς 5km x 5km στον οποίο απεικονίζονται οι κλάσεις Tree, Water, Other Vegetation και Barren (πάνω), β) Χωρική απεικόνιση των τιμών των δέντρων (%) στο Treecover2010 και στην ταξινόμηση αναφοράς (κάτω) ..... | 13 |
| <b>Σχήμα 2-9:</b> Αποσπάσματα από τον πίνακα EAGLE α) Land cover components (πάνω), β) Land use attributes (κέντρο) και γ) Landscape characteristics (κάτω) .....  | 15 |
| <b>Σχήμα 2-10:</b> Κατηγορίες Corine Land Cover.....   | 16 |
| <b>Σχήμα 3-1:</b> Περιοχή μελέτης σε α) χάρτη Ελλάδας, Google Maps (αριστερά) και β) δορυφορική εικόνα Landsat 8 RGB 4-3-2 (δεξιά).....  | 17 |
| <b>Σχήμα 3-2:</b> Σύγκριση καναλιών Landsat 8 OLI και TIRS με Landsat 7 ETM+ .....   | 18 |
| <b>Σχήμα 3-3:</b> Παραδείγματα περιοχών για κάθε κατηγορία σε εικόνες 30m .....  | 27 |
| <b>Σχήμα 3-4:</b> Α) Γραφική παρουσίαση της φασματικής υπογραφής των υδάτων, της βλάστησης και του εδάφους, Β) η φασματική υπογραφή των ίδιων μεταφρασμένες ως ψηφιακές τιμές.....   | 28 |
| <b>Σχήμα 3-5:</b> Υπολογισμός δείκτη NDVI σε υγιή βλάστηση (αριστερά) και μη υγιή βλάστηση (δεξιά).....  | 29 |
| <b>Σχήμα 4-1:</b> Η περιοχή μελέτης α) σε RGB 4-3-2 (αριστερά), β) σε RGB 6-5-4 (κέντρο), γ) σε RGB 5-4-3 (δεξιά) .....  | 31 |
| <b>Σχήμα 4-2:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013.....   | 33 |
| <b>Σχήμα 4-3:</b> Παράδειγμα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013.....  | 34 |
| <b>Σχήμα 4-4:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013.....  | 34 |
| <b>Σχήμα 4-5:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013.....   | 37 |
| <b>Σχήμα 4-6:</b> Παράδειγμα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013.....  | 38 |
| <b>Σχήμα 4-7:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/7/2013.....  | 39 |
| <b>Σχήμα 4-8:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013.....   | 41 |
| <b>Σχήμα 4-9 :</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013.....   | 42 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Σχήμα 4-10</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013.....  | 43 |
| <b>Σχήμα 4-11</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014.....                               | 45 |
| <b>Σχήμα 4-12</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014.....        | 46 |
| <b>Σχήμα 4-13</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014.....  | 47 |
| <b>Σχήμα 4-14</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014.....                               | 49 |
| <b>Σχήμα 4-15</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014.....        | 50 |
| <b>Σχήμα 4-16</b> : Παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014.....    | 51 |
| <b>Σχήμα 4-17</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014.....                               | 53 |
| <b>Σχήμα 4-18</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014.....        | 54 |
| <b>Σχήμα 4-19</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης της εικόνας 30m 1/10/2014 ..... | 55 |
| <b>Σχήμα 4-20</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013.....                               | 57 |
| <b>Σχήμα 4-21</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013.....        | 58 |
| <b>Σχήμα 4-22</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013.....  | 59 |
| <b>Σχήμα 4-23</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014.....                               | 61 |
| <b>Σχήμα 4-24</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014.....        | 62 |
| <b>Σχήμα 4-25</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014.....  | 63 |
| <b>Σχήμα 4-26</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013.....                               | 65 |
| <b>Σχήμα 4-27</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013.....        | 66 |
| <b>Σχήμα 4-28</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013.....  | 67 |
| <b>Σχήμα 4-29</b> : Ταξινόμηση εικόνας 30m 14/8/2014 .....                               | 69 |
| <b>Σχήμα 4-30</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014.....        | 70 |
| <b>Σχήμα 4-31</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014.....  | 71 |
| <b>Σχήμα 4-32</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013.....                               | 73 |
| <b>Σχήμα 4-33</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013.....        | 74 |
| <b>Σχήμα 4-34</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013.....  | 75 |
| <b>Σχήμα 4-35</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014.....                               | 77 |
| <b>Σχήμα 4-36</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014.....        | 78 |
| <b>Σχήμα 4-37</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014.....  | 79 |
| <b>Σχήμα 4-38</b> : Ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013.....                               | 81 |
| <b>Σχήμα 4-39</b> : Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013.....        | 82 |
| <b>Σχήμα 4-40</b> : Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013.....  | 83 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Σχήμα 4-41:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013.....                              | 85  |
| <b>Σχήμα 4-42:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013.....       | 86  |
| <b>Σχήμα 4-43:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013..... | 87  |
| <b>Σχήμα 4-44:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013.....                              | 89  |
| <b>Σχήμα 4-45:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013.....       | 90  |
| <b>Σχήμα 4-46:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013..... | 91  |
| <b>Σχήμα 4-47:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014.....                              | 93  |
| <b>Σχήμα 4-48:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014.....       | 94  |
| <b>Σχήμα 4-49:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014..... | 95  |
| <b>Σχήμα 4-50:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014.....                              | 97  |
| <b>Σχήμα 4-51:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014.....       | 98  |
| <b>Σχήμα 4-52:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014..... | 99  |
| <b>Σχήμα 4-53:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014.....                              | 101 |
| <b>Σχήμα 4-54:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014.....       | 102 |
| <b>Σχήμα 4-55:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014..... | 103 |
| <b>Σχήμα 4-56:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013.....                              | 105 |
| <b>Σχήμα 4-57:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013.....       | 106 |
| <b>Σχήμα 4-58:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 24/6/2013..... | 107 |
| <b>Σχήμα 4-59:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013.....                              | 109 |
| <b>Σχήμα 4-60:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013.....       | 110 |
| <b>Σχήμα 4-61:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 27/8/2013..... | 111 |
| <b>Σχήμα 4-62:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013.....                              | 113 |
| <b>Σχήμα 4-63:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013.....       | 114 |
| <b>Σχήμα 4-64:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 28/9/2013..... | 115 |
| <b>Σχήμα 4-65:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014.....                              | 117 |
| <b>Σχήμα 4-66:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014.....       | 118 |
| <b>Σχήμα 4-67:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 29/7/2014..... | 119 |
| <b>Σχήμα 4-68:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 14/8/2014.....                              | 121 |
| <b>Σχήμα 4-69:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014.....       | 122 |
| <b>Σχήμα 4-70:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 14/8/2014..... | 123 |
| <b>Σχήμα 4-71:</b> Ταξινομημένη εικόνα 30m 1/10/2014.....                              | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Σχήμα 4-72:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014.....   | 126 |
| <b>Σχήμα 4-73:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 30m 1/10/2014.....                                     | 127 |
| <b>Σχήμα 4-74:</b> Ταξινομημένη εικόνα 15m 24/6/2013.....  | 130 |
| <b>Σχήμα 4-75:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 24/6/2013.....   | 131 |
| <b>Σχήμα 4-76:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 24/6/2013.....                                     | 132 |
| <b>Σχήμα 4-77:</b> Ταξινομημένη εικόνα 15m 27/8/2013.....  | 134 |
| <b>Σχήμα 4-78:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 27/8/2013.....   | 135 |
| <b>Σχήμα 4-79:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 27/8/2013.....                                     | 136 |
| <b>Σχήμα 4-80:</b> Ταξινομημένη εικόνα 15m 28/9/2013.....  | 138 |
| <b>Σχήμα 4-81:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 28/9/2013.....   | 139 |
| <b>Σχήμα 4-82:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 28/9/2013.....                                     | 140 |
| <b>Σχήμα 4-83:</b> Ταξινομημένη εικόνα 15m 24/6/2013.....  | 142 |
| <b>Σχήμα 4-84:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 24/6/2013.....   | 143 |
| <b>Σχήμα 4-85:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 24/6/2013.....                                     | 144 |
| <b>Σχήμα 4-86:</b> Ταξινομημένη εικόνα 15m 27/8/2013.....  | 146 |
| <b>Σχήμα 4-87:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 27/8/2013.....   | 147 |
| <b>Σχήμα 4-88:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 27/8/2013.....                                     | 148 |
| <b>Σχήμα 4-89:</b> Ταξινομημένη εικόνα 15m 28/9/2013.....  | 150 |
| <b>Σχήμα 4-90:</b> Παραδείγματα ορθής ταξινόμησης στην εικόνα 15m 28/9/2013.....   | 151 |
| <b>Σχήμα 4-91:</b> Παραδείγματα λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα 15m 28/9/2013.....                                     | 152 |
| <b>Σχήμα 4-92:</b> Διαχρονικά αποτελέσματα ταξινομήσεων για τις εικόνες 30m .....  | 156 |
| <b>Σχήμα 4-93:</b> Διαχρονικά αποτελέσματα ταξινομήσεων για το έτος 2013.....  | 157 |
| <b>Σχήμα 4-94:</b> Διαφορές στις χρήσεις γης μεταξύ των εικόνων α) 28/9/2013 και 1/10/2014 β) 14/8/2014 και 1/10/2014..... | 158 |

## **B2. Πίνακας Πινάκων**

|   |    |
|---|----|
| <b>Πίνακας 2-1:</b> Παρουσίαση των καναλιών του Landsat 8.....                        | 5  |
| <b>Πίνακας 4-1:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 24/6/2013 ..... | 36 |
| <b>Πίνακας 4-2:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 27/8/2013 ..... | 40 |
| <b>Πίνακας 4-3:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 28/9/2013 ..... | 44 |
| <b>Πίνακας 4-4:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m 29/7/2014 ..... | 48 |

|   |           |     |
|---|-----------|-----|
| <b>Πίνακας 4-5:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                   | 14/8/2014 | 52  |
| <b>Πίνακας 4-6:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                   | 1/10/2014 | 56  |
| <b>Πίνακας 4-7:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                   | 24/6/2013 | 60  |
| <b>Πίνακας 4-8:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                   | 29/7/2014 | 64  |
| <b>Πίνακας 4-9:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                   | 27/8/2013 | 68  |
| <b>Πίνακας 4-10:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 14/8/2014 | 72  |
| <b>Πίνακας 4-11:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 28/9/2013 | 76  |
| <b>Πίνακας 4-12:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 1/10/2014 | 80  |
| <b>Πίνακας 4-13:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 24/6/2013 | 84  |
| <b>Πίνακας 4-14:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 27/8/2013 | 88  |
| <b>Πίνακας 4-15:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 28/9/2013 | 92  |
| <b>Πίνακας 4-16:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 29/7/2014 | 96  |
| <b>Πίνακας 4-17:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 14/8/2014 | 100 |
| <b>Πίνακας 4-18:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 1/10/2014 | 104 |
| <b>Πίνακας 4-19:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 24/6/2013 | 108 |
| <b>Πίνακας 4-20:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 27/8/2013 | 112 |
| <b>Πίνακας 4-21:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 28/9/2013 | 116 |
| <b>Πίνακας 4-22:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 27/9/2014 | 120 |
| <b>Πίνακας 4-23:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 14/8/2014 | 124 |
| <b>Πίνακας 4-24:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 30m                  | 1/10/2014 | 128 |
| <b>Πίνακας 4-25:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m                  | 24/6/2013 | 133 |
| <b>Πίνακας 4-26:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m                  | 27/8/2013 | 137 |
| <b>Πίνακας 4-27:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m                  | 28/9/2013 | 141 |
| <b>Πίνακας 4-28:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m                  | 24/6/2013 | 145 |
| <b>Πίνακας 4-29:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m                  | 27/8/2013 | 149 |
| <b>Πίνακας 4-30:</b> Πίνακας σύγκρισης για την ταξινομημένη εικόνα 15m                  | 28/9/2013 | 153 |
| <b>Πίνακας 4-31:</b> Πίνακας συνολικής ακρίβειας και δείκτη K για όλες τις ταξινομήσεις |           | 155 |