



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

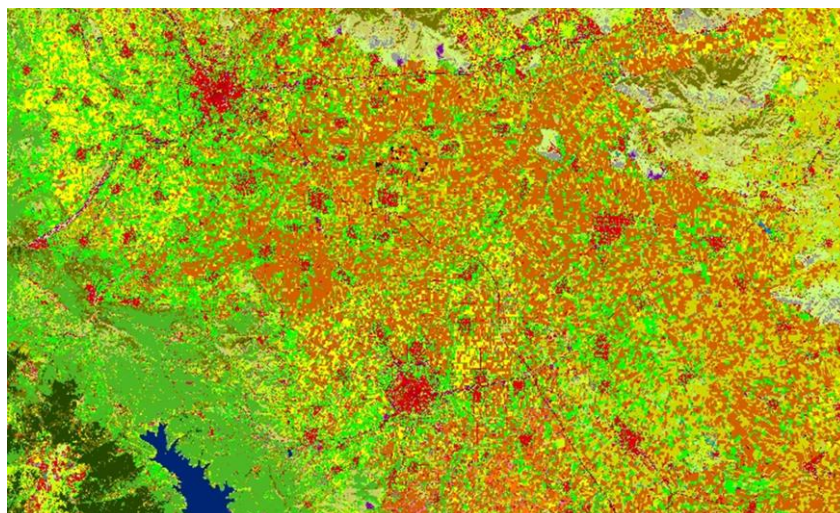
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Δ.Π.Μ.Σ. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Χαρτογράφηση Καλλιεργειών και Κάλυψης Γης από Διαχρονικά  
Δεδομένα Sentinel-2 για τα έτη 2016 και 2017**



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΤΣΙΩΚΟΥ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2019

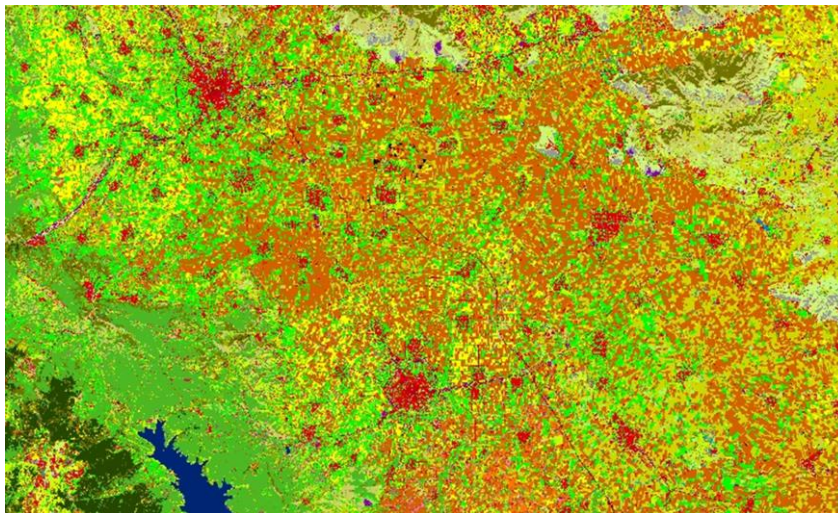




**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING  
Postgraduate Degree of Specialisation (MSc Degree) in GEOINFORMATICS  
Remote Sensing Laboratory

Master Thesis

**Crop-type classification and land cover mapping from  
multitemporal Sentinel-2 data for years 2016 and 2017**



Konstantina Tsiokou

Athens, February 2019



**RSLab**  
Remote Sensing Laboratory  
National Technical University of Athens  
✓ Sensing ✓ Analytics ✓ Monitoring







ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Δ.Π.Μ.Σ. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ  
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

## «Χαρτογράφηση Καλλιεργειών και Κάλυψης Γης από Διαχρονικά Δεδομένα Sentinel-2 για έτη 2016 και 2017»

Μεταπτυχιακή Εργασία  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΤΣΙΩΚΟΥ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

(Υπογραφή)

.....

Κωνσταντίνος Καράντζαλος  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
(επιβλέπων)

(Υπογραφή)

.....

Ευτέρπη Δημοπούλου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Αργιαλάς Δημήτριος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018



Αφιερώνεται στο σύζυγο και τη κόρη μου





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί ερευνητική μεταπτυχιακή εργασία στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος «Γεωπληροφορικής» του τμήματος Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτο από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής εργασίας, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο για την πολύτιμη καθοδήγηση του, την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω πάρα πολύ την υποψήφια διδάκτορα Χριστίνα Καρακίζη, για την συμβολή της σε όλα τα επίπεδα, για την αμέριστη βοήθειά της και την φιλική της παρουσία. Με την δικιά της υπομονή σε όλη τη φάση της εγκυμοσύνης μου και μετέπειτα κατάστασής μου με το παιδί καθώς και τις δικές της κατευθυντήριες συμβουλές και όχι μόνο κατάφερα να φέρω εις πέρας την παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές Ευτέρπη Δημοπούλου και Δημήτριο Αργιαλά για το ενδιαφέρον που έδειξαν και την παράθεση χρήσιμων παρατηρήσεων περαιτέρω εμπάθυνσης της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στη Βαρελά Λιάνα η οποία στάθηκε σημαντικός αρωγός στην προσπάθειά μου και με υποστήριξε σε κάθε φάση της πορείας μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον σύζυγό μου Μουστάκα Αντώνη, καθώς και την μικρή μου κόρη Χριστιάνα, που με υπομονή και κουράγιο μου πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Τσιώκου Κωνσταντίνα  
Αθήνα, Φεβρουάριος 2019



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο, οι χάρτες χρήσης/κάλυψης γης αποτελούν σημαντική πηγή πληροφορίας, για την υλοποίηση αναπτυξιακών έργων όπως το δασικό κτηματολόγιο. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας παραγωγής χαρτών χρήσης/κάλυψης γης με σκοπό την παρακολούθηση τόσο των ανθρωπογενών όσο και των φυσικών μεταβολών είναι εξαιρετικής σημασίας για μελέτες παρακολούθησης του περιβάλλοντος και της κλιματικής αλλαγής. Σημαντικό κομμάτι για τη λήψη αποφάσεων σε εθνικό επίπεδο αποτελεί επίσης η παρακολούθηση των καλλιεργειών σε ετήσια βάση με στόχο την καταγραφή του ρυθμού ανάπτυξης του Πρωτογενούς τομέα.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αξιοποιήθηκαν τηλεπισκοπικές μέθοδοι και τεχνικές ταξινόμησης για την παραγωγή χαρτών κάλυψης γης και καλλιεργειών σε περιοχή μελέτη της Θεσσαλίας και συγκεκριμένα στους Νομούς Καρδίτσας και Τρικάλων. Με βάση τη φωτοερμηνεία των ετήσιων πολυφασματικών δεδομένων Sentinel-2 στην περιοχή μελέτη και με χρήση βοηθητικών γεωχωρικών δεδομένων για τις καλλιέργειες, που δόθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ, δημιουργήθηκαν πολυάριθμα δεδομένα αναφοράς για την εκπαίδευση ενός αλγορίθμου μηχανικής μάθησης. Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε για τις καλλιέργειες στην περιοχή δημιουργήθηκε με ψηφιοποίηση και καταγραφή της φασματικής συμπεριφοράς για πάνω από 35 καλλιέργειες. Για την παραγωγή χαρτών, υλοποιήθηκαν δύο πειράματα με έναν ταξινομητή Μηχανών Διανυσματικής Υποστήριξης (SVM) σε ετήσιους πολυφασματικούς κύβους με έξι ημερομηνίες για τα έτη 2016 και 2017.

Τα αποτελέσματα και η ποσοτική αξιολόγηση των δυο ετήσιων πειραμάτων παρουσίασαν συνολική ακρίβεια ταξινόμησης που κυμάνθηκε σε επίπεδα άνω του 88% και συγκεκριμένα για το έτος 2016 σε ποσοστό 92% και αντίστοιχα για το έτος 2017 σε ποσοστό 89%.

Όσον αφορά στα ειδικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν για τις κατηγορίες ταξινόμησης προέκυψε ότι οι περισσότερες από τις εξεταζόμενες κλάσεις κάλυψης γης ταξινομήθηκαν με ποσοστά ακρίβειας και αξιοπιστίας άνω του 80%. Συγχύσεις ανάμεσα στις κατηγορίες παρατηρήθηκαν κυρίως ανάμεσα στις καλλιέργειες και πιο συγκεκριμένα σε υποείδη της ίδιας οικογένειας, όπως είναι οι διαφορετικές κλάσεις των σιτηρών. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατηγοριών, όπως τα Οπωροφόρα δέντρα, οι Βιομηχανικές/Εμπορικές μονάδες και τα Πεπόνια-Καρπούζια, τα χαμηλά ποσοστά ακρίβειας και αξιοπιστίας συσχετίστηκαν και με δεδομένα εκπαίδευσης σχετικά μικρής έκτασης.

Συνολικά τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας και η αξιολόγηση τους δημιουργούν προσδοκίες για την ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων και ημί-αυτοματοποιημένων τεχνικών χαρτογράφησης κάλυψης γης αλλά και πολυάριθμων καλλιεργειών στις ετήσιες διαδικασίες καταγραφής και ελέγχου σε εθνικό επίπεδο.



# ABSTRACT

At both national and local level, land use / land cover maps are an important source of information for the implementation of development projects such as the forest cadastre. Automating the process of producing land use / land cover maps in order to monitor both man-made and natural changes, is of utmost importance for environment and climate change monitoring studies. Crop monitoring on a yearly basis with the aim of recording the Primary sector's growth rate also plays an important role in decision-making at national level.

In this master's thesis remote sensing methods and classification techniques were used for the production of land and crop cover maps in a study area located in Thessaly, specifically in the prefectures of Karditsa and Trikala. Based on the photo interpretation of the Sentinel-2 annual multi-spectral data in the study area and the use of auxiliary geospatial data for the crops provided by greek CAP (OPEKEPE), numerous reference data were created for the training of a machine learning algorithm. The database for the crops in the above-mentioned area was created by digitizing and recording the spectral behavior of over 35 crops. For the map production, two experiments were carried out using a Support Vector Machines (SVM) classifier on annual multi-spectral cubes of six dates for years 2016 and 2017.

The results and quantitative assessment of the two annual experiments showed overall classification accuracy ranging above 88%, namely 92% in 2016 and 89% in 2017 respectively.

Specific conclusions drawn regarding the classification categories, largely concern the confusion of certain categories, such as the Wheat, with other cereal species and subspecies, such as the Oat, Barley, Clover and Fodder. In other cases, e.g. classes Industrial/Commercial Units, Fruit trees and Melons, lower accuracy metrics were directly related to low sample size of training data

In overall, the results and their assessment raise expectations for the integration of automated and semi-automated classification techniques for land cover and detailed crop-type mapping towards annual monitoring at national level.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT .....	7
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>10</b>
1.1 Αντικείμενο και Στόχοι .....	10
1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά .....	11
<b>2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ - ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>12</b>
2.1 Ορισμοί.....	12
2.1.1 Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση.....	12
2.1.2 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα .....	13
2.2 Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα COPERNICUS .....	14
2.3 Πολυφασματικά διαχρονικά δεδομένα SENTINEL- 2 .....	15
2.3.1 Γενικά Στοιχεία.....	15
2.3.2 Ιδιαίτερα γνωρίσματα και πλεονεκτήματα .....	16
2.3.3 Κανάλια .....	16
2.4 ΟΠΕΚΕΠΕ και παραγωγή των ILOTS .....	21
2.4.1 Γενικά Στοιχεία.....	21
2.4.2 Διαδικασίες καταγραφής και επαλήθευσης (Rfvs).....	21
2.4.3 Τελική κατάταξη πίνακα ILOTS .....	24
2.5 CORINE Land Cover .....	25
2.5.1 Ονοματολογία του Corine Land Cover .....	27
2.6 Φασματικοί Δείκτες .....	27
2.6.1 Γενικά Στοιχεία.....	27
2.6.2 Δείκτες Βλάστησης .....	30
2.6.3 Δείκτης Νερού .....	32
2.6.4 Δείκτης Οικιστικής Ανάπτυξης .....	33
2.7 Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων .....	33
2.7.1 Γενικά Στοιχεία.....	33
2.7.2 Μέθοδοι Ταξινόμησης.....	34
2.7.3 Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (SVM) .....	37

2.8	Αξιολόγηση Ταξινομήσεων .....	44
2.8.1	Γενικά Στοιχεία.....	44
2.8.2	Πίνακας Σύγχυσης.....	44
2.8.3	Αξιολόγηση Ακρίβειας .....	45
2.9	Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	47
<b>3</b>	<b>ΓΕΩΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ .....</b>	<b>50</b>
3.1	Συλλογή Δεδομένων.....	50
3.1.1	Περιοχή μελέτης.....	50
3.1.2	Δορυφορικά Δεδομένα.....	53
3.1.3	Επιλογή των Καναλιών του Sentinel-2 και των Δεικτών .....	53
3.2	Προεπεξεργασίες Δεδομένων.....	55
3.2.1	Ατμοσφαιρική διόρθωση εικόνων.....	55
3.2.2	Βελτίωση Χωρικής Ανάλυσης .....	56
3.2.3	Συλλογή Δεδομένων Εκπαίδευσης.....	57
3.2.4	Διαδικασία Συλλογής Ground Truth.....	57
3.2.5	Καλλιέργειες στη περιοχή μελέτης .....	58
<b>4</b>	<b>ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....</b>	<b>75</b>
4.1	Θεματικές Κατηγορίες.....	75
4.2	Υλοποίηση και Ταξινόμηση Δεδομένων .....	82
<b>5</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....</b>	<b>85</b>
5.1	Αποτελέσματα ταξινόμησης για το έτος 2016 .....	85
5.1.1	Ανάλυση Αποτελεσμάτων για το έτος 2016 .....	89
5.2	Αποτελέσματα ταξινόμησης για το έτος 2017 .....	95
5.2.1	Ανάλυση Αποτελεσμάτων για το έτος 2017 .....	99
5.3	Συγκριτική ανάλυση ποσοστών κάλυψης ανά κατηγορία για τα δύο έτη.....	106
<b>6</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>110</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>112</b>
	<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>115</b>
	<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>116</b>



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξερεύνηση της τρίτης διάστασης της γης (ύψος), ξεκίνησε ουσιαστικά στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα με την πρώτη πτήση αεροπλάνου. Η έμφυτη περιέργεια και το πάθος του ανθρώπου για αναζήτηση νέων οριζώντων, δυνατοτήτων και τεχνολογιών οδήγησε στην ραγδαία ανάπτυξη μεθόδων παρακολούθησης της γης από μεγάλο ύψος.

Ειδικά τα τελευταία 30 χρόνια, χάρη στην εξέλιξη των δορυφόρων, οι μέθοδοι και οι τομείς παρατήρησης της γης (μετεωρολογία, γεωλογία, χαρτογραφία, άμυνα, περιβάλλον κλπ) αυξήθηκαν κατακόρυφα και εξακολουθούν να αναπτύσσονται με ραγδαίο ρυθμό. Πλέον είναι διαθέσιμη μία πληθώρα δεδομένων από αεροφωτογραφίες, δορυφόρους, drones κλπ, που καλύπτουν ολόκληρη τη γη τόσο χωρικά όσο και διαχρονικά. Ταυτόχρονα τα δεδομένα αυτά βελτιώνονται συνεχώς ως προς τη χωρική (μικρότερης διάστασης εικονοστοιχείο), τη φασματική (περισσότερα κανάλια) καθώς και τη ραδιομετρική τους (περισσότερα bit - μεγαλύτερη ευκρίνεια) ανάλυση. Ο όγκος αυτής της πληροφορίας απαιτεί και την παράλληλη ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας της.

Οι περιβαλλοντολογικές επιστήμες αξιοποιούν κυρίως δορυφορικά δεδομένα. Οι δορυφόροι που τα συλλέγουν είναι σχεδιασμένοι ειδικά για την καταγραφή της πληροφορίας που απαιτείται για τις αντίστοιχες εφαρμογές και διαθέτουν μία μεγάλη ποικιλία σε κλίμακες (διάσταση εικονοστοιχείου) και χρονικές περιόδους (διαχρονικότητα). Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων Sentinel-2, τα οποία είναι ελεύθερα διαθέσιμα. Τα χαρακτηριστικά τους δίνονται αναλυτικά στις ακόλουθες παραγράφους.

## 1.1 Αντικείμενο και Στόχοι

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η παραγωγή θεματικού χάρτη καλύψεων γης αλλά και καλλιεργειών για τα έτη 2016 και 2017, με χρήση διαχρονικών δορυφορικών δεδομένων Sentinel-2.

Η δημιουργία των χαρτών βασίζεται στην εφαρμογή μιας ρηχής αρχιτεκτονικής μηχανικής μάθησης, και πιο συγκεκριμένα ενός αλγορίθμου Μηχανών Διανυσματικής Υποστήριξης (SVM), για λεπτομερή ταξινόμηση σε πολυάριθμες κατηγορίες κάλυψης γης και καλλιεργειών.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στα είδη καλλιεργειών και για τον λόγο αυτό αξιοποιήθηκαν δεδομένα καταγραφής καλλιεργειών του ΟΠΕΚΕΠΕ. Παράλληλα μελετήθηκε η φασματική συμπεριφορά των διαφορετικών καλλιεργειών, κατά τη διάρκεια του χρόνου. Βασικός στόχος της εργασίας ήταν η αξιοποίηση των διαχρονικών δορυφορικών πολυφασματικών δεδομένων για την ετήσια χαρτογράφηση χρήσης/ κάλυψης γης και η αξιολόγηση ως προς την ακρίβεια και αποτελεσματικότητα της ταξινόμησης με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά, για δύο διαδοχικά έτη.

## 1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά

Βασικό κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η ραγδαία ανάπτυξη σύγχρονων τηλεπισκοπικών αισθητήρων που έχει οδηγήσει στην παραγωγή ενός διαρκώς αυξανόμενου όγκου δεδομένων υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης, που διατίθεται ελεύθερα. Επιπλέον, κίνητρο για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εφαρμογής αποτέλεσε η σύγχρονη τάση για υιοθέτηση νέων αυτόματων και ημί-αυτόματων μεθόδων παραγωγής χαρτών που βασίζονται σε τεχνικές ταξινόμησης εικόνας με χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Τέλος σημαντική πρόκληση αποτέλεσε η προσπάθεια φασματικού διαχωρισμού πολυάριθμων κατηγοριών κάλυψης γης, ανάμεσα σε αυτές και πολλαπλές κατηγορίες καλλιεργειών.

Συνοπτικά, η παρούσα εργασία συνεισφέρει στη βιβλιογραφία σε τρία επίπεδα:

- Μελέτη φασματικής συμπεριφοράς διαφόρων ειδών καλλιεργειών στον ετήσιο κύκλο τους για δύο διαδοχικά έτη.
- Μελέτη και αξιολόγηση αναλυτικής ονοματολογίας κλάσεων (με βάση το CORINE) και καλλιεργειών (με βάση τα δεδομένα ΟΠΕΚΕΠΕ), για την παραγωγή χάρτη καλύψεων γης και καλλιεργειών μέσα από τηλεπισκοπικές μεθόδους.
- Εφαρμογή και αξιολόγηση μεθοδολογίας SVM ταξινόμησης για την παραγωγή χαρτών σε πολυφασματικά διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα, υψηλής χωρικής ανάλυσης.

## 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ - ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 2.1 Ορισμοί

#### 2.1.1 Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση

Φωτοερμηνεία είναι ο οπτικός προσδιορισμός της ταυτότητας των αντικειμένων στην επιφάνεια της γης, καθώς και η ανάλυση και κρίση της σημασίας τους από αεροφωτογραφίες. Η φωτοερμηνεία αποτελεί ένα επιστημονικό και τεχνικό εργαλείο απόκτησης, συλλογής, ψηφιακής επεξεργασίας, ανάλυσης, αξιολόγησης και αξιοποίησης ολοκληρωμένων μετρητικών και ποιοτικών πληροφοριών για τη Γη και το Περιβάλλον από μακριά. Η εμπειρία, η λογική κι η επιστημονική γνώση, είναι ουσιαστικής σημασίας εργαλεία στην Φωτοερμηνευτική Μεθοδολογία (Ρόκος Δ. 1979).

Η Τηλεπισκόπηση είναι μία μοντέρνα επιστήμη ανίχνευσης και παρακολούθησης φυσικών αντικειμένων της επιφάνειας της γης, μέσω της μέτρησης από απόσταση της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία ανακλάται από τα επίγεια αντικείμενα. Ειδικές κάμερες, προσαρμοσμένες σε διάφορα μέσα (αεροπλάνα, δορυφόρους κλπ), συλλέγουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ακτινοβολία, μετατρέποντάς την σε ψηφιακή εικόνα. Επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων αξιοποιούν αυτές τις ψηφιακές εικόνες, οι οποίες τους επιτρέπουν να εξάγουν πολύ περισσότερη πληροφορία απ' ό,τι η επίγεια παρατήρηση. Ορισμένες από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης είναι:

- Παρακολούθηση αλλαγών και καταγραφή χρήσεων γης
- Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων
- Κτηματολόγιο
- Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών
- Αμυντικός σχεδιασμός
- Μετεωρολογία

Κάθε αντικείμενο που βρίσκεται επάνω στην γήινη επιφάνεια, αντανακλά με έναν μοναδικό τρόπο την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος, καθορίζοντας έτσι την «φασματική του υπογραφή», π.χ. η χλωροφύλλη που βρίσκεται στα πράσινα μέρη των φυτών, αντανακλά σε μεγάλο ποσοστό την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο πράσινο τμήμα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ την απορροφά στο μπλε και κόκκινο τμήμα. Εξ' αιτίας αυτής της ιδιότητας αντιλαμβανόμαστε το πράσινο χρώμα των ζωντανών φυτών. Παρομοίως όλα τα υλικά μπορούν να εντοπισθούν και να απεικονισθούν χρησιμοποιώντας την φασματική τους υπογραφή.

Οι κάμερες καταγραφής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ωστόσο, έχουν την δυνατότητα να καταγράφουν ακτινοβολίες πέραν του ορατού φάσματος, π.χ. υπέρυθρες ακτινοβολίες σε διάφορα μήκη κύματος, συνθέτοντας έτσι πολυφασματικές ψηφιακές

εικόνες που απεικονίζουν πληροφορία την οποία δεν αντιλαμβάνεται το «γυμνό» ανθρώπινο μάτι.

### 2.1.2 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

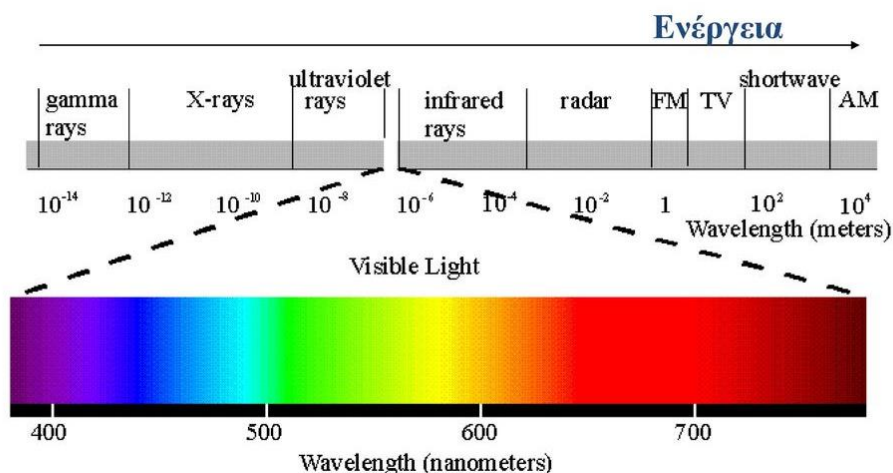
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι η ονομασία που έδωσαν οι επιστήμονες για να περιγράψουν όλο το εύρος του φωτός. Το μεγαλύτερο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, είναι αόρατο για το ανθρώπινο μάτι.

Το φως είναι ένα κύμα, το οποίο δημιουργείται από τις εναλλαγές δύο διαφορετικών πεδίων, του ηλεκτρικού και του μαγνητικού και όπως κάθε κύμα έχει ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Η συχνότητα ενός κύματος, μετράει πόσα κύματα περνάνε από ένα σημείο κάθε δευτερόλεπτο, ενώ το μήκος κύματος (συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα «λ») είναι η απόσταση από την κορυφή ενός κύματος ως την κορυφή του επόμενου. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι αντιστρόφως ανάλογα και το γινόμενό τους δίνει την ταχύτητα του φωτός.

Λόγω του πολύ μεγάλου εύρους του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές, που σε κάθε μία ανήκει ένα μικρό εύρος συχνοτήτων (αύξουσα σειρά συχνότητας):

- ραδιοκύματα
- μικροκύματα
- υπέρυθρη ακτινοβολία
- ορατή ακτινοβολία
- υπεριώδης ακτινοβολία
- ακτίνες X
- ακτίνες γάμμα

Το ορατό φάσμα κυμαίνεται από 390 με 750 νανόμετρα (μήκος κύματος, δισεκατομμυριοστό του μέτρου) και είναι αυτό που μπορεί να αντιληφθεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Η σχηματική αναπαράσταση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 1: Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας  
(Πηγή: <https://slideplayer.gr/slide/11881697/>).

## 2.2 Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα COPERNICUS

Το Copernicus είναι το πρόγραμμα παρακολούθησης της γήινης επιφάνειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης που συντονίζεται και διαχειρίζεται η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA), τα κράτη μέλη της ΕΕ και τις υπηρεσίες της ΕΕ. Το πρόγραμμα Copernicus θεσπίστηκε με τον κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 377/2014 το 2014, βασιζόμενο στην προηγούμενη πρωτοβουλία της ΕΕ για την παρακολούθηση της γης GMES (σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 911/2010).

Στόχος της είναι η επίτευξη μιας παγκόσμιας, συνεχούς, αυτόνομης, υψηλής ποιότητας, ευρείας κλίμακας ικανότητας παρατήρησης της γης. Παροχή ακριβών, έγκαιρων και εύκολα προσβάσιμων πληροφοριών, μεταξύ άλλων, για τη βελτίωση της διαχείρισης του περιβάλλοντος, την κατανόηση και την άμβλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τη διασφάλιση της πολιτικής ασφάλειας.

Στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεράστιοι όγκοι παγκόσμιων δεδομένων από δορυφόρους και από επίγεια, αεροπορικά και θαλάσσια συστήματα μέτρησης για την παραγωγή έγκαιρων και ποιοτικών πληροφοριών, υπηρεσιών και γνώσεων και για την παροχή αυτόνομης και ανεξάρτητης πρόσβασης στις πληροφορίες στους τομείς του περιβάλλοντος και της ασφάλειας σε παγκόσμιο επίπεδο, προκειμένου να βοηθηθούν οι πάροχοι υπηρεσιών, οι δημόσιες αρχές και άλλοι διεθνείς οργανισμοί να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών της Ευρώπης. Με άλλα λόγια, συγκεντρώνει όλες τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τους δορυφόρους του Copernicus για το περιβάλλον, τους εναέριους και επίγειους σταθμούς και τους αισθητήρες για να παράσχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της «υγείας» της Γης .



**Σχήμα 2:** Η Ιταλία και τμήμα της Μεσόγειου, εικόνα που καταγράφηκε από τον Copernicus Sentinel-3A στις 28 Σεπτεμβρίου 2016.

Ένα από τα βασικά οφέλη του προγράμματος Copernicus είναι ότι τα δεδομένα και οι πληροφορίες που παράγονται στο πλαίσιο του Copernicus διατίθενται με πλήρη, ανοικτή και δωρεάν βάση (με την επιφύλαξη των κατάλληλων όρων και περιορισμών) σε όλες τις των χρηστών και του κοινού γενικά, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη πολλών νέων υπηρεσιών κατάντη.

Οι υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας που προσφέρει ο Κοπέρνικος καλύπτουν έξι βασικά αλληλεπιδραστικά θέματα: ατμόσφαιρα, θαλάσσια, χερσαία, κλιματικά, έκτακτα και ασφαλή.

Το πρόγραμμα Copernicus βασίζεται σε τρία στοιχεία:

- δορυφόροι παρατήρησης με αποστολές που παρατηρούν γη, ατμοσφαιρικές και ωκεανογραφικές παραμέτρους,
- επιτόπιες μετρήσεις (δίκτυα εδάφους και εναέριας μεταφοράς δεδομένων που παρέχουν πληροφορίες για τους ωκεανούς, την ηπειρωτική επιφάνεια και την ατμόσφαιρα),
- υπηρεσίες που αναπτύσσονται και διαχειρίζονται από τον Κοπέρνικο και προσφέρονται στους χρήστες και το κοινό γενικότερα.

## 2.3 Πολυφασματικά διαχρονικά δεδομένα SENTINEL- 2

### 2.3.1 Γενικά Στοιχεία

Οι δορυφόροι Sentinel-2 αναπτύχθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), ως μέρος του Προγράμματος Copernicus και ο πρώτος τέθηκε σε τροχιά στις 23/06/2015 από τον Ευρωπαϊκό Διαστημικό Σταθμό που βρίσκεται στην Γαλλική Γουινέα.

Οι δύο δορυφόροι Sentinel-2A και Sentinel-2B κατασκευάστηκαν κυρίως για την διαχείριση εκτάκτων αναγκών και περιλαμβάνουν όργανα πολυφασματικής απεικόνισης για την παρακολούθηση και διαχείριση του περιβάλλοντος (μελέτη των υδάτων και υδρογραφικών δικτύων, κάλυψη εδαφών και βλάστηση σε παράκτιες περιοχές, κλπ). Πετάνε σε ύψος 786 km από την επιφάνεια της γης και έχουν γωνιακή απόκλιση 180ο μεταξύ τους. Η διάρκεια ζωής τους έχει σχεδιαστεί στα 7 έτη και ζυγίζουν ο καθένας 1140 kg.

Έχουν έναν υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικό σαρωτή με δέκα τρία φασματικά κανάλια. Επειδή υπάρχει επικάλυψη των δορυφορικών δεδομένων τους με τον δορυφόρο Landsat 8, η NASA και η ESA σε συνεννόηση οδήγησαν τους δύο δορυφόρους σε επαναδιέλευση 3 ημερών (από τον Ισημερινό). Οι δορυφόροι Sentinel 2 είναι προϊόντα συνεργασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Διαστήματος (European Space Agency – ESA), μιας κοινοπραξίας 60 εταιρειών με επικεφαλής την Airbus Defense and Space και υποστηρίζονται από το Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών (Centre National d'Études Spatiales – CNES) της Γαλλίας και το Γερμανικό κέντρο Διαστημικής DLR, για την βελτιστοποίηση των καλύψεων της γήινης επιφάνειας.

Οι δορυφόροι Sentinel-2 χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, με αντικείμενο κυρίως την γήινη επιφάνεια και τις παράκτιες ζώνες. Είναι κατάλληλοι για τον προσδιορισμό διαφόρων δεικτών (βλάστησης, νερού κλπ), καθώς και για:

- Διαχείριση των αλλαγών των καλύψεων – χρήσεων γης.
- Καταγραφή δασικών περιοχών και δασικών καταστροφών.
- Διαχείριση και καταγραφή ανάπτυξης φυτικών πληθυσμών.
- Καταγραφή της μόλυνσης παράκτιων και λιμναίων περιοχών.

Καταγραφικές και συνεχείς απεικονίσεις φυσικών καταστροφών όπως των πλημμυρών, ηφαιστειακών εκρήξεων και καθιζήσεων-ολισθήσεων εδαφών.

### 2.3.2 Ιδιαίτερα γνωρίσματα και πλεονεκτήματα

Η αποστολή Sentinel-2 έχει τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Πολλαπλά φασματικά δεδομένα με 13 ζώνες στο ορατό, στο κοντινό υπέρυθρο και στο μικροκυματικό υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (υπέρυθρη ακτινοβολία μικρού κύματος).
- Συστηματική συνολική κάλυψη των επιφανειών της γης από τις 56 ° N έως τις 84 ° Β, τα παράκτια ύδατα και όλη τη Μεσόγειο Θάλασσα.
- Επανεξέταση κάθε 5 ημέρες υπό τις ίδιες γωνίες θέασης. Σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, ο Sentinel-2 επικαλύπτει ορισμένες περιοχές, οι οποίες παρατηρούνται δύο φορές ή και περισσότερες κάθε 5 ημέρες, αλλά με διαφορετικές οπτικές γωνίες θέασης.
- Χωρική ανάλυση 10 m, 20 m και 60 m.
- Πεδίο προβολής στα 290km.
- Δωρεάν και ανοιχτή πολιτική δεδομένων.

### 2.3.3 Κανάλια

Ο σχεδιασμός του πολυφασματικού οργάνου του δορυφόρου Sentinel-2, βασίστηκε στην ανάγκη για μεγάλο εύρος πληροφορίας, υψηλής γεωμετρικής και φασματικής ακρίβειας. Για τον λόγο αυτό περιλαμβάνουν 13 φασματικά κανάλια, τα οποία καλύπτουν μεγάλο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τα 443.9 έως τα 2202.4nm και παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

#### 1 Coastal Aerosol

Όπως υποδηλώνει και το όνομα του συγκεκριμένου καναλιού, το κανάλι 1 (η παράκτια ζώνη αερολύματος) είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε παράκτιες μελέτες, σε βαθυμετρικές μελέτες και μελέτες αερολυμάτων. Η παράκτια ζώνη αντανακλά το μπλε και το βιολετί φως και γίνεται

όλο και πιο κοινός στους δορυφορικούς αισθητήρες. Μερικές από τις εφαρμογές της φασματικής μπάντας είναι οι εξής παρακάτω:

- Μέτρηση του πληθυσμού φαλαινών: Λόγω της ικανότητάς της συγκεκριμένης ακτινοβολίας να διεισδύει στο νερό (έως 20-30m σε καθαρό νερό), το κανάλι 1, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των πληθυσμών φαλαινών που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια.
- Βαθυμετρία: Επειδή το κανάλι 1 απορροφάται λιγότερο από το νερό, επιτρέπει την παρατήρηση του παράκτιου νερού και των ωκεανών. Αυτό είναι επίσης χρήσιμο για τη δημιουργία φασματικών υπογραφών για τη θαλάσσια βλάστηση.
- Αερόλυμα: Επειδή το κανάλι 1 είναι πιο ευαίσθητο στα σύννεφα, τον καπνό και τη θολότητα, χρησιμοποιείται για το φιλτράρισμα των νεφών σε επεξεργασία εικόνων.

## 2 Μπλε

Τα μάτια μας μπορούν να δουν το ανακλώμενο μπλε φως. Ανάλογα με τη διαύγεια του νερού, το ορατό φως, του μπλε καναλιού, μπορεί να φτάσει σε βάθη μέχρι 20-30 μέτρα. Χρησιμοποιώντας τη μπλε ζώνη είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί η φασματική υπογραφή για το βαθύ νερό, ενώ άλλες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται είναι:

- Απεικόνιση του νερού: Λόγω του λεπτότερου επιπέδου φασματικής διείσδυσης στις παράκτιες περιοχές, υποβρύχια ύφαλοι, θολότητα νερού και ιζήματα, βυθισμένη υδρόβια βλάστηση, θολερότητα και βαθυμετρική χαρτογράφηση είναι δυνατό να ανιχνευθούν σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης μέσα από την χρήση του καναλιού 2.
- Ανίχνευση των ακτινών καπνού, της θολότητας της ατμόσφαιρας και των σύννεφων: Η ορατή περιοχή μπλε χαρακτηρίζεται από μικρότερα μήκη κύματος (0,45-0,51μm), τα οποία είναι πιο ευαίσθητα στην ατμόσφαιρα. Αυτό καθιστά την μπλε ζώνη ιδανική για την ανίχνευση καπνών, επειδή τα μικρότερα μήκη κύματος διασπείρονται πιο εύκολα από τα μικρότερα σωματίδια.
- Διάκριση σύννεφων, χιονιού και βράχων: Με την χρήση του καναλιού 2 διαχωρίζονται τα σύννεφα από το χιόνι και το βράχο επειδή η φασματική υπογραφή της ομίχλης και των λεπτών σύννεφων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μπλε και κόκκινα μήκη κύματος.

## 3 Πράσινο

Το πράσινο, όπως και στην καθημερινότητα, έτσι και στην τηλεπισκόπηση σημαίνει φύση - φυτά, δέντρα και δάση. Το πράσινο τμήμα καλύπτει την κορυφή ανάκλασης από τις επιφάνειες των φύλλων. Αυτό σημαίνει ότι η φασματική ανακλαστικότητα είναι χαμηλή στις μπλε και κόκκινες περιοχές του φάσματος λόγω της απορρόφησης από τη χλωροφύλλη κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Το πράσινο κανάλι χρησιμοποιείται ευρέως και σε διάφορες εφαρμογές όπως:



- Εκτίμηση της υγείας και ακμαιότητας των φυτών: Το πράσινο κανάλι χρησιμοποιείται για να διακρίνει τις μεγάλες κατηγορίες βλάστησης, το φυτικό υλικό, αλλά και την υγεία του φυτού. Η φασματική υπογραφή της κορυφής ανάκλασης από τις επιφάνειες των φύλλων επισημαίνεται στην πράσινη ζώνη.
- Διάκριση φυτών αλγών και κυανοβακτηρίων: Το καθαρό νερό γενικά δεν αντανακλάται σε κανένα μέρος του φάσματος, εκτός από το μπλε άκρο του φάσματος, εξ ου και το μπλε χρώμα που βλέπουμε τα μάτια μας. Αλλά όταν είναι παρόντα ανθοφόρα φυτά, στο πράσινο εντοπίζεται η μέγιστη ανακλαστικότητα.
- Χωροθέτηση σημείων αστικής αναψυχής: Οι χλοοτάπητες και τα χόρτα στις αστικές περιοχές ενδείκνυνται για χώρους αναψυχής όπως πάρκα, γήπεδα γκολφ και νεκροταφεία.

#### 4 Κόκκινο

Στα τροπικά εδάφη, στο δομημένο περιβάλλον και στα γεωλογικά χαρακτηριστικά γενικά υπάρχει μεγάλη ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του κόκκινου χρώματος, με αποτέλεσμα να αποτελεί βασική συνιστώσα στο διαχωρισμό και την ανάδειξή τους. Επιπλέον, το κόκκινο χρησιμοποιείται σε τύπους όπως ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης Διαφοράς (NDVI), διότι τα φυτά απορροφούν σε μεγάλο βαθμό το κόκκινο (αλλά και το μπλε) φως. Πιο συγκεκριμένα, το κόκκινο κανάλι χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως:

- Διάκριση εδαφών και Πρόβλεψη των ιδιοτήτων τους: Οι διαφορετικοί τύποι εδαφών έχουν και διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η ανακλαστικότητα του γυμνού εδάφους εξαρτάται γενικά από τη σύνθεσή του, π.χ. τα εδάφη που είναι πλούσια σε οξείδιο του σιδήρου έχουν υψηλή ανάκλαση στην κόκκινη φασματική ζώνη.
- Διάκριση του ανθρωπογενούς από το φυσικό περιβάλλον: Η κόκκινη ζώνη έχει χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση μεταξύ τεχνητών αντικειμένων και βλάστησης, καθώς οι δρόμοι και οι ανθρωπίνι οικισμοί εντοπίζονται καλύτερα στην κόκκινη ζώνη.
- Απορρόφηση χλωροφύλλης: Η υγιής βλάστηση ανακλά περισσότερο την υπέρυθη ακτινοβολία (NIR) και το πράσινο φως σε σύγκριση με τα άλλα μήκη κύματος, ενώ απορροφά περισσότερο κόκκινο και μπλε φως. Έτσι, το κόκκινο κανάλι χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της βλάστησης στο NDVI.

#### 5, 6 & 7 Red-Edge

Τα κανάλια «κόκκινου άκρου» βρίσκονται ανάμεσα στην κοντινή υπέρυθη και την κόκκινη ζώνη. Για την χλωροφύλλη, το κόκκινο τμήμα απορροφά έντονα το κόκκινο φως, ενώ ανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του εγγύς υπέρυθρου. Στη μετάβαση μεταξύ αυτών των δύο φασματικών ζωνών βρίσκεται η ζώνη κόκκινου άκρου, η οποία χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές:

- Εύρεση της φυτικής υγείας και κατάταξη σε ηλικιακές τάξεις: Καθώς τα υγιή και ανεπτυγμένα φυτά, διαθέτουν μεγαλύτερη ποσότητα χλωροφύλλης, ανακλούν πιο έντονα από τα ασθενικά φυτά στο τμήμα Red-Edge, του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- Παρακολούθηση ανάπτυξης καλλιεργειών: Μέσα από την χρήση του καναλιού Red-Edge, είναι δυνατή η παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών, καθώς διακρίνεται η ηλικία και η κατάσταση υγείας των φυτών, με αποτέλεσμα να μπορούν να διακριθούν οι διαφορετικοί τύποι φυτών, οι διαφορετικές καταστάσεις υγείας και να επιλεχθούν τα κατάλληλα για τις διατροφικές ανάγκες.

### **8 & 8A Εγγύς υπέρυθρο – NIR**

Η ανάκλαση της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ένας από τους ισχυρότερους τρόπους ταξινόμησης της υγιούς βλάστησης. Ο διαχωρισμός κλάσεων όπως το νερό και η βλάστηση είναι πάντα ευκολότερος στην περιοχή της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα υγιή φυτά αντανακλούν την υπέρυθρη ακτινοβολία, ενώ το νερό την απορροφά. Η συγκεκριμένη ιδιότητα οδηγεί σε πολλές εφαρμογές του καναλιού NIR:

- Ανάδειξη της υγιούς βλάστησης και του περιεχομένου της βιομάζας : Η εσωτερική δομή της υγιούς χλωροφύλλης ανακλά την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία. Αλλά όταν τα φυτά μαραίνονται και τελικά πεθαίνουν, η απόκριση στην εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία μειώνεται έως ότου να εκμηδενιστεί.
- Ανάδειξη αρχαιολογικών χώρων: Μέσα από την χρήση του καναλιού NIR, είναι ευκολότερη η ανεύρεση αρχαίων αρχαιολογικών χώρων ερμηνεύοντας τα πυκνότερα τούβλα λάσπης, τα σημάδια των καλλιεργειών και τις λεπτές διαφορές στη βλάστηση, το έδαφος και τη γεωλογία.
- Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης Διαφοράς (NDVI): Η εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της υγείας των φυτών. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση του λόγου NDVI, που αποτελείται από εγγύς υπέρυθρες και κόκκινες ζώνες. Το NDVI εξάγει τις διαφορές της βλάστησης με μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ό,τι εάν εξεταστεί μόνο το ορατό πράσινο χρώμα.

### **9 Water Vapor (Υδρατμοί)**

Υπάρχει σημαντική αλληλεπικάλυψη μεταξύ των καναλιών 8 και 9 (εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και υδρατμών). Η κύρια διαφορά έγκειται στην μικρότερη επίδραση του καναλιού 9 από την ατμοσφαιρική επιρροή. Αυτή η ιδιότητα του συγκεκριμένου καναλιού, το καθιστά απαραίτητο σε ορισμένες εφαρμογές:

- Μελέτες βλάστησης: Η χρήση του καναλιού 9, παρέχει πιο εξελιγμένη ανάλυση βλάστησης και μελέτη της βιομάζας, καθώς η επίδραση από την ατμόσφαιρα είναι μικρότερη σε σχέση με το κανάλι του εγγύς υπέρυθρου.

- Ανάδειξη των ορίων μεταξύ εδάφους και νερού : Στο συγκεκριμένο κανάλι το νερό είναι ένας ισχυρός απορροφητής, ενώ η βλάστηση είναι ένας ισχυρός ανακλαστήρας, με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η οριοθέτηση των δασών και η ποσοτικοποίηση της απώλειας ή της αύξησης δασικών εκτάσεων.

## 10 SWIR –Cirrus

Το κανάλι cirrus κέρδισε το όνομά του, επειδή είναι ειδικό στην ανίχνευση σύννεφων. Η ατμόσφαιρα απορροφά σχεδόν όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της συγκεκριμένης ζώνης του φάσματος, καθώς το έδαφος είναι μόλις ορατό. Τα σύννεφα υψηλού υψομέτρου ανιχνεύονται και διαχωρίζονται. Η ιδιότητα αυτή εντοπίζεται μόνο στο συγκεκριμένο κανάλι και έτσι χρησιμοποιείται σε αντίστοιχες εφαρμογές:

- Ανίχνευση σύννεφων: Τα σύννεφα αντανακλούν έντονα στο κανάλι 10, ενώ οι περισσότερες επιφάνειες γης θα εμφανιστούν σκοτεινές. Η βελτιωμένη ανίχνευση του νέφους κύκλων βοηθά στην αφαίρεση του νέφους και στις βελτιώσεις των χάρτες απεικόνισης.

## 11 & 12 Μικροκυματικό Υπέρυθρο- SWIR

Το υπέρυθρο βραχέων κυμάτων έχει τις ομοιότητές του με το SWIR-Cirrus. Το SWIR χρησιμοποιείται κυρίως για την απεικόνιση τύπων εδάφους, γεωλογικών χαρακτηριστικών και ορυκτών, όπως ο χαλκός και τα θειικά άλατα. Είναι επίσης ευαίσθητο στις διακυμάνσεις της βλάστησης και της υγρασίας του εδάφους. Επιπλέον, το χιόνι, ο πάγος και τα σύννεφα φαίνονται πιο σκούρα και αναδεικνύονται. Οι συγκεκριμένες ιδιότητες του καναλιού SWIR, το καθιστούν χρήσιμο σε διάφορες εφαρμογές όπως:

- Εφαρμογές ανάδειξη των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του νερού: Το νερό απορροφάει έντονα την SWIR ακτινοβολία. Αυτό βοηθάει στην ανάδειξή του αλλά και στη δημιουργία των φασματικών υπογραφών της θαλάσσιας βλάστησης και των θολών υδάτων.
- Εύρεση των κατάλληλων πρακτικών άρδευσης: Η ανάκλαση των υπέρυθρων ακτινών βραχέων κυμάτων επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε νερό των φύλλων, καθιστώντας την ιδανική για να διαπιστώσουμε το βαθμό ξηρασίας των καλλιεργειών και να στοχεύσουμε στις κατάλληλες τεχνικές άρδευσης.
- Χαρτογράφηση ορυκτών: Το κανάλι SWIR καλύπτει ένα εύρος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπου οι διαφορετικοί τύποι ορυκτών αργίλου παράγουν μια εντονότερη και λεπτομερέστερη φασματική υπογραφή, με αποτέλεσμα να μπορούν να αναδειχθούν και να χαρτογραφηθούν τα διάφορα ορυκτά. Ακόμη, τα υδρόφιλα ορυκτά εμφανίζονται πιο σκούρα, με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο μεταξύ των διαφορετικών τύπων καολινίτη και κοκκινίτη διαχωρισμός.

## 2.4 ΟΠΕΚΕΠΕ και παραγωγή των ILOTS

### 2.4.1 Γενικά Στοιχεία

Ο ΟΠΕΚΕΠΕ (Οργανισμός Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων) είναι ο Ελληνικός Οργανισμός πληρωμών των κοινοτικών ενισχύσεων που λειτουργεί από το 2001 υπέρ του δημοσίου συμφέροντος και εποπτεύεται από τον Υπουργό Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Στόχος του ΟΠΕΚΕΠΕ ως Οργανισμού Πληρωμών είναι να καταβάλλει έγκαιρα, σωστά και με διαφάνεια τις αγροτικές ενισχύσεις που χορηγούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στον γεωργικό τομέα.

Συγκεκριμένα ο ΟΠΕΚΕΠΕ διαχειρίζεται για λογαριασμό της Ελλάδας τις ενισχύσεις των δύο κοινοτικών ταμείων για την χρηματοδότηση των γεωργικών δαπανών του κοινοτικού προϋπολογισμού, δηλαδή το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Εγγυήσεων (ΕΓΤΕ) και το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης (ΕΓΤΑΑ) καθώς και του Ευρωπαϊκού Ταμείου Αλιείας (ΕΤΑ). Δικαιούχοι των ενισχύσεων είναι κυρίως οι αγρότες-κτηνοτρόφοι αλλά και οι επενδυτές του αγροτικού τομέα, μεταποιητικές επιχειρήσεις κ.λπ.

Ο οργανισμός διαθέτει τμήμα Τηλεπισκόπησης το οποίο αναλαμβάνει αντί των φυσικών επιτόπιων ελέγχων την φωτοερμηνεία όλων των αγροτεμαχίων που πρόκειται να ελεγχθούν ανά αίτηση (CAPI- Computer Aided Photo Interpretation) η οποία διεξάγεται σε τουλάχιστον μία εικόνα πολύ υψηλής ανάλυσης (VHR) (αεροφωτογραφία ή δορυφορική ορθοεικόνα με μέγεθος εικονοστοιχείου μικρότερο από 1m) του τρέχοντος έτους. Σε αυτή την περίπτωση ελέγχονται η έκταση του αγροτεμαχίου, η χρήση γης όπου αυτό είναι απαραίτητο καθώς και θέματα Πολλαπλής Συμμόρφωσης. Επιπλέον της εικόνας με πολύ υψηλή ανάλυση (VHR) χρησιμοποιούνται και εικόνες υψηλής ανάλυσης (HR) σε χρονοσειρά.

### 2.4.2 Διαδικασίες καταγραφής και επαλήθευσης (Rfvs)

Το Σύστημα Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS):

Είναι το σύστημα καταγραφής των αγροτεμαχίων για τα οποία ζητείται οικονομική ενίσχυση, στα πλαίσια των γεωργικών επιδοτήσεων. Το σύστημα αυτό καταγράφει τα αγροτεμάχια σαν πολύγωνα και καλύπτει όλες τις αγροτικές εκτάσεις της χώρας. Τα αγροτεμάχια ορίζονται με βάση τον παραγωγό και την ομάδα των καλλιεργειών που καλλιεργούνται μέσα σ' αυτά. Το κάθε αγροτεμάχιο κωδικοποιείται με βάση τον Χαρτογραφικό Κωδικό που ορίζεται από γεωγραφικά (συντεταγμένες).

Το Σύστημα Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων αποτελείται από :

- Υπόβαθρο: Ορθοφωτοχάρτες κλίμακας 1 : 10.000
- Ενότητες Ελέγχου : Αγροτικά Πολύγωνα που έχουν οριοθετηθεί σε φυσικά όρια. Η κάθε Ενότητα Ελέγχου έχει έναν μοναδικό χαρτογραφικό κωδικό
- Αγροτεμάχια : Το περίγραμμα της περιοχής εκμετάλλευσης που δηλώνεται από τον κάθε αγρότη

- Τοπωνύμια : Όπως χρησιμοποιούνται, τοπικά, για τον ορισμό των περιοχών
- Διοικητική Διαίρεση : Τα πολύγωνα των Νομών και των Δήμων. Επιπλέον τα πολύγωνα των Νομών με τα όρια προσαρμοσμένα στην Χαρτογραφική Διανομή 1:5.000 ΕΓΣΑ '87.

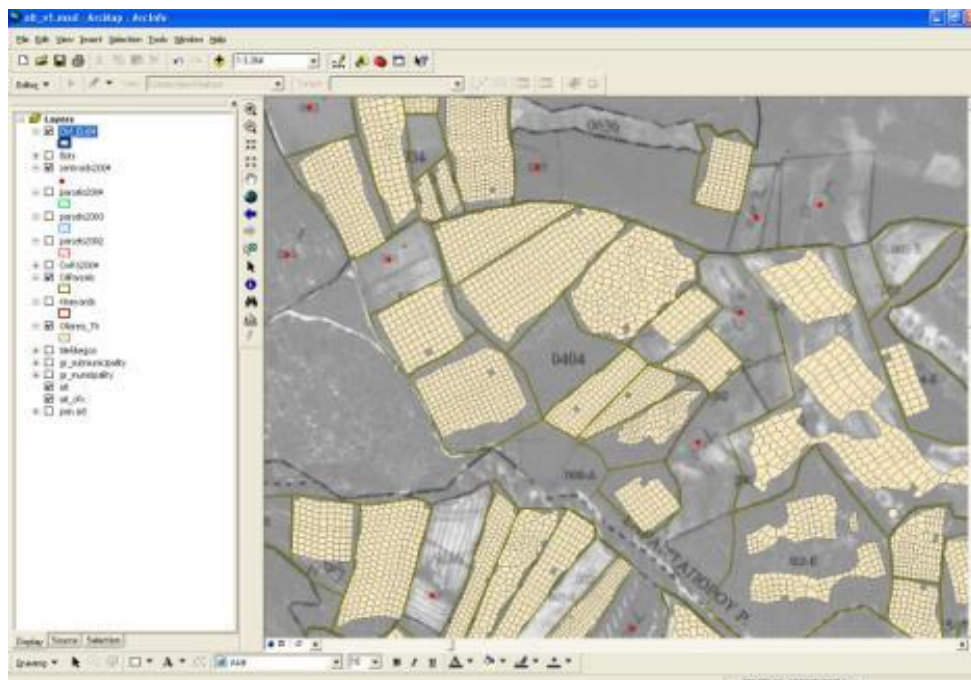
Το Σύστημα Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS)

Συσχετίζεται με :

- ✓ Την αλφαριθμητική βάση των στοιχείων της παραγωγής, σε ετήσια βάση
- ✓ Την αλφαριθμητική βάση των παραγωγών (περιορισμός : προσωπικά δεδομένα)

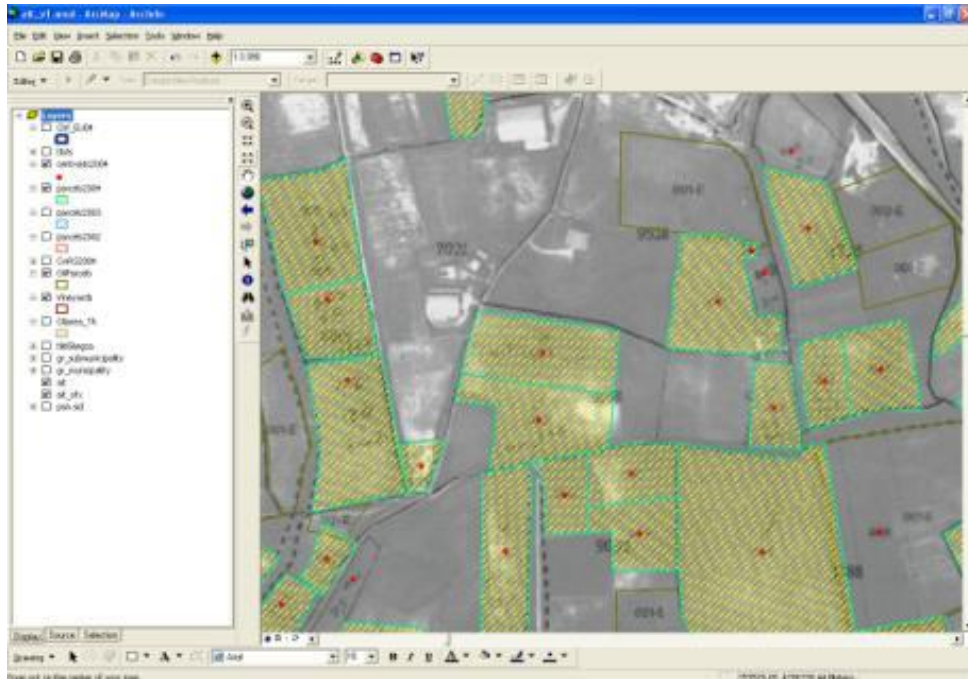
Παρέχει :

- ✓ Ακριβείς πληροφορίες κατηγοριών καλλιεργειών για προγράμματα Αγροτικής Ανάπτυξης, Διαχείρισης Νερού κλπ



Σχήμα 3: Στιγμιότυπο από καταγραφή Rfvs ΟΠΕΚΕΠΕ.

(Πηγή: [www.geoset.gr/company/downloads/Cadastre\\_LPIS\\_%20GeoSet080320.ppt](http://www.geoset.gr/company/downloads/Cadastre_LPIS_%20GeoSet080320.ppt))



**Σχήμα 4:** Στιγμιότυπο από αποτύπωση αγροτεμαχίων από αγρότες στο σύστημα του ΟΠΕΚΕΠΕ.  
(Πηγή: [www.geoset.gr/company/downloads/Cadastre\\_LPIS\\_%20GeoSet080320.ppt](http://www.geoset.gr/company/downloads/Cadastre_LPIS_%20GeoSet080320.ppt))

**RFVs** ονομάζονται οι γρήγορες επισκέψεις πεδίου όλων των αγροτεμαχίων, για τα οποία η φωτοερμηνεία δεν επιτρέπει να επαληθευθεί η ακρίβεια της δήλωσης κατά τρόπο που κρίνεται ικανοποιητικός από την αρμόδια αρχή. Τονίζεται ότι οι γρήγορες επισκέψεις πεδίου πραγματοποιούνται μόνο κατόπιν αντίστοιχης ένστασης του γεωργού κατά των αποτελεσμάτων της Τηλεπισκόπησης, και εφόσον η περαιτέρω διερεύνηση μέσω φωτοερμηνείας δεν καταλήξει σε αποτέλεσμα. Κατά τη διάρκεια των RFVs σαν γενικός κανόνας δεν πραγματοποιείται μέτρηση της έκτασης, όμως δύναται η μέτρηση αποστάσεων ή σημείων (συντεταγμένες) που προσδιορίζουν το αγροτεμάχιο. Για τα συγκεκριμένα αγροτεμάχια παρέχονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία (πίνακες αγροτεμαχίων με τα αποτελέσματα Τηλεπισκόπησης και χάρτες, σε ψηφιακή μορφή). Οι επισκέψεις αυτές πραγματοποιούνται μόνο στις περιπτώσεις υποβολής ενστάσεων των παραγωγών κατά των αποτελεσμάτων της τηλεπισκόπησης.

Οι επιτόπιοι αυτοί έλεγχοι διενεργούνται, κατά το δυνατόν, στο χρονικό διάστημα που οι καλλιέργειες βρίσκονται στον αγρό και συγκεκριμένα πριν το τέλος του Οκτωβρίου δηλαδή λίγο πριν τη συγκομιδή των περισσότερων καλλιεργειών (όπως το βαμβάκι). Ορισμένοι όμως επιτόπιοι έλεγχοι πραγματοποιούνται και μετά τη συγκομιδή με ενημέρωση του παραγωγού ως προς την αποφυγή της καταστροφής των υπολειμμάτων των ετήσιων καλλιεργειών.

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο καταγραφής των καλλιεργειών σε σχέση με την απλή δήλωση του κάθε παραγωγού μέσω του Συστήματος Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS).

### 2.4.3 Τελική κατάταξη πίνακα ILOTS

Ενότητες Ελέγχου (ή Ilots ή Agricultural Blocks) ονομάζονται τα πολύγωνα που οριοθετούνται από φυσικά όρια (δρόμοι, ποτάμια κλπ). Η κωδικοποίηση στο κάθε ILOT δίνεται όταν το ποσοστό κάλυψης είναι πάνω από 50%. Μέσα σε ένα ILOT μπορεί να υπάρχουν και μη επιλέξιμες περιοχές τα sub-ilots ή δασικές περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται με αντίστοιχους κωδικούς.

Γιατί έχουν αξία:

1. Είναι σταθερά στον χρόνο.
2. Έχουν μοναδικό χαρτογραφικό κωδικό σε επίπεδο χώρας
3. Είναι πιστοποιημένα από τις Υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης
4. Χρησιμοποιούνται σαν πολύγωνα αναφοράς από:
  1. ΟΠΕΚΕΠΕ για επιδοτήσεις
  2. Μητρώα Ελαιοκομικό και Αμπελουργικό
  3. Γεωργικές Ασφαλίσεις
  4. Πιστοποίηση προέλευσης αγροτικών προϊόντων
5. Παρέχουν πληροφορίες:
  1. Για τις καλλιεργήσιμες περιοχές (κωδικός κάλυψης)
  2. Τις κατηγορίες των ορίων (δρόμοι, ποτάμια κλπ)
  3. Τοπωνύμια

Πίνακας 1: Κατηγορίες Πολυγώνων και Γραμμών των Ενοτήτων Ελέγχου (ILOTS).

A/A	ΕΙΔΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ
10	Δάσος
20	Αστικό
30	Βοσκότοπος
40	Αρόσιμα
50	Μόνιμα
60	Ελιές
70	Αμπέλι
11	Δάσος Μικτό
21	Αστικό Μικτό
31	Βοσκότοπος Μικτό
41	Αρόσιμα Μικτό
51	Μόνιμο Μικτό
91	Δρόμοι – Νερά
90	Άλλο
61	Ελιά Μικτό
71	Αμπέλι Μικτό

## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΩΝ

A/A	Είδος Γραμμής
1	Δρόμος έως 6 μ
2	Δρόμος 6 – 10 μ
3	Δρόμος > 10 μ
4	Σιδηρ. Γραμμή
5	Νερό έως 6μ
6	Νερό 6-10 μ
7	Νερό > 10 μ
8	Δάσος
9	Βοσκότοπος
10	Παραλία
11	Άλλο

## 2.5 CORINE Land Cover

Το COR.IN.E. (Coordination of Information on the Environment) είναι πρόγραμμα συντονισμού πληροφοριών για το περιβάλλον, το οποίο θεσπίστηκε το 1985. Κύριος δημόσιος φορέας στην Ευρώπη είναι ο ευρωπαϊκός οργανισμός περιβάλλοντος (European Environment Agency), ο οποίος είναι αρμόδιος για την παροχή τεκμηριωμένων και αντικειμενικών πληροφοριών του περιβάλλοντος. Ο ΕΟΠ, ο οποίος λειτουργεί από το 1994 με έδρα την Κοπεγχάγη, είναι ο κεντρικός κόμβος του ευρωπαϊκού δικτύου πληροφοριών και παρατηρήσεων για το περιβάλλον (EIONET), ενός δικτύου που συνδέει 300 περίπου φορείς σε ολόκληρη την Ευρώπη, συλλέγοντας και διαδίδοντας πληροφορίες και στοιχεία για το περιβάλλον. Σήμερα 33 κράτη είναι μέλη του ΕΟΠ, 28 χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης και η Ελβετία, η Ισλανδία, το Λιχτενστάιν, η Νορβηγία και η Τουρκία.



Πίνακας 2: Κωδικός (id) καλλιεργειών βάση ΟΠΕΚΕΠΕ (αντιστοιχεί στο CROP\_CODE και στο EFY\_GREEN)

id Καλλιέργειας	Περιγραφή Καλλιέργειας
1	ΣΚΛΗΡΟΣ ΣΙΤΟΣ
2	ΜΑΛΑΚΟΣ ΣΙΤΟΣ - ΛΟΙΠΑ ΣΙΤΗΡΑ
3.1	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ
3.2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ ΕΝΣΙΡΩΣΗΣ
4	ΕΛΑΙΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ
6	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ
7	ΡΥΖΙ
8	ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΦΥΤΑ ΓΙΑ ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ
9	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ
10	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ
11	ΟΣΠΡΙΑ ΒΡΩΣΙΜΑ
12	ΒΑΜΒΑΚΙ
13	ΛΙΝΟΣ ΜΗ ΚΛΩΣΤΙΚΟΣ
14	ΛΙΝΟΣ ΚΛΩΣΤΙΚΟΣ
15	ΕΛΑΙΩΝΕΣ
16	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
17	ΚΑΠΝΟΣ
18	ΤΟΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ
19	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΑ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ
20.2	ΡΟΔΑΚΙΝΙΕΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ
21	ΑΚΡΟΔΡΥΑ (ΚΑΡΠΟΙ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ)
24	ΓΕΩΜΗΛΑ
25	ΣΠΟΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ
28	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΦΙΔΑΣ
29	ΜΠΑΝΑΝΕΣ
36.2	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΙΝΟΥ
36.3	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ ΧΡΗΣΗ
37	ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ
38	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ
39	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ ΥΠΟ ΚΑΛΥΨΗ
40	ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
41	ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ
42	ΓΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΝΤΑΣΣΕΤΑΙ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ
45.1	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
45.2	ΛΟΙΠΕΣ ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
45.3	ΦΥΤΩΡΙΑ
47	ΧΩΡΟΙ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΣΑΛΙΓΚΑΡΙΩΝ
48	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΠΕ
49	ΔΑΣΙΚΑ ΔΕΝΤΡΑ
66	ΠΥΡΗΝΟΚΑΡΠΑ
67	ΜΗΛΟΕΙΔΗ
68	ΣΠΑΡΑΓΓΙΑ
69	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΝΝΑΒΗ

Το COR.IN.E. συνίσταται από ψηφιακούς χάρτες που δείχνουν τις πολλαπλές μεταβολές που υπέστησαν τα ευρωπαϊκά τοπία. Ο χάρτης αυτός δίνει τη δυνατότητα στους αρμοδίους για τη χάραξη πολιτικής να εξάγουν συμπεράσματα σε τομείς όπως της γεωργίας και των μεταφορών σχετικά με τις επιπτώσεις των ληφθέντων αποφάσεων στους περιορισμένους εδαφικούς πόρους μιας περιοχής και στο ευρύτερο περιβάλλον. Χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων, για την εξαγωγή πορισμάτων σχετικά με την εξάπλωση των αστικών περιοχών, για την υποστήριξη της προστασίας των οικοσυστημάτων, της αναστολής της υποβάθμισης της βιοποικιλότητας και της καταγραφής των συνεπειών της μεταβολής του κλίματος. Τα προϊόντα είναι δημοσιά διαθέσιμα, χωρίς κόστος στο δικτυακό τόπο του ΕΟΠ.

Η ονοματολογία της κάλυψης της γης COR.IN.E. οργανώνεται σε τρία επίπεδα όπως φαίνονται παρακάτω, ενώ μπορεί να προστεθεί κι ένα τέταρτο επίπεδο για ορισμένα η όλα τα αντικείμενα του τρίτου επιπέδου.

### 2.5.1 Ονοματολογία του Corine Land Cover

Η ονοματολογία της κάλυψης της γης COR.IN.E. οργανώνεται σε τρία επίπεδα όπως φαίνονται στον πίνακα 3, ενώ μπορεί να προστεθεί κι ένα τέταρτο επίπεδο για ορισμένα η όλα τα αντικείμενα του τρίτου επιπέδου.

Επίσης στον πίνακα 4 εμφανίζεται η διαχρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών των χαρτών COR.IN.E. με βάση και τους δορυφόρους που κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί.

## 2.6 Φασματικοί Δείκτες

### 2.6.1 Γενικά Στοιχεία

Οι δείκτες ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών φασματικής ενίσχυσης (spectral enhancement). Ουσιαστικά, οι δείκτες είναι εικόνες οι οποίες προκύπτουν μετά από μαθηματικές πράξεις μεταξύ των φασματικών καναλιών της ίδιας εικόνας ή διαφορετικών εικόνων. Οι μαθηματικές αυτές πράξεις μπορεί να είναι είτε απλές όπως 'Κανάλι 1 - Κανάλι 2', είτε πιο σύνθετες, όπως λόγος καναλιών. Οι λόγοι καναλιών βασίζονται ιδιαίτερα στις φασματικές ιδιότητες των υλικών του εδάφους, όπως π.χ. απορρόφηση / ανάκλαση στα διαφορετικά μήκη κύματος. Η απορρόφηση εξαρτάται από τη μοριακή δομή της επιφάνειας που προσπίπτει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ως αποτέλεσμα προκύπτει ότι οι λόγοι των φασματικών καναλιών δίνουν πληροφορίες για την χημική σύσταση του κάθε στόχου.

Πίνακας 3: Ελληνική ονοματολογία CORINE LAND COVER

Πρώτο επίπεδο	Δεύτερο επίπεδο	Τρίτο επίπεδο
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστικός ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 Βιομηχανικές-εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα 1.2.3 Ζώνες λιμένων 1.2.4 Αεροδρόμια
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πράσινου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, Αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αένας χιόνι
4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Υδατορρεύματα 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

Πίνακας 4: Εξέλιξη του Corine Land Cover

(Πηγή [https://www.psdadm.gr/images/5o\\_Panellinio\\_Synedrio\\_ATM/4.Erga-ddx-fp--.pdf](https://www.psdadm.gr/images/5o_Panellinio_Synedrio_ATM/4.Erga-ddx-fp--.pdf))

	CLC1990	CLC2000	CLC2006	CLC2012
Δορυφορικές εικόνες	Landsat-5 MSS/TM, μια ημερομηνία	Landsat-7 ETM, μια ημερομηνία	SPOT-4/5 and IRS P6 LISS III, δύο ημερομηνίες	IRS P6 LISS III και RapidEye, δύο ημερομηνίες
Χρονικό εύρος (Time consistency)	1986-1998	2000 +/- 1 έτος	2006 +/- 1 έτος	2011-2012
Γεωμετρική ακρίβεια, δορυφορικά δεδομένα	≤ 50 m	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 25 m
Ελάχιστη χαρτογραφούμενη επιφάνεια/πλάτος	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m
Γεωμετρική ακρίβεια CLC	100 m	Καλύτερη από 100 m	Καλύτερη από 100 m	Καλύτερη από 100 m
Θεματική ακρίβεια CLC	≥ 85% (πιθανόν δεν επιτεύχθηκε)	≥ 85% (επιτεύχθηκε)	≥ 85% (επιτεύχθηκε)	≥ 85%
Αλλαγές χρήσεων γης (CLCC)	Δεν πραγματοποιήθηκε	Ελάχιστη απόσταση μεταξύ οριογραμμών 100 m; Επιφάνεια αλλαγής ≥ 5 ha; Επιφάνεια για μεμονωμένες αλλαγές ≥ 25 ha	Ελάχιστη απόσταση μεταξύ οριογραμμών 100 m; Όλες οι αλλαγές ≥ 5 ha οριοθετούνται	Ελάχιστη απόσταση μεταξύ οριογραμμών 100 m; Όλες οι αλλαγές ≥ 5 ha οριοθετούνται
Θεματική ακρίβεια CLCC	-	Δεν ελέγχθηκε	≥ 85% (επιτεύχθηκε)	≥ 85%
Διάρκεια παραγωγής	10 χρόνια	4 χρόνια	3 χρόνια	2 χρόνια
Τεκμηρίωση	Ατελή (incomplete) μεταδεδομένα	Τυπικά (standard) μεταδεδομένα	Τυπικά (standard) μεταδεδομένα	Τυπικά (standard) μεταδεδομένα
Πρόσβαση στα δεδομένα (CLC, CLCC)	Ασαφής πολιτική διάθεσης	Πολιτική διάθεσης συμφωνημένη από την αρχή	Ελεύθερη πρόσβαση για όλους τους χρήστες	Ελεύθερη πρόσβαση για όλους τους χρήστες
Αριθμός χωρών που συμμετείχαν	26 (27 με καθυστερημένη συμμετοχή)	30 (35 με καθυστερημένες συμμετοχές)	38	39

Οι δείκτες, ανάλογα με την μέθοδο που εφαρμόζεται για τη δημιουργία τους, ταξινομούνται σε 4 κατηγορίες (Περάκης, 2015):

- Απλοί δείκτες. Οι δείκτες αυτοί δημιουργούνται από τους λόγους των φασματικών καναλιών και τονίζουν τις φασματικές ιδιότητες των καλύψεων γης.
- Δείκτες που ελαχιστοποιούν τα προβλήματα που δημιουργούνται εξαιτίας του εδάφους σε σχέση με τις καλύψεις (βλάστηση, νερό κ.ά.).
- Δείκτες που ελαχιστοποιούν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις.
- Εξειδικευμένοι δείκτες εκτίμησης φαινομένων που συμβαίνουν στο χώρο.

Για τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης έχει αναπτυχθεί μία πληθώρα δεικτών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό βλάστησης, ορυκτών, αστικών περιοχών, καμένων εκτάσεων, υγρού στοιχείου (νερό, πάγος, χιόνι), μεταλλευμάτων κλπ. Οι πιο γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι είναι οι δείκτες βλάστησης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες *NDVI*, *MSAVI*, *NDWI* και *NDBI*, οι οποίοι κρίθηκαν οι καταλληλότεροι για το αντικείμενο της μελέτης και έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχημένα σε ανάλογες εργασίες (Karakizi et al., 2018). Οι δύο πρώτοι είναι δείκτες βλάστησης και ακολουθούν ένας δείκτης νερού και ένας δείκτης οικιστικής ανάπτυξης.

## 2.6.2 Δείκτες Βλάστησης

*NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse et al. 1974)*

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης διαφοράς, (NDVI) δημιουργήθηκε το 1974 με στόχο τον διαχωρισμό της βλάστησης από τη φωτεινότητα του εδάφους χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα Landsat MSS (Rouse et al. 1974). Αποτελεί τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο δείκτη παγκοσμίως. Στα πλεονεκτήματα του δείκτη είναι η ελαχιστοποίηση των τοπογραφικών επιδράσεων. Επίσης είναι σχεδόν αναλλοίωτος από τις διάφορες συνθήκες εξαιτίας των κανονικοποιημένων τιμών. Ο δείκτης βλάστησης περιγράφει πολλές ιδιότητες των φυτών με αποτέλεσμα να χρησιμεύει στην παρακολούθηση της υγείας τους, στην εκτίμηση της βιομάζας, στην απόδοση των καλλιεργειών κ.α. Τα μειονεκτήματα του δείκτη είναι ότι παρουσιάζει δείγματα κορεσμού (saturation) σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης, καθώς και υπερεκτίμηση σε χαμηλές συγκεντρώσεις βλάστησης εξαιτίας της ανακλαστικότητας του εδάφους (Περάκης, 2015). Ακόμη, όπως επισημαίνουν οι Bannari et al (σύμφωνα με τους Jackson et al), ο δείκτης παρουσιάζει ευαισθησία στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, ενώ η δυναμική του εξασθενεί όταν η φυτοκάλυψη είναι αραιή (συγκέντρωση μικρότερη του 50%), εξαιτίας της ανακλαστικότητας του εδάφους.

Το εύρος τιμών που παίρνει είναι από το -1 έως το 1. Οι τιμές οι οποίες πλησιάζουν στο -1 υποδηλώνουν την ύπαρξη νερού, ενώ οι τιμές που πλησιάζουν στο 1 υποδηλώνουν εύκρατα και τροπικά δάση. Οι τιμές πάλι κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν άγονες περιοχές με βράχο, άμμο ή χιόνι. Οι χαμηλές θετικές τιμές υποδηλώνουν θάμνους και γρασίδι (περίπου στο 0.2 έως 0.4).

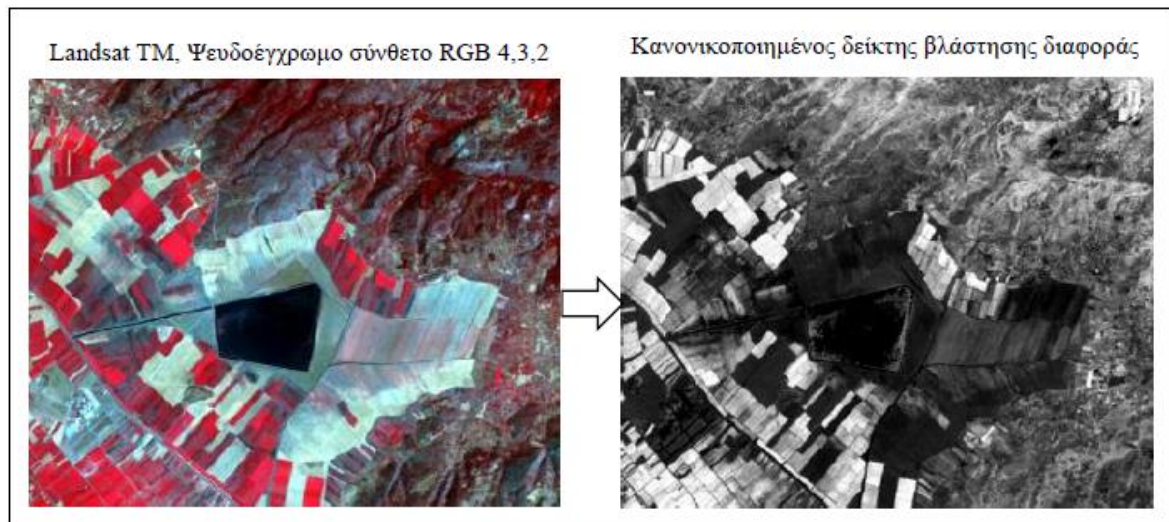
Ο δείκτης εκφράζεται με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

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

άρα για τον Sentinel-2 είναι:

$$NDVI = \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04)}$$

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη σε μία δορυφορική εικόνα Landsat TM:



**Σχήμα 5:** Απεικόνιση του Ψευδέγχρωμο σύνθετο για το δείκτη βλάστησης (NDVI).  
(Πηγή: [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1847/1/08\\_chapter\\_7.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1847/1/08_chapter_7.pdf))

### **MSAVI (Modified soil adjusted vegetation index) (Qi et al. 1994)**

Ο δείκτης SAVI δημιουργήθηκε ώστε να βελτιώσει την ευαισθησία του NDVI όταν υπάρχει στο φόντο της βλάστησης το υπέδαφος το οποίο μπερδεύει την φασματική της υπογραφή.

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)(1 + L)}{(NIR + RED)(1 + L)}$$

όπου L ο δείκτης ρύθμισης του εδάφους με εύρος από 0-1.

Σε πρακτικές εφαρμογές, οι τιμές που παίρνει το L αποφασίζονται με βάση τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος. Όταν η εδαφοκάλυψη είναι μεγάλη, το L παίρνει τιμές κοντά στο 1, δείχνοντας ότι το έδαφος δεν επηρεάζει την απόκριση της βλάστησης, γεγονός που σπάνια συναντάται σε πραγματικές συνθήκες, παρα μόνο όταν έχουμε μεγάλη πυκνότητα φυλλωμάτων και εδαφοκάλυψης. Η τιμή του είναι συνήθως περίπου στο 0.5. Όταν η τιμή του πλησιάζει το μηδέν σημαίνει ότι ο SAVI είναι σχεδόν ίδιος με τον NDVI.

Ο MSAVI αποτελεί παραλλαγή του SAVI, όπου αντικαθίσταται ο παράγοντας L με μια συνάρτηση. Με την βοήθεια της συνάρτησης αυτής διευκολύνεται η διάκριση βλάστησης - εδάφους. Αναλυτικότερα πετυχαίνει:

(α) την απομάκρυνση του «θορύβου» από την ανάκλαση του εδάφους όταν δεν το κατορθώνουν άλλοι δείκτες βλάστησης όπως ο NDVI και

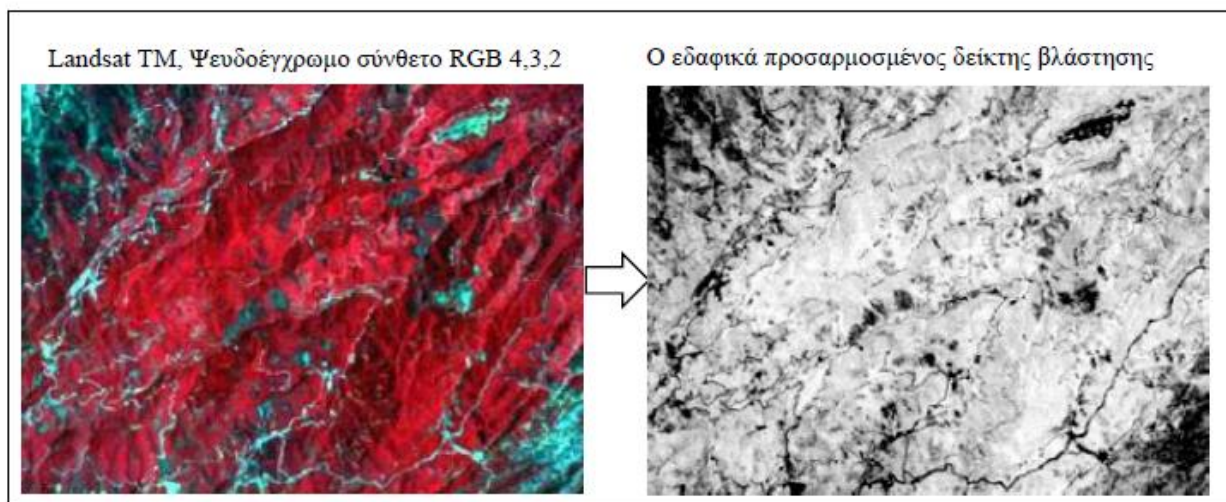
(β) την κανονικοποιημένη διόρθωση ώστε οι τιμές να μην είναι εκτός του διαστήματος [-1,1], γεγονός που παρατηρείται σε άλλους δείκτες. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του δείκτη MSAVI είναι ότι ενώ ανήκει στους δείκτες που μετρούν την ραδιομετρική απόσταση από την γραμμή του εδάφους (δείκτες οι οποίοι μετράνε το ποσοστό της βλάστησης σε κάθε pixel λαμβάνοντας ως βάση την διαφορά που προκύπτει από την τιμή ανάκλασης κάθε pixel σε σχέση με την τιμή ανάκλασης του γυμνού εδάφους), πρακτικά δεν απαιτείται ο εμπειρικός

προσδιορισμός της γραμμής του εδάφους. Οι τιμές κάτω από 0 υποδηλώνουν απουσία βλάστησης ενώ πάνω από 0 παρουσία βλάστησης (Qi et al 1994).

$$MSAVI = \frac{1}{2} \left( (2 * NIR) + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)} \right)$$

$$MSAVI = \frac{1}{2} \left( (2 * B8) + 1 - \sqrt{(2 * B8 + 1)^2 - 8 * (B8 - B4)} \right)$$

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη σε μία δορυφορική εικόνα Landsat TM:



**Σχήμα 6:** Απεικόνιση του Ψευδέγχρωμο σύνθετο για το δείκτη βλάστησης (MSAVI).  
(Πηγή: [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1847/1/08\\_chapter\\_7.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1847/1/08_chapter_7.pdf))

### 2.6.3 Δείκτης Νερού

**NDWI (Normalized Difference Water Index) (McFeeters 1996)**

Αποτελεί τον καταλληλότερο δείκτη για την απεικόνιση των υδάτινων μαζών. Το νερό έχει δυνατή απορρόφηση και χαμηλή ακτινοβολία στο εύρος μεταξύ του ορατού και του υπέρυθρου μήκους κύματος. Ο δείκτης χρησιμοποιεί το πράσινο και το εγγύς υπέρυθρο, μπορεί να εξάγει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις υδάτινες μάζες στις περισσότερες των περιπτώσεων. Είναι ευαίσθητος σε οικιστική γη, προσφέρει την ανάδειξη των υδάτινων σωμάτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των επιπτώσεων πλημμύρας.

Περιγραφή τιμών:

Το εύρος τιμών που παίρνει είναι από το -1 έως το 1. Το NDWI μεγιστοποιεί την ανάκλαση του νερού χρησιμοποιώντας μήκη κύματος πράσινης ζώνης και ελαχιστοποιεί τη χαμηλή ανακλαστικότητα του NIR απορροφώντας το μέγιστο μήκος κύματος. Παίρνει τιμές άνω του 0.5 όταν πρόκειται για υδάτινες μάζες, κάτω του 0.2 όταν πρόκειται για κτίσματα και μεταξύ 0.2 έως 0.5 για βλάστηση, γεγονός που μας βοηθάει στην εύκολη διάκριση βλάστησης και νερού.

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$$

άρα για τον Sentinel-2 είναι:

$$NDWI = \frac{(B03 - B08)}{(B03 + B08)}$$

#### 2.6.4 Δείκτης Οικιστικής Ανάπτυξης

**NDBI (Normalized Difference Built-up Index)** (Zha, Gao, Ni 2003)

Ο NDBI χρησιμοποιείται στον εντοπισμό αστικών περιοχών με υψηλότερη ανάκλαση στην περιοχή των μικροκυματικών υπέρυθρων (SWIR), σε σύγκριση με την περιοχή της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR). Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν προβλέψεις απορροής ποταμών και χωροταξικό σχεδιασμό.

Το εύρος τιμών που παίρνει είναι από το -1 έως το 1. Οι δομημένες περιοχές λαμβάνουν θετικές τιμές.

$$NDBI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

άρα για τον Sentinel-2 είναι:

$$NDBI = \frac{(B11 - B08)}{(B11 + B08)}$$

## 2.7 Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων

### 2.7.1 Γενικά Στοιχεία

Με τον όρο ταξινόμηση πολυφασματικής εικόνας, υποδηλώνεται η διαδικασία αυτόματης ομαδοποίησης των εικονοστοιχείων σε κλάσεις ή τάξεις με κοινά χαρακτηριστικά. Το βασικό χαρακτηριστικό, στο οποίο βασίζονται οι διάφορες μέθοδοι ταξινόμησης είναι η «φασματική υπογραφή» των εικονοστοιχείων, ωστόσο έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που λαμβάνουν υπ' όψιν τους και άλλα χαρακτηριστικά, όπως η υφή, το υψόμετρο, η γειννίαση με συγκεκριμένες δομές κλπ. Οι τάξεις που δημιουργούνται αντιστοιχούν σε διάφορους τύπους οντοτήτων στην εικόνα (π.χ. φυτοκάλυψη, χρήσεις γης, υδάτινες επιφάνειες, γεωλογικοί σχηματισμοί, εδάφη κλπ.) και συνθέτουν έναν θεματικό χάρτη.

Η ταξινόμηση ως αυτοματοποιημένη διαδικασία, χρησιμοποιεί διάφορες μαθηματικές θεωρίες και αλγόριθμους (π.χ. θεωρία πιθανοτήτων, ασαφής λογική (fuzzy logic), νευρωνικά δίκτυα κλπ), με σκοπό την γρήγορη και αξιόπιστη κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων σε τάξεις.



Όταν η ταξινόμηση πραγματοποιείται με βάση τη φασματική υπογραφή του κάθε εικονοστοιχείου ξεχωριστά, τότε πρόκειται για πολυφασματική ταξινόμηση (multispectral classification).

Για κάθε τάξη δημιουργείται ένα φασματικό πρότυπο βάσει των δεδομένων εκπαίδευσης, το οποίο αποτελείται από την τιμή της έντασης της ακτινοβολίας της οντότητας που αντιπροσωπεύει η τάξη, σε κάθε φασματικό κανάλι που λαμβάνει μέρος στην διαδικασία της ταξινόμησης. Κατά την διαδικασία της ταξινόμησης, χρησιμοποιούνται τα φασματικά πρότυπα και σύμφωνα με αυτά κατηγοριοποιείται κάθε εικονοστοιχείο στην αντίστοιχη τάξη.

### 2.7.2 Μέθοδοι Ταξινόμησης

Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων ταξινόμησης μπορεί να δομηθεί με πολλούς τρόπους. Δύο γενικές κατηγορίες είναι οι κλασικές μέθοδοι ταξινόμησης (επιβλεπόμενες και μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις) και οι νεώτερες πιο ανεπτυγμένες προσεγγίσεις (νευρωνικά δίκτυα, χαλαρές ταξινομήσεις, ταξινομήσεις SVM).

Όπως αναφέρουν οι Al-doski et al (2013), υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις ταξινόμησης που έχουν αναπτυχθεί και ευρέως χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χαρτών κάλυψης γης (με βάση τους Arlin, Atkinson 2004). Η κάθε μία μέθοδος στηρίζεται σε διαφορετική λογική ταξινόμησης, που κυμαίνεται από την επιβλεπόμενη έως τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, την παραμετρική στην μη παραμετρική έως την μη-μετρική ή από την «σκληρή» στην «μαλακή» ταξινόμηση (ταξινόμηση ασαφής γνώσης) ή σε ταξινομήσεις στο επίπεδο του εικονοστοιχείου (ανά pixel), στο επίπεδο κάτω από το εικονοστοιχείο και στο επίπεδο του πεδίου (per field) (Al-doski et al, 2013, σύμφωνα με τους Keuchel et al. 2003a, Jensen 2005). Οι βασικές μέθοδοι ταξινόμησης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5: Μέθοδοι Ταξινόμησης, Παραδείγματα και Χαρακτηριστικά.

Μέθοδοι	Παραδείγματα	Χαρακτηριστικά
Παραμετρική	Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας, Μη επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	Υποθέσεις: Περιοχή δεδομένων που κατανέμεται κανονικά Προηγούμενη Γνώση των συναρτήσεων πυκνότητας κλάσης
Μη Παραμετρική	Κοντινότερου Γείτονα, Ασαφείς Ταξινομήσεις, Νευρωνικά Δίκτυα, SVM	Δεν γίνονται προηγούμενες υποθέσεις
Μη Μετρική	Δέντρο αποφάσεων βασισμένο σε κανόνες Ταξινόμηση	Μπορεί να λειτουργεί τόσο σε δεδομένα πραγματικής αποτίμησης όσο και σε ονομαστικά κλιμακούμενα δεδομένα στατιστικής ανάλυσης
Επιβλεπόμενη	Μέγιστης Πιθανοφάνειας, Μικρότερης Απόστασης,	Ταξινομητής αναγνωρίζει τα πολύγωνα εκπαίδευσης που

	Ταξινόμησης Πραλληλεπιπέδου	εκπροσωπούν την κάθε κλάση και ταξινομεί κάθε εικονοστοιχείο με βάση την στατιστική ανάλυση
Μη Επιβλεπόμενη	ISODATA, K-means	Οι προηγούμενες πληροφορίες εδάφους δεν είναι γνωστές. Τα εικονοστοιχεία με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά ομαδοποιούνται σύμφωνα με συγκεκριμένα στατιστικά κριτήρια
Σκληρή (Παραμετρική)	Επιβλεπόμενες και Μη Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις	Ταξινόμηση χρησιμοποιώντας διακριτές κατηγορίες
Μαλακή (Μη Παραμετρική)	Ταξινόμησης ασαφής γνώσης	Βασίζεται στην θεωρία της ετερογενούς φύσης του πραγματικού κόσμου. Σε κάθε εικονοστοιχείο δίνεται ένα ποσοστό της γης τύπος καλύμματος που βρίσκεται μέσα στο εικονοστοιχείο
Ανά Εικονοστοιχείο		Ταξινόμηση της εικόνας εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο
Αντικειμενοστραφής		Η εικόνα ταξινομείται σε ομογενή αντικείμενα. Η ταξινόμηση εκτελείται σε κάθε αντικείμενο και σε κάθε εικονοστοιχείο
Υβριδικές Προσεγγίσεις		Περιλαμβάνει έμπειρα συστήματα και τεχνητή νοημοσύνη

Εντούτοις, δύο είναι οι ευρείς κατηγορίες ταξινόμησης, που χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες ταξινόμησης πολυφασματικών εικόνων, οι επιβλεπόμενες και οι μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις, μπορούν να συσχετιστούν

και να αποδώσουν νέες υβριδικές μεθοδολογίες (Al-doski et al, 2013, σύμφωνα με τους Richards, Jia, 2006).

### ***Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση***

Η πρώτη κατηγορία ταξινομήσεων γνωστή ως Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις αναπτύχθηκε βάσει της εκ των προτέρων γνώσης αλλά και της δυνατότητας πρόσβασης στις υπάρχουσες κατηγορίες καλύψεις γης ώστε να εντοπισθούν χωρικά δειγματοληπτικές περιοχές. Ο όρος «επιβλεπόμενες» προέκυψε από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος εύρεσης των ραδιομετρικών τιμών κάθε κάλυψης γης εκπαιδεύεται σύμφωνα με τις ομογενείς, ή όχι, δειγματοληπτικές περιοχές που έχουν επιλεγεί από πριν για κάθε κατηγορία κάλυψης γης (Περάκης, 2015). Οι

περιοχές αυτές χρησιμοποιούνται για να διαμορφωθεί ένα φωτοερμηνευτικό κλειδί, το οποίο θα περιγράφει τις φασματικές ιδιότητες της κάθε κλάσης, φασματικές ιδιότητες, που πηγάζουν από τις ραδιομετρικές τιμές της εικόνας (Αργιαλάς, 1999). Στην συνέχεια, κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, συγκρίνεται αριθμητικά με όλες της κατηγορίες του κάθε φωτοερμηνευτικού κλειδιού και κατατάσσεται στην κλάση, στην οποία το φωτοερμηνευτικό κλειδί μοιάζει περισσότερο. Οι αριθμητικές στρατηγικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διεξαχθεί η σύγκριση ανάμεσα στα εικονοστοιχεία εκπαίδευσης και τα άγνωστα εικονοστοιχεία της εικόνας αυτή είναι πολυάριθμες. Δυστυχώς, η ταξινόμηση εικόνων δεν είναι μια τετριμμένη εργασία, καθώς τα περισσότερα από τα συστήματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης απαιτούν αρκετά μεγάλο αριθμό δειγμάτων εκπαίδευσης, των οποίων ο ορισμός και η απόκτηση είναι συχνά ένα κρίσιμο πρόβλημα.



Σχήμα 7: Πορεία Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης (Πηγή: Al-doski, 2013, p.p. 143).

### Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Η δεύτερη κατηγορία ταξινομήσεων είναι γνωστή ως «Μη Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις». Και σε αυτήν την κατηγορία ταξινομήσεων, η διαδικασία πραγματώνεται σε δύο στάδια. Η κύρια διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο κατηγορίες ταξινομήσεων, είναι η διαδικασία της επίβλεψης. Στην κατηγορία των μη επιβλεπόμενων ταξινομήσεων, τα δεδομένα πρώτα ταξινομούνται σε κλάσεις άγνωστες, συναθροίζοντας τα δεδομένα της εικόνας σε φυσικές φασματικές ομάδες (συσσωρεύσεις) και στην συνέχεια ο φωτοερμηνευτής συγκρίνοντας τον θεματικό χάρτη, που προέκυψε ως αποτέλεσμα της ταξινόμησης, με επίγεια δεδομένα αναφοράς, χάρτες και αεροφωτογραφίες, αντιστοιχίζει τις κλάσεις που προέκυψαν με καλύψεις γης (Αργιαλάς, 1999). Η ταξινόμηση στις μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις υλοποιείται με διάφορους αλγόριθμους, όπως είναι η μέθοδος της ιεραρχικής ή της μη ιεραρχικής ταξινόμησης κατά συστάδες (Περάκης, 2015).



Σχήμα 8: Πορεία Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης (Πηγή: Al-doski, 2013, p.p. 143).

### Υβριδική Ταξινόμηση

Διάφορες μέθοδοι ταξινόμησης έχουν αναπτυχθεί εκτός των παραπάνω, που πολλές από αυτές αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω ή παραλλαγές τους. Ο Περάκης επισημαίνει ότι (σύμφωνα με τους Lillesand και Kiefer, 1994) οι συγκεκριμένες μέθοδοι αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως υβριδικές. Περιπτώσεις υβριδικών μεθόδων χρησιμοποιούν μάσκες μικρών

διαστάσεων για την σάρωση της εικόνας, μέσα από την οποία ελέγχεται η διακύμανση των ραδιομετρικών τιμών για κάθε θέση. Ορίζεται από τον χρήστη ένα κατώφλι διακύμανσης το οποίο χαρακτηρίζει την διακύμανση μικρή εάν δεν το υπερβαίνει και μεγάλη εάν το υπερβαίνει. Η μέση τιμή της μάσκας για την πρώτη θέση, αποτελεί και το πρώτο κέντρο συστάδας, η μέση τιμή της μάσκας για τη δεύτερη το δεύτερο κ.ο.κ. Ορίζεται από τον χρήστη ο μέγιστος αριθμός συστάδων και έτσι ο αλγόριθμος προχωρά σε συνενώσεις συστάδων, έως ότου να ισούνται με τον επιθυμητό αριθμό συστάδων.

### **Αντικειμενοστραφής Ταξινόμηση**

Σε αυτές τις μεθόδους ταξινόμησης, τα εικονοστοιχεία ομαδοποιούνται ώστε να σχηματίζουν αντιπροσωπευτικά σχήματα και μεγέθη αντικειμένων. Αυτή η διαδικασία πρόκειται για την κατάτμηση πολλαπλών αναλύσεων ή αλλιώς την μέση μετατόπιση τμήματος. Η πολυδιάστατη κατάτμηση παράγει ομοιογενή αντικείμενα εικόνας με ομαδοποίηση εικονοστοιχείων. Δημιουργεί ταυτόχρονα αντικείμενα με διαφορετικές κλίμακες σε μια εικόνα. Αυτά τα αντικείμενα έχουν ιδιαίτερη σημασία επειδή αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά στην εικόνα. Αλλά το πιο σημαντικό, είναι ότι σε τέτοιου τύπου ταξινομήσεις ο χρήστης μπορεί να ταξινομήσει τα αντικείμενα με βάση την υφή τους, το πλαίσιο και τη γεωμετρία τους.

Στην συνέχεια αναλύεται διεξοδικά η ταξινόμηση SVM, που αποτελεί και την ταξινόμηση που εφαρμόστηκε για τη διεξαγωγή των ταξινομήσεων των πειραμάτων της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας.

#### **2.7.3 Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (SVM)**

Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) ή αλλιώς διανύσματα υποστήριξης δικτύων είναι μοντέλα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με σχετικούς αλγορίθμους ταξινόμησης που αναλύουν τα δεδομένα και αναγνωρίζουν μοτίβα, που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση, την ανάλυση παλινδρόμησης και την ανίχνευση των ακραίων τιμών.

Η τεχνική των δικτύων υποστήριξης-φορέων αναπτύχθηκε αρχικά από τον Vapnik (1995) για την περιορισμένη περίπτωση του διαχωρισμού των δεδομένων εκπαίδευσης χωρίς λάθη, ενώ στην συνέχεια επεκτάθηκε από τους Cortes και Vapnik (1995), ώστε να ανταποκρίνεται ακόμη και όταν είναι αδύνατος ο διαχωρισμός των δεδομένων εκπαίδευσης χωρίς την ύπαρξη σφαλμάτων. Η επέκταση αυτή μετέτρεψε τις SVM, σε μία νέα κατηγορία machine learning, τόσο ισχυρή και καθολική όσο τα νευρικά δίκτυα.

Ο αλγόριθμος των SVM γενικεύεται για επιφάνειες πολυωνυμικής απόφασης υψηλού βαθμού (μέχρι την τάξη 7) σε χώρο υψηλών διαστάσεων (διάσταση 256). Η απόδοση του αλγορίθμου συγκρίνεται με αυτή των μηχανών κλασικής εκμάθησης, π.χ. γραμμικοί ταξινομητές, ταξινομητές πλησιέστερων γειτόνων και με τα νευρωνικά δίκτυα.

Ο βασικός SVM παίρνει ένα σύνολο από δεδομένα εισόδου και προβλέπει, για κάθε δεδομένο εισόδου, μία από τις δύο δυνατές κλάσης κατηγοριοποίησης, καθιστώντας τον έναν μη-γραμμικό πιθανολογικό δυαδικό ταξινομητή. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο

παραδειγμάτων εκπαίδευσης, ένας αλγόριθμος εκπαίδευσης SVM χτίζει ένα μοντέλο που εκχωρεί νέα παραδείγματα σε μία από τις δύο κλάσεις. Ένα μοντέλο SVM είναι μια αναπαράσταση των παραδειγμάτων ως σημεία στο χώρο, χαρτογραφώντας με τέτοιο τρόπο τα παραδείγματα των ξεχωριστών κλάσεων ώστε να χωρίζονται από ένα σαφές κενό που είναι όσο το δυνατόν πιο ευρύ. Τα νέα παραδείγματα στη συνέχεια χαρτογραφούνται και αυτά στον ίδιο χώρο και προβλέπονται να ανήκουν σε μια κλάση ανάλογα σε πια πλευρά του διακένου πέφτουν επάνω.

Τα πλεονεκτήματα των μηχανημάτων φορέα υποστήριξης είναι:

- Αποτελεσματικότητα σε χώρους μεγάλης διαστάσεως.
- Αποτελεσματικότητα στις περιπτώσεις όπου ο αριθμός των διαστάσεων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των δειγμάτων.
- Χρήση ένα υποσυνόλου σημείων κατάρτισης στη λειτουργία λήψης αποφάσεων, με αποτέλεσμα την αποδοτικότητα στη μνήμη.
- Ευελιξία, καθώς μπορούν να οριστούν διαφορετικές λειτουργίες του Kernel για τη λειτουργία απόφασης. Παρέχονται συνήθεις πυρήνες, αλλά είναι επίσης δυνατό να καθοριστούν και προσαρμοσμένοι πυρήνες.

Τα μειονεκτήματα των μηχανών φορέα υποστήριξης αναλύονται παρακάτω:

- Εάν ο αριθμός των χαρακτηριστικών είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των δειγμάτων, θα πρέπει να αποφεύγετε η υπερφόρτωση στην επιλογή των λειτουργιών του πυρήνα και ο όρος κανονικοποίησης είναι κρίσιμος.
- Οι SVM δεν παρέχουν απευθείας εκτιμήσεις πιθανότητας, με αποτέλεσμα να πρέπει αυτές να υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μια ακριβή πενταπλάσια διασταυρούμενη επικύρωση.

### **Αλγόριθμος**

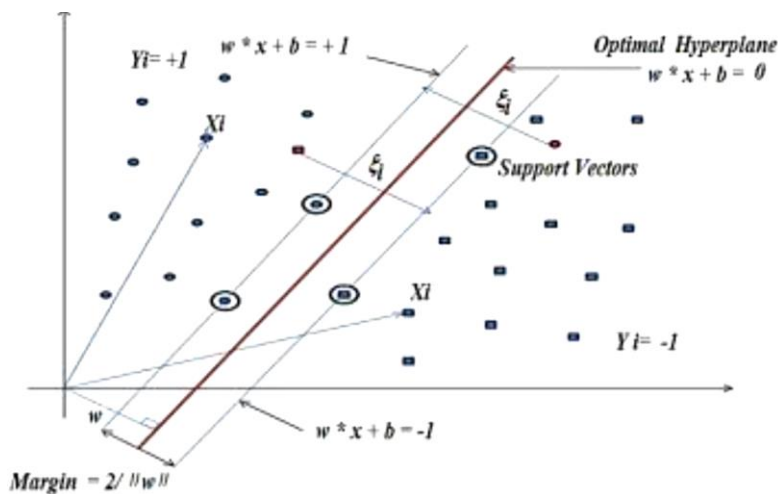
Οι μηχανές φορέα υποστήριξης (SVM) είναι αλγόριθμοι εποπτικής μάθησης, βασισμένοι στην στατιστική μαθησιακή θεωρία, οι οποίοι θεωρούνται αλγόριθμοι ευρετικής (Prashant et al, 2012). Ο αλγόριθμος SVM χρησιμοποιεί μια καθορισμένη από τον χρήστη συνάρτηση πυρήνα για να χαρτογραφήσει ένα σύνολο μη γραμμικών ορίων απόφασης στο αρχικό σύνολο δεδομένων σε ένα σύνολο γραμμικών ορίων ενός κατασκευάσματος υψηλότερων διαστάσεων (Han et al., 2007).

Ο στόχος των SVM για την ταξινόμηση είναι να προσδιοριστεί ένα υπερεπίπεδο, που χωρίζει με τον καλύτερο τρόπο τις δύο τάξεις. Το βέλτιστο υπερεπίπεδο προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας δεδομένα εκπαίδευσης και η δυνατότητα γενίκευσης του ελέγχεται χρησιμοποιώντας δεδομένα επικύρωσης. Έτσι, ο πρωταρχικός στόχος του SVM είναι να βρεθεί το βέλτιστο διαχωριστικό υπερεπίπεδο (OSH) ανάμεσα σε όλα τα πιθανά υπερεπίπεδα, που επιτυγχάνεται μέσω ενός προβλήματος βελτιστοποίησης

χρησιμοποιώντας πολλαπλασιαστές Lagrange και μεθόδους τετραγωνικού προγραμματισμού (Pal and Mather, 2004).

Ενώ μπορεί να υπάρχουν πολλά υπερεπίπεδα, που παρέχουν αποτελεσματικό διαχωρισμό, το βέλτιστο διαχωριστικό υπερεπίπεδο (OSH) ελαχιστοποιεί τα σφάλματα γενίκευσης ταξινομήσεως μεγιστοποιώντας την απόσταση μεταξύ του ίδιου και των επιπέδων που αντιπροσωπεύουν τις δύο τάξεις. (Prashant et al, 2012).

Τα διανύσματα υποστήριξης είναι τα σημεία δεδομένων που βρίσκονται στην άκρη κάθε επιμέρους κατηγορίας του υπερεπιπέδου στο χώρο των χαρακτηριστικών και είναι πλησιέστερα στο βέλτιστο διαχωριστικό επίπεδο (Sanchez-Hernandez et al., 2007, Szuster et al., 2011).



Σχήμα 9: Σχηματική Απεικόνιση SVM Ταξινόμησης (Πηγή: Al-doski et al, 2013).

Αν θεωρήσουμε ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης με  $k$ : το πλήθος των δειγμάτων, που αντιπροσωπεύεται ως:

$$\{x_i, y_i\}, i = 1, \dots, k,$$

με το  $x_i$  να ανήκει σε ένα  $n$ -διάστατο διάνυσμα  $R^n$  και το  $y_i$  στο  $\{-1, +1\}$ , αναπαριστώντας την κάθε κλάση.

Το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί να διαχωριστεί γραμμικά από ένα υπερεπίπεδο εάν ένας φορέας  $W$  και μονόμετρο μέγεθος  $b$  μπορούν να ικανοποιήσουν τις ακόλουθες δύο ανισότητες (1) και (2).

$$W * x_i - b \geq 1, \text{ για όλα τα } y = +1 \quad (1)$$

$$W * x_i - b \leq -1, \text{ για όλα τα } y = -1 \quad (2)$$

Η εξίσωση που αντιπροσωπεύει έναν περιορισμό που πρέπει να ικανοποιηθεί για να επιτευχθεί ένα υπερεπίπεδο που διαχωρίζει πλήρως και γραμμικά τις δύο κατηγορίες μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$y_i * (W * x_i - b) \geq 1 \quad (3)$$

Για τις περιπτώσεις όπου οι δύο κλάσεις δεν είναι γραμμικά διαχωριζόμενες, εισάγεται ένα σύνολο μεταβλητών χαλάρωσης  $\{\xi_i\}$   $i = 1$  προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απόσταση μεταξύ των κλάσεων του υπερεπιπέδου και της OSH, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται ο αριθμός των σφαλμάτων της ταξινόμησης, όπου τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται σε λανθασμένες κλάσεις του υπερεπιπέδου.

$$y_i * (W * x_i - b) \geq 1 - \xi_i, \xi_i > 0 \quad (4)$$

Εφόσον ο περιορισμός αυτός μπορεί να ικανοποιηθεί με τη συνεχή αύξηση της τιμής  $\xi_i$ , προστίθεται μία συνάρτηση  $CP_i = 1n_i$ . Η συνάρτηση αυτή έχει σκοπό να υποβιβάζονται οι λύσεις που παρουσιάζουν μεγάλη τιμή για  $n_i$ . Η σταθερά  $C$ , ελέγχει το βαθμό της «ποινής», που αποδίδεται στα εικονοστοιχεία, τα οποία εμφανίζονται στην λανθασμένη πλευρά του διαχωριστικού υπερεπιπέδου.

Η χρήση ποινής προκειμένου να υποβιβασθούν λύσεις, που παραβιάζουν έναν ή περισσότερους στόχους είναι μια δημοφιλής στρατηγική χειρισμού περιορισμών, αν και μπορεί να παραμορφώσει την αντικειμενική λειτουργία και ως εκ τούτου να οδηγήσει σε μια υποδεέστερη λύση (Demetriou, 2013).

Ως εκ τούτου, το πρόβλημα βελτιστοποίησης μετατρέπεται ως εξής:

$$\text{Min} \left[ (||w||^2/2) + C * \sum_{i=1}^n \xi_i \right] \quad (5)$$

Προκειμένου να χαρτογραφηθούν τα μη γραμμικά δεδομένα σε ένα χώρο υψηλότερων διαστάσεων για τη δημιουργία ενός γραμμικώς διαχωριστικού υπερεπιπέδου, χρησιμοποιείται μια συνάρτηση χαρτογράφησης  $F$ . Επομένως, τα δεδομένα εισόδου αντιπροσωπεύονται ως  $F(x)$ , που είναι η μετατροπή του διανύσματος εισόδου  $x$  του χώρου των χαρακτηριστικών σε έναν κατασκευασμένο χώρο  $n$  διαστάσεων. Αυτό μπορεί να είναι υπολογιστικά δαπανηρό καθώς το  $n$  αυξάνεται και έτσι επιλέγεται μια λειτουργία πυρήνα:

$$K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) * \Phi(x_j) \quad (6)$$

Οι συναρτήσεις πυρήνα (kernel functions) είναι απεικονίσεις των διανυσμάτων εισόδου  $x$  στο σύνολο  $R$ , οι οποίες έχουν συγκεκριμένη μορφή και ιδιότητες και γενικεύουν σε μεγάλο βαθμό τις εφαρμογές των αλγορίθμων ταξινόμησης

Οι συναρτήσεις πυρήνα επιτρέπουν την προβολή των δεδομένων εκπαίδευσης σε ένα μεγαλύτερο χώρο, στο οποίο είναι πολύ πιθανό να ανακαλυφθεί ένα βέλτιστο διαχωριστικό όριο, για το OSH. (Prashant et al, 2012).

Οι βασικοί συναρτήσεις πυρήνα είναι οι εξής:

- Γραμμική:  $K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$
- Πολυωνυμική:  $K(x_i, x_j) = (\gamma * x_i^T x_j + r)^d, \gamma > 0$
- Συνάρτηση Ακτινικής Βάσης (RBF):  $K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma * ||x_i - x_j||^2), \gamma > 0$

- Σιγμοειδής:  $K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma * x_i^T * x_j + r)$

Όπου  $\gamma$ ,  $r$  και  $d$  είναι παράμετροι της συνάρτησης πυρήνα.

Δύο συναρτήσεις συνήθως χρησιμοποιούνται σήμερα στις λύσεις SVM: η πολυωνυμική και η συνάρτηση ακτινικής βάσης (RBF). Η επιλογή της συνάρτησης πυρήνα, που χρησιμοποιείται για ένα πρόβλημα και οι επιλεγμένες παράμετροι μπορεί να επηρεάσουν την ταχύτητα και την ακρίβεια της ταξινόμησης (Szuster et al, 2011).

Συμπερασματικά, ένας αλγόριθμος SVM κατασκευάζει ένα υπέρ-επίπεδο ή ένα σύνολο υπέρ-επίπεδων σε υψηλούς ή άπειρους χώρους, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση, παλινδρόμηση, ή άλλες εργασίες. Διαισθητικά, ένας καλός διαχωρισμός επιτυγχάνεται από το υπέρ-επίπεδο που έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από το πλησιέστερο σημείο δεδομένων εκπαίδευσης οποιασδήποτε κλάσης, δεδομένου ότι σε γενικές γραμμές όσο μεγαλύτερο το περιθώριο τόσο χαμηλότερο το σφάλμα γενίκευσης του ταξινομητή.

### Αλγόριθμος SVM – RapidMiner

Εφαρμόζει τον SVM ταξινομητή που μοντελοποιήθηκε από τον Chih-Chang Chung και τον Chih-Jen Lin. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος υποστηρίζει τους τύπους SVM C-SVC (Cortes and Vapnik, 1995) και nu-SVC (Scholkopf, 2000) σαν μέθοδο ταξινόμησης, καθώς και epsilon-SVR και nu-SVR για εργασίες παλινδρόμησης.

Ο nu-SVM προτάθηκε από τους Scholkopf et al έχει το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιεί μια παράμετρο nu για τον έλεγχο του αριθμού των φορέων υποστήριξης. Η παράμετρος C στον συνήθη τύπο του SVM αντικαθίσταται από μια παράμετρο nu που περιορίζεται από 0 και 1.

Το πρόβλημα με την παράμετρο C, όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο είναι ότι μπορεί να πάρει οποιαδήποτε θετική αξία και ότι δεν έχει άμεση ερμηνεία.

Είναι συνεπώς δύσκολο να επιλέξουμε σωστά και πρέπει να καταφύγουμε σε διασταυρούμενη επικύρωση ή άμεσο πειραματισμό για να βρούμε μια κατάλληλη αξία.

Η νέα παράμετρος τακτοποίησης nu περιορίζεται μεταξύ 0 και 1 και έχει άμεση ερμηνεία, καθώς αντιπροσωπεύει το κατώτερο και το ανώτερο όριο στον αριθμό των παραδειγμάτων που είναι φορείς στήριξης και που βρίσκονται στην λάθος πλευρά του υπερπληρωμένου, αντίστοιχα. Στα αρνητικά της μεθόδου συγκαταλέγεται η δύσκολη βελτιστοποίηση του runtime σε σχέση με το C-SVM.

Σε αντίθεση με άλλους αλγορίθμους εκπαίδευσης SVM, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος υποστηρίζει ταξινόμηση σε πολλές κλάσεις ( και όχι μόνο δύο) με βάση την κλιμάκωση Platt για κατάλληλες τιμές «εμπιστοσύνης» μετά την εφαρμογή του μοντέλου εκπαίδευσης σε ένα σύνολο δεδομένων. Πρόκειται για τον αλγόριθμο, τον οποίο χρησιμοποιεί η βιβλιοθήκη LIBSVM.



### **LIBSVM: Μία βιβλιοθήκη για SVM**

Η LIBSVM είναι μια βιβλιοθήκη για μηχανήματα διάνυσμα υποστήριξης (SVMs). Το πακέτο αυτό αναπτύχθηκε από το έτος 2000 από τους Chih-Chung Chang και Chih-Jen Lin. Στόχος ήταν να βοηθήσει τους χρήστες στην εύκολη εφαρμογή του SVM στις εφαρμογές τους. Το LIBSVM έχει κερδίσει μεγάλη δημοτικότητα στη μηχανική μάθηση και σε πολλούς άλλους τομείς. (2001).

Μια τυπική χρήση του LIBSVM περιλαμβάνει δύο βήματα: πρώτον, την κατάρτιση ενός συνόλου δεδομένων για τη δόμηση ενός μοντέλου και δεύτερον - χρησιμοποιώντας το μοντέλο- την πρόβλεψη πληροφοριών ενός συνόλου δεδομένων δοκιμών. Για την SVC και SVR, το LIBSVM μπορεί επίσης να εξάγει εκτιμήσεις πιθανότητας. Πολλές επεκτάσεις του LIBSVM είναι διαθέσιμες στο libsvmtools.

Το πακέτο LIBSVM είναι δομημένο ως εξής.

- Κύριος κατάλογος: βασικά προγράμματα C / C ++ και δείγματα δεδομένων, για την υλοποίηση αλγορίθμων κατάρτισης και δοκιμής
- Ο δευτερεύων κατάλογος εργαλείων που περιλαμβάνει εργαλεία για τον έλεγχο των δεδομένων και για την επιλογή παραμέτρων SVM.
- Άλλοι υποκατάλογοι που περιέχουν προ-δομημένα δυαδικά αρχεία και διεπαφές σε άλλες γλώσσες ή σε άλλο λογισμικό.

Οι συναρτήσεις πυρήνα που χρησιμοποιούνται στην SVM, είναι οι 4 βασικές (γραμμική, πολυωνυμική, η συνάρτηση ακτινικής βάσης (RBF) και η σιγμοειδής), αλλά επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα η συνάρτηση να είναι και προσεγγισμένη/ προϋπολογισμένη.

### **Ταξινομήσεις με SVM μοντέλα**

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, διάφορες τεχνικές ταξινόμησης, τόσο παραμετρικές όσο και μη-παραμετρικές, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται στα διαφορετικά περιβάλλοντα ψηφιακής τηλεπισκόπησης. Η ταξινόμηση με χρήση SVM, πρόκειται για μια σχετικά καινούρια τεχνική στην επιστήμη της ψηφιακής τηλεπισκόπησης, καθώς ευρέως ξεκίνησε να χρησιμοποιείται μετά το 2010. Η συγκεκριμένη μέθοδος, απέδωσε αξιολογικά αποτελέσματα, στα διάφορα πειράματα που έλαβαν χώρα, καλύτερα από τα αντίστοιχα των κλασικών μεθόδων ταξινόμησης, ή των ταξινομήσεων με νευρωνικά δίκτυα.

Το SVM μοντέλο ταξινόμησης πρόκειται για μία επιβλεπόμενη ταξινόμηση, η οποία απαιτεί δειγματοληψία. Τα SVM μοντέλα που δημιουργούνται κατόπιν εκπαίδευσης του 70% περίπου των δειγματοληπτικών δεδομένων έχουν μια απλή λειτουργική μορφή και είναι λογικευμένα σε θεωρητικές αναλύσεις. Οι SVM περιλαμβάνουν, ως ειδικές περιπτώσεις, ένα μεγάλο εύρος από νευρωνικά δίκτυα, ακτινικών συναρτήσεων και πολυωνυμικούς ταξινομητές. Σε προβλήματα κατηγοριοποίησης οι SVM μπορούν να χειριστούν στόχους με συνεχόμενο εύρος. Το SVM μοντέλο μαθαίνει την γραμμική αναδρομική συνάρτηση από τα

εισαχθέντα δεδομένα προς εκπαίδευση και ακολούθως γίνεται η αυτόματη κατηγοριοποίηση των νέων «άγνωστων» δεδομένων. Ο SVM αλγόριθμος είναι ένα σύστημα που αναγνωρίζει κατηγορίες από πρότυπα και λέγεται ταξινομητής. Ο ταξινομητής πρώτα εκπαιδεύεται (train) από το 70% - 80% των δεδομένων και στην συνέχεια ταξινομεί αυτόματα τα εναπομείναντα δεδομένα (test). Ο διαχωρισμός των θετικών παραδειγμάτων (κατηγορία 1) και των αρνητικών παραδειγμάτων (κατηγορία -1) επιτυγχάνεται μέσω του καταλληλότερου διαχωριστικού υπερεπιπέδου που επιλέγεται από τον αλγόριθμο SVM στο εκάστοτε πείραμα που πραγματοποιείται.

Η βιβλιογραφία, όπως αναφέρει ο Mountrakis έχει αποδείξει ότι τα SVM μοντέλα δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο μέγεθος του δείγματος εκπαίδευσης, ενώ οι επιστήμονες έχουν καταφέρει με μεταβολές του αλγορίθμου να βελτιώσουν τα SVM μοντέλα ώστε να εφαρμόζονται επιτυχώς σε ταξινομήσεις με χρήση πολυγώνων εκπαίδευσης περιορισμένης ποσότητας και ποιότητας.

Οι SVM αποδείχθηκαν επιτυχημένες μέθοδοι ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων χάρη στην ικανότητά τους να χειρίζονται με επιτυχία μικρά σύνολα δεδομένων κατάρτισης, συχνά δημιουργώντας υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης από τις παραδοσιακές μεθόδους. Η βασική αρχή που ωφελεί τις SVM είναι η διαδικασία εκπαίδευσης που ακολουθεί τη λεγόμενη ελαχιστοποίηση του διαρθρωτικού κινδύνου. Με αυτό το σχήμα, οι SVM ελαχιστοποιούν το σφάλμα ταξινόμησης στα δεδομένα, καθώς δεν απαιτούνται υποθέσεις σχετικά με την κατανομή πιθανότητας τους, ενώ στατιστικές τεχνικές όπως η μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας υποθέτουν συνήθως ότι η κατανομή δεδομένων είναι γνωστή a priori, ακολουθώντας ένα πολυπαραγοντικό κανονικοποιημένο μοντέλο δεδομένων, το οποίο δεν ανταποκρίνεται απαραίτητα στην πραγματικότητα. Ακόμα και αν τα δεδομένα, των οποίων η διάσταση θεωρείται ότι ταιριάζει με τον αριθμό των φασματικών ζωνών, κατανέμονται κανονικά, η υπόθεση ότι η κατανομή μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας μια καμπύλη συνάρτησης (π.χ. την γκαουσιανή) παύει να είναι ρεαλιστική, δεδομένου ότι η συγκέντρωση δεδομένων σε χώρο υψηλότερων διαστάσεων τείνει να είναι στις ουρές/ να ακολουθεί.

Επιπλέον, υπάρχει μια άλλη ενδιαφέρουσα ιδέα που για συμβάλλει στην χρήση SVM μοντέλων. Συχνά περιγράφεται από πολλούς συγγραφείς υπό την έννοια της υπερκατασκευής ή της παραλλαγής μεροληψίας ή ελέγχου της ικανότητας και αφορά την επίτευξη της σωστής ισορροπία μεταξύ της ακρίβειας που επιτυγχάνεται σε ένα δοσμένο πεπερασμένο ποσό προτύπων εκπαίδευσης και της δυνατότητας γενίκευσης σε μη «εκπαιδευμένα» δεδομένα.

Παράλληλα με τα οφέλη που απορρέουν από τη χρήση SVM μοντέλων ταξινόμησης, υπάρχουν και πολλές προκλήσεις. Σχετικά με την εφαρμογή της απαραίτητη κρίνεται η επιλογή του κατάλληλου πυρήνα στον αλγόριθμο. Αν και πολλές επιλογές είναι διαθέσιμες, μερικές από τις λειτουργίες του πυρήνα μπορεί να μην παρέχουν βέλτιστη διαμόρφωση SVM για εφαρμογές τηλεπισκόπησης, καθώς οι εμπειρικές μελέτες δείχνουν ότι η επιλογή διαφορετικών πυρήνων (π.χ. πυρήνας ακτινικής βάσης ή πολυωνυμικός πυρήνας) σε

εφαρμογές τηλεπισκόπησης οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα. Πέρα από τη διαδικασία εφαρμογής μοντέλων SVM ταξινομήσεων, τροχοπέδη στη μαζική εφαρμογή της αποτελούν οι δύσκολες έννοιες που περικλείει.

## 2.8 Αξιολόγηση Ταξινομήσεων

### 2.8.1 Γενικά Στοιχεία

Εφαρμόζοντας οποιαδήποτε αυτοματοποιημένη μέθοδο, είναι αυτονόητο ότι το ζητούμενο είναι η επίτευξη της μέγιστης δυνατής ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Ειδικά στην τηλεπισκόπηση, με την συνεχόμενη βελτίωση της ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων, η εξαγωγή αξιόπιστων και μεγάλης ακρίβειας αποτελεσμάτων αποτελεί πρόκληση για τους ερευνητές. Παραδοσιακά θεωρείται η φωτοερμηνεία ως η πιο αξιόπιστη μέθοδος προσδιορισμού των διαφόρων οντοτήτων σε μία εικόνα και μάλιστα με ακρίβεια 100%. Η παραδοχή αυτή ωστόσο δεν θεωρείται πλέον έγκυρη και αδικεί τις συνεχώς εξελισσόμενες μεθόδους ταξινόμησης (Biging and Congalton, 1989).

Είναι σημαντικό η ακρίβεια της ταξινόμησης να μπορεί να αξιολογηθεί και να αναπαρασταθεί με σαφήνεια. Σύμφωνα με τους Xie et al, έχουν παρατηρηθεί τέσσερα στάδια στις μεθόδους αξιολόγησης της ακρίβειας:

- Οπτική σύγκριση της εικόνας με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Αποτελεί τον απλούστερο τρόπο αξιολόγησης, ωστόσο θεωρείται υποκειμενική και μη ακριβής, εφ' όσον δεν αποτελεί ποσοτική μέθοδο αξιολόγησης.
- Σύγκριση των εκτάσεων των τάξεων που προέκυψαν από την ταξινόμηση με τις αντίστοιχες εκτάσεις στο έδαφος ή δεδομένων επίγειων επαληθεύσεων (ground truth). Θεωρείται περισσότερο αντικειμενική από την προηγούμενη μέθοδο, ωστόσο ενέχει τον κίνδυνο μη ταυτοποίησης των θέσεων εντοπισμού των διαφόρων καλύψεων γης.
- Σύγκριση των ετικετών (τιμών) κλάσεων της ταξινομημένης εικόνας, με τα δεδομένα εδάφους για τις ίδιες θέσεις. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί διάφορα μεγέθη, π.χ. τα ποσοστά των σωστών και εσφαλμένων ταξινομημένων στοιχείων.
- Πίνακας σύγχυσης. Αποτελεί την πλέον ενδεδειγμένη μέθοδο αξιολόγησης. Βάσει της προηγούμενης μεθόδου, κατασκευάζεται ο πίνακας σύγχυσης, ο οποίος χρησιμοποιεί μία ποικιλία μέτρων (π.χ. συνολική ακρίβεια, συντελεστής kappa κλπ) και συσχετίζει την κάθε κλάση με τα δεδομένα αναφοράς.

### 2.8.2 Πίνακας Σύγχυσης

Οι πίνακες σύγχυσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές μηχανικής μάθησης και ειδικότερα του προβλήματος της στατιστικής ταξινόμησης. Πρόκειται για έναν πίνακα συγκεκριμένης διάταξης, τετραγωνικής διάστασης, που επιτρέπει την απεικόνιση της απόδοσης ενός αλγορίθμου, συνήθως επιβλεπόμενης εκπαίδευσης (στην μη επιβλεπόμενη

εκπαίδευση ονομάζεται πίνακας αντιστοιχίας). Κάθε σειρά του πίνακα αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις της προβλεπόμενης κλάσης, ενώ κάθε στήλη αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις της πραγματικής κλάσης (ή αντίστροφα) και κάθε συνδυασμός διαστάσεων και κλάσης είναι μία μεταβλητή στον πίνακα ενδεχομένων (Visa S. et al, 2011). Το όνομα πηγάζει από το γεγονός ότι καθιστά εύκολο να δούμε αν το σύστημα προκαλεί σύγχυση σε δύο κατηγορίες (δηλαδή να ταξινομεί λανθασμένα την μία κλάση ως τη δεύτερη).

### Στοιχεία Πίνακα

Στον πίνακα σύγχυσης, κάθε στοιχείο αντιπροσωπεύει και μία μεταβλητή πιθανότητας. Κάθε ένα στοιχείο έχει τη δική του ερμηνεία όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης. Πιο συγκεκριμένα:

- οι σειρές αντιστοιχούν στις κλάσεις του ground truth (test set)
- οι στήλες αντιστοιχούν στις κλάσεις στο αποτέλεσμα ταξινόμησης (training set).
- τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας, δηλαδή τον αριθμό των εικονοστοιχείων του ground truth, με ένα ορισμένο όνομα κλάσης που το ίδιο όνομα κλάσης κατά την ταξινόμηση.
- Τα εκτός διαγωνίου στοιχεία αντιπροσωπεύουν τα λανθασμένα ταξινομημένα εικονοστοιχεία ή τα σφάλματα κατάταξης, τον αριθμό δηλαδή των εικονοστοιχείων του ground truth, που κατέληξαν σε μια άλλη κλάση κατά την ταξινόμηση.

ο Τα εκτός διαγωνίου στοιχεία στις σειρές του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικονοστοιχεία του ground truth, μιας συγκεκριμένης κατηγορίας τα οποία εξαιρέθηκαν από την κατηγορία αυτή κατά την ταξινόμηση. Τέτοια σφάλματα είναι επίσης γνωστά ως σφάλματα παράλειψης ή αποκλεισμού.

ο Τα εκτός διαγωνίου στοιχεία των στηλών του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικονοστοιχεία του ground truth, άλλων κατηγοριών που συμπεριλήφθηκαν σε μια συγκεκριμένη τάξη ταξινόμησης. Τέτοια σφάλματα είναι επίσης γνωστά ως σφάλματα προμήθειας ή συμπερίληψης.

### 2.8.3 Αξιολόγηση Ακρίβειας

Ο πίνακας σύγχυσης, χρησιμοποιείται συχνά για την οργάνωση και την εμφάνιση των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της ακρίβειας ενός χάρτη κάλυψης γης, ενώ έχουν προταθεί πολυάριθμα μεγέθη αξιολόγησης της ακρίβειας για τη συνοπτική παρουσίαση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτόν τον πίνακα σφαλμάτων. Κανένα μέγεθος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως το καλύτερο καθολικά, καθώς τα μεγέθη που επιλέγονται για την αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης εξαρτώνται από τους στόχους της κάθε εφαρμογής. Συνεπώς, η επιλογή των κατάλληλων μέτρων ακρίβειας που

αφορούν τους στόχους του εκάστοτε έργου χαρτογράφησης είναι κρίσιμη (Stehman, Stephen V., 1997).

Τα πιο διαδεδομένα μεγέθη αξιολόγησης της ακρίβειας, τα οποία προκύπτουν από τα στοιχεία του πίνακα σύγχυσης, είναι τα εξής:

- Ακρίβεια (επίσης γνωστή ως ακρίβεια του παραγωγού): Το μέγεθος που αντιπροσωπεύει την ακρίβεια της ταξινόμησής για την κάθε κλάση. Προκύπτει από τον λόγο των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία της εν λόγω κλάσης του ground truth. Για κάθε κλάση εικονοστοιχείων του ground truth (σειρά), ο αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων διαιρείται με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων του ground truth αυτής της κλάσης.
- Αξιοπιστία (επίσης γνωστή ως ακρίβεια χρήστη): Το μέγεθος που αντιπροσωπεύει την αξιοπιστία της κάθε κλάσης στην ταξινομημένη εικόνα. Πρόκειται για το κλάσμα των σωστά ταξινομημένων pixel σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία που ταξινομούνται σε αυτήν την κατηγορία στην ταξινομημένη εικόνα. Για κάθε κλάση στην ταξινομημένη εικόνα (στήλη), ο αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων διαιρείται με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν σε αυτήν την κατηγορία.
- Η μέση ακρίβεια υπολογίζεται ως το άθροισμα της ακρίβειας όλων των κλάσεων διαιρούμενο με τον αριθμό των κλάσεων του ground truth.
- Η μέση αξιοπιστία υπολογίζεται ως το άθροισμα της αξιοπιστίας όλων των κλάσεων διαιρούμενο με τον αριθμό των κλάσεων του ground truth.
- Η συνολική ακρίβεια υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων (διαγώνιων στοιχείων) διαιρούμενος με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων ελέγχου.

Τα μέτρα ακρίβειας που μπορούν να ερμηνευθούν απευθείας ως πιθανότητες εμφάνισης ορισμένων τύπων σφαλμάτων ταξινόμησης ή ορθών ταξινομήσεων θα πρέπει να επιλέγονται σε σχέση με μέτρα που δεν μπορούν να ερμηνευθούν ως τέτοια. Η ακρίβεια του χρήστη και του παραγωγού για την κάθε κατηγορία της ταξινόμησης καθώς και η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης είναι παραδείγματα μέτρων ακρίβειας, που διαθέτουν την επιθυμητή πιθανολογική ερμηνεία (Stehman, Stephen V., 1997).

Ο συντελεστής συμφωνίας kappa δεν έχει τέτοια πιθανολογική ερμηνεία λόγω της προσαρμογής για την υποθετική τυχαία συμφωνία που ενσωματώνεται σε αυτό το μέτρο και η ισχυρή εξάρτηση του kappa από τις οριακές αναλογίες του πίνακα σφαλμάτων καθιστά την χρησιμότητα του στις συγκρίσεις ύποπτη (Stehman, Stephen V., 1997).

Ακόμη, η κανονικοποίηση ενός πίνακα σφάλματος οδηγεί σε εκτιμήσεις που δεν είναι συνεπείς ως προς τις παραμέτρους ακριβείας του χάρτη που αξιολογείται, με αποτέλεσμα η

διαδικασία αυτή να μην είναι εγγυημένη αναφορικά με τις περισσότερες εφαρμογές (Stehman, Stephen V., 1997).

## 2.9 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Στην παράγραφο αυτή γίνεται μια καταγραφή της υπάρχουσας βιβλιογραφίας που σχετίζεται με τις μεθόδους και τις τεχνικές που αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν σε αυτή τη μεταπτυχιακή εργασία. Η βιβλιογραφία που παρατίθεται αφορά εφαρμογές χαρτογράφησης καλύψεων γης αλλά και καλλιεργειών, καθώς και τηλεπισκοπικές εφαρμογές, που κάνουν χρήση αλγόριθμων ταξινόμησης μηχανικής μάθησης

Οι Inglada et al. (2015) αξιολόγησαν 5 μεθοδολογίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την αυτόματη παραγωγή χαρτών καλλιεργειών σε 12 τοποθεσίες του πλανήτη. Η προσέγγιση βασίστηκε σε επιβλεπόμενες τεχνικές μηχανικής μάθησης, οι οποίες απαιτούν επί τόπου συλλογή δεδομένων για το βήμα της εκπαίδευσης αλλά η παραγωγή χαρτών ήταν πλήρως αυτοματοποιημένη. Χρησιμοποίησαν οπτικά δεδομένα SPOT4 και Landsat 8 σε τέσσερις περιοχές μελέτης στην Ευρώπη, τέσσερις στην Αφρική, δύο στην Αμερική και δύο στην Ασία. Τα πειράματα μεταξύ άλλων συνέκριναν την απόδοση των αλγορίθμων SVM, Decision Trees, GBT και Random Forests για την ταξινόμηση με βάση χαρακτηριστικά από τις φασματικές τιμές των δορυφορικών καναλιών, φασματικούς δείκτες, στατιστικά υψής και χαρακτηριστικά χρονοσειρών. Η ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η εφαρμογή του Random Forests αλγόριθμου σε χρονοσειρές παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα και πιο συγκεκριμένα, συνολική ακρίβεια άνω του 80% για όλες τις περιοχές.

Οι Marais Sicre et al. (2016) πρότειναν μια σχετικά απλή μέθοδο για την έγκαιρη αναγνώριση των θερινών καλλιεργειών με χρήση κατωφλίωσης σε χρονοσειρές NDVI. Η προσέγγιση τους βασίστηκε στη χρήση χρονοσειρών οπτικών δορυφορικών εικόνων Spot και Formosat-2. Μια ενδεδειγμένη ανάλυση της φαινολογίας των θερινών καλλιεργειών, των χειμερινών καλλιεργειών και των βοσκοτόπων προηγήθηκε για την εύρεση των τιμών κατωφλίωσης του NDVI. Τα κατώφλια NDVI χρησιμοποιήθηκαν σε ένα δέντρο απόφασης (decision tree) για την ανίχνευση των καλοκαιρινών καλλιεργειών (Απρίλιος-Ιούνιος). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η χρήση τριών ημερομηνιών αντί για μία αύξησε την ακρίβεια κατά 10% έως 30% ανάλογα με το έτος εξέτασης. Χρησιμοποιώντας τρεις εικόνες που αποκτήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες, η ακρίβεια της ανίχνευσης καλοκαιρινών καλλιεργειών κυμαινόταν από 90% έως 99% ανάλογα με το κλίμα του πρώτου εξαμήνου και την διαθεσιμότητα εικόνας, ανεξαρτήτου αισθητήρα. Η διαθεσιμότητα δεδομένων στις βέλτιστες ημερομηνίες ήταν ζωτικής σημασίας για την επιτυχημένη ανίχνευση

Για τους στόχους που τέθηκαν στην παρούσα εργασία ακολουθήθηκαν κυρίως οι κατευθύνσεις της επόμενης επιστημονικής δημοσίευσης και δύο διπλωματικών εργασιών, που υλοποιήθηκαν στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης ΕΜΠ.

Οι Christina Karakizi, Konstantinos Karantzalos, Maria Vakalopoulou and Georgia Antoniou, το 2018 μελέτησαν τη λεπτομερή χαρτογράφηση κάλυψης γης σε 27 διαφορετικές κατηγορίες

με διαχρονικές πολυφασματικές εικόνας Landsat-8 καθώς επίσης μελέτησαν και την επίδραση της νεφοκάλυψης στην ακρίβεια των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Δυο τεχνικές μηχανικές μάθησης συγκρίθηκαν για την απόδοση τους στη χαρτογράφηση και πιο συγκεκριμένα ένας ταξινομητής SVM και μια αρχιτεκτονική συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNN). Η ταξινόμηση βασίστηκε σε φασματικά χαρακτηριστικά και πιο συγκεκριμένα στα 7 φασματικά κανάλια του Landsat-8 από το Ultra Blue έως το SWIR και σε 4 φασματικούς δείκτες τους: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Normalized Difference Water Index (NDWI) and Normalized Difference Built-up Index. Τα ποσοτικά αποτελέσματα για τη συνολική ακρίβεια ανάμεσα στη ρηχή και βαθιά τεχνική μάθησης διέφεραν λιγότερο από 3%, αλλά ο SVM κρίθηκε ως καταλληλότερος για τέτοιου είδους εφαρμογές καθώς παράγαγε χάρτη με μεγαλύτερη ακρίβεια στα σύνορα των κατηγοριών και η εφαρμογή του συνεπαγόταν σημαντικά μειωμένο υπολογιστικό κόστος σε σχέση με τα CNN. Τα ακριβέστερα αποτελέσματα με συνολική ακρίβεια πάνω από 80% παρήχθησαν για τις ομάδες διαχρονικών δεδομένων με νεφοκάλυψη πάνω από τη στεριά μέχρι 30%.

Μελέτη για την ακρίβεια ταξινόμησης των χρήσεων γης και χρήση του SVM αλγόριθμου ταξινόμησης, παρουσίασε στην πτυχιακή της εργασία και η Αντωνίου Γεωργία. Πραγματοποιώντας τρεις ομάδες πειραμάτων για την περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας με χρήση δορυφορικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης (Sentinel-2) για το έτος 2016 σε 15 διαφορετικές ημερομηνίες. Ο ταξινομητής αξιοποίησε 5 πολυφασματικά κανάλια (Blue, Green, Red, NIR, SWIR) και 5 φασματικούς δείκτες (NDVI, MSAVI, NDWI, NDBI, MNDWI) για κάθε εικόνα/ημερομηνία. Οι κλάσεις που επιλέχθηκαν βασίστηκαν στην ιεραρχία της ονοματολογίας του CORINE, με τις κατάλληλες όμως μεταβολές, ώστε να ανταποκρίνεται με το βέλτιστο τρόπο στην χωρική ακρίβεια των δορυφορικών δεδομένων και του παραγόμενου χάρτη, αλλά και στις υπάρχουσες εδαφοκαλύψεις στην περιοχή μελέτης. Συμπερασματικά προέκυψε ότι πρώτον η εισαγωγή περισσότερης πληροφορίας (περισσότερες ημερομηνίες/εικόνες) αυξάνει σημαντικά την ακρίβεια του αποτελέσματος και δεύτερον ότι ο συγκεκριμένος ταξινομητής με χρήση 10 φασματικών χαρακτηριστικών μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά εικόνες χαμηλής συννεφοκάλυψης, επιτυγχάνοντας υψηλά ποσοστά ακρίβειας ταξινόμησης.

Πιο συγκεκριμένα για την πρώτη ομάδα πειραμάτων η συνολική ακρίβεια κυμάνθηκε μεταξύ 68-79% και ο δείκτης Kappa μεταξύ 67-79%, για τη δεύτερη ομάδα πειραμάτων η συνολική ακρίβεια κυμάνθηκε μεταξύ 84-87% και ο δείκτης Kappa μεταξύ 83-87% και τέλος για την τρίτη ομάδα πειραμάτων η συνολική ακρίβεια παρουσίασε ποσοστά 87-93% και ο δείκτης Kappa αντίστοιχα παρουσίασε ποσοστά 86-92%.

Χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, σε γλώσσα προγραμματισμού Python 2.7 με σκοπό τη μελέτη για την ακρίβεια ταξινόμησης των χρήσεων γης και χρήση του SVM αλγόριθμου ταξινόμησης, παρουσίασε στην πτυχιακή της εργασία και η Γούναρη Ολυμπία. Για τη δημιουργία των δεδομένων αναφοράς (εκπαίδευσης και ελέγχου) χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμα δορυφορικά, εναέρια και άλλα βοηθητικά δεδομένα κατά τη φωτοερμηνεία

καθώς και γεωχωρικά δεδομένα του ΟΠΕΚΕΠΕ σχετικά με τα είδη των καλλιεργειών. Πραγματοποιήθηκαν πολλαπλοί πειραματισμοί με δύο αλγορίθμους μηχανικής μάθησης (SVM και RANDOM FOREST). Τα αποτελέσματα και η ποσοτική αξιολόγηση σε όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν συμφωνούν σε γενικές γραμμές με τη σχετική βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, η συνολική ακρίβεια των ταξινομήσεων κυμάνθηκε σε επίπεδα άνω του 90% με αντίστοιχο συντελεστή kappa άνω του 0.92. Η δημιουργία επιπλέον ενιαίου μοντέλου πρόβλεψης για διαφορετικά tiles είναι ελπιδοφόρα και δίνει ισχυρό κίνητρο για συνέχιση της έρευνας προς την κατεύθυνση αυτή.



## 3 ΓΕΩΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ

### 3.1 Συλλογή Δεδομένων

#### 3.1.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τις Περιφερειακές Ενότητες Καρδίτσας και Τρικάλων και είναι συνολικής έκτασης περίπου 6,024 km<sup>2</sup>. Γεωγραφικά βρίσκεται στην Κεντρική Ελλάδα και καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα του Θεσσαλικού κάμπου.



Σχήμα 10: Χάρτης περιοχής μελέτης (Νομοί Καρδίτσας και Τρικάλων).

#### Γεωγραφία – Δημογραφία Π.Ε. Καρδίτσας

Η Π.Ε. Καρδίτσας περιλαμβάνει τους Καλλικρατικούς Δήμους Αργιθέας, Καρδίτσας, Λίμνης Πλαστήρα, Μουζακίου, Παλαμά και Σοφάδων, καταλαμβάνει έκταση 2.576 km<sup>2</sup> και έχει πληθυσμό 113.070 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Γεωγραφικά και Διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Πρωτεύουσα της Π.Ε. είναι η ομώνυμη πόλη της Καρδίτσας με πληθυσμό 32.031 κατοίκους. Ο πρώην Νομός Καρδίτσας συστάθηκε το 1944 (ΦΕΚ Α΄ 82/1944), αποτελώντας μετεξέλιξη της Επαρχίας Καρδίτσας, που μέχρι τότε υπαγόταν στον Νομό Τρικάλων.

Η Π.Ε. Καρδίτσας βρίσκεται στη νοτιοδυτική Θεσσαλία και δεν βρέχεται από θάλασσα. Η ανατολική πλευρά της καταλαμβάνει μέρος του μεγάλου Θεσσαλικού κάμπου, ενώ στη δυτική κυριαρχούν τα μεγαλόπρεπα Άγραφα με τις πανύψηλες κορυφές τους να αγγίζουν τον ουρανό. Στο μέσον περίπου της περιφερειακής ενότητας, βρίσκεται η λίμνη Πλαστήρα με το ομώνυμο φράγμα, έμπνευση του Καρδιτσιώτη πολιτικού και στρατιωτικού Νικολάου Πλαστήρα. Πολλά ρέματα και μικρά ποτάμια διαρρέουν τον κάμπο (Καράμπαλης, Καλέντζης, Φαρσαλιώτης, Σοφαδίτικος), με κυριότερο τον παραπόταμο του Πηνειού Ενιπέα.

Η Π.Ε. Καρδίτσας συνορεύει με την Π.Ε. Τρικάλων στα βόρεια, την Π.Ε. Λάρισας στα ανατολικά, την Π.Ε. Φθιώτιδος στα νοτιοανατολικά, την Π.Ε. Ευρυτανίας στα νότια, την Π.Ε. Άρτας στα δυτικά και ένα ελάχιστο κομμάτι με την Π.Ε. Αιτωλοακαρνανίας στα νοτιοδυτικά.

Το κλίμα της Π.Ε. είναι κλασικό ηπειρωτικό, με δριμείς υγρούς χειμώνες, αλλά θερμά, ξηρά καλοκαίρια με αρκετή ηλιοφάνεια.



Σχήμα 11: Ανάγλυφος χάρτης περιοχής μελέτης.

### Γεωγραφία – Δημογραφία Π.Ε. Τρικάλων

Η Π.Ε. Τρικάλων περιλαμβάνει τους Καλλικρατικούς Δήμους Καλαμπάκας, Πύλης, Τρικκαίων και Φαρκαδόνας. Καταλαμβάνει έκταση 3.376. km<sup>2</sup>, από τα οποία το 72% είναι ορεινό, το 11% ημιορεινό και το 17% πεδινό. Έχει πληθυσμό 156.585 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Γεωγραφικά και Διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Πρωτεύουσα της Π.Ε. είναι η ομώνυμη πόλη των Τρικάλων με πληθυσμό 61.653 κατοίκους.

Η Π.Ε. Τρικάλων είναι η δεύτερη σε έκταση και η τρίτη σε πληθυσμό από τις πέντε περιφερειακές ενότητες της Θεσσαλίας. Κατέχει το βορειοδυτικό τμήμα της Θεσσαλίας και συνορεύει με τις Π.Ε. Γρεβενών (βόρεια), Λάρισας (ανατολικά), Καρδίτσας (νότια), Άρτας και Ιωαννίνων (δυτικά).

Η Π.Ε. Τρικάλων είναι η περισσότερο ορεινή της Θεσσαλίας και περιβάλλεται στις τρεις πλευρές της από βουνά. Στα ανατολικά υψώνεται ο Τίτανος (693 μ.) και τα βουνά του Ζάρκου, που τη διαχωρίζουν από την Π.Ε. Λάρισας. Βόρεια βρίσκονται τα Αντιχάσια, με ψηλότερες κορυφές την Οξυά (1.416 μ.) και τα Μετερίζια (1.381 μ.) Βόρεια, στα σύνορα με την Π.Ε. Γρεβενών, βρίσκονται τα Χάσια (ψηλότερες κορυφές Κράτσοβο 1.554 μ. και Ορθοβούνι 1.106 μ.) και δυτικά υπάρχει ο ορεινός όγκος της Νότιας Πίνδου, που καταλαμβάνει αρκετά μεγάλο τμήμα της περιφερειακής ενότητας. Συγκεκριμένα, στα σύνορα με την Π.Ε. Ιωαννίνων υψώνονται οι κορυφές Άσπρα Λιθάρια (1.823 μ.) και Κατάρα (1.705 μ.). (Διαμέσου αυτής γίνεται η επικοινωνία μεταξύ Θεσσαλίας και Ηπείρου). Νοτιότερα βρίσκονται τα βουνά Λάκμος (Περιστέρι 2.295 μ.) και Τζουμέρκα (2.429 μ.).

Τα βασικά ποτάμια της Π.Ε. Τρικάλων είναι είτε παραπόταμοι του Πηνειού (Μαλακασιώτης, Μουργκάνης, Ληθαίος, Παλαιοχωρίτης, Αγιαμονιώτης, Νεοχωρίτικος, Πορταϊκός), είτε παραπόταμοι του Αχελώου ή Ασπροπόταμου. Ας σημειωθεί ότι οι δύο μεγάλοι αυτοί ποταμοί πηγάζουν ουσιαστικά από το ίδιο το σημείο, στο ΒΔ άκρο της περιφερειακής ενότητας, από όπου πηγάζουν επίσης ο Αώος και ο Άραχθος.

Το κλίμα της Π.Ε. Τρικάλων είναι ηπειρωτικό, με δριμύ κρύο το χειμώνα και εξαιρετικά ζεστό καλοκαίρι. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 16-17 C στα πεδινά και χαμηλότερη στα ορεινά.

### **Ο Θεσσαλικός κάμπος – Είδη Καλλιέργειών**

Στην τριτογενή περίοδο πριν από 25-30 εκατομμύρια χρόνια μετά από γεωλογικές μεταβολές που συνέβησαν κατά τη διάρκεια των αιώνων, ανυψώθηκε το κεντρικό τμήμα της σημερινής Ελλάδος και βυθίστηκε η περιοχή της Θεσσαλίας, η οποία αποτέλεσε μία λίμνη. Αργότερα δημιουργήθηκε το άνοιγμα των Τεμπών, με αποτέλεσμα τα νερά να χυθούν στο σημερινό Αιγαίο και να αποκαλυφθεί ο Θεσσαλικός κάμπος.

Τα πετρώματα από τα οποία δομείται η περιοχή, από τα νεότερα προς τα παλαιότερα, είναι γενικά πρόσφατοι ολοκαινικοί και παλαιότεροι πλειστοκαινικοί ποτάμιοι σχηματισμοί, λιμναία ιζήματα του τριτογενούς (νεογενή και παλαιογενή), μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι με σερπεντίνες και τέλος το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο από γνεύσιους, σχιστόλιθους και μάρμαρα.

Στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας υπάρχουν κοιτάσματα χρωμίτη, μεταλλεύματα μεικτά θειούχα, σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, σφαλερίτης, χαλκού, νικελίου και σιδήρου, εμφανίσεις ιλμενίτη, αμιάντος, λιγνίτης, ενώ εξορύσσεται ποικιλόχρωμο μάρμαρο.

Ο Θεσσαλικός κάμπος σήμερα αποτελεί την μεγαλύτερη πεδιάδα της Ελληνικής Επικράτειας και θεωρείται ο σημαντικότερος σιτοβολώνας της χώρας. Διαρρέεται στον άξονα Ανατολή-Δύση από τον ποταμό Πηνειό και αποτελεί μία πολύ παραγωγική περιοχή σε γεωργικά προϊόντα πρώτης ύλης βιομηχανικής παραγωγής.

Στον Θεσσαλικό κάμπο συναντάμε καλλιέργειες όπως τα ποτιστικά βαμβάκι, καλαμπόκι, ντομάτα, τεύτλα, τα ξηρικά βίκο, μπιζέλι, τριφύλλι, όσπρια, φακές, ρεβίθι και τα ακρόδρυα δεντρά, καρυδιά, αμυγδαλιά και φιστικιά (κοινώς Αιγίνης), οι οποίες έχουν αυξημένη δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια μαζί με τα αρωματικά Γκότζι Μπέρι, Σμέουρο, αρώνια.

### 3.1.2 Δορυφορικά Δεδομένα

Οι πολυφασματικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, λήφθηκαν από την πλατφόρμα Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>), όπου η E.S.A. (European Space Agency) διανέμει ελεύθερα δορυφορικά δεδομένα. Ειδικότερα, οι εικόνες προέρχονται από το δορυφόρο Sentinel-2 και απεικονίζουν περιοχή που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.1, και συγκεκριμένα τμήμα του tile 34SEJ.

Συγκεκριμένα έγινε λήψη των εικόνων με νεφοκάλυψη κάτω από 30% για τις 2 χρονιές. Οι τελικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν με το κριτήριο να παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, η οποία είναι ένα υπο-τμήμα του tile, κατά το δυνατόν καθαρή από σύννεφα ενώ παράλληλα να διασφαλίζεται η ενσωμάτωση εικόνων από κάθε εποχή του χρόνου. Ιδιαίτερα χρήσιμη θεωρείται η χρήση εικόνων από τους καλοκαιρινούς μήνες για το διαχωρισμό των καλλιεργειών. Οι παραπάνω κανόνες ικανοποιούνται για τα δύο έτη 2016 και 2017 για τις ημερομηνίες που παρουσιάζονται στους πίνακες 6 και 7.

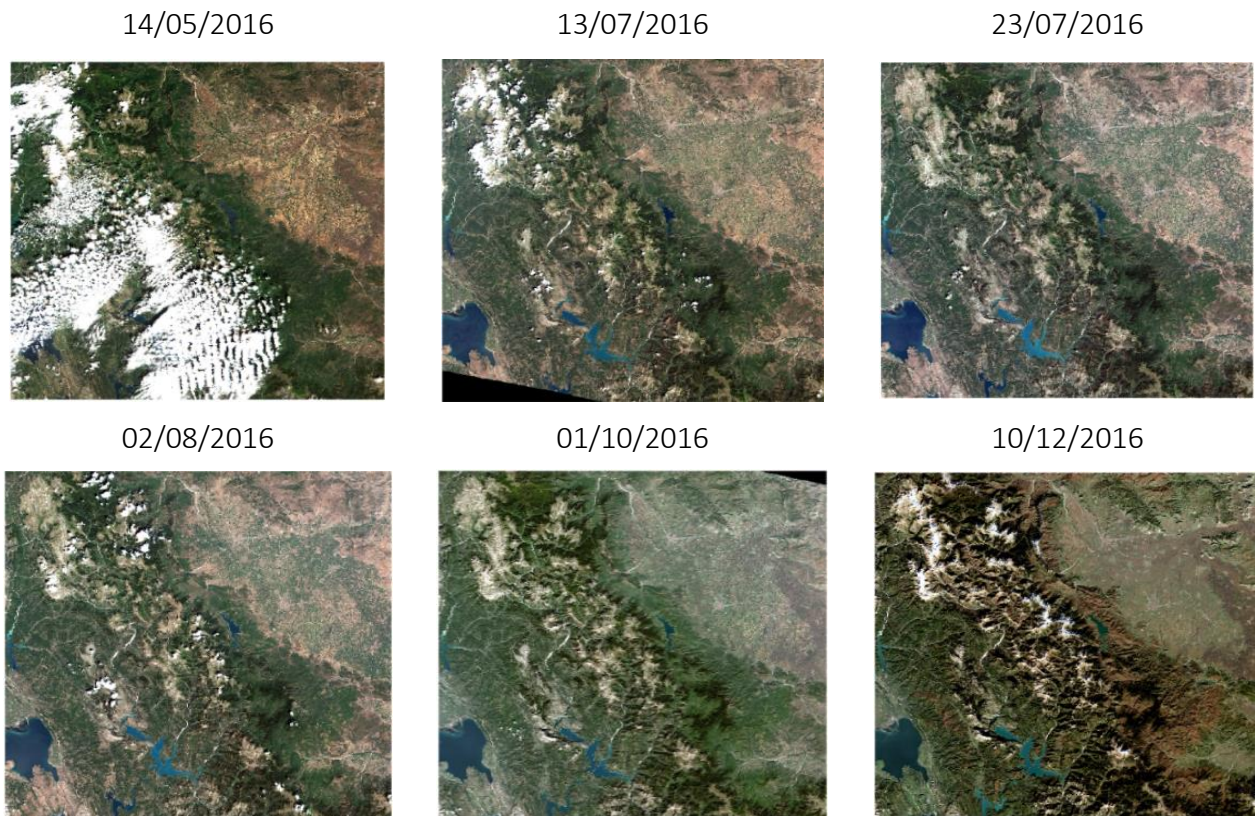
### 3.1.3 Επιλογή των Καναλιών του Sentinel-2 και των Δεικτών

Ο δορυφόρος Sentinel-2, προσφέρει πολλαπλά φασματικά δεδομένα (13 κανάλια) και έτσι η χωρική ανάλυση των καναλιών, καθώς και οι ανάγκες ως προς την φασματική πληροφορία για τη διεξαγωγή του πειράματος, ήταν τα στοιχεία αυτά που οδήγησαν στην επιλογή υποσυνόλου τους. Παράλληλα η επιλογή των καναλιών βασίστηκε και σε παρόμοια πειράματα πρόσφατων εργασιών (Karakizi et al. 2018, Αντωνίου 2018, Γούναρη 2018). Καθώς υπήρχε η ανάγκη για δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, επιλέχθηκαν τα κανάλια, που διαθέτουν την υψηλότερη χωρική ανάλυση (10m).

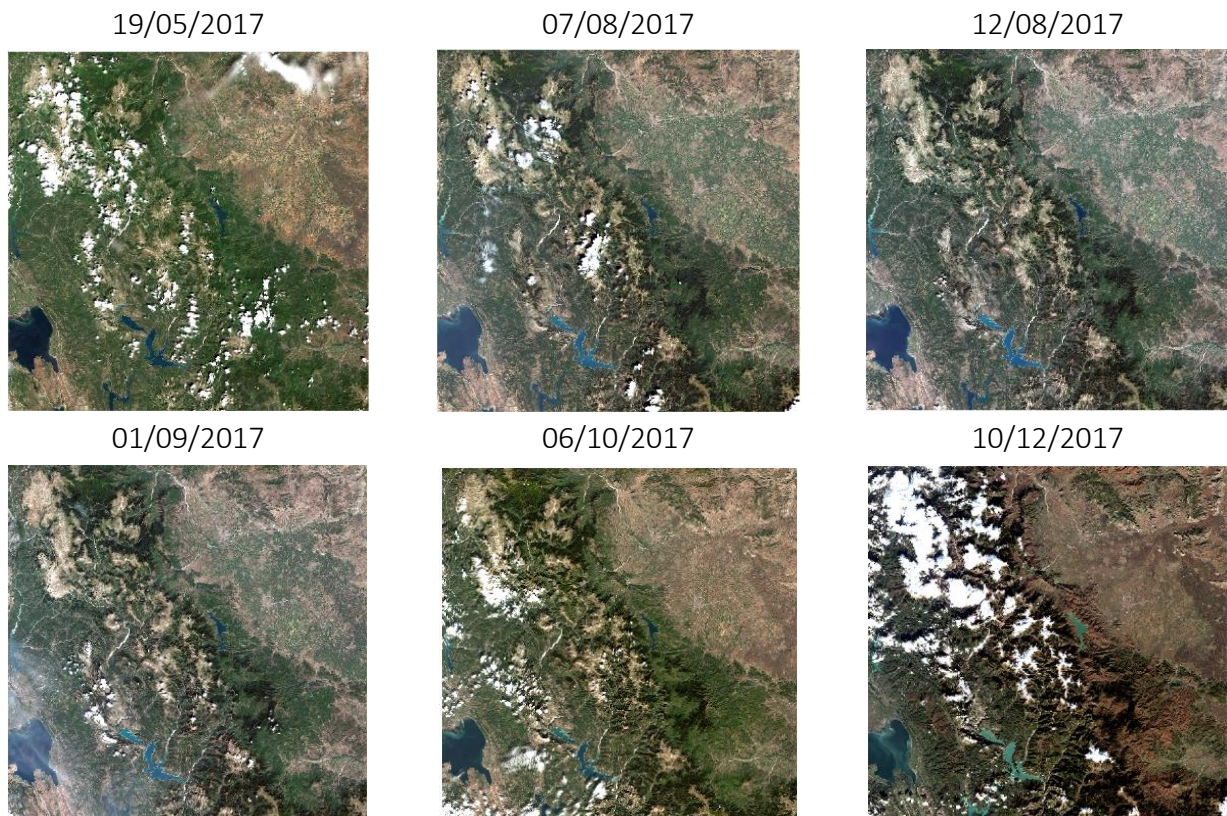
Έτσι, λοιπόν, χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια 2 (RED), 3 (BLUE), 4 (GREEN), και 8(NIR). Τα συγκεκριμένα κανάλια, μας προσφέρουν πληροφορία για το ορατό και το υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Αναγκαία, όμως, κρίνεται και η πληροφορία, που αφορά το μικροκυματικό τμήμα του φάσματος. Για αυτό επιλέγεται και το κανάλι 11, το οποίο όμως, διαθέτει χαμηλότερη χωρική ανάλυση (20m), από τα άλλα κανάλια.

Καθώς σκοπός των πειραμάτων είναι η επίτευξη της μέγιστης δυνατής ακρίβειας διαχωρισμού των κατηγοριών υπό εξέταση, κρίθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθούν και ορισμένοι δείκτες, που θα οδηγήσουν στην παροχή περισσότερης πληροφορίας, ικανής να αναδείξει συγκεκριμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, των εκάστοτε καλύψεων γης.

Πίνακας 6: Εικόνες δορυφόρου SENTINEL-2, έξι διαφορετικών ημερομηνιών, για το έτος 2016.



Πίνακας 7: Εικόνες δορυφόρου SENTINEL-2, έξι διαφορετικών ημερομηνιών, για το έτος 2017.



Ο γενικός κανόνας είναι πως οι δείκτες ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών φασματικής ενίσχυσης και προκύπτουν μετά από μαθηματικές πράξεις μεταξύ των φασματικών καναλιών της ίδιας εικόνας ή διαφορετικών εικόνων. Καθώς οι πράξεις που μπορούν να εφαρμοσθούν, απλές και σύνθετες, με συνδυασμό καναλιών, είναι πολυάριθμες, έτσι και οι δείκτες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είναι αναρίθμητοι. Στην ερευνά μας για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν δείκτες, ενίσχυσης συγκεκριμένων καλύψεων (βλάστηση, νερό κ.ά.) και είναι συγκεκριμένοι οι Δείκτες Βλάστησης *NDVI* και *MSAVI*, ο Δείκτης Νερού *NDWI* και τέλος ο Δείκτης Οικιστικής Ανάπτυξης *NDBI* (Κεφάλαιο 2.6).

## 3.2 Προεπεξεργασίες Δεδομένων

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι διαδικασίες της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, της βελτίωσης της χωρικής ανάλυσης, η κανονικοποίηση των φασματικών τιμών και ο υπολογισμός δεικτών στις εικόνες, απαραίτητες προεπεξεργασίες πριν την εφαρμογή της κυρίως μεθοδολογίας, όπως φαίνεται στο σχήμα.

### 3.2.1 Ατμοσφαιρική διόρθωση εικόνων

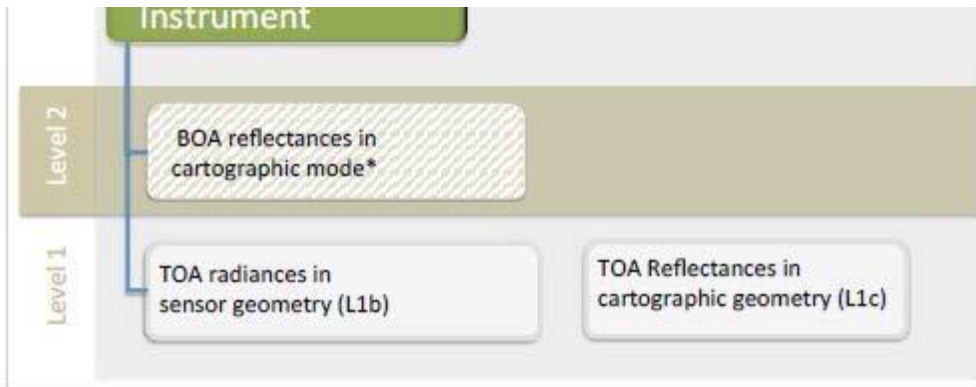
Κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση διενεργούνται οι απαραίτητες, πριν την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, διορθώσεις ώστε να εξαλειφθεί η αλλοίωση που προκαλεί στην ακτινοβολία η επίδραση της ατμόσφαιρας, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του στόχου και του δέκτη.

Η επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται σε μια επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα μέρος της ακτινοβολίας να σκεδαστεί, να απορροφηθεί ένα άλλο και το υπόλοιπο να φτάσει στο δορυφορικό αισθητήρα. Η επιφάνεια του εδάφους δεν δέχεται όμως μόνο την άμεση ακτινοβολία του ήλιου, αλλά και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα πριν αυτή φτάσει στο έδαφος. Η διάχυτη ακτινοβολία φτάνει στον δορυφορικό αισθητήρα είτε κατευθείαν από την ατμόσφαιρα, είτε ανακλώμενη στην επιφάνεια του εδάφους και σε νέφη ως ακτινοβολία διαδρομής. Η ακτινοβολία που φτάνει στο δορυφορικό αισθητήρα, αποτελεί το άθροισμα όλων των παραπάνω συνιστωσών.

Ουσιαστικά η διόρθωση αυτή αποσκοπεί στη παραγωγή εικόνων ανακλαστικότητας (*reflectance*), με αφαίρεση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας επί της καταγεγραμμένης έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας, από την οποία προκύπτει η πρωτογενής εικόνα του δορυφόρου.

Οι εικόνες που παρέχει η ESA στον χρήστη μέσω της πλατφόρμας μπορούν πλέον να βρεθούν σε δύο επίπεδα επεξεργασίας στο Level 1C ή στο Level 2A (για περιορισμένα tiles), τα οποία φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Στο επίπεδο L1C έχει προηγηθεί γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση, ώστε το προϊόν αποτελεί μια ορθοεικόνα σε σύστημα προβολής

UTM/WGS84, καλύπτει έκταση 100x100 χλμ<sup>2</sup> και έχει όγκο περίπου 600 MB. Στο επίπεδο L2C έχουν πραγματοποιηθεί και οι απαραίτητες ατμοσφαιρικές διορθώσεις.



Σχήμα 12: Τύποι προϊόντων Sentinel-2. (Πηγή: <http://m.esa.int/ESA>)

Την χρονική περίοδο κατά την οποία ξεκίνησε η προεπεξεργασία των εικόνων της παρούσας εργασίας, δεν παρέχονταν ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες από την E.S.A.. Προς διευκόλυνση των χρηστών όμως δίνεται ελεύθερα ο αλγόριθμος Sen2Cor, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Έτσι, το πρώτο στάδιο της προεπεξεργασίας των εικόνων είναι οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Το στάδιο αυτό υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του αλγορίθμου Sen2Cor 2.3.1. και το αυτόματο software για την ατμοσφαιρική διόρθωση από: <https://github.com/alekfal/Auto-Sen2Cor>.

Ο αλγόριθμος Sen2Cor βασίζεται στο αριθμητικό μοντέλο ATCOR (Atmospheric and Topographic Correction), το οποίο ανήκει στις απόλυτες ατμοσφαιρικές διορθώσεις, είναι πολύπλοκο, αλλά παρέχει μεγάλη ακρίβεια στην μετατροπή των τιμών ανακλαστικότητας από την επιφάνεια της ατμόσφαιρας (Top of Atmosphere, TOA) στην επιφάνεια της Γης (Bottom of Atmosphere, BOA) ή αλλιώς σε τιμές ανάκλασης εδάφους (Surface Reflectance). Περιγράφει με μαθηματικό μοντέλο τη συμπεριφορά της ακτινοβολίας κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα και την αλληλεπίδρασή της με τα μόρια και τα σωματίδια του αέρα, προβαίνει στην απαλοιφή των ατμοσφαιρικών επιδράσεων εξαιτίας της απορρόφησης και σκέδασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και διαχειρίζεται δύσκολες ατμοσφαιρικές συνθήκες όπως για παράδειγμα την ύπαρξη νεφοκάλυψης (Περάκης, 2015).

### 3.2.2 Βελτίωση Χωρικής Ανάλυσης

Η βελτίωση της χωρικής ανάλυσης της εικόνας στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας κρίνεται απαραίτητη, καθώς ορισμένα κανάλια Sentinel-2 που πρόκειται να αξιοποιηθούν για την μεθοδολογία ταξινόμησης παρέχονται σε ανάλυση 10m και άλλα σε ανάλυση 20m. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε από τα κανάλια των 20m ανάλυσης το κανάλι 11 που αντιστοιχεί στο Μικροκυματικό Υπέρυθρο- SWIR. Για τη χρήση του λοιπόν, είναι απαραίτητη η μετατροπή της χωρικής ανάλυσής του στα 10m, για όλες τις εικόνες, διαφορετικών ημερομηνιών που χρησιμοποιήθηκαν. Η μετατροπή αυτή επιτυγχάνεται

εύκολα στο περιβάλλον του QGIS, μέσα από το «Warp» (Raster->Projections->Warp), χρησιμοποιώντας την μέθοδο «Near».

### 3.2.3 Συλλογή Δεδομένων Εκπαίδευσης

Η επιλογή επαρκούς αριθμού δειγμάτων εκπαίδευσης και δειγμάτων ελέγχου, καθώς και η αντιπροσωπευτικότητά τους, είναι πολύ κρίσιμη για τη σωστή ταξινόμηση (Lu and Weng, 2007). Για την παρούσα εργασία συλλέχθηκε ένας μεγάλος αριθμός εικονοστοιχείων, όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά για κάθε κατηγορία, ώστε ένα ποσοστό από αυτά να χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα εκπαίδευσης του αλγορίθμου (70%) και τα υπόλοιπα σαν δεδομένα ελέγχου αργότερα (30%).

Τα πολύγωνα για τις γενικές κατηγορίες κάλυψης γης προήλθαν από τις βάσεις δεδομένων του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα από ψηφιοποιημένα δεδομένα για το 2016 από τις εργασίες της Υποψηφίου Διδάκτορος Χριστίνας Καρακίζη και εργασίας του μαθήματος Θέματος του φοιτητή Γιάννη Τσιώτα. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγινε ενδελεχής έλεγχος των πολυγώνων αυτών για την προβολή, τροποποίηση και χρήση τους για το έτος 2017. Επίσης, για την δημιουργία δεδομένων αναφοράς για τις πολυάριθμες καλλιέργειες της περιοχής στα έτη 2016 και 2017 διενεργήθηκε επιστάμενη εργασία φωτοερμηνείας και ψηφιοποίησης των πολυγώνων.

### 3.2.4 Διαδικασία Συλλογής Ground Truth

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανάδειξη διαφορετικών καλύψεων γης, που φασματικά όμως θα πρέπει να εμφανίζουν διαφοροποιήσεις, διότι αλλιώς δεν θα είναι διακριτές στη διαδικασία της ταξινόμησης. Ο ταξινομητής στον οποίο τα δεδομένα εισάγονται, συγκρίνει pixel προς pixel τις πολυφασματικές εικόνες με τα δεδομένα εκπαίδευσης. Συνεπώς, δεν έχει σημασία για τον ταξινομητή το μέγεθος των πολυγώνων εκπαίδευσης, αλλά ο αριθμός των συνολικών pixel, που θα αποτελούν την κάθε κατηγορία. Απαλλαγμένοι, λοιπόν, από συμβάσεις μεγέθους πολυγώνων εκπαίδευσης, ψηφιοποιήσαμε πολύγωνα εκπαίδευσης διαφορετικού εμβαδού.

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων αναφοράς ή αλλιώς του ground truth, αποτέλεσε μία επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, καθώς χρειάστηκε μεγάλο χρονικό διάστημα για την καταγραφή τους. Αφού αποφασίστηκαν οι κατηγορίες της ταξινόμησης, επιλέχθηκε αρχικά το επίπεδο λεπτομέρειας με βάση το οποίο θα σχεδιάζονταν τα πολύγωνα εκπαίδευσης.

Έχοντας υπόψη ότι όσο περισσότερο ground truth συλλέξουμε, τόσο πιο επιτυχημένη θα είναι και η ταξινόμηση, καθώς θα επιτευχθεί πιο καλή αναπαράσταση των στατιστικών στοιχείων της κάθε φασματικής κατηγορίας (Αργιαλάς, 1999) έγινε προσπάθεια συλλογής πολυπληθούς ground truth. Το ground truth δημιουργήθηκε με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε οι καλύψεις γης που απαντώνται σε μεγαλύτερη έκταση στην περιοχή μελέτης, να διαθέτουν αντίστοιχα και περισσότερο ground truth.

Για να εντοπιστούν οι διάφορες κατηγορίες κάλυψης γης, εφαρμόστηκε φωτοερμηνεία στις πολυφασματικές εικόνες και επικουρικά χρησιμοποιήθηκε το υπόβαθρο του CORINE.



Χρησιμοποιήθηκαν 4 πολυφασματικές εικόνες, διαφορετικών εποχών (μία για την άνοιξη, μία για το καλοκαίρι, μία για το φθινόπωρο και μία για τον χειμώνα). Όπως αναφέρει ο Αργιαλάς (1999), η διαχρονική αναγνώριση προτύπων χρησιμοποιεί τον χρόνο ως ένα βοήθημα στην αναγνώριση των αντικειμένων. Οι διαχρονικές εικόνες, βοηθούν στην συλλογή δεδομένων εκπαίδευσης καλλιεργειών και φυσικής βλάστησης, καθώς οι διάφοροι τύποι φυτοκάλυψης εμφανίζουν διαφοροποιήσεις από εποχή σε εποχή και είναι δυνατόν να διακριθούν με βάση αυτές.

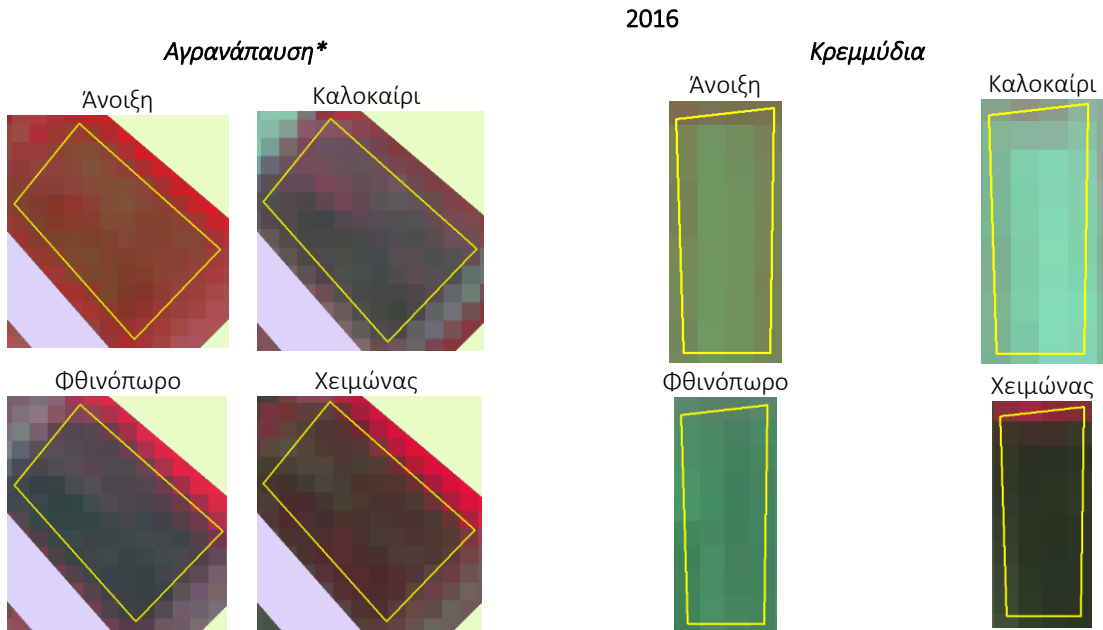
Καθώς οι εικόνες του Sentinel-2, έχουν διακριτική ικανότητα ίση με 10m, δεν είναι εύκολη η φωτοερμηνεία σε αυτό το επίπεδο. Συνεπώς, χρησιμοποιήθηκε και το επίπεδο του Google Earth, πάνω στο οποίο ουσιαστικά έγινε η φωτοερμηνεία. Επειδή υπάρχουν μικρομετακινήσεις ανάμεσα στις εικόνες του Sentinel-2 και στο επίπεδο του Google Earth, οι ψηφιοποιήσεις έγιναν αυστηρά στις πολυφασματικές εικόνες. Ακόμη, καθώς οι εικόνες και το υπόβαθρο του Google Earth, προέρχονται από διαφορετικές ημερομηνίες, κατά τη συλλογή του ground truth, γινόταν εποπτικός έλεγχος για να διαπιστωθεί εάν το αντικείμενο που εμφανίζεται στο Google Earth, ανήκει στην ίδια εδαφοκάλυψη με αυτό των πολυφασματικών εικόνων του Sentinel-2. Ακόμη, χρήσιμο αναδείχθηκε το εργαλείο ρυθμιστικό χρόνου του Google Earth, καθώς μέσα από αυτό ήταν δυνατή η περιήγηση σε διαφορετικές ημερομηνίες. Για την αναγνώριση και το διαχωρισμό των καλύψεων γης χρησιμοποιήθηκαν τα φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά κάθε κλάσης. Με την έννοια φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά, εννοούνται όλα τα βασικά ακριβή χαρακτηριστικά των απεικονιζόμενων αντικειμένων, που –αναλόγως το πεδίο της εφαρμογή- είναι χρήσιμα για την αναγνώριση τους. Τα βασικά φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά είναι το σχήμα, το μέγεθος, το πρότυπο, ο τόνος (ή απόχρωση), η υφή, η σκιά, η τοποθεσία και η χωρική διάταξη (Αργιαλάς, 1999).

### 3.2.5 Καλλιέργειες στη περιοχή μελέτης

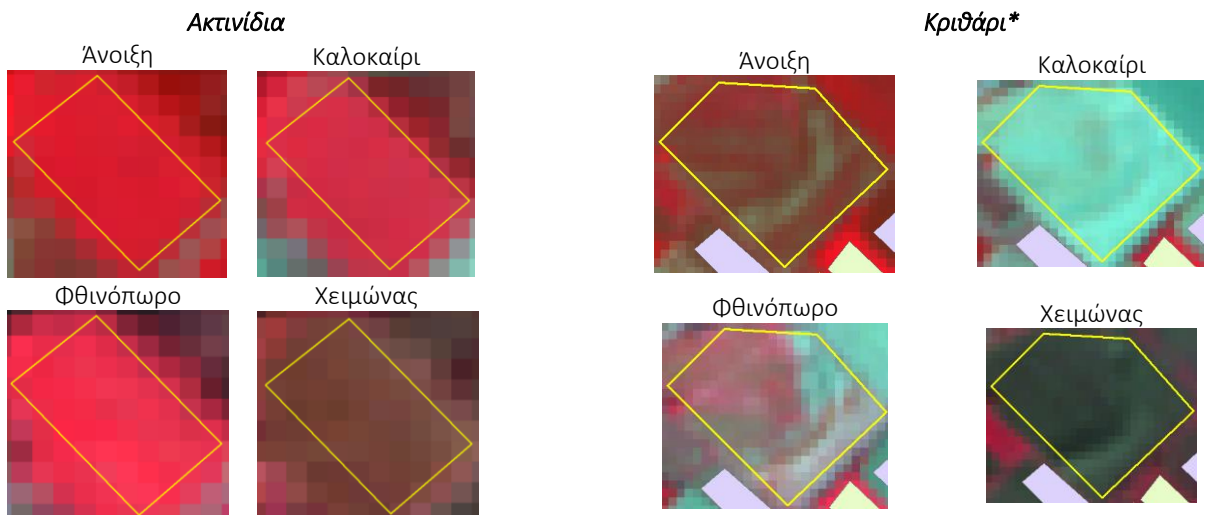
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλες οι καλλιέργειες με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ για τα έτη 2016 και 2017 στην περιοχή μελέτης με παραδείγματα πάνω στις δορυφορικές Sentinel-2 και συγκεκριμένα σε ψευδέγχρωμο σύνθετο RGB – 432 με σκοπό την ανάδειξη της βλάστησης για τις τέσσερις εποχές. Πιο συγκεκριμένα η παραγωγή Σύνθετης Εικόνας NRG = RGB αποτελεί τον πιο κοινό συνδυασμό καναλιών που κάνει τη βλάστηση να εμφανίζεται με αποχρώσεις του κόκκινου, επειδή η βλάστηση ανακλά έντονα στο εγγύς υπέρυθρο. Το εντονότερο κόκκινο αντιστοιχίζεται σε υγιή εύρωστη βλάστηση.

Εδάφη με μικρή ή καθόλου βλάστηση κυμαίνονται από το λευκό (για την άμμο) με πράσινα και καφέ, ανάλογα με την υγρασία και το περιεχόμενο της οργανικής ύλης. Το νερό κυμαίνεται από μπλε σε μαύρο. Το διαυγές, βαθύ νερό είναι σκοτεινό, και νερά φορτωμένα με ιζήματα ή ρηγά νερά εμφανίζεται φωτεινότερα. Οι αστικές περιοχές φαίνονται μπλε-γκρι και τέλος τα σύννεφα και το χιόνι λευκά. Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται αναφορά και παρουσίαση στις καλλιέργειες που απαντήθηκαν για το κάθε έτος καθώς και ο σχολιασμός εκείνων με ιδιαίτερη συμπεριφορά και σημασία.

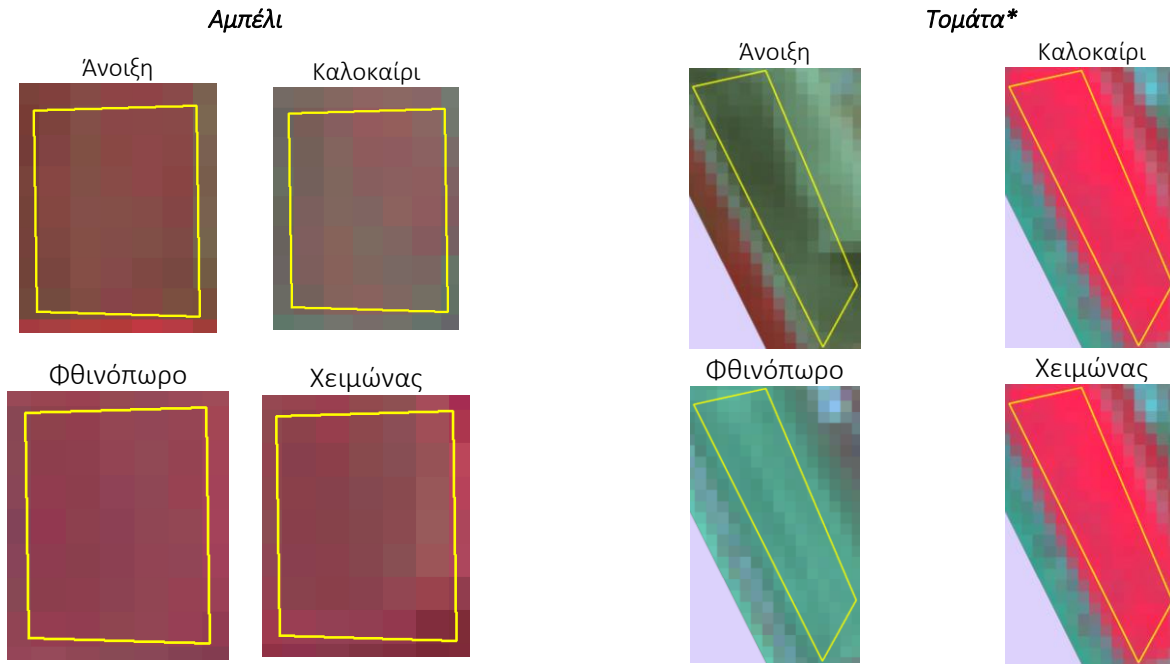
Πίνακας 8: Είδη καλλιεργειών στις τέσσερις εποχές σε RGB – 432 για το έτος 2016.



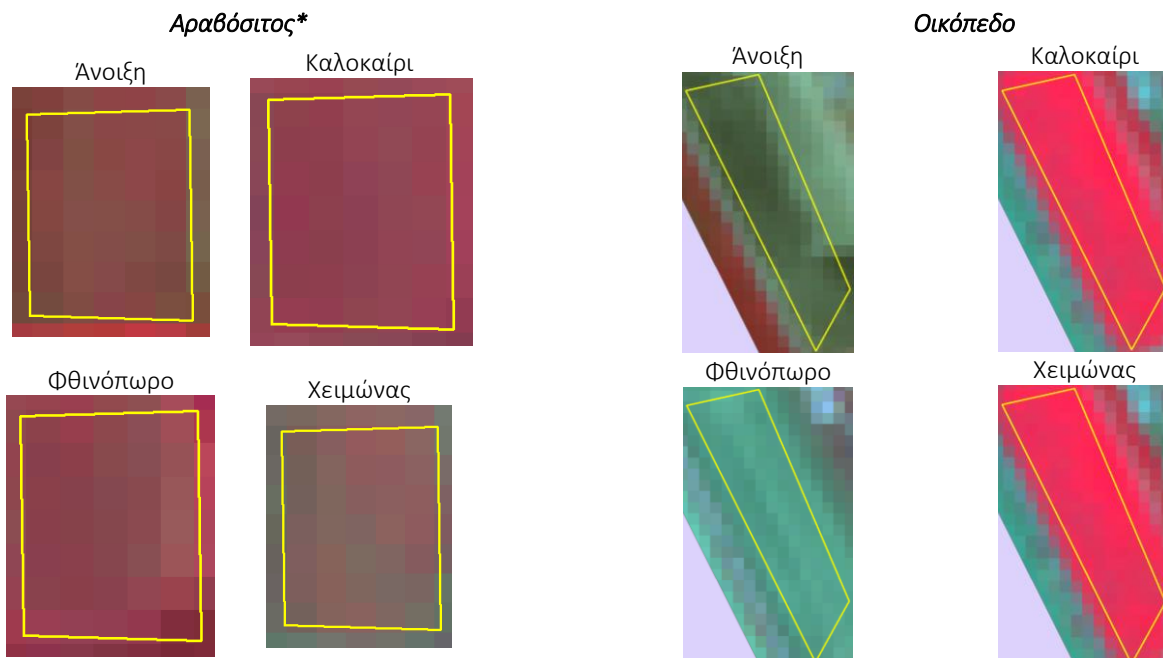
\* Αγρανάπαυση ονομάζεται η προσωρινή διακοπή της καλλιέργειας ενός αγρού για να αποκτήσει ξανά την παραγωγικότητά του. Συνήθως διαρκεί ένα χρόνο και εξαρτάται από το είδος του εδάφους και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Η αγρανάπαυση είναι περισσότερο αναγκαία στους αγρούς που εφαρμόζεται εντατική μονοκαλλιέργεια που έχει ως αποτέλεσμα την "κατανάλωση" των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Στις εικόνες που παρατίθενται παρατηρούμε ότι η ουσιαστική διαφοροποίηση παρατηρείται την άνοιξη που παρατηρούμε πιο έντονα την εμφάνιση χλωροφύλλης.



\* Η σπορά του φυτού γίνεται κατά την άνοιξη και η συγκομιδή στα μέσα Οκτωβρίου. Την άνοιξη όπως παρατηρούμε και στις εικόνες έχουμε ζωηρό κόκκινο χρώμα που υποδεικνύει την νεότητα των φυτών και την ανθοφορία. Το καλοκαίρι και το φθινόπωρο η καλλιέργεια σταθεροποιείται και δίνει καρπούς με μια αραίωση το Φθινόπωρο. Τέλος το χειμώνα το φυτό είναι ξερό.

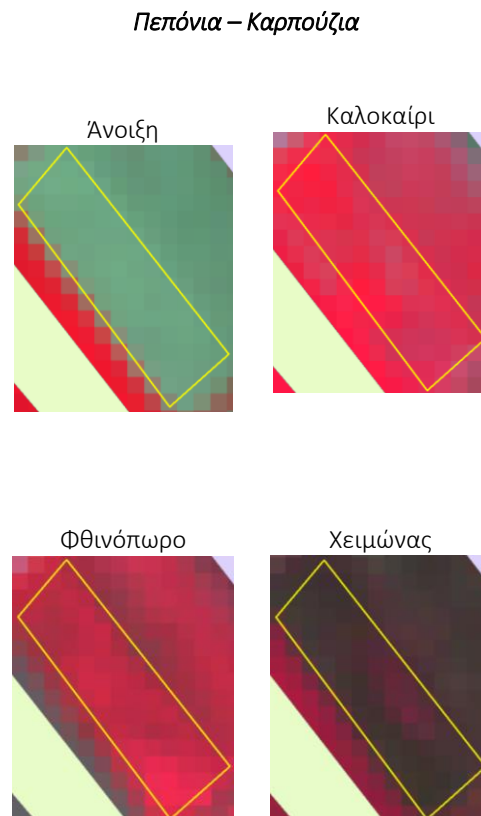
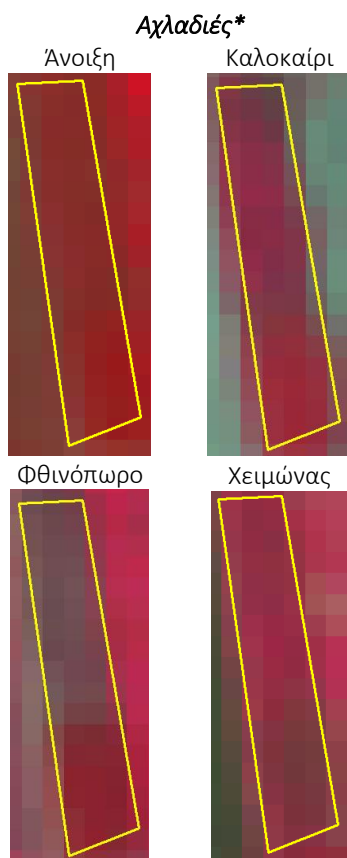
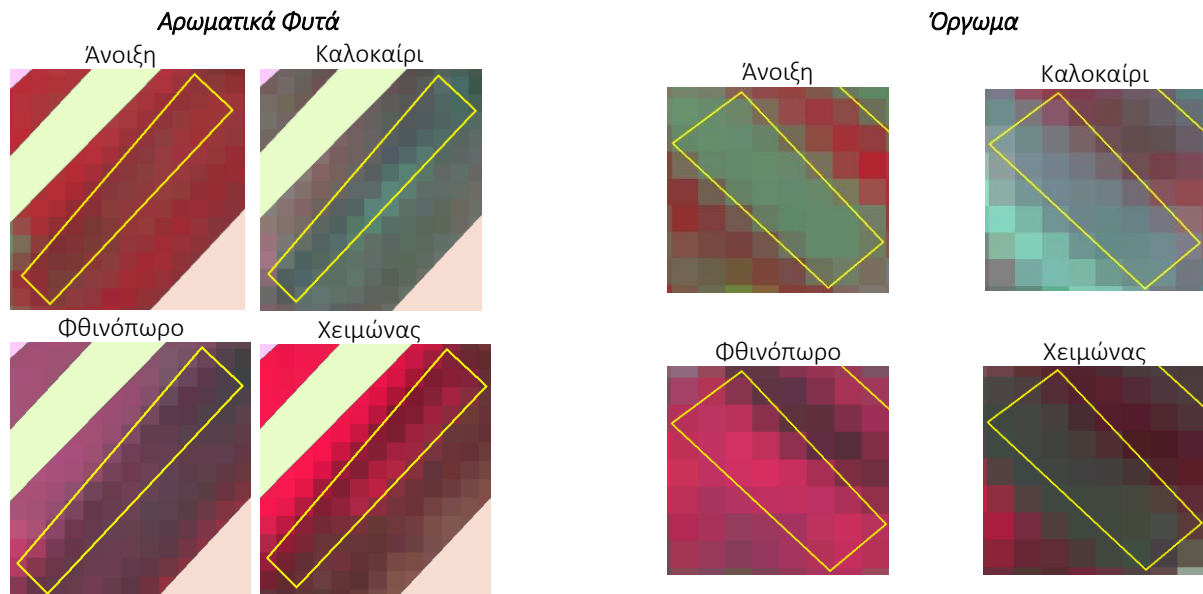


\* Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας γίνεται σε επίπεδο έδαφος με μία ελαφριά κλίση της τάξεως του 0,5-2% από το κανάλι άρδευσης προς το στραγγιστικό κανάλι. Όταν το χωράφι είναι έτοιμο και η θερμοκρασία του εδάφους είναι πάνω από 15οC (Άνοιξη) γίνεται η σπορά. Για την συγκομιδή της τομάτας είναι πολύ σημαντική η τήρηση των χρονικών προδιαγραφών ανάπτυξης και πλήρους ωρίμανσης της εκάστοτε ποικιλίας, όπως αυτές καθορίζονται από τον γενότυπο τους. Η συγκομιδή της τομάτας αρχίζει συνήθως 20-25 Ιουλίου αλλά για τις πρώιμες ποικιλίες και τον Αύγουστο με Σεπτέμβριο. Η συγκομιδή μπορεί να συνεχιστεί και μέχρι τέλη Οκτωβρίου για τις όψιμες ποικιλίες, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

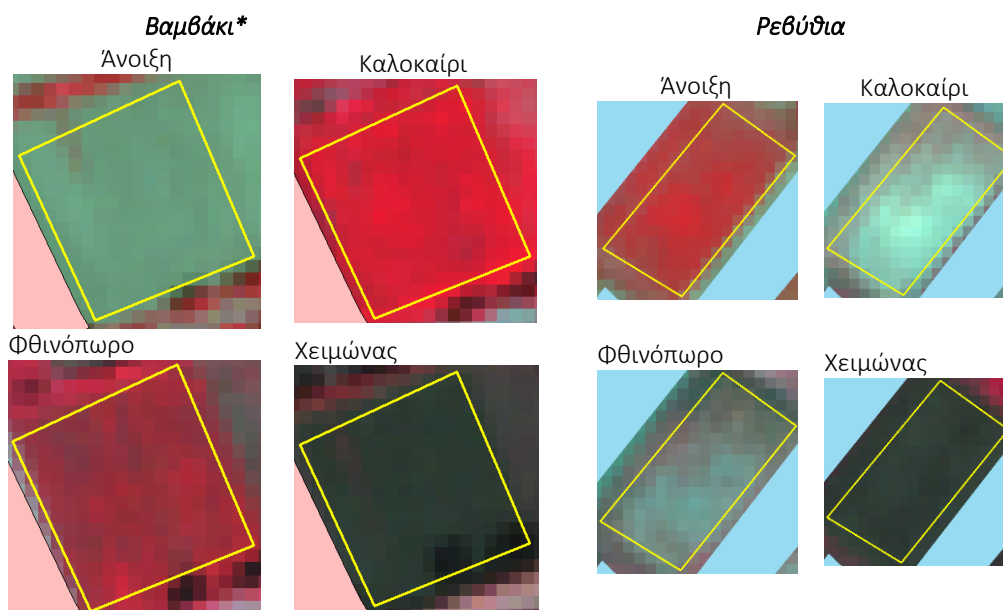


\* Ο αραβόσιτος ευρέως γνωστός ως καλαμπόκι είναι ετήσια καλλιέργεια. Φυτεύεται την Άνοιξη προς τέλος Απριλίου αρχές Μαΐου, γι' αυτό και στην εικόνα της Άνοιξης παρατηρούμε στην ουσία χύμα. Αυτό συμβαίνει γιατί το σημείο αύξησης του νεαρού φυτού βρίσκεται κοντά ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το καλοκαίρι το φυτό αναπτύσσεται πλέον υπέργεια σε όλα του τα στάδια

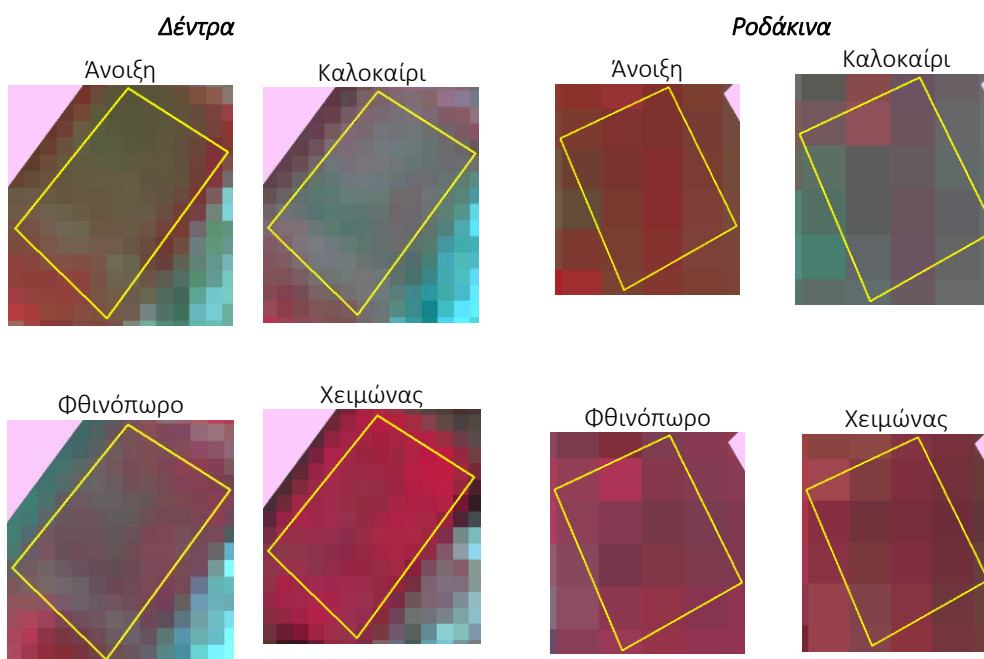
με έντονη την παρουσία της χλωροφύλλης όπως παρατηρούμε. Προς τα μέσα του καλοκαιριού γίνεται η συγκομιδή του οπότε το Φθινόπωρο η εικόνα μας αποδίδει χρώμα όπως επίσης και το Χειμώνα. Συνήθως οι καλαμιές καίγονται για να οργωθεί μετέπειτα το χωράφι και να είναι έτοιμό να σπαρθεί ξανά την Άνοιξη.

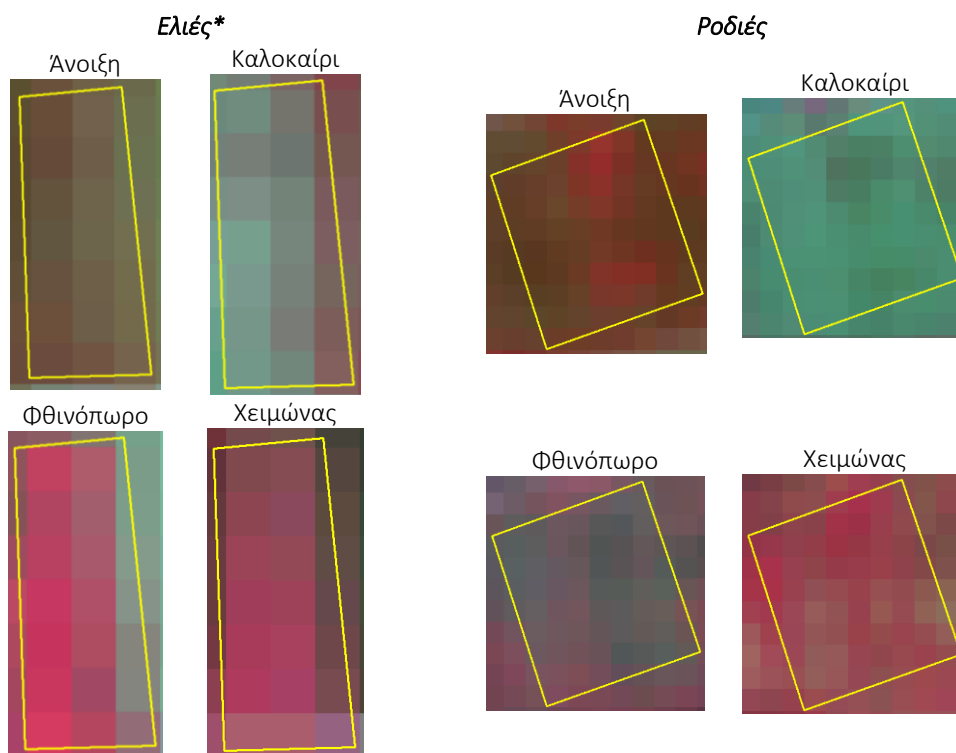


\*Τα αγροτεμάχια με τις καλλιέργειες δένδρων δεν μεταβάλλονται εύκολα. Φαίνεται και στις εικόνες ότι έχουμε εντονότερο χρώμα την Άνοιξη κατά την ανθοφορία τους.

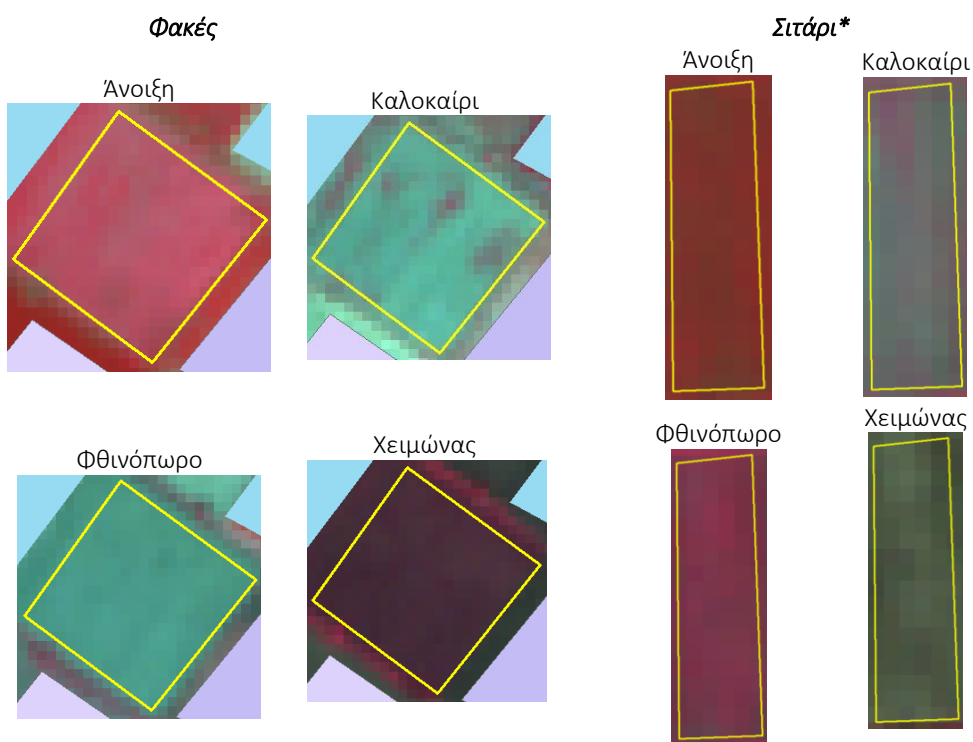


\* Το βαμβάκι είναι μονοετής καλλιέργεια. Η καλύτερη εποχή για τη σπορά είναι από τις αρχές Απριλίου έως τα μέσα Μαΐου. Έτσι παρατηρείται στις εικόνες η έντονη εμφάνιση από χρώμα την Άνοιξη λόγω της σποράς. Στη συνέχεια η καλλιέργεια αποδίδει τους καλοκαιρινούς μήνες τα στάδια ανάπτυξης του. Το πικ της καλλιέργειας είναι κατά το Φθινόπωρο που πλέον είναι και ώριμη για τη συγκομιδή. Το Χειμώνα πλέον κάνει και πάλι εμφάνιση το χρώμα μετά το όργωμα του χωραφιού και την προετοιμασία του για την επόμενη χρονιά.



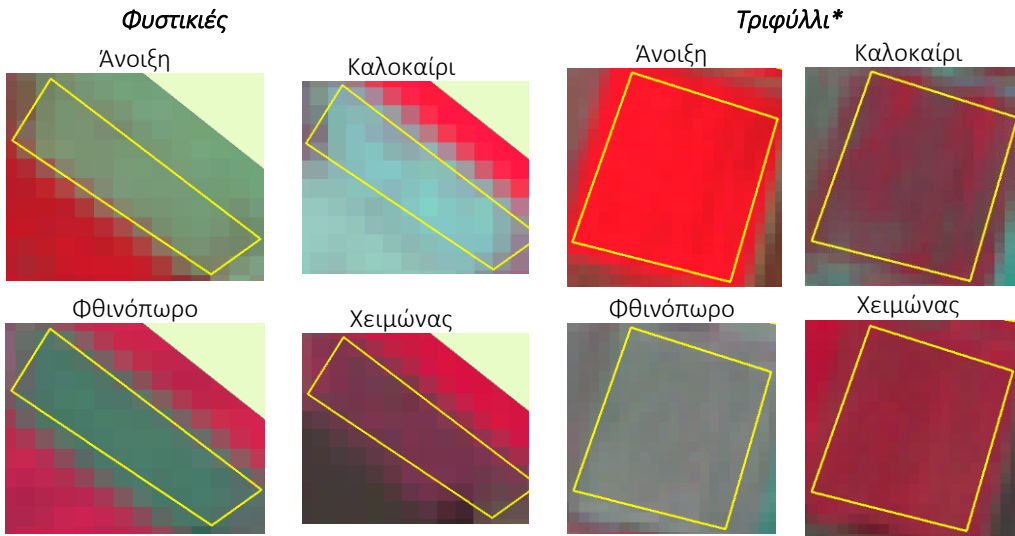


\* Ο καρπός της ελιάς ωριμάζει στα μέσα προς τέλος του φθινοπώρου.

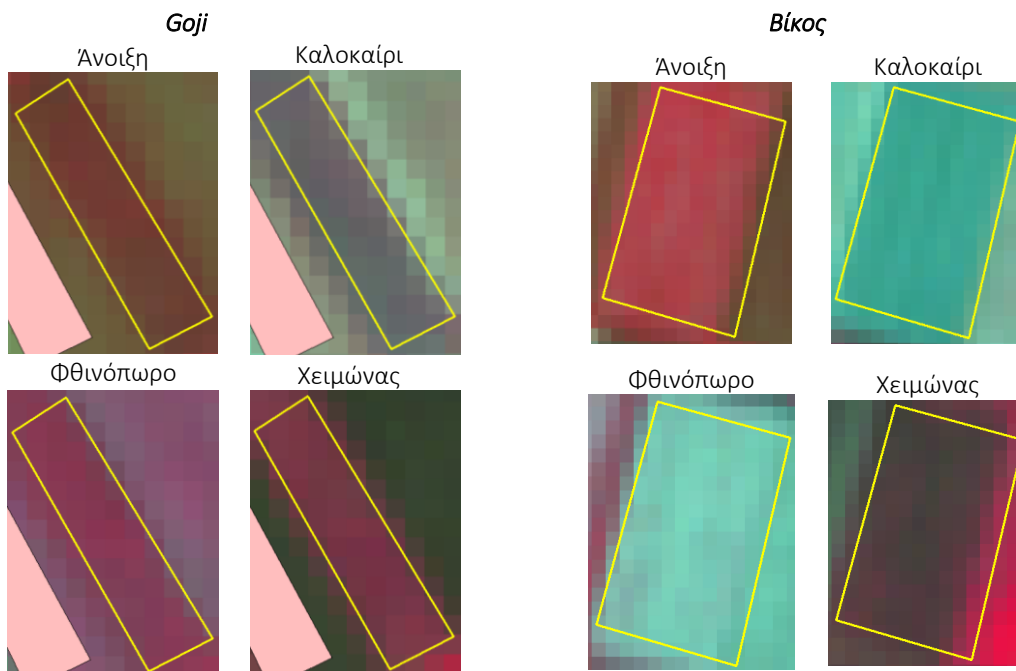


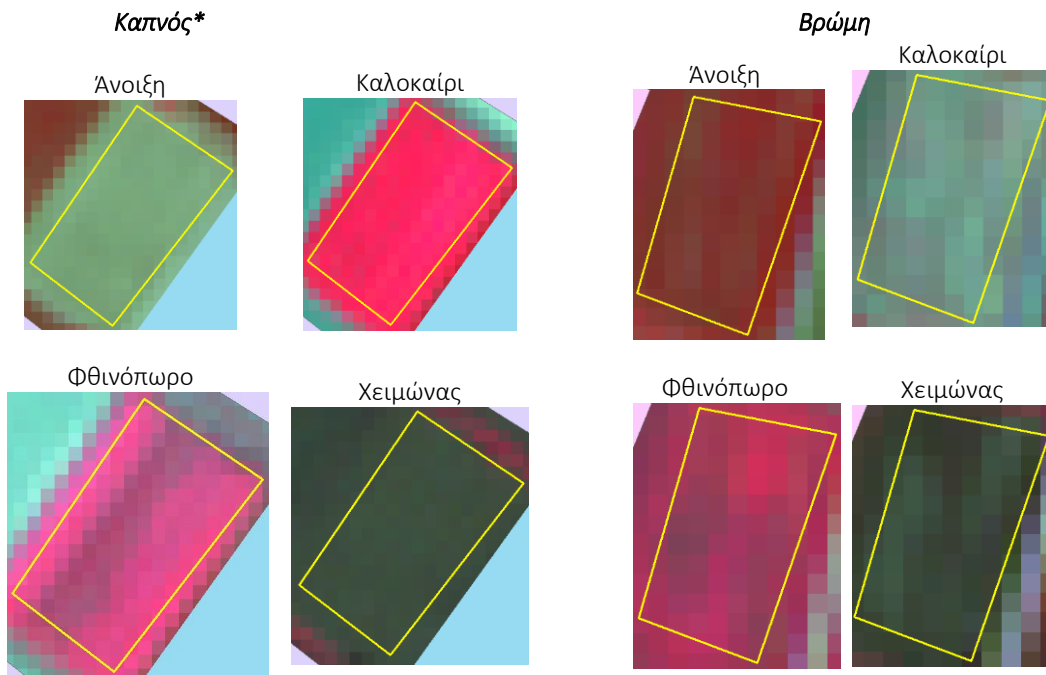
\* Η σπορά γίνεται τους φθινοπωρινούς μήνες ή την άνοιξη, αν οι φθινοπωρινοί μήνες χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η συγκομιδή των φυτών γίνεται το καλοκαίρι. Στις

εικόνες μας παρατηρούμε ότι η σπορά έχει γίνει το φθινόπωρο με τη συγκομιδή τους να πραγματοποιείται το καλοκαίρι.

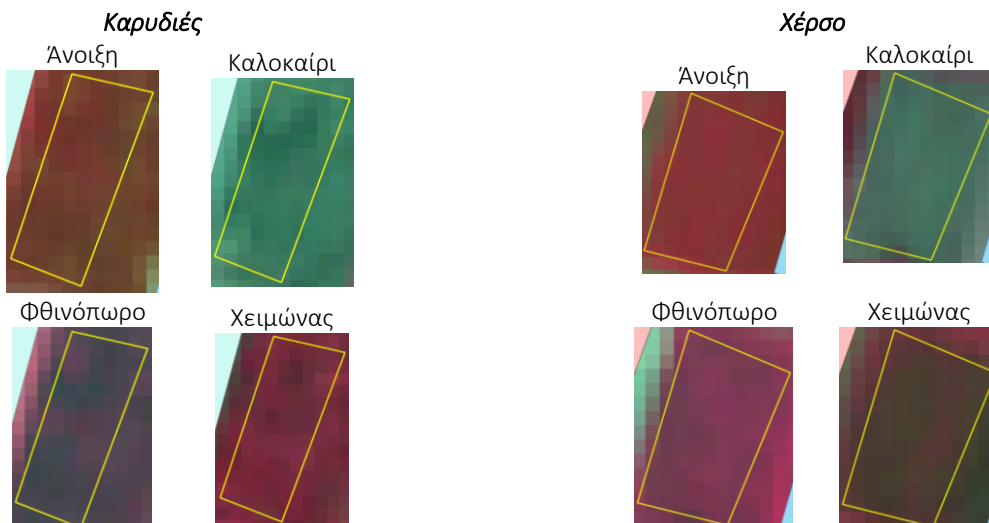


\*Πολλά είδη του τριφυλλιού καλλιεργούνται εκτενώς ως φυτά ζωοτροφής. Οι πιο δημοφιλείς ποικιλίες για αυτόν τον σκοπό είναι το λευκό τριφύλλι *Trifolium repens* και το κόκκινο τριφύλλι *Trifolium pratense*. Το φυτό, είτε σπαρμένο μόνο του είτε σε συνδυασμό με ήρα, είναι ενσίρωση για πολλούς λόγους: μεγαλώνει ελεύθερα, ξαναφυτρώνοντας έπειτα από επαναλαμβανόμενους θερισμούς· παράγει άφθονη καλλιέργεια· είναι γευστικό και θρεπτικό για τα ζωντανά· διορθώνει την περιεκτικότητα αζώτου του εδάφους, μειώνοντας την ανάγκη για συνθετικά λιπάσματα· μεγαλώνει σε ένα μεγάλο εύρος εδαφών και κλιμάτων· και είναι κατάλληλο είτε για βοσκή είτε για χλωρή κομποστοποίηση.





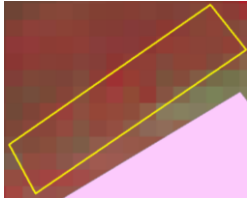
\* Ο πολλαπλασιασμός του καπνού γίνεται με σπορά σε ειδικά καπνοσπορεία. Ο σπόρος του καπνού είναι πολύ μικρός και για να φυτρώσει απαιτούνται ειδικές και καλές συνθήκες. Τα μικρά φυτάρια μεταφυτεύονται αργότερα στην οριστική τους θέση στο χωράφι. Τα καπνοσπορεία θέλουν τακτικό πότισμα και όταν τα φυτάρια είναι έτοιμα για μεταφύτευση το πότισμα διακόπτεται για λίγες μέρες έτσι ώστε τα φυτά να σκληραγωγηθούν. Πριν τα καπνά να μεταφυτευτούν, το χωράφι πρέπει να οργωθεί καλά και να προετοιμαστεί κατάλληλα. Έτσι παρατηρούμε την Άνοιξη που γίνεται η φύτευση έτοιμο το χωράφι οργωμένο δλδ βλέπουμε μόνο το χώμα. Στη συνέχεια τους καλοκαιρινούς μήνες το φυτό αναπτύσσεται. Η συγκομιδή γίνεται με κόψιμο ολόκληρου του φυτού ή σταδιακά, δηλαδή κόβονται τα φύλλα κατά χρονικά διαστήματα καθώς ωριμάζουν. Στην εικόνα του Φθινοπώρου παρατηρούμε την μερική συγκομιδή δλδ το κόψιμο των φύλλων. Τέλος το χειμώνα πλέον το φυτό δεν υπάρχει και το χωράφι είναι και πάλι γυμνό.



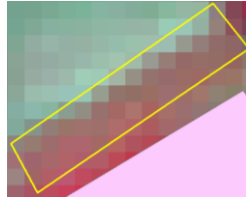


**Καστανιές**

Άνοιξη

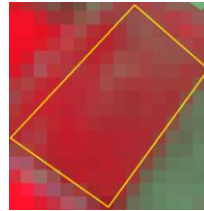


Καλοκαίρι

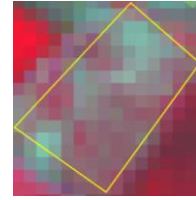


**Χορτολίβαδα**

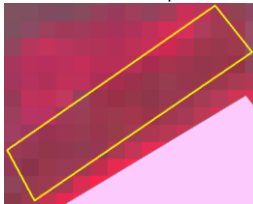
Άνοιξη



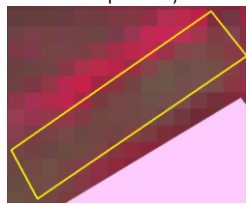
Καλοκαίρι



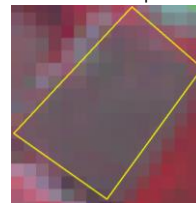
Φθινόπωρο



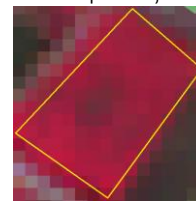
Χειμώνας



Φθινόπωρο

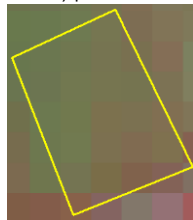


Χειμώνας

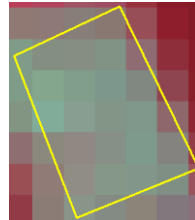


**Κηπευτικά**

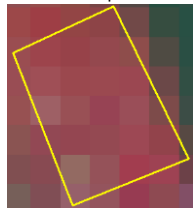
Άνοιξη



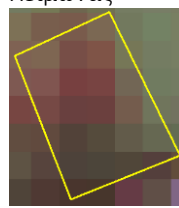
Καλοκαίρι



Φθινόπωρο

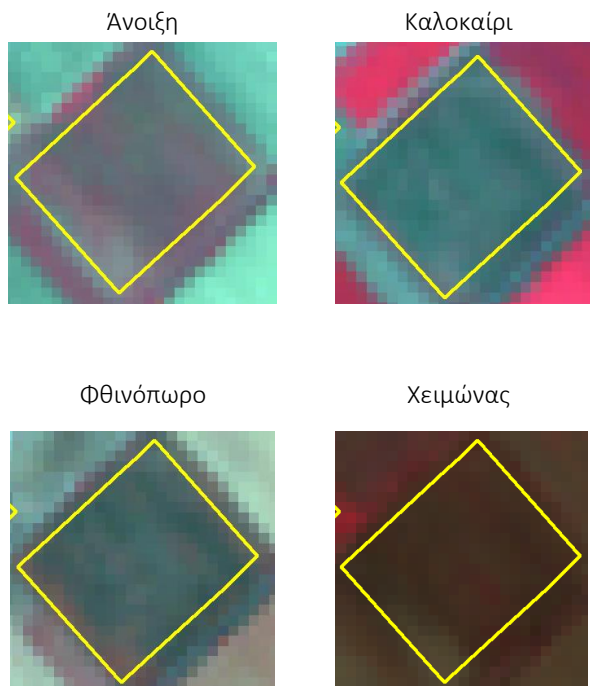


Χειμώνας

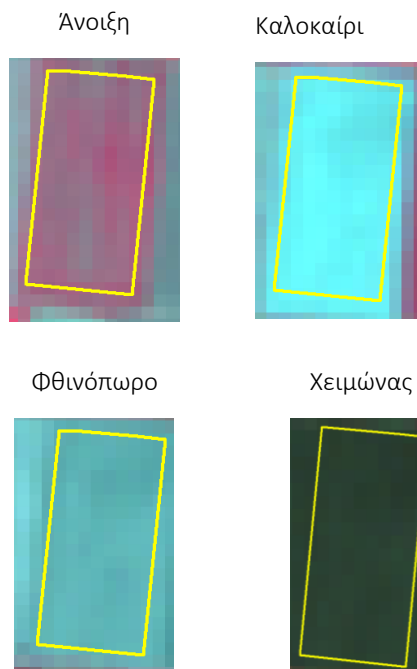


Πίνακας 9: Είδη καλλιεργειών στις τέσσερις εποχές σε RGB – 432 για το έτος 2017.

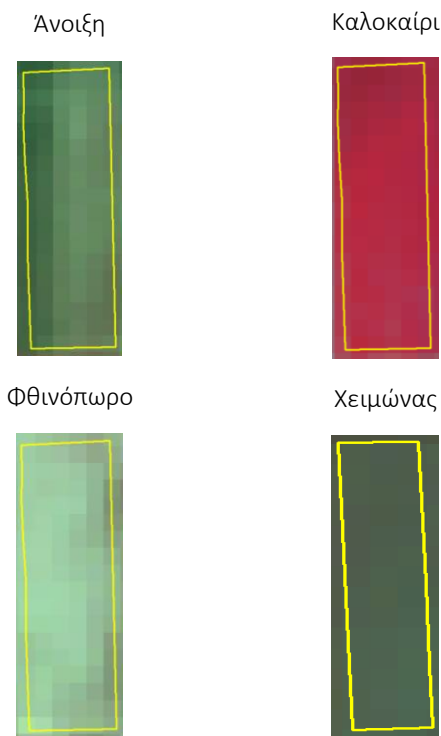
**Αγρανάπαυση – Ακαλλιέργητο**



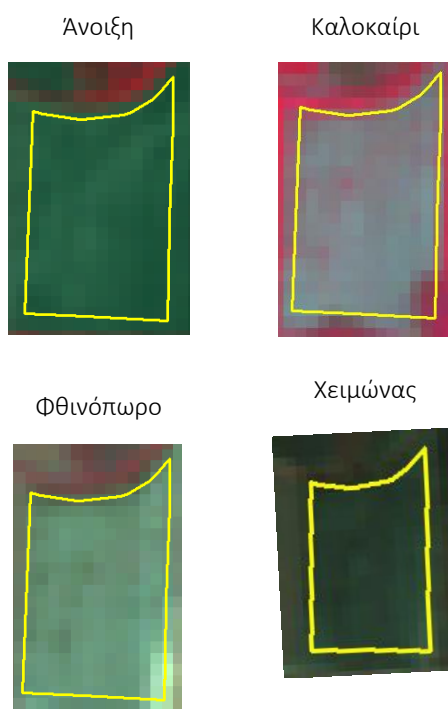
**Κριθάρι**

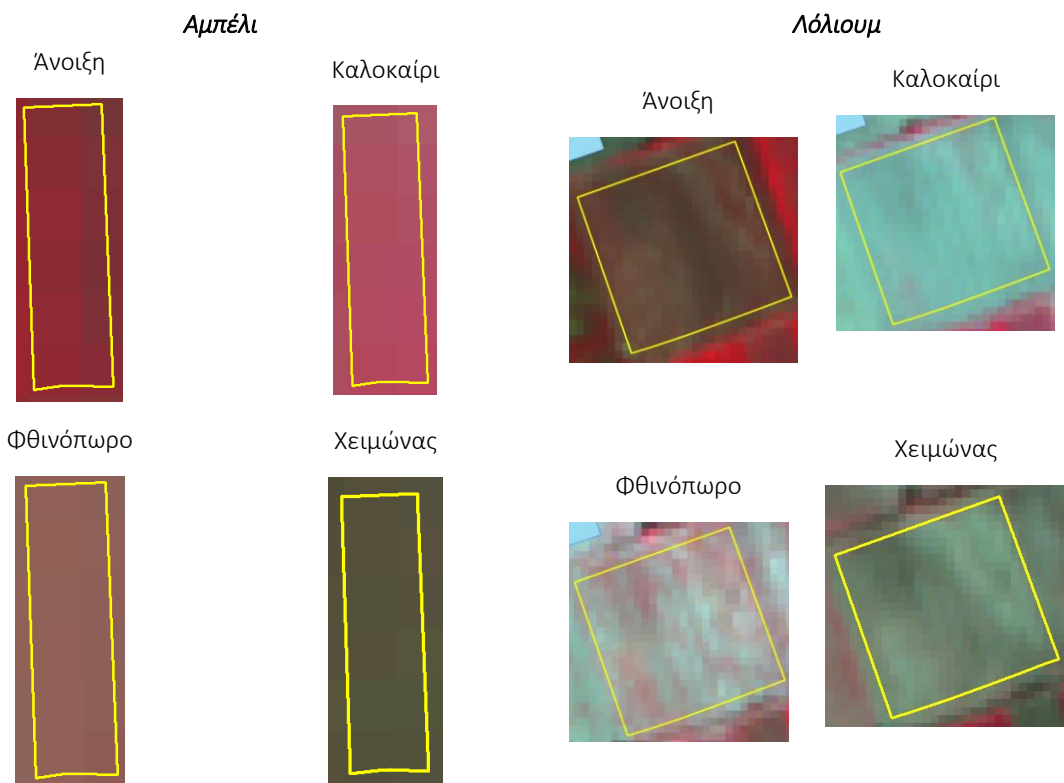
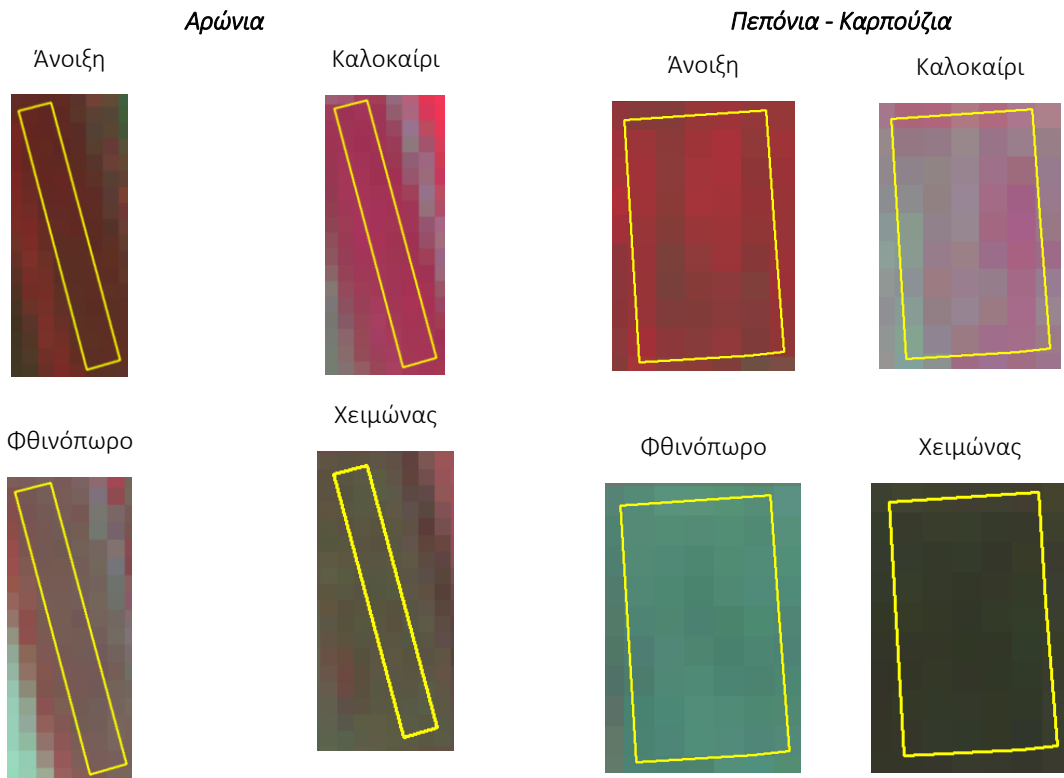


**Αραβόσιτος**



**Οργωμένο**

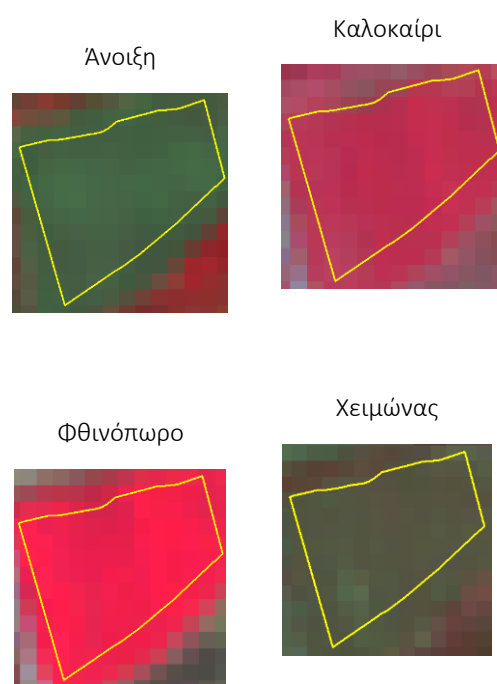




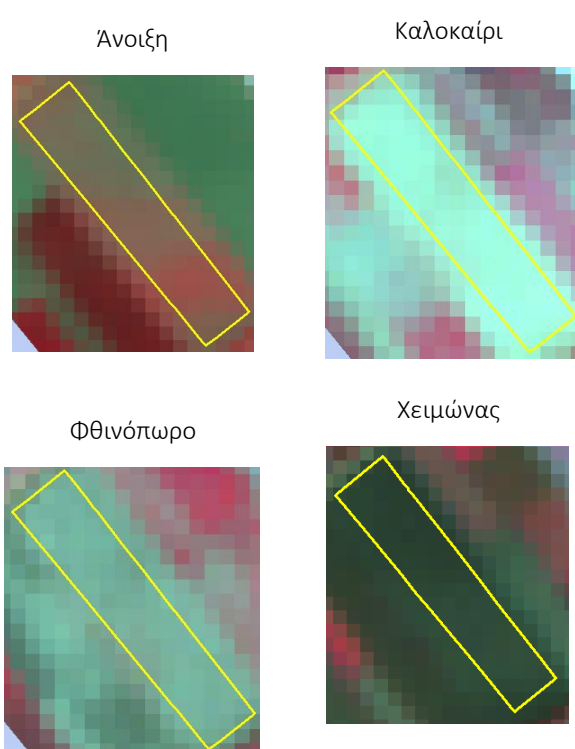
**Βαμβάκι**



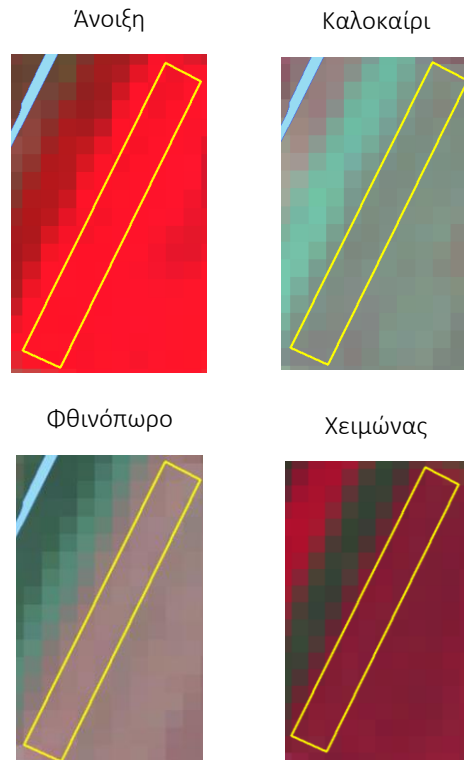
**Πιπεριές**



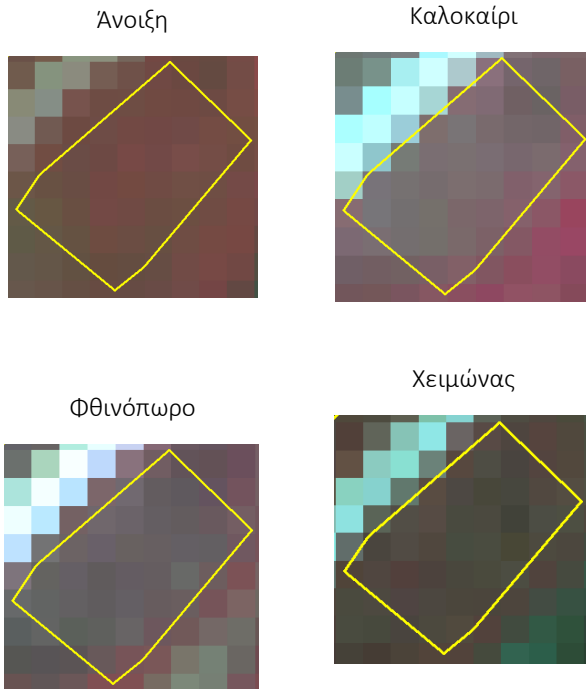
**Βίκος**



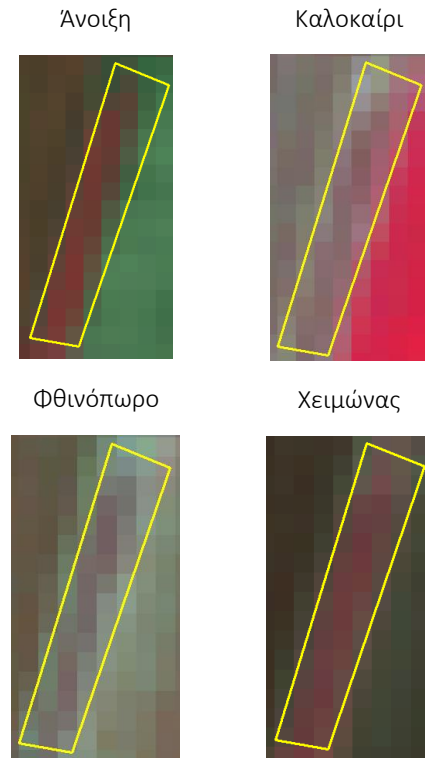
**Ρεβύθια**



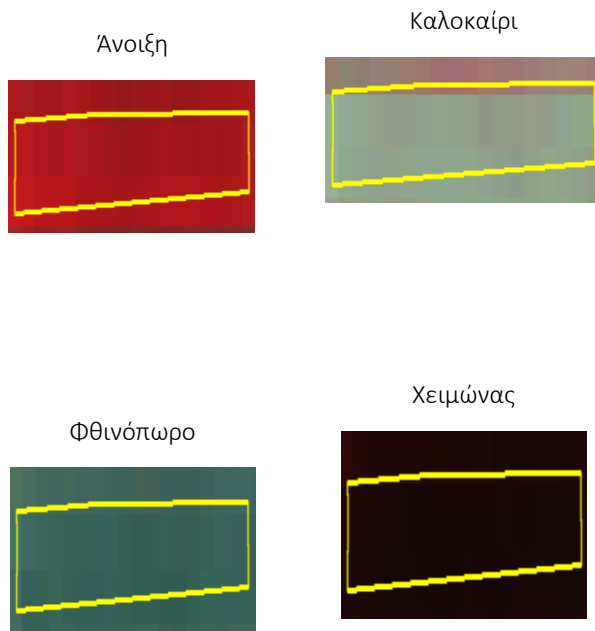
**Βοσκότοπος**



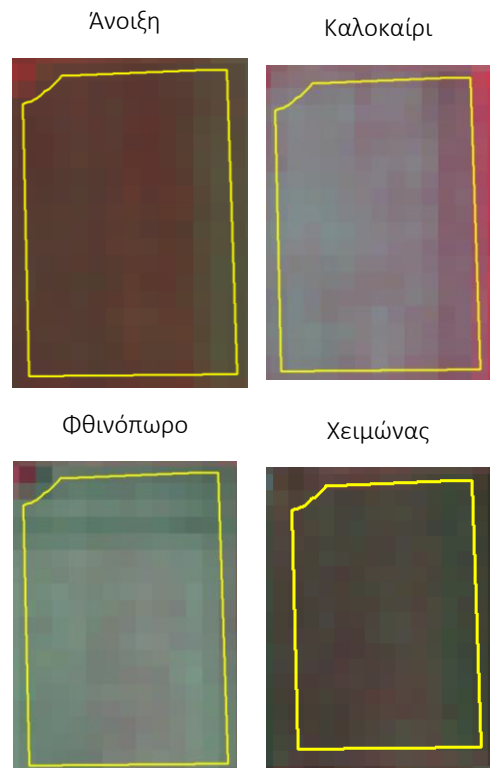
**Ρίγανη**

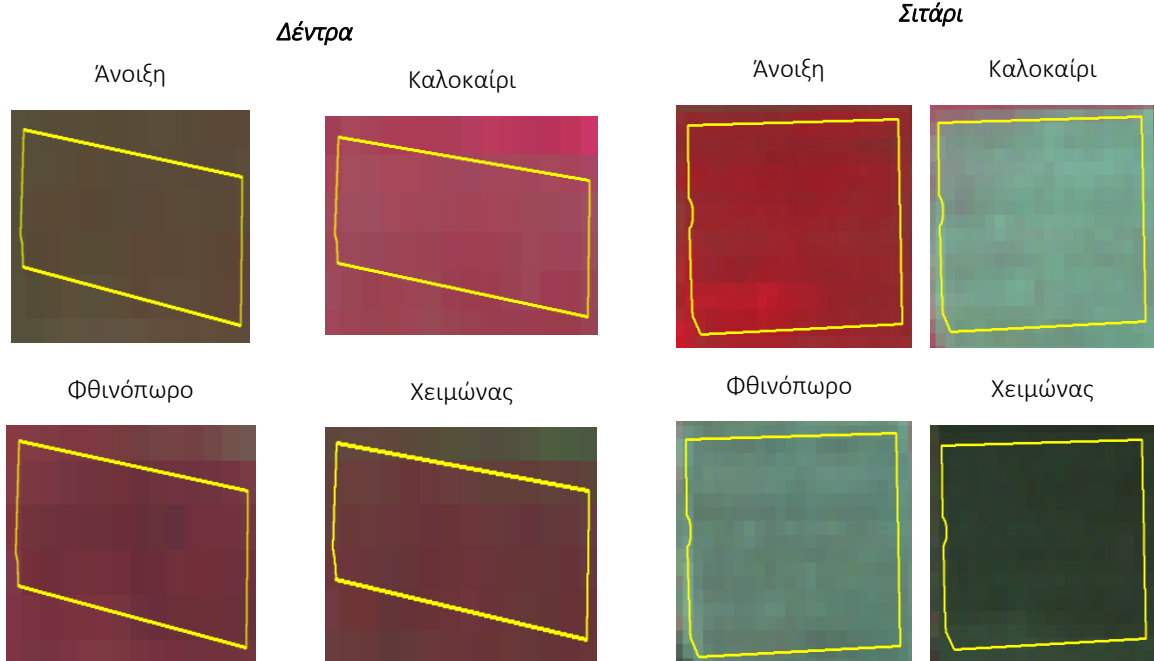
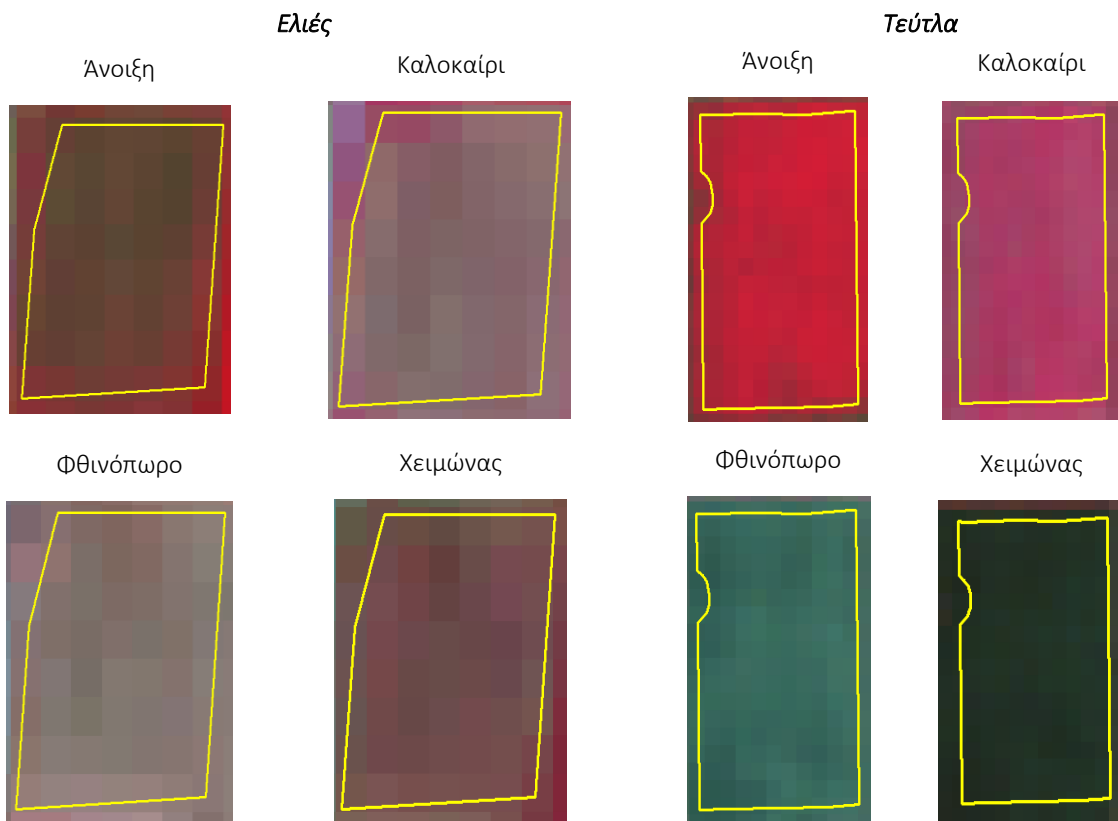


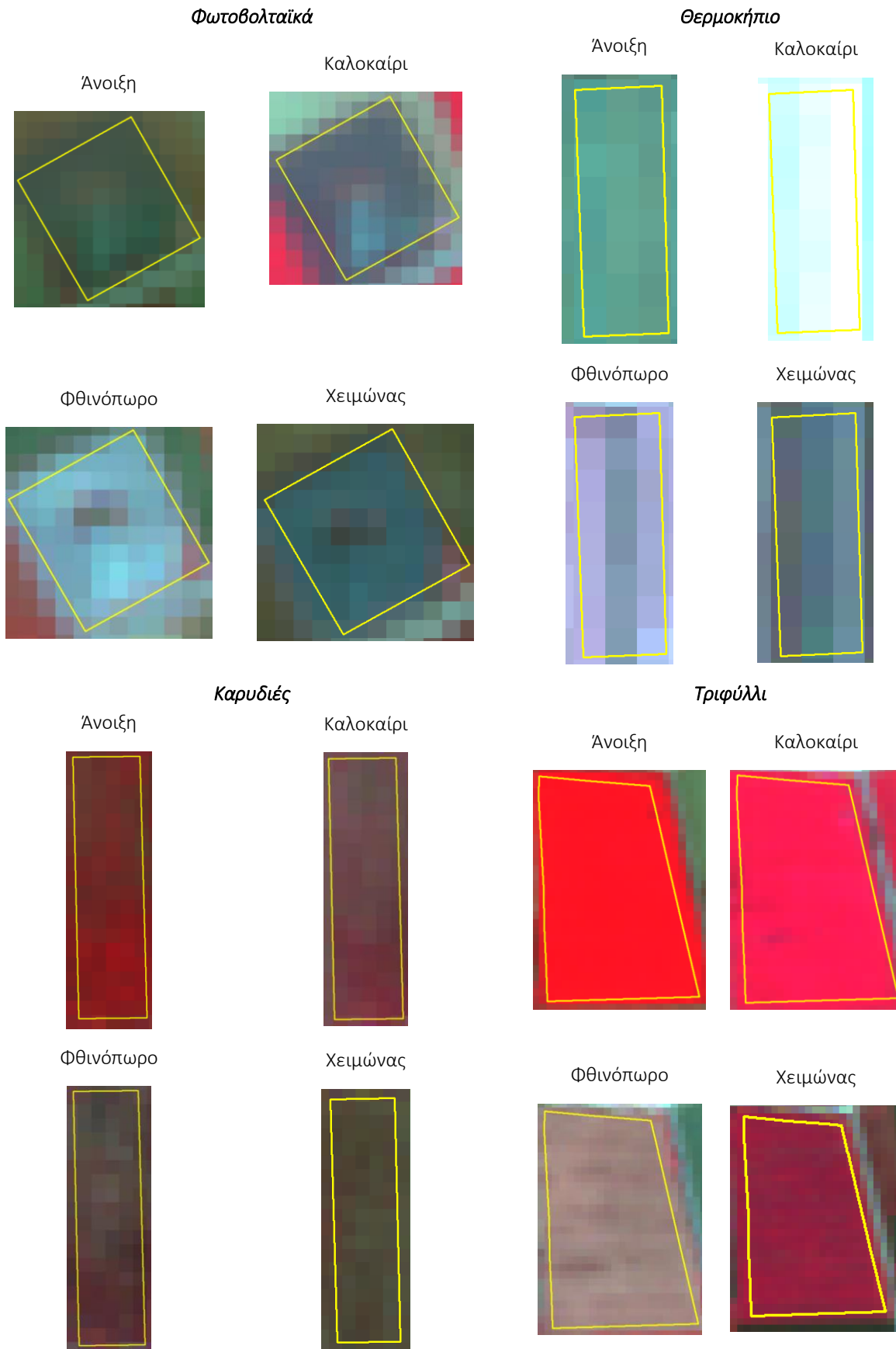
**Βρώμη**

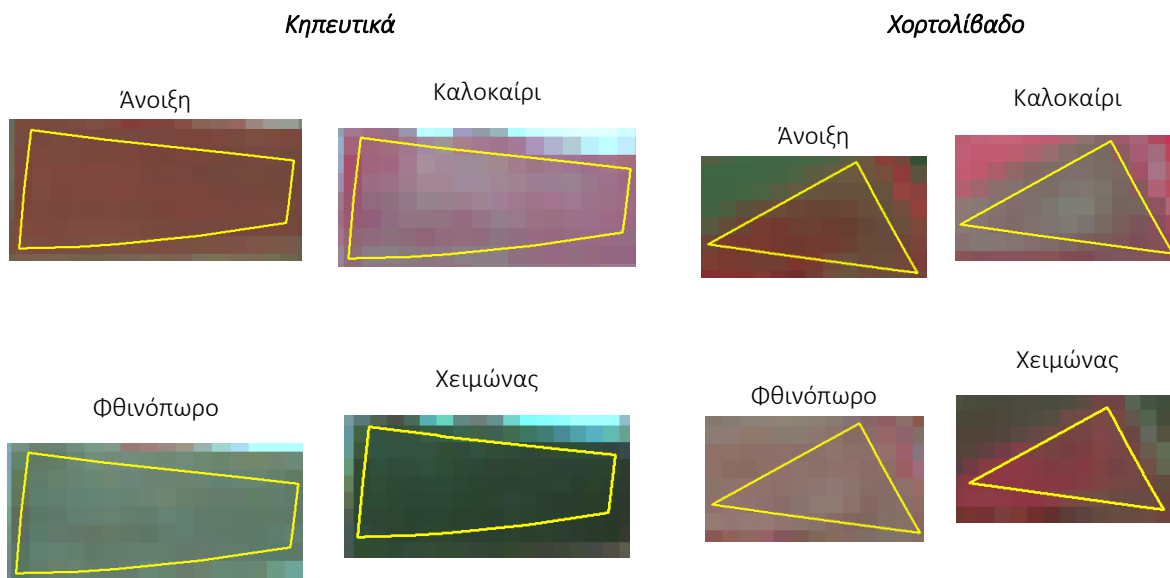
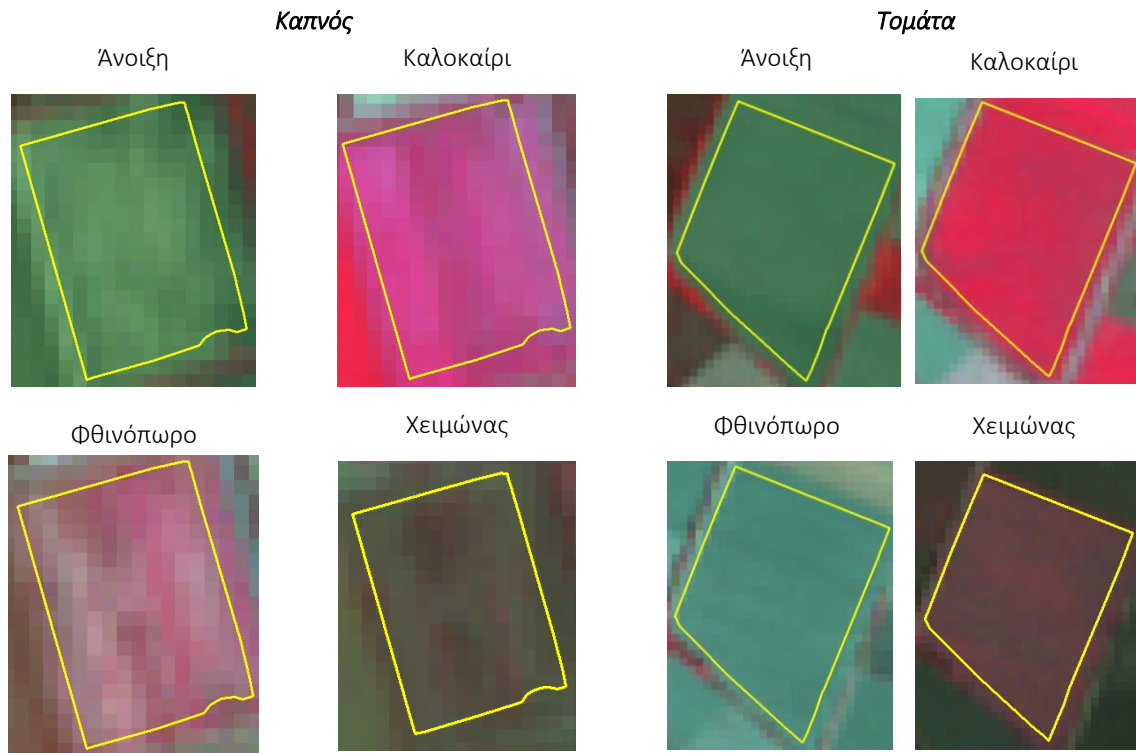


**Ροδιές**

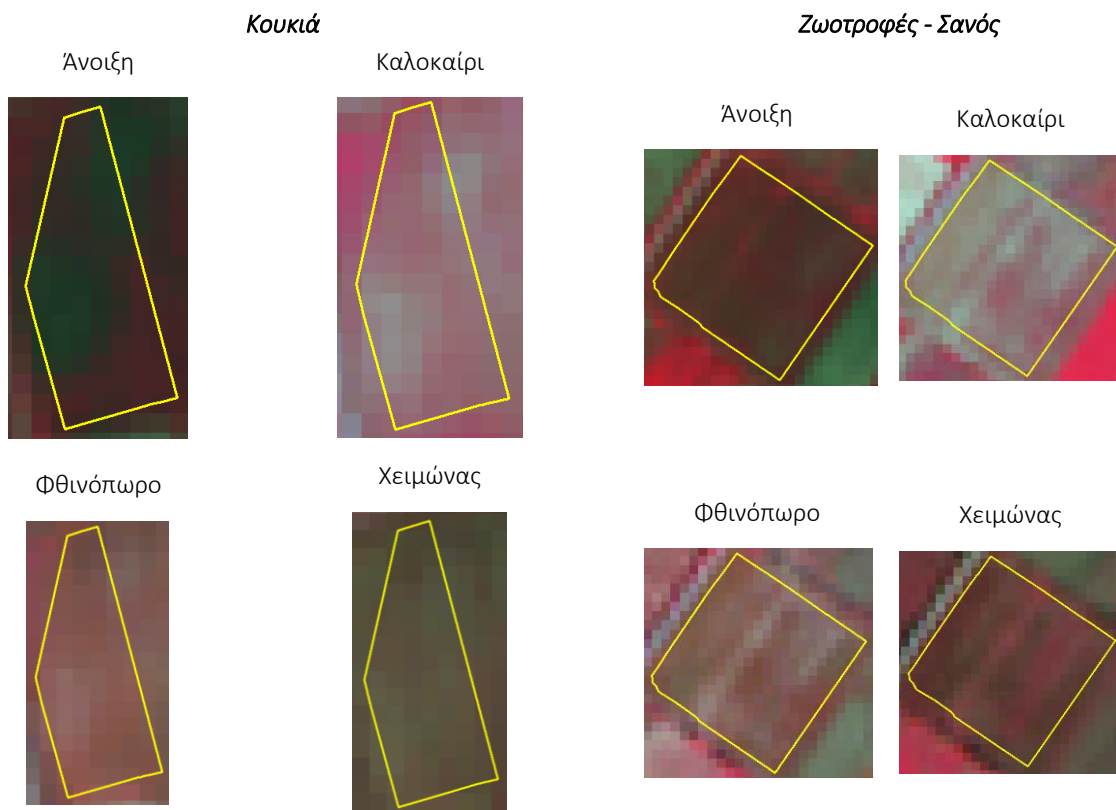
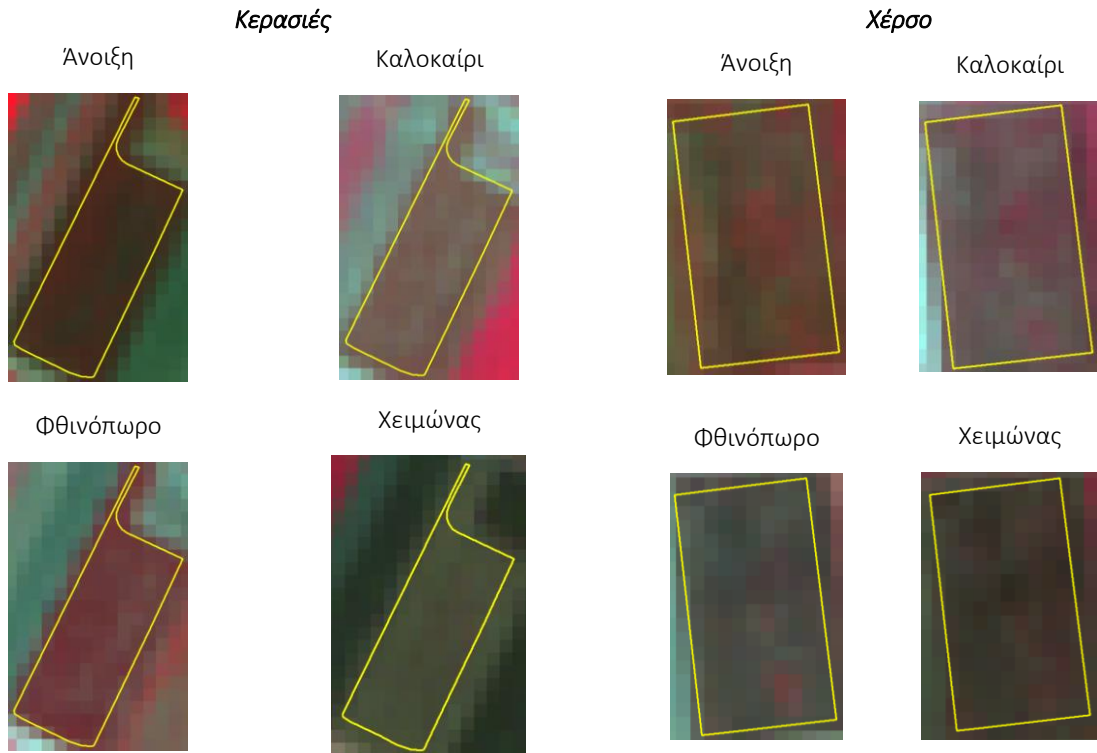














## 4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 4.1 Θεματικές Κατηγορίες

Η αρχική κατηγοριοποίηση των τάξεων καθώς και η συλλογή των δεδομένων για κάθε τάξη έγινε με βάση τις κατηγορίες του Corine στο Level 3 και της εργασίας των Karakizi et al 2018. Αρχικά αποκλείστηκαν κατηγορίες όπως Μόνιμο Χιόνι και Πάγοι (3.3.5.) οι οποίες δεν απαντώνται στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια συμπτύχθηκαν οι κατηγορίες που είχαν παρόμοια φασματική απόκριση, καταργήθηκαν κατηγορίες που αφορούσαν περισσότερο τη χρήση και όχι την κάλυψη γης (π.χ. 1.4.2. Εγκαταστάσεις Αθλητισμού και Αναψυχής) και αναλύθηκαν κατηγορίες για τις οποίες κρίθηκε απαραίτητο με βάση τα ειδικά φασματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (π.χ. Πυκνή και Αραιή Σκληροφυλλική Βλάστηση).

Η ψηφιοποίηση των καλλιεργειών βασίστηκε στα γεωχωρικά δεδομένα του ΟΠΕΚΕΠΕ, δηλαδή τα RFVs και τα Plots για τα έτη 2016 και 2017. Η καταγραφή για τις μόνιμες καλλιέργειες όπως οι ελιές, αμπέλια και οπωροφόρα δέντρα υλοποιήθηκε και με πληροφορία που αντλήθηκε σε συνδυασμό με το Corine και τα RFVs και ILOTS του ΟΠΕΚΕΠΕ. Ακόμη, λόγω του μικρού ποσοστού εδαφοκάλυψης ορισμένων καλλιεργειών (λίγα σημεία/πολύγωνα), κρίθηκε χρήσιμη η παράλειψη ή ενοποίηση με άλλες παρόμοιες καλλιέργειες, ώστε να μην προκληθεί σύγχυση κατά την φάση της ταξινόμησης και για αυτό το λόγο δεν υπάρχει αντιπροσώπευση όλων των καλλιεργειών που παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 8 και 9 στο υποκεφάλαιο 4.1.1.

Έτσι, οδηγούμαστε στην επιλογή 30 κλάσεων, εκ των οποίων 13 καλλιέργειες, για το έτος 2016 και στην επιλογή 33 κλάσεων, εκ των οποίων 16 καλλιέργειες, για το έτος 2017, οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

**Πίνακας 10:** Κλάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση ανά έτος

2016			
1	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	16	ΠΟΤΑΜΙΑ
2	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ	17	ΛΙΜΝΕΣ
3	ΜΟΝΑΔΕΣ	18	ΑΜΠΕΛΙΑ
4	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	19	ΕΛΙΕΣ
5	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΙΞΗΣ	20	ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ
6	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	21	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ
7	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	22	ΒΑΜΒΑΚΙ
8	ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	23	ΣΙΤΑΡΙ
9	ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	24	ΚΡΙΘΑΡΙ
10	ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	25	ΒΡΩΜΗ
11	ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	26	ΚΑΠΝΟΣ

12	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	27	ΤΡΙΦΥΛΛΙ
13	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	28	ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ
14	ΒΡΑΧΙΑ	29	ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ
15	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	30	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ
<b>2017</b>			
1	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	19	ΕΛΙΕΣ
2	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	20	ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ
3	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	21	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ
4	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	22	ΒΑΜΒΑΚΙ
5	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΕΙΗΣ	23	ΣΙΤΑΡΙ
6	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	24	ΚΡΙΘΑΡΙ
7	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	25	ΒΡΩΜΗ
8	ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	26	ΚΑΠΝΟΣ
9	ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	27	ΤΡΙΦΥΛΛΙ
10	ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	28	ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ
11	ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	29	ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ
12	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	30	ΤΟΜΑΤΑ
13	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	31	ΠΙΠΕΡΙΕΣ
14	ΒΡΑΧΙΑ	32	ΤΕΥΤΛΑ
15	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	33	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ
16	ΠΟΤΑΜΙΑ		
17	ΛΙΜΝΕΣ		
18	ΑΜΠΕΛΙΑ		

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι τελικές κατηγορίες ταξινόμησης με ενδεικτικά οπτικά παραδείγματα σε υπόβαθρο Google Earth.

**Πίνακας 11:** Τελικές κατηγορίες ταξινόμησης σε εικόνες Google Earth.



**1**  
ΣΥΝΕΧΗΣ  
ΑΣΤΙΚΟΣ  
ΙΣΤΟΣ



**17**  
ΛΙΜΝΕΣ



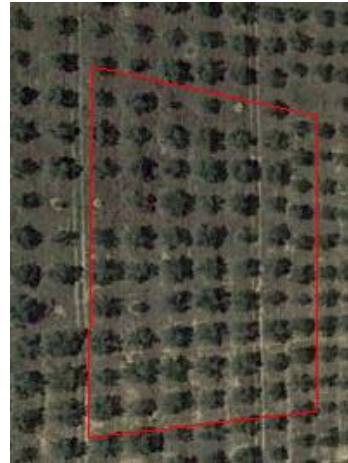
2  
ΑΣΥΝΕΧΗΣ  
ΑΣΤΙΚΟΣ  
ΙΣΤΟΣ



18  
ΑΜΠΕΛΙΑ



3  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙ  
ΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙ  
ΚΕΣ  
ΜΟΝΑΔΕΣ



19  
ΕΛΙΕΣ



4  
ΔΡΟΜΟΙ /  
ΔΙΚΤΥΑ  
ΑΣΦΑΛΤΟΥ



20  
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ  
ΔΕΝΤΡΑ



5  
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣ  
ΕΙΣ  
ΕΞΟΡΙΞΗΣ



21  
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ



6  
ΦΩΤΟΒΟΛΤ  
ΑΪΚΑ



22  
ΒΑΜΒΑΚΙ



7  
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙ  
Α



23  
ΣΙΤΑΡΙ



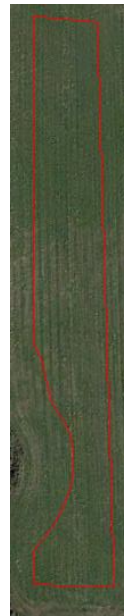
8  
ΦΥΛΛΟΒΟΛ  
Α ΔΑΣΗ



24  
ΚΡΙΘΑΡΙ



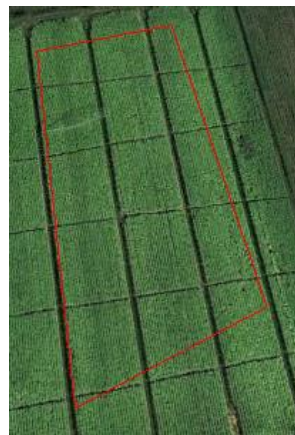
9  
ΚΩΝΟΦΟΡΑ  
ΔΑΣΗ



25  
ΒΡΩΜΗ



10  
ΦΥΣΙΚΑ  
ΛΙΒΑΔΙΑ



26  
ΚΑΠΝΟΣ



11  
ΠΥΚΝΗ  
ΣΚΛΗΡΟΦΥΛ  
ΛΙΚΗ  
ΒΛΑΣΤΗΣΗ



27  
ΤΡΙΦΥΛΛΙ



12  
ΑΡΑΙΗ  
ΣΚΛΗΡΟΦΥΛ  
ΛΙΚΗ  
ΒΛΑΣΤΗΣΗ



28  
ΖΩΤΡΟΦΕΣ



13  
ΒΟΣΚΟΤΟΠ  
ΟΙ



29  
ΠΕΠΟΝΙΑ-  
ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ





14  
ΒΡΑΧΙΑ



30  
ΤΟΜΑΤΑ



15  
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ  
ΑΜΜΟΛΟΦ  
ΟΙ



31  
ΠΙΠΕΡΙΕΣ



16  
ΠΟΤΑΜΙΑ



32  
ΤΕΥΤΛΑ



33  
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥ  
ΣΗ

## 4.2 Υλοποίηση και Ταξινόμηση Δεδομένων

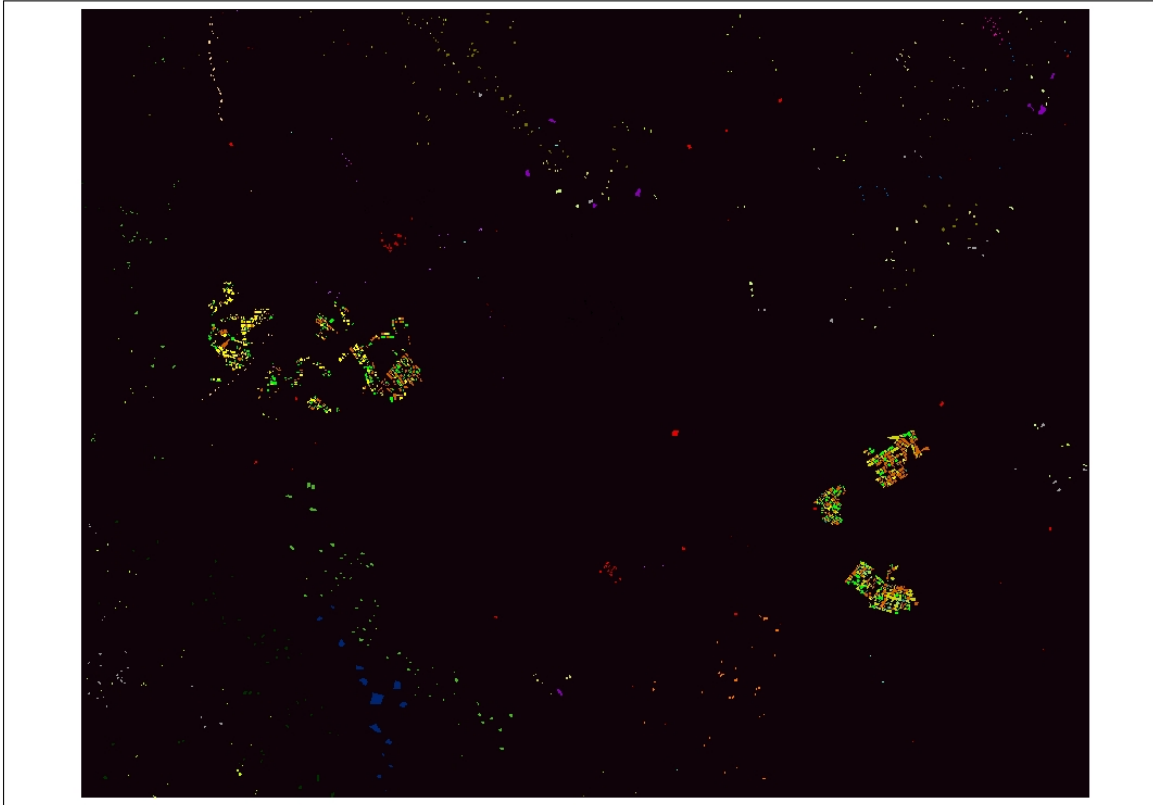
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την εφαρμογή των ταξινομήσεων στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, χρησιμοποιήθηκε ένας SVM ταξινομητής, στο υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB. Ο SVM ταξινομητής παρέχεται έτοιμος, μέσα από τη βιβλιοθήκη libSVM. Η μεθοδολογία ακολούθησε την κατεύθυνση των βημάτων πρόσφατων εργασιών στο ίδιο αντικείμενο (Karakizi et al. 2018, Αντωνίου 2018).

Για την εφαρμογή της ταξινόμησης, εκτελέστηκαν τα ακόλουθα βήματα:

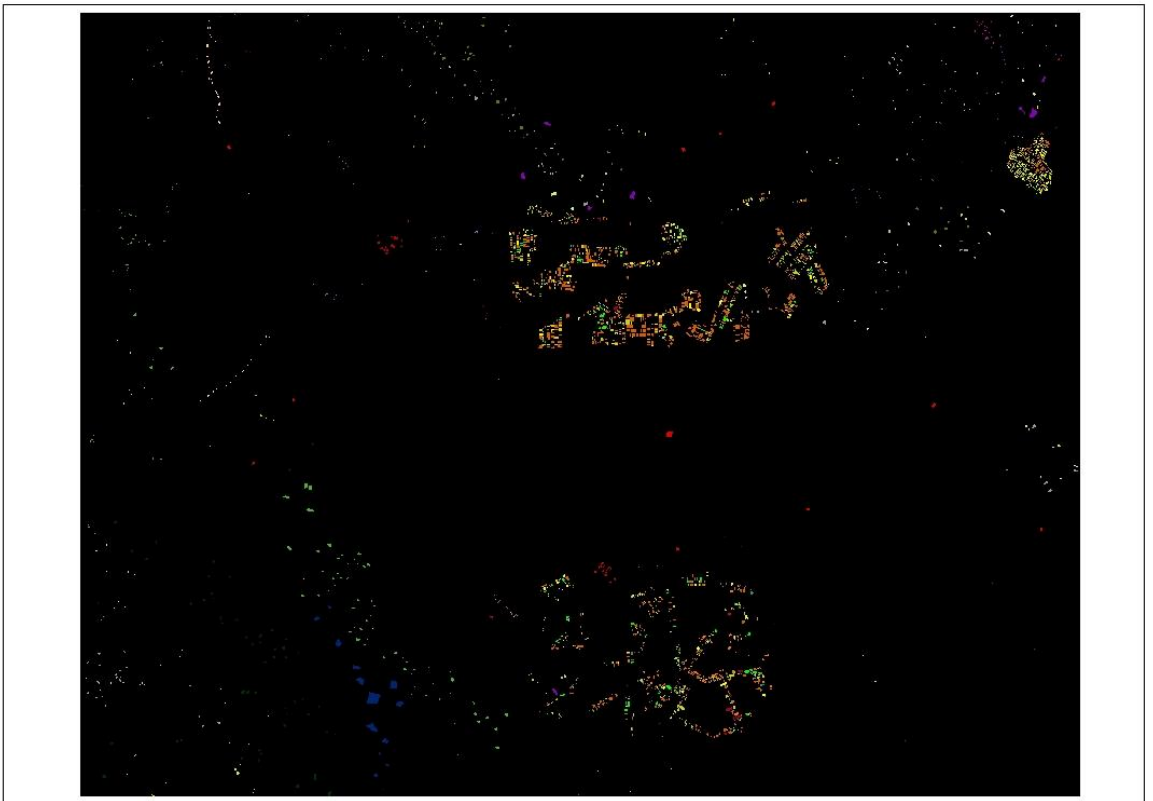
Αρχικά, απαραίτητη ήταν η μετατροπή του vector αρχείου των πολυγώνων εκπαίδευσης σε raster εικόνα (ή αλλιώς το «κάψιμο» του ground truth πάνω στην εικόνα). Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται εύκολα στο περιβάλλον του QGIS χάρη στο εργαλείο Raster Calculator, ορίζοντας τις τιμές ενός καναλιού (οποιοδήποτε) ίσες με το μηδέν και κατόπιν μετατρέποντας το διανυσματικό αρχείο σε raster αρχείο. Δημιουργείται έτσι μία εικόνα με γκρι τόνους, στην οποία οι διαφορετικοί τόνοι του γκρι αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές κλάσεις των δεδομένων εκπαίδευσης.

Επόμενο βήμα αποτελεί η εύρεση των ακραίων συντεταγμένων της εικόνας. Μέσα και πάλι από το QGIS, ελέγχοντας τα μεταδεδομένα της πολυφασματικής εικόνας καταγράφουμε τις συντεταγμένες από το Layer Extent.

Στην συνέχεια, πρέπει να μετατραπούν οι χωρικές συντεταγμένες σε συντεταγμένες pixel (i,j). Εισάγουμε, λοιπόν, τις συντεταγμένες (x,y) στην MATLAB, και ορίζουμε το μέγεθος του εικονοστοιχείου της εικόνας (10m). Κάνοντας χρήση συνάρτησης για την απόδοση των συντεταγμένων εικονοστοιχείου, λαμβάνουμε ως εξαγόμενα αποτελέσματα τα ακραία i και j της εικόνας.



**Σχήμα 13:** Περιοχές Ground Truth σε απεικόνιση raster εικόνας για το έτος 2016.



**Σχήμα 14:** Περιοχές Ground Truth σε απεικόνιση raster εικόνας για το έτος 2017.

Σειρά έχει η δημιουργία μιας στοίβας επιπέδων για κάθε πολυφασματική εικόνα των διαφορετικών ημερομηνιών. Μία στοίβα αποτελείται από τα πολυφασματικά κανάλια και τους επιλεγμένους δείκτες, υπό την μορφή ενός πολυδιάστατου πίνακα, στην περίπτωση μας ενός πίνακα  $(n,m,bnd)$ , όπου  $n$  και  $m$ , οι διαστάσεις οποιουδήποτε καναλιού της πολυφασματικής εικόνας και  $bnd$  το άθροισμα των καναλιών και / ή των δεικτών. Για τη δημιουργία των στοιβών, απαραίτητη είναι η αρχικοποίηση του πίνακα, η εκχώρηση των τιμών των καναλιών στους 5 πρώτους πίνακες και ο υπολογισμός και η εκχώρηση των τιμών των δεικτών στους 4 επόμενους πίνακες. Για θέματα υπολογιστικής ισχύς, γίνεται μία αναπροσαρμογή των τιμών από 0 έως 1, αντί να κυμαίνεται από  $0-2^{16}$ .

Χρησιμοποιώντας τις στοίβες των εικόνων, δημιουργούμε έναν υπερκύβο, ο οποίος απαρτίζεται από το σύνολο των στοιβών κάθε ημερομηνίας. Για να δημιουργήσουμε τον υπερκύβο, τον αρχικοποιούμε, δίνοντας τις διαστάσεις ίσες με  $(m,n,k*\text{numFiles})$ , όπου  $(m,n,k)$  οι διαστάσεις των `stack` και `numFiles` ο αριθμός των στοιβών.

Κατόπιν, εξάγονται τα χαρακτηριστικά από το `ground truth`. Φορτώνεται ο υπερκύβος και το `ground truth`. Ο υπερκύβος μετατρέπεται σε διανύσματα και στη συνέχεια βρίσκονται οι ξεχωριστές τιμές των διάφορων χαρακτηριστικών που απαντώνται στην εικόνα `ground truth`, οι οποίες αντιπροσωπεύουν και τις διαφορετικές κλάσεις, εντοπίζονται οι θέσεις των χαρακτηριστικών αυτών καθώς και ο αριθμός των συνολικών εικονοστοιχείων, που καταλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά της κάθε κλάσης.

Γίνεται έλεγχος των χαρακτηριστικών, για να διαπιστωθεί εάν ξεπερνούν τις 40000 pixel και αν αυτό συμβαίνει περικόπτονται τυχαία, ώστε να κρατηθούν μόνο τα 40000 pixel. Δημιουργείται, λοιπόν, ένα αρχείο, τα οποίο αποτελείται από 54 δυσδιάστατους πίνακες (6 ημερομηνίες για κάθε έτος με χρήση 9 καναλιών), με διάσταση διαφορετική ο καθένας, η οποία είναι ίση με  $(\text{deig},bnd)$ , όπου `deig` ο αριθμός των εικονοστοιχείων δειγματοληψίας της εκάστοτε κλάσης και `bnd` ο αριθμός των καναλιών και των δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν. Κάθε ένας τέτοιος πίνακας, αντιπροσωπεύει τις αναπροσδιορισμένες τιμές του κάθε καναλιού για το κάθε δείγμα της εκάστοτε κλάσης. Καθώς, στην συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκαν 30 κλάσεις για το έτος 2016 και 33 κλάσεις για το έτος 2017, δημιουργούνται και αντίστοιχα οι πίνακες για κάθε έτος πίνακες.

Τέλος, τα εικονοστοιχεία δειγματοληψίας χωρίζονται τυχαία σε δύο σύνολα. Το πρώτο σύνολο αποτελεί το 70% του συνόλου των δειγμάτων και αντιπροσωπεύει τα δεδομένα εκπαίδευσης του αλγορίθμου, ενώ το δεύτερο σύνολο απαρτίζεται από το 30% των δειγματοληπτικών δεδομένων και αποτελεί τα δεδομένα ελέγχου του αλγορίθμου. Εισάγονται ως ορίσματα στο μοντέλο τα σύνολα αυτά, το μοντέλο τρέχει και εξάγει ως αποτελέσματα δύο πίνακες (`yt,predict`), από τους οποίους υπολογίζεται ο πίνακας σύγχυσης της ταξινόμησης. Τέλος, εφαρμόζοντας την εντολή `predict`, ο ταξινομητής αποδίδει τιμή σε κάθε pixel της εικόνας, βάση των προτύπων που χτίστηκαν κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης.

## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των δυο ετών, η συγκριτική τους αξιολόγηση και τέλος η παρουσίαση ορισμένων χαρακτηριστικών περιπτώσεων και η ανάλυση τους με εικόνες και χάρτες.

Στους πίνακες σύγκυσης που θα παρουσιαστούν στο παρόν κεφάλαιο οι σειρές αντιστοιχούν στις κλάσεις του ground truth, οι στήλες αντιστοιχούν στις κλάσεις του αποτελέσματος ταξινόμησης. Από τους πίνακες σύγκυσης μπορούμε να απαντήσουμε στο ερώτημα σε ποιες κατηγορίες συμπεριλήφθηκαν τα εικονοστοιχεία που παραλήφθηκαν από την τάδε κατηγορία, αλλά και να κατανοήσουμε ποιές κατηγορίες συγχέει το μοντέλο. Τα μεγέθη ακριβείας που εξάγονται από τον πίνακα σύγκυσης και θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα ανάλυση είναι:

1. Ακρίβεια – ACC/PA (επίσης γνωστή ως ακρίβεια του παραγωγού- Producer Accuracy): Το μέγεθος που αντιπροσωπεύει την ακρίβεια της ταξινόμησής για την κάθε κλάση. Προκύπτει από τον λόγο των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία της εν λόγω κλάσης του ground truth.
2. Αξιοπιστία – REL/UA (επίσης γνωστή ως ακρίβεια χρήστη – User Accuracy): Το μέγεθος που αντιπροσωπεύει την αξιοπιστία της κάθε κλάσης στην ταξινομημένη εικόνα. Πρόκειται για το κλάσμα των σωστά ταξινομημένων pixel σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία που ταξινομούνται σε αυτήν την κατηγορία στην ταξινομημένη εικόνα.
3. Συνολική Ακρίβεια (OA): Υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων (διαγώνιων στοιχείων) διαιρούμενος με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων ελέγχου.

### 5.1 Αποτελέσματα ταξινόμησης για το έτος 2016

Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τον ετήσιο κύβο έξι ημερομηνιών για το έτος 2016. Με βάση την αναφορά της ταξινόμησης για το έτος 2016 η συνολική ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 92%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5,6,7), στην ακρίβειά τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 13% - 97%, με αισθητά χαμηλότερη την κατηγορία 3 που αφορά στις βιομηχανικές/εμπορικές μονάδες (13%), ενώ όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες σημείωσαν ποσοστά άνω του 63%. Η συγκεκριμένη κατηγορία παρουσιάζει λανθασμένες περιπτώσεις ταξινόμησης προς την κατηγορία 5, δηλαδή τις εγκαταστάσεις εξόρυξης (λατομεία/ορυχεία). Στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά 63% - 99%, με χαμηλότερη και πάλι 3 που αφορά στις βιομηχανικές/εμπορικές μονάδες (13%) , ενώ όλες οι υπόλοιπες σημείωσαν ποσοστά άνω του 64%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις καλλιέργειες (18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28, 29,30), στην ακρίβειά τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 20% - 98%, με χαμηλότερες τις κατηγορίες 20

(οπωροφόρα δέντρα 33%), 25 (βρώμη 21%), 29 (πεπόνια/καρπούζια 20%) και 30 (αγρανάπαυση 34%). Στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά 50% - 98%, με χαμηλότερες τις κατηγορίες 20 (οπωροφόρα δέντρα 51%) και 25 (βρώμη 50%).

Οι κατηγορίες που αφορούν δασικές εκτάσεις (8,9), τόσο στην ακρίβειά όσο και στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά άνω του 99%, υποδεικνύοντας έτσι άριστη απόδοση στην ταξινόμηση τους.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (10,11,12,13), στην ακρίβειά τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 86% - 99%, με χαμηλότερη την κατηγορία 10 (φυσικά λιβάδια με PA:86%). Στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά 87% - 98%, με χαμηλότερη την κατηγορία 13 (βοσκοτόπια με UA: 87%).

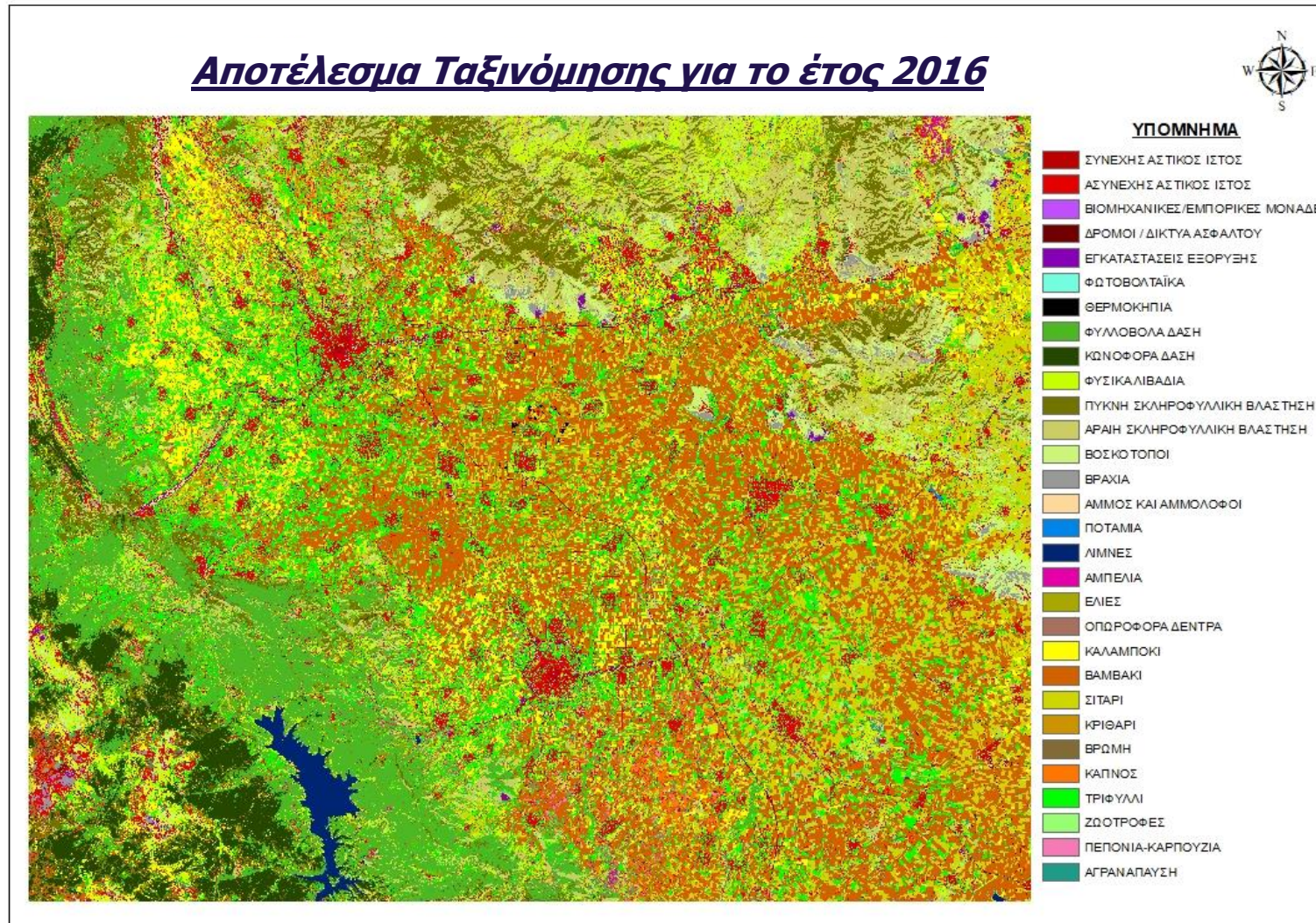
Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης (14,15), στην ακρίβειά τους παρουσιάζουν ποσοστά ίσα με 82% και 86%, αντίστοιχα. Τα ποσοστά της αξιοπιστίας είναι 88% και 70% αντίστοιχα.

Οι κατηγορίες που περιλαμβάνουν τα ύδατα, δηλαδή τα ποτάμια και οι λίμνες (16,17), στην ακρίβειά τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 98% - 100%, αντίστοιχα. Για την αξιοπιστία τους επιτυγχάνουν ποσοστό 100%, και για τις δυο κατηγορίες.

Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα σύγχυσης (Πίνακας 12). Η διαγώνιος του πίνακα που αντιστοιχίζεται στις ορθές ταξινομήσεις επισημαίνεται με μοβ χρώμα, ενώ οι λανθασμένες ταξινομήσεις ανά κατηγορία (γραμμή) με πολυάριθμα εικονοστοιχεία επισημαίνονται με γαλάζιο. Το αποτέλεσμα της πρόβλεψη της ταξινόμησης παρουσιάζεται επίσης με έναν ταξινομημένο χάρτη (Σχήμα 15).

Πίνακας 12: Πίνακας σύγκρισης κατηγοριών για το έτος 2016.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	sum	ACC/PA
	2016	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	ΕΠΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΥΣΗΣ	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΝΗ	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΝΗ	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	ΒΡΑΧΙΑ	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	ΠΟΤΑΜΙΑ	ΛΙΜΝΕΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛΙΕΣ	ΟΠΟΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΙΤΑΡΙ	ΚΡΙΘΑΡΙ	ΒΡΩΜΗ	ΚΑΠΝΟΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΙ	ΣΩΤΡΟΦΕΣ	ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ	ΑΓΡΑΝΑ ΠΑΥΣΗ		
1	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	551	145	9	35	71	2	2	0	0	0	0	2	0	2	42	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	1	0	0	3	870	63%
2	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	174	1420	3	5	55	0	1	0	0	18	0	10	12	11	35	0	0	9	1	25	13	44	11	1	0	5	269	0	0	0	2122	67%
3	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	22	13	39	26	149	0	7	0	0	0	0	8	0	19	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	307	13%
4	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	9	10	0	226	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	287	79%
5	ΕΠΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΥΣΗΣ	46	7	7	15	1658	0	15	0	0	0	0	0	4	145	154	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	1	0	0	2058	81%
6	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	4	0	0	1	0	189	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	195	97%
7	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	0	0	0	0	12	0	452	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	470	96%
8	ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	0	1	0	0	0	0	0	4217	0	3	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4231	100%
9	ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	1	2775	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2779	100%
10	ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1247	0	23	7	0	0	0	0	2	2	18	14	0	0	0	3	0	129	0	0	0	1451	86%
11	ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΝΗ	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2636	20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2661	99%
12	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΝΗ	0	27	0	0	0	0	0	0	0	15	39	1691	78	1	0	0	0	0	2	7	0	0	34	0	0	0	14	0	0	0	1908	89%
13	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	0	38	0	0	0	0	0	0	0	4	0	24	1609	91	0	0	0	0	0	0	6	11	16	0	0	0	11	0	0	0	1810	89%
14	ΒΡΑΧΙΑ	50	4	1	0	141	0	0	0	0	0	0	0	132	2006	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2337	86%	
15	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	7	11	3	3	133	0	1	0	0	0	0	0	0	0	740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	898	82%
16	ΠΟΤΑΜΙΑ	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	272	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	274	99%
17	ΛΙΜΝΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4759	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4759	100%
18	ΑΜΠΕΛΙΑ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	4	5	0	0	0	0	0	311	2	10	1	5	0	0	0	0	6	0	0	0	353	88%
19	ΕΛΙΕΣ	0	3	0	0	0	0	0	10	0	0	11	41	0	0	0	0	0	0	272	1	0	1	1	0	0	0	6	0	0	0	346	79%
20	ΟΠΟΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ	1	26	0	0	0	0	0	33	0	10	0	15	1	0	0	0	0	18	8	156	3	54	7	0	0	0	132	0	3	11	478	33%
21	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	9911	178	51	7	0	1	161	0	1	10318	96%	
22	ΒΑΜΒΑΚΙ	3	18	0	1	8	0	0	0	0	0	0	6	0	0	12	0	0	2	0	9	117	11545	36	3	0	3	225	5	3	4	12000	96%
23	ΣΙΤΑΡΙ	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	12	8	26	8982	18	24	0	66	97	1	14	9260	97%
24	ΚΡΙΘΑΡΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	39	14	116	278	6	0	31	0	0	0	486	57%
25	ΒΡΩΜΗ	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	90	25	39	0	20	0	0	1	189	21%
26	ΚΑΠΝΟΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	21	0	0	1369	0	0	0	0	1399	98%
27	ΤΡΙΦΥΛΛΙ	0	30	0	0	0	0	0	0	0	25	0	8	4	0	0	0	0	0	0	47	164	352	73	13	5	2	10259	0	2	7	10991	93%
28	ΣΩΤΡΟΦΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	162	0	1	0	4	855	0	5	1028	83%	
29	ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	28	0	6	0	13	0	0	17	0	0	85	20%
30	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0	30	0	0	0	0	0	0	0	7	0	2	1	6	0	0	0	0	0	13	3	67	164	17	0	0	38	17	0	191	556	34%
	sum	867	1796	62	314	2231	191	478	4272	2777	1355	2693	1865	1848	2281	1052	272	4759	344	289	307	10292	12341	9769	368	78	1393	11373	975	26	238	OA	
	REL/UA	64%	79%	63%	72%	74%	99%	95%	99%	100%	92%	98%	91%	87%	88%	70%	100%	100%	90%	94%	51%	96%	94%	92%	76%	50%	98%	90%	88%	65%	80%		92%



Σχήμα 15: Χάρτης ταξινόμησης για το έτος 2016.



### 5.1.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για το έτος 2016

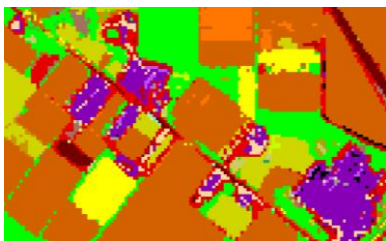
Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν ποσοτικά και ποιοτικά παραδείγματα κατηγοριών που ταξινομήθηκαν λανθασμένα σε μεγάλο ποσοστό και ως προς την ακρίβεια αλλά και ως προς την αξιοπιστία. Αναφέρονται οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες ποσοστών για την ακρίβεια και την αξιοπιστία που παρουσίασαν (80%-100%, 50%-80% και κάτω του 50%). Τέλος παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ ακρίβειας και αξιοπιστίας για την κάθε κατηγορία.

**Πίνακας 13:** Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των δεδομένων ελέγχου ανά κατηγορία (σφάλματα παράλειψης).

Σφάλματα Παράλειψης	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	ΒΡΑΧΙΑ	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΙΤΑΡΙ	ΤΡΙΦΥΛΛΙ
ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ		17%	8%				5%				
ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	8%		3%								13%
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ			49%								
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ						7%	7%				
ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ											9%
ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ					4%						
ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ						5%					
ΒΡΑΧΙΑ			6%		6%						
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ			15%								
ΕΛΙΕΣ				12%							
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ											28%
ΚΡΙΘΑΡΙ										24%	
ΒΡΩΜΗ										48%	
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ										16%	
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ									12%	29%	

Στην κατηγορία Σιτάρι ταξινομήθηκαν εσφαλμένα ποσοστά που αντιστοιχούν το 48% των δεδομένων ελέγχου της Βρώμης, το 24% του Κριθαριού, 16% Ζωοτροφές και το 29% Αγρανάπαυση. Η συγκεκριμένη διαπίστωση αξιολογείται ως αναμενόμενη και λογική καθώς η φασματική τους συμπεριφορά και ο ετήσιος κύκλος τους παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες, αφού πρόκειται και για υποείδη των σιτηρών. Όπως παρουσιάστηκε και στην ανάλυση της παραγράφου 4.1.1 αυτές καλλιέργειες παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα και τέσσερες εποχές. Επίσης είναι καλλιέργειες που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά ως προς το χρονικό διάστημα φύτευσης τους και ως προς το χρονικό διάστημα συγκομιδής τους. Όσον αφορά την κατηγορία Αγρανάπαυση, είναι μια ετερογενής κατηγορία που εμπεριέχει πολλές φορές μίξη καλύψεων με αποτέλεσμα να εμφανίζεται σε πολλές περιπτώσεις λανθασμένων ταξινομήσεων.

Σύγκριση κατηγοριών Βιομηχανικές/Εμπορικές μονάδες και Εγκαταστάσεων εξόρυξης



Σχήμα 16: Ταξινομημένος Χάρτης

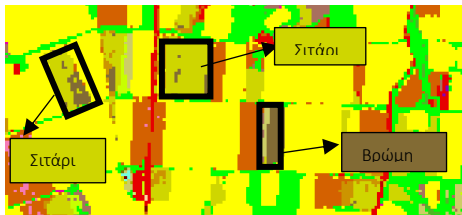


Σχήμα 17: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2

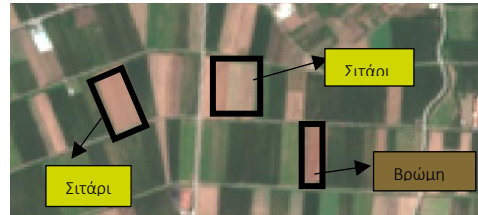


Σχήμα 18: Εικόνα από Google Earth

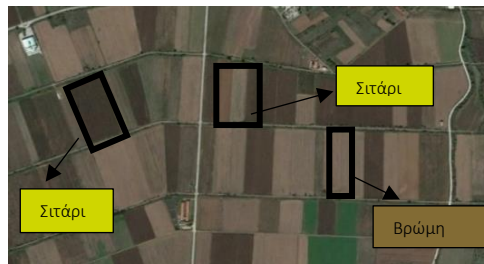
### Σύγκριση καλλιεργειών Βρώμης και Σιταριού



Σχήμα 19: Ταξινομημένος Χάρτης



Σχήμα 20: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2



Σχήμα 21: Εικόνα από Google Earth

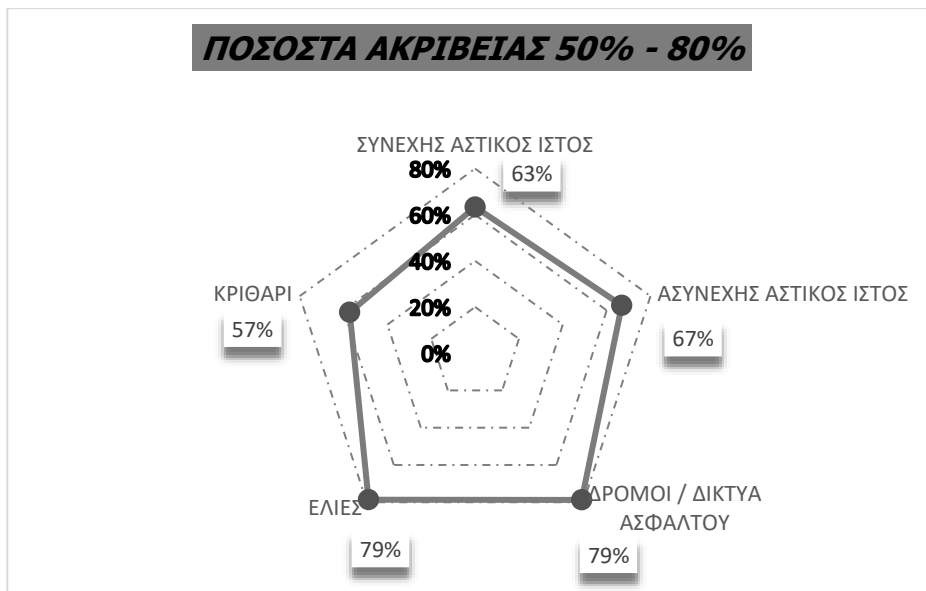
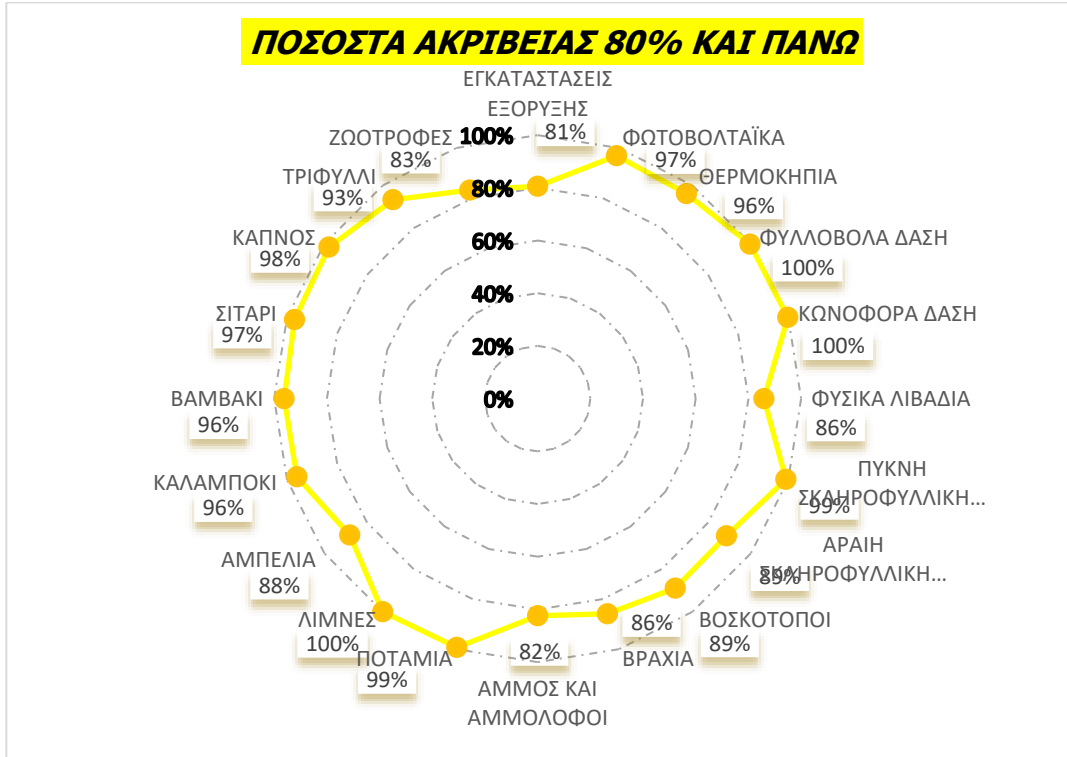
Τέλος στην κατηγορία Τριφύλλι ταξινομήθηκαν εσφαλμένα ποσοστά που αντιστοιχούν σε ποσοστό 28% των δεδομένων ελέγχου των Οπωροφόρων δέντρων. Η συγκεκριμένη παρατήρηση θα μπορούσε να αποδοθεί σε περιπτώσεις τεμαχίων μικτής καλλιέργειας οπωροφόρων δέντρων με καλλιέργειες χαμηλής ποώδους βλάστησης (π.χ. μυρωδικά) αλλά και σε περιπτώσεις αραιοφυτεμένων από δέντρα τεμαχίων στα οποία φυτρώνει φυσική χορτολοβαδική βλάστηση.

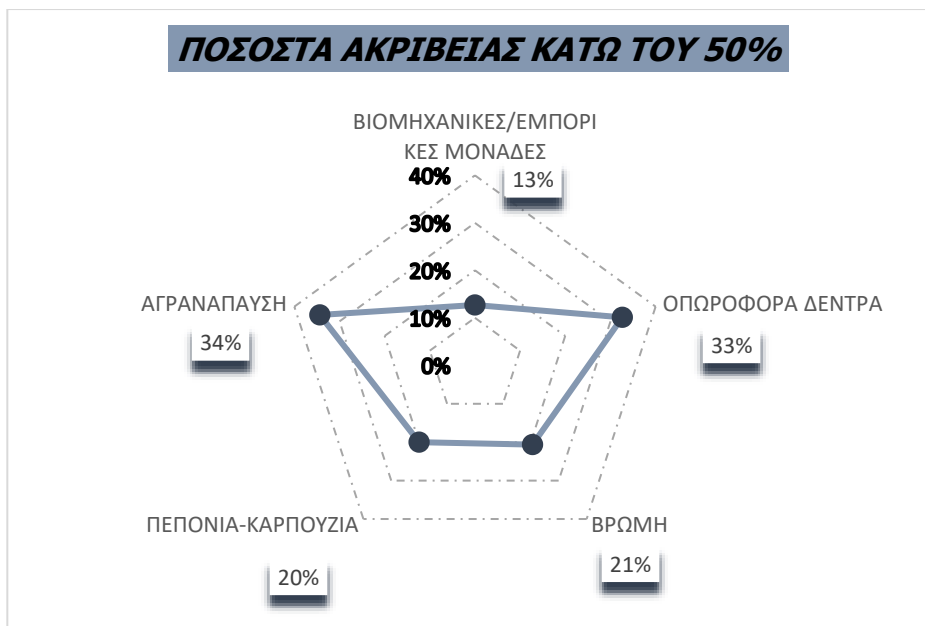
Για την παραπάνω ανάλυση παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα εικόνων για την ποιοτική τους αξιολόγηση.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζετε η κατάταξη της κάθε κατηγορίας σε μια από τις ομάδες των ποσοστών ακριβείας που δημιουργήθηκαν.

Οι περισσότερες κατηγορίες κατατάσσονται στην κατηγορία που τα ποσοστά σημειώνουν ακρίβεια πάνω από 80% ενώ μικρό πλήθος κατηγοριών παρατηρείται στις κατηγορίες 50%-80% και κάτω του 50%. Για τις τελευταίες, η χαμηλή απόδοση συσχετίζεται με τη φασματική ομοιότητα με άλλες όμοιες κατηγορίες σε συνδυασμό συνήθως και με σημαντικά μικρότερο πλήθος εικονοστοιχείων εκπαίδευσης, όπως αναλύθηκε και στις προηγούμενες παραγράφους για την μίξη της Βρώμης με το Σιτάρι και των βιομηχανικών/εμποριών

μονάδων με τις Εγκαταστάσεις εξόρυξης. Παράλληλα ορισμένες κατηγορίες όπως αυτή της αγρανάπαυσης παρουσιάζουν χαμηλή ακρίβεια (κάτω του 50%) και μεγάλη ετερογένεια, καθώς είναι μικτή κατηγορία περιέχει δηλαδή στοιχεία από πολλές άλλες κατηγορίες-καλλιέργειες.





Σχήμα 22: Ποσοστά Ακριβείας για το έτος 2016

Πίνακας 14: Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των ταξινομημένων εικονοστοιχείων ανά κατηγορία (σφάλματα συμπερίληψης).

Σφάλματα Συμπερίληψης	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ /ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	ΒΡΑΧΙΑ	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	ΕΛΙΕΣ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΙΤΑΡΙ	ΚΡΙΘΑΡΙ	ΒΡΩΜΗ	ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ
ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ		20%													
ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	8%														
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ			7%				6%	6%							
ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ									2%						
ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ					7%		4%								
ΒΡΑΧΙΑ				6%		4%									
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ				15%											
ΣΙΤΑΡΙ													1%	1%	2%
ΒΡΩΜΗ												31%			
ΤΡΙΦΥΛΛΙ		2%								2%					
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ											10%				

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται τα ποσοστά των σφαλμάτων συμπερίληψης για τις κατηγορίες στις οποίες εντοπίστηκαν τα περισσότερα λάθη ταξινόμησης. Το 20% των εικονοστοιχείων από το μοντέλο ως Ασυnehής αστικός ιστός, κατηγορίας Συνεχής αστικός ιστός ενώ αντίστοιχα το 8% των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως Ασυnehής αστικός ιστός ανήκαν στα δεδομένα ελέγχου της κατηγορίας του Συνεχούς αστικού ιστού.

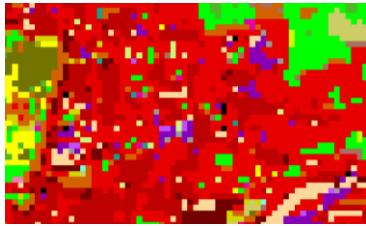
Επίσης το 15% των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως Άμμος και αμμόλοφοι ανήκουν στην κατηγορία Εγκαταστάσεις εξόρυξης γεγονός που αποδίδεται στο ότι οι εγκαταστάσεις εξόρυξης παρουσιάζουν στο μεγαλύτερο μέρος τους παρόμοια κάλυψη υλικών αλλά και φασματική συμπεριφορά, δηλαδή ανοιχτόχρωμους τόνους πολύ υψηλής φωτεινότητας.

Το 31% των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως Βρώμη ανήκαν στα δεδομένα ελέγχου της κατηγορίας Σιτάρι. Η συγκεκριμένη παρατήρηση αποδίδεται στους ίδιους ακριβώς λόγους που αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο για τον Πίνακα 12.

Τέλος το 10% των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως Ζωοτροφές ανήκαν στα δεδομένα ελέγχου της κατηγορίας Σιτάρι, γεγονός αναμενόμενο καθώς και οι Ζωοτροφές περιλαμβάνουν συγγενικά είδη με τα Σιτηρά.

Για την παραπάνω ανάλυση παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα εικόνων για την ποιοτική τους αξιολόγηση.

Σύγκριση κατηγοριών Συνεχής αστικός ιστός και Ασυνεχής αστικός ιστός



Σχήμα 23: Ταξινομημένος Χάρτης



Σχήμα 24: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2

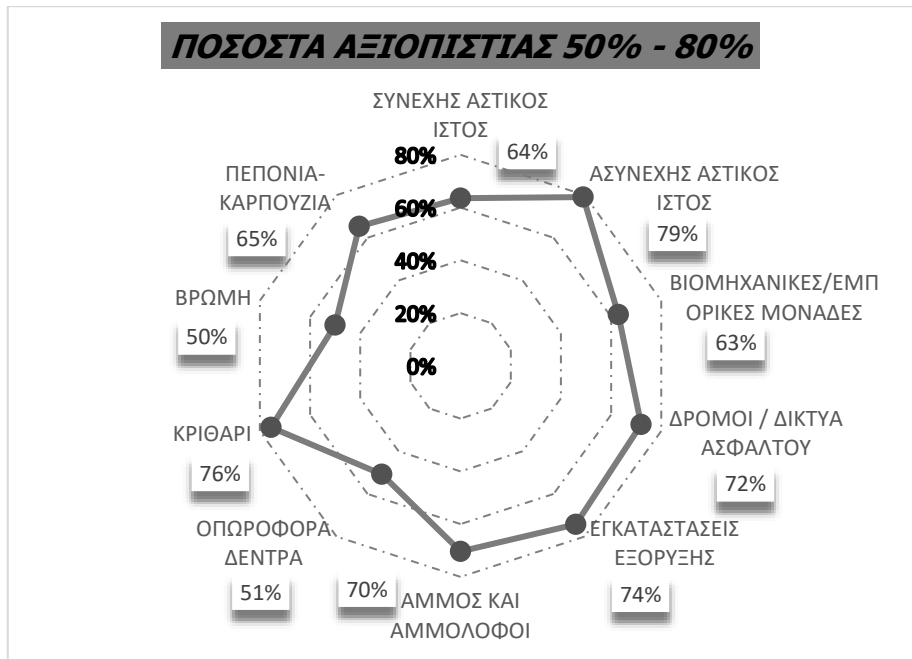


Σχήμα 25: Εικόνα από το Google Earth

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η κατάταξη της κάθε κατηγορίας σε μια από τις ομάδες των ποσοστών αξιοπιστίας που δημιουργήθηκαν.

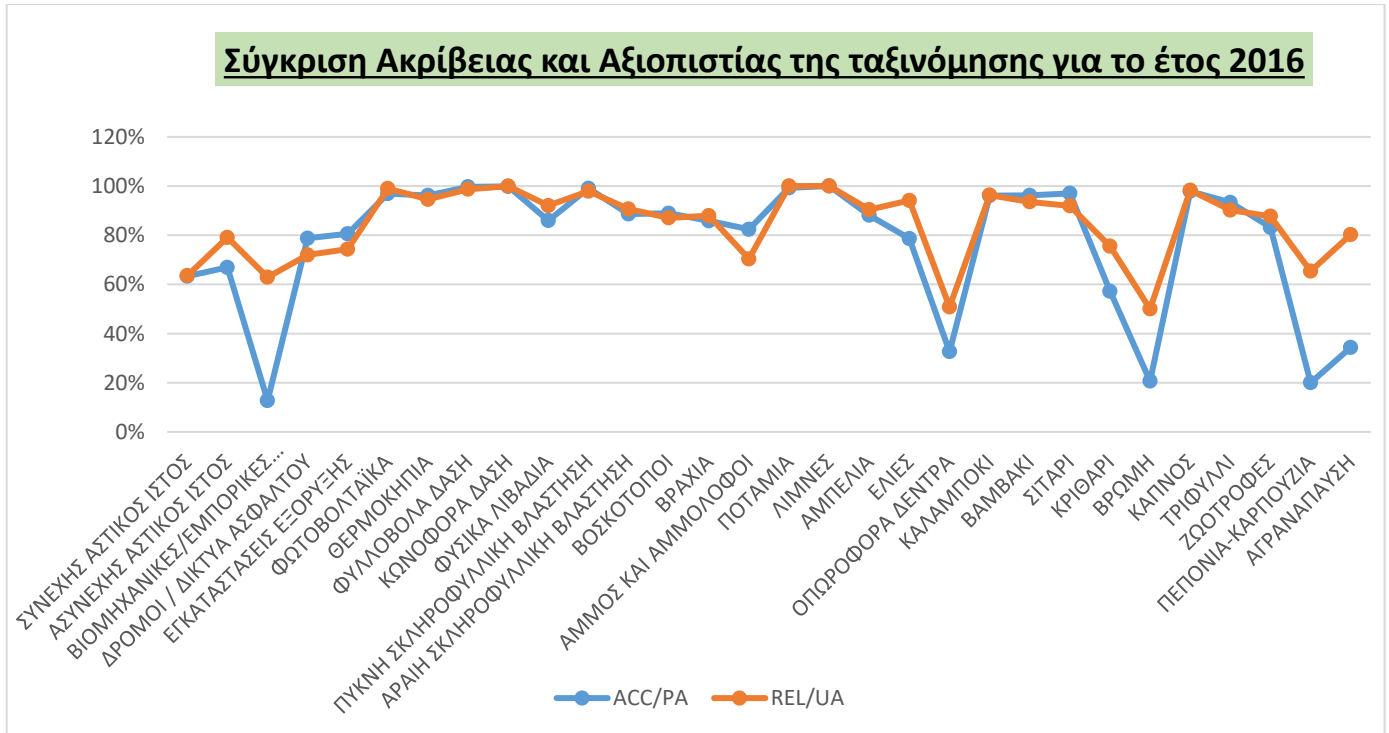
Οι περισσότερες κατηγορίες κατατάσσονται στην κατηγορία που τα ποσοστά σημειώνουν αξιοπιστία πάνω από 80% (20 κατηγορίες) ενώ αρκετό πλήθος κατηγοριών παρατηρείται στην κατηγορία 50%-80% (13 κατηγορίες).

Ας σημειωθεί πως σε σύγκριση με τα διαγράμματα που έχουν παρουσιαστεί ως προς την Ακρίβεια των αποτελεσμάτων οι κατηγορίες που αποδίδονται πάνω από 80% είναι σχεδόν ίδιες (18 από 20).



Σχήμα 26: Ποσοστά Αξιοπιστίας για το έτος 2016

Τέλος παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ ακρίβειας και αξιοπιστίας για την κάθε κατηγορίας. Διαπιστώνεται η κοινή πορεία των κατηγοριών βάσει της σύγκρισης Ακρίβειας και Αξιοπιστίας εκτός από τις κατηγορίες Βιομηχανικές/Εμπορικές μονάδες, Βρώμη και Πεπόνια-Καρπούζια.



Σχήμα 27: Σύγκριση Ακρίβειας και Αξιοπιστίας για το έτος 2016

## 5.2 Αποτελέσματα ταξινόμησης για το έτος 2017

Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τον ετήσιο κύβο έξι ημερομηνιών για το έτος 2017. Με βάση την αναφορά της ταξινόμησης για το έτος 2017 η συνολική ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 89%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5,6,7), στην ακρίβειά τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 24% - 99%, με αισθητά χαμηλότερη την κατηγορία 3 που αφορά στις βιομηχανικές/εμπορικές μονάδες (24%), ενώ όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες σημείωσαν ποσοστά άνω του 67%. Στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά 70% - 99%, με χαμηλότερη αυτή τη φορά την κατηγορία 1 που αφορά στον συνεχή αστικό ιστό (70%), ενώ όλες οι υπόλοιπες σημείωσαν ποσοστά άνω του 64%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις καλλιέργειες (18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30), στην ακρίβειά τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 19% - 99%, με αισθητά χαμηλό ποσοστό να παρουσιάζει η κατηγορία 28 (ζωοτροφές 33%) και με ελαφρώς αυξημένα τα ποσοστά στις κατηγορίες 24 (κριθάρι 32%) και 20 (οπωροφόρα δέντρα 36%). Στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά 35% -94%, με χαμηλότερα ποσοστά να εμφανίζονται στην κατηγορία 28 (ζωοτροφές 35%).

Οι κατηγορίες που αφορούν δασικές εκτάσεις (8,9), τόσο στην ακρίβειά όσο και στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά άνω του 99%, υποδεικνύοντας έτσι άριστη απόδοση στην ταξινόμηση τους.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (10,11,12,13), στην ακρίβειά τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 88% - 99%, με χαμηλότερες τις κατηγορίες 10 και 12 (φυσικά λιβάδια 88% και αραιή σκληροφυλλική βλάστηση 88%) που σημειώνουν αντίστοιχα το ίδιο ποσοστό. Στην αξιοπιστία τους κυμαίνονται σε ποσοστά 87% - 98%, με χαμηλότερη την κατηγορία 13 (βοσκοτόπια 87%).

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης (14,15), στην ακρίβειά τους τα ποσοστά είναι 86% και 79%, αντίστοιχα. Τα ποσοστά της αξιοπιστίας είναι 90% και 72% αντίστοιχα.

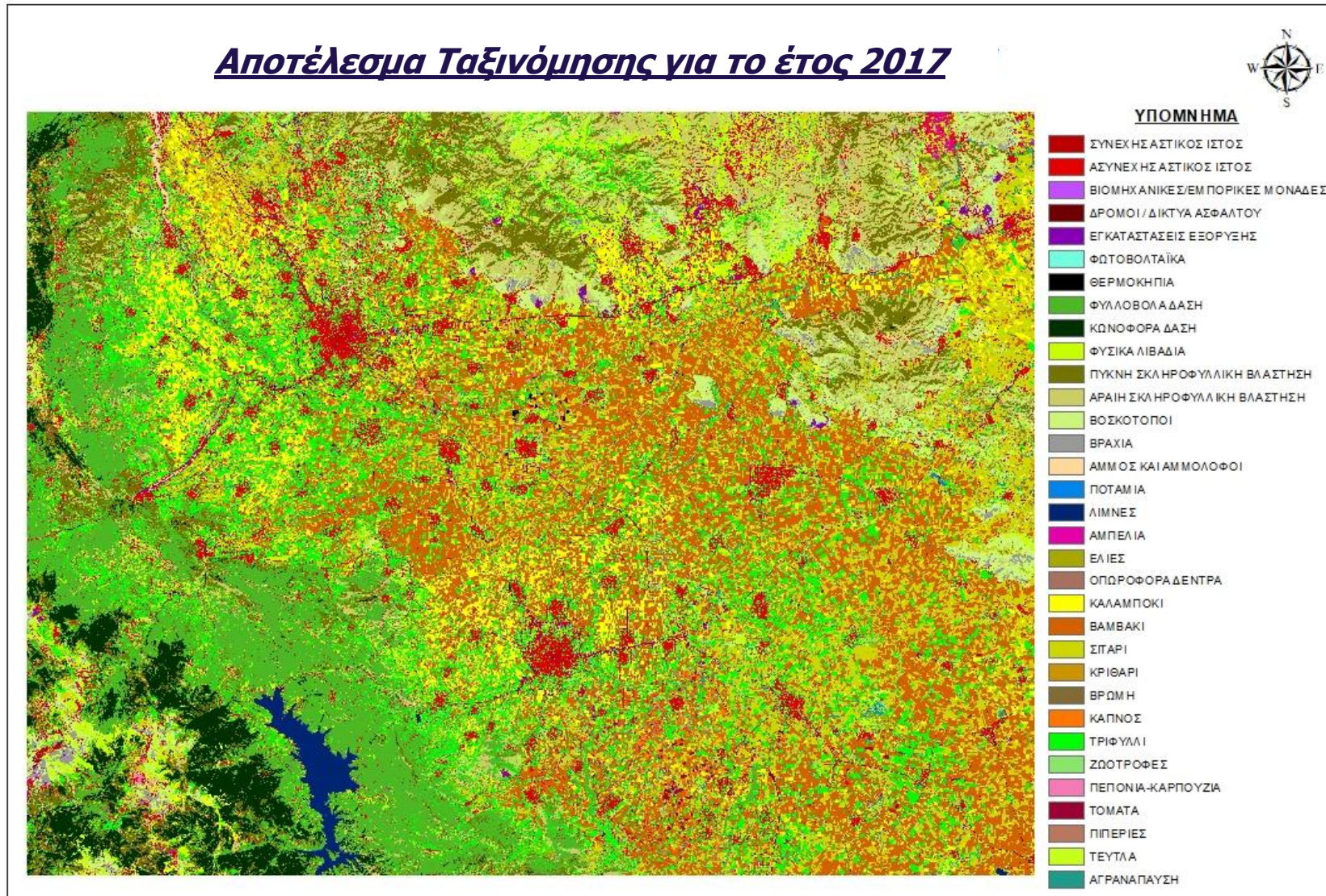
Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα σύγκυσης (Πίνακας 15). Η διαγώνιος του πίνακα που αντιστοιχίζεται στις ορθές ταξινομήσεις επισημαίνεται με μοβ χρώμα, ενώ οι λανθασμένες ταξινομήσεις ανά κατηγορία (γραμμή) με πολυάριθμα εικονοστοιχεία επισημαίνονται με γαλάζιο.

Το αποτέλεσμα της πρόβλεψη της ταξινόμησης παρουσιάζεται επίσης με έναν ταξινομημένο χάρτη (Σχήμα 28).



Πίνακας 15: Πίνακας σύγκρισης κατηγοριών για το έτος 2017.

ΚΩΔΙΚΟΣ	2017	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΕΙΑ	ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	ΚΟΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	ΒΡΑΧΙΑ	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	ΠΟΤΑΜΙΑ	ΛΙΜΝΕΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛΙΕΣ	ΟΠΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΙΤΑΡΙ	ΚΡΗΘΑΡΙ	ΒΡΟΜΗ	ΚΑΠΝΟΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΟ	ΣΩΤΡΟΦΕΣ	ΠΕΠΟΝΙΑ ΚΑΡΠΟΥΣΙΑ	ΤΟΜΑΤΑ	ΠΙΠΕΡΙΕΣ	ΤΕΥΤΛΑ	ΑΓΡΑΝΑΓΙΣΗ	sum	ACC/PA		
1	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	587	168	11	7	53	1	3	0	0	1	0	3	5	2	26	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	870	67%	
2	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	157	1544	2	7	53	0	2	8	0	51	0	14	26	8	1	0	0	1	1	8	28	13	37	0	1	0	139	9	0	1	1	0	10	2122	73%		
3	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	29	17	74	13	105	1	18	0	0	10	0	6	0	3	28	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	307	24%		
4	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	6	7	0	230	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	287	80%	
5	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ	26	20	1	1	1729	0	24	0	0	0	0	0	6	52	192	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2058	84%		
6	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	0	0	0	1	0	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	195	99%		
7	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	1	1	0	2	48	0	415	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	470	88%		
8	ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	0	3	0	0	0	0	0	4209	1	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4231	99%		
9	ΚΟΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	0	0	0	0	0	0	3	2772	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2779	100%		
10	ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	0	22	0	0	0	0	0	15	0	1281	0	5	44	0	0	0	0	0	16	0	6	5	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	8	1451	88%		
11	ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2638	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2661	99%		
12	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	51	0	0	0	0	0	0	0	6	39	1674	61	13	0	0	0	0	10	23	0	0	5	0	1	0	22	2	0	0	0	0	1	1908	88%		
13	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	2	20	0	0	0	0	0	0	0	25	0	20	1629	88	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1810	90%		
14	ΒΡΑΧΙΑ	6	0	3	0	150	0	5	0	0	0	0	0	141	2019	2	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2337	86%	
15	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	2	4	2	18	162	0	0	0	0	0	0	0	4	706	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	898	79%		
16	ΠΟΤΑΜΙΑ	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	269	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	274	98%		
17	ΛΙΜΝΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4759	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4759	100%		
18	ΑΜΠΕΛΙΑ	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	324	0	1	0	0	12	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	353	92%	
19	ΕΛΙΕΣ	0	5	0	0	0	0	0	12	0	0	2	59	3	0	0	0	0	0	225	1	0	0	20	0	4	0	10	2	0	0	0	0	3	346	65%		
20	ΟΠΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ	0	26	0	0	5	0	0	16	0	2	0	7	6	1	0	0	0	14	6	127	7	20	72	0	0	0	29	10	0	0	0	0	2	350	36%		
21	ΚΑΛΑΜΠΟΚΟΙ	0	11	0	0	2	0	0	0	15	0	0	0	0	48	0	0	0	0	4	7923	196	302	0	7	0	103	2	0	14	0	20	3	8650	92%			
22	ΒΑΜΒΑΚΙ	8	11	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	40	11782	42	0	8	1	12	17	0	25	26	0	7	12000	98%			
23	ΣΙΤΑΡΙ	13	22	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	109	328	11034	78	176	53	54	59	2	7	20	0	25	12000	92%		
24	ΚΡΗΘΑΡΙ	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	30	52	456	353	82	0	14	58	2	0	0	1	27	1092	32%			
25	ΒΡΟΜΗ	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	60	584	44	580	5	6	91	0	2	0	0	41	1433	40%			
26	ΚΑΠΝΟΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	2019	0	1	0	0	2	0	3	2030	99%			
27	ΤΡΙΦΥΛΛΟ	1	36	0	0	0	0	0	4	0	23	0	52	0	0	0	0	0	2	2	7	114	145	85	0	1	0	5221	24	0	1	3	13	20	5754	91%		
28	ΣΩΤΡΟΦΕΣ	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	2	17	1	11	31	300	0	182	14	130	188	1	0	3	8	54	992	19%			
29	ΠΕΠΟΝΙΑ ΚΑΡΠΟΥΣΙΑ	0	11	0	0	1	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	41	0	0	0	4	0	0	123	0	0	40	1	244	50%		
30	ΤΟΜΑΤΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	965	3	0	1	1036	93%
31	ΠΙΠΕΡΙΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	79	505	0	0	590	86%	
32	ΤΕΥΤΛΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	137	42	3	4	0	0	22	4	0	0	273	2	503	54%			
33	ΑΓΡΑΝΑΓΙΣΗ	0	5	0	0	4	0	0	0	0	13	0	1	0	0	0	0	0	33	11	37	16	123	1	11	52	32	43	0	0	0	0	342	724	47%			
	sum	838	2048	93	284	2331	196	467	4267	2773	1477	2684	1881	1924	2239	984	269	4759	347	330	185	8365	12833	13198	479	1059	2144	5836	530	132	1094	563	355	550	OA			
	REL/UA	70%	75%	80%	81%	74%	99%	89%	99%	100%	87%	98%	89%	85%	90%	72%	100%	100%	93%	68%	69%	95%	92%	84%	74%	55%	94%	89%	35%	93%	88%	90%	77%	62%		89%		



Σχήμα 28: Χάρτης ταξινόμησης για το έτος 2017.

### 5.2.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για το έτος 2017

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν ποσοτικά και ποιοτικά παραδείγματα κατηγοριών που ταξινομήθηκαν λανθασμένα σε μεγάλο ποσοστό και ως προς την ακρίβεια αλλά και ως προς την αξιοπιστία. Αναφέρονται οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες ποσοστών για την ακρίβεια και την αξιοπιστία που παρουσίασαν (80%-100%, 50%-80% και κάτω του 50%). Τέλος παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ ακρίβειας και αξιοπιστίας για την κάθε κατηγορία.

**Πίνακας 16:** Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των δεδομένων ελέγχου ανά κατηγορία (σφάλματα παράλειψης).

Σφάλματα Παράλειψης	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΙΤΑΡΙ	ΒΡΩΜΗ	ΤΡΙΦΥΛΛΙ	ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	ΤΟΜΑΤΑ
ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ		19%											
ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	7%										7%		
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ			34%										
ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ						9%							
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ			10%										
ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ					3%						3%		
ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ		3%			3%								
ΒΡΑΧΙΑ			6%		6%								
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ			18%										
ΕΛΙΕΣ				17%									
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ									21%				
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ								2%	3%		1%		
ΣΙΤΑΡΙ							1%	3%		1%			
ΚΡΙΘΑΡΙ									42%				
ΒΡΩΜΗ									41%			6%	
ΤΡΙΦΥΛΛΙ							2%	3%					
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ									30%	18%	13%		
ΠΙΠΕΡΙΕΣ													13%
ΤΕΥΤΛΑ								27%					
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ									17%				

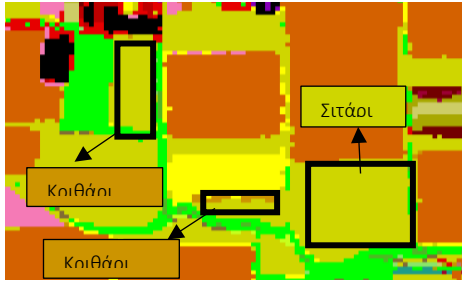
Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται τα ποσοστά των σφαλμάτων παράλειψης για τις κατηγορίες στις οποίες εντοπίστηκαν τα περισσότερα λάθη ταξινόμησης. Ο συνεχής αστικός ιστός όπως αναμένεται παρουσιάζει λανθασμένες ταξινομήσεις κατά 19% προς τον ασυνεχή.

Το 21% των δεδομένων ελέγχου των Οπωροφόρων δέντρων, το 42% του Κριθαριού, το 41% της Βρώμης, το 30% των Ζωοτροφών και το 17% της Αγρανάπαυσης και το 24% του Κριθαριού, ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Σιτάρι. Οι κατηγορίες Κριθάρι, Βρώμη και Ζωοτροφές ανήκουν στα υποείδη των σιτηρών γεγονός που δικαιολογεί τη λανθασμένη ταξινόμηση. Η κατηγορία Αγρανάπαυση είναι μικτή κατηγορία και έτσι πολλές φορές ταξινομείται λανθασμένα σε άλλες σε αρκετές κατηγορίες. Επίσης στην κατηγορία Ζωοτροφές, το 18% κατατάσσεται εσφαλμένα στην κατηγορία Βρώμη, αναμενόμενο αποτέλεσμα λόγω της συμπεριφοράς τους ως υποείδη των σιτηρών.

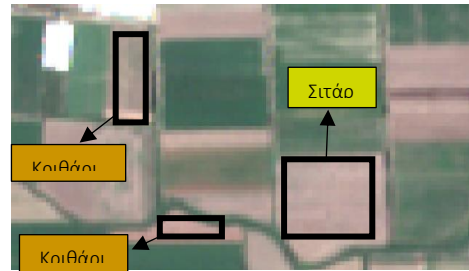
Στην κατηγορία Πιπεριές το 13% των δεδομένων ελέγχου ταξινομούνται λανθασμένα ως Τομάτες και στην κατηγορία Τεύτλα το 27% των δεδομένων ταξινομούνται ως Βαμβάκι. Αυτά τα λάθη παράλειψης συσχετίζονται με τον μικρό αριθμό εικονοστοιχείων που διατέθηκαν για την εκπαίδευση του αλγορίθμου σε ότι αφορά τις κατηγορίες αυτές. Τέλος οι Ελιές παρουσιάζουν λανθασμένη ταξινόμηση ως προς την Αραιή σκληροφυλλική βλάστηση σε

ποσοστό 17%, που θα μπορούσε να συσχετιστεί με ομοιότητες στη φασματική συμπεριφορά, ειδικά σε περιπτώσεις αραιοφυτεμένων ελαιώνων. Για την παραπάνω ανάλυση παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα εικόνων για την ποιοτική τους αξιολόγηση

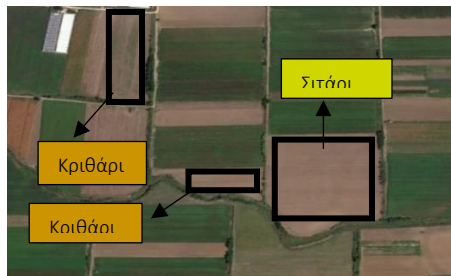
Σύγκριση καλλιεργειών Κριθαριού με Σιταριού



Σχήμα 29: Ταξινομημένος Χάρτης

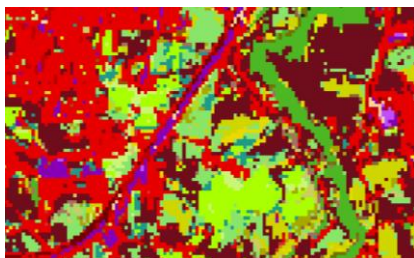


Σχήμα 30: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2



Σχήμα 31: Εικόνα από Google Earth

Σύγκριση κατηγοριών Βιομηχανικών/Εμπορικών μονάδων και Δρόμων/Δικτύων ασφάλτου



Σχήμα 32: Ταξινομημένος Χάρτης



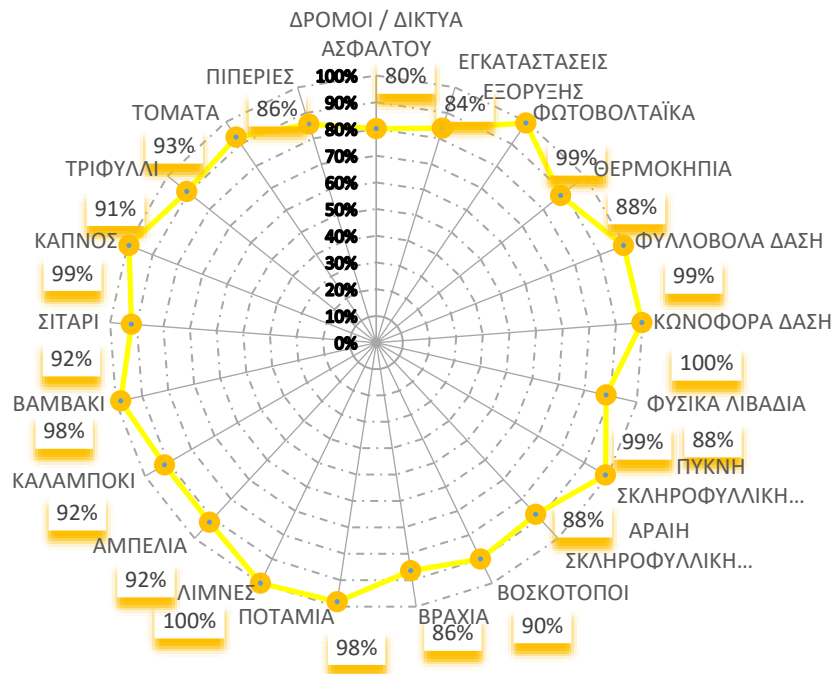
Σχήμα 33: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2



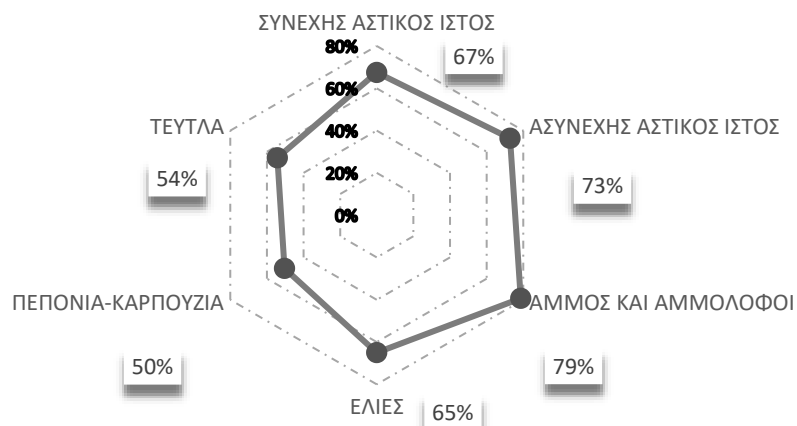
Σχήμα 34: Εικόνα από Google Earth

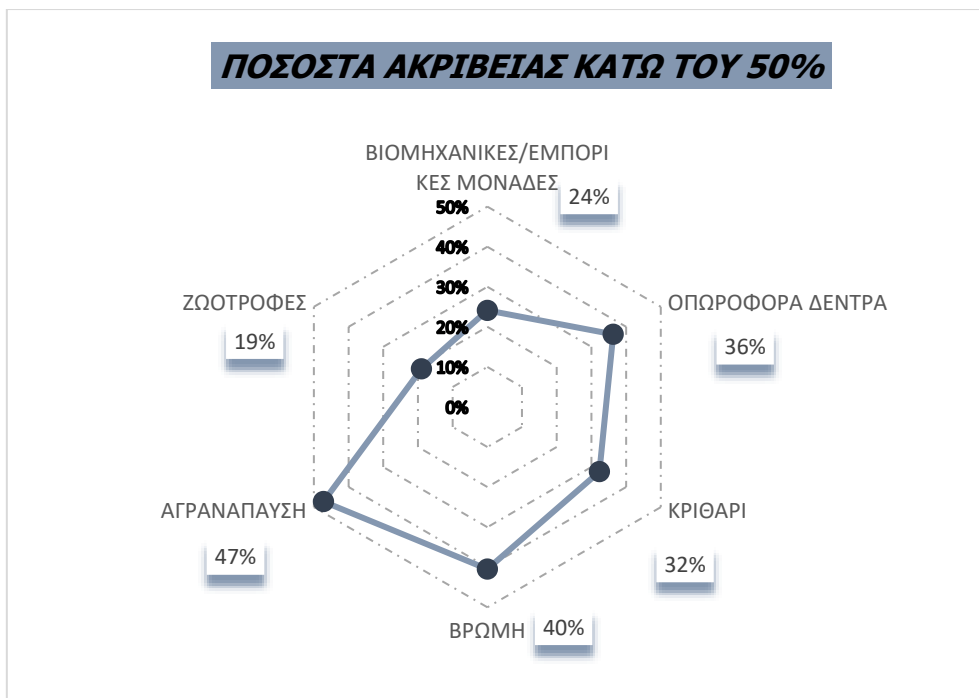
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η κατάταξη της κάθε κατηγορίας σε μια από τις ομάδες των ποσοστών ακριβείας που δημιουργήθηκαν.

**ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ 80% ΚΑΙ ΠΑΝΩ**



**ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ 50% - 80%**





Σχήμα 35: Ποσοστά Ακρίβειας για το έτος 2017

Συγκριτικά με το έτος 2016 για την ομάδα πάνω από 80% στην Ακρίβεια παρατηρούνται ίδιες με το 2016 οι 17 από τις 22 κατηγορίες στην ομάδα με ποσοστό 50%-80% ίδιες είναι μόνο οι 3 από τις 10 κατηγορίες και τέλος στην ομάδα κάτω του 50% παρατηρούμε όμοιες τις 4 από τις 6 κατηγορίες.

Πίνακας 17: Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των ταξινομημένων εικονοστοιχείων ανά κατηγορία (σφάλματα συμπερίληψης).

Σφάλματα Συμπερίληψης	ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΙΤΑΡΙ	ΚΡΙΘΑΡΙ	ΒΡΩΜΗ	ΤΡΙΦΥΛΛΙ	ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	ΤΟΜΑΤΑ	ΤΕΥΤΛΑ	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ
ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ		8%													
ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	19%										2%				
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ			5%												
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ					20%										
ΒΡΑΧΙΑ			6%	7%											
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ			7%												
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ								2%			2%				
ΣΙΤΑΡΙ							1%	3%	16%	17%					
ΚΡΙΘΑΡΙ								3%							
ΒΡΩΜΗ								4%				17%			
ΤΡΙΦΥΛΛΙ						1%									
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ								2%		17%	2%				10%
ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ														11%	
ΤΟΜΑΤΑ															
ΠΙΠΕΡΙΕΣ													7%		

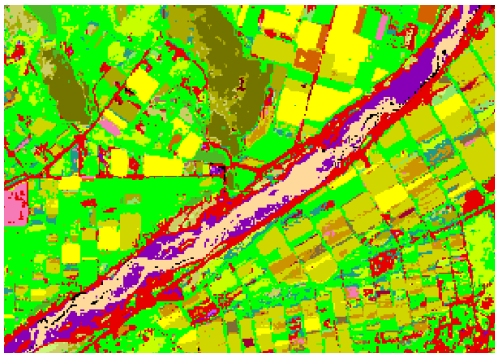
Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται τα ποσοστά των σφαλμάτων συμπερίληψης για τις κατηγορίες στις οποίες εντοπίστηκαν τα περισσότερα λάθη ταξινόμησης. Σε σχέση με τις αστικές κατηγορίες, το 19% των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν από το μοντέλο ως ασυνεχής αστικός ιστός ανήκαν συνεχή.

Το 20% των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν από το μοντέλο ως Εγκαταστάσεις εξόρυξης ανήκαν στα δεδομένα ελέγχου της κατηγορίας Άμμος και αμμόλοφοι γεγονός που αποδίδεται στις ομοιότητες υλικών κάλυψης και φασματικής συμπεριφοράς.

Το 17% των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν από το μοντέλο ως Σιτάρι και το 17% των Ζωοτροφών, ανήκαν σε δεδομένα ελέγχου της Βρώμης. Οι κατηγορίες Σιτάρι και Ζωοτροφές ανήκουν στα σιτηρά και σε υποείδη αυτών γεγονός που εξηγεί τις μίξεις. Ομοίως, το 16% των ταξινομημένων ως Σιτάρι εικονοστοιχείων ανήκαν στην κατηγορία Κριθάρι, όπως και το 17% των ταξινομημένων ως Βρώμη στην κατηγορία Ζωοτροφές. Επιπρόσθετα, το 11% των ταξινομημένων ως Πεπόνια-Καρπούζια ανήκει στην κατηγορία Τεύτλα, ενώ το 10% από τα ταξινομημένα εικονοστοιχεία της κατηγορίας Ζωοτροφές ανήκαν στην ετερογενή κατηγορία της Αγρανάπαυσης.

Για την παραπάνω ανάλυση παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα εικόνων για την ποιοτική τους αξιολόγηση

Σύγκριση κατηγοριών Βιομηχανικών/Εμπορικών μονάδων και Δρόμων/Δικτύων ασφάλτου



Σχήμα 36: Ταξινομημένος Χάρτης



Σχήμα 37: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2



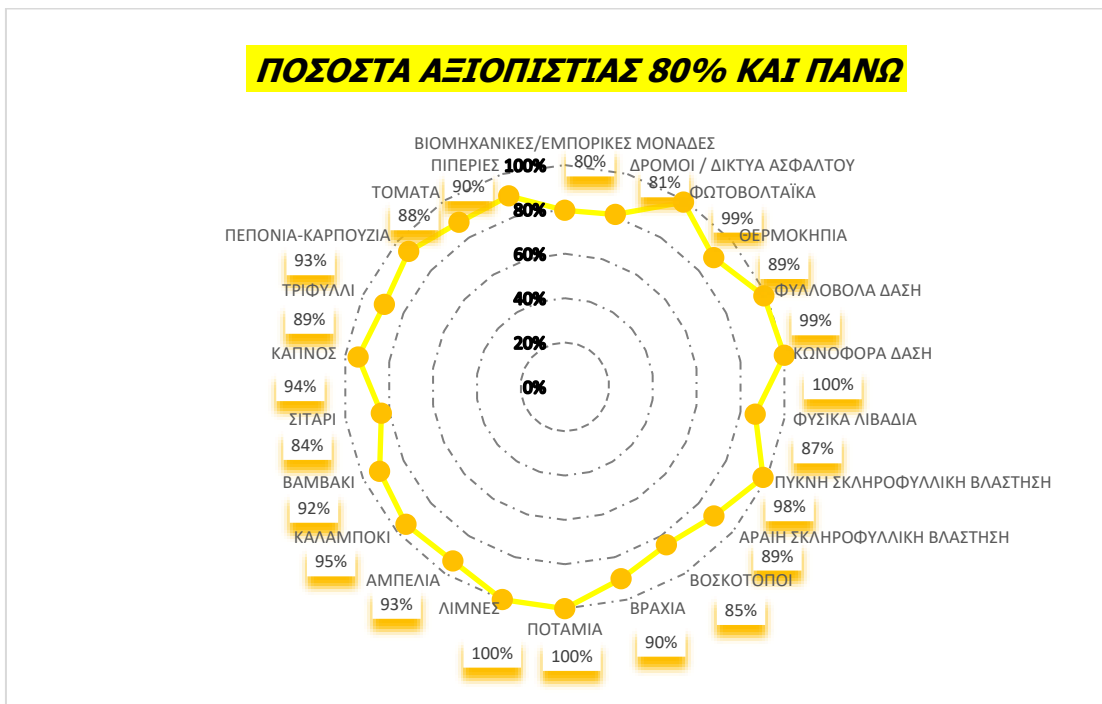
Σχήμα 38: Εικόνα από Google Earth

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζετε η κατάταξη της κάθε κατηγορίας σε μια από τις ομάδες των ποσοστών αξιοπιστίας που δημιουργήθηκαν. Ποσοστά κάτω του 50% εμφανίζονται μόνο για την κατηγορία της καλλιέργειας των ζωοτροφών και συγκεκριμένα με ποσοστό της τάξης του 35%.

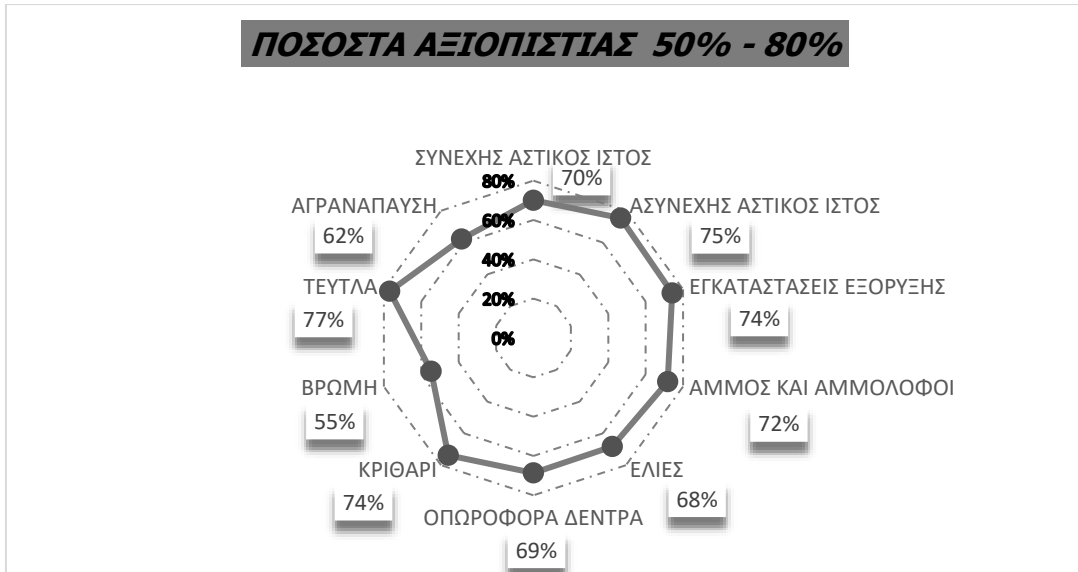
Οι περισσότερες κατηγορίες κατατάσσονται στην κατηγορία που τα ποσοστά σημειώνουν αξιοπιστία πάνω από 80% (22 κατηγορίες) ενώ αρκετό πλήθος κατηγοριών παρατηρείται στην κατηγορία 50%-80% (10 κατηγορίες). Τέλος στην κατηγορία των ποσοστών κάτω του 50% εμφανίζεται μόνο η κατηγορία Ζωοτροφές.

Ας σημειωθεί πως σε σύγκριση με τα διαγράμματα που έχουν παρουσιαστεί ως προς την Ακρίβεια των αποτελεσμάτων οι κατηγορίες που αποδίδονται πάνω από 80% είναι σχεδόν ίδιες. Συγκεκριμένα οι 17 από τις 22 είναι οι ίδιες.

Στην κατηγορία 50%-80 οι 7 από τις 10 κατηγορίες είναι ίδιες σε σχέση με το 2016. Δεν υπήρχαν κατηγορίες με ποσοστά κάτω του 50% για το έτος 2016 ενώ στο έτος 2017 παρατηρήθηκε μόνο η κατηγορία Ζωοτροφές σε αυτή την ομάδα ποσοστών (35%).



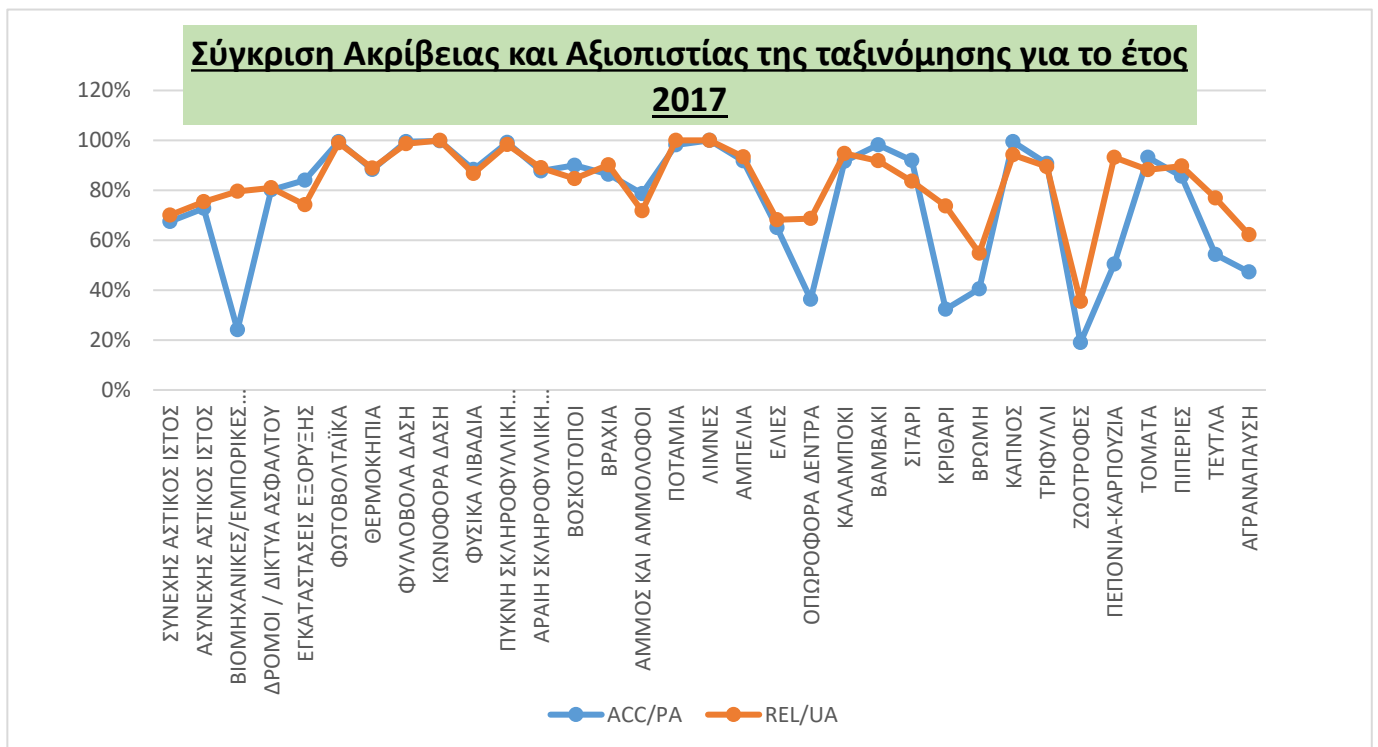




Σχήμα 39: Ποσοστά Αξιοπιστίας για το έτος 2017

Τέλος παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ ακρίβειας και αξιοπιστίας για την κάθε κατηγορία. Διαπιστώνεται η κοινή πορεία των κατηγοριών βάσει της σύγκρισης Ακρίβειας και Αξιοπιστίας εκτός από τις κατηγορίες Βιομηχανικές/Εμπορικές μονάδες, Οπωροφόρα δέντρα και Πεπόνια-Καρπούζια και Κριθάρι.

Σχήμα 40: Σύγκριση Ακρίβειας και Αξιοπιστίας για το έτος 2017



### 5.3 Συγκριτική ανάλυση ποσοστών κάλυψης ανά κατηγορία για τα δύο έτη

Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζεται ανάλυση των εικονοστοιχείων που αποδόθηκαν στον τελικό ταξινομημένο χάρτη σε κάθε κατηγορία, για κάθε ένα από τα δυο έτη που εξετάζουμε, ως προς τον αριθμό τους και τη μετάφραση αυτού του αριθμού σε ποσοστά και ειδικότερα σε έκταση.

Παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά και κατ' επέκταση και τις μεγαλύτερες εκτάσεις και για τα δυο έτη, καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες του Βαμβακιού, του Σιταριού και του Τριφυλλιού. Το αποτέλεσμα κρίνεται ως αναμενόμενο καθώς ο Θεσσαλικός κάμπος απαρτίζεται στο μεγαλύτερο μέρος του από τα συγκεκριμένα είδη καλλιέργειας.

Πίνακας 18: Ποσοτική ανάλυση εικονοστοιχείων στον ταξινομημένο χάρτη για το έτος 2016.

Κλάσεις	Αριθμός pixels στον ταξινομημένο χάρτη	Ποσοστό της τάξης σε ολόκληρο το χάρτη	Έκταση σε τ.μ.	Έκταση σε εκτάρια
ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	118431	0,37%	11843100	1184,31
ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	1941201	6,10%	194120100	19412,01
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	9945	0,03%	994500	99,45
ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	127504	0,40%	12750400	1275,04
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΕΙΣ	171384	0,54%	17138400	1713,84
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	28558	0,09%	2855800	285,58
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	18983	0,06%	1898300	189,83
ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	2996200	9,41%	299620000	29962
ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	1105147	3,47%	110514700	11051,47
ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	1500681	4,72%	150068100	15006,81
ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	1889371	5,94%	188937100	18893,71
ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	2349214	7,38%	234921400	23492,14
ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	888002	2,79%	88800200	8880,02
ΒΡΑΧΙΑ	321900	1,01%	32190000	3219
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	90872	0,29%	9087200	908,72
ΠΟΤΑΜΙΑ	34672	0,11%	3467200	346,72
ΛΙΜΝΕΣ	224629	0,71%	22462900	2246,29
ΑΜΠΕΛΙΑ	109892	0,35%	10989200	1098,92
ΕΛΙΕΣ	710871	2,23%	71087100	7108,71
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ	584258	1,84%	58425800	5842,58
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	1812847	5,70%	181284700	18128,47
ΒΑΜΒΑΚΙ	5845533	18,37%	584553300	58455,33
ΣΙΤΑΡΙ	3964295	12,46%	396429500	39642,95
ΚΡΙΘΑΡΙ	280719	0,88%	28071900	2807,19
ΒΡΩΜΗ	67234	0,21%	6723400	672,34
ΚΑΠΝΟΣ	208661	0,66%	20866100	2086,61
ΤΡΙΦΥΛΛΙ	4050647	12,73%	405064700	40506,47
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	110837	0,35%	11083700	1108,37
ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ	67554	0,21%	6755400	675,54
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	196720	0,62%	19672000	1967,2
Σύνολο	31826762	100,0000%	3182676200	318267,62

Πίνακας 19: Ποσοτική ανάλυση εικονοστοιχείων στον ταξινομημένο χάρτη για το έτος 2017.

Κλάσεις	Αριθμός pixels στον ταξινομημένο χάρτη	Ποσοστό της τάξης σε ολόκληρο το χάρτη	Έκταση σε τ.μ.	Έκταση σε εκτάρια
ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	109320	0,34%	10932000	1093,2
ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	2152829	6,76%	215282900	21528,29
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	11705	0,04%	1170500	117,05
ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	131360	0,41%	13136000	1313,6
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΙΞΗΣ	186947	0,59%	18694700	1869,47
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	12142	0,04%	1214200	121,42
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	37205	0,12%	3720500	372,05
ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	3126948	9,82%	312694800	31269,48
ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	1101586	3,46%	110158600	11015,86
ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	1405343	4,42%	140534300	14053,43
ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	1924485	6,05%	192448500	19244,85
ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	1940336	6,10%	194033600	19403,36
ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	1112659	3,50%	111265900	11126,59
ΒΡΑΧΙΑ	302537	0,95%	30253700	3025,37
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	45307	0,14%	4530700	453,07
ΠΟΤΑΜΙΑ	36182	0,11%	3618200	361,82
ΛΙΜΝΕΣ	223595	0,70%	22359500	2235,95
ΑΜΠΕΛΙΑ	51572	0,16%	5157200	515,72
ΕΛΙΕΣ	479217	1,51%	47921700	4792,17
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ	276420	0,87%	27642000	2764,2
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	2042036	6,42%	204203600	20420,36
ΒΑΜΒΑΚΙ	4950896	15,56%	495089600	49508,96
ΣΙΤΑΡΙ	4148142	13,03%	414814200	41481,42
ΚΡΙΘΑΡΙ	188033	0,59%	18803300	1880,33
ΒΡΩΜΗ	328469	1,03%	32846900	3284,69
ΚΑΠΝΟΣ	93379	0,29%	9337900	933,79
ΤΡΙΦΥΛΛΙ	4149789	13,04%	414978900	41497,89
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	547661	1,72%	54766100	5476,61
ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ	84320	0,26%	8432000	843,2
ΤΟΜΑΤΑ	99639	0,31%	9963900	996,39
ΠΙΠΕΡΙΕΣ	105129	0,33%	10512900	1051,29
ΤΕΥΤΛΑ	42521	0,13%	4252100	425,21
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	379053	1,19%	37905300	3790,53
sum	31826762	100,0000%	3182676200	318267,62

Τέλος δημιουργήθηκε ο πίνακας 20 και το διάγραμμα αυτού, ώστε να παρουσιαστεί η διαφορά που παρουσιάζουν οι κατηγορίες στην ταξινόμηση των εικονοστοιχείων τους στο

χάρτη μεταξύ των δυο ετών που εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Όπως παρατηρείται οι απόλυτες διαφορές είναι κάτω του 3%, γεγονός που υποδεικνύει την σταθερότητα στις πρακτικές καλλιέργειες ανάμεσα στα δύο έτη, την έλλειψη σημαντικών μεταβολών για τις σταθερές κατηγορίες αλλά και την συνοχή της μεθοδολογίας ταξινόμησης που εφαρμόστηκε στα δύο πειράματα για τις δύο χρονιές.

Πίνακας 20: Διαφορά κατηγοριών μελέτης στο χάρτη ταξινόμησης.

Κλάσεις	2016	2017	Διαφορά
ΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	0,37%	0,34%	-0,03%
ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	6,10%	6,76%	0,66%
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ/ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	0,03%	0,04%	0,01%
ΔΡΟΜΟΙ / ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	0,40%	0,41%	0,01%
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ	0,54%	0,59%	0,05%
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	0,09%	0,04%	-0,05%
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	0,06%	0,12%	0,06%
ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ ΔΑΣΗ	9,41%	9,82%	0,41%
ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ	3,47%	3,46%	-0,01%
ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	4,72%	4,42%	-0,30%
ΠΥΚΝΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	5,94%	6,05%	0,11%
ΑΡΑΙΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	7,38%	6,10%	-1,28%
ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	2,79%	3,50%	0,71%
ΒΡΑΧΙΑ	1,01%	0,95%	-0,06%
ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΑΜΜΟΛΟΦΟΙ	0,29%	0,14%	-0,14%
ΠΟΤΑΜΙΑ	0,11%	0,11%	0,00%
ΛΙΜΝΕΣ	0,71%	0,70%	0,00%
ΑΜΠΕΛΙΑ	0,35%	0,16%	-0,18%
ΕΛΙΕΣ	2,23%	1,51%	-0,73%
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ	1,84%	0,87%	-0,97%
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	5,70%	6,42%	0,72%
ΒΑΜΒΑΚΙ	18,37%	15,56%	-2,81%
ΣΙΤΑΡΙ	12,46%	13,03%	0,58%
ΚΡΙΘΑΡΙ	0,88%	0,59%	-0,29%
ΒΡΩΜΗ	0,21%	1,03%	0,82%
ΚΑΠΝΟΣ	0,66%	0,29%	-0,36%
ΤΡΙΦΥΛΛΙ	12,73%	13,04%	0,31%
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	0,35%	1,72%	1,37%
ΠΕΠΟΝΙΑ-ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ	0,21%	0,26%	0,05%
ΤΟΜΑΤΑ	-	0,31%	-
ΠΙΠΕΡΙΕΣ	-	0,33%	-
ΤΕΥΤΛΑ	-	0,13%	-
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0,62%	1,19%	0,57%



Σχήμα 41: Σύγκριση των ποσοστών κάλυψης της κάθε κατηγορίας στους χάρτες των 2 ετών.



## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αξιοποιήθηκαν τα ελευθέρα διαθέσιμα πολυφασματικά διαχρονικά δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-2 για την παραγωγή διαχρονικών χαρτών χρήσης/κάλυψης γης πιο συγκεκριμένα για τα έτη 2016 και 2017.

Η ιεραρχία τάξεων και η παραγωγή των δεδομένων αναφοράς βασίστηκαν στην ονοματολογία L3 του CORINE Land Cover, ενώ η ψηφιοποίηση των πολυάριθμων καλλιεργειών σε γεωχωρικά δεδομένα που προέρχονται από τον ΟΠΕΚΕΠΕ για τον Θεσσαλικό κάμπο. Η ταξινόμηση υλοποιήθηκε σε ετήσιους πολυφασματικούς κύβους εικόνων που προήλθαν από 6 διαφορετικές ημερομηνίες καθ' έτος. Επιλέχθηκαν 5 πολυφασματικά κανάλια (Blue, Green, Red, NIR, SWIR) και 4 δείκτες (NDVI, MSAVI, NDWI, NDBI) ως τα χαρακτηριστικά της ταξινόμησης με χρήση ενός αλγορίθμου SVM.

Σχετικά με το τεχνικό κομμάτι, η παρούσα μεθοδολογία παρουσίασε συνολική ακρίβεια για κάθε έτος πάνω από 88% βασιζόμενη στην εφαρμογή μιας ρηχής αρχιτεκτονικής μηχανικής μάθησης και πιο συγκεκριμένα του αλγορίθμου SVM. Σύμφωνα με τους πίνακες σύγχυσης των ταξινομήσεων, οι οποίοι αναλύθηκαν διεξοδικά στο κεφάλαιο 5, η συνολική ακρίβεια των μοντέλων ταξινόμησης για κάθε έτος ήταν 92% για το 2016 και 89% για το 2017.

Συμπερασματικά στο γενικότερο πλαίσιο, αποδείχθηκε ότι με χρήση έξι εικόνων κατά τη διάρκεια του έτους και ταξινόμησης βασιζόμενη σε φασματικά χαρακτηριστικά, επετεύχθη ο στόχος που τέθηκε αρχικά για δημιουργία χάρτη χρήσης/κάλυψης γης, σε πολυάριθμες κατηγορίες.

Όσον αφορά στα ειδικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν για τις κατηγορίες ταξινόμησης, αυτά αφορούν σε μεγάλο βαθμό την σύγχυση ορισμένων κατηγοριών, όπως το Σιτάρι με τα παράγωγα είδη και υποείδη των σιτηρών όπως η Βρώμη, το Κριθάρι και οι Ζωοτροφές. Το πρόβλημα αυτό σχετίζεται κυρίως με τις φασματικές υπογραφές αυτών των κατηγοριών που παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα. Επίσης, τα αποτελέσματα επηρεάζονται από τις πρακτικές της κυκλικής καλλιέργειας μέσα στον ίδιο χρόνο και την αγρανάπαυση η οποία παρουσιάζει γενικά ετερογενή χαρακτήρα..

Παρ' όλες τις δυσκολίες, οι καλλιέργειες αποδοθήκαν με ικανοποιητικά ποσοστά στην ποσοτική αξιολόγηση. Στις περιπτώσεις ανθρωπογενών κατηγοριών και σύγχυσης αυτών προκύπτει έντονα το ερώτημα για τη δυνατότητα φασματικού διαχωρισμού κατηγοριών που ενδεχομένως εμπίπτουν περισσότερο σε χρήση και όχι κάλυψη γης και έτσι προκύπτει ενδεχομένως η ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση και διαχωρισμό στο στάδιο της δημιουργίας της ονοματολογίας ταξινόμησης.

Η ανάλυση των ποσοστών κάλυψης των κατηγοριών για τους χάρτες των δύο ετών και τα πολύ μικρά ποσοστά διαφορών που παρουσίασαν μεταξύ τους επισήμανε την σταθερότητα στις πρακτικές καλλιέργειας ανάμεσα στα δύο έτη, την έλλειψη σημαντικών μεταβολών για

τις σταθερές κατηγορίες αλλά και ανέδειξε την συνοχή της μεθοδολογίας ταξινόμησης που εφαρμόστηκε στα δύο πειράματα για τις δύο χρονιές.

Τέλος παρατίθενται κάποιες προτάσεις περαιτέρω εξέλιξης και εμπάθυνσης της παρούσας εργασίας. Η διερεύνηση και εφαρμογή άλλων τεχνικών μηχανικής μάθησης, όπως για παράδειγμα του αλγορίθμου Random Forest ή των Νευρωνικών Δικτύων αλλά και η αξιοποίηση και άλλων χαρακτηριστικών πέραν των φασματικών, όπως είναι τα γεωμετρικά η τα χαρακτηριστικά υψής, θα μπορούσαν να μελετηθούν προς τη βελτίωση της παρούσας εργασίας. Επιπρόσθετα, με κατεύθυνση προς τη μείωση του όγκου της πληροφορίας, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν παράγωγα στατιστικά μεγέθη χρονοσειρών αντί των καναλιών και δεικτών από όλες τις ημερομηνίες που μελετώνται.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-doski J., Mansor S., Shafri H., (2013),” Image Classification in Remote Sensing”, Journal of Environment and Earth Science, 3, (10), p.p. 141-147.
- Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A. R., (1995), “A review of vegetation indices”, Remote Sensing Reviews, 13: 1, p.p. 95-120.
- Chan J.C.-W., Paelinckx D. (2008):Evaluation of random forest and Adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery: Remote Sens. Environ., 112, pp. 2999-3011.
- Chi M.,Feng R., Bruzzone L (2008): Classification of hyperspectral remote-sensing data with primal SVM for small-sized training dataset problem: Advances in Space Research, Publisher Elsevier.
- Cortes, Corinna and Vapnik Vladimir N., (1995) "Support-Vector Networks", Journal of Machine Learning, 20 (3), p.p. 273-297.
- Demetriou D. (2013), “Land ParcelS Model” in The Development of an Integrated Planning and Decision Support System (IPDSS) for Land Consolidation, Springer Thesis.
- Han D., Chan L. and Zhu N., (2007) “Flood forecasting using support vector machines”, Journal of Hydroinformatics, 9, p.p. 267-276.
- Inglada, J.; Arias, M.; Tardy, B.; Hagolle, O.; Valero, S.; Morin, D.; Dedieu, G.; Sepulcre, G.; Bontemps, S.; Defourny, P.; Koetz, B. Assessment of an Operational System for Crop Type Map Production Using High Temporal and Spatial Resolution Satellite Optical Imagery. Remote Sens. 2015, 7, 12356-12379.
- Inglada, J.; Arias, M.; Tardy, B.; Hagolle, O.; Valero, S.; Morin, D.; Dedieu, G.; Sepulcre, G.; Bontemps, S.; Defourny, P.; Koetz, B. Assessment of an Operational System for Crop Type Map Production Using High Temporal and Spatial Resolution Satellite Optical Imagery. Remote Sens. 2015, 7, 12356-12379.
- Junshi X., Wenzhi L., Chanussot J., Peijun D., S.Guanghan, Philips W. (2015): Improving random forest with ensemble of features and semisupervised feature extraction: IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., 12 , pp. 1471-1475.
- Karakizi C., Antoniou G., Karantzalos K., 2018. Towards joint land cover and crop type mapping with numerous classes, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS).
- Karakizi C., Karantzalos K., (2017), “Comparing Land Cover Maps derived from all annual LANDSAT-8 and SENTINEL-2 Data at Different Spatial Scales”, Poster Presentation in Worldcover 2017 Conference.

- Karakizi C., Vakalopoulou M., Karantzalos K., (2017), “Annual Crop-type Classification from Multitemporal Landsat-8 & Sentinel-2 data based on Deep-Learning”, Poster presentation in the 37th International Symposium on Remote Sensing of Environment
- Karakizi, C.; Karantzalos, K.; Vakalopoulou, M.; Antoniou, G. Detailed Land Cover Mapping from Multitemporal Landsat-8 Data of Different Cloud Cover. *Remote Sens.* 2018, 10, 1214.
- Marais Sicre, C.; Inglada, J.; Fieuzal, R.; Baup, F.; Valero, S.; Cros, J.; Huc, M.; Demarez, V. Early Detection of Summer Crops Using High Spatial Resolution Optical Image Time Series. *Remote Sens.* 2016, 8, 591.
- Marais Sicre, C.; Inglada, J.; Fieuzal, R.; Baup, F.; Valero, S.; Cros, J.; Huc, M.; Demarez, V. Early Detection of Summer Crops Using High Spatial Resolution Optical Image Time Series. *Remote Sens.* 2016, 8, 591.
- McFEETERS S. K. (1996): The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features: *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432.
- Pal, M., Mather, P.M. (2004) “Assessment of the effectiveness of support vector machines for hyperspectral data” *Journal of Future Generation Computer Systems*, 20 (7), p.p 1215–1225.
- Prashant K. Srivastava , Dawei Han, Miguel A. Rico-Ramirez, Michaela Bray, Tanvir Islam (2012) “Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation”, *Journal Advances in Space Research*, 50,(9), p.p. 1250-1265.
- Qi J., Chehbouni A., Huete A. R., Kerr Y. H., Sorooshian S., (1994), “A Modified Soil Adjusted Vegetation Index”, *Remote Sensing of Environment*, 48, (2), p.p. 119-126.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. and Deering D.W. (1973): *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS: 3rd ERTS Symposium*, NASA SP-351, Washington DC, 10-14, 309-317.
- Sanchez-Hernandez, C., Boyd, D.S., Foody, G.M. (2007) Mapping specific habitats from remotely sensed imagery: Support vector machine and support vector data description based classification of coastal saltmarsh habitats, *Journal of Ecological Informatics*, 2, p.p. 83–88.
- Scholkopf, B., Smola, A., Williamson, R. C., & Bartlett, P. L. (2000) “New Support Vector Algorithms”, *Journal of Neural Computation*, 12 (5), p.p. 1207-1245.
- Stehman, Stephen V. (1997). "Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy", *Remote Sensing of Environment*, 62 (1), p.p. 77–89.
- 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”, *Journal of Applied Geography*, 31, p.p. 525–532.

- Visa S., Ramsay B., Ralescu A., Van der Knaap E., (2011), "Confusion Matrix-Based Feature Selection", Proceedings of The 22nd Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference 2011(MAICS), 710, p.p. 120-127.
- Xie Y., Sha Z., Yu M., (2008), "Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review", Journal of Plant Ecology, 1 (1), p.p. 9–23..
- Αργιαλάς Δ., (1999α), «Φωτοερμηνεία- Τηλεπισκόπηση», Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αργιαλάς Δ., (1999β), «Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση», Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Περάκης, Κ., Μωυσιάδης, Α., Φαρασλής, Ι. (2015): Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες: Αθήνα.
- Ρόκος Δ., Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση, Ε.Μ.Π, Αθήνα 1987.
- Γούναρη, Ο., 2018. Χαρτογράφηση κάλυψης γης και καλλιεργειών με τεχνικές μηχανικής μάθησης από διαχρονικά δεδομένα Sentinel-2, Διπλωματική Εργασία της ΣΑΤΜ.
- Αντωνίου Γ., 2017. Χαρτογράφηση κάλυψης γης με χρήση δεδομένων sentinel-2 από πολλαπλές ημερομηνίες μέσω μηχανών διανυσματικής υποστήριξης, Διπλωματική Εργασία της ΣΑΤΜ.



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1:</b> Κατηγορίες Πολυγώνων και Γραμμών των Ενοτήτων Ελέγχου (ILOTS).....	25
<b>Πίνακας 2:</b> Κωδικός (id) καλλιεργειών βάση ΟΠΕΚΕΠΕ (αντιστοιχεί στο CROP_CODE και στο EGY_GREEN).....	26
<b>Πίνακας 3:</b> Ελληνική ονοματολογία CORINE LAND COVER .....	28
<b>Πίνακας 4:</b> Εξέλιξη του Corine Land Cover .....	29
<b>Πίνακας 5:</b> Μέθοδοι Ταξινόμησης, Παραδείγματα και Χαρακτηριστικά.....	34
<b>Πίνακας 6:</b> Εικόνες δορυφόρου SENTINEL-2, έξι διαφορετικών ημερομηνιών, για το έτος 2016.....	54
<b>Πίνακας 7:</b> Εικόνες δορυφόρου SENTINEL-2, έξι διαφορετικών ημερομηνιών, για το έτος 2017.....	54
<b>Πίνακας 8:</b> Είδη καλλιεργειών στις τέσσερις εποχές σε RGB – 432 για το έτος 2016.....	59
<b>Πίνακας 9:</b> Είδη καλλιεργειών στις τέσσερις εποχές σε RGB – 432 για το έτος 2017.....	67
<b>Πίνακας 10:</b> Κλάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση ανά έτος.....	75
<b>Πίνακας 11:</b> Τελικές κατηγορίες ταξινόμησης σε εικόνες Google Earth.....	76
<b>Πίνακας 12:</b> Πίνακας σύγχυσης κατηγοριών για το έτος 2016. ....	87
<b>Πίνακας 13:</b> Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των δεδομένων ελέγχου ανά κατηγορία (σφάλματα παράλειψης).....	89
<b>Πίνακας 14:</b> Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των ταξινομημένων εικονοστοιχείων ανά κατηγορία (σφάλματα συμπερίληψης).....	92
<b>Πίνακας 15:</b> Πίνακας σύγχυσης κατηγοριών για το έτος 2017. ....	97
<b>Πίνακας 16:</b> Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των δεδομένων ελέγχου ανά κατηγορία (σφάλματα παράλειψης).....	99
<b>Πίνακας 17:</b> Ποσοστά λανθασμένων ταξινομήσεων ως προς το σύνολο των ταξινομημένων εικονοστοιχείων ανά κατηγορία (σφάλματα συμπερίληψης).....	102
<b>Πίνακας 18:</b> Ποσοτική ανάλυση εικονοστοιχείων στον ταξινομημένο χάρτη για το έτος 2016. ....	106
<b>Πίνακας 19:</b> Ποσοτική ανάλυση εικονοστοιχείων στον ταξινομημένο χάρτη για το έτος 2017. ....	107
<b>Πίνακας 20:</b> Διαφορά κατηγοριών μελέτης στο χάρτη ταξινόμησης.....	108



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας .....	13	
Σχήμα 2: Η Ιταλία και τμήμα της Μεσόγειου, εικόνα που καταγράφηκε από τον Copernicus Sentinel-3A στις 28 Σεπτεμβρίου 2016. ....	14	
Σχήμα 3: Στιγμιότυπο από καταγραφή Rfvs ΟΠΕΚΕΠΕ.....	22	
Σχήμα 4: Στιγμιότυπο από αποτύπωση αγροτεμαχίων από αγρότες στο σύστημα του ΟΠΕΚΕΠΕ. ....	23	
Σχήμα 5: Απεικόνιση του Ψευδέχρωμου σύνθετου για το δείκτη βλάστησης (NDVI). ....	31	
Σχήμα 6: Απεικόνιση του Ψευδέχρωμου σύνθετου για το δείκτη βλάστησης (MSAVI). ....	32	
Σχήμα 7: Πορεία Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης (Πηγή: Al-doski, 2013, p.p. 143).....	36	
Σχήμα 8: Πορεία Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης (Πηγή: Al-doski, 2013, p.p. 143). ....	36	
Σχήμα 9: Σχηματική Απεικόνιση SVM Ταξινόμησης (Πηγή: Al-doski et al, 2013). ....	39	
Σχήμα 10: Χάρτης περιοχής μελέτης (Νομοί Καρδίτσας και Τρικάλων). ....	50	
Σχήμα 11: Ανάγλυφος χάρτης περιοχής μελέτης. ....	51	
Σχήμα 12: Τύποι προϊόντων Sentinel-2. (Πηγή: <a href="http://m.esa.int/ESA">http://m.esa.int/ESA</a> ).....	56	
Σχήμα 13: Περιοχές Ground Truth σε απεικόνιση raster εικόνας για το έτος 2016. ....	83	
Σχήμα 14: Περιοχές Ground Truth σε απεικόνιση raster εικόνας για το έτος 2017. ....	83	
Σχήμα 15: Χάρτης ταξινόμησης για το έτος 2016.....	88	
Σχήμα 16: Ταξινομημένος Χάρτης	Σχήμα 17: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2.....	89
Σχήμα 18: Εικόνα από Google Earth .....	90	
Σχήμα 19: Ταξινομημένος Χάρτης	Σχήμα 20: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2 .	90
Σχήμα 21: Εικόνα από Google Earth .....	90	
Σχήμα 22: Ποσοστά Ακριβείας για το έτος 2016 .....	92	
Σχήμα 23: Ταξινομημένος Χάρτης	Σχήμα 24: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2 .....	93
Σχήμα 25: Εικόνα από το Google Earth.....	93	
Σχήμα 26: Ποσοστά Αξιοπιστίας για το έτος 2016 .....	94	
Σχήμα 27: Σύγκριση Ακρίβειας και Αξιοπιστίας για το έτος 2016.....	95	
Σχήμα 28: Χάρτης ταξινόμησης για το έτος 2017.....	98	
Σχήμα 29: Ταξινομημένος Χάρτης	Σχήμα 30: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2	100
Σχήμα 31: Εικόνα από Google Earth .....	100	
Σχήμα 32: Ταξινομημένος Χάρτης	Σχήμα 33: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2.....	100
Σχήμα 34: Εικόνα από Google Earth .....	100	
Σχήμα 35: Ποσοστά Ακρίβειας για το έτος 2017 .....	102	
Σχήμα 36: Ταξινομημένος Χάρτης	Σχήμα 37: Εικόνα από δορυφόρο Sentinel-2	103
Σχήμα 38: Εικόνα από Google Earth .....	103	
Σχήμα 39: Ποσοστά Αξιοπιστίας για το έτος 2017 .....	105	
Σχήμα 40: Σύγκριση Ακρίβειας και Αξιοπιστίας για το έτος 2017.....	105	
Σχήμα 41: Σύγκριση των ποσοστών κάλυψης της κάθε κατηγορίας στους χάρτες των 2 ετών. ....	109	