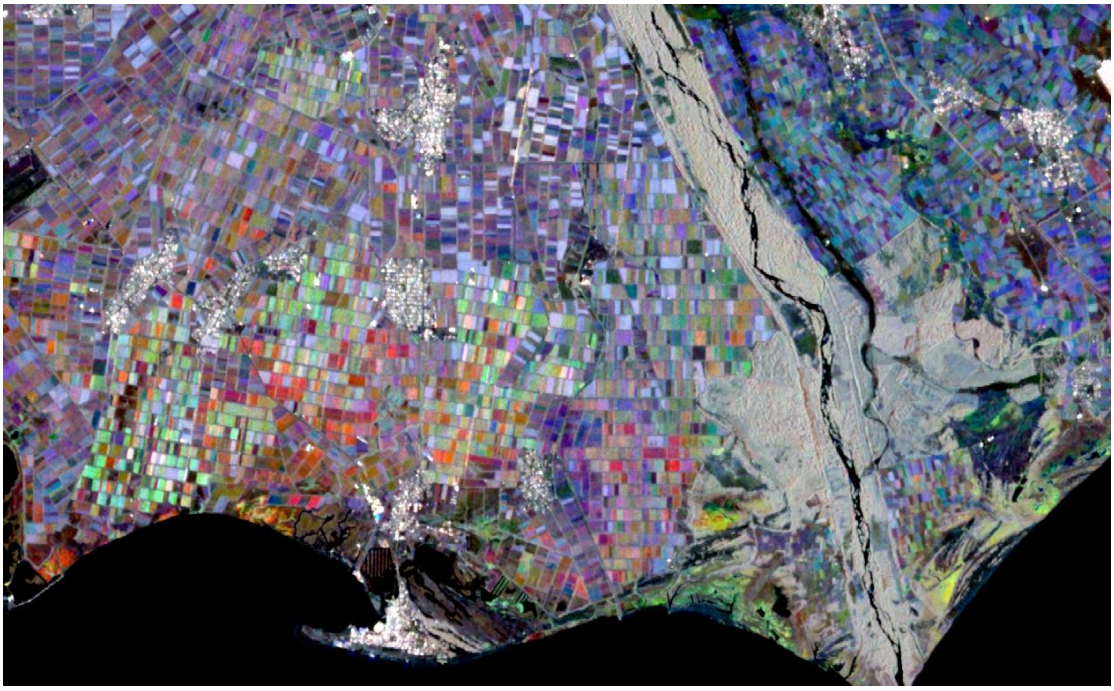
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Συνεργιστική Χρήση Οπτικών και SAR Δορυφορικών Δεδομένων για τη Χαρτογράφηση Καλύψεων Γης και Καλλιεργειών

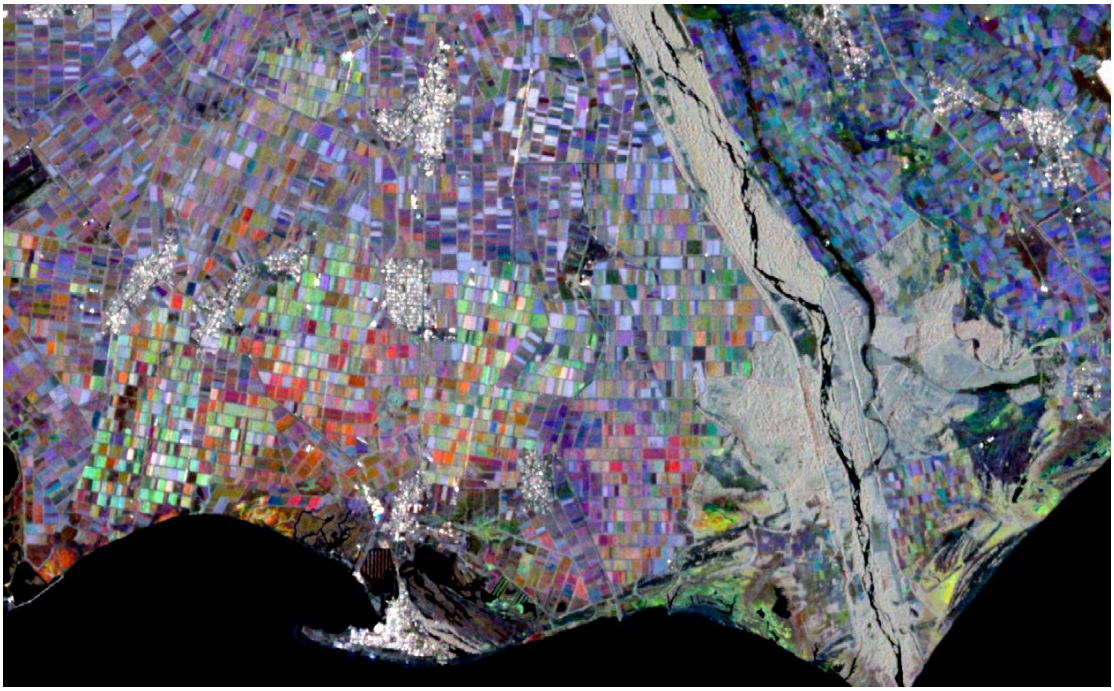


Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Μπέγκος
Αθήνα, Ιούλιος 2022

National Technical University of Athens
School of Rural, Surveying and Geoinformatics Engineering
Remote Sensing Laboratory

Synergistic Use of Optical and SAR Satellite Data for Land Cover and Crop Type Mapping



Diploma Thesis
Giorgos Begkos
Athens, July 2022

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Συνεργιστική Χρήση Οπτικών και SAR Δορυφορικών Δεδομένων για τη Χαρτογράφηση Καλύψεων Γης και Καλλιεργειών

Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Μπέγκος

Επιβλέπων : Καράντζαλος Κωνσταντίνος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20η Ιουλίου 2022.

(Υπογραφή)	*(Υπογραφή)*	*(Υπογραφή)*
.....	.....	.....
Καράντζαλος Κωνσταντίνος Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Ιωαννίδης Χαράλαμπος Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καραθανάση Βασιλεία Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2022

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο για την πολύτιμη καθοδήγηση του, την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δρ.Χριστίνα Καρακίζη, για την συμβολή της σε όλα τα επίπεδα, για την αμέριστη βοήθειά και υπομονή της και την φιλική της παρουσία. Με τις δικές της κατευθυντήριες συμβουλές κατάφερα να φέρω εις πέρας την παρούσα εργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα. Κλεάνθη Καραμβάση για τις συμβουλές και βοήθεια του όσον αφορά τα SAR δεδομένα.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς του γονείς και τον αδελφό, φίλους μου και όλα τα άτομα που γνώρισα αυτά τα χρόνια της πανεπιστημιακής μου εκπαίδευσης που συνέβαλαν με όποιον τρόπο στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Γεώργιος Μπέγκος

Αθήνα, Ιούλιος 2022

Περίληψη

Η ακριβής και τακτική παραγωγή χαρτών κάλυψης γης και καλλιεργειών κρίνεται σήμερα απαραίτητη για την υποστήριξη των δράσεων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τη λήψη αποφάσεων, την αντιμετώπιση των επισιτιστικών κρίσεων και την ορθή διαχείριση των φυσικών πόρων. Την τελευταία δεκαετία, οι πολιτικές ανοιχτής διαθεσιμότητας πληθώρας δορυφορικών τηλεπισκοπικών δεδομένων έχουν αυξήσει ραγδαία την αξιοποίηση αυτών των εικονιστικών δεδομένων, προεξεχόντων των οπτικών, προς την ανάπτυξη μεθοδολογιών και συστημάτων για την παραγωγή χαρτών σε πολλαπλές κλίμακες Πρόσφατες μελέτες έχουν αναδείξει το ζήτημα της αποτελεσματικότητας της συνεργιστικής χρήσης οπτικών δεδομένων μαζί με SAR δεδομένα για την παραγωγή χαρτών κάλυψης γης και καλλιεργειών. Ταυτόχρονα, έχουν αναπτυχθεί πλατφόρμες στο νέφος με πληθώρα διαθέσιμων τηλεπισκοπικών δεδομένων, προσφέροντας λύσεις στη διαχείριση του μεγάλου απαιτούμενου όγκου δεδομένων για σχετικές μελέτες. Προς αυτήν την κατεύθυνση, σε αυτή την εργασία, αξιολογήθηκε η συνδυαστική χρήση εποχικών σύνθετων Sentinel-2 και Sentinel-1 για τη χαρτογράφηση καλύψεων γης και τύπων καλλιεργειών στην πλατφόρμα Google Earth Engine. Τα πειράματα χαρτογράφησης εφαρμόστηκαν σε δύο διαφορετικά πλακίδια(tiles) του δορυφόρου Sentinel-2: 34SEJ και 35TLF στην κεντρική και βορειοανατολική Ελλάδα αντίστοιχα. Όλες οι διαθέσιμες εικόνες Sentinel-2 L2A για κάθε πλακίδιο από τον Νοέμβριο του 2018 έως τον Νοέμβριο του 2019 με λιγότερο από 20% νεφοκάλυψη χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία εποχιακών σύνθετων τριών μηνών με βάση τις διάμεσες τιμές ανάκλασης επτά φασματικών καναλιών και τεσσάρων φασματικών δεικτών. Τα τριμηνιαία σύνθετα για την ίδια περίοδο δημιουργήθηκαν με βάση τη μέση τιμή, τις τιμές τυπικής απόκλισης και το λόγο των πολώσεων VH/VV, που προέρχονται από τα αντίστοιχα προϊόντα Sentinel-1 GRD IW σε διπλή πόλωση(VH&VV), μετά από διορθωτικές επεξεργασίες που προηγήθηκαν. Για την εφαρμογή της ταξινόμησης των εποχιακών συνθέτων σε 35 κατηγορίες κάλυψης γης, συμπεριλαμβανομένων 18 τύπων καλλιεργειών, εφαρμόστηκε ένας ταξινομητής Τυχαίων Δασών (Random Forests).Υλοποιήθηκαν διαφορετικά πειράματα με χρήση διαφορετικών δεδομένων και χαρακτηριστικών ταξινόμησης καθώς και του συνδυασμού τους. Η χρήση βοηθητικών υψομετρικών και θεματικών δεδομένων αξιολογήθηκε επίσης σχετικά με την αποτελεσματικότητα της ταξινόμησης. Τα πειραματικά αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις έφθασαν σε υψηλά ποσοστά Συνολικής Ακρίβειας, πάνω από 85%. Τα χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας καταγράφηκαν για τη χρήση μόνο των δεδομένων Sentinel-1, ενώ τα υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας για τη συνδυαστική χρήση του πλήρους σετ δεδομένων, δηλαδή των οπτικών, βοηθητικών και SAR δεδομένων. Επιπρόσθετα η χρήση μόνο των οπτικών δεδομένων Sentinel-2 σε συνδυασμό με τα βοηθητικά δεδομένα, επέφερε ιδιαίτερα ανταγωνιστικά αποτελέσματα με επίπεδα συνολικής ακρίβειας που διέφεραν λιγότερο από 2% σε σχέση με τη χρήση του πλήρους σετ δεδομένων. Συνολικά, τα πειραματικά αποτελέσματα και η αξιολόγησή τους ανέδειξαν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας στην παραγωγή αξιόπιστων χαρτών κάλυψη γης και καλλιεργειών, ενώ η ανάλυση των διακυμάνσεων της ακρίβειας για τη χρήση διαφορετικών δεδομένων και χαρακτηριστικών ταξινόμησης τεκμηρίωσε τη συνεισφορά της συμπερίληψης τους στις διαδικασίες ταξινόμησης.

Λέξεις Κλειδιά: Sentinel-1, Sentinel-2, Random Forests, Google Earth Engine, Temporal Composites

Abstract

Accurate and regularly updated land cover and crop type maps are considered essential for supporting actions against climate change and food crisis, decision making, planning, sustainable development goals and natural resources management. During the last decade open policies for a variety of remote sensing satellite data has rapidly increased the exploitation of such imaging datasets and especially the optical ones, for the development of methodologies and systems towards the production of maps at multiple scales. Recent studies, have also highlighted the effectiveness of the synergistic use of optical and radar data for land cover and crop mapping. At the same time, cloud platforms have been developed with a variety of available remote sensing data, offering solutions for managing the large amount of data required for this type of studies. To this end, in this work, we assess the synergistic use of Sentinel-2 and Sentinel-1 temporal composites for land cover and crop type mapping, on the Google Earth Engine Platform. The mapping experiments were applied on two different Sentinel-2 tiles: 34SEJ and 35TLF in central and northeast Greece respectively. All available Sentinel-2 L2A images for each tile from November 2018 to November 2019 with less than 20% cloud cover were used to create three-month seasonal composites based on the median reflectance values of seven spectral bands and four spectral indices. Three-month composites for the same period were created based on the mean and the standard deviation values, as well as the VH/VV ratio, derived from the corresponding Sentinel-1 GRD IW products in dual polarization (VH&VV), after additional pre-processing. Classification of the temporal composites to 35 land cover classes, including 18 crop types, was implemented using a Random Forests classifier. Several classification experiments were conducted by using different sets of data and features, as well as their combination. The use of ancillary information from elevation and thematic data was also assessed on the classification. Experimental results in all cases reached high Overall Accuracy (OA) rates, over 85%. Lowest accuracy rates were recorded when applying solely the Sentinel-1 data, while highest accuracy rates when employing the full set of features, i.e., optical, ancillary and SAR data. Nevertheless, the use of ancillary data along with the Sentinel-2 temporal composites produced competitive results (OA differed less than 2%) to the full set of features. In overall, the experimental results and their evaluation demonstrated the efficiency of the proposed methodology achieving high overall accuracy rates, while analysis on the variation of accuracy metrics when using different classification schemes highlighted the discriminative capacity of the different classification

Keywords: Sentinel-1, Sentinel-2, Random Forests, Google Earth Engine, Temporal Composites

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή 15
1.1 Αντικείμενο και Στόχοι 15
1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά 16
1.3 Δομή 16
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο 17
2.1 Ορισμοί 17
2.2 Οπτικοί Αισθητήρες 18
2.3 Ραντάρ 18
2.3.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Σήμα 22
2.3.2 Πόλωση 23
2.4 Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα COPERNICUS 23
2.4.1 Η Δορυφορική Αποστολή Sentinel – 1 24
2.4.2 Η Δορυφορική Αποστολή Sentinel – 2 27
2.5 Google Earth Engine (GEE) 29
2.6 Μέθοδοι Ταξινόμησης 33
2.7 Τυχαία Δάση (Random Forests – RF) 34
2.7.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Τυχαίων Δασών 35
2.7.2 Random Forests στο Google Earth Engine 35
2.7.3 Αξιολόγηση των Ταξινομήσεων 36
2.8 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας 36
3. Μεθοδολογία Προεπεξεργασίας Δεδομένων 39
3.1 Γεωγραφικά Στοιχεία των Περιοχών Μελέτης 39
3.2 Προεπεξεργασία Οπτικών Δορυφορικών Δεδομένων 42
3.2.1 Επιλογή Οπτικών Δεδομένων 42
3.2.2 Ατμοσφαιρική Διόρθωση 43
3.2.3 Αφαίρεση Νέφων (Cloud Masking) 44
3.2.4 Επιλογή των Καναλιών του Sentinel-2 45
3.2.5 Φασματικοί Δείκτες 46
3.2.6 Δημιουργία Εποχικών Συνθέτων 49
3.3 Προεπεξεργασία SAR Δορυφορικών Δεδομένων 53
3.3.1 Επιλογή SAR Δεδομένων 53
3.3.2 Διόρθωση του Φαινομένου της Κηλίδωσης 54
3.3.3 Υπολογισμός Λόγου Πολώσεων 56
3.3.4 Δημιουργία Εποχικών Συνθέτων 57
3.4 Βοηθητικά Δεδομένα 58
3.4.1 Υψομετρικά Δεδομένα 58
3.4.2 Χάρτης Κάλυψης Γης (Corine Land Cover) 60
4. Μεθοδολογία Ταξινομήσεων 64
4.1 Θεματικές Κατηγορίες 64
4.2 Καλλιέργειες στην Περιοχή Μελέτης 68

4.3 Δεδομένα Εκπαίδευσης & Ελέγχου 73
4.4 Περιγραφή Πειραμάτων 77
4.5 Εφαρμογή Ταξινόμησης 77
5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση 78
5.1 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2 Δεδομένων 78
5.1.1Μοντέλο 1(Model 1 – S2 TC) – Tile: 34SEJ 78
5.1.2Μοντέλο 1(Model 1 – S2 TC) – Tile: 35TLF 83
5.2 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2 & Sentinel-1 Δεδομένων 87
5.2.1 Μοντέλο 2(Model 2 – S2 TC & S1 TC) – Tile: 34SEJ 87
5.2.2 Μοντέλο 2(Model 2 – S2 TC & S1 TC) – Tile: 35TLF 91
5.3 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2 & Βοηθητικών Δεδομένων 95
5.3.1 Μοντέλο 3(Model 3 – S2 TC & AUX) – Tile: 34SEJ 95
5.3.2 Μοντέλο 3(Model 3 – S2 TC & AUX) – Tile: 35TLF 99
5.4 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2, Βοηθητικών & Sentinel-1 Δεδομένων 103
5.4.1 Μοντέλο 4(Model 4 – S2 TC & AUX & S1TC) – Tile: 34SEJ 103
5.4.2 Μοντέλο 4(Model 4 – S2 TC & AUX & S1TC) – Tile: 35TLF 107
5.5 Συγκριτική Ποσοτική και Ποιοτική Αξιολόγηση 111
5.6 Χαρακτηριστικά Παραδείγματα Ταξινόμησης 116
6. Συμπεράσματα και Προτάσεις 127
7. Βιβλιογραφία 129
A. Παράρτημα 1 – Πίνακες Εικόνων 132
B. Παράρτημα 2 – Κώδικας JavaScript 146
Κατάλογος Πινάκων 157
Κατάλογος Σχημάτων 158

1. Εισαγωγή

Η παραγωγή ακριβών χαρτών χρήσης και κάλυψης γης θεωρείται απαραίτητη για πολλές επιστημονικές κοινότητες, κυβερνήσεις και οργανισμούς, προκειμένου να χειριστούν κοινωνικά ζητήματα υψηλού αντίκτυπου, όπως ο σχεδιασμός της πόλης, η διαχείριση του νερού, η διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας και η παρακολούθηση των καλλιεργειών. Η παραγωγή αυτών των χαρτών παραδοσιακά υλοποιείται με χρήση διαεποχικών οπτικών δορυφορικών εικόνων.

Η νεφοκάλυψη όμως είναι ένας παράγοντας που μπορεί να περιορίσει σημαντικά τη χρήση οπτικών δεδομένων. Το συγκεκριμένο ζήτημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη δημιουργία εποχικών συνθέτων, περιορίζοντας ωστόσο την χρονική ανάλυση στον εντοπισμό των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων.Οι αναλύσεις με οπτικά πολυφασματικά δεδομένα περιορίζονται επίσης από τις ομοιότητες στη φασματική συμπεριφορά ανάμεσα σε διαφορερικές καλύψεις (π.χ., διαφορετικές γεωργικές καλλιέργειες ή είδη δέντρων με παρόμοια φαινολογικά χαρακτηριστικά μπορεί να μην είναι εύκολα διαχωρίσιμα) ή τις συγχεόμενες φασματικές υπογραφές διαφορετικών καλλιεργειών. Αλλαγές στην ατμόσφαιρα (για παράδειγμα από καπνό) και στις φασματικές ιδιότητες του εδάφους μπορούν επίσης να εμποδίσουν την παρατήρηση και εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων για τις χρήσεις και κάλυψη γης σε μία μελέτη που αξιοποιεί οπτικά δεδομένα. Ομοίως, παρουσιάζονται αντίστοιχες προκλήσεις για την ανάλυση και ερμηνεία εικόνων ραντάρ για εφαρμογές παρατήρησης της γήινης επιφάνειας. Η κηλίδωση, η οποία είναι εγγενής σε όλες τις εικόνες SAR, μπορεί να αυξήσει την αβεβαιότητα στην ερμηνεία και να οδηγήσει σε χαμηλής ακρίβειας αποτελέσματα ταξινόμησης, ενώ απαιτείται χρονοβόρα προεπεξεργασία για τη μείωση της. Η τοπογραφία είναι ένας σημαντικός περιορισμός στις ορεινές περιοχές λόγω γεωμετρικών και ραδιομετρικών επιδράσεων όταν τα δεδομένα αντιστοιχίζονται σε εικόνες εδάφους.

Οι περισσότεροι από τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν επικαλύπτονται μεταξύ των δύο συνόλων δεδομένων, και έτσι θα μπορούσαν να θεωρηθούν συμπληρωματικά με την έννοια ότι το ένα σύνολο δεδομένων μπορεί να αντισταθμίσει τις ελλείψεις του άλλου. Για παράδειγμα, δεδομένου ότι τα κύματα μικροκυμάτων στο ευρέως χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος για τους δορυφόρους SAR (περίπου μερικά εκατοστά σε μέτρα) δεν επηρεάζονται από τον καπνό, την ατμοσφαιρική ομίχλη ή σύννεφα, το ραντάρ μπορεί να καλύψει κενά σε νεφελώδεις περιοχές. Ως εκ τούτου, η συνέργεια της πληροφορίας που περιέχονται και στα δύο σύνολα δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για μελέτες ανάλυσης κάλυψης γης. Παρόλα αυτά μια επιπλέον πρόκληση που επιφέρει η συνεργιστική τους χρήση είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστικό κόστος. Αυτή η πρόκληση μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση πλατφόρμων στο νέφος οι οποίες παρέχουν ελεύθερα ένα μεγάλο αποθετήριο δορυφορικών δεδομένων και υπολογιστικούς πόρους για την επεξεργασία τους, όπως είναι η πλατφόρμα Google Earth Engine (GEE).

1.1 Αντικείμενο και Στόχοι

Προς την κατεύθυνση αυτή, αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση της χρήσης δορυφορικών δεδομένων Sentinel-2 και Sentinel-1 για την λεπτομερών παραγωγή χαρτών καλύψεων γης και τύπων καλλιεργειών για το έτος 2019 σε δύο διαφορετικές περιοχές του ελλαδικού χώρου με συνολική έκταση περίπου 20.000τ.χλμ. Παράλληλα, εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της χρήσης του GEE, για τη διαχείριση του μεγάλου χρησιμοποιούμενου όγκου δορυφορικών δεδομένων, την επεξεργασία και εξαγωγή πληροφορίας, καθώς και την εκτέλεση τηλεπισκοπικών εφαρμογών.

Οι επιμέρους στόχοι είναι:

- Η διαχείριση και επεξεργασία οπτικών (Sentinel-2) και SAR (Sentinel-1) δεδομένων για την προετοιμασία της χρήσης τους σε εφαρμογές ταξινόμησης
- Η ανάπτυξη αλγορίθμου σε γλώσσα προγραμματισμού JavaScript για την κυρίως μεθοδολογία ταξινόμησης αλλά και για όλες τις διαδικασίες προεπεξεργασιών στην πλατφόρμα Google Earth Engine.
- Ο σχεδιασμός και η εκτέλεση διαφορετικών πειραμάτων για την αξιολόγηση της

συνεισφοράς των διαφορετικών δεδομένων και χαρακτηριστικών ταξινόμησης καθώς και του συνδυασμού τους με χρήση του ταξινομητή Random Forests
- Η παραγωγή θεματικών χαρτών καλύψεων γης και καλλιεργειών για την δύο περιοχές της Ελλάδας.

1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά

Κίνητρο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η ανάγκη για τη δημιουργία λειτουργικών μεθοδολογιών αξιοποίησης του μεγάλου όγκου ελεύθερα διαθέσιμων δορυφορικών δεδομένων για την παραγωγή λεπτομερών και ακριβώς χαρτών καλύψεων γης και καλλιεργειών.

Η συνεισφορά της εργασίας συνοψίζεται στις παρακάτω συνιστώσες:

- Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη διαχείριση και επεξεργασία χρονοσειρών δορυφορικών δεδομένων Sentinel-1 και Sentinel-2 στο Google Earth Engine
- Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην ίδια πλατφόρμα
- Μελέτη της συνεισφοράς των διαφορετικών δεδομένων και χαρακτηριστικών ταξινόμησης στην αποτελεσματικότητα της χαρτογράφησης
- Παραγωγή χαρτών κάλυψης γης και καλλιεργειών με τη συνεργιστική χρήση οπτικών, SAR και βοηθητικών δεδομένων, με θεματική ανάλυση 35 κατηγοριών, για δυο περιοχές της ελληνικής επικράτειας και επίπεδα συνολικής ακρίβειας άνω του 90%.

1.3 Δομή

Ακολουθεί το Κεφάλαιο 2 όπου παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας. Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται διεξοδικά το σύνολο της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε και παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και στο 4 η μεθοδολογία των ταξινομήσεων. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η ανάλυσή τους. Στο Κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν και προτείνεται περαιτέρω εργασία για τη βελτίωση της παρούσας μεθοδολογίας. Τέλος, ακολουθούν το κεφάλαιο 7 της Βιβλιογραφίας και τα Παράρτηματα. Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται πίνακες με στοιχεία των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία(δορυφόρος, ημερομηνία, αριθμός τροχιάς), ενώ στο Β παρουσιάζεται το σύνολο του κώδικα που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού JavaScript στην πλατφόρμα Google Earth Engine.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο και περιγράφονται οι απαραίτητες εισαγωγικές έννοιες για το αντικείμενο, τα δεδομένα και τις τεχνικές που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

2.1 Ορισμοί

Ορισμός Φωτοερμηνείας

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 [1].

Ορισμός Τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μια συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο [2]. Πιο ειδικά, είναι η καταγραφή πληροφοριών από το υπεριώδες, το ορατό, το εγγύς υπέρυθρο και το μικροκυματικό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και η ανάλυση των πληροφοριών που συλλέχθηκαν μέσα από οπτική (φωτοερμηνεία) και ψηφιακή επεξεργασία εικόνων.

Μικροκυματική Τηλεπισκόπηση είναι εκείνη η περιοχή της Τηλεπισκόπησης η οποία με τη χρήση παθητικών ή/και ενεργητικών δεκτών ανιχνεύει, αναγνωρίζει, διερευνά και παρακολουθεί αντικείμενα πάνω στη γήινη επιφάνεια, βασιζόμενη στις χαρακτηριστικές οπτικές ιδιότητές τους στη μικροκυματική περιοχή του Ηλεκτρο-Μαγνητικού (ΗΜ) φάσματος (από λ = 3mm – 1m) [3].

Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

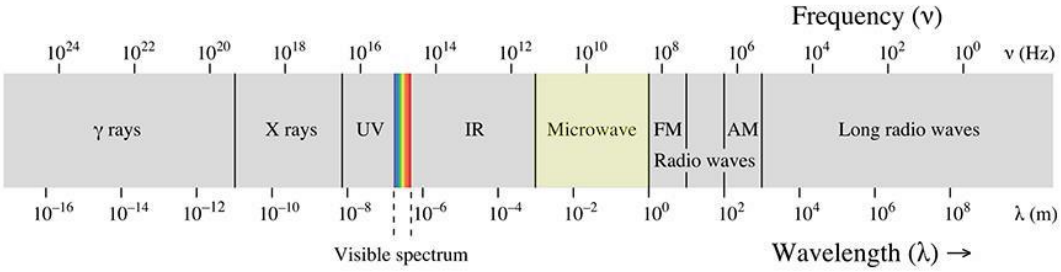
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το μεγαλύτερο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, είναι αόρατο για το ανθρώπινο μάτι.

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 ανάλογα με το μήκος κύματος, που σε κάθε μία ανήκει ένα μικρό εύρος συχνοτήτων (αύξουσα σειρά συχνότητας):

- ραδιοκύματα
- μικροκύματα
- υπέρυθρη ακτινοβολία
- ορατή ακτινοβολία
- υπεριώδης ακτινοβολία
- ακτίνες Χ
- 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.



Σχήμα 1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας (Πηγή: https://gsp.humboldt.edu)

2.2 Οπτικοί Αισθητήρες

Οι οπτικοί αισθητήρες είναι παθητικοί τηλεπισκοπικοί δέκτες που χρησιμοποιούν το ανακλώμενο φως για την ανίχνευση της ηλεκτρομαγνητική ενέργειας στην επιφάνεια της Γης. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια αντανακλάται από την επιφάνεια της Γης προς τον δορυφορικό αισθητήρα, ο οποίος συλλέγει και καταγράφει πληροφορίες για αυτή την ενέργεια. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται σε ένα καταγραφικό όργανο με τη μορφή δεδομένων και στη συνέχεια επεξεργάζονται, ώστε να εξαχθούν ως εικόνα.

Αυτοί οι αισθητήρες καταγράφουν πληροφορία στο οπτικό μέρος του φάσματος, περιλαμβάνοντας το ορατό, κοντινό και μέσο υπέρυθρο. Ανάλογα με το εύρος του φάσματος που καλύπτουν, οι αισθητήρες χωρίζονται σε πολυφασματικούς(έως 15 φασματικά κανάλια) και υπέρ-φασματικούς(>15 φασματικά κανάλια).

Δορυφορικές αποστολές με οπτικούς αισθητήρες είναι οι Landsat, SPOT, WorldView, Sentinel-2 κ.α., τα δεδομένα των οποίων χρησιμοποιούνται ευρέως από την επιστημονική κοινότητα για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, τη μελέτη διαχρονικών μεταβολών σε αυτήν και τη διαχείριση εκτάκτων αναγκών.

2.3 Ραντάρ

Το ραντάρ (Radar: Radio Detection and Ranging, δηλαδή Ραδιο-Ανίχνευση και Αποστασιομέτρηση) είναι μικροκυματικό ενεργητικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση, εντοπισμό, απεικόνιση και παρακολούθηση αντικειμένων.

Η περιοχή των μικροκυμάτων στην οποία λειτουργούν οι δέκτες ραντάρ, εκτείνεται στις ζώνες UHF, SHF και EHF και υποδιαιρείται στις περιοχές (κανάλια, bands) P, L, S, C, X, K, Q, V, W (πίνακας 1).

Πίνακας 1: Κανάλια συχνοτήτων ραντάρ και χρήσεις τους (Πηγή: earthdata.nasa.gov)

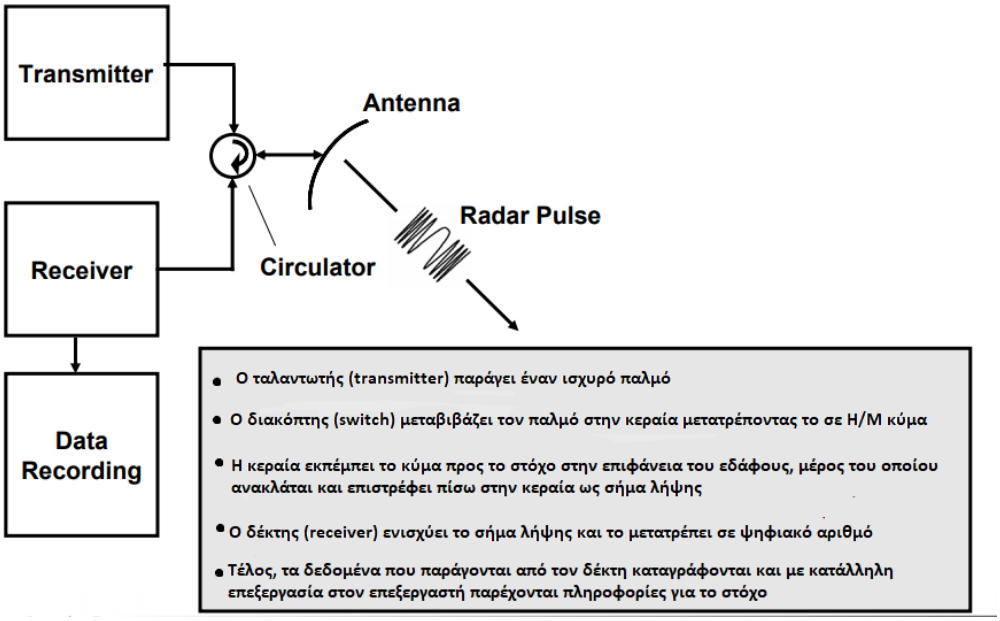
Κανάλι	Συχνότητα	Μήκος Κύματος	Τυπική Χρήση
W	75–110 GHz	0.4–0.27 cm	παρακολούθηση περιοχών από πολύ μεγάλη απόσταση, επικοινωνία δορυφόρων
V	50–75 GHz	0.6–0.4 cm	παρακολούθηση περιοχών από πολύ μεγάλη απόσταση
U	40–60GHz	0.8–0.5 cm	παρακολούθηση περιοχών από πολύ μεγάλη απόσταση
Ka	27–40 GHz	1.1–0.8 cm	σπάνια χρήση στα SAR (έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας)
K	18–27 GHz	1.7–1.1 cm	σπάνια χρήση (απορρόφηση υγρασίας)
Ku	12–18 GHz	2.4–1.7 cm	δορυφορική αλτιμετρία
X	8–12 GHz	3.8–2.4 cm	σε υψηλής ανάλυσης SAR (χαρτογράφηση αστικού ιστού, μικρή

			διείσδυση σε βλάστηση, παρακολούθηση παγετώνων), μετεωρολογία, ωκεανογραφία
C	4–8 GHz	7.5–3.8 cm	πιο σύνηθες κανάλι σε συστήματα SAR, παγκόσμια χαρτογράφηση, παρακολούθηση και εντοπισμών αλλαγών στη γήινη επιφάνεια, παρακολούθηση παγετώνων και ωκεανών, θαλάσσια πλοήγηση
S	2–4 GHz	15–7.5 cm	μικρή αλλά αυξανόμενη χρήση στα SAR, παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας (ειδικά καλλιέργειες – γεωργία) , έλεγχος κυκλοφορίας οχημάτων
L	1–2 GHz	30–15 cm	σε μεσαίας ανάλυσης SAR (γεωφυσικές έρευνες, παρακολούθηση βλάστησης και βιομάζας), συμβολομετρία
P	0.3–1 GHz	100–30 cm	παρακολούθηση περιοχών από μεγάλη απόσταση, βλάστηση και βιομάζα

Η αρχή λειτουργίας του ραντάρ στηρίζεται στην εκπομπή ενός ΗΜ σήματος / παλμού (pulse) ως δέσμη ακτινών (beam) και στη συνέχεια τη λήψη της ανακλώμενης, από τα διάφορα αντικείμενα τα οποία φωτίζονται από το σήμα εκπομπής, ακτινοβολίας. Η κεραία εκπομπής (transmitter) και λήψης των παλμών (receiver) είναι συνήθως η ίδια κεραία (antenna).

Η μεγάλη σημασία του ραντάρ έγκειται στη δυνατότητά του να ανιχνεύει αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις τις οποίες μετρά με μεγάλη ακρίβεια και χωρίς να επηρεάζεται από τις συνθήκες φωτισμού και τις καιρικές συνθήκες. Για μήκη κύματος μεγαλύτερα από 3cm ή συχνότητας μικρότερης από 10 Ghz τα σύννεφα είναι περατά, οπότε και δεν αποτυπώνονται στην εικόνα. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα υγρά σωματίδια των νεφών έχουν μέση διάμετρο (0,1mm) σαφώς μικρότερη από τα μήκη κύματος των συστημάτων ραντάρ [4].

Βασικά στοιχεία ενός συστήματος ρανταρ είναι ο παλμός που παράγει τα ΗΜ κύματα, μια κεραία μετάδοσης και μία λήψης τους (συνήθως χρησιμοποιείται η ίδια κεραία) και έναν επεξεργαστή για την ανάλυση του επιστρεφόμενου σήματος και την εξαγωγή πληροφορίας.



Σχήμα 2: Λειτουργία των συστημάτων Radar (τροποποιημένη, από Paco Lopez - Decker,2010)

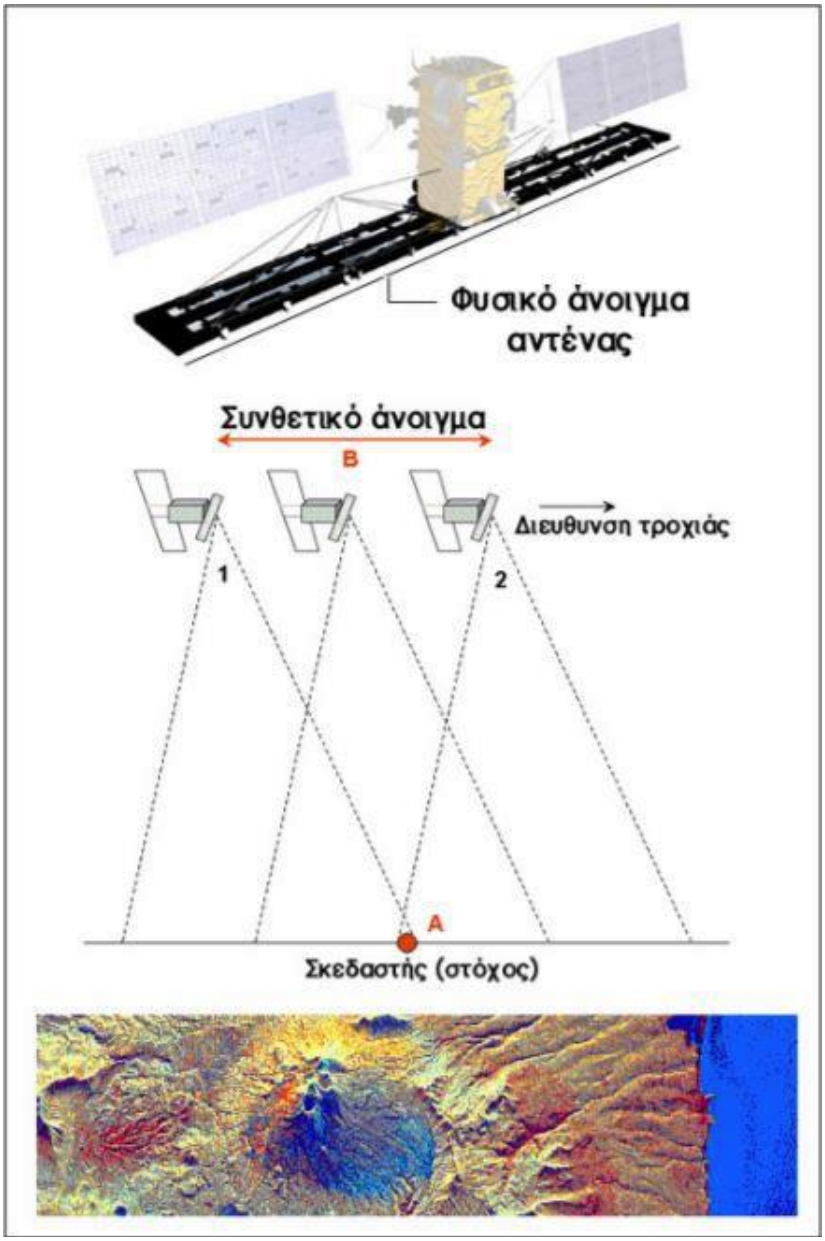
Ο κάθε παλμός χαρακτηρίζεται από το χρόνο εκπομπής του (reference pulse time). Με τη μέτρηση του χρόνου εκπομπής - επιστροφής του παλμού καθώς επίσης και της ισχύος του είναι δυνατή η ταυτόχρονη μέτρηση α) της απόστασης του στόχου από τον δέκτη και β) της ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας από τον στόχο.

Στην τηλεπισκόπηση και για γεωδαιτικους σκοπούς χρησιμοποιούνται τύποι ρανταρ όπως υψομετρητές ή αλτίμετρα, για τη μέτρηση υψομετρικής πληροφορίας και μεταβολών στη γήινη επιφάνεια, ραντάρ διασκορπισμού (σκεδασόμετρα) που μετρούν την ανακλώμενη ακτινοβολία από ένα στόχο για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης και ραντάρ πλευρικής απεικόνισης που εκπέμπουν παλμούς προς την επιφάνεια που διέρχεται το αεροπλάνο ή δορυφόρος και κάθετα στη γραμμή πτήσης.
Τα ραντάρ απεικονίσεων διακρίνονται σε δύο τύπους :

- Πραγματικού ανοίγματος (Real Aperture Radar, RAR)
- Συνθετικού ανοίγματος (Synthetic Aperture Radar, SAR)

Στα ραντάρ πραγματικού ανοίγματος η διακριτική τους ικανότητα ορίζεται από το εύρος δέσμης της κεραίας και επομένως είναι ανάλογη της απόστασης μεταξύ δέκτη και στόχου. Ειδικά για συστήματα RAR σε δορυφόρους, όπου η απόσταση δέκτη και στόχου είναι της τάξεως των εκατοντάδων χιλιομέτρων, για μια διακριτική ικανότητα έστω 1 χιλιομέτρου απαιτείται μια κεραία μήκους πάνω από 150 μέτρων, το οποίο είναι πρακτικά αδύνατον.

Έτσι αναπτύχθηκε η τεχνολογία των radar συνθετικού ανοίγματος, τα οποία πετυχαίνουν υψηλές διακριτικές ικανότητες και είναι ανεξάρτητα από την απόσταση στόχου-δέκτη. Ο δέκτης, καθώς κινείται, φωτίζει τον ίδιο στόχο στη γήινη επιφάνεια για διαδοχικές θέσεις και καταγράφει πολλά σήματα ανακλώμενης ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, με κατάλληλη επεξεργασία τα σήματα αυτά συνδυάζονται, δημιουργώντας ένα σύνθετο άνοιγμα κεραίας το οποίο είναι εκατοντάδες φορές μεγαλύτερο από το πραγματικό άνοιγμα της σε λειτουργία κεραίας.



Σχήμα 3: Φυσικό και συνθετικό άνοιγμα κεραίας συστήματος SAR (Πηγή: Δημήτρης Δεληκαράογλου)

Τα συστήματα SAR είναι σημαντικά και χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα για εφαρμογές παρακολούθησης της Γήινης επιφάνειας. Οι εφαρμογές των ραντάρ στην Τηλεπισκόπηση είναι [3]:

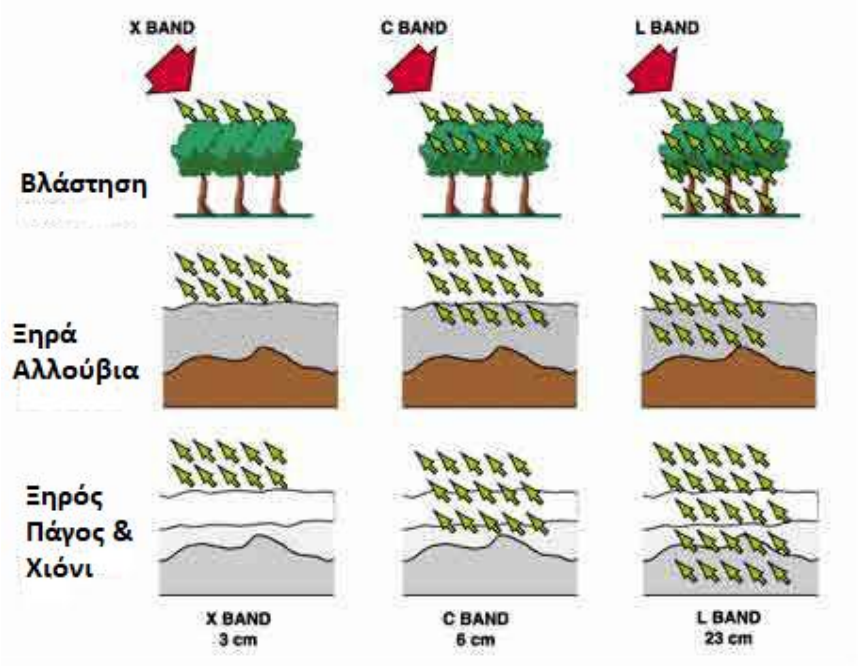
- Γεωλογία (δομή στρωμάτων)
- Υδρολογία (υγρασία εδάφους, χαρτογράφηση επιφανειακών υδάτων, πλημμύρων και χιονισμένων εκτάσεων)
- Γεωργία (παρακολούθηση καλλιεργειών, βοσκοτόπων και εκτάσεων οι οποίες πλήττονται από ξηρασία)
- Δάση (παρακολούθηση υλοτόμησης, πυρκαγιών)
- Χαρτογράφηση δυσπρόσιτων περιοχών
- Εξερεύνηση πόλων (παρακολούθηση πολικών δραστηριοτήτων, πανίδας, παγετώνων και παγόβουνων)
- Ωκεανοί (παρακολούθηση κυμάτων, επιφανειακών ρευμάτων, κηλίδων πετρελαίου, κυκλοφορίας πλοίων αλιευτικών)

2.3.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Σήμα

Μια απεικόνιση ραντάρ αποτελείται από την ισχύς του σήματος που ανακλά το κάθε αντικείμενο στην γήινη επιφάνεια και επιστρέφει στο δέκτη. Το φαινόμενο αυτό ορίζεται στη βιβλιογραφία ως οπισθοσκέδαση (backscatter).

Η ισχύς του σήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, τόσο σχετικές με το σύστημα του radar (όπως μήκος κύματος, συχνότητα, πόλωση, προσπίπτουσα γωνία του εκπεμπόμενου κύματος) όσο και με τις επιφανειακές παραμέτρους (ανάγλυφο, τραχύτητα διηλεκτρικές ιδιότητες των αντικειμένων).

Τα διάφορα μήκη κύματος μικροκυματικής ακτινοβολίας έχουν διαφορετικό βαθμό διείσδυσης στα επιφανειακά υλικά. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός δάσος η ακτινοβολία ενδέχεται να διαπερνά τα φύλλα και τα κλαδιά και έτσι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία να προέρχεται από την οπισθοσκέδαση του εδάφους ή την αλληλεπίδραση με τους κορμούς και το έδαφος. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο διαφορετικός βαθμός διείσδυσης των καναλιών X (λ = 3 cm),C (λ = 6 cm) και L(λ = 23 cm) σε στοιχεία της γήινης επιφάνειας.



Σχήμα 4: Διαφορετική διείσδυση σε βάθος από την επιφάνεια, των ζωνών X,C και L ,η οποία αυξάνει με το μήκος κύματος (Πηγή: ESA)

Η ομαλότητα της επιφάνειας του στόχου είναι έννοια εξαρτώμενη από το μήκος κύματος και τη γωνία πρόσπτωσης. Μια επιφάνεια θεωρείται «τραχιά» αν η δομή της έχει διαστάσεις συγκρίσιμες με αυτές του προσπίπτοντος κύματος [3].

Η υγρασία του στόχου επηρεάζει επίσης σημαντικά τη διείσδυση της ακτινοβολίας. Η διηλεκτρική σταθερά περιγράφει την ικανότητα των υλικών να απορροφούν, ανακλούν και να μεταφέρουν τη μικροκυματική ενέργεια και αυξάνει με την παρουσία της υγρασίας στα υλικά, αλλάζοντας σημαντικά τις ιδιότητες ενός αντικειμένου για τον τρόπο που θα εμφανίζεται στην εικόνα radar.

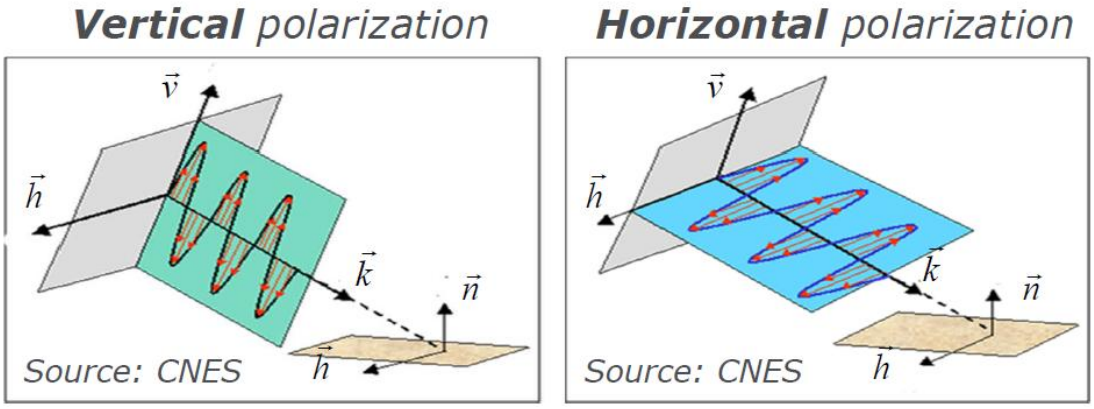
Πολύ υψηλές τιμές οπισθοσκέδασης (>-5 dB) έχουν οι ανθρωπογενείς κατασκευές (αστικές περιοχές) και οι περιοχές με απότομες κλίσεις εδάφους. Μικρότερες, αλλά υψηλές ακόμα (-10 έως 0 Db) έχουν οι τραχιές επιφάνειες και περιοχές με πυκνή βλάστηση(δάση). Περιοχές με μέτρια βλάστηση και καλλιέργειες δίνουν μεσαίες τιμές οπισθοσκέδασης (-20 έως -10

dB). Τέλος, εξαιρετικά χαμηλές τιμές (κάτω από -20 dB) έχουν λείες επιφάνειες (όπως δρόμοι και η άμμος) και τα ήρεμα ύδατα, καθώς αντανακλούν μεγάλο μέρος του εκπεμπόμενου προς αυτά σήματος από το Radar.

2.3.2 Πόλωση

Η πόλωση μικροκυμάτων αναφέρεται στον προσανατολισμό του φορέα ηλεκτρικού πεδίου της εκπεμπόμενης δέσμης σε σχέση με την οριζόντια διεύθυνση. Εάν το διάνυσμα ηλεκτρικού πεδίου ταλαντεύεται κατά μήκος μιας παράλληλης προς την οριζόντια διεύθυνση, η δέσμη λέγεται ότι είναι οριζόντια ("H") πολωμένη. Από την άλλη πλευρά, εάν το διάνυσμα ηλεκτρικού πεδίου ταλαντεύεται κατά μήκος μιας κατεύθυνσης κάθετης προς την οριζόντια κατεύθυνση, η δέσμη είναι πολωμένη κάθετα ("V"). Μετά την αλληλεπίδραση με την επιφάνεια της γης, η κατάσταση πόλωσης μπορεί να αλλάξει. Έτσι, το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα ενδέχεται να επιστρέψει στον δέκτη σε διαφορετική κατεύθυνση από την οποία εστάλη. Το οριζόντια μεταδιδόμενο κύμα επιστρέφει κάθετα στον αισθητήρα λήψης σημάτος και αντίστροφα το κάθετα μεταδιδόμενα επιστρέφει οριζόντια. Οι επιφάνειες που είναι πιθανό να προκαλέσουν αλλαγή στην πόλωση συχνά χαρακτηρίζονται από σκέδαση όγκου (κλαδιά, ξηρά σώματα εδάφους κ.α.) Συνεπώς, υπάρχουν τέσσερις πιθανές διαμορφώσεις πόλωσης για ένα σύστημα SAR, ανάλογα με τις καταστάσεις πόλωσης των εκπεμπόμενων και λαμβανόμενων σημάτων μικροκυμάτων:

- HH (οριζόντια μετάδοση και οριζόντια λήψη)
- VV (κάθετη μετάδοση και κάθετη λήψη)
- HV (οριζόντια μετάδοση και κάθετη λήψη)
- VH (κάθετη μετάδοση και οριζόντια λήψη)



Σχήμα 5: Η κάθετη και η οριζόντια πόλωση του Η/Μ κύματος (Πηγή: CNES)

Υπάρχουν συστήματα SAR που μεταδίδουν και λαμβάνουν σήματα μόνο σε συγκεκριμένες πολώσεις, όπως ο δορυφόρος ERS μεταδίδει και λαμβάνει σήματα κάθετα (VV) και ο RadarSAT οριζόντια (HH). Σύγχρονα συστήματα SAR, όπως οι δορυφόροι Sentinel-,1 έχουν τη δυνατότητα καταγραφής και των 4 συνδυασμών.

2.4 Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα COPERNICUS

Το Copernicus είναι το πρόγραμμα γεωσκόπησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο παρατηρεί το περιβάλλον και τον πλανήτη μας προς όφελος όλων των ευρωπαίων πολιτών. Παρέχει υπηρεσίες πληροφόρησης με βάση δορυφορικά δεδομένα γεωσκόπησης και επίγεια (μη διαστημικά) δεδομένα.

Τον συντονισμό και τη διαχείριση του προγράμματος έχει αναλάβει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το πρόγραμμα υλοποιείται σε συνεργασία με τα κράτη μέλη, τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Εκμετάλλευσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT), το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών

Προβλέψεων (ECMWF), οργανισμούς της ΕΕ και την εταιρεία Mercator Océan.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες παγκόσμιων δεδομένων προερχόμενων από δορυφορικά και από επίγεια, αερομεταφερόμενα και θαλάσσια συστήματα μέτρησης, για την παροχή πληροφοριών που βοηθούν τους παρόχους υπηρεσιών, τις δημόσιες αρχές και άλλους διεθνείς οργανισμούς να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών της Ευρώπης. Οι χρήστες του προγράμματος έχουν ελεύθερη και απρόσκοπτη πρόσβαση στις παρεχόμενες υπηρεσίες πληροφόρησης.

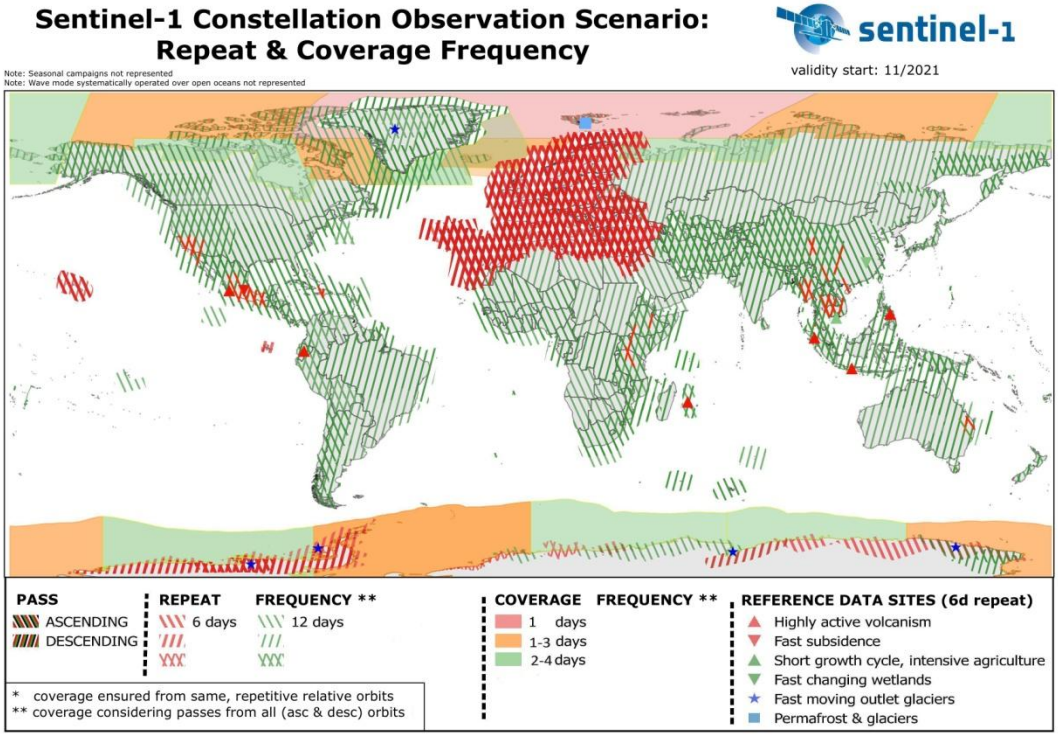
Το πρόγραμμα Copernicus περιλαμβάνει ήδη 6 δορυφορικές αποστολές αφιερωμένες στην παρακολούθηση της Γης από το διάστημα, τις Sentinel -1,-2,-3,-4,-5 και -6. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα από τις δορυφορικές αποστολές Sentinel-1 & 2.

2.4.1 Η Δορυφορική Αποστολή Sentinel – 1

Η δορυφορική αποστολή Sentinel-1 ήταν η πρώτη αποστολή του προγράμματος Copernicus του Ευρωπαικού Οργανισμού Διαστήματος που τέθηκε σε τροχιά και επιχειρησιακή ετοιμότητα. Βασικός στόχος της αποστολής είναι η συνεχή παρακολούθηση της ξηράς και των ωκεανών της Γης, παρέχοντας βελτιωμένη συχνότητα επανεξέτασης, κάλυψη, επικαιρότητα και αξιοπιστία για επιχειρησιακές υπηρεσίες και εφαρμογές γεωσκόπησης ειδικά σε έκτακτες ανάγκες λόγω φυσικών καταστροφών.

Αποτελείται από δύο δίδυμους δορυφόρους που βρίσκονται σε ηλιοσύγχρονη και (σχεδόν) πολική τροχιά σε ύψος 693 χιλιομέτρων από τη γήινη επιφάνεια με γωνιακή απόκλιση 180° μεταξύ τους.

Ο πρώτος δορυφόρος Sentinel-1A εκτοξεύτηκε στις 3 Απριλίου 2014 και ο Sentinel-1B στις 25 Απριλίου 2016. Κάθε δορυφόρος πραγματοποιεί έναν επαναλαμβανόμενο κύκλο κάθε 12 ημέρες και κάθε κύκλος αποτελείται από 175 τροχιές, προσφέροντας παγκόσμια κάλυψη. Οι δορυφόροι της αποστολής Sentinel-1 παρέχουν εικόνες ίδιας τροχιάς (ανοδικής ή καθοδικής) του ίδιου τόπου κάθε 6 ημέρες. Ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος, οι δορυφόροι βρίσκονται πάνω από τον ίδιο τόπο ανά 1 έως 3 ημέρες προσφέροντας συνεχώς δεδομένα. Για την Ελλάδα, αυτός ο χρόνος επισκεψιμότητας είναι περίπου 2 ημέρες.

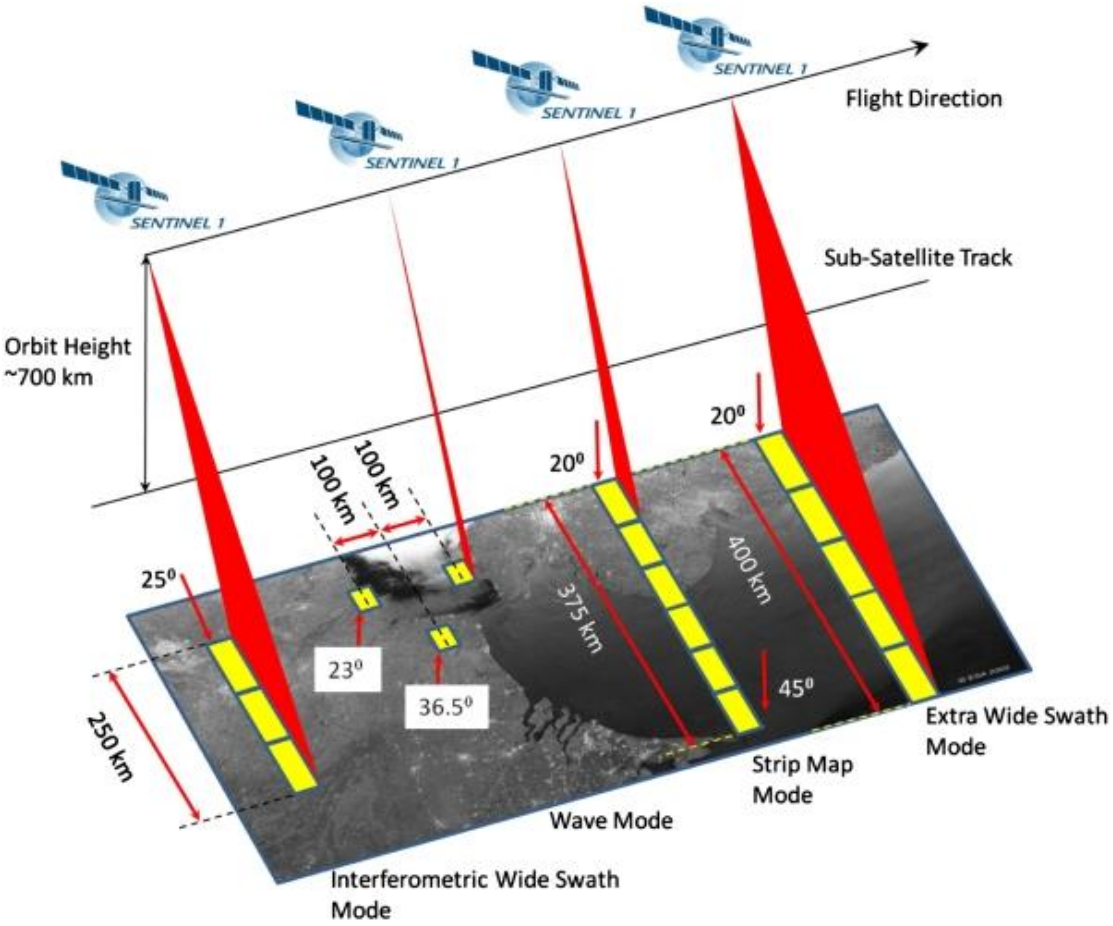


Σχήμα 6: Η παγκόσμια κάλυψη των δίδυμων δορυφόρων Sentinel-1 (Πηγή: ESA)

Οι Sentinel-1A& 1B φέρουν ένα Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (SAR) εκπέμποντας ραδιοκύματα στο κανάλι C με ραδιομετρική ακρίβεια της τάξης του 1 db και σε κεντρική συχνότητα 5,405 GHz.

Οι δορυφόροι του Sentinel-1 διαθέτουν τέσσερις διαφορετικούς τρόπους απόκτησης δεδομένων (acquisition modes) – καταστάσεις λειτουργίας:

- **Stripmap Mode :** διαθέτει χωρική διακριτική ανάλυση 5x5 m και πλάτος 80 χιλιομέτρων. Προσφέρει προϊόντα δεδομένων σε μονή (HH ή VV) ή διπλή (HH + HV ή VV + VH) πόλωση. Χρησιμοποιείται για παρατήρηση μικρών νησιών ή σε περιπτώσεις εκτάκτων αναγκών
- **Extra Wide Swath Mode :** διαθέτει χωρική διακριτική ανάλυση 25x100 m και το πλάτος 400 χιλιομέτρων. Προσφέρει προϊόντα δεδομένων σε μονή (HH ή VV) ή διπλή (HH + HV ή VV + VH) πόλωση και χρησιμοποιείται κυρίως για την παρακολούθηση μεγάλων παράκτιων περιοχών για φαινόμενα όπως η ναυτιλιακή κυκλοφορία και οι πιθανοί περιβαλλοντικοί κίνδυνοι όπως η διαρροή πετρελαίου ή οι αλλαγές στον πάγο της θάλασσας.
- **Wave Mode :** διαθέτει ανάλυση 5x20 m και αποτελεί την κύρια επιχειρησιακή λειτουργία όσον αφορά τους ωκεανούς και συγκεκριμένα την παρατήρηση των κυμάτων. Παράγει απεικονίσεις μικρών περιοχών της επιφάνειας της θάλασσας 20x20 χιλιομέτρων κατά μήκος της τροχιάς σε διαστήματα 100 km. Προσφέρει δεδομένα σε μονή πόλωση (HH ή VV).
- **Interferometric Wide Swath (IW) Mode:** είναι ο κύριος τρόπος απόκτησης δεδομένων πάνω από την ξηρά. Λαμβάνει δεδομένα με πέρασμα 250 χιλιομέτρων με χωρική ανάλυση 5x20 m. Η λειτουργία IW καταγράφει τρία δευτερεύοντα περάσματα χρησιμοποιώντας την τεχνική παρατήρησης εδάφους με προοδευτική σάρωση SAR (TOPSAR). Με την τεχνική TOPSAR, η δέσμη κατευθύνεται και κατά τη διεύθυνση του αζιμούθιου για κάθε λήψη, αποφεύγοντας το Scalloping και οδηγώντας σε ομοιογενή ποιότητα εικόνας σε όλη τη διαδρομή. Scalloping είναι διαφοροποιήσεις των εντάσεων φωτεινότητας της εικόνας οι οποίες προκαλούνται όταν στόχοι μιας λωρίδας απεικονίζονται σε διαφορετικές θέσεις κατά την διεύθυνση του αζιμουθίου. Η λειτουργία TOPSAR αντικαθιστά τη συμβατική λειτουργία ScanSAR, επιτυγχάνοντας την ίδια κάλυψη και ανάλυση με το ScanSAR, αλλά με έναν σχεδόν ομοιόμορφο λόγο σφάλματος σήματος προς θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio) και κατακερματισμένο στόχο ασάφειας(DistributedTargetAmbiguityRatio).



Σχήμα 7: Καταστάσεις λειτουργίας συστήματος SAR των δορυφόρων Sentinel-1 (Πηγή: ESA)

Τα επίπεδα επεξεργασίας των Sentinel-1 δεδομένων είναι τρία:

- Επίπεδο-0 (level-0) :

Τα προϊόντα Level-0 αποτελούνται από συμπιεσμένα και μη γεωαναφερμένα δεδομένα SAR χωρίς επεξαργασία. Τα προϊόντα επιπέδου 0 αποτελούν τη βάση από την οποία παράγονται όλα τα άλλα προϊόντα υψηλού επιπέδου. Τα δεδομένα τέτοιου επιπέδου είναι διαθέσιμα μόνο για τους τρόπους λειτουργίας Stripmap Mode, Extra Wide Swath Mode και Interferometric Wide SwathMode.

- Επίπεδο-1(level-1) :

Τα δεδομένα επιπέδου-1 είναι τα προϊόντα που προορίζονται για τους περισσότερους χρήστες δεδομένων και προέρχονται από την επεξεργασία των προϊόντων του πρώτου επιπέδου(0). Αυτά τα προϊόντα Level-1 σχηματίζουν ένα βασικό προϊόν από το οποίο προέρχονται τα προϊόντα Level-2.Τα δεδομένα επιπέδου 1 μπορούν να μεταποιηθούν είτε σε προϊόντα Single Complex Look (SLC) είτε σε GroundRangeDetected (GRD) με τρεις διαφορετικές αναλύσεις(πλήρης, υψηλή και μεσαία).

Τα προϊόντα Level-1 διαθέτουν διαφορετικές χωρικές διακριτικές αναλύσεις ανάλογα την κατηγορία στην οποία ανήκουν, SLC ή GRD, και τον τρόπο απόκτησης τους:

- SLC : Τα προϊόντα επιπέδου-1 SLC διαθέτουν ανάλυση για τρόπο απόκτησης SM: 1.7x4.3 m έως 3.6x4.9 m, IW: 2.7x22 m έως 3.5x22 m , EW : 7.9x43 m έως 15x43 m και WV: 2.0x4.8 m εώς 3.1x4.8 m.
- GRD : Τα προϊόντα πλήρης ανάλυσης επιπέδου-1 GRD διαθέτουν διακριτική ανάλυση 10x10 m, τα προϊόντα υψηλής ανάλυσης με τρόπο απόκτησης SM : 23x23 m, IW : 22x22 m, EW : 50x50 m, ενώ τα προϊόντα μέσης ανάλυσης

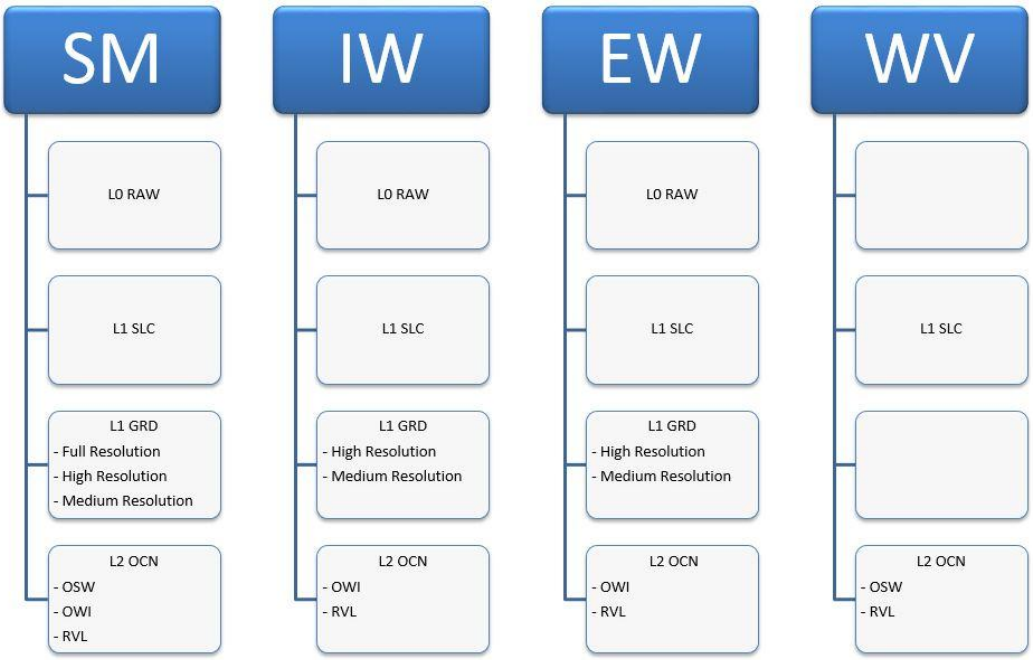
προσφέρουν διακριτική ανάλυση για τρόπο απόκτησης : SM : 84x84 m, IW : 88x87 m , EW : 93x87 m και WV : 52x51 m.

Τα προιόντα SLC αποτελούνται από εστιασμένα SAR δεδομένα, γεωαναφερμένα χρησιμοποιώντας τροχιακές και υψομετρικές πληροφορίες από το δορυφόρο και παρέχονται στη φυσική γεωμετρία του δορυφόρου. Κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας έχει δύο τιμές, μία για το πραγματικό και μία για το φανταστικό μέρος, διατηρώντας λοιπόν την φάση για ανάλυση συμβολομετρίας.

Αντίθετα, στα προιόντα GRD έχει γίνει μετασχηματισμός σε γεωγραφικές συντεταγμένες με προβολή στο ελλειψοειδές μοντέλο της Γης WGS84. Επίσης, η πληροφορία της φάσης έχει χαθεί, με την τελική εικόνα να έχει σχεδόν τετράγωνα εικονοστοιχεία με μειωμένη κυλίδωση (speckle) και μικρότερη ανάλυση.

- Επίπεδο-2(level-2 Ocean) :

Τα δεδομένα επεξεργασίας επιπέδου 2 αφορούν γεωφυσικά φαινόμενα, όπως μετρήσεις ταχύτητας ανέμων, κυμάτων και ρευμάτων των ωκεανών. Τα προϊόντα επιπέδου-2 διαθέτουν χωρική διακριτική ανάλυση της τάξης των 20x20 km.



Σχήμα 8: Τα επίπεδα επεξεργασίας των Sentinel-1 δεδομένων, ανάλογα τον τρόπο απόκτησής (Acquisition Mode) τους

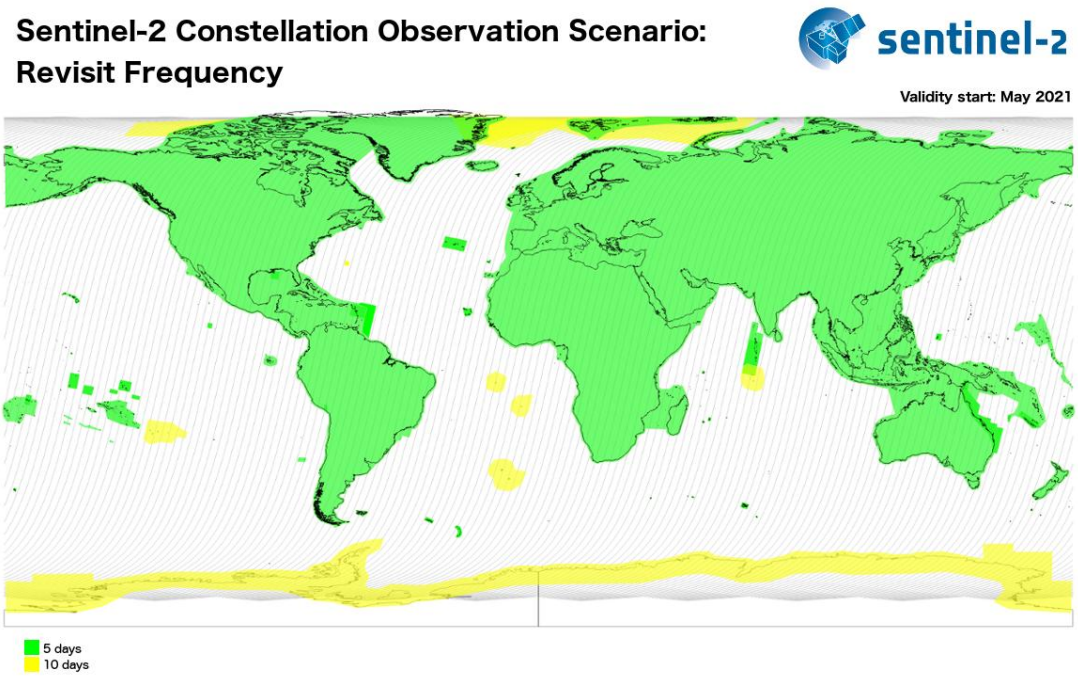
2.4.2 Η Δορυφορική Αποστολή Sentinel – 2

Η αποστολή Copernicus Sentinel-2 περιλαμβάνει έναν αστερισμό από δύο δίδυμους δορυφόρους σε πολική τροχιά τοποθετημένους στην ίδια ηλιοσύγχρονη τροχιά. Αυτού του είδους η τροχιά βοηθά ώστε το φως του ήλιου να προσπίπτει συνεχώς στην επιφάνεια της Γης.

Στόχος της αποστολής είναι η παρακολούθηση της επιφάνειας της γης με συμβολή στη διαχείριση εκτάκτων αναγκών και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

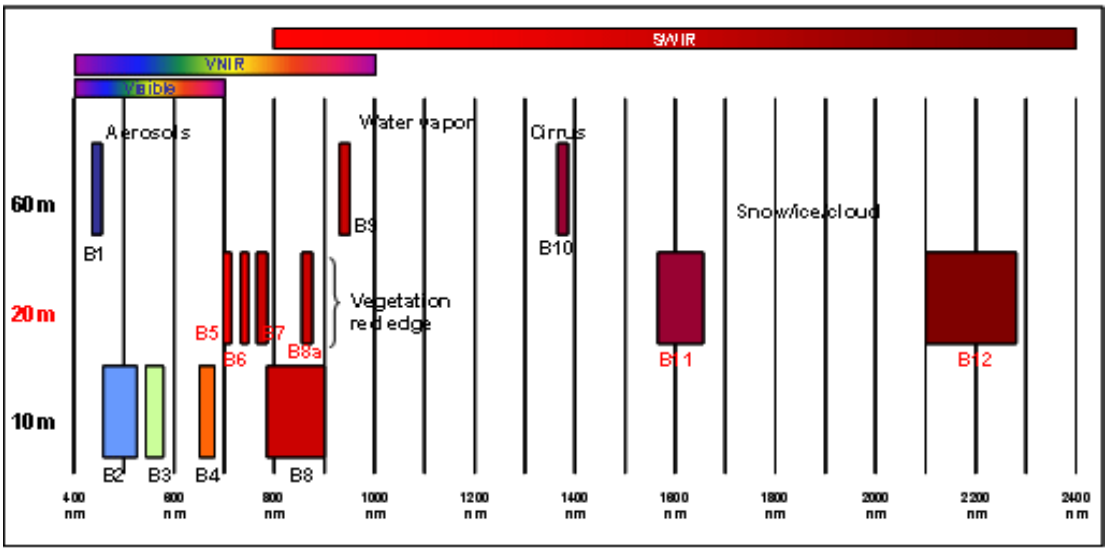
Ο πρώτος δορυφόρος της αποστολής Sentinel-2A τέθηκε σε τροχιά τον Ιούνιο του 2015 και ο δεύτερος Sentinel-2B τέθηκε σε τροχιά τον Μάρτιο του 2017, με διάρκεια ζωής βάσει επιχειρησιακού σχεδίου τα 7 έτη. Πετάνε σε ύψος 786 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης και έχουν γωνιακή απόκλιση 180° μεταξύ τους. Το ευρύ πλάτος σάρωσης τους στα 290χλμ. και ο μικρός χρόνος επαναληπτικού περάσματος (10 ημέρες στον ισημερινό με ένα δορυφόρο

και 5 ημέρες με 2 δορυφόρους κάτω από συνθήκες χωρίς σύννεφα που έχουν ως αποτέλεσμα 2-3 ημέρες στα μέσα γεωγραφικά πλάτη) υποστηρίζουν την παρακολούθηση των μεταβολών της γήινης επιφάνειας. Τα όρια κάλυψης κυμαίνονται μεταξύ 56 ° νότιου και 84 ° βόρειου γεωγραφικού πλάτους. Οι τροχιές για την παγκόσμια κάλυψη των δορυφόρων sentinel-2 φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 9: Η παγκόσμια κάλυψη των δίδυμων δορυφόρων Sentinel-2 (Πηγή: ESA)

Οι δύο δορυφόροι φέρουν έναν υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικό σαρωτή (Multi-Spectral Instrument -MSI) με δέκα τρία φασματικά κανάλια και μήκη κύματος από 443nm έως 2190nm: 4 με χωρική ανάλυση 10 μέτρων(μπλε, πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο), 6 με ανάλυση 20 μ. (ακμές του κόκκινου, εγγύς και μέσο υπέρυθρο) και 3 με ανάλυση 60 μ. (κανάλια ατμοσφαιρική διόρθωσης).



Σχήμα 10: Τα φασματικά κανάλια του Sentinel-2 (Πηγή: Martimort et al.2007)

Τα προϊόντα του Sentinel-2 διατίθενται ελεύθερα προς κάθε ενδιαφερόμενο από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος μέσω της πλατφόρμας Copernicus Open Access Hub (https://scihub.copernicus.eu). Αυτά διατίθενται σε δύο επίπεδα επεξεργασίας : στο Level 1C και στο Level 2A 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 χλμ² και έχει όγκο περίπου 600 MB. Στο επίπεδο L2A έχουν πραγματοποιηθεί και οι απαραίτητες ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

Πίνακας 2: Τα προϊόντα του Sentinel-2 (Πηγή : sentinel.esa.int)

Name	High-level Description	Production & Distribution	Data Volume
Level-1C	Top-of-atmosphere reflectances in cartographic geometry	Systematic generation and on-line distribution	600 MB (each 100x100 km2)
Level-2A	Bottom-of-atmosphere reflectance in cartographic geometry	Systematic generation and on-line distribution and generation on user side (using Sentinel-2 Toolbox)	800 MB (each 100x100 km2)

Ειδικότερα, οι εικόνες στο επίπεδο 2A έχουν επεξεργαστεί στους επίγειους σταθμούς του προγράμματος Copernicus με χρήση του αλγορίθμου Sen2Cor. 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. Ουσιαστικά η διόρθωση αυτή αποσκοπεί στη παραγωγή εικόνων με τιμές ανάκλασης εδάφους (Surface Reflectance), με αφαίρεση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας επί της καταγεγραμμένης έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας, από την οποία προκύπτει η πρωτογενής εικόνα του δορυφόρου.

2.5 Google Earth Engine (GEE)

Το Google Earth Engine (GEE) είναι μια cloud-based διαδικτυακή πλατφόρμα της Google, όπου διατίθεται ένας κατάλογος πολλών petabyte δορυφορικών δεδομένων παρακολούθησης της επιφάνεια της γης και άλλων γεωχωρικών δεδομένων. Το GEE είναι συνδεδεμένο με το κέντρο δικτύου της Google, προσφέροντας στους χρήστες πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους υψηλής απόδοσης. Με αυτόν τον τρόπο, οι χρήστες έχουν εύκολη πρόσβαση, επιλογή και επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων για μια μεγάλη περιοχή μελέτης. Εκτός από την ταχεία επεξεργασία, μια άλλη σημαντική πτυχή που κάνει το GEE όλο και πιο δημοφιλές είναι η διαθεσιμότητα πολλών πακέτων με πολλούς αλγόριθμους που απλοποιούν την πρόσβαση σε εργαλεία τηλεπισκόπησης τόσο για ειδικούς όσο και για μη ειδικούς.

Επομένως, το GEE αποτελεί ένα ισχυρό και πολύτιμο εργαλείο στα χέρια επιστημόνων και μη που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν στις μελέτες και πρότζεκτ τους μεγάλο αριθμό δεδομένων (big data), όπως χρονοσειρές τηλεπισκοπικών δεδομένων, αλλά δεν έχουν πρόσβαση σε παραδοσιακούς ισχυρούς υπερυπολογιστές.

Η πρόσβαση στο Earth Engine γίνεται και ελέγχεται μέσω μιας διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών ιστού (Application Programming Interface- API) και ενός σχετικού διαδικτυακού διαδραστικού περιβάλλοντος ανάπτυξης(Interactive Development Environment - IDE) που επιτρέπει ταχεία οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Το περιβάλλον διεπαφής της πλατφόρμας με το χρήστη είναι απλό και φιλικό, ενώ υπάρχουν επεξηγηματικός οδηγός χρήσης , εκατοντάδες παραδείγματα, εκπαιδευτικά βίντεο, πλούσιος κατάλογος αναφορών λειτουργιών και μία πολυάριθμη κοινότητα για παροχή βοήθειας σε οποιοδήποτε πρόβλημα. Σε κάθε λογαριασμό χρήστη διατίθεται ένας αποθηκευτικός χώρος (250 GB τη στιγμή γραφής του παρόντος), όπου υπάρχει η δυνατότητα για τη μεταφόρτωση προσωπικών δεδομένων και αποθήκευση ενδιάμεσων προϊόντων και αποτελεσμάτων, τα οποία μπορούν να ληφθούν για χρήση εκτός σύνδεσης.

Η γλώσσα προγραμματισμού του GEE είναι η JavaScript, ενώ υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης βιβλιοθήκης Earth Engine στο πακέτο Python του χρήστη, χρησιμοποιώντας το Google Collab ή το conda. Η παρούσα διπλωματική εργασία εκτελέστηκε στη διαδικτυακή πλτατφόρμα του GEE, που ονομάζεται *Google Earth Engine Code Editor*, με χρήση της

γλώσσας JavaScript.
Ο κατάλογος δεδομένων του GEE φιλοξενεί ένα τεράστιο αποθετήριο διαθέσιμων στο κοινό συνόλων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικές εικόνες σε οπτικά και μη μήκη κύματος, αεροφωτογραφίες, καιρικά και κλιματολογικά δεδομένα και προβλέψεις, χάρτες κάλυψης γης , τοπογραφικά και κοινωνικοοικονομικά δεδομένα. Όλα αυτά τα δεδομένα είναι προεπεξεργασμένα και έτοιμα προς χρήση, διατηρώντας όμως τα απαραίτητα metadata για κάθε ανάλυση και επεξεργασία από το χρήστη.

Πίνακας 3: Διαθέσιμα δεδομένα στο GEE(Πηγή : GEEdocumentation)

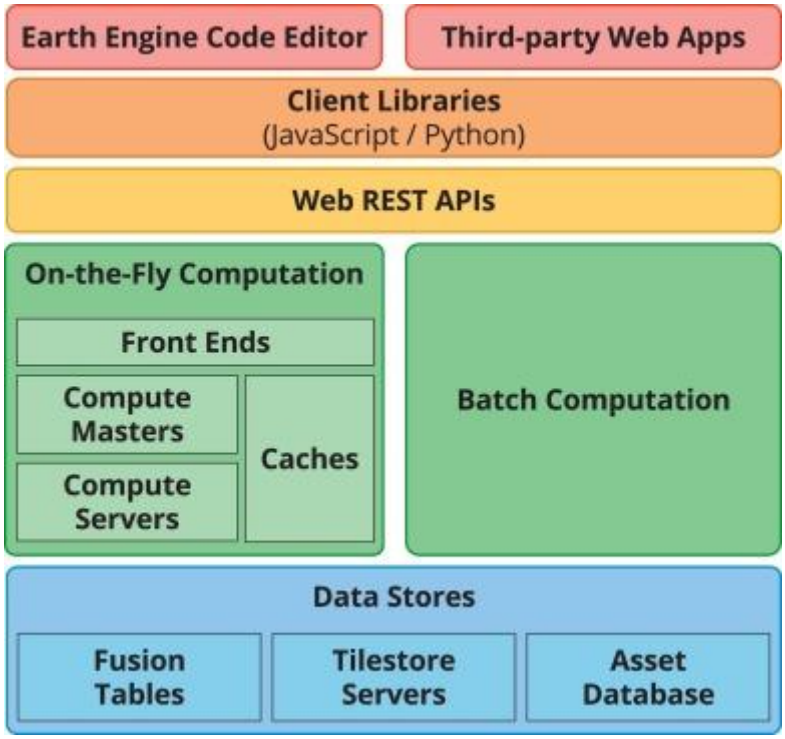
Dataset	Ονομαστική Χωρική Ανάλυση	Χρονική διαπεραστικότητα	Χρονική Κάλυψη	Χωρική Κάλυψη
Landsat				
Landsat 8 OLI/TIRS	30 m	16 μέρες	2013 - Σήμερα	Παγκόσμια
Landsat 7 ETM+	30 m	16 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
Landsat 5 TM	30 m	16 μέρες	1984–2012	Παγκόσμια
Landsat 4–8 surface reflectance	30 m	16 μέρες	1984–Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel				
Sentinel 1 A/B ground range detected	10 m	6 μέρες	2014–Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel 2A MSI - Level 1C	10/20m	10 μέρες	2015–Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel 2A MSI - Level 2A	10/20m	10 μέρες	2017-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-3 OLCI EFR: Ocean and Land Color Instrument	300 m	2 μέρες	2016–Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P UV Aerosol Index	0.01 °	1 μέρες	2018-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P Cloud	0.01 °	1 μέρες	2018-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P Carbon Monoxide	0.01 °	1 μέρες	2018-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P Formaldehyde	0.01 °	1 μέρες	2018-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P Nitrogen Dioxide	0.01 °	1 μέρες	2018-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P Ozone	0.01 °	1 μέρες	2018-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P Sulphur Dioxide	0.01 °	1 μέρες	2018-Σήμερα	Παγκόσμια
Sentinel-5P Methane	0.01 °	1 μέρες	2019-Σήμερα	Παγκόσμια
MODIS				
MOD08 atmosphere	1°	Ημερήσια	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MOD09 surface reflectance	500 m	1 μέρες/8 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MOD10 snow cover	500 m	1 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MOD11 temperature and emissivity	1000 m	1 μέρες/8 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MCD12 Land cover	500 m	Ανά Χρόνο	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MOD13 Vegetation indices	500/250 m	16 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MOD14 Thermal anomalies & fire	1000 m	8 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια

Dataset	**Ονομαστική Χωρική Ανάλυση**	**Χρονική διαπεραστικότητα**	**Χρονική Κάλυψη**	**Χωρική Κάλυψη**
MCD15 Leaf area index/FPAR	500 m	4 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MOD17 Gross primary productivity	500 m	8 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MCD43 BRDF-adjusted reflectance	1000/250 m	8 μέρες/16 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MOD44 veg. cover conversion	250m	Ανά Χρόνο	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
MCD45 thermal anomalies and fire	500 m	30 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
ASTER				
L1 T radiance	15/30/90 m	1 μέρες	2000–Σήμερα	Παγκόσμια
Παγκόσμια emissivity	100 m	-	2000–2010	Παγκόσμια
JAXA				
ALOS/AVNIR-2 ORI	10 m		2006-2011	Παγκόσμια
Global PALSAR-2/PALSAR	25 m	Ανά Χρόνο	2007-2018	Παγκόσμια
GCOM-C/SGLI L3 Leaf Area Index (V1)	2.5'	2 μέρες	2018-2020	Παγκόσμια
GCOM-C/SGLI L3 Land Surface Temperature (V1)	2.5'	2 μέρες	2018-2020	Παγκόσμια
Other imagery				
PROBA-V top of canopy reflectance	100/300 m	2 μέρες	2001–Σήμερα	Παγκόσμια
EO-1 hyperion hyperspectral radiance	30 m	Στοχευμένα	2013–Σήμερα	Παγκόσμια
DMSP-OLS nighttime lights	1 km	Ανά Χρόνο	1992-2013	Παγκόσμια
USDA NAIP aerial imagery	1 m	Ανά Χρόνο	2013-2015	CONUS
Topography				
Shuttle Radar Topography Mission	30 m	-	2000	60°N–54°S
ALOS DSM	30 m	-	2006-2011	Παγκόσμια
USGS National Elevation Dataset	10 m	-	Multiple	United States
USGS GMTED2010	7.5"	-	Multiple	83°N–57°S
GTOPO30	30"	-	Multiple	Παγκόσμια
ETOPO1	1'	-	Multiple	Παγκόσμια
Landcover				
GlobCover	300 m	Μη- περιοδικά	2009	90°N–65°S
USGS National Landcover Database	30 m	Μη- περιοδικά	1992-2011	CONUS
UMD Global forest change	30 m	Ανά Χρόνο	2000-2014	80°N–57°S
JRC Global surface water	30 m	Μηνιαία	1984-2015	78°N–60°S
GLCF tree cover	30 m	5 χρόνια	2000-2010	Παγκόσμια
USDA NASS	30 m	Ανά Χρόνο	1997-2015	CONUS

cropland data layer				
Dataset	**Ονομαστική Χωρική Ανάλυση**	**Χρονική διαπεραστικότητα**	**Χρονική Κάλυψη**	**Χωρική Κάλυψη**
Global precipitation measurement	6'	3 h	2014-Σήμερα	Παγκόσμια
TRMM 3B42 precipitation	15'	3 h	1998-2015	50°N–50°S
CHIRPS precipitation	3'	5 μέρες	1981-Σήμερα	50°N–50°S
NLDAS-2	7.5'	1 h	1979-Σήμερα	Βόρεια Αμερική
GLDAS-2	15'	3 h	148-2010	Παγκόσμια
NCEP reanalysis	2.5°	6 h	1948-Σήμερα	Παγκόσμια
ORNL μέρεςMET weather	1 km	Ανά Χρόνο	1980-Σήμερα	Βόρεια Αμερική
GRIDMET 4 km 1 μέρες	4 km	1 μέρες	1979–Σήμερα	CONUS
NCEP Global forecast system	15'	6 h	2015- Σήμερα	Παγκόσμια
NCEP climate forecast system	12'	6 h	1979 - Σήμερα	Παγκόσμια
WorldClim 30″ 12 images	30"	12 εικόνες	1960–1990	Παγκόσμια
NEX downscaled climate projections	1 km	1 μέρες	1950–Σήμερα	Βόρεια Αμερική
Population				
WorldPop	100 m	5 χρόνια	2010-2015	Παγκόσμια
GPWv4	30"	5 χρόνια	2000-2020	85°N–60°S

Κάθε εικόνα συνοδεύεται από μεταδεδομένα σε μορφή κλειδιού / τιμής, που περιέχει πληροφορίες όπως ο χρόνος απόκτησης, η τοποθεσία και οι συνθήκες υπό τις οποίες η εικόνα συλλέχθηκε ή επεξεργάστηκε. Επιπλέον, σχετικές εικόνες, όπως οι εικόνες που παράγονται από έναν συγκεκριμένο αισθητήρα, ομαδοποιούνται και μπορούν να προσπελαστούν και επεξεργαστούν ως «Συλλογές Εικόνων(Image Collections)». Οι συλλογές παρέχουν γρήγορες δυνατότητες φιλτραρίσματος και ταξινόμησης. Αυτό είναι σημαντικό καθώς διευκολύνει τους χρήστες να εκτελούν ερωτήματα μέσω εκατομμυρίων μεμονωμένων εικόνων και να επιλέγουν δεδομένα που πληρούν συγκεκριμένα χωρικά, χρονικά ή άλλα κριτήρια [5]

Σύμφωνα με τον N.Gorelick [6], το Earth Engine Code Editor και οι εφαρμογές τρίτων χρησιμοποιούν βιβλιοθήκες πελατών για να στέλνουν διαδραστικά ή μαζικά ερωτήματα στο σύστημα μέσω ενός REST API. Τα αιτήματα εν κινήσει διεκπεραιώνονται από διακομιστές Front End που προωθούν σύνθετα δευτερεύοντα ερωτήματα στο Compute Masters, τα οποία διαχειρίζονται τη διανομή υπολογισμού μεταξύ μιας ομάδας Compute Servers. Το σύστημα παρτίδας λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο, αλλά χρησιμοποιεί το FlumeJava για τη διαχείριση της διανομής. Η υποστήριξη και των δύο συστημάτων υπολογισμού είναι μια συλλογή υπηρεσιών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης μιας βάσης δεδομένων περιουσιακών στοιχείων που περιέχει τα μεταδεδομένα ανά εικόνα και παρέχει αποτελεσματικές δυνατότητες φιλτραρίσματος. Το λογισμικό διαχείρισης συμπλέγματος Borg διαχειρίζεται κάθε στοιχείο του συστήματος και κάθε υπηρεσία είναι ισορροπημένη με πολλούς εργαζόμενους. Η αποτυχία οποιουδήποτε μεμονωμένου εργαζομένου έχει ως αποτέλεσμα την επανέκδοση του ερωτήματος από τον καλούντα.



Σχήμα 11: Απλοποιημένη αρχιτεκτονική του συστήματος (Πηγή: N. Gorelicketal.2017)

Σύμφωνα με τους Tamiminia &Salehi [7], από το 2013 ο αριθμός των δημοσιεύσεων που χρησιμοποιούν το GEE αυξάνεται σταθερά .Αναφέρεται ότι το GEE έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς, από τη γεωργία, τη δασοκομία, την οικολογία έως την οικονομία και την ιατρική. Μεταξύ αυτών, οι μελέτες δασών και βλάστησης ήταν οι συχνότεροι κλάδοι εφαρμογής, ακολουθούμενοι από μελέτες χρήσης γης και κάλυψης γης.

2.6 Μέθοδοι Ταξινόμησης

Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από πολλές εικόνες της ίδιας ακριβώς περιοχής στην επιφάνειας της γης καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Τα διάφορα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης, δηλαδή ουσιαστικά οι διαφορετικές καλύψεις γης, αντιδρούν διαφορετικά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (του ήλιου για τους παθητικούς αισθητήρες) και εμφανίζονται φωτεινότερα ή σκοτεινότερα ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που προσπίπτει σε αυτά. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν εικόνες ακριβώς της ίδιας περιοχής καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά με διαφορετική φωτεινή ένταση στις διαφορετικές περιοχές τους. Η διαφορετικότητα αυτή της καταγραφής στα διαφορετικά μήκη κύματος (όχι μόνον του ορατού φάσματος αλλά και στο υπέρυθρο και στις θερμικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος) είναι μία σημαντική αρχή πάνω στην οποία βασίστηκε η Τηλεπισκόπηση.

Η διαφοροποίηση καλύψεων γης θα ήταν σχετικά αδύνατο να εντοπιστεί μόνο σε κάποια εικόνα καταγεγραμμένη σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Μία πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από τόσες επιμέρους εικόνες όσα και τα μήκη κύματος που καταγράφονται, για την ίδια ακριβώς περιοχή, την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή και οι εικόνες αυτές είναι απολύτως υπερθέσιμες μεταξύ τους, δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο απεικονίζει ακριβώς την ίδια περιοχή στα διαφορετικά μήκη κύματος. Κάθε μια από τις πολλές (δισδιάστατες) εικόνες που αποτελείται μια πολυφασματική (τρισδιάστατη) δορυφορική εικόνα ονομάζεται φασματικό κανάλι ή φασματική μπάντα [8].

Η ταξινόμηση των πολυφασματικών εικόνων γίνεται με σκοπό να κατηγοριοποιηθεί κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας σε κάποια κατηγορία κάλυψης γης. Η κατηγοριοποίηση αυτή βασίζεται στα φασματικά πρότυπα που ενυπάρχουν στα δεδομένα του κάθε εικονοστοιχείου, καθώς χρησιμοποιούνται ως η ψηφιακή βάση της κατηγοριοποίησης [2].Ουσιαστικά, η

διεξαγωγή της ταξινόμησης μιας δορυφορικής εικόνας έχει ως σκοπό τη μετατροπή των αρχικών δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες [9], οι οποίες με τη σειρά τους συνθέτουν θεματικούς χάρτες. Ένας θεματικός χάρτης παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των αναγνωρίσιμων χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας, δηλαδή παρέχει μία πληροφοριακή περιγραφή για κάθε περιοχή [8] που πρόκειται να απεικονιστεί σε ένα τέτοιο προϊόν. Ανάλογα με τον τρόπο προσέγγισης του κάθε προβλήματος η ταξινόμηση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με τα παρακάτω αλλά και να ανήκει σε μια ή περισσότερες κατηγορίες.

1) Μη Επιβλεπόμενη και Επιβλεπόμενη
2) Παραμετρική και Μη- Παραμετρική
3) Hard και Soft (Fuzzy)
4) Pixel-based και Object-based

Στην μη-επιβλεπόμενη, το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης είναι άγνωστο, τα εικονοστοιχεία ομαδοποιούνται σύμφωνα με τα φασματικά τους χαρακτηριστικά. Στην επιβλεπόμενη, το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης είναι γνωστό και η διαδικασία ξεκινά με την εκπαίδευση του ταξινομητή με αυτά τα δεδομένα ή και επιπρόσθετα. Οι παραμετρικοί ταξινομητές βασίζονται στη στατιστική κατανομή πιθανότητας κάθε τάξης, ενώ οι μη-παραμετρικοί χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η συνάρτηση πυκνότητας είναι άγνωστη με σκοπό τον υπολογισμό της πιθανότητας της συνάρτησης πυκνότητας [10]. Κατά τη Hard ταξινόμηση, κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε μία και μοναδική τάξη, ενώ κατά τη Soft ή Fuzzy προσέγγιση, κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε παραπάνω από μία τάξεις με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής για κάθε μία τάξη. Τέλος, ένας άλλος διαχωρισμός γίνεται με βάση τη στοιχειώδη μονάδα ανάλυσης της εικόνας, η οποία μπορεί να είναι είτε κάθε ένα εικονοστοιχείο (Pixel-based προσέγγιση) ή μια ομάδα εικονοστοιχείων που εκτός από κοινά φασματικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβάνουν σημαντικές εννοιολογικές πληροφορίες (γεωμετρικές, τοπολογικές).

Στην παρούσα εργασία η ταξινόμηση είναι επιβλεπόμενη, pixel-based. Σε κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί ένα διάνυσμα με n τιμές. Κάθε διάνυσμα των δεδομένων εκπαίδευσης αντιστοιχεί σε μια κατηγορία κάλυψης γης. Το n εξαρτάται από τον αριθμών των φασματικών καναλιών του δέκτη. Στην περίπτωση του Sentinel-2, το n ισούται με 13. Ένα τέτοιο διάνυσμα ονομάζεται σύνολο χαρακτηριστικών τιμών (features), ή αλλιώς γνωρισμάτων, και η κατηγορία κάλυψης γης η οποία περιγράφει το επιθυμητό αποτέλεσμα, ονομάζεται αλλιώς έννοια στόχος, κατηγορία, τάξη ή κλάση (label). Οι χαρακτηριστικές τιμές του διανύσματος, είναι η τιμές που πήρε αυτό το εικονοστοιχείο σε κάθε μια (δισδιάστατη) εικόνα. Το εκπαιδευμένο μοντέλο που προκύπτει από την εφαρμογή ενός αλγορίθμου ταξινόμησης σε ένα σύνολο διανυσμάτων χαρακτηριστικών καλείται και ταξινομητής (classifier).

2.7 Τυχαία Δάση (Random Forests – RF)

Τα Random Forests είναι ουσιαστικά μία συλλογή από δέντρα απόφασης (decision trees). Εμπνευστής της μεθόδου των Random Forests είναι ο Leo Breiman [11]. Κάθε δέντρο αποφάσεων αντιστοιχεί μια κατηγορία - τάξη στο εικονοστοιχείο κατά την ταξινόμηση και στο εικονοστοιχείο προσδίδεται τελικά η τάξη με τις περισσότερες ψήφους(votes). Για καθένα από τα δέντρα αποφάσεων, χρησιμοποιείται μόνο ένα τμήμα των δεδομένων εκπαίδευσης. Έτσι, μπορεί να ελεγχθεί το πρόβλημα του “over-fitting”.

Η ταξινόμηση των πολυφασματικών εικόνων χαρακτηρίζεται από την υψηλή διαστατικότητα [12]. Το γεγονός αυτό ενισχύεται από την έλλειψη διαθέσιμων δεδομένων εκπαίδευσης [13]. Η μέθοδος των Random Forests έχει δοκιμαστεί ως τεχνική βελτιστοποίησης του χώρου χαρακτηριστικών με ικανοποιητικά αποτελέσματα, σε εφαρμογές όπως απεικόνιση ειδών βλάστησης [14], [15] κάλυψης γης [13], [16], χωροκατακτητικών φυτών [17], πεύκα χτυπημένα από κεραυνό [18], είδη γρασιδιών [19],αποφύλλωση δασικών εκτάσεων από έντομα [20].

2.7.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Τυχαίων Δασών

Τα κύρια πλεονεκτήματα των Random Forests είναι:

- Μπορούν να εκπαιδευτούν σε σύνολα δεδομένων υψηλής διάστασης χωρίς να εμφανίσουν σημαντικό βαθμό υπερεκπαίδευσης.
- Εξαιτίας του μεγάλου πλήθους δέντρων στο δάσος, το σφάλμα γενίκευσης είναι περιορισμένο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μη εμφάνιση φαινομένων υπερεκπαίδευσης.
- Μη επαναληπτική διαδικασία εκπαίδευσης, ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται σε σταθερό αριθμό βημάτων.
- Η τυχαία επιλογή ενός υποσυνόλου των χαρακτηριστικών για την διαμέριση των παραδειγμάτων κάθε ενδιάμεσου κόμβου ελαττώνει τη συσχέτιση ανάμεσα στα δέντρα και διατηρεί την πόλωση (bias) σε χαμηλά επίπεδα καθώς τα δέντρα αναπτύσσονται χωρίς κλάδεμα. Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δέντρων απόφασης μειώνεται και η διακύμανση (variance).
- Η διάσχιση ενός δέντρου από ένα παράδειγμα ξεκινώντας από την ρίζα και καταλήγοντας σε έναν από τους τερματικούς κόμβους γίνεται λογαριθμικά ως προς το πλήθος των φύλλων του.
- Παρουσιάζουν ανεκτικότητα ως προς το θόρυβο και τα αριθμητικά σφάλματα στα δεδομένα εκπαίδευσης.
- Για την επαγωγή κάθε δέντρου περίπου το ⅓ των δεδομένων δεν επιλέγεται για εκπαίδευση. Αυτά τα παραδείγματα καλούνται Out-of-Bag και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της πιθανότητας σφάλματος, εξαλείφοντας την ανάγκη ύπαρξης ενός συνόλου ελέγχου ή της τεχνικής cross-validation.
- Παράγει μια εσωτερική αμερόληπτη εκτίμηση του σφάλματος γενίκευσης καθώς εξελίσσεται η διαδικασία κατασκευής του δέντρου.
- Υπάρχει δυνατότητα παράλληλης επαγωγής δέντρων σε αντίθεση με την μέθοδο Boosting.
- Αναζητά τον καλύτερο διαχωρισμό σε ένα μικρό υποσύνολο των χαρακτηριστικών και δεν κάνει εξαντλητική αναζήτηση όπως ο αλγόριθμος Boosting.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ομαδοποίηση.
- Επιτρέπει τη δημιουργία παραλλαγών της βασικής τεχνικής ως προς την κατασκευή του μοντέλου ταξινόμησης π.χ. χρήση διαφορετικών τεχνικών διαμέρισης των παραδειγμάτων των ενδιάμεσων κόμβων.

Τα τυχαία δάση παρουσιάζουν όμως και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα ως προς την εφαρμογή τους:

- Υψηλό υπολογιστικό κόστος.
- Υπάρχει σημαντικό πλήθος ελεύθερων παραμέτρων τις οποίες πρέπει νΑ προσδιορίσει ο χρήστης π.χ. πλήθος δέντρων, βαθμός κόμβων, πλήθος παραδειγμάτων εκπαίδευσης, συνθήκη τερματισμού διαμέρισης των κόμβων.
- Για την επέκταση ενός μοντέλου με στόχο της εισαγωγή μιας ακόμα κατηγορίας απαιτείται η κατασκευή του μοντέλου από την αρχή.
- Κάθε νέο παράδειγμα πρέπει να διασχίσει όλα τα δέντρα του δάσους για την εκτίμηση της κατηγορίας του.

2.7.2 Random Forests στο Google Earth Engine

Ο αλγόριθμος του Random Forests είναι διαθέσιμος στο GEE. Εκεί πραγματοποιήθηκαν εξ ολοκλήρου τα πειράματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Οι σημαντικές παράμετροι που ορίστηκαν ήταν α)ο αριθμός των δέντρων απόφασης που θα δημιουργήσει ο ταξινομητής (Ntree) στα 100 και β)οι μεταβλητές διαίρεσης (variables per split) ως η τετραγωνική ρίζα του αριθμού των εικόνων που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση.

Αυτές οι τιμές προέκυψαν ακολουθώντας τη λογική προηγούμενων παρόμοιων εργασιών

[21], [22], αλλά και πειραματισμών για την εύρεση των βέλτιστων τιμών, εκείνων που θα επιτύχουν την ορθότερη ταξινόμηση σε συνδυασμό με το μικρότερο απαιτούμενο υπολογιστικό χρόνο.

2.7.3 Αξιολόγηση των Ταξινομήσεων

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων προκύπτει από την ανάλυση των πινάκων σύγχυσης που παράγονται από την εφαρμογή των ταξινομήσεων. Οι πίνακες σύγχυσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές μηχανικής μάθησης και ειδικότερα του προβλήματος της στατιστικής ταξινόμησης. Οι πίνακες υπολογίζονται και προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ταξινόμησης από το ίδιο το GEE.

Τα μεγέθη αξιολόγησης που εξάγονται από τον πίνακα σύγχυσης και θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα ανάλυση είναι:

1. Ακρίβεια - ACC (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 (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: Υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων (διαγώνιων στοιχείων) διαιρούμενος με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων ελέγχου (total).

4.F-Measure(F1) Score: Αποτελεί τον αρμονικό μέσω μεταξύ της ακρίβειας(ACC) και της αξιοπιστίας(REL) και ένα επιπλέον μέσο μέτρησης της ακρίβειας μιας ταξινόμησης. Η υψηλότερη δυνατή τιμή του F1 Score είναι 1.0, υποδηλώνοντας τέλεια ακρίβεια και αξιοπιστία, και η χαμηλότερη δυνατή τιμή είναι 0, εάν είτε η ακρίβεια είτε η αξιοπιστία είναι μηδέν. Προκύπτει από τη σχέση F1= $\frac{2\times Ακρ\,ίβεια\,\times Αξιοπιστ\,\,ία}{Ακρ\,ίβεια\,+Αξιοπιστ\,\,ία}$. Υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές F1 όλων των κατηγοριών ταξινόμησης, καλλιεργειών και γενικών κατηγοριών κάλυψης γης.

Η επίδραση κάθε στοιχείου στην ταξινόμηση εξετάστηκε επίσης με βάση το δείκτη σημασίας Gini (Gini Importance Index), κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου Random Forests.

Σε κάθε διάσπαση σε κάθε δέντρο, η βελτίωση στο κριτήριο διαχωρισμού είναι το μέτρο σημασίας που αποδίδεται στη μεταβλητή διαχωρισμού και συσσωρεύεται σε όλα τα δέντρα στο δάσος ξεχωριστά για κάθε μεταβλητή. [23]

Η σημασία κάθε μεταβλητής(στην προκειμένη τα κανάλια της εικόνας στην οποία πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση) μετράται από την αύξηση σφάλματος OOB(Out of the Bag Error Estimate) και τη μείωση του δείκτη Gini, όταν αλλάζει τυχαία μία από τις μεταβλητές εισόδου, διατηρώντας παράλληλα τις υπόλοιπες σταθερές [21].

2.8 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Κρίνεται σημαντικό να αναφερθούν εργασίες σχετικές με το αντικείμενο μελέτης της παρούσης διπλωματικής εργασίας, τόσο από την εγχώρια, όσο και από τη διεθνή βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά σε εργασίες με αντικείμενο τη χαρτογράφηση κάλυψης γης και τύπων καλλιεργειών με συνεργατική χρήση οπτικών και μικροκυματικών δεδομένων.

Το 2004 οι Xavier Blaes, Laurent Vanhalleb και Pierre Defourny δημοσίευσαν ένα άρθρο με

τίτλο «Efficiency of crop identification based on optical and SAR image time series, όπου παρουσίασαν μία στρατηγική ταξινόμησης καλλιεργειών για τον έλεγχο των δηλωθέντων καλλιεργειών από αγρότες στο Υπουργείο Γεωργίας του Βελγίου. Χρησιμοποίησαν 3 οπτικές δορυφορικές εικόνες (SPOT και Landsat) αποκτημένες τους καλοκαιρινούς μήνες που αντιστοιχούν στην εποχή ανάπτυξης των καλλιεργείων και μία χρονοσειρά 15 εικόνων SAR (RadarSAT και ERS) για τον προσδιορισμό των καλλιεργειών σε μία περιοχή του Βελγίου με 6571 αγροτεμάχια. Η εν λόγω περιοχή παρουσίασε μία σημαντική ποικιλία καλλιεργειών με 39 διαφορετικά είδη παρόντα με επικρατέστερες σε μεγάλο βαθμό όμως αυτές των σιτηρών, γρασιδιού, τριφυλλιού και πατάτας. Η ταξινόμηση με το συνδυασμό των οπτικών και ραντάρ δεδομένων βελτίωσε την διάκριση των καλλιεργειών κατά 5% σε σχέση με χρήση μόνο των πρώτων, ενώ και η αποδοτικότητα (ορθός εντοπισμός των λάθος δηλωμένων καλλιεργειών) βελτιώθηκε κατά 24%. [24]

Οι Nathalie Pettorelli, Mailys Lopes, Pierre-Louis Frison και άλλοι παρουσίασαν το 2019 μια εργασία για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης κατηγοριών κάλυψης γης χρησιμοποιώντας χρονοσειρές οπτικών και μικροκυματικών δεδομένων, ειδικά σε περιοχές με εκτενή νεφοκάλυψη. Συγκεκριμένα, προχώρησαν σε πειράματα ταξινομήσεων με τον αλγόριθμο Random Forests με χρήση χρονοσειρών αλλά και εποχικών μέσων των σειρών (temporal averages) εικόνων Sentinel –1 & -2 για μια τροπική περιοχή μελέτης στην Ινδονησία. Από τα αποτελέσματα προέκυψε πως ο συνδυασμός των οπτικών και ραντάρ δεδομένων βελτίωσε την ακρίβεια της ταξινόμησης σε σχέση με τη χρήση μόνο των πρώτων. [25]

Οι Kristof Van Tricht , Anne Gobin , Sven Gilliams και Isabelle Piccard ερεύνησαν τη συνεργατική χρήση των οπτικών και μικροκυματικών δεδομένων στην ταξινόμηση καλλιεργειών για την επικράτεια του Βελγίου. Χρησιμοποίησαν μωσαϊκά εικόνων SAR Sentinel-1 ανά 12 ημέρες και δεικτών NDVI οπτικών εικόνων Sentinel-2 ανά 10ήμερες για τους μήνες Μάιο έως και Αύγουστο σε έναν ταξινομητή τυχαίων δασών. Κατέληξαν σε μία ταξινόμηση με ακρίβεια 82% με τη χρήση δεδομένων και από τους δύο αισθητήρες, 4% με 6% βελτιωμένη σε σχέση με χρήση δεδομένων μόνο από έναν αισθητήρα. [26]

Οι J. Soria-Ruiz , Y. Fernandez-Ordoñez & I. H. Woodhouse δημοσίευσαν το 2006 μια εργασία με τίτλο «Land-cover classification using radar and optical images: a case study in Central Mexico». Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούν μία πολυφασματική εικόνα Landsat 7 και μία SAR εικόνα RadarSAT για να παράξουν έναν χάρτη κάλυψης γης σε μία κεντρική περιοχή του Μεξικού εκτάσεως περίπου 15 χιλιάδων εκταρίων. Τα πειράματα τους έδειξαν πως η σύντηξη των οπτικών και μικροκυματικών δεδομένων οδήγησε στα ορθότερα αποτελέσματα με μία αύξηση στη μέση ακρίβεια τον κατηγοριών και του συντελεστή Kappa κατά 10% και 14% αντίστοιχα σε σχέση με χρήση μόνο της εικόνας του Landsat στην ταξινόμηση. [27]

Το 2016 ο Jordi Inglada χρησιμοποίησε χρονοσειρές εικόνων Landsat 8 και Sentinel-1 για τη διερεύνηση της επίδρασης του συνδυασμού οπτικών και ραντάρ δεδομένων στην έγκαιρη ταυτοποίηση τύπων καλλιεργειών σε μία περιοχή της Γαλλίας. Ως ταξινομητής χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Random Forests, τα κανάλια του Landsat 8 στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα και τις εικόνες VV, τους τοπικούς μέσους όρους, τους λόγους πόλωσης αλλά και τις υφές Haralik (εντροπία, αδράνεια) των SAR απεικονίσεων. Διαπίστωσε ότι με τη χρήση και των δύο τύπων δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί σημαντική βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης που επιτρέπει την έγκαιρη χαρτογράφηση της κάλυψης γης, ενώ το φιλτράρισμα των εικόνων Sentinel-1 για τη μείωση της κηλίδωσης βελτιώνει τα αποτελέσματα. [28]

Το 2020 οι Meisam Amani, Mohammad Kakooei,Armin Moghimi και άλλοι διερεύνησαν τις δυνατότητες της πλατφόρμας Google Earth Engine για τη χαρτογράφηση καλλιεργειών σε μία μεγάλη περιοχή 10 επαρχιών του Καναδά. Χρησιμοποίησαν έναν αλγόριθμο βαθιάς μάθησης ANN για την ταξινόμηση και ως δεδομένα εισόδου χρονοσειρές εικόνων Sentinel-1 &-2 για το έτος 2018(3.828 εικόνες Sentinel-1 και 35.945 εικόνες Sentinel-2). Πιο

συγκεκριμένα χρησιμοποίησαν 2-Μηνιαία μωσαικά των μέσων τιμών εικόνων VV και VH και των διάμεσων δεικτών NDVI και NDWI ανά 4 μήνες, ώστε να προκύψουν εικόνες ελεύθερες από νεφοκάλυψη. Κατέληξαν σε έναν τελικό χάρτη, με ολική ακρίβεια 77% και μέσες PA και UA 79% και 77% αντίστοιχα με μία πιο αποδοτική μέθοδο στο GEE από άποψη κόστους, χρόνου, υπολογισμού και αυτοματισμού. [29]

Η Natalia Verde δημοσίευσε το 2019 ένα άρθρο μετίτλο «National Scale Land Cover Classification for Ecosystem Services Mapping and Assessment, Using Multitemporal Copernicus EO Data and Google Earth Engine». Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μιας ροής εργασιών για μία αντικειμενοστραφή και μικρής κλίμακας ταξινόμηση κατηγοριών κάλυψης και χρήσης γης (LULC) εντός της χερσαίας ελληνικής επικράτειας. Ως δεδομένα χρησιμοποίησε εποχικά και μηνιαία σύνθετα εικόνων Sentinel-1 & -2 από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο του 2019, καθώς και υψομετρικά δεδομένα προερχόμενα από το EU-DEMv1.1 σε έναν ταξινομητή Random Forests. Για την κατάτμηση της εικόνας (image segmentation) εφαρμόστηκε ο διαθέσιμος στο GEE αλγόριθμος SNIC στο σύνθετο του Sentinel-2 για το μήνα Ιούλιο, καθώς είναι από τους πιο ξηρούς μήνες στην Ελλάδα, αλλά με αυξημένη βλάστηση, ενώ τα δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου εξήχθησαν χειροκίνητα, αλλά και αυτόματα από προϊόντα όπως χάρτες του Natura 2000 και του Corine. Τα βέλτιστα αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη ακρίβεια προέκυψαν χρησιμοποιώντας τα μηνιαία σύνθετα των οπτικών και SAR εικόνων και τα χειροκίνητα εξαγμένα δεδομένα αναφοράς, με τα υψομετρικά στοιχεία και αυτά προερχόμενα από τις εικόνες του Sentinel-1 να έχουν σημαντική επίδραση στην ταξινόμηση. [21]

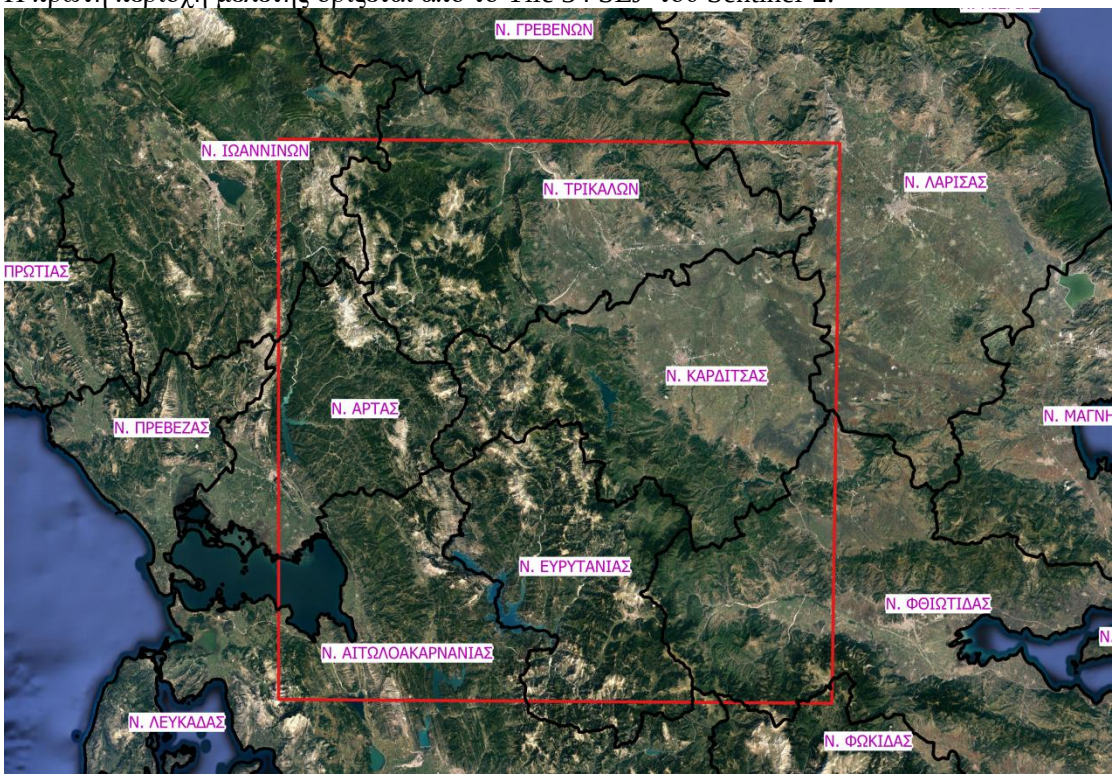
Το 2021 οι LUO Chong, LIU Huan-jun, LU Lü-ping κ.α. χρησιμοποιήσαν το GEE για τη δημιουργία μηνιαίων σύνθετων εικόνων Sentinel-1 και Sentinel-2 για την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών του έτους 2018 στην επαρχία Heilongjiang στην Κίνα, για να ταξινομήσουν τις κύριες καλλιέργειες σε αυτήν την περιοχή με χρήση του αλγόριθμου RF.
Ύστερα από πειραματισμούς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η χρήση των εικόνων Sentinel-1&-2 βελτιώνουν την ακρίβεια κατά 0,6% σε σχέση με χρήση μόνο των δεύτερων. [30]

3. Μεθοδολογία Προεπεξεργασίας Δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η περιοχή μελέτης για την παρούσα εργασία, τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι απαραίτητες προεργασίες πριν την εφαρμογή της ταξινόμησης των δεδομένων. Συγκεκριμένα, στο υποκεφάλαιο 4.2 αναλύονται οι επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τα οπτικά πολυφασματικά δεδομένα (εικόνες Sentinel-2) που χρησιμοποιήθηκαν στις ταξινομήσεις, στο 4.3 οι επεξεργασίες για τα μικροκυματικά δεδομένα (εικόνες Sentinel-1) και στο 4.4 τα βοηθητικά δεδομένα (υψομετρικά και Corine Land Cover).

3.1 Γεωγραφικά Στοιχεία των Περιοχών Μελέτης

Η πρώτη περιοχή μελέτης ορίζεται από το Tile 34 SEJ του Sentinel-2.



Σχήμα 12: Η περιοχή μελέτης που ορίζεται από τα όρια του Tile 34SEJ του Seninel-2

Καλύπτει μια περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας και περιέχει τμήματα των περιφερειακών ενοτήτων Καρδίτσας και Άρτας στο κέντρο του, Τρικάλων, Λάρισας και Ιωαννίνων βόρεια και νότια των Π.Ε. Ευρυτανίας, Αιτωλοακαρνανίας και Φθιώτιδας.

Διαγώνια, από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά συναντάται κυρίως ορεινός όγκος και συγκεκριμένα οι οροσειρές της Νότια Πίνδου, τα Άγραφα και τα Τζουμέρκα με κορυφές που ξεπερνούν τα 2.000 μέτρα υψόμετρο.

Μεγάλοι οδικοί άξονες στην περιοχή είναι ο αυτοκινητόδρομος Α3 Κεντρικής Ελλάδος, ένα τμήμα της Ιόνιας Οδού στα δυτικά και οι μεγάλοι περιφερειακοί δρόμοι που ενώνουν τις περιφερειακές ενότητες και τα μεγάλα αστικά κέντρα.

Βόρεια της περιοχής μελέτης βρίσκεται η Π.Ε. Τρικάλων. Δυτικά συνορεύει με την περιφερειακή ενότητα Ιωαννίνων και ανατολικά με τη Λάρισα. Έχει έκταση 3.384 τ.χλμ. και πληθυσμό 138.047 κατοίκους. Ο νομός χαρακτηρίζεται από ορεινά εδάφη, δασικές εκτάσεις και λιγότερο πεδινές περιοχές. Κύρια ποτάμια των Τρικάλων είναι ο Πηνειός και ο Αχελώος, οι οποίοι πηγάζουν από το ίδιο σημείο στα ΒΔ του νομού, καθώς και οι παραπόταμοι τους. Καλλιέργειες στην Π.Ε. είναι το βαμβάκι και σιτηρά στο θεσσαλικό κάμπο, ενώ άνθιση τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιαστεί στη δασοκομία και την εκτροφή ζώων.

Κεντρικά της περιοχής μελέτης βρίσκονται οι περιφερειακές ενότητες Άρτας και Καρδίτσας που συνορεύουν μεταξύ τους. Η Π.Ε Άρτας καταλαμβάνει το νοτιοανατολικό τμήμα της Ηπείρου. Έχει έκταση 1.662 τετρ.χλμ. και πληθυσμό 67.877 κατοίκους κατά την απογραφή του 2011. Το έδαφος της είναι κυρίως ορεινό, ενώ στα νοτιοδυτικά της απλώνεται η μεγάλη πεδιάδα της Άρτας, όπου λαμβάνει μέρος η μεγαλύτερη αγροτική δραστηριότητα με κύριες καλλιέργειες τα εσπεριδοειδή, ελαιώνες, βαμβάκι και σιτηρά. Μεγάλοι υδάτινοι όγκοι στην περιοχή είναι οι τεχνητές λίμνες Πουρναρίου και Άρτας, ενώ την Π.Ε. διασχίζουν οι ποταμοί Λούρος και Άραχθος, ο οποίος εκβάλει στον Αμβρακικό Κόλπο, ένας από τους πιο σημαντικούς υγροτόπους της χώρας.

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 βρίσκεται η οροσειρά των Αγράφων. Καλύπτει έκταση 2.576 τ.χλμ. με πληθυσμό 113.070 κατοίκους (απογραφή του 2011). Στο μέσον περίπου της περιφερειακής ενότητας, βρίσκεται η λίμνη Πλαστήρα με το ομώνυμο φράγμα, ενώ πολλά ρέματα και μικρά ποτάμια διαρρέουν την Καρδίτσα. Κύριες καλλιέργειες στην περιοχή είναι ο αραβόσιτος, το βαμβάκι, σιτηρά και ποτιστικά.

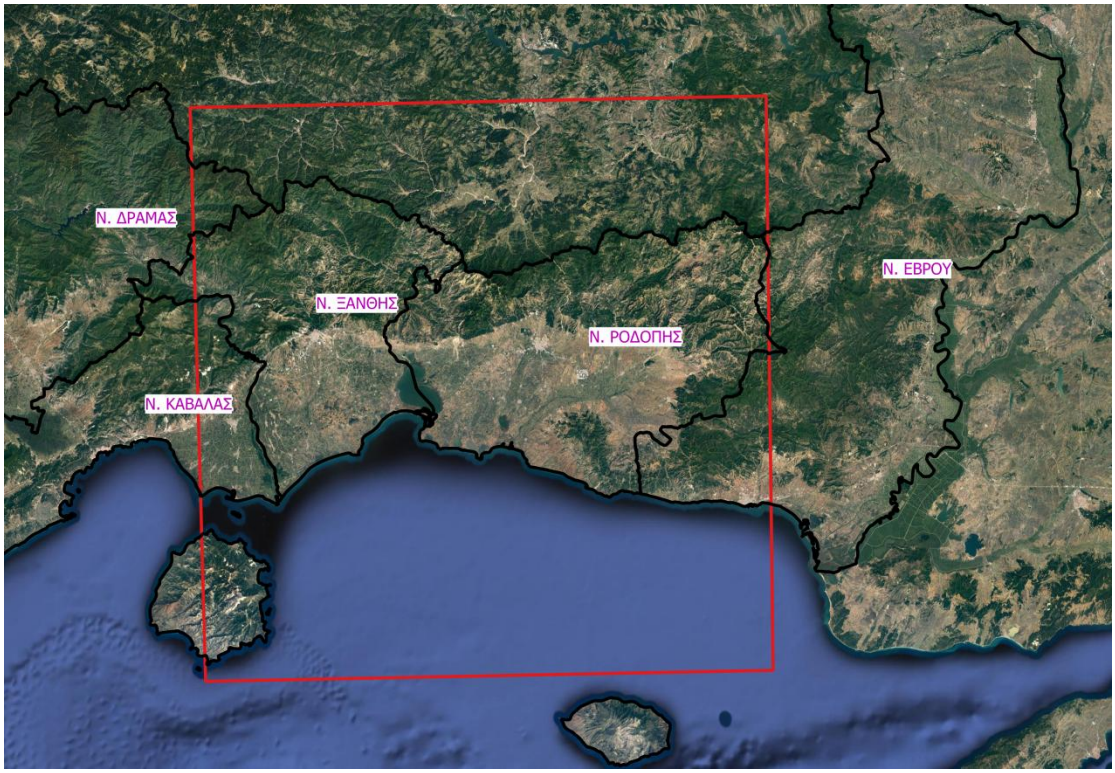
Νοτιότερα βρίσκεται η περιφερειακή ενότητα Ευρυτανίας. Είναι σχεδόν ολοκληρωτικά καλυμμένη από βουνά, συμπεριλαμβανομένων του Τυμφρηστού και του Παναιτωλικού στα νότια και ποτάμια συμπεριλαμβανομένων του Αγραφιώτη και του Μέγδοβα στα ανατολικά και του Αχελώου στα δυτικά, που εκβάλει στο Ιόνιο Πέλαγος. Είναι ο μικρότερος νομός της Στερεάς Ελλάδας και ο πιο αραιοκατοικημένος νομός στην Ελλάδα με 20.081 κατοίκους και έκταση 1.870 τ.χλμ. Η Ευρυτανία δεν βρέχεται από θάλασσα με μοναδικό σημαντικό υδάτινο όγκο την τεχνητή λίμνη Κρεμαστών. Περιλαμβάνει μικρές εκτάσεις γεωργικής γης με κύριες καλλιέργιες την ελιά, καρποφόρα δέντρα και σιτηρά, ενώ τα άφθονα Λιβάδια στην περιοχή ευνοούν την ανάπτυξη της ζωικής παραγωγής.

Η Π.Ε. Ευρυτανίας συνορεύει δυτικά με την Π.Ε. Φθιώτιδας και ανατολικά με την Π.Ε. Αιτωλοακαρνανίας.

Η Φθιώτιδα έχει έκταση 4.442 τ.χλμ. και πληθυσμό 158.231 κατοίκους(απογραφή 2011) . Ο νομός χαρακτηρίζεται από ορεινά εδάφη, δασικές εκτάσεις και λιγότερο πεδινές περιοχές. Ο κύριος ποταμός της είναι ο Σπερχειός ο οποίος εκβάλλει στον Μαλιακό Κόλπο. Η λεκάνη την οποία αποστραγγίζει στις εκβολές του δημιουργεί και τη μεγαλύτερη πεδιάδα της Φθιώτιδας βρίσκονται καλλιέργειες ρυζιού. Στην περιοχή καλλιεργούνται επίσης σιτηρά, όσπρια και δενδρώδεις καλλιέργειες, όπως ελαιώνες και αμυγδαλιές, ενώ τα εδάφη της Π.Ε. είναι πλούσια σε ορυκτά.

Το βόρειο μέρος της Αιτωλοακαρνανίας, όπου βρίσκεται η λίμνη Καστρακίου και οι υγροβιότοποι στον Αμβρακικό Κόλπο, εμπεριέχεται στην περιοχή μελέτης και εξετάζεται.

Η δεύτερη περιοχή μελέτης αφορά την έκταση που απεικονίζουν οι δορυφορικές εικόνες Sentinel-2 στο Tile 35 TLF. Πρόκειται για μια περιοχή βορειοδυτικά της πρώτης και ουσιαστικά στα βορειοδυτικά σύνορα της χώρας. Περιέχει ολόκληρες τις Περιφερειακές Ενότητες Ξάνθης και Ροδόπης και μέρη των ενοτήτων Έβρου και Καβάλας. Επίσης, περιλαμβάνει τμήματα της Βουλγαρίας(κυρίως ορεινά-δασικά) βόρεια της οροσειράς της Ροδόπης.



Σχήμα 13: Η περιοχή μελέτης που ορίζεται από τα όρια του Tile 35TLF του Seninel-2

Δυτικά της δεύτερης περιοχής ενδιαφέροντος βρίσκεται το δυτικό μέρος της Π.Ε. Καβάλας. Αυτήν την περιοχή διασχίζει ο ποταμός Νέστος , ένα από τα πέντε μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδας, μέχρι να εκβάλλει νότια στο Θρακικό πέλαγος δημιουργώντας το δέλτα του Νέστου που είναι ένας υγροβιότοπος μεγάλης σημασίας με πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Ο Νέστος και οι παραπόταμοι του καθιστούν εύφοροι την κοιλάδα της Χρυσούπολης, με κύριες καλλιέργειες κηπευτικά και σιτηρά, αλλά και εναλλακτικές καλλιέργειες όπως ηλίανθοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων, όπως το βιοντίζελ.

Η Καβάλα συνορεύει δυτικά με την Π.Ε. Ξάνθης. Η Περιφεριακή Ενότητα Ξάνθης καλύπτει μια έκταση 1.796 τ.χλμ. με πληθυσμό 111.222 κατοίκους. Το κλίμα του νομού είναι ηπειρωτικό με ψυχρούς χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια. Η ορεινή ζώνη δέχεται μεγάλες ποσότητες χιονιού τους χειμερινούς μήνες. Κύριες καλλιέρεγειες στην περιοχή είναι ο αραβόσιτος, σιτηρά, καπνά και βαμβάκι. Η ΠΕ καλύπτεται σε μεγάλο βαθμό από δασικές εκτάσεις στα ορεινά της Ροδόπης, ενώ στο εσωτερικό του διατρέχει ο ποταμός Νέστος που αποτελεί και φυσικό του σύνορο με την ΠΕ Καβάλας. Στα νότια βρέχεται από το Θρακικό Πέλαγος, όπου βρίσκεται και η μεγαλύτερη λίμνη της Ξάνθης η Βιστωνίδα, φυσικό σύνορο με την ΠΕ Ροδόπης.

Η Περιφεριακή Ενότητα Ροδόπης καλύπτει μια έκταση 2.551 τ.χλμ. με πληθυσμό 112.039. Βόρεια συνορεύει με τη Βουλγαρία (με την Επαρχία Κάρτζαλι),ανατολικά με τον Έβρου και στα νότια βρέχεται από το Θρακικό Πέλαγος. Στα βόρεια της ενότητας βρίσκεται το ανατολικό μέρος της οροσειράς της Ροδόπης, στην οποία οφείλει την ονομασία του. Τον νομό διαρρέουν ορμητικοί χείμαρροι που πηγάζουν από την Ροδόπη. Οι σπουδαιότεροι είναι: το Ασπρόρεμα με τους παραποτάμους του, ο Τρελοχείμαρρος, ο Τραύδος, ο Λίσσος (ή Φιλιουρί) και ο Κομψάτος. Κυριότερες λίμνες είναι η Ισμαρίδα (Μητρικού) και η λιμνοθάλασσα της Βιστωνίδας. Το κλίμα διαφοροποιείται στις δύο ζώνες της περιφερειακής ενότητας. Η οροσειρά της Ροδόπης αποτελεί το κλιματικό όριο μεταξύ του μεσογειακού κλίματος και του ηπειρωτικού. Ο πρωτογενής τομέας είναι η κύρια ενασχόληση του ενεργού πληθυσμού. Κύριες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι, τα σιτηρά και ο καπνός.

Τέλος, στα ανατολικά της περιοχής μελέτης συναντάται η Π.Ε. Έβρου και η πρωτεύουσα της, η Αλεξανδρούπολη. Πρόκειται για μια περιοχή πεδινή κατά κύριο λόγο με μεγάλες δασικές εκτάσεις και καλλιεργήσιμες, κυρίως βαμβάκι, σιτηρά και τεύτλα.

3.2 Προεπεξεργασία Οπτικών Δορυφορικών Δεδομένων

3.2.1 Επιλογή Οπτικών Δεδομένων

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι πολυφασματικές οπτικές εικόνες οι εικόνες Sentinel 2 L2A, οι οποίες προέρχονται από τη συλλογή εικόνων (Image Collection) 'Copernicus_S2/SR' του GEE.

Επιλέχθηκαν όλες οι εικόνες από 16 Δεκέμβρη 2018 έως 15 Νοεμβρίου 2019 με νεφοκάλυψη μικρότερη από 20%. Το χρονικό πλαίσιο ενός έτους θεωρείται ως επαρκές εύρος για τη λήψη πληροφοριών και εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για την ετήσια φαινολογία και έχει χρησιμοποιηθεί σε άλλες μελέτες κάλυψης γης [21].

Αρχικά, η συλλογή εικόνων φιλτραρίστηκε με τα εξής κριτήρια:

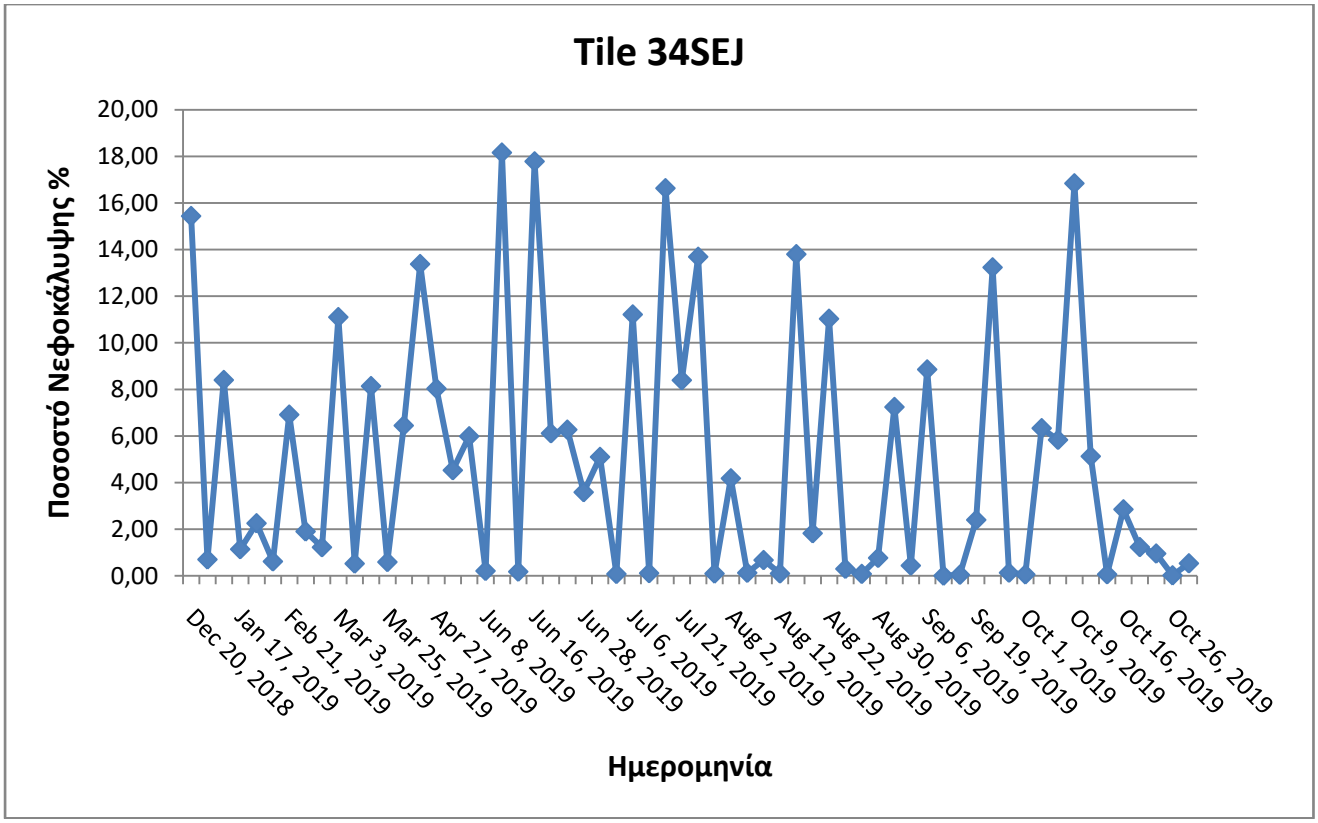
- Ημερομηνία : 2018/12/16 έως 2019/11/15
- Περιοχή : 'MGRS_TILE' ισούται με '34SEJ' ή '35TLF'
- Ποσοστό Νεφοκάλυψης ορίζεται ως <20%

```
var s2_35tlf = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")
  .filterMetadata('MGRS_TILE', 'equals', '35TLF')
  .filterDate('2018-12-16', '2019-11-15')
  .filter(ee.Filter.lte('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 20));
  print(s2_35tlf,'Image Collection');
```

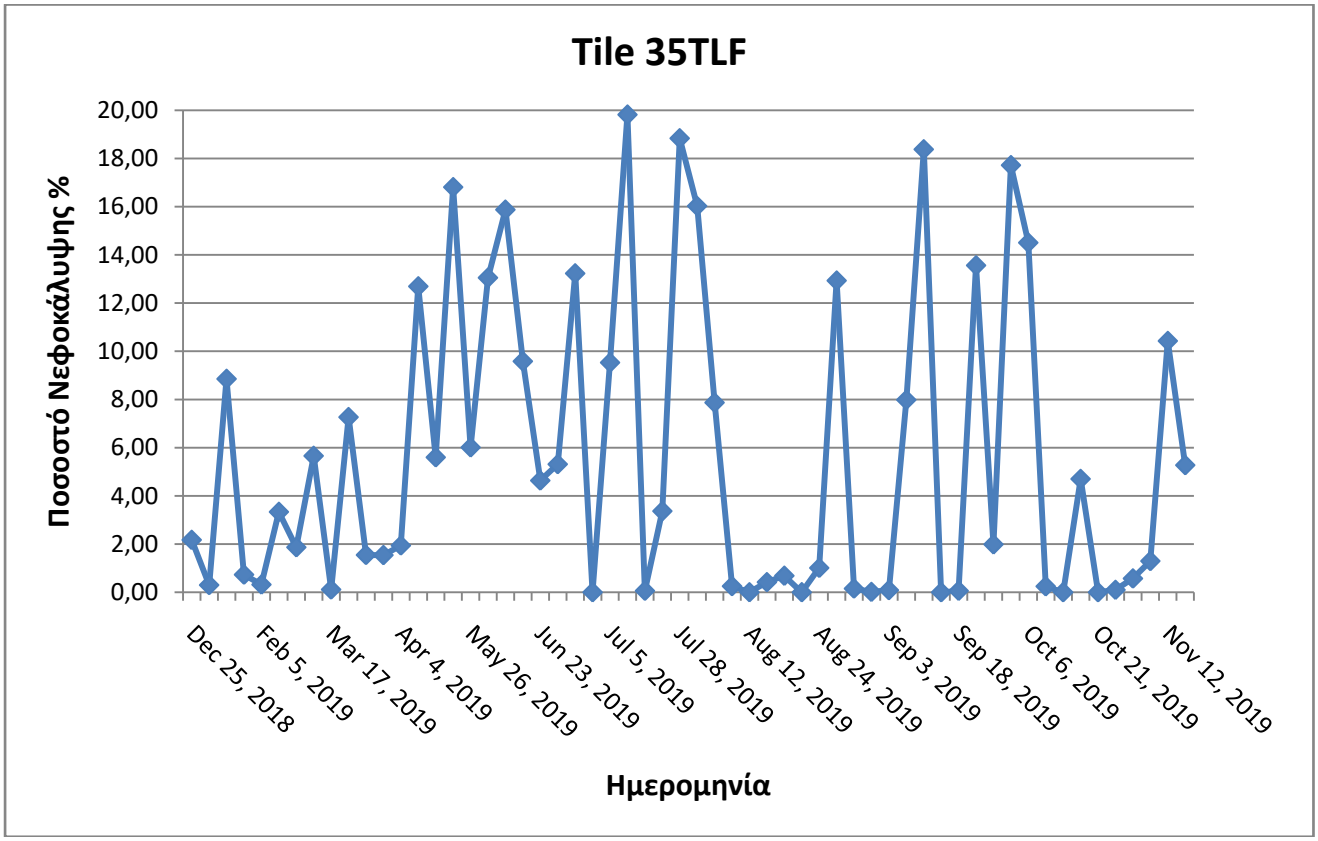
Σχήμα 14:: Απόσπασμα του κώδικα JavaScript στο GEE με τη δημιουργία της συλλογής εικόνων Sentinel-2 για το Tile 35TLF

Έτσι, τα τελικά σετ των οπτικών δεδομένων για τις 2 περιοχές μελέτες ανέρχονται σε 58 εικόνες για την περιοχή 35TLF και 62 για την 34SEJ.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα ποσοστά νεφοκάλυψης των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των εποχικών συνθέτων, σύμφωνα με πληροφορίες που προέρχονται από τα μεταδεδομένα των εικόνων.



Σχήμα 15: Η νεφοκάλυψη των εικόνων Sentinel-2 ανά ημερομηνία στο Tile 34SEJ



Σχήμα 16: Η νεφοκάλυψη των εικόνων Sentinel-2 ανά ημερομηνία στο Tile 35TLF

3.2.2 Ατμοσφαιρική Διόρθωση

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 Sentinel-2 που παρέχονται στην πλατφόρμα GEE για τις περιοχές μελέτης και το έτος 2019 είναι δεδομένα Level-2A, μεταφορτωμένα απευθείας από το scihub της ESA και επεξεργασμένα με τον αλγόριθμο sen2cor, επομένως δεν απαιτήθηκε κάποια δράση για την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους.

3.2.3 Αφαίρεση Νέφων (Cloud Masking)

Η εξάλειψη των σύννεφων από τις εικόνες Sentinel-2 πραγματοποιήθηκε με χρήση των μασκών QA60 κάθε εικόνας σε χωρική ανάλυση 60 μέτρων. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται τα φασματικά κανάλια B01 στα 443 nm ή B02 στα 490 nm, B10 στα 1.375 nm και B11 στα 1.610 nm ή της ζώνης B12 στα 2.190 nm

.

Το κανάλι-μάσκα QA60 επιτρέπει τον εντοπισμό εικονοστοιχείων με σύννεφα και περιλαμβάνουν τόσο πυκνά σύννεφα(dense clouds) όσο και νέφη(cirrus clouds) με μια ένδειξη που καθορίζει τον τύπο του νέφους.

- Πυκνά Σύννεφα (Dense Clouds)
  Τα πυκνά σύννεφα, που ονομάζονται επίσης αδιαφανή σύννεφα, χαρακτηρίζονται από υψηλή ανάκλαση στην μπλε φασματική ζώνη (B02).

  Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση πυκνών εικονοστοιχείων σύννεφων βασίζεται στο όριο ανάκλασης B02. Για την αποφυγή λανθασμένης ανίχνευσης, κυρίως λόγω σύγχυσης χιονιού/σύννεφου, χρησιμοποιείται επίσης η ανάκλαση SWIR στα B11 και B12. Το χιόνι και τα σύννεφα έχουν και τα δύο υψηλή ανάκλαση στο μπλε. Η ανάκλαση του νέφους είναι υψηλή στο SWIR, ενώ το χιόνι παρουσιάζει χαμηλή ανάκλαση.

  Πρόσθετα κριτήρια που βασίζονται στην ανάκλαση του καναλιού B10 προστίθενται για την αποφυγή σύγχυσης σε σύννεφο πάγου και χιονιού σε μεγάλο υψόμετρο (και τα δύο έχουν χαμηλή ανάκλαση στα κανάλια SWIR B11 και B12). Στο B10, υπάρχει υψηλή ζώνη ατμοσφαιρικής απορρόφησης και ανιχνεύονται μόνο σύννεφα μεγάλου υψομέτρου. Ωστόσο, αυτό το τελευταίο κριτήριο εφαρμόζεται μόνο μετά από μια πρώτη ανίχνευση εικονοστοιχείων συννέφων (cloud) στη μπλε ζώνη όπου τα νέφη (cirrus) είναι διαφανή.

- Νέφη (Cirrus Clouds)

Τα νέφη (cirrus clouds)είναι λεπτά, διαφανή ή ημιδιαφανή σύννεφα, που σχηματίζονται σε μεγάλα υψόμετρα, περίπου 6-7 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης.

Η μέθοδος αναγνώρισης εικονοστοιχείων νέφων cirrus από αυτά πυκνού νέφους βασίζεται σε δύο φασματικά κριτήρια:

- Το B10 αντιστοιχεί σε μια ζώνη υψηλής ατμοσφαιρικής απορρόφησης: μόνο σύννεφα μεγάλου υψομέτρου μπορούν να ανιχνευθούν
- Τα νέφη, επειδή είναι ημιδιαφανή, δεν μπορούν να ανιχνευθούν στο μπλε κανάλι B02.

Ένα εικονοστοιχείο με χαμηλή ανάκλαση στο κανάλι B02 και υψηλή ανάκλαση στη ζώνη B10 έχει καλή πιθανότητα να είναι σύννεφο cirrus, αλλά αυτό δεν είναι σίγουρο. Μερικά αδιαφανή σύννεφα έχουν χαμηλή ανάκλαση στο μπλε και μπορούν να αναγνωριστούν ως σύννεφα κίρους.

Για τον περιορισμό των ψευδών ανιχνεύσεων (λόγω της υψηλής ανάκλασης στο μπλε ή λόγω του γεγονότος ότι τα σύννεφα δεν καταγράφονται φασματικά), εφαρμόζεται ένα φίλτρο που χρησιμοποιεί λειτουργίες βασισμένες στη μορφολογία τόσο σε μάσκες πυκνής όσο και σε μάσκα κίρρου που εκτελεί:

- διάβρωση (erosion), για την αφαίρεση μεμονωμένων pixel
- διαστολή (dilatation), για την κάλυψη των κενών

Οι πιθανές τιμές της μάσκας QA60είναι :

- Bit 10: Πυκνά Σύννεφα (Dense Clouds)
  - 0: Χωρίς πυκνά σύννεφα
  - 1: Ύπαρξη πυκνού σύννεφου

- Bit 11: Νέφη (Cirrus Clouds)
  - 0: Χωρίς νέφη
  - 1: Ύπαρξη νέφους

3.2.4 Επιλογή των Καναλιών του Sentinel-2

Οι δορυφόροι της αποστολής Sentinel-2 διαθέτουν μία συσκευή πολυφασματικής σάρωσης pushbroom (σαρωτής γραμμών), το MultiSpectral Instrument (MSI) που συλλέγει δεδομένα με διαφορετική χωρική ανάλυση μετρώντας την ακτινοβολία που ανακλάται από την επιφάνεια της Γης σε 13 κανάλια με μήκη κύματος από 442,3 nm έως 2202,4 nm.

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Σχήμα 17: Τα κανάλια των δορυφόρων Sentinel-2, το μήκος κύματος και η χωρική ανάλυση τους (Πηγή εικόνας: satimagingcorp.com)

Σύμφωνα με τις ανάγκες της παρούσας μελέτης για υψηλής χωρικής ανάλυσης δεδομένα και λαμβάνοντας υπ'όψην τα πειράματα παρόμοιων εργασιών ([31],[32],[33]) επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν τα κανάλια B02 (Blue), B03 (Green), B04 (Red) που καλύπτουν το ορατό τμήμα του φάσματος, τα B08(Nir) και B08A(Vegetation Red Edge) που προσφέρει πληροφορίες για το υπέρυθρο τμήμα του φάσματος και τέλος το B11(Swir) που καλύπτει μέρος του μικροκυματικού τμήματος.

3.2.5 Φασματικοί Δείκτες

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 [8].

Για εφαρμογές τηλεπισκόπησης έχουν αναπτυχθεί πολλοί δείκτες, κάθε ένας από τους οποίους είναι χρήσιμος για την ανάδειξη και τον εντοπισμό διαφορετικών χωρικών οντοτήτων και χαρακτηριστικών, όπως το νερό, η βλάστηση, τα ορυκτά, οι οικιστικές ζώνες, οι καμένες εκτάσεις και άλλα.

Σε μία προσεκτική παρατήρηση της περιοχής μελέτης και των αντικειμένων – θεματικών κατηγοριών που θα ταξινομηθούν κρίθηκε απαραίτητη η χρήση δεικτών που θα αναδεικνύουν την βλάστηση, το νερό και την οικιστική ανάπτυξη. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες :

- **NDVI** (δείκτης βλάστησης)
- **MSAVI** (δείκτης βλάστησης)
- **NDWI** (δείκτης νερού)
- **NDBI** (δείκτης οικιστικής ανάπτυξης)

- ***NDVI*** *(Normalized Difference Vegetation Index)* [34]
  Ο δείκτης αυτός είναι κανονικοποιημένος και χρησιμοποιείται για την ανάδειξη της βλάστησης σε μια εικόνα. Χρησιμοποιείται σε διαχρονικές μελέτες και υπολογίζει τη ζωτικότητα της βλάστησης σε δορυφορικά δεδομένα. Η χλωροφύλλη απορροφά σε υψηλά ποσοστά το ορατό φως στα 0.4 έως 0.7 μm. Από την άλλη πλευρά, η κυτταρική δομή των φύλλων ανακλά σε μεγάλο βαθμό στα 0.7 έως 1.1 μm (εγγύς υπέρυθρο). Εάν η ανακλώμενη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο είναι μεγαλύτερη από ότι στο ορατό φάσμα, τότε η βλάστηση στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο είναι πυκνή. Στα πλεονεκτήματα του είναι η ελαχιστοποίηση των τοπογραφικών επιδράσεων. Στα μειονεκτήματα του δείκτη είναι ότι παρουσιάζει δείγματα κορεσμού (saturation) σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης (Περάκης, 2015). Ακόμη, όπως επισημαίνουν οι Bannari και 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. Με μαθηματικούς όρους, ο NDVI διατυπώνεται ως εξής:
  $\boldsymbol{NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}}$ άρα για τον Sentinel-2 είναι: $\boldsymbol{NDVI = \frac{(B08-B04)}{(B08+B04)}}$

Ο NDVI παίρνει τιμές από -1 έως +1. Οι τιμές κοντά στο -1 υποδεικνύουν περιοχές χωρίς βλάστηση, ενώ οι τιμές που είναι θετικές υποδηλώνουν την ύπαρξη βλάστησης.

- ***MSAVI*** *(Modified Soil Adjusted Vegetation Index)* [35]
  Ο δείκτης αποτελεί τροποποίηση του δείκτη βλάστησης SAVI(SoilAdjustedVegetationIndex) και αναπτύχθηκε ώστε να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα και οι ευαισθησίες του δείκτη NDVI κυρίως λόγω της ύπαρξης υπεδάφους στο φόντο της βλάστησης. Ο δείκτης SAVI ορίζεται ως :

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

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

  Το πρόβλημα όμως με τον SAVI είναι η ανάγκη ορισμού του δείκτη L μέσω δοκιμών χρησιμοποιώντας την ποσότητα της βλάστησης στην περιοχή μελέτης. Αυτό όχι μόνο οδήγησε στην πλειοψηφία των ανθρώπων να χρησιμοποιούν απλώς την τιμή L ίση με 0,5, αλλά δημιούργησε επίσης ένα κυκλικό πρόβλημα λογικής, δηλαδή να χρειάζεται η εκ των προτέρων γνώση της ποσότητας / κάλυψης της βλάστησης ώστε να χρησιμοποιηθεί ο SAVI για να δώσει πληροφορίες για την βλάστηση.
  Έτσι ο Qi (et al. 1994b) ανέπτυξε τον δείκτη MSAVI μέσω διάφορων πειραματισμών ώστε να μην απαιτείται ο προσδιορισμός της γραμμής του εδάφους και η χρήση του L :

  $$\boldsymbol{MSAVI = 0.5 * [\,(2*NIR+1) - \sqrt{(2*NIR+1)2-8(NIR-RED)}\,]}$$

  και για τον Sentinel-2:

  $$\mathbf{MSAVI = 0.5 * [\,(2*B08+1) - \sqrt{(2*B08+1)2-8(B08-B04)}\,]}$$

  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).

Ο MSAVI παίρνει τιμές από -1 έως +1. Οι τιμές κάτω από 0 υποδεικνύουν περιοχές χωρίς βλάστηση, ενώ οι τιμές πάνω από 0 υποδηλώνουν την ύπαρξη βλάστησης.

- ***NDWI****(Normalized Difference Water Index)* [36]
  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 πράσινοκαι 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.Ο NDWI μεγιστοποιεί την ανάκλαση του νερού χρησιμοποιώντας μήκη κύματος πράσινης ζώνης και ελαχιστοποιεί τη χαμηλή ανακλαστικότητα του NIR απορροφώντας το μέγιστο μήκος κύματος.

  Ο δείκτης NDWI ορίζεται:

  $$\boldsymbol{NDWI} = \frac{\boldsymbol{GREEN-NIR}}{\boldsymbol{GREEN+NIR}}$$ και για τον Sentinel-2 είναι: $$\mathbf{NDWI} = \frac{(\mathbf{B03-B08})}{(\mathbf{B03+B08})}$$

  Το εύρος τιμών που παίρνει είναι από το -1 έως το 1, 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.

- ***NDBI*** *(Normalized Difference Built-up Index)* [37]
  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.

  $$\boldsymbol{NDBI} = \frac{\boldsymbol{NIR-SWIR}}{\boldsymbol{NIR+SWIR}}$$ άρα για τον Sentinel-2 είναι: $$\mathbf{NDBI} = \frac{(\mathbf{B11-B08})}{(\mathbf{B11+B08})}$$

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

Στην πλατφόρμα του Engine δημιουργήθηκε για κάθε δείκτη ένα function, με το οποίο υπολογίζεται ο δείκτης για κάθε εικόνα και προστίθεται σε αυτήν ως νέο κανάλι (band). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το σχετικό απόσπασμα του κώδικα με τα functions των δεικτών που εφαρμόστηκαν στη φιλτραρισμένη συλλογή εικόνων του Sentinel-2.

```
// Function to calculate and add an NDVI band
var addNDVI = function(image) {
return image.addBands(image.normalizedDifference(['B8', 'B4']))
.copyProperties(image, image.propertyNames())};

// Function to calculate and add an NDWI band
var addNDWI = function(image) {
return image.addBands(image.normalizedDifference(['B3', 'B8']))
.copyProperties(image, image.propertyNames())};

// Function to calculate and add an NDBI band
var addNDBI = function(image) {
return image.addBands(image.normalizedDifference(['B11', 'B8']))
.copyProperties(image, image.propertyNames())};

// Function to calculate and add an MSAVI2 band
var addmsavi2 = function(image) {
  return image.addBands(image.expression(
    '(2 * NIR + 1 - sqrt(pow((2 * NIR + 1), 2) - 8 * (NIR - RED)) ) / 2',
    {
     'NIR': image.select('B8'),
     'RED': image.select('B4'),
    }).toFloat().copyProperties(image, image.propertyNames()));
};
```

Σχήμα 18: Απόσπασμα του κώδικα JavaScript στο GEE με τον υπολογισμό των φασματικών δεικτών

Τέλος, με την εντολή «.select» επιλέγονται μόνο τα κανάλια και οι δείκτες των εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση και παράλληλα μετονομάζονται ώστε να είναι διακρίσιμα.

3.2.6 Δημιουργία Εποχικών Συνθέτων

Για τη δημιουργία των εποχικών συνθέτων των οπτικών δορυφορικών εικόνων, οι δημιοργηθίσες συλλογές εικόνων φιλτραρίστηκαν με βάση την ημερομηνία για κάθε εποχή.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν τα εποχικά σύνθετα, υπολογίζοντας τις διάμεσες (median) τιμές και τα κανάλια κάθε εικόνας μετονομάστηκαν προσθέτοντας σε κάθε ένα την κατάληξη _S1, _S2,_S3 ή _S4, ανάλογα την εποχή που αφορούν. Έτσι ,δημιουργήθηκαν εικόνες με 44 κανάλια, 11 για κάθε εποχή. Τέλος εξήχθησαν στο gee ως assets.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο αριθμός των εικόνων για κάθε εποχή που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των εποχικών συνθέτων.

Πίνακας 4: Πλήθος εικόνων Sentinel-2 κάθε εποχής για τα δύο Tiles

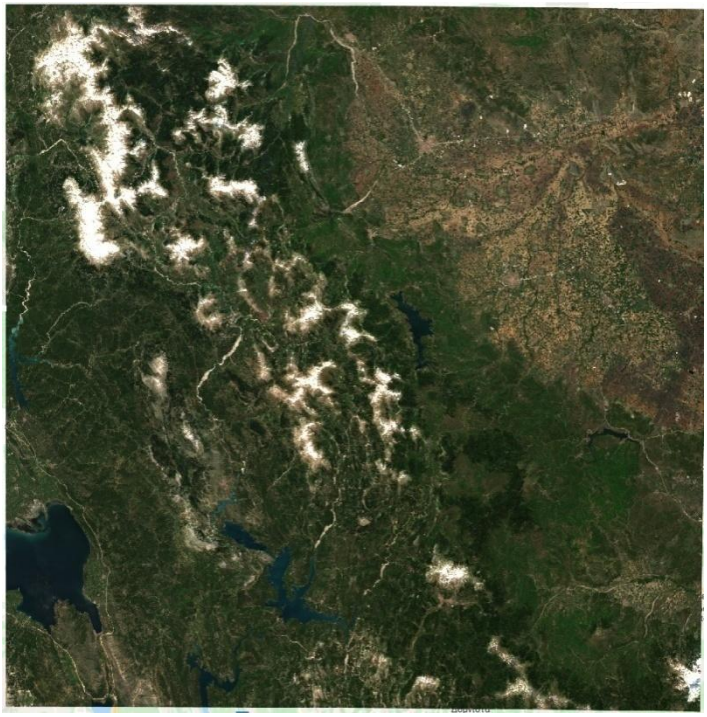
	Χειμώνας – Season 1 : 15/12/2018 έως 15/03/2019	Άνοιξη - Season 2 : 16/03/2019 έως 15/06/2019	Καλοκαίρι - Season 3 : 16/06/2019 – 15/09/2019	Φθινόπωρο – Season 4 : 16/09/2019 έως 15/11/2019
Tile 34SEJ	11	10	26	15
Tile 35TLF	8	11	24	15

```
//Create seasonal median images
//Collection S1 = Winter
 var s2_35tlf_s1 = s2_35tlf.filterDate('2018-12-16','2019-03-15');
print(s2_35tlf_s1,'Winter Image Collection');

var season1Median = s2_35tlf_s1.median();
season1Median= season1Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S1','B3_S1','B4_S1','B5_S1','B8_S1','B8A_S1','B11_S1',
                                    'NDVI_S1','NDWI_S1','NDBI_S1','MSAVI2_S1']);

//Collection S2 = Spring
var s2_35tlf_s2 = s2_35tlf.filterDate('2019-03-16', '2019-06-15');
print(s2_35tlf_s2,'Spring Image Collection');

var season2Median = s2_35tlf_s2.median();
season2Median= season2Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S2','B3_S2','B4_S2','B5_S2','B8_S2','B8A_S2','B11_S2',
                                    'NDVI_S2','NDWI_S2','NDBI_S2','MSAVI2_S2']);

//Collection S3 = Summer
var s2_35tlf_s3 = s2_35tlf.filterDate('2019-06-16', '2019-09-15');
print(s2_35tlf_s3,'Summer Image Collection');

var season3Median =s2_35tlf_s3.median();
season3Median= season3Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S3','B3_S3','B4_S3','B5_S3','B8_S3','B8A_S3','B11_S3',
                                    'NDVI_S3','NDWI_S3','NDBI_S3','MSAVI2_S3']);

//Collection S4 = Autumn
 var s2_35tlf_s4 =s2_35tlf.filterDate('2019-09-16', '2019-11-15');
print(s2_35tlf_s4,'Autumn Image Collection');

var season4Median = s2_35tlf_s4.median();
season4Median= season4Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S4','B3_S4','B4_S4','B5_S4','B8_S4','B8A_S4','B11_S4',
                                    'NDVI_S4','NDWI_S4','NDBI_S4','MSAVI2_S4']);


//Create Seasonal Composite
var ImSeasonal =season1Median.addBands(season2Median)
                             .addBands(season3Median)
                             .addBands(season4Median);

print(ImSeasonal,'ImSeasonal');

Export.image.toAsset({
  image: ImSeasonal,
  description: 'ImSeasonal_35tlf_19_mask_QA60',
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: geometry,
  maxPixels: 1e13, //max pixels allowed for download
  pyramidingPolicy: {".default": "mean"}
});
```

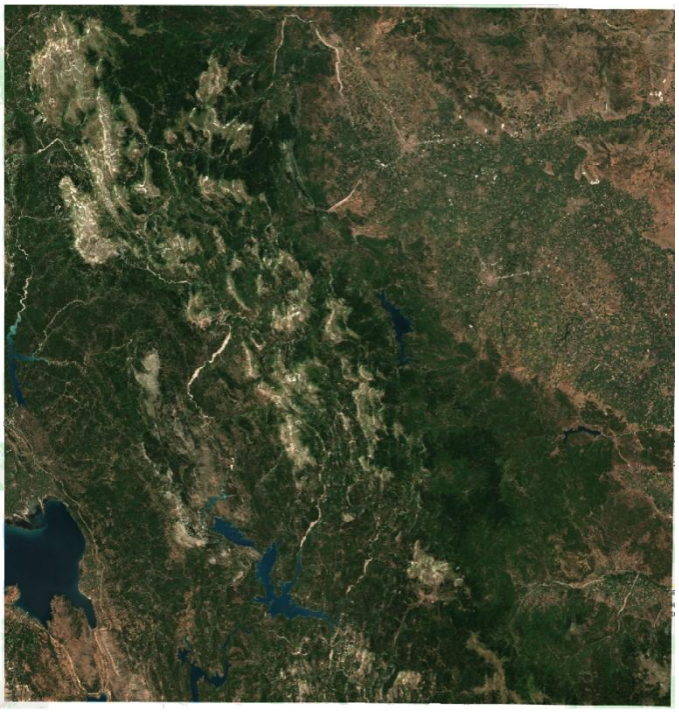
Σχήμα 19: Απόσπασμα του κώδικα JavaScript στο GEE με τη δημιουργία των εποχικών συνθέτων για την περιοχή μελέτης 35TLF

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες των 4 εποχικών συνθέτων για κάθε περιοχή μελέτης.

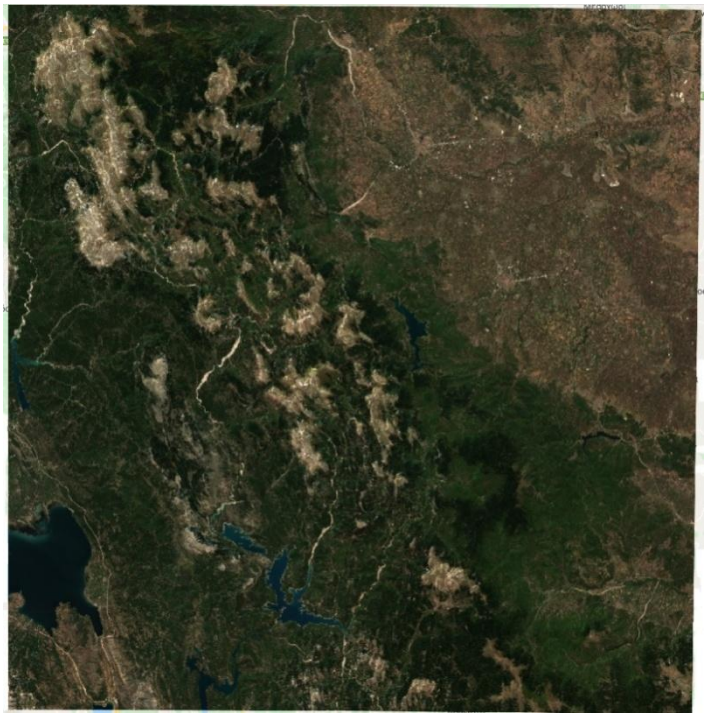
Χειμώνας: 15/12/2018 – 15/03/2019



Άνοιξη: 16/03/2019 – 15/06/2019

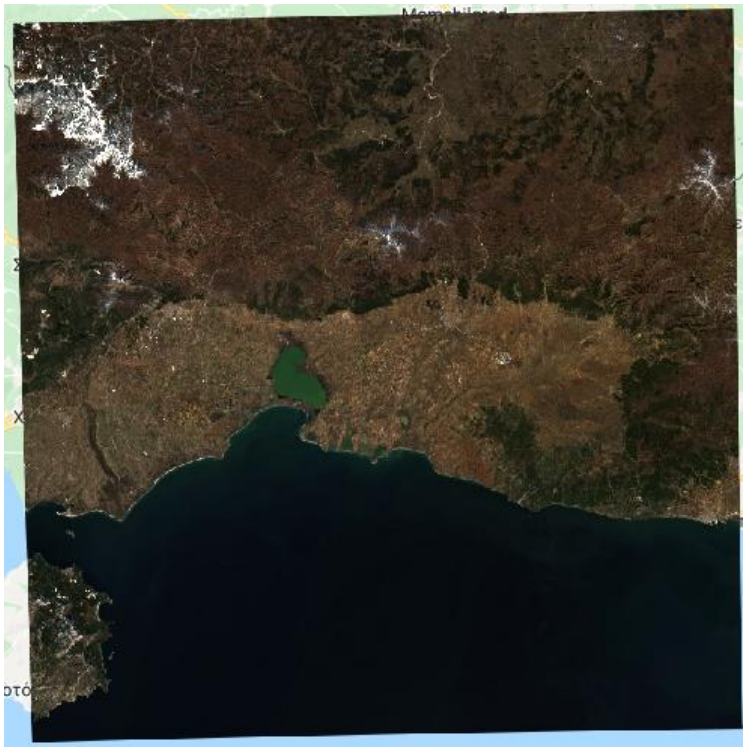


Καλοκαίρι: 16/06/2019 – 15/09/2019

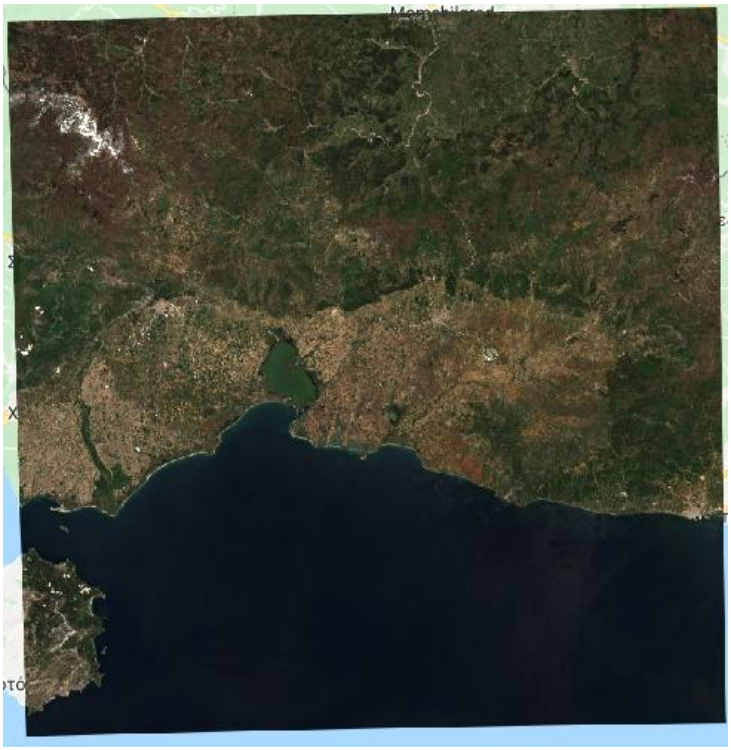


Φθινόπωρο: 16/09/2019 – 15/11/2019

Σχήμα 20: Τα εποχικά σύνθετα του Sentinel-2 για το Tile 34SEJ

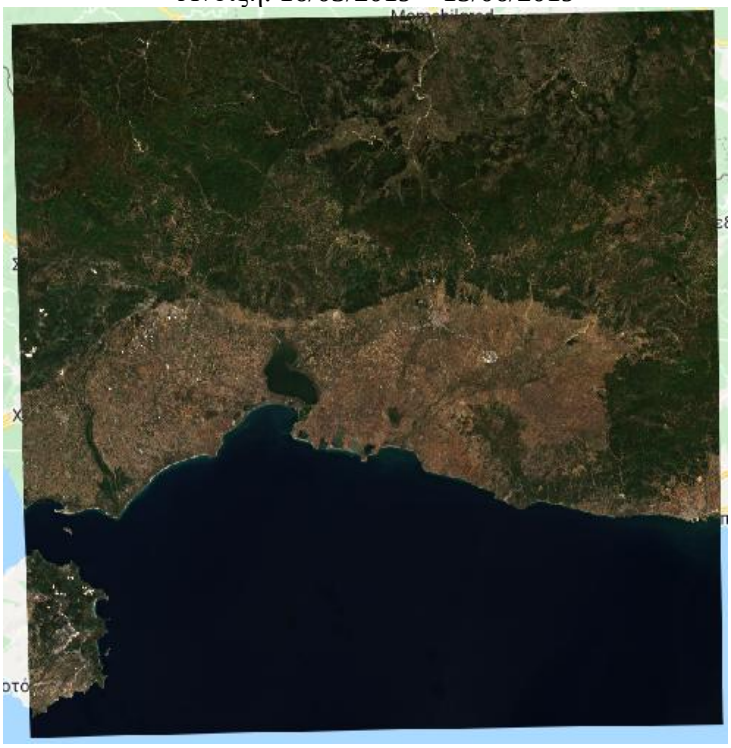


Χειμώνας: 15/12/2018 – 15/03/2019



Άνοιξη: 16/03/2019 – 15/06/2019

Καλοκαίρι: 16/06/2019 – 15/09/2019



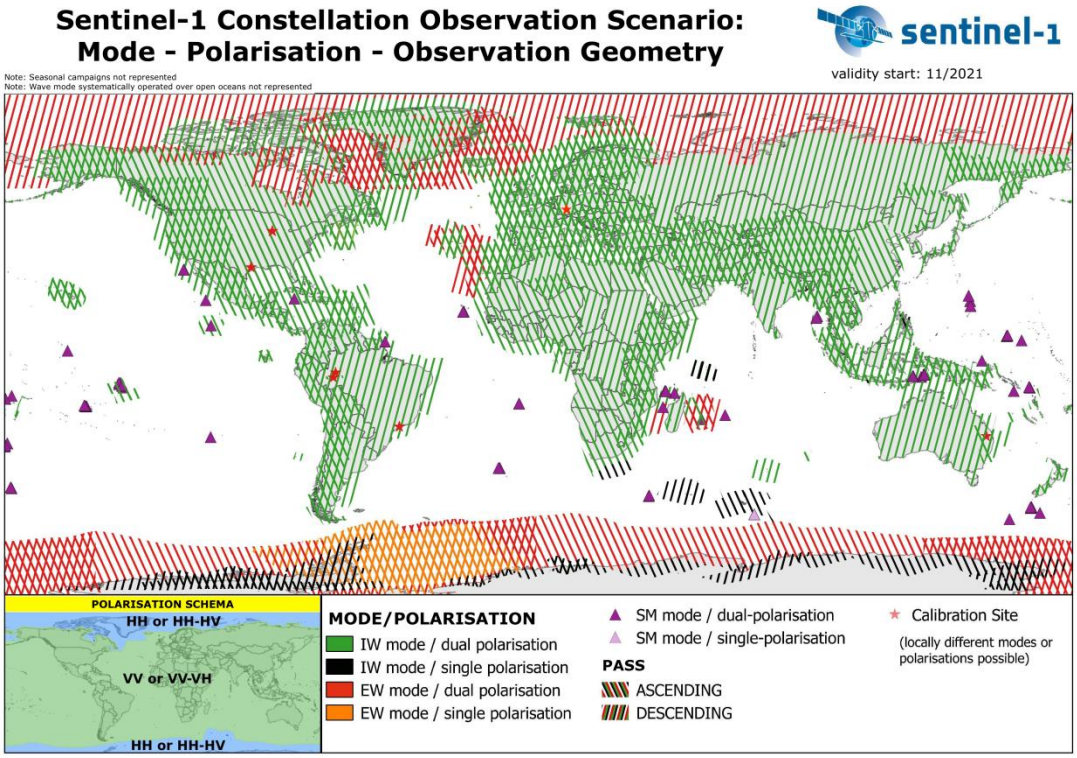
Φθινόπωρο: 16/09/2019 – 15/11/2019

Σχήμα 21: Τα εποχικά σύνθετα του Sentinel-2 για το Tile 35TLF

3.3 Προεπεξεργασία SAR Δορυφορικών Δεδομένων

3.3.1 Επιλογή SAR Δεδομένων

Κατά κανόνα οι δορυφόροι Sentinel-1 συλλέγουν δεδομένα σε μονή HH και διπλή HH – HV στις περιοχές πόλωση κοντά στους πόλους και σε μόνιμα καλυμμένες από πάγο περιοχές, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές παρατήρησης καταγράφονται δεδομένα σε VV ή VV-VH.



Σχήμα 22: Οι διαφορετικές γεωμετρίες, πολώσεις και τρόποι απόκτησης εικόνων των δορυφόρων Sentinel-1

Επομένως, για τις περιοχές μελέτης στην Ελλάδα διαθέσιμα είναι μόνο τα δεύτερα δεδομένα και κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν αυτά σε διπλή πόλωση VV-VH για περίσσεια παρατηρήσεων. Ένας δεύτερος και κύριος λόγος την προτίμηση της διπλής πόλωσης είναι πως τα μικροκύματα που εκπέμπει ο αισθητήρας αναμένονται να σκεδαστούν λόγω της ύπαρξης βλάστησης και της μη επίπεδης επιφάνειας σε μεγάλο τμήμα και των δύο περιοχών μελέτης. Έτσι, η πληροφορία που θα ληφθεί από το σήμα που θα πολωθεί και θα επιστρέψει οριζόντια στον αισθητήρα θα είναι ποσοτικά και ποιοτικά σημαντική.

Το σήμα σε πόλωση VV δείχνει ευαισθησία στην υγρασία του εδάφους σε ανοιχτούς χώρους , και έχει αποδειχθεί χρήσιμος τόσο για τη διάκριση διαφορετικών τύπων ποωδών ή χαμηλών και αραιών τύπων βλάστησης. [38],[39]

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες όλων των διαθέσιμων τροχιών στις περιοχές μελέτης κατά το επιλεγμένο εύρος ημερομηνιών. Ο Wood έδειξε ότι η επιλογή της τροχιάς δεν επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα διαφοροποίησης των καλλιεργειών. [35]

Λόγω των σημαντικά διαφορετικών προσανατολισμών μεταξύ της ανερχόμενης(ascending) και κατερχόμενης(descending) τροχιάς των δορυφόρων της αποστολής Sentinel-1, αυτές διαχωρίστηκαν και επεξεργάστηκαν ξεχωριστά, σύμφωνα με την προσέγγιση των Inglada [28] και Van Tricht [26] .

Οι εικόνες Sentinel-1 που παρέχονται στο Google Earth Engine είναι Επιπέδου 1- Ground Range Detected (GRD) Interferometric Wide Swath (IW) γεωαναφερμένα προϊόντα σε τιμές οπισθοσκέδασης (backscatter coefficient – σ^0). Το GEE εφαρμόζει κάποια στάδια προεπεξεργασίας των εικόνων, σύμφωνα με το Sentinel-1 Toolbox, τα οποία είναι:

1. **Apply orbit file**

- Ανανεώνει και υπολογίζονται ακριβέστερα τα στοιχεία της τροχιάς του δορυφόρου. Με αυτό τον τρόπο γίνονται γνωστές οι συντεταγμένες των εικόνων με μεγαλύτερη ακρίβεια, διευκολύνεται η γεωαναφορά, καθώς αποκτώνται και μερικά ακόμα στοιχεία της τροχιάς του δορυφόρου για καλύτερη επεξεργασία στα μετέπειτα στάδια.

2. **GRD border noise removal**
   - Απαλείφεται ο θόρυβος χαμηλής έντασης και άκυρα δεδομένα στις άκρες της εικόνας.
3. **Thermal noise removal**
   - Απομακρύνεται ο επιπρόσθετος θόρυβος για τη μείωση των ασυνεχειών μεταξύ υπο-περασμάτων εικόνων με multi-swath τρόπους απόκτησης.
4. **Radiometric calibration**
   - Υπολογίζεται η ένταση της οπισθοσκέδασης με χρήση των παραμέτρων ραδιομετρικής διόρθωσης του αισθητήρα.
5. **Terrain correction**
   - Τα δεδομένα μετατρέπονται σε τιμές οπισθοσκέδασης (σ^0) και πραγματοποιείται η γεωαναφορά των προιόντων με χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους SRTM ανάλυσης 30 μέτρων.

3.3.2 Διόρθωση του Φαινομένου της Κηλίδωσης

Το φαινόμενο της κηλίδωσης εμφανίζεται ως κόκκοι ή στίγματα (speckles) σε εικόνες SAR και δυσχεραίνει τη χρήση και φωτο-ερμηνεία των απεικονίσεων. Ουσιαστικά γειτονικά εικονοστοιχεία τα οποία απεικονίζουν την ίδια περιοχή ενδιαφέροντος (π.χ. δάσος) παρουσιάζουν σημαντικά διαφορετικές τιμές έντασης φωτεινότητας. Πρόκειται για τυχαίο θόρυβο που οφείλεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος ραντάρ και δεν αντιστοιχεί σε πραγματική μεταβολή ραδιομετρίας μεταξύ των γειτονικών εικονοστοιχείων [3].

Έχει τα χαρακτηριστικά ενός τυχαίου πολλαπλασιαστικού θορύβου με την έννοια ότι το επίπεδο θορύβου αυξάνεται με τη μέση ένταση του γκρίζου σε μια τοπική περιοχή στην απεικόνιση SAR [40]. Επίσης, έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF), που συνήθως είναι μη Γκαουσσιανή [41].

Η κηλίδωση αντιμετωπίζεται ως στατιστικά επεξεργάσιμο μέγεθος και επομένως η μείωση της είναι δυνατή και απαραίτητη για τη μελέτη των εικόνων SAR. Αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν γίνει λήψη πολλών εικόνων της περιοχής ενδιαφέροντος σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και έπειτα υπολογιστεί ο μέσος όρος τους. Επειδή όμως τις περισσότερες φορές δεν είναι διαθέσιμες πολλές απεικονίσεις της ίδιας περιοχής έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για την αντιμετώπιση της κηλίδωσης σε μία μοναδική και ανεξάρτητη εικόνα SAR :

- Η πολλών όψεων επεξεργασία (multi-look processing) απεικονίσεων SAR, όπου τα δεδομένα μια απεικόνισης εστιάζονται ως ανεξάρτητες απεικονίσεις σε δύο ή περισσότερες ζώνες χωρισμένες στη διεύθυνση των αποστάσεων ή των αζιμουθίων αντί να εστιαστούν στη μέγιστη διακριτική ικανότητα. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν στατιστικά ανεξάρτητες απεικονίσεις (που ονομάζονται όψεις ή looks), οι οποίες δεν επικαλύπτονται, με αποτέλεσμα την ελάττωση του εύρους τιμών της κηλίδωσης κατά N, όπου N ο αριθμός των όψεων [3].
- Τεχνικές φιλτραρίσματος, όπου σε μία απεικόνιση πλήρης ανάλυσης SAR εφαρμόζονται ένα ή περισσότερα φίλτρα σε μη επικαλυπτόμενα παράθυρα της απεικόνισης. Αυτά τα φίλτρα διακρίνονται σε προσαρμοζόμενα (adaptive) και μη-προσαρμοζόμενα (non-adaptive). Τα μη-προσαρμοζόμενα φίλτρα (Μέσου Όρου (MeanFilter) και Διάμεσου (MedianFilter) κ.α) έχουν απλούστερη εφαρμογή και απαιτούν λιγότερη υπολογιστική ισχύ, ενώ τα προσαρμοζόμενα φίλτρα (Lee, SigmaLee, GammaMap και FrostFilter κ.α.) είναι προτιμότερα για την διατήρηση των λεπτομερειών σε περιοχές έντονης υφής, όπως είναι τα δάση.

Στην παρούσα εργασία η επεξεργασία στις απεικονίσεις Sentinel-1 πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του φίλτρου Refined Lee.

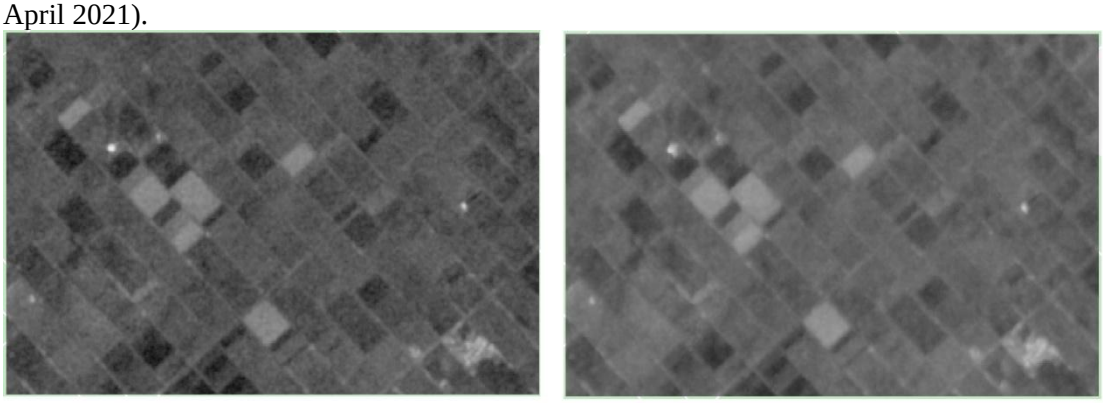
Το φαινόμενο της κηλίδωσης έχει μεγάλη επίδραση στις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται οι εικόνες SAR και σε μεγάλο σε εφαρμογές ταξινόμησης και παρακολούθησης καλλιεργειών. Σύμφωνα με τον Lavreniuk, πειράματα ταξινομήσεων καλλιεργειών σε φιλτραρισμένες εικόνες Sentinel-1 εμφάνισαν βελτιωμένες ακρίβειες της τάξης του 3.2% έως 5.1%σε σχέση με πειράματα σε μη-φιλτραρισμένες εικόνες. Οι μεγαλύτερες ακρίβειες επετεύχθησαν με εφαρμογή των φίλτρων Refined Lee και DCTC [42].

Τα Lee φίλτρα βασίζονται στη θεώρηση πως ο μέσος όρος και η διασπορά του εικονοστοιχείου ενδιαφέροντος ισούται με τον τοπικό μέσο όρο και διασπορά όλων των εικονοστοιχείων εντός του κινούμενου παραθύρου [40].

Ο J.S. Lee ανέπτυξε το 1981 μια βελτιωμένη εκδοχή του φίλτρου που παρουσίασε ένα χρόνο νωρίτερα και πήρε το όνομα του. Το Refined Lee φίλτρο διατηρεί τις ακμές, τα γραμμικά και σημειακά χαρακτηριστικά καθώς και την υφή σε μια απεικόνιση ραντάρ, μειώνοντας τον θόρυβο στις ακμές της απεικόνισης, χωρίς να επηρεάζεται το σχήμα και η ευκρίνεια τους [43].

Χρησιμοποιείται μία μάσκα 3χ3 μέσα σε ένα παράθυρου 7χ7 το οποίο κινείται στην εικόνα ώστε να εντοπιστούν ο προσανατολισμός των ακμών σε εικονοστοιχεία με υψηλή αντίθεση. Στη συνέχεια υπολογίζονται σε κάθε υποπεριοχή τα τοπικά στατιστικά των εικονοστοιχείων εντός του παραθύρου και τελικά προκύπτει η τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου.

Η εκτέλεση του φίλτρου Refined Lee πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine και στη γλώσσα προγραμματισμού JavaScript βασίστηκε στον κώδικα του Guido Lemoine. (Lemoine, G. Refined Lee GEE Implementation. Available online: https://code.earthengine.google.com/5d1ed0a0f0417f098fdfd2fa137c3d0c (accessed on 1 April 2021).



Σχήμα 23: Η κηλίδωση σε μια απεικόνιση SAR αγροτεμαχίων του Tile 35TLF (Αριστερά) και η Ελάττωση της μετά το φιλτράρισμα (Δεξιά)

```
//   Lee Filter.
//
//#####################################################

// The RL speckle filter from https://code.earthengine.google.com/2ef38463ebaf5ae133a478f173fd0ab5
// by Guido Lemoine
function refinedLee(img) {
  // img must be in natural units, i.e. not in dB!
  // Set up 3x3 kernels
  var weights3 = ee.List.repeat(ee.List.repeat(1,3),3);
  var kernel3 = ee.Kernel.fixed(3,3, weights3, 1, 1, false);

  var mean3 = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), kernel3);
  var variance3 = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), kernel3);

  // Use a sample of the 3x3 windows inside a 7x7 windows to determine gradients and directions
  var sample_weights = ee.List([[0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],[0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0], [0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],[0,0,0,0,0,0,0]]);

  var sample_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, sample_weights, 3,3, false);

  // Calculate mean and variance for the sampled windows and store as 9 bands
  var sample_mean = mean3.neighborhoodToBands(sample_kernel);
  var sample_var = variance3.neighborhoodToBands(sample_kernel);

  // Determine the 4 gradients for the sampled windows
  var gradients = sample_mean.select(1).subtract(sample_mean.select(7)).abs();
  gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(6).subtract(sample_mean.select(2)).abs());
  gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(3).subtract(sample_mean.select(5)).abs());
  gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(0).subtract(sample_mean.select(8)).abs());

  // And find the maximum gradient amongst gradient bands
  var max_gradient = gradients.reduce(ee.Reducer.max());

  // Create a mask for band pixels that are the maximum gradient
  var gradmask = gradients.eq(max_gradient);

  // duplicate gradmask bands: each gradient represents 2 directions
  gradmask = gradmask.addBands(gradmask);

  // Determine the 8 directions
  var directions = sample_mean.select(1).subtract(sample_mean.select(4)).gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(7))).multiply(1);
  directions = directions.addBands(sample_mean.select(6).subtract(sample_mean.select(4)).gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(2))).multiply(2));
  directions = directions.addBands(sample_mean.select(3).subtract(sample_mean.select(4)).gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(5))).multiply(3));
  directions = directions.addBands(sample_mean.select(0).subtract(sample_mean.select(4)).gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(8))).multiply(4));
  // The next 4 are the not() of the previous 4
} directions = directions.addBands(directions.select(0).not().multiply(5));
  directions = directions.addBands(directions.select(1).not().multiply(6));
  directions = directions.addBands(directions.select(2).not().multiply(7));
  directions = directions.addBands(directions.select(3).not().multiply(8));

  // Mask all values that are not 1-8
  directions = directions.updateMask(gradmask);

  // "collapse" the stack into a singe band image (due to masking, each pixel has just one value (1-8) in it's directional band, and is otherwise masked)
  directions = directions.reduce(ee.Reducer.sum());

 //var pal = ['ffffff','ff0000','ffff00', '00ff00', '00ffff', '0000ff', 'ff00ff', '000000'];
 //Map.addLayer(directions.reduce(ee.Reducer.sum()), {min:1, max:8, palette: pal}, 'Directions', false);

 var sample_stats = sample_var.divide(sample_mean.multiply(sample_mean));

 // Calculate localNoiseVariance
 var sigmaV = sample_stats.toArray().arraySort().arraySlice(0,0,5).arrayReduce(ee.Reducer.mean(), [0]);

 // Set up the 7*7 kernels for directional statistics
 var rect_weights = ee.List.repeat(ee.List.repeat(0,7),3).cat(ee.List.repeat(ee.List.repeat(1,7),4));

 var diag_weights = ee.List([[1,0,0,0,0,0,0], [1,1,0,0,0,0,0], [1,1,1,0,0,0,0],
   [1,1,1,1,0,0,0], [1,1,1,1,1,0,0], [1,1,1,1,1,1,0], [1,1,1,1,1,1,1]]);

 var rect_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, rect_weights, 3, 3, false);
 var diag_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, diag_weights, 3, 3, false);

 // Create stacks for mean and variance using the original kernels. Mask with relevant direction.
 var dir_mean = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), rect_kernel).updateMask(directions.eq(1));
 var dir_var = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), rect_kernel).updateMask(directions.eq(1));

 dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), diag_kernel).updateMask(directions.eq(2)));
 dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), diag_kernel).updateMask(directions.eq(2)));

 // and add the bands for rotated kernels
 for (var i=1; i<4; i++) {
   dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), rect_kernel.rotate(i)).updateMask(directions.eq(2*i+1)));
   dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), rect_kernel.rotate(i)).updateMask(directions.eq(2*i+1)));
   dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), diag_kernel.rotate(i)).updateMask(directions.eq(2*i+2)));
   dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), diag_kernel.rotate(i)).updateMask(directions.eq(2*i+2)));
 }

 // "collapse" the stack into a single band image (due to masking, each pixel has just one value in it's directional band, and is otherwise masked)
 dir_mean = dir_mean.reduce(ee.Reducer.sum());
 dir_var = dir_var.reduce(ee.Reducer.sum());

 // A finally generate the filtered value
 var varX = dir_var.subtract(dir_mean.multiply(dir_mean).multiply(sigmaV)).divide(sigmaV.add(1.0));

 var b = varX.divide(dir_var);

 var result = dir_mean.add(b.multiply(img.subtract(dir_mean)));
 return(result.arrayFlatten([['sum']]).copyProperties(img, img.propertyNames());

 }
```

Σχήμα 24: Το φίλτρο Refined Lee σε κώδικα JavaScript

3.3.3 Υπολογισμός Λόγου Πολώσεων

Υπολογίστηκε και εξήχθησε ο λόγος των καναλιών (πολόσεων) VH/VV για κάθε εποχή. Έχει βρεθεί πως ο λόγος των εντάσεων των οπισθοσκεδάσεωνVH/VV έχει υψηλή συσχέτιση με το δείκτη NDVI σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις [44], ενώ έχει χρησιμοποιηθεί σε εργασίες χαρτογράφησης και αναγνώριση τύπου καλλιεργειών με κοινή χρήση οπτικών και SAR δορυφορικών δεδομένων [28].

Η αλληλεπίδραση των μικροκυμάτων που εκπέμπουν οι δορυφόροι Sentinel-1 με τη βλάστηση εξαρτώνται από την ποσότητα και τη δομή του φυτικού υλικού και επίσης από τις συνθήκες εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας και της τραχύτητας.Η σημασία αυτών των παραγόντων εξαρτάται από την πόλωση, και με τις δύο να επηρεάζονται από τη βλάστηση, με τη VV να είναι πιο ευαίσθητη στις συνθήκες του εδάφους. Προς την κορύφωση της καλλιεργητικής περιόδου, η ευαισθησία του σήματος SAR στις συνθήκες του εδάφους σταδιακά μειώνεται καθώς οι καλλιέργειες δημιουργούνται και αναπτύσσονται [60] αλλά είναι μεγαλύτερη στην αρχή και στο τέλος της περιόδου. Για να μειωθεί η επίδραση του εδάφους στην οπισθοσκέδαση της πόλωσης VH, ο λόγος VH/VV αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε σε αρκετές μελέτες [24], (Blaeset.al 2002, Fieuzalet.al 2013), καθώς και εδώ [45].

Αφού φιλτραριστούν οι εικόνες SAR από τη συλλογή εικόνων του Sentinel_1(*'COPERNICUS/S1_GRD')* στην πλατφόρμα Google Earth Engine με βάση τις επιθυμητές ημερομηνίες και τα όρια της περιοχής μελέτης και εφαρμοστεί σε αυτές το φίλτρο Refined Lee για μείωση της κηλίδωση, υπολογίζεται ο λόγος VH/VV για κάθε εικόνα.

Στη συνέχεια, οι εικόνες χωρίζονται ανά εποχή και υπολογίζεται εκ νέου για κάθε εποχή η μέση τιμή των εικόνων για κάθε λόγο. Επομένως, προκύπτουν τέσσερις νέες εικόνες, ενός λόγου για κάθε μία από τις τέσσερις εποχές.

Τέλος, οι εικόνες αποκόπτονται, συγχωνεύονται και εξάγονται ως asset στο αποθετήριο του GEE.

3.3.4 Δημιουργία Εποχικών Συνθέτων

Στη συνέχεια οι διορθωμένες εικόνες ανοδικής και καθοδικής τροχιάς ενώνονται με χρήση join σε μία συλλογή εικόνων (Image Collection). Οι εικόνες διαχωρίζονται με κριτήριο της ημερομηνίας ανάλογα την εποχή και δημιουργούνται τέσσερις νέες συλλογές. Από αυτές τις συλλογές υπολογίζεται και δημιουργείται μία νέα εικόνα με βάση τη μέση τιμή(Mean) των εικονοστοιχείων σε όλες τις εικόνες της κάθε εποχής. Επίσης, υπολογίζονται και δημιουργούνται εικόνες με βάση τη μέση τιμή των τυπικών αποκλίσεων(Standard Devation) κάθε εικονοστοιχείου σε κάθε εικόνα κάθε εποχής.

Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται οκτώ νέες εικόνες μέσης τιμής έντασης οπισθοσκέδασης και οκτώ τυπικής απόκλισης(τέσσερις εποχές για δύο πολώσεις, VH και VV).

Τελικά, οι εικόνες αποκόπτονται στα όρια που ορίζονται από τα tile 35TLF, 34SEJ του Sentinel-2, συγχωνεύονται σε μία εικόνα οκτώ μπαντών, η οποία εξάγεται ως asset στο προσωπικό αποθετήριο του λογαριασμού του χρήστη στο GEE.

Το Tile 34SEJ καλύπτεται από τους δορυφόρους Sentinel-1 από τη σχετική τροχιά 131 και 102 στην ανοδική τροχιά και 80 και 7 στην καθοδική τροχιά.
Το Tile 34SEJ καλύπτεται από τους δορυφόρους Sentinel-1 από τη σχετική τροχιά 131 και 29 στην ανοδική τροχιά και 109 και 7 στην καθοδική τροχιά.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο αριθμός των εικόνων για κάθε εποχή που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των εποχικών συνθέτων.

Πίνακας 5: Πλήθος εικόνων Sentinel-1 κάθε εποχής για τα δύο Tiles

	Χειμώνας – Season 1 : 15/12/2018 έως 15/03/2019	Άνοιξη - Season 2 : 16/03/2019 έως 15/06/2019	Καλοκαίρι - Season 3 : 16/06/2019 – 15/09/2019	Φθινόπωρο – Season 4 : 16/09/2019 έως 15/11/2019
Tile 34SEJ	**60**	**60**	**60**	**60**
Tile 35TLF	**58**	**59**	**58**	**59**

3.4 Βοηθητικά Δεδομένα

3.4.1 Υψομετρικά Δεδομένα

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους EU-DEM παρέχει πλήρη και συνεπή κάλυψη σε 32 κράτη μέλη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Κροατία, Κύπρος, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ισλανδία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λετονία, Λιχτενστάιν, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Τουρκία), 1 πρώην μέλος (Ηνωμένο Βασίλειο) και 6 συνεργαζόμενα κράτη (Αλβανία, Βοσνία και Ερζεγοβίνη, Βόρεια Μακεδονία, Ηνωμένο Βασίλειο, Κόσσοβο, Μαυροβούνιο, Σερβία), καλύπτοντας μία περιοχή 5,84 εκατομμυρίων km².

Το EU-DEM είναι ένα υβριδικό προϊόν που βασίζεται κυρίως στα ψηφιακά μοντέλου εδάφους SRTM και ASTER, αλλά και δημόσιους διαθέσιμους ρωσικούς τοπογραφικούς χάρτες για περιοχές βόρεια των 60° γεωγραφικό πλάτος. Τα δεδομένα συγχωνεύονται με μια προσέγγιση σταθμισμένου μέσου όρου.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως υψομετρικά δεδομένα, δεδομένα της αναβαθμισμένης έκδοσης EU-DEM v1.1.

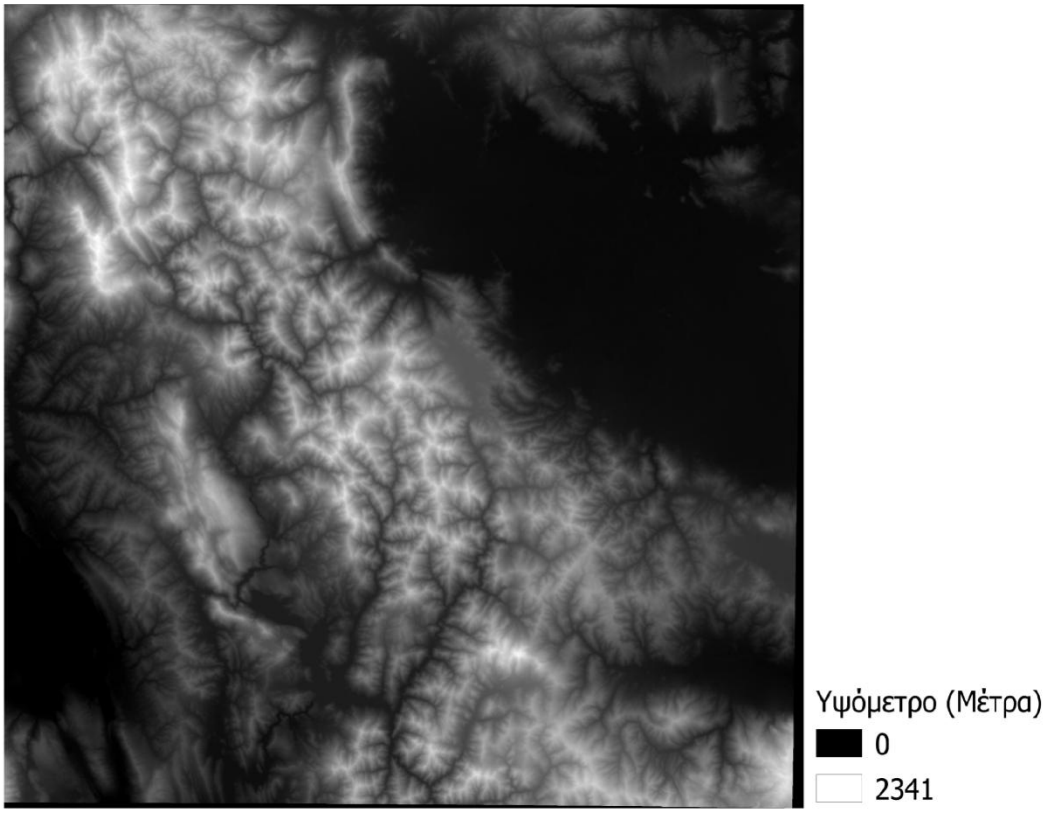
Το EU-DEM v1.1 είναι ένα σύνολο δεδομένων που προκύπτει από την αναβάθμιση του EU-DEM v1.0 που ενισχύει τη διόρθωση ζητημάτων γεωγραφικής τοποθέτησης, μειώνοντας τον αριθμό των αντικειμένων, βελτιώνοντας την κατακόρυφη ακρίβεια του EU-DEM χρησιμοποιώντας το ICESat ως αναφορά και διασφαλίζοντας τη συνέπεια με τα δεδομένα EU-Hydro.

Το EU-DEM v1.1 είναι διαθέσιμο σε μορφή Geotiff 32 bit. Είναι ένα συνεχές σύνολο δεδομένων χωρισμένο σε πλακίδια (tiles) 1000 x 1000 km, με χωρική ανάλυση 25 m με κάθετη ακρίβεια: +/- 7 m Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (ΜΤΣ-RMSE).

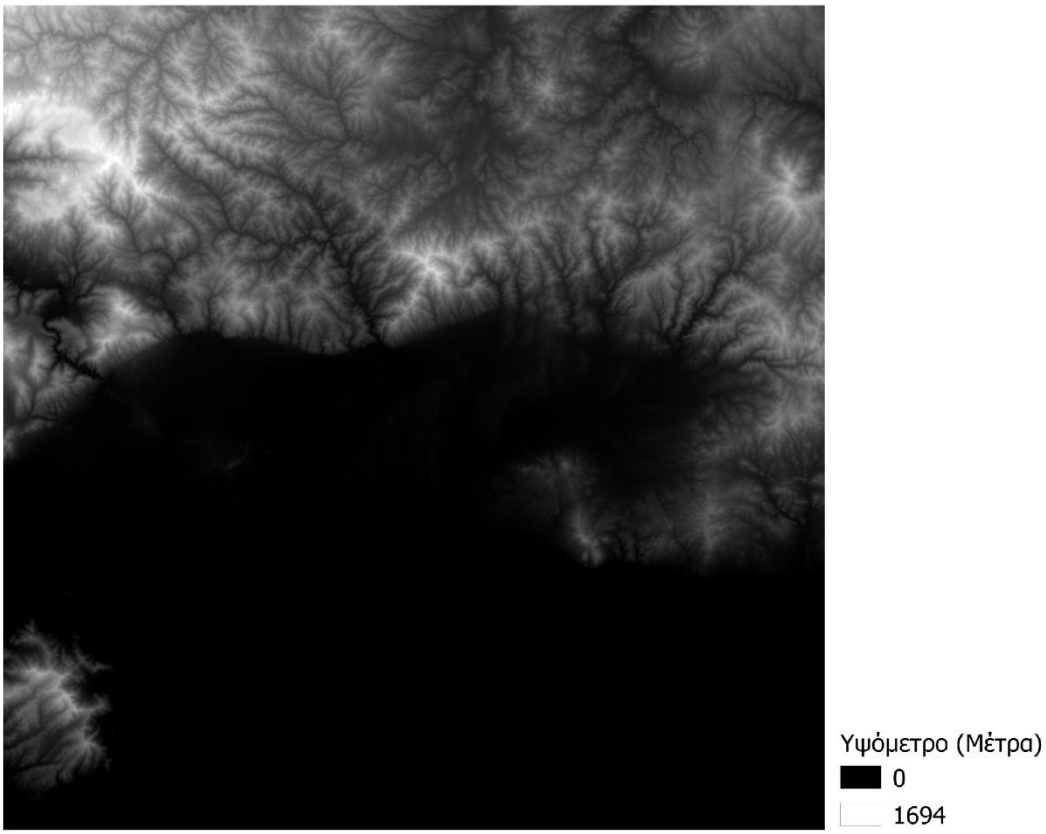
Αρχικά πραγματοποιήθηκε η λήψη του ΨΜΕ που καλύπτει τη χώρα από το αποθετήριο του προγράμματος Copernicus (https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=download), συγκεκριμένα τα σετ δεδομένων DEM-v1.1-E50N10 για το tile 35TLF και DEM-v1.1-E50N20 για το tile 34SEJ.

Στη συνέχεια, οι εικόνες των DEM περικόπηκαν στα όρια των περιοχών μελέτης και τέλος, μεταμορφώθηκαν τα δεδομένα ως assets στο αποθετήριο του GEE.

Οι εικόνες των ΨΜΕ που περιέχουν την πληροφορία του υψομέτρου για τις περιοχές μελέτης εμφανίζονται παρακάτω.



Σχήμα 25: Το ΨΜΕ EU-DEMv1.1 του Tile 34SEJ



Σχήμα 26: Το ΨΜΕ EU-DEMv1.1 του Tile 35TLF

3.4.2 Χάρτης Κάλυψης Γης (Corine Land Cover)

Το πρόγραμμα Coordination of Information on Environment – CORINE Land Cover (CLC) ξεκίνησε το 1985 (έτος αναφοράς 1990) με στόχο τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον σε ορισμένα θέματα προτεραιότητας για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Από το 1994 ενσωματώθηκε στο πρόγραμμα εργασιών του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), ενώ από το 2012 έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα παρακολούθησης γης Copernicus, διασφαλίζοντας έτσι βιώσιμη χρηματοδότηση για το μέλλον. Έχουν δημιουργηθεί ενημερώσεις για τα έτη 2000, 2006, 2012 και 2018.

Η υπηρεσία CLC παρέχει σημαντικά σύνολα δεδομένων υποστηρίζοντας την υλοποίηση βασικών τομέων προτεραιότητας των Προγραμμάτων Δράσης για το Περιβάλλον της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως π.χ. προστασία των οικοσυστημάτων, ανάσχεση της απώλειας της βιολογικής ποικιλότητας, παρακολούθηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, παρακολούθηση της κατάληψης της αστικής γης, αξιολόγηση των εξελίξεων στη γεωργία ή αντιμετώπιση των οδηγιών για τους υδάτινους πόρους.

Το CLC2018 προήρθε από την ταξινόμηση και φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων Sentinel-2 και Landsat-8 για το γέμισμα κενών. Χρησιμοποιεί ελάχιστη χαρτογραφούμενη μονάδα 25 εκτάρια(ha) και 100 μέτρα για γραμμικά αντικείμενα και διαχωρίζει την κάλυψη γης σε 44 τάξεις (classes) σε ιεραρχική ονοματολογία 3 επιπέδων (πίνακας 6).
Όλες οι εκδόσεις των CLCs είναι διαθέσιμες στο Google Earth Engine ως συλλογή εικόνων (Image Collection).

Αρχικά φορτώθηκε η εικόνα CLC που αφορά το έτος 2018 και περικόπηκε στα όρια των περιοχών μελέτης. Οι δύο εικόνες CLC στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν στο GEE ως assets.

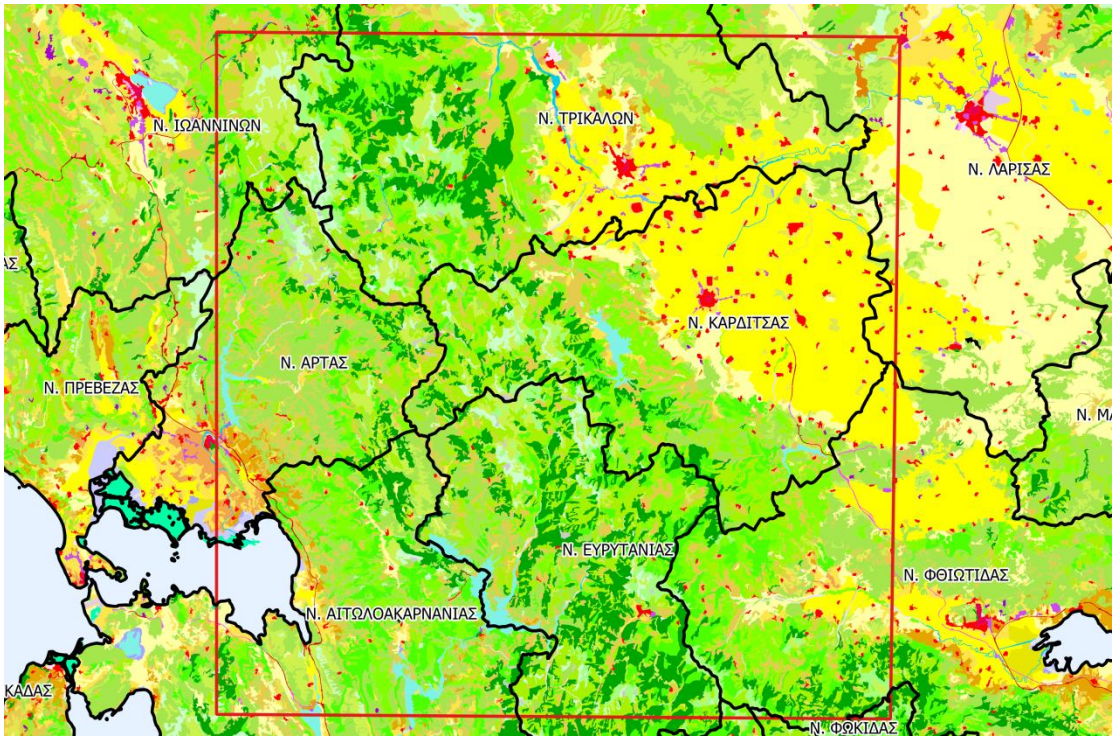
```
1
2  //Load the CLC 2018 dataset
3  var clc = ee.Image('COPERNICUS/CORINE/V20/100m/2018').select('landcover');
4  print(clc, 'clc');
5  Map.addLayer(clc,{},'clc');
6
7  //Clip the CLC 2018 dataset to the AOIs' extents
8  var clc_34SEJ = clc.clip(extent_34SEJ);
9  var clc_35TLF = clc.clip(extent_35TLF);
10 Map.addLayer(clc_34SEJ,{},'clc_34SEJ');
11 Map.addLayer(clc_35TLF,{},'clc_35TLF');
12
13 //Export the CLC datasets to assets
14 Export.image.toAsset({
15   image: clc_34SEJ,
16   description: 'CLC_34SEJ' ,
17   scale: 10,
18   crs: 'EPSG:4326',
19   region: extent_34SEJ,
20   maxPixels: 1e13,  //max pixels allowed for download
21   pyramidingPolicy:  "mean"  //default pyramiding policy
22 });
23
24 Export.image.toAsset({
25   image: clc_35TLF,
26   description: 'CLC_35TLF' ,
27   scale: 10,
28   crs: 'EPSG:4326',
29   region: extent_35TLF,
30   maxPixels: 1e13,  //max pixels allowed for download
31   pyramidingPolicy: "mean"  //default pyramiding policy
32 });
33
34
```

Σχήμα 27: Απόσπασμα κώδικα από το Google Earth Engine για τη δημιουργία των εικόνων CLC

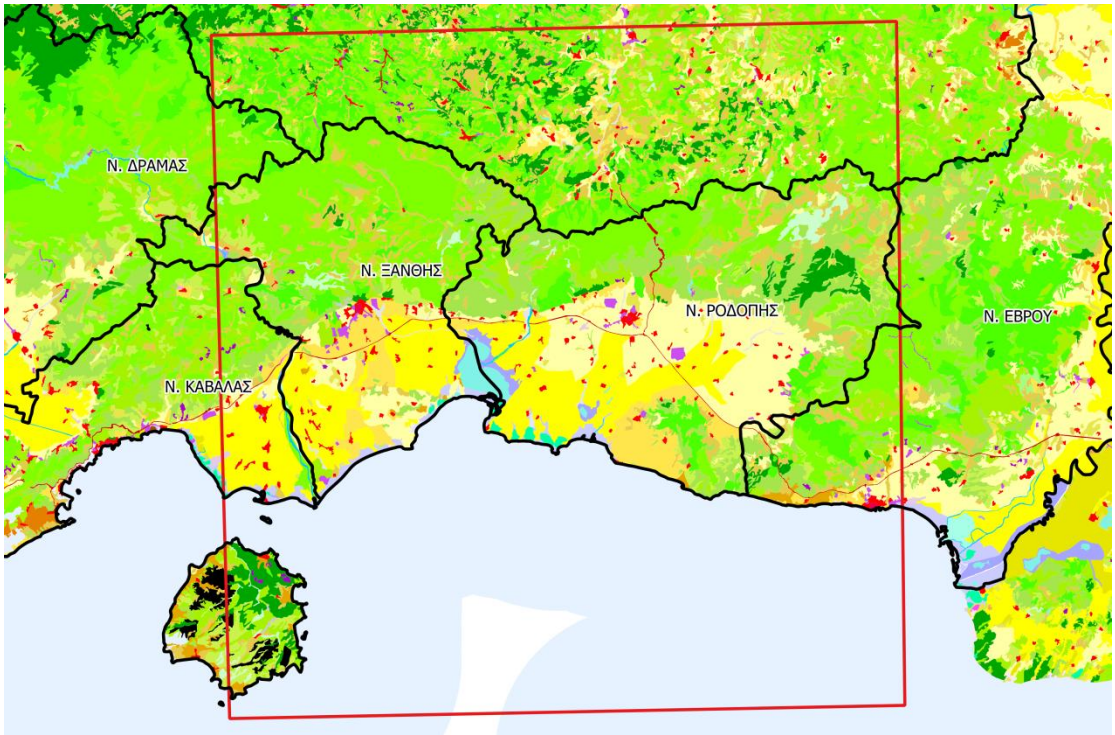
Πίνακας 6: Η ελληνική ονοματολογία του CLC

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστική οικοδόμηση	1.1.1 Συνεχής αστική οικοδόμηση
		1.1.2 Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
	1.2 Βιομηχανικές,	1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες

	εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη
		1.2.3 Ζώνες λιμένων
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξόρυξης ορυκτών
		1.3.2 Χώροι απόρριψης απορριμμάτων
		1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου
		1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη
		2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
		2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες
		2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα 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 συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες
		2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
		2.4.3 Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις 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 και/ή ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι
		3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι
		3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση
		3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-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 αιώνιο χιόνι
4. Υγρές ζώνες	4.1 Εσωτερικές υγρές ζώνες	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα
		4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι
		4.2.2 Αλυκές
		4.2.3 Παλιρροιακά επίπεδα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων
		5.1.2 Συλλογές υδάτων
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες
		5.2.2 Εκβολές ποταμών
		5.2.3 Θάλασσα και ωκεανός



Σχήμα 28: Οι χρήσεις γης στο Tile 34SEJ σύμφωνα με το Corine 2018



Σχήμα 29: Οι χρήσεις γης στο Tile 35TLF σύμφωνα με το Corine 2018

Σχήμα 30: Το υπόμνημα των κατηγοριών του Corine

4. Μεθοδολογία Ταξινομήσεων

4.1 Θεματικές Κατηγορίες

Η κατηγοριοποίηση των τάξεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία βασίστηκε σε μια πρόσφατα δημοσιευμένη εργασία του εργαστηρίου τηλεπισκόπησης [46]. Οι θεματικές κατηγορίες θα μπορούσαν να χωριστούν αρχικά σε πρώτο επίπεδο στις τάξεις των Τεχνητών Επιφανειών, των Δασικών Εκτάσεων, των Καλλιεργειών και του Νερού, οι οποίες αναλύθηκαν περαιτέρω. Οι τελικές θεματικές τάξεις για τις οποίες θα εφαρμοστούν τα πειράματα των ταξινομήσεων αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα μαζί με την κωδική ονομασία και τον κωδικό αριθμό που τους δόθηκαν:

Πίνακας 7: Η Ονοματολογία των Θεματικών Κατηγοριών Ταξινόμησης

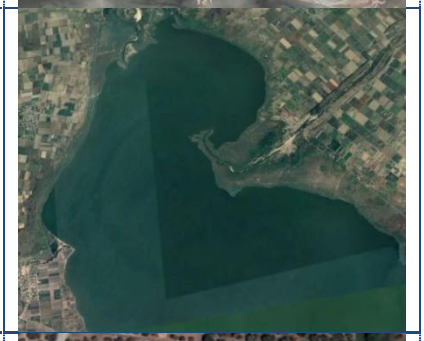
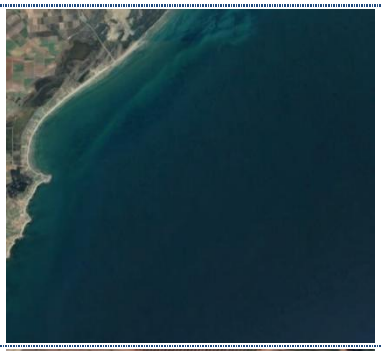
	Θεματικές Κατηγορίες		Κωδική Ονομασία	Κωδικός
Ανθρωπογενείς Κατασκευές	Πυκνός Αστικός Ιστός	Dense urban fabric	DUF	**1**
	Αραιός Αστικός Ιστός	Sparse urban fabric	SUF	**2**
	Βιομηχανίες & Εμπορικές Μονάδες	Industrial & commercial units	ICU	**3**
	Δρόμοι &Ασφάλτινες Επιφάνειες	Road/Asphalt networks	RAN	**4**
	Φωτοβολταϊκά	Photovoltaic units	PHV	**5**
Φυσική Βλάστηση	Δάσος Πλατύφυλλων	Broad-leaved forest	BLF	**6**
	Δάσος Κωνοφόρων	Coniferous forest	CNF	**7**
	Φυσικά Λιβάδια	Natural grasslands	NGR	**8**
	Πυκνή Σκληροφυλλική Βλάστηση	Dense sclerophyllous vegetation	DSV	**9**
	Αραιή Σκληροφυλλική Βλάστηση	Sparse sclerophyllous vegetation	SSV	**10**
	Εκτάσεις με Αραιή Βλάστηση	Sparsely vegetated areas	SVA	**11**
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Ορυχεία	Beaches, dunes, mines	BDM	**12**
	Απογυμνωμένοι Βράχοι	Bare rocks	RCK	**13**
Υδάτινες Επιφάνειες	Βάλτοι - Υγρότοποι	Wetlands	WTL	**14**
	Ποτάμια/Υδατορεύματα	Water courses	WCR	**15**
	Λίμνες/ Υδατοδεξαμενες	Water bodies	WBD	**16**
	Παράκτια Ύδατα	Coastal water	CWT	**17**
Καλλιέργειες	Ελαιώνες	Olive Groves	OLG	**18**
	Αμπελώνες	Grape Vines	VNY	**19**
	Εσπεριδοειδή Δέντρα	Citrus Trees	CTR	**20**
	Μηλοειδή Δέντρα	Pome Trees	POM	**21**
	Πυρηνόκαρπα Δέντρα	Stone Fruit Trees	STN	**22**
	Ακρόδρυα Δέντρα	Nut Trees	NUT	**23**
	Ορυζώνες	Rice	RIC	**24**
	Σιτηρά	Cereals	CRL	**25**
	Βαμβάκι	Cotton	CTN	**26**
	Αραβόσιτος	Maize	MAI	**27**
	Καπνός	Tobacco	TBC	**28**
	Ηλίανθος	SFLflower	SFL	**29**
	Όσπρια	Pulses	PUL	**30**
	Πατάτες	Potatoes	POT	**31**
	Λοιπά Κηπευτικά	Vegetables	VEG	**32**

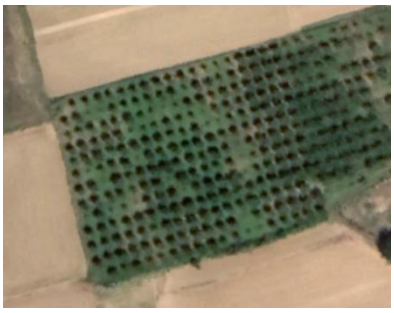
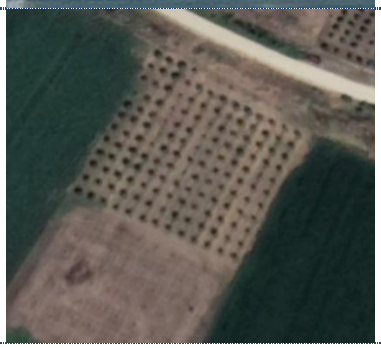
	Κτηνοτροφικά Γρασίδια	Grass Fodders	GRF	**33**
Ανθρωπογενείς Κατασκευές	Θερμοκήπια	Greenhouses	GRH	**34**
Καλλιέργειες	Αγρανάπαυση	Fallow	FLW	**35**

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

Πίνακας 8: Τελικές κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης σε εικόνες Google Earth

1. Πυκνός Αστικός Ιστός		2. Αραιός Αστικός Ιστός	
3. Βιομηχανίες & Εμπορικές Μονάδες		4. Δρόμοι & Ασφάλτινες Επιφάνειες	
5. Φωτοβολταϊκά		6. Δάσος Πλατύφυλλων	
7. Δάσος Κωνοφόρων		8. Φυσικά Λιβάδια	
9. Πυκνή Σκληροφυλλική Βλάστηση		10. Αραιή Σκληροφυλλική Βλάστηση	

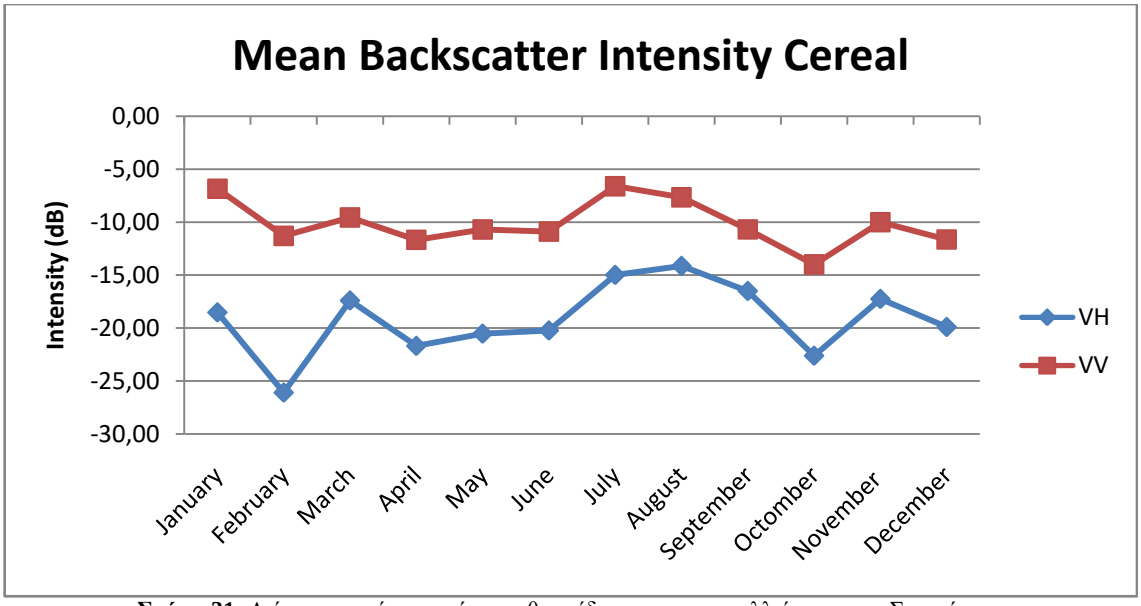
11. Εκτάσεις με Αραιή Βλάστηση		12. Παραλίες, Αμμόλοφοι, Ορυχεία	
13. Απογυμνωμένοι Βράχοι		14. Βάλτοι - Υγρότοποι	
15. Ποτάμια/Υδατο ρεύματα		16. Λίμνες/ Υδατοδεξαμενες	
17. Παράκτια Ύδατα		18. Ελαιώνες	
19.Αμπελώνες		20. Εσπεριδοειδή Δέντρα	

21.Μηλοειδή Δέντρα		22. Πυρηνόκαρπα Δέντρα	
23.Ακρόδρυα Δέντρα		24.Ορυζώνες	
25.Σιτηρά		26. Βαμβάκι	
27. Αραβόσιτος		28. Καπνός	
29. Ηλίανθος		30. Όσπρια	

31. Πατάτες		32. Λοιπά Κηπευτικά	
33. Κτηνοτροφικά Γρασίδια		34. Θερμοκήπια	
35. Αγρανάπαυση			

4.2 Καλλιέργειες στην Περιοχή Μελέτης

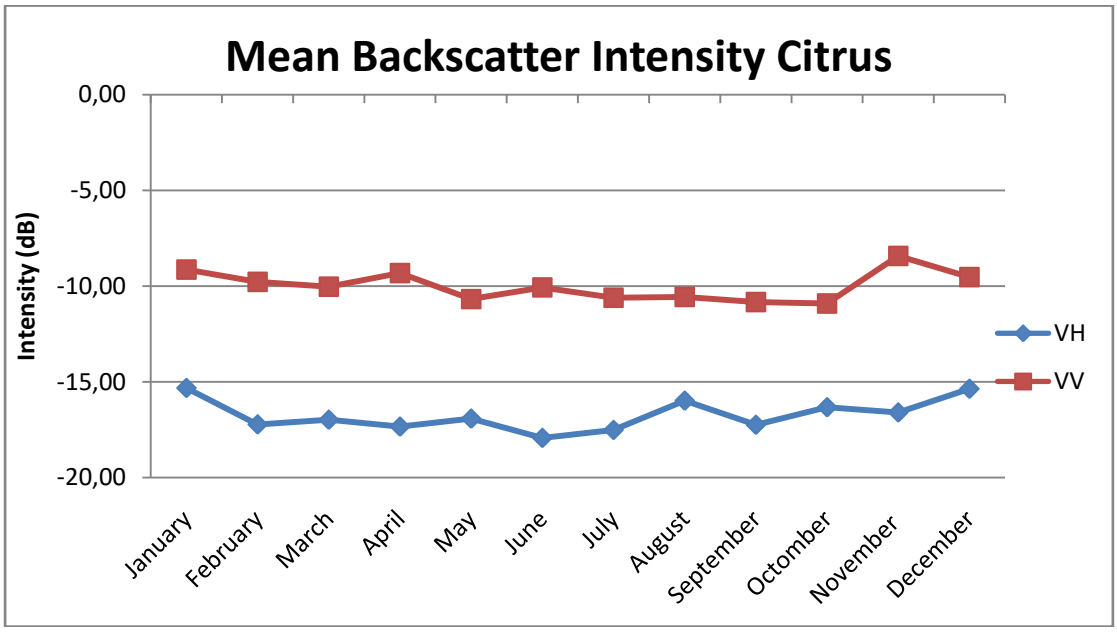
Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν διαγράμματα με τις μέσες τιμές οπισθοσκέδασης για τις καλλιέργειες της περιοχής μελέτης στις διπλές πολώσεις VH&VV των εικόνων Sentinel-1. Αφορούν χαρακτηριστικά αγροτεμάχια κάθε κατηγορίας και αποτελούν ένα εργαλείο για την κατανόηση της συμπεριφοράς της μικροκυματικής ακτινοβολίας στη βλάστηση και για την αναγνώριση του φαινολογικού κύκλου των καλλιεργειών.



Σχήμα 31: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Σιτηρών

Στην Ελλάδα καλλιεργούνται δύο είδη σιτηρών, το μαλακό και το σκληρό σιτάρι, ενώ κατά πλειοψηφία σπέρνεται σπέρνεται αποκλειστικά κατά το Φθινόπωρο-Χειμώνα. Τα φύλλα του είναι στενά και στο στάδιο της ανάπτυξης έχουν χρώμα κυανοπράσινο ενώ κατά την ωρίμανση αποκτούν το κίτρινο χρώμα.

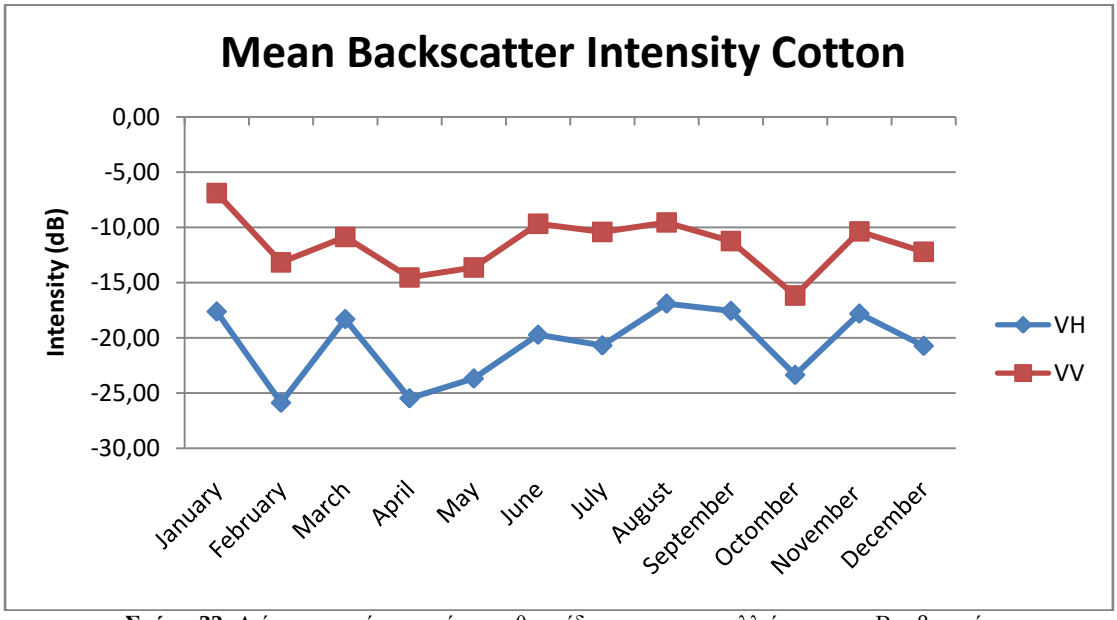
Η σπορά πραγματοποιείται κατά τους μήνες Οκτώβρη – Νοέμβρη, όπως παρατηρείται στο διάγραμμα, και το φυτό αναπτύσσεται με χαμηλούς ρυθμούς κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι έντονες διακυμάνσεις στις τιμές οπισθοσκέδασης αυτών των μηνών, ειδικά του Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου 2019 οφείλονται στο παγωμένο έδαφος και την κάλυψη του από χιόνι. Στη συνέχεια, κατά τους ανοιξιάτικους το φυτό αναπτύσσεται ραγδαία, μέχρι τη συγκομιδή του που συνήθως πραγματοποιείται αρχές - μέσα καλοκαιριού. Έτσι, υπάρχει μεγάλη μείωση της οπισθοσκέδασης κατά τους φθινοπωρινούς μήνες και ιδιαίτερα Σεπτέμβρη – Οκτώβρη.



Σχήμα 32: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Εσπεριδοειδών

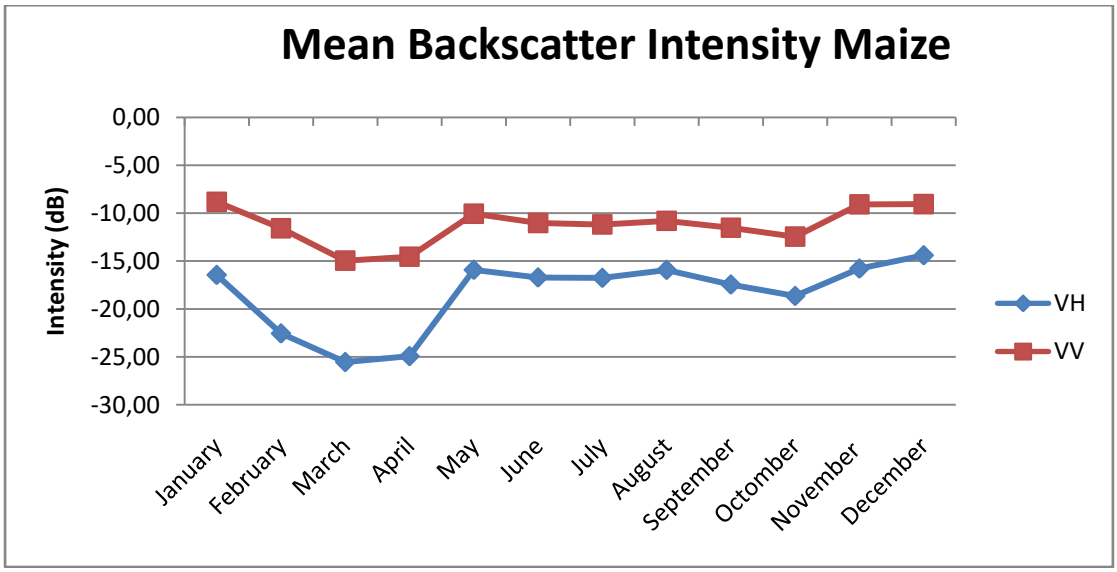
Τα εσπεριδοειδή αποτελούν πολυετή δενδρώδη καλλιέργεια και για αυτό παρατηρείται μία ομοιόμορφη κατανομή της σκέδασης κατά το πέρασμα του χρόνου, με μικρές διακυμάνσεις

που οφείλονται στα ποσοστά υγρασίας του εδάφους και των δένδρων. Στα εσπεριδοειδή ανήκουν η πορτοκαλιά, η λεμονιά, η μανταρινιά, η νεραντζιά, η κιτριά, η φράπα και η περγαμοντιά. Ανάλογα την ποικιλία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες η συγκομιδή των καρπών πραγματοποιείται κατά τους χειμερινούς μήνες έως τους πρώτους μήνες της άνοιξης.



Σχήμα 33: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια του Βαμβακιού

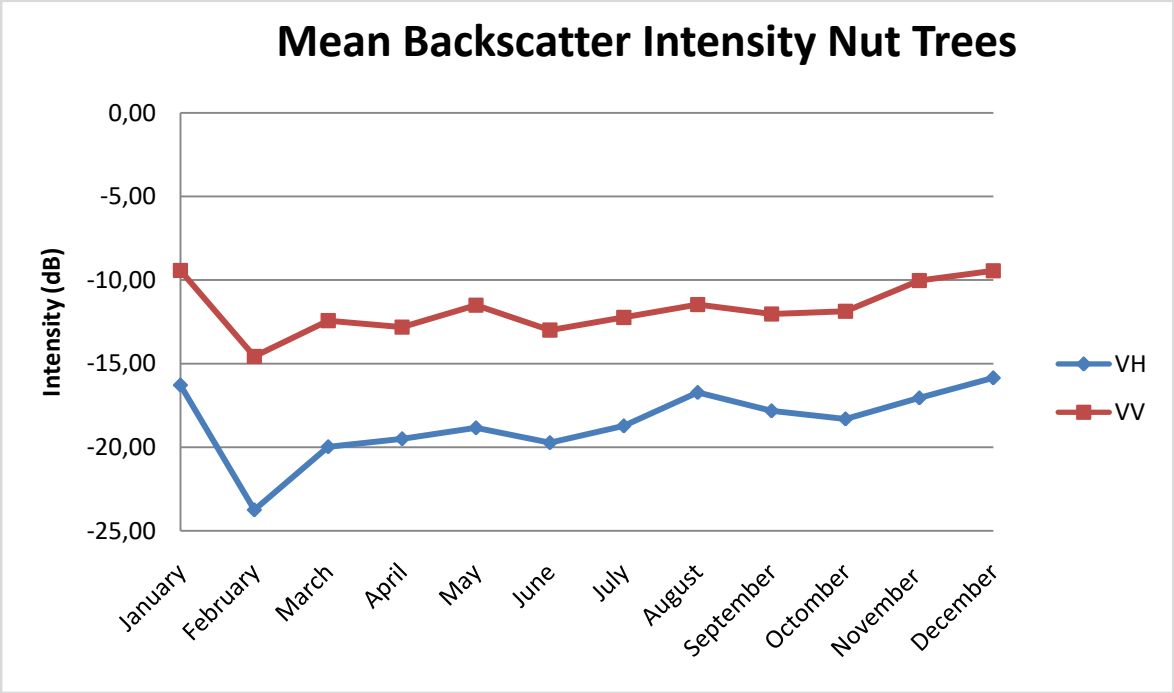
Στην Ελλάδα καλλιεργείται το Αδρότριχο Βαμβάκι ή Χνουδωτό βαμβάκι ως μονοετές γιατί δεν επιβιώνει σε κρύο χειμώνα. Τα φύλλα του είναι με μίσχο, μεγάλα και με έλασμα. Η κατάλληλη εποχή για σπορά είναι από αρχές Απρίλη έως τα μέσα Μαΐου. Η κορύφωση της καλλιέργειας όπου έχει αναπτυχθεί πλήρως το φυτό λαμβάνει χώρο τους φθινοπωρινούς μήνες, όποτε και είναι και είναι ώριμο για συγκομιδή. Το χειμώνα πραγματοποιείται το όργωμα των αγροτεμαχίων και προετοιμάζεται το έδαφος για τη σπορά.



Σχήμα 34: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια του Αραβόσιτου

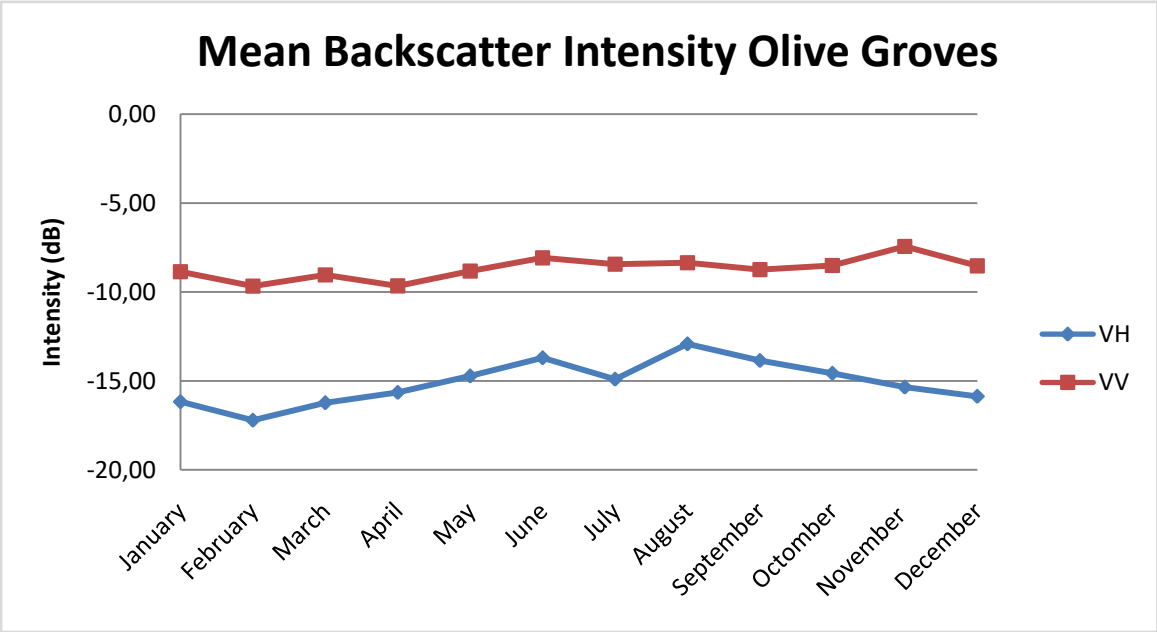
Η σπορά του αραβόσιτου πραγματοποιείται την Άνοιξη, γύρω στα τέλη Απρίλη με Αρχές Μαΐου, ενώ ανάλογα το είδος το φυτό ωριμάζει 60 έως 120 ημέρες μετά τη σπορά, όποτε και γίνεται η συγκομιδή, περίπου αρχές με μέσα καλοκαιριού. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η ένταση της οπισθοσκέδασης αυξάνεται το Μάιο και μένει σταθερή ενώ αναπτύσσεται το φυτό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τους χειμερινούς μήνες το χώμα παραμένει γυμνό, πιθανώς καλύπτεται από χιόνι τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο, εξηγώντας την έντονη διακύμανση της οπισθοσκέδασης.

Την περίοδο της άνθησης του, μέχρι και την αύξηση των καρπών του χρειάζεται τακτικό πότισμα και αρκετή ποσότητα νερού για να έχει μεγάλη ανάπτυξη και πλούσια παραγωγή. Η ευαισθησία της πόλωσης VV στην υγρασία του εδάφους στον αραβόσιτο μπορεί να εξηγηθεί από την απόσταση της σειράς μεταξύ των φυτών. Με απόσταση σειρών 70 cm, Το γυμνό έδαφος είναι ακόμα ορατό μέχρι αργά στην ανάπτυξη του φυτού, επομένως η οπισθοσκέδαση VV εξακολουθεί να είναι ευαίσθητη στην υγρασία του εδάφους και όχι έντονα εξασθενημένο από τη βλάστηση. (remotesensing-10-01396)



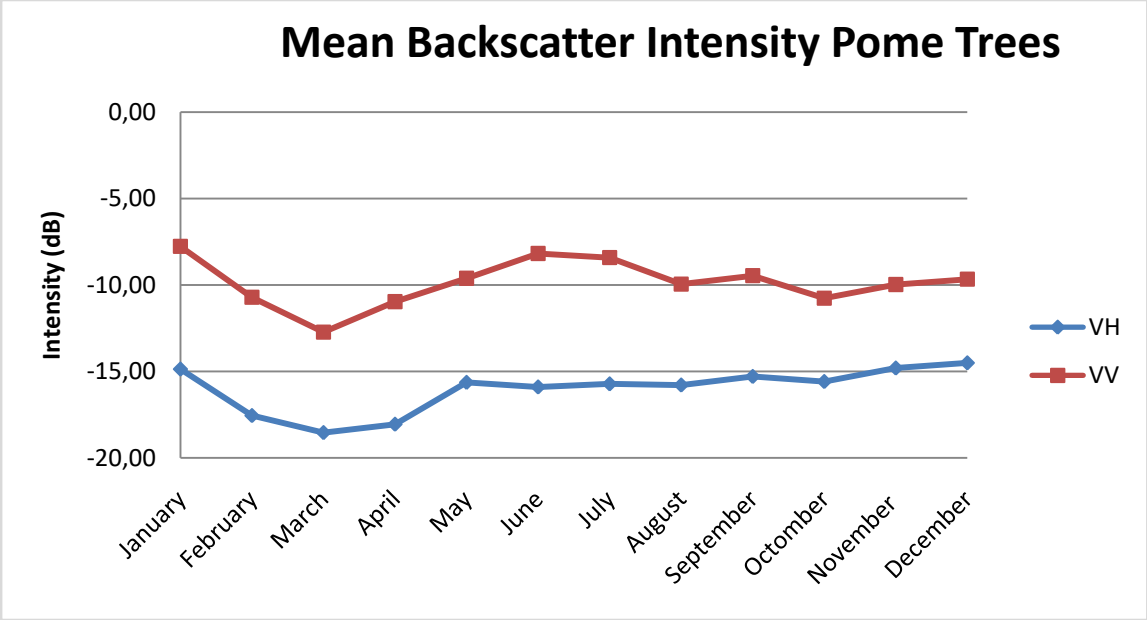
Σχήμα 35: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Ακρόδρυων δένδρων

Τα ακρόδρυα αποτελούν πολυετή δενδρώδη καλλιέργεια και σε αυτά ανήκουν η καρυδιά, η καστανιά, η φουντουκιά, η αμυγδαλιά, η φιστικιά, το πεκάν και ο κοκοφοίνικας. Η συγκομιδή αρχίζει από τα μέσα του Σεπτεμβρίου και συνεχίζεται μέχρι το Νοέμβριο.



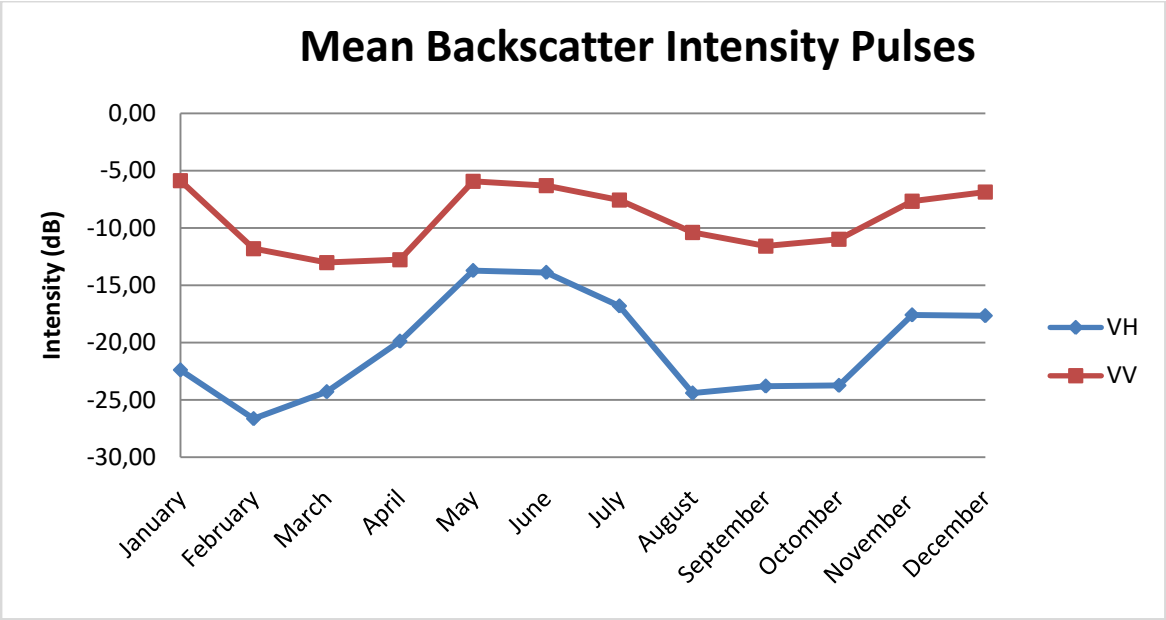
Σχήμα 36: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Ελαιώνων

Η ελιά είναι επίσης πολυετής δενδρώδης καλλιέργεια. Ο καρπός της ελιάς ωριμάζει στα μέσα προς τέλη Φεβρουαρίου και η συγκομιδή πραγματοποιείται από Σεπτέμβρη έως Ιανουάριο, ανάλογα την ποικιλία.



Σχήμα 37: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Πυρηνόκαρπων δένδρων

Στις πυρηνόκαρπες πολυετείς καλλιέργειες εντάσσονται η μηλιά, η αχλαδιά, η κυδωνιά, η ροδακινιά, η κερασιά, η βερικοκιά και η δαμασκηνιά. Κοινό χαρακτηριστικό των καρπών τους είναι ότι αποτελούνται από το εδώδιμο τμήμα, που είναι σαρκώδες και από έναν σκληρό πυρήνα που εσωτερικά φέρει ένα συνήθως σπέρμα.



Σχήμα 38: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των όσπριων

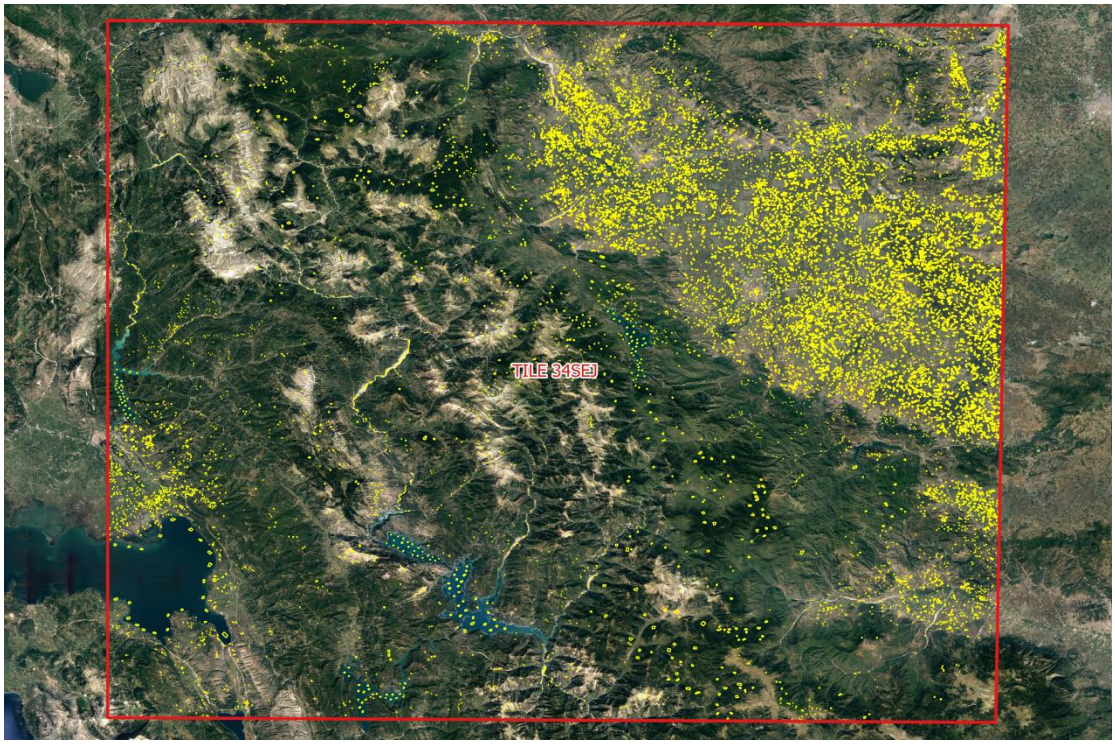
Βρώσιμα όσπρια αποτελούν τα φασόλια, τα κουκιά, οι φακές και τα ρεβύθια. Η καλλιεργητική περίοδος του ρεβυθιού ξεκινά Μάρτιο και τελειώνει Ιούλιο. Διαφέρει από αυτές της φακής και των κουκιών που ξεκινάει Οκτώβριο και τελειώνει Ιούνιο. Η σπορά των φασολιών γίνεται τους εαρινούς μήνες σε παράλληλες γραμμές (αυλάκια) ή σε όρχους και η συγκομιδή αρχίζει έπειτα από περίπου 2 μήνες.

4.3 Δεδομένα Εκπαίδευσης & Ελέγχου

Τα δεδομένα αναφοράς για τις κατηγορίες κάλυψης γης και καλλιεργειών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προήλθαν από τις βάσεις δεδομένων του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα από τη διδακτορική διατριβή της Δρ. Χριστίνας Καρακίζη [47] και την πρόσφατα δημοσιευμένη εργασία της [46]. Τα δεδομένα ήταν στη μορφή πολυγώνων.

Ο διαχωρισμός των αρχικών δεδομένων σε δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου έγινε με βάση τα πολύγωνα. Δηλαδή, τα δεδομένα - πολύγωνα κάθε θεματικής τάξης χωρίζονται τυχαία σε δεδομένα εκπαίδευσης σε ποσοστό 70 % επί των αρχικών και ελέγχου το υπόλοιπο 30%. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται μια πιο αντικειμενική ταξινόμηση. Ο παραδοσιακός διαχωρισμός των δεδομένων αναφοράς σε εκπαίδευσης και ελέγχου με βάση τα εικονοστοιχεία θεωρείται μεροληπτικός καθώς μπορεί στοιχεία από το ίδιο πολύγωνο να υπάρχουν στο σετ εκπαίδευσης και ελέγχου ταυτόχρονα. Αντίθετα, με το διαχωρισμό με βάση τα πολύγωνα ο αλγόριθμος ελέγχει τα εικονοστοιχεία διαφορετικών πολύγωνων από αυτά που του δόθηκαν για εκπαίδευση. Έτσι εξετάζεται καλύτερα η απόδοση και η λειτουργία του ταξινομητή.

Για τον διαχωρισμό αυτό υπολογίζεται πρώτα ο αριθμός των πολυγώνων από κάθε κλάση που θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εκπαίδευσης, στη συνέχεια επιλέγονται τυχαία από τα αρχικά δεδομένα και αποθηκεύονται σε ξεχωριστό αρχείο. Στη συνέχεια, αντιστρέφεται η επιλογή στο αρχείο με τα αρχικά συνολικά δεδομένα ώστε να προκύψουν αυτά του ελέγχου και αποθηκεύονται επίσης σε ξεχωριστό αρχείο.



Σχήμα 39: Πολύγωνα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 34SEJ

Σχήμα 40: Πολύγωνα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 35TLF

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, η πλατφόρμα Google Earth Engine διαθέτει κάποιους περιορισμούς σε σχέση με άλλα προγράμματα τηλεπισκόπησης ή ΓΣΠ. Σε αρχικά πειράματα όπου τα δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου εισάγονται στο GEE στην αρχική τους μορφή, ως πολύγωνα δηλαδή, αυτά δεν ολοκληρώνονται καθώς η μνήμη που διαθέτει η Google για κάθε χρήστη είναι περιορισμένη και στη συγκεκριμένη περίπτωση «γεμίζει» με τον μεγάλο όγκο δεδομένων σε συνδυασμό με τον όγκο των εικόνων που θα ταξινομηθούν. Επομένως, κρίθηκε αναγκαία η επεξεργασία και η μείωση του όγκου των δεδομένων αναφοράς.

Κάθε διαθέσιμο πολύγωνο γενικεύθηκε σε σημεία ανάλογα με το μέγεθος του. Ο ταξινομητής θα εκπαιδευτεί και θα ελεχθεί με βάση τα εικονοστοιχεία των σημείων αυτών. Αυτά τα σημεία ελέγχθηκαν φωτοερμηνευτικά ώστε να αντιπροσωπεύουν φασματικά την κατηγορία που ανήκουν. Τα σημεία δημιουργήθηκαν τυχαία σε απόσταση 25μ μεταξύ τους ώστε να περιληφθεί περισσότερη πληροφορία από το ίδιο πολύγωνο. Αυτά τα σημεία εισήχθησαν στο GEE για την εκπαίδευση και έλεγχο των ταξινομήσεων ως shapefiles. Συγκεκριμένα, επιλέγονται και εισάγονται τα αρχεία τύπου .shp , .shxκαι .dbf.

Η δημιουργία των σημείων πραγματοποιήθηκε στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών QGis με χρήση της εντολής “Random Points inside Polygons” και του κανόνα :
if("area">=100000,10,if(50000<"area">=100000,5,if("area"<=50000,3,5))).

Κάθε πολύγωνο μεγέθους μέχρι 50 στρέμματα αντιστοιχήθηκε σε 3 σημεία, πολύγωνα μεγέθους 50 έως 100 στρεμμάτων σε 5 σημεία και με μέγεθος μεγαλύτερο των 100 στρεμμάτων σε 10 σημεία. Για τα πολύ μεγάλα πολύγωνα εμβαδού 150 έως 200 στρεμμάτων έγινε έλεγχος και προστέθηκαν σημεία, ώστε να φτάσουν τα 15 ή 20.

Συνολικά για το Tile 35TLF δημιουργήθηκαν 50.258, εκ των οποίων 35.181 ως δεδομένα εκπαίδευσης και 15.077 ως δεδομένα ελέγχου, σημεία από ένα σύνολο 16.858 πολύγονων αναφοράς και για το 34SEJ δημιουργήθηκαν 48.457 σημεία (33.918 εκπαίδευσης και 14.539 ελέγχου) από ένα σύνολο 16.203 πολύγονων.

Τελικά, τα σημεία ελέγχθηκαν ώστε να διατηρείται η αναλογία 70% - 30% μεταξύ των δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου.

Οι αριθμός των σημείων που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση και

έλεγχο του ταξινομητή για κάθε θεματική κατηγορία ταξινόμησης παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Σχήμα 41: Η δημιουργία σημείων σε ένα πολύγωνο εκπαίδευσης

Πίνακας 9: Πλήθος σημείων ως δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 34SEJ

Κωδικός	Κατηγορία Κάλυψης Γης	Πολυγώνα Εκπαίδευσης	Σημεία Εκπαίδευσης	Πολύγωνα Ελέγχου	Σημεία Ελέγχου
1	DUF	32	129	14	42
2	SUF	127	364	55	156
3	ICU	60	145	26	62
4	RAN	58	154	26	66
5	PHV	50	131	22	56
6	BLF	174	560	75	240
7	CNF	242	933	104	400
8	NGR	209	614	90	263
9	DSV	450	1192	193	511
10	SSV	228	684	99	293
11	SVA	186	502	81	215
12	BDM	179	493	77	211
13	RCK	155	439	67	188
14	WTL	33	105	15	45
15	WCR	153	390	66	167
16	WBD	98	327	43	140
17	CWT	16	134	7	60
18	OLG	407	1194	175	511
19	VNY	259	754	112	323
20	CTR	256	674	110	289
21	POM	73	215	32	92
22	STN	102	306	44	131
23	NUT	194	588	84	252
24	CRL	1952	5900	837	2532
25	CTN	1471	4464	631	1913

26	MAI	1136	3421	488	1466
27	TBC	267	810	115	347
28	SFL	217	656	94	281
29	PUL	230	696	100	298
30	POT	9	31	4	13
31	VEG	204	620	88	266
32	GRF	1578	4760	677	2040
33	GRH	57	164	25	70
34	FLW	465	1400	200	600
	Σύνολο	**1131**	**33918**	**4876**	**14539**

Πίνακας 10: Πλήθος σημείων ως δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 35TLF

Κωδικός	Κατηγορία Κάλυψης Γης	Πολυγώνα Εκπαίδευσης	Σημεία Εκπαίδευσης	Πολύγωνα Ελέγχου	Σημεία Ελέγχου
1	DUF	194	511	84	219
2	SUF	193	469	83	201
3	ICU	151	425	65	182
4	RAN	193	548	83	235
5	PHV	55	152	24	65
6	BLF	1994	6209	856	2661
7	CNF	1150	3353	494	1437
8	NGR	102	259	44	111
9	DSV	701	2002	301	858
10	SSV	369	1057	159	453
11	SVA	176	483	76	207
12	BDM	135	401	59	172
13	RCK	154	385	67	165
14	WTL	74	420	32	180
15	WCR	56	173	25	74
16	WBD	32	299	14	128
17	CWT	34	350	15	150
18	OLG	516	1470	222	630
19	VNY	161	474	69	203
20	POM	53	159	24	68
21	STN	152	415	66	178
22	NUT	253	709	109	304
23	RIC	138	418	60	179
24	CRL	579	1743	249	747
25	CTN	778	2326	334	997
26	MAI	1005	2998	431	1285
27	TBC	571	1631	246	699
28	SFL	584	1722	251	738
29	PUL	163	495	71	212
30	POT	55	145	24	62
31	VEG	304	840	131	360
32	GRF	365	1097	157	470
33	GRH	9	35	5	15
34	FLW	335	1008	144	432
	Σύνολο	**11784**	**35181**	**5074**	**15077**

4.4 Περιγραφή Πειραμάτων

Τα μοντέλα που σχεδιάστηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας είναι 6, τα οποία εφαρμόστηκαν για κάθε Tile ξεχωριστά. Συνολικά, εκτελέστηκαν 12 πειράματα.

Οι διαφορές των μοντέλων έγκεινται στα στοχεία(σύνθετα Sentinel-2 ή/και Sentinel-1,Βοηθητικά Δεδομένα) που εισάγονται στον Random Forests ταξινομητή και συγκεκριμένα:

- Μοντέλο 1(Model 1 – S2 TC): Στο πρώτο μοντέλο εισάγονται ως δεδομένα στον ταξινομητή οι εικόνες των εποχικών συνθέτων του Sentinel-2.
- Μοντέλο 2(Model 2 – S2 TC + S1 TC): Στο δεύτερο μοντέλο εισάγονται ως δεδομένα στον ταξινομητή οι εικόνες των εποχικών συνθέτων του Sentinel-2 και του Sentinel-1.
- Μοντέλο 3(Model 3 – S2 TC + AUX):Στο τρίτο μοντέλο εισάγονται ως δεδομένα στον ταξινομητή οι εικόνες των εποχικών συνθέτων του Sentinel-2 και τα βοηθητικά δεδομένα, δηλαδή το ΨΜΕ και ο χάρτης Corine 2018.
- Μοντέλο 4(Model 4 – S2 TC + S1 TC + AUX): Στο τέταρτο μοντέλο εισάγονται ως δεδομένα στον ταξινομητή όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, δηλαδή οι εικόνες των εποχικών συνθέτων του Sentinel-2 και του Sentinel-1, το ΨΜΕ και ο χάρτης Corine 2018.

Επικουρικά δημιουργήθηκαν επίσης δύο ακόμα μοντέλα, με χρήση των εικόνων των εποχικών συνθέτων του Sentinel-1 και των βοηθητικών δεδομένων.

Για τα δύο αυτά μοντέλα δεν παρουσιάζονται αναλυτικά αποτελέσματα αλλά η απόδοση τους συμπεριλαμβάνεται στη Συγκριτική Ποσοτική και Ποιοτική Αξιολόγηση (υποκεφάλαιο 6.5).

4.5 Εφαρμογή Ταξινόμησης

Χρησιμοποιήθηκε η εντολή “ee.Image.sampleRegions”, με την οποία τα εικονοστοιχεία των εικόνων που τέμνονται με τα σημεία εκπαίδευσης μετατρέπονται σε στοιχεία (Features) και επιστρέφονται σε μία συλλογή στοιχείων (Feature Collection). Κάθε στοιχείο έχει μία ιδιότητα ανά κανάλι της εικόνας εισόδου, καθώς και την ιδιότητα (property) του κωδικού της θεματικής κατηγορίας στην οποία ανήκει, αντιγραμμένη από τα αρχικά διανυσματικά δεδομένα. Με τον ίδιο τρόπο, δημιουργείται το σετ στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ταξινόμησης. Ως στοιχεία εισόδου επιλέχθηκαν τα διανυσματικά αρχεία των σημείων εκπαίδευσης και ελέγχου που είχαν εισαχθεί ως “assets” στο GEE καθώς και η εικόνα με τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε πείραμα.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την εφαρμογή της ταξινόμησης επιλέχθηκε ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης Random Forests, ο οποίος διατίθεται στο GEE. Έγινε χρήση της εντολής “ee.Classifier.smileRandomForest” και ορίστηκαν οι παράμετροι όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 2.8.2 .

Στη συνέχεια ο ταξινομητής εκπαιδεύτηκε με τα δεδομένα εκπαίδευσης και την εικόνα προς ταξινόμηση, χρησιμοποιώντας την εντολή “ee.Classifier.train” και ορίζοντας την ιδιότητα που περιέχει τον κωδικό της θεματικής κατηγορίας ταξινόμησης.

Τα σημεία ελέγχου ταξινομήθηκαν με τον ταξινομητή για τον εσωτερικό έλεγχο του πειράματος. Τέλος, υπολογίστηκαν οι πίνακες σύγχυσης και ακριβειών (ολική, χρήστη και παραγωγού), καθώς και η σπουδαιότητα (importance) κάθε καναλιού της εικόνας που ταξινομήθηκε στο τελικό αποτέλεσμα με βάση το δείκτη Gini.

5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των τεσσάρων πειραμάτων, η συγκριτική τους αξιολόγηση και τέλος η παρουσίαση ορισμένων χαρακτηριστικών περιπτώσεων και η ανάλυση τους με εικόνες-παραδείγματα.

Συγκεκριμένα, αναλύονται τα αποτελέσματα με βάση τα μεγέθη ακρίβειας που αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 2.8.3, ενώ παρουσιάζονται ο πίνακας σύγχυσης και ταξινομημένος χάρτης για κάθε πείραμα.

5.1 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2 Δεδομένων

Το πρώτο μοντέλο ταξινόμησης αναφέρεται στα πειράματα με χρήση εποχικών συνθέτων Sentinel-2.

5.1.1Μοντέλο 1(Model 1 – S2 TC) – Tile: 34SEJ

Με βάση την αναφορά της ταξινόμησης με το πρώτο μοντέλο για το Tile 34SEJ η ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 90,50% ο μέσος όρος τιμών F1 για τις κατηγορίες των καλλιεργειών είναι 0,76, για τις γενικές 0,82 και για όλες τις κατηγορίες 0,81.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5,33) πετυχαίνουν τιμές του F1, άνω του 44%, με υψηλότερη την κατηγορία 33 των θερμοκηπίων (93,43%). Η κατηγορία 1 του πυκνού αστικού ιστού είχε τη χαμηλότερη τιμή (44,44%).

Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 90%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 80% έως 92%, με χαμηλότερη την κατηγορία 8 των φυσικών λιβαδιών.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 80% και 89%.

Για τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), χαμηλότερη τιμή δείκτη F1 είχε η κατηγορία 15 των Ποταμιών/ Υδατορευμάτων με 89,10%, ενώ υψηλότερη αυτή των ελαιώνων 97,73%. Γενικά πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά της τάξης άνω του 89%.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-29,31,32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 55% έως 99%, με την κατηγορία 30 της πατάτας να έχει μηδενικές τιμές.

Πίνακας 11: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το πρώτο μοντέλο στο Tile 34SEJ

Class	Code	PA	UA	F1 Score
DUF	1	33,33%	66,67%	44,44%
SUF	2	81,41%	67,91%	74,05%
ICU	3	70,97%	81,48%	75,86%
RAN	4	75,76%	83,33%	79,37%
PHV	5	76,79%	100,00%	86,87%
BLF	6	95,00%	87,02%	90,84%
CNF	7	99,00%	99,25%	99,12%
NGR	8	68,44%	96,77%	80,18%
DSV	9	91,59%	94,16%	92,86%
SSV	10	81,57%	81,02%	81,29%
SVA	11	77,67%	85,20%	81,27%
BDM	12	87,20%	74,19%	80,17%

RCK	13	88,83%	90,27%	89,54%
WTL	14	95,56%	100,00%	97,73%
WCR	15	85,63%	92,86%	89,10%
WBD	16	100,00%	95,24%	97,56%
CWT	17	88,33%	98,15%	92,98%
OLG	18	88,26%	82,15%	85,09%
VNY	19	83,90%	81,63%	82,75%
CTR	20	76,47%	90,95%	83,08%
POM	21	34,78%	78,05%	48,12%
STN	22	55,73%	66,97%	60,83%
NUT	23	52,78%	57,83%	55,19%
CRL	24	98,38%	96,10%	97,23%
CTN	25	99,53%	99,12%	99,32%
MAI	26	99,45%	99,73%	99,59%
TBC	27	96,54%	93,84%	95,17%
SFL	28	87,90%	90,15%	89,01%
PUL	29	59,06%	80,37%	68,09%
POT	30	0,00%	0,00%	0,00%
VEG	31	83,46%	86,38%	84,89%
GRF	32	95,10%	89,20%	92,05%
GRH	33	91,43%	95,52%	93,43%
FLW	34	75,50%	66,62%	70,78%
		AV, F1	80,53%	
		AV, F1 CROPS	75,70%	
		AV, F1 NO CROPS	84,81%	
		OA	0,9049	

Σύμφωνα με τον πίνακα σύγχυσης της ταξινόμησης χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

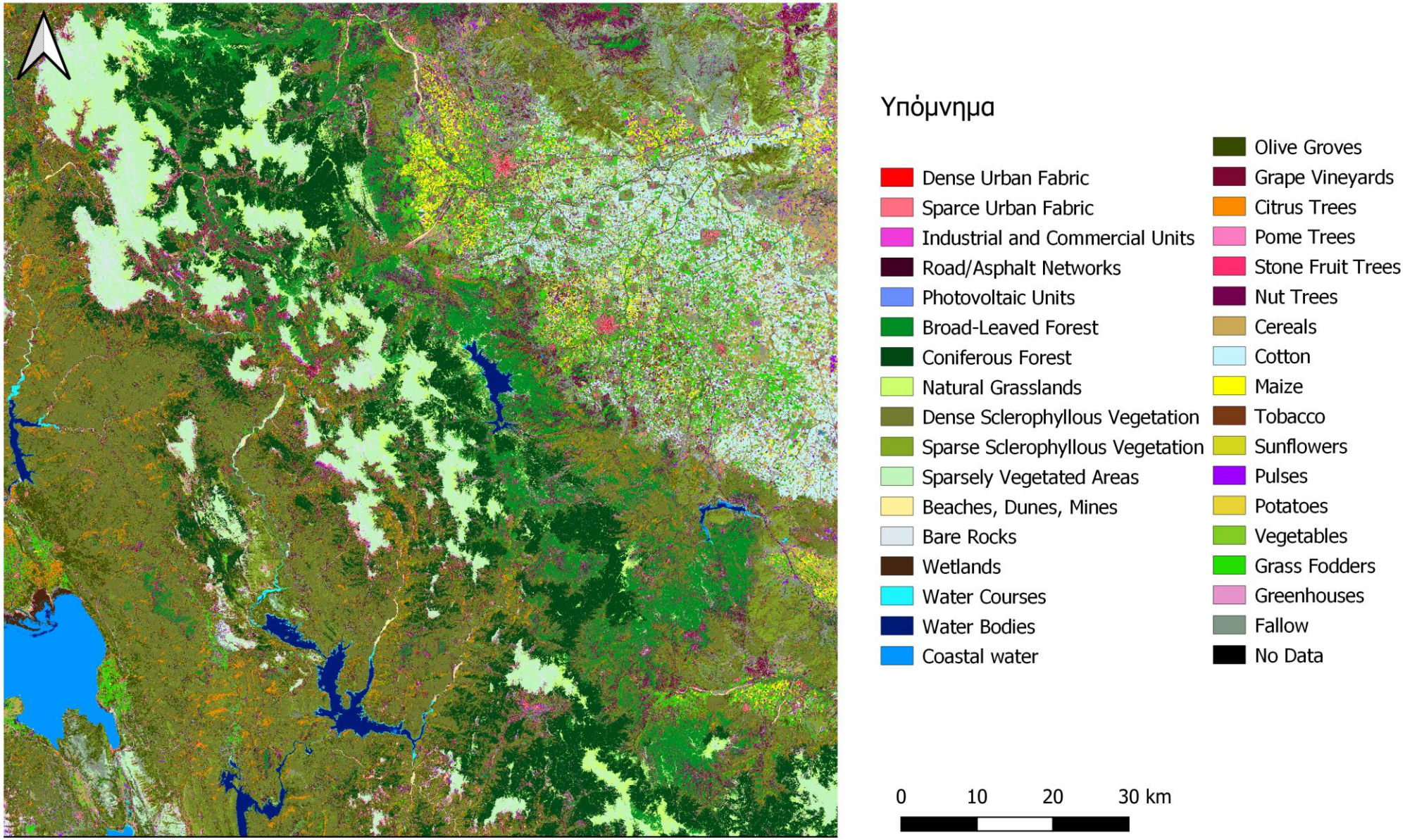
- Πυκνός Αστικός Ιστός (0,33): 35% των εικονοστοιχείων ελέγχου της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Αραιός Αστικός Ιστός και 12% ως Βιομηχανίες/Εμπορικές Μονάδες
- Φυσικά Λιβάδια (0,68): 17% των εικονοστοιχείων ως Αγρανάπαυση και 8% ως Φυσικοί Βοσκότοποι
- Μηλοειδή (0,35): Η πλειοψηφία των εικκονοστοιχείων αυτής της κατηγορίας ταξινομήθηκαν λανθασμένα στις κατηγορίες άλλων δενδρώδων καλλιεργειών(23% Ακρόδρυα, 10% Πυρηνόκαρπα, 9% Αμπελώνες) και σε άλλες καλλιέργειες (13% Κτηνοτροφικά Γρασίδια, και 7% Αγρανάπαυση)
- Πυρηνόκαρπα (0,56): 18% ως Ακρόδρυα και 10% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια
- Ακρόδρυα (0,53): 15% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια, 8% ως Αγρανάπαυση, 8% ως Πυρηνόκαρπα και 8% ως Αμπελώνες
- Όσπρια (0,59): το 16% αντιστοιχήθηκε ως Δημητριακά και 9% ως Αγρανάπαυση
- Πατάτες (0): τα εικονοστοιχεία της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα στο σύνολό τους ως Όσπρια και Αγρανάπαυση

Χαμηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυκνός Αστικός Ιστός (0,67): το 33% των ταξινομημένων οικονοστοιχείων σε αυτήν την κατηγορία προήρθαν κυρίως από την κατηγορία του Αραιού Αστικού Ιστού και Δρόμων & Ασφάλτινων Επιφανειών
- Αραιός Αστικός Ιστός (0,68): το 32% ανήκε κυρίως στον Πυκνό Αστικό Ιστό και στις

Εκτάσεις με Αραιή Βλάστηση

- Πυρηνόκαρπα (0,67): το 33% ανήκε κυρίως στα Ακρόδρυα και στα Πυρηνόκαρπα
- Πατάτα (0)
- Αγρανάπαυση (0,67): το 33% των ταξινομημένων οικονοστοιχείων σε αυτήν την κατηγορία ανήκαν κυρίως στα Κτηνοτροφικά Γρασίδια και στα Φυσικά Λιβάδια



Σχήμα 42: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το πρώτο μοντέλο

Πίνακας 12: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το πρώτο μοντέλο για το Tile 34SEJ

Model #1 34SEJ		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	31	32	33	34		
		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDM	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	CTR	POM	STN	NUT	CRL	CTN	MAI	TBC	SFL	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	14	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	42	0,33
2	SUF	3	127	0	1	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	4	0	0	0	0	0	5	0	1	0	0	3	156	0,81
3	ICU	0	1	44	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	62	0,71
4	RAN	3	3	0	50	0	0	0	0	0	0	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	66	0,76
5	PHV	0	0	0	1	43	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	56	0,77
6	BLF	0	0	0	0	0	228	0	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	240	0,95
7	CNF	0	0	0	0	0	0	396	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0,99
8	NGR	0	0	0	0	0	2	0	180	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	5	0	0	0	0	1	0	0	22	0	46	263	0,68
9	DSV	0	0	0	1	0	21	3	0	468	2	0	0	0	0	0	0	0	8	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	511	0,92
10	SSV	0	0	0	0	0	1	0	0	8	239	8	0	0	0	0	0	0	14	0	0	1	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	11	293	0,82
11	SVA	0	11	0	0	0	0	0	1	0	8	167	0	10	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	0	0	3	0	6	215	0,78
12	BDM	0	4	5	6	0	0	0	0	0	0	0	184	3	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	211	0,87
13	RCK	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	15	167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0,89
14	WTL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0,96
15	WCR	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	143	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	167	0,86
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	1,00
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0,88
18	OLG	0	1	0	0	0	0	0	0	7	20	0	0	0	0	0	0	0	451	1	9	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	2	511	0,88
19	VNY	0	7	0	0	0	3	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	2	271	0	1	3	7	0	0	0	8	0	1	0	1	6	0	7	323	0,84
20	CTR	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	46	0	221	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	289	0,76
21	POM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	1	32	9	21	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	6	92	0,35
22	STN	0	1	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	1	73	23	1	0	0	0	0	1	0	0	13	0	4	131	0,56
23	NUT	0	2	0	0	0	3	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	4	19	3	5	20	133	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	20	252	0,53
24	CRL	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2491	0	0	0	1	9	0	0	13	0	15	2532	0,98
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1904	0	5	3	0	0	1	0	0	0	1913	1,00
26	MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1458	0	2	0	0	2	0	0	0	1466	0,99
27	TBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	335	0	0	0	8	1	0	0	347	0,97
28	SFL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	2	247	7	0	16	0	0	0	281	0,88
29	PUL	1	9	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	49	0	1	0	12	176	0	6	6	0	26	298	0,59
30	POT	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	0	4	0	0	0	0	9	13	0,00
31	VEG	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	8	0	7	9	3	0	222	4	0	5	266	0,83
32	GRF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	2	0	2	14	9	0	0	0	0	0	0	0	1940	0	65	2040	0,95
33	GRH	0	1	4	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	1	0	0	0	64	0	70	0,91
34	FLW	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10	3	0	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	11	28	0	0	0	0	5	0	0	77	0	453	600	0,76
	sum	21	187	54	60	43	262	399	186	497	295	196	248	185	43	154	147	54	549	332	243	41	109	230	2592	1921	1462	357	274	219	0	257	2175	67	680	OA	
	UA	0,67	0,68	0,81	0,83	1,00	0,87	0,99	0,97	0,94	0,81	0,85	0,74	0,90	1,00	0,93	0,95	0,98	0,82	0,82	0,91	0,78	0,67	0,58	0,96	0,99	1,00	0,94	0,90	0,80	0,00	0,86	0,89	0,96	0,67		0,905

5.1.2Μοντέλο 1(Model 1 – S2 TC) – Tile: 35TLF

Με βάση την αναφορά της ταξινόμησης με το πρώτο μοντέλο για το Tile 35TLF η συνολική ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 86%, ο μέσος όρος τιμών F1 για τις κατηγορίες των καλλιεργειών είναι 0,67, για τις γενικές 0,82 και για όλες τις κατηγορίες 0,75.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5) πετυχαίνουν υψηλές τιμές του F1, της τάξης άνω του 87%, με υψηλότερη την κατηγορία 5 των Φωτοβολταικών (95%). Η κατηγορία 33 των Θερμοκηπίων είχε τη χαμηλότερη τιμή (12,15%), γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται στα λιγοστά δεδομένα αναφοράς.

Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 95%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 70% έως 93%, με χαμηλότερη την κατηγορία 11 των Εκτάσεων με Αραιή Βλάστηση.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 69% έως 72%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), πετυχαίνουν τιμές σε ποσοστά της τάξης άνω του 84%, με χαμηλότερη την κατηγορία 14 των Βάλτων/Υγροτόπων.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 19% έως 99%, με χαμηλότερη την κατηγορία 30 της Πατάτας, ενώ υψηλότερη η κατηγορία 23 των Ορυζώνων.

Πίνακας 13: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το πρώτο μοντέλο στο Tile 35TLF

Class	Code	PA	UA	F1 Score
DUF	1	81,74%	73,06%	77,16%
SUF	2	76,62%	63,11%	69,21%
ICU	3	71,98%	77,06%	74,43%
RAN	4	90,21%	85,48%	87,78%
PHV	5	90,77%	100,00%	95,16%
BLF	6	99,47%	98,07%	98,77%
CNF	7	94,43%	96,04%	95,23%
NGR	8	92,79%	93,64%	93,21%
DSV	9	91,49%	89,71%	90,59%
SSV	10	84,99%	80,04%	82,44%
SVA	11	72,95%	68,64%	70,73%
BDS	12	69,77%	76,43%	72,95%
RCK	13	71,52%	68,21%	69,82%
WTL	14	77,22%	92,67%	84,24%
WCR	15	97,30%	93,51%	95,36%
WBD	16	99,22%	99,22%	99,22%
CWT	17	100,00%	100,00%	100,00%
OLG	18	83,97%	86,58%	85,25%
VNY	19	59,61%	71,60%	65,05%
POM	20	20,59%	82,35%	32,94%
STN	21	51,12%	57,59%	54,17%
NUT	22	28,95%	48,35%	36,21%

RIC	23	99,44%	98,89%	99,16%
CRL	24	93,84%	87,84%	90,74%
CTN	25	96,59%	90,85%	93,63%
MAI	26	95,88%	95,80%	95,84%
TBC	27	88,13%	76,43%	81,86%
SFL	28	90,24%	78,17%	83,77%
PUL	29	35,85%	56,30%	43,80%
POT	30	11,29%	77,78%	19,72%
VEG	31	41,94%	65,37%	51,10%
GRF	32	75,53%	73,20%	74,35%
GRH	33	6,67%	100,00%	12,50%
FLW	34	68,52%	59,44%	63,66%
		AV, F1	74,71%	
		AV, F1 CROPS	66,95%	
		AV, F1 NO CROPS	81,60%	
		OA	0,8605	

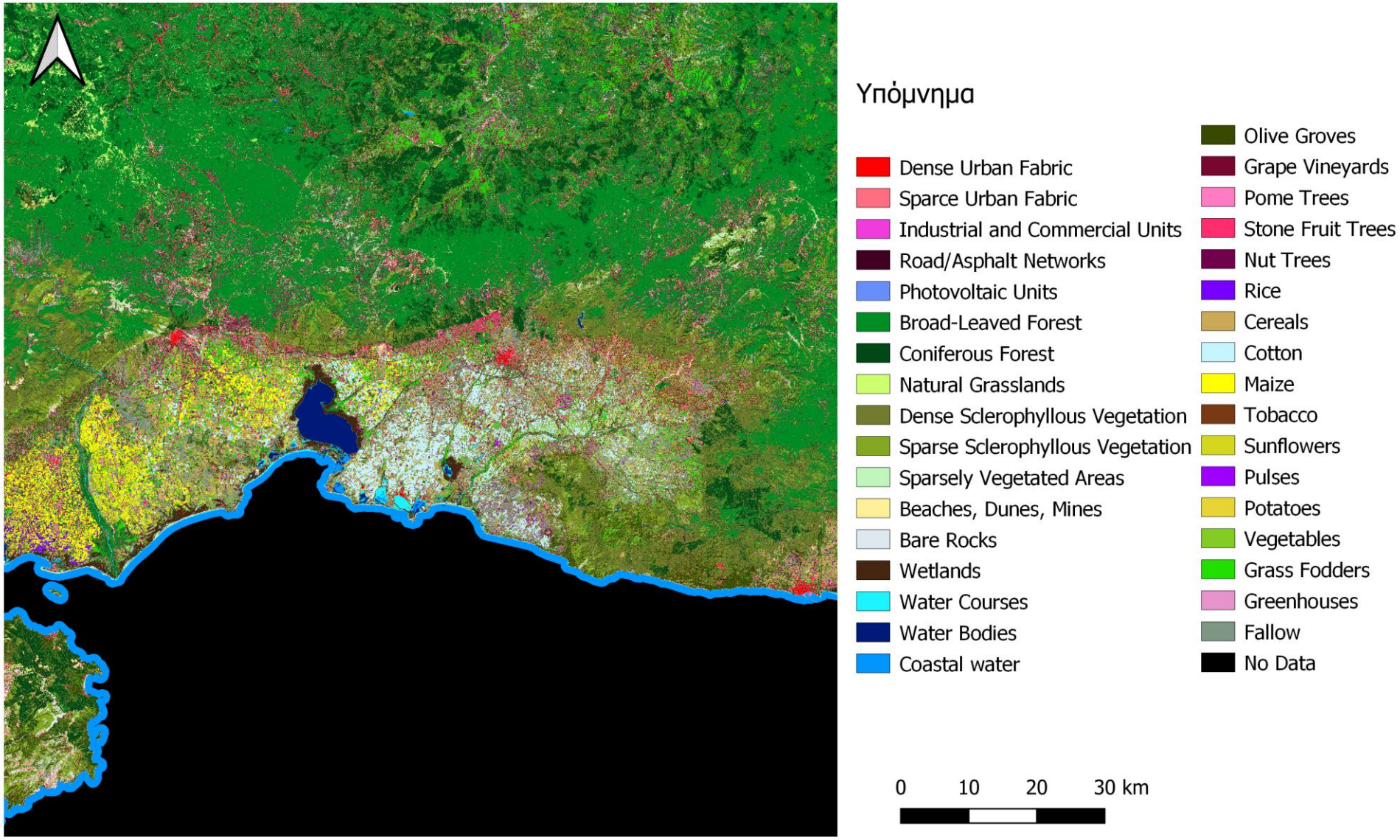
Σύμφωνα με τον πίνακα σύγχυσης της ταξινόμησης χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

- Αμπελώνες (0,60): το 7% των εικονοστοιχείων της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Καπνός, 5% ως Ελαιώνες, 5% ως Αγρανάπαυση και 5% ως Αραιη Σκλυροφυλλικη Βλαστηση
- Πυρηνόκαρπα (0,51): 12% ως Αγρανάπαυση και 9% Κτηνοτροφικά Γρασίδια
- Μηλοειδή (0,21): 16 % ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Ακρόδρυα, 9% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια , 9% ως Αγρανάπαυση, 7% ως Πυρηνόκαρπα και 7% ως Αμπελώνες
- Ακρόδρυα (0,29): 15% ως Αγρανάπαυση, 10% ως Πυρηνόκαρπασ, 7% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια και 7% ως Αραιος Αστικός Ιστός
- Πατάτες (0,11): 24% ως Ηλίανθοι, 16% ως Καπνά και 15% ως Κηπευτικά
- Κηπευτικά (0,42): 20% ως Καπνά, 13% ως Βαμβάκι και 11% Ηλίανθοι
- Όσπρια (0,36): 29% Ηλίανθοι, 8% ως κηπευτικά και 7% ως αραβόσιτος
- Θερμοκήπια (0): 20% ως Ηλίανθοι, 27% ως Δρόμοι/Ασφάλτινες Επιφάνειες, 20% ως Καπνά και 13 % ως Αραιος Αστικός Ιστός
-

Χαμηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυρηνόκαρπα (0,58) : 42%, κυρίως Μηλοειδή, Αμπελώνες, Πυρηνόκαρπασ και Ακρόδρυα
- Αραιός Αστικός Ιστός(0,63) : 37% κυρίως Ακρόδρυα και Πυκνός Αστικός Ιστός
- Ακρόδρυα (0,48): 52% κυρίως Μηλοειδή, Όσπρια, Κτηνοτροφικά Γρασίδια και Αγρανάπαυση
- Κηπευτικά (0,65): 35% κυρίως Καπνά και Όσπρια
- Όσπρια (0,56): 44%, κυρίως Ακρόδρυα και Κηπευικά
- Αγρανάπαυση (0,59): 41% κυρίως Σιτηρά, Ακρόδρυα και Πυρηνόκαρπα και Κτηνοτροφικά Γρασίδια
- Εκτάσεις με Αραιή Βλάστηση(0,69): 31% κυρίως Αραιή Σκλυροφυλλική Βλάστηση και Απογυμνωμένοι Βράχοι
- Απογυμνωμένοι Βράχοι (0,68): 32% κυρίως Εκτάσεις με Αραιή Βλάστηση και Παραλίες, Αμμόλοφοι, Ορυχεία

Το αποτέλεσμα της πρόβλεψης της ταξινόμησης παρουσιάζεται επίσης στον ακόλουθο ταξινομημένο χάρτη



Σχήμα 43: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το πρώτο μοντέλο

Πίνακας 14: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το πρώτο μοντέλο για το Tile 35TLF

Model #1		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	31	32	33	34		
35TLF		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDS	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	POM	STN	NUT	RIC	CRL	CTN	MAI	TBC	SUN	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	179	15	12	3	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	219	0,82
2	SUF	8	154	0	0	0	0	0	0	0	2	7	1	7	0	0	0	0	1	3	0	3	7	0	1	0	0	1	0	3	0	2	0	0	1	201	0,77
3	ICU	19	1	131	11	0	0	0	0	0	0	1	13	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0,72
4	RAN	3	0	14	212	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	235	0,90
5	PHV	0	0	0	5	59	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0,91
6	BLF	0	0	0	0	0	2647	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2661	0,99
7	CNF	0	0	0	0	0	17	1357	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1437	0,94
8	NGR	0	0	0	0	0	8	0	103	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	111	0,93
9	DSV	0	0	0	0	0	11	46	0	785	10	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	858	0,91
10	SSV	0	1	0	3	0	1	0	0	10	385	21	0	3	0	0	0	0	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	453	0,85
11	SVA	10	7	0	2	0	0	0	0	0	9	151	2	12	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	2	2	1	0	0	1	0	2	207	0,73
12	BDS	12	3	9	3	0	0	0	0	0	0	0	120	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	172	0,70
13	RCK	7	0	4	4	0	0	0	0	0	2	11	14	118	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	165	0,72
14	WTL	0	1	0	1	0	0	0	0	1	10	3	0	0	139	3	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	1	0	14	180	0,77
15	WCR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	74	0,97
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0,99
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	1,00
18	OLG	0	3	0	0	0	1	1	0	16	34	2	0	1	0	0	0	0	529	3	0	1	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	21	0	11	630	0,84
19	VNY	0	3	0	0	0	1	0	0	1	10	0	0	0	2	0	0	0	10	121	0	8	8	0	0	0	0	14	1	4	0	8	2	0	10	203	0,60
20	POM	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	5	14	5	11	0	0	0	0	3	3	0	0	2	6	0	6	68	0,21
21	STN	0	1	0	0	0	11	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	2	91	8	0	0	1	0	4	6	0	0	5	16	0	22	178	0,51
22	NUT	1	20	0	0	0	1	0	1	0	13	4	0	0	0	0	0	0	12	8	1	31	88	0	6	1	0	19	8	14	2	7	20	0	47	304	0,29
23	RIC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	179	0,99
24	CRL	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	701	0	0	0	2	1	0	0	18	0	22	747	0,94
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	963	1	24	3	1	0	3	0	0	0	997	0,97
26	MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	0	7	1232	8	25	3	0	3	0	0	0	1285	0,96
27	TBC	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	1	0	3	27	0	616	16	4	0	16	0	0	6	699	0,88
28	SUN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	9	31	12	666	6	0	4	0	0	5	738	0,90
29	PUL	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	10	0	0	2	14	9	62	76	0	18	0	0	5	212	0,36
30	POT	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	2	0	10	15	3	7	9	1	0	1	62	0,11
31	VEG	4	6	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	46	5	72	39	17	0	151	0	0	5	360	0,42
32	GRF	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	2	0	0	3	0	0	0	6	0	0	5	13	0	40	1	0	0	0	0	0	0	355	0	41	470	0,76
33	GRH	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	1	1	0	15	0,07
34	FLW	0	5	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	1	5	0	0	0	11	0	0	8	14	0	39	0	0	0	1	2	0	1	42	0	296	432	0,69
	sum	245	244	170	248	59	2699	1413	110	875	481	220	157	173	150	77	128	150	611	169	17	158	182	180	798	1060	1286	806	852	135	9	231	485	1	498	OA	
	UA	0,73	0,63	0,77	0,85	1,00	0,98	0,96	0,94	0,90	0,80	0,69	0,76	0,68	0,93	0,94	0,99	1,00	0,87	0,72	0,82	0,58	0,48	0,99	0,88	0,91	0,96	0,76	0,78	0,56	0,78	0,65	0,73	1,00	0,59		0,861

5.2 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2 & Sentinel-1 Δεδομένων

Το δεύτερο μοντέλο ταξινόμησης αναφέρεται στα πειράματα με χρήση εποχικών συνθέτων Sentinel-2 και Sentinel-1.

5.2.1 Μοντέλο 2(Model 2 – S2 TC & S1 TC) – Tile: 34SEJ

Στην ταξινόμηση με το δεύτερο μοντέλο για το Tile 34SEJ η συνολική ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 92,3%, ο μέσος όρος τιμών F1 για τις κατηγορίες των καλλιεργειών είναι 0,79, για τις γενικές 0,88 και για όλες τις κατηγορίες 0,83.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5,33) πετυχαίνουν τιμές του F1, άνω του 57%, με υψηλότερη την κατηγορία 33 των Θερμοκηπίων (93,53%). Η κατηγορία 1 του Πυκνού Αστικού Ιστού είχε τη χαμηλότερη τιμή (57,89%).

Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 92%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 81% έως 93%, με χαμηλότερη την κατηγορία 8 των Φυσικών Λιβαδιών.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 83% και 91%.

Για τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), χαμηλότερη τιμή δείκτη F1 είχε η κατηγορία 15 των Ποταμιών/ Υδατορευμάτων με 89,24%, ενώ απόλυτες τιμές ακρίβειας και αξιοπιστίας πετυχαίνουν οι κατηγορίες των Παράκτιων Υδάτων και Λιμνών/Υδατοδεξαμενών.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-29,31,32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 54% έως 99%, με την κατηγορία 30 της Πατάτας να έχει μηδενικές τιμές.

Πίνακας 15: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το δεύτερο μοντέλο στο Tile 34SEJ

Class	Code	PA	UA	F1 Score
DUF	1	52,38%	64,71%	57,89%
SUF	2	95,51%	84,66%	89,76%
ICU	3	70,97%	84,62%	77,19%
RAN	4	72,73%	85,71%	78,69%
PHV	5	75,00%	100,00%	85,71%
BLF	6	95,42%	89,80%	92,53%
CNF	7	98,75%	99,50%	99,12%
NGR	8	70,72%	95,88%	81,40%
DSV	9	91,98%	94,38%	93,16%
SSV	10	80,20%	89,35%	84,53%
SVA	11	84,19%	86,19%	85,18%
BDM	12	88,15%	78,81%	83,22%
RCK	13	91,49%	91,49%	91,49%
WTL	14	97,78%	100,00%	98,88%
WCR	15	84,43%	94,63%	89,24%
WBD	16	100,00%	100,00%	100,00%
CWT	17	100,00%	100,00%	100,00%
OLG	18	94,32%	81,42%	87,40%
VNY	19	89,16%	88,89%	89,03%

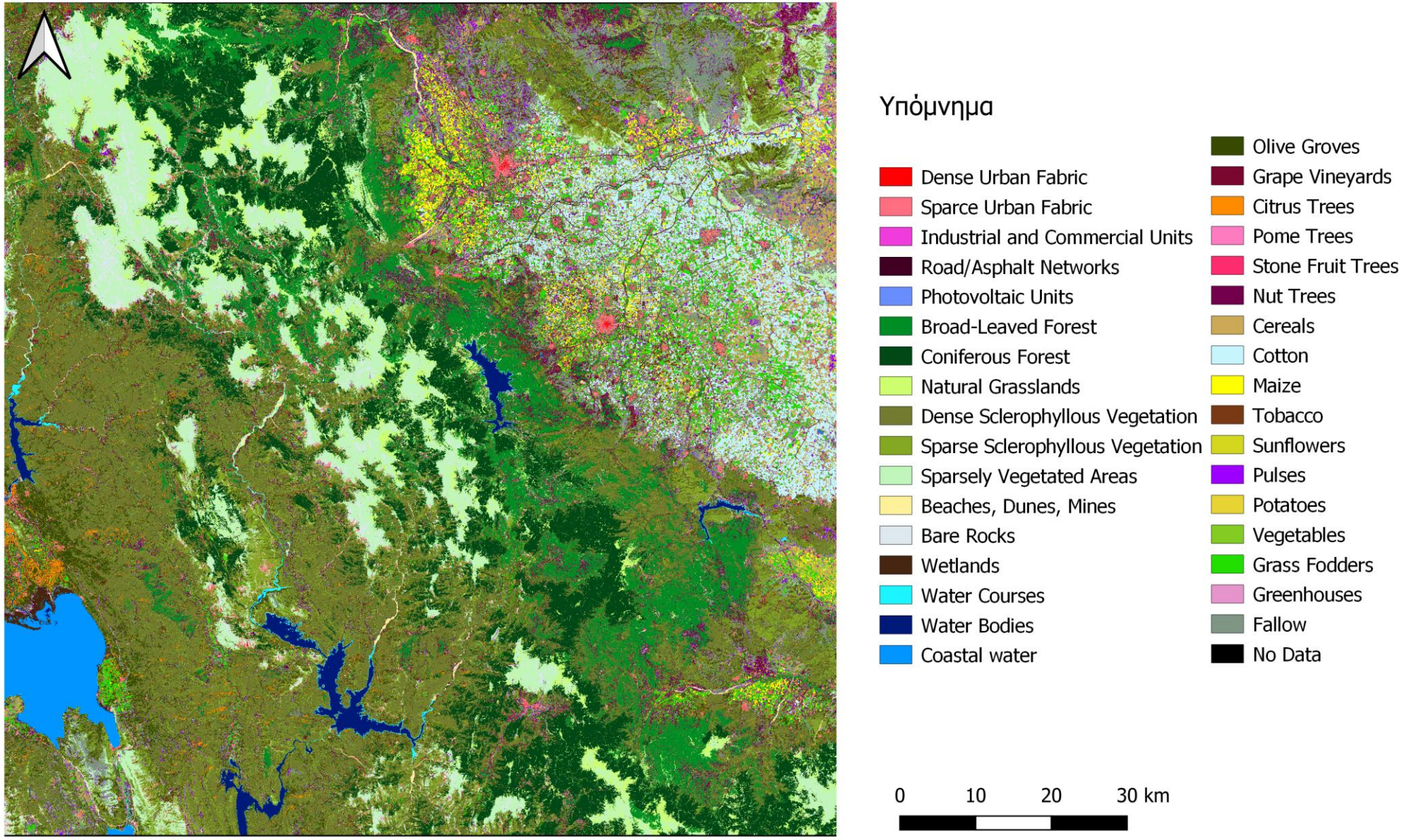
CTR	20	81,66%	95,16%	87,90%
POM	21	40,22%	82,22%	54,01%
STN	22	58,02%	76,00%	65,80%
NUT	23	62,70%	57,88%	60,19%
CRL	24	98,97%	96,02%	97,47%
CTN	25	99,69%	99,63%	99,66%
MAI	26	99,86%	99,80%	99,83%
TBC	27	97,69%	95,49%	96,58%
SFL	28	91,81%	92,81%	92,31%
PUL	29	63,30%	83,19%	71,89%
POT	30	0,00%	0,00%	0,00%
VEG	31	92,48%	91,11%	91,79%
GRF	32	95,98%	93,15%	94,54%
GRH	33	92,86%	94,20%	93,53%
FLW	34	77,89%	69,61%	73,52%
		AV, F1	83,63%	
		AV, F1 CROPS	78,87%	
		AV, F1 NO CROPS	87,86%	
		OA	0,9231	

Χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυκνός Αστικός Ιστός (0,52) : 35% ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Αραιός Αστικός Ιστός και 10% ως Παραλίες, Αμμόλοφοι, Ορυχεία
- Μηλοειδή (0,40) : 35% Ακρόδρυα και 7% Αγρανάπαυση
- Πυρηνόκαρπα (0,58) : 20% των εικονοστοιχείων χαρακτηρίστηκαν ως Ακρόδρυα και 7% ως Αμπελώνες
- Ακρόδρυα (0,63) : 10% των εικονοστοιχείων χαρακτηρίστηκαν λανθασμένα ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια, 10% ως Αγρανάπαυση και 5% ως Πυρηνόκαρπα
- Όσπρια (0,63) : 18% ως Δημητριακά και 8% ως Αγρανάπαυση
- Πατάτες (0) : τα εικονοστοιχεία της κατηγορίας αυτής χα
- ρακτηρίστηκαν λανθασμένα κυρίως ως Όσπρια και Αγρανάπαυση και Ηλίανθους

Χαμηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυκνός Αστικός Ιστός (0,65) :35%, κυρίως Αραιός Αστικός Ιστός και Δρόμοι & Ασφάλτινες Επιφάνειες
- Ακρόδρυα (0,58): 42% κυρίως Ακρόδρυα και Πυρηνόκαρπα
- Πατάτα (0)
- Αγρανάπαυση (0,70): 30% κυρίως Κτηνοτροφικά Γρασίδια και Φυσικά Βοσκοτόπια



Σχήμα 44: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το δεύτερο μοντέλο

Πίνακας 16: Ο πίνακας σύγχυσης (ConfusionMatrix) της ταξινόμησης με το δεύτερο μοντέλο για το Tile 34SEJ

Model #2		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	31	32	33	34		
34SEJ		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDM	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	CTR	POM	STN	NUT	CRL	CTN	MAI	TBC	SFL	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	22	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0,52
2	SUF	4	149	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156	0,96
3	ICU	3	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	62	0,71
4	RAN	4	0	0	48	0	0	0	0	0	0	3	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	66	0,73
5	PHV	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	56	0,75
6	BLF	0	0	0	0	0	229	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240	0,95
7	CNF	0	0	0	0	0	0	395	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0,99
8	NGR	0	0	0	0	0	1	0	186	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	3	9	0	0	0	0	1	0	0	21	0	37	263	0,71
9	DSV	0	0	0	0	0	20	2	0	470	5	1	0	0	0	0	0	0	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	511	0,92
10	SSV	0	0	0	0	0	0	0	0	11	235	12	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	293	0,80
11	SVA	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	181	0	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	215	0,84
12	BDM	0	0	5	6	0	0	0	0	0	0	0	186	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	211	0,88
13	RCK	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	9	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0,91
14	WTL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	45	0,98
15	WCR	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	21	0	0	141	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	167	0,84
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	1,00
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	1,00
18	OLG	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	0	0	0	0	0	0	482	0	5	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	511	0,94
19	VNY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	288	0	2	5	12	0	0	0	1	0	4	0	0	1	0	7	323	0,89
20	CTR	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	236	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	289	0,82
21	POM	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	37	3	32	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	7	92	0,40
22	STN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	2	76	27	0	0	0	0	0	4	0	0	6	0	7	131	0,58
23	NUT	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10	13	1	2	14	158	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25	252	0,63
24	CRL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2506	0	0	0	1	7	0	0	7	0	9	2532	0,99
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1907	0	5	0	0	0	1	0	0	0	1913	1,00
26	MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1464	0	0	1	0	0	0	0	0	1466	1,00
27	TBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	339	2	0	0	5	0	0	0	347	0,98
28	SFL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	3	258	1	0	12	0	0	0	281	0,92
29	PUL	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	2	54	0	1	0	10	188	0	6	2	0	24	297	0,63
30	POT	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	4	0	0	0	0	4	13	0,00
31	VEG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	7	3	1	0	246	0	0	4	266	0,92
32	GRF	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6	0	2	1	0	3	8	0	0	0	0	0	0	0	1958	0	60	2040	0,96
33	GRH	0	1	3	1	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	0	65	0	70	0,93
34	FLW	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	4	0	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	11	25	0	0	0	0	7	0	0	68	0	465	597	0,78
	sum	34	176	52	56	42	255	397	194	498	263	210	236	188	44	149	140	60	592	324	248	45	100	273	2610	1914	1467	355	278	226	0	270	2102	69	668	OA	
	UA	0,65	0,85	0,85	0,86	1,00	0,90	0,99	0,96	0,94	0,89	0,86	0,79	0,91	1,00	0,95	1,00	1,00	0,81	0,89	0,95	0,82	0,76	0,58	0,96	1,00	1,00	0,95	0,93	0,83	0,00	0,91	0,93	0,94	0,70		0,923

5.2.2 Μοντέλο 2(Model 2 – S2 TC & S1 TC) – Tile: 35TLF

Στην ταξινόμηση με το δεύτερο μοντέλο για το Tile 35TLF η συνολική ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 89,3%, ο μέσος όρος τιμών F1 για τις κατηγορίες των καλλιεργειών είναι 0,73, για τις γενικές 0,85 και για όλες τις κατηγορίες 0,80.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5) πετυχαίνουν υψηλές τιμές του F1, της τάξης άνω του 75%, με υψηλότερη την κατηγορία 5 των Φωτοβολταικών (96%). Η κατηγορία 33 των Θερμοκηπίων είχε τη χαμηλότερη τιμή (33,33%).

Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 96%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 76% έως 97%, με χαμηλότερη την κατηγορία 11 των Εκτάσεων με Αραιή Βλάστηση.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 75% έως 85%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), πετυχαίνουν τιμές σε ποσοστά της τάξης άνω του 88%, με χαμηλότερη την κατηγορία 14 των υγροτόπων.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 22% έως 99%, με χαμηλότερη την κατηγορία 30 της πατάτας, ενώ υψηλότερη η κατηγορία 23 των ορυζώνων.

Πίνακας 17: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το δεύτερο μοντέλο στο Tile 35TLF

Class	Code	PA	UA	F1 Score
DUF	1	88,13%	86,16%	87,13%
SUF	2	88,56%	85,99%	87,25%
ICU	3	73,63%	77,46%	75,49%
RAN	4	91,91%	88,89%	90,38%
PHV	5	92,31%	100,00%	96,00%
BLF	6	99,59%	98,40%	98,99%
CNF	7	95,34%	97,86%	96,58%
NGR	8	97,30%	97,30%	97,30%
DSV	9	93,71%	90,85%	92,25%
SSV	10	84,77%	83,48%	84,12%
SVA	11	80,19%	73,78%	76,85%
BDS	12	83,72%	86,75%	85,21%
RCK	13	76,97%	73,84%	75,37%
WTL	14	82,22%	95,48%	88,36%
WCR	15	97,30%	88,89%	92,90%
WBD	16	96,88%	100,00%	98,41%
CWT	17	100,00%	100,00%	100,00%
OLG	18	85,40%	86,36%	85,87%
VNY	19	64,53%	83,97%	72,98%
POM	20	29,41%	100,00%	45,45%
STN	21	68,54%	69,71%	69,12%
NUT	22	45,72%	58,40%	51,29%
RIC	23	100,00%	98,90%	99,44%

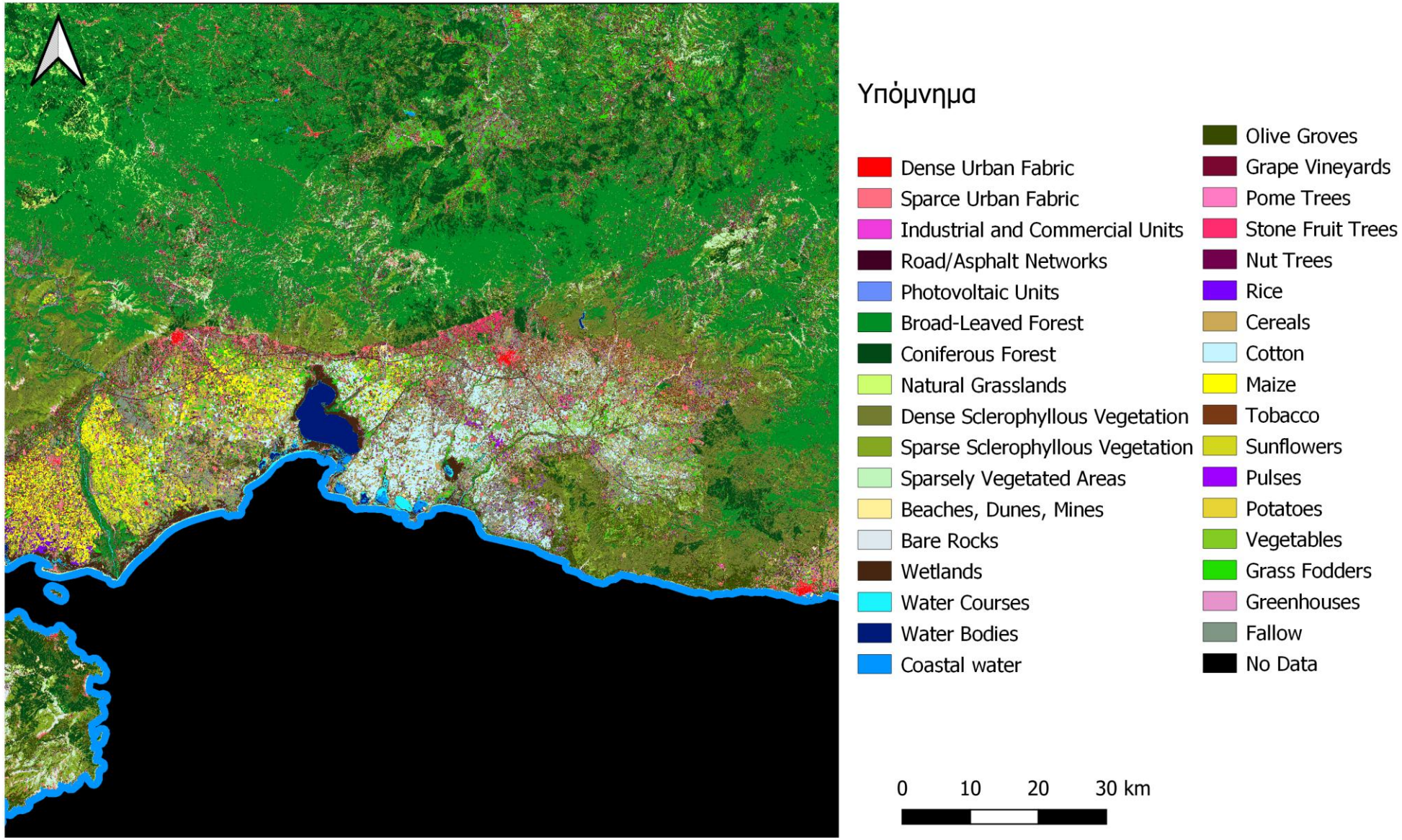
CRL	24	94,91%	90,43%	92,62%
CTN	25	97,69%	90,94%	94,20%
MAI	26	97,82%	97,74%	97,78%
TBC	27	90,56%	82,64%	86,42%
SFL	28	94,31%	87,00%	90,51%
PUL	29	47,64%	62,35%	54,01%
POT	30	12,90%	100,00%	22,86%
VEG	31	55,83%	70,03%	62,13%
GRF	32	78,94%	77,78%	78,35%
GRH	33	20,00%	100,00%	33,33%
FLW	34	72,92%	61,64%	66,81%
		AV, F1	79,68%	
		AV, F1 CROPS	73,42%	
		AV, F1 NO CROPS	85,24%	
		OA	0,8932	

Χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

- Αμπελώνες (0,65): 8% των εικονοστοιχείων της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκε λανθασμένα ως Ελαιώνες, 5% ως Ακρόδρυα, 4% ως Αγρανάπαυση, 4% ως Καπνά και 4% Πυρηνόκαρπα
- Πυρηνόκαρπα (0,69) : 8% των εικονοστοιχείων χαρακτηρίστικε ως Αγρανάπαυση, 4% ως Αμπελώνες και 4% ως Καπνά
- Μηλοειδή (0,29): 12 % ταξινομήθηκε λανθασμένα ως Πυρηνόκαρπα, 10% ως Ακρόδρυα, 10% ως Αγρανάπαυση, 7% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια και 7% ως Κηπευτικά και
- Ακρόδρυα (0,46): 16% ως Αγρανάπαυση, 7% ως Καπνά, 6% ως Πυρηνόκαρπα και 6% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια
- Πατάτες (0,13): 27% ως Ηλίανθοι , 16% ως Κηπευτικά, 13% ως Όσπρια και 8% ως Καπνά
- Κηπευτικά (0,56): 14% των εικονοστοιχείων ταξινομήθηκε ως Καπνά, 13% ως Βαμβάκι και 7% ως Όσπρια
- Όσπρια (0,48): 25% Ηλίανθοι και 9% Κηπευτικά
- Θερμοκήπια (0,20): 33% ως Ηλίανθοι, 13% ως Δρόμοι & Ασφάλτινες Επιφάνειες και 13 % ως Εκτάσεις με Αραιή Βλάστηση

Χαμηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Ακρόδρυα (0,58): 52% των ταξινομημένων οικονοστοιχείων σε αυτήν την κατηγορία προήρθαν κυρίως από τις κατηγορίες της Αγρανάπαυσης, των Αμπελώνων και λοιπών δενδρώδων
- Αγρανάπαυση (0,62): 37% των οικονοστοιχείων ανήκαν κυρίως στα Ακρόδρυα, τα Δημητριακά και τα Κτηνοτροφικά Γρασίδια
- Όσπρια (0,62): κυρίως Κηπευτικά, Πατάτες και Ακρόδρυα



Σχήμα 45: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το δεύτερο μοντέλο

Πίνακας 18: Ο πίνακας σύγχυσης (ConfusionMatrix) της ταξινόμησης με το δεύτερο μοντέλο για το Tile 35TLF

Model #2		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	31	32	33	34		
35TLF		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDS	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	POM	STN	NUT	RIC	CRL	CTN	MAI	TBC	SUN	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	193	15	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219	0,88
2	SUF	13	178	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201	0,89
3	ICU	14	4	134	7	0	0	0	0	0	3	1	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0,74
4	RAN	0	0	13	216	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	235	0,92
5	PHV	0	0	0	4	60	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0,92
6	BLF	0	0	0	0	0	2650	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2661	1,00
7	CNF	0	0	0	0	0	16	1370	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1437	0,95
8	NGR	0	0	0	0	0	3	0	108	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	111	0,97
9	DSV	0	0	0	0	0	13	25	0	804	9	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	858	0,94
10	SSV	0	3	0	3	0	1	0	0	10	384	21	0	3	0	0	0	0	24	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	453	0,85
11	SVA	3	2	0	0	0	0	0	0	0	9	166	0	16	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	1	207	0,80
12	BDS	0	0	10	4	0	0	0	0	0	0	0	144	9	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	172	0,84
13	RCK	1	0	7	4	0	0	0	0	0	1	15	7	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	165	0,77
14	WTL	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	148	4	0	0	1	1	0	1	1	0	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	15	180	0,82
15	WCR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	74	0,97
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0,97
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	1,00
18	OLG	0	1	0	0	0	1	0	0	16	29	0	1	0	0	0	0	0	538	2	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	13	630	0,85
19	VNY	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	16	131	0	9	11	0	1	1	0	8	0	3	0	6	1	0	8	203	0,65
20	POM	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	20	8	7	0	0	0	0	3	0	1	0	5	5	0	7	68	0,29
21	STN	0	0	0	0	0	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0	122	6	0	0	0	0	7	1	0	0	3	6	0	15	178	0,69
22	NUT	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	5	0	2	0	0	0	0	11	10	0	17	139	0	6	1	0	22	1	9	0	8	17	0	48	304	0,46
23	RIC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	1,00
24	CRL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	709	0	0	0	1	0	0	1	11	0	23	747	0,95
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	974	1	11	2	1	0	8	0	0	0	997	0,98
26	MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	0	3	1257	8	2	4	0	4	0	0	0	1285	0,98
27	TBC	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	32	1	633	4	3	0	10	0	0	7	699	0,91
28	SUN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	9	16	3	696	2	0	7	0	0	0	738	0,94
29	PUL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	0	8	10	52	101	0	19	0	0	8	212	0,48
30	POT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	3	1	5	17	8	8	10	0	0	2	62	0,13
31	VEG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	5	0	0	48	1	49	18	25	0	201	0	0	3	360	0,56
32	GRF	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	0	0	9	7	0	30	0	0	0	0	0	0	0	371	0	43	470	0,79
33	GRH	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	3	0	15	0,20
34	FLW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	7	0	0	5	21	0	29	0	0	0	0	3	0	2	45	0	315	432	0,73
	sum	224	207	173	243	60	2693	1400	111	885	460	225	166	172	155	81	124	150	623	156	20	175	238	181	784	1071	1286	766	800	162	8	287	477	3	511	OA	
	UA	0,86	0,86	0,77	0,89	1,00	0,98	0,98	0,97	0,91	0,83	0,74	0,87	0,74	0,95	0,89	1,00	1,00	0,86	0,84	1,00	0,70	0,58	0,99	0,90	0,91	0,98	0,83	0,87	0,62	1,00	0,70	0,78	1,00	0,62		0,893

5.3 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2 & Βοηθητικών Δεδομένων

Το τρίτο μοντέλο ταξινόμησης αναφέρεται στα πειράματα με χρήση εποχικών συνθέτων Sentinel-2 και των βοηθητικών δεδομένων (DEM & Corine Land Cover).

5.3.1 Μοντέλο 3(Model 3 – S2 TC & AUX) – Tile: 34SEJ

Στην ταξινόμηση με το τρίτο μοντέλο για το Tile 34SEJ η συνολική ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 92,7%, ο μέσος όρος τιμών F1 για τις κατηγορίες των καλλιεργειών είναι 0,79, για τις γενικές 0,91 και για όλες τις κατηγορίες 0,85.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5,33) πετυχαίνουν υψηλές τιμές του F1, της τάξης άνω του 60%, με υψηλότερη την κατηγορία 33 των Θερμοκηπίων (94,96%). Η κατηγορία 1 του Πυκνού Αστικού Ιστού είχε τη χαμηλότερη τιμή (60%).

Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 96%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 86% έως 96%, με χαμηλότερη την κατηγορία 8 των Φυσικών Λιβαδιών.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 88% και 93%.

Για τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), χαμηλότερη τιμή δείκτη F1 είχε η κατηγορία 15 των Ποταμιών/ Υδατορευμάτων με 88,82%, με τις υπόλοιπες κατηγορίες να πετυχαίνουν απόλυτη ακρίβεια και αξιοπιστία.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-29,31,32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 55% έως 99%, με την κατηγορία 30 της Πατάτας να έχει μηδενικές τιμές.

Πίνακας 19: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τρίτο μοντέλο για το Tile 34SEJ

Class	Code	PA	UA	F1 Score
DUF	1	50,00%	75,00%	60,00%
SUF	2	93,59%	89,02%	91,25%
ICU	3	91,94%	82,61%	87,02%
RAN	4	75,76%	90,91%	82,64%
PHV	5	78,57%	100,00%	88,00%
BLF	6	97,50%	95,90%	96,69%
CNF	7	99,25%	100,00%	99,62%
NGR	8	80,61%	93,39%	86,53%
DSV	9	98,04%	95,61%	96,81%
SSV	10	90,44%	90,14%	90,29%
SVA	11	90,23%	86,61%	88,38%
BDM	12	92,42%	85,15%	88,64%
RCK	13	94,15%	92,67%	93,40%
WTL	14	100,00%	100,00%	100,00%
WCR	15	83,23%	95,21%	88,82%
WBD	16	100,00%	100,00%	100,00%
CWT	17	100,00%	100,00%	100,00%
OLG	18	89,43%	90,32%	89,87%
VNY	19	85,14%	84,36%	84,75%

CTR	20	92,73%	89,93%	91,31%
POM	21	40,22%	90,24%	55,64%
STN	22	58,78%	71,30%	64,44%
NUT	23	58,73%	64,35%	61,41%
CRL	24	98,58%	96,07%	97,31%
CTN	25	99,74%	99,22%	99,48%
MAI	26	99,45%	99,86%	99,66%
TBC	27	97,12%	94,66%	95,87%
SFL	28	90,39%	95,49%	92,87%
PUL	29	63,30%	82,82%	71,76%
POT	30	0,00%	0,00%	0,00%
VEG	31	87,97%	86,99%	87,48%
GRF	32	95,15%	90,87%	92,96%
GRH	33	94,29%	95,65%	94,96%
FLW	34	76,05%	70,83%	73,34%
		AV, F1	85,04%	
		AV, F1 CROPS	78,63%	
		AV, F1 NO CROPS	90,73%	
		OA	0,9270	

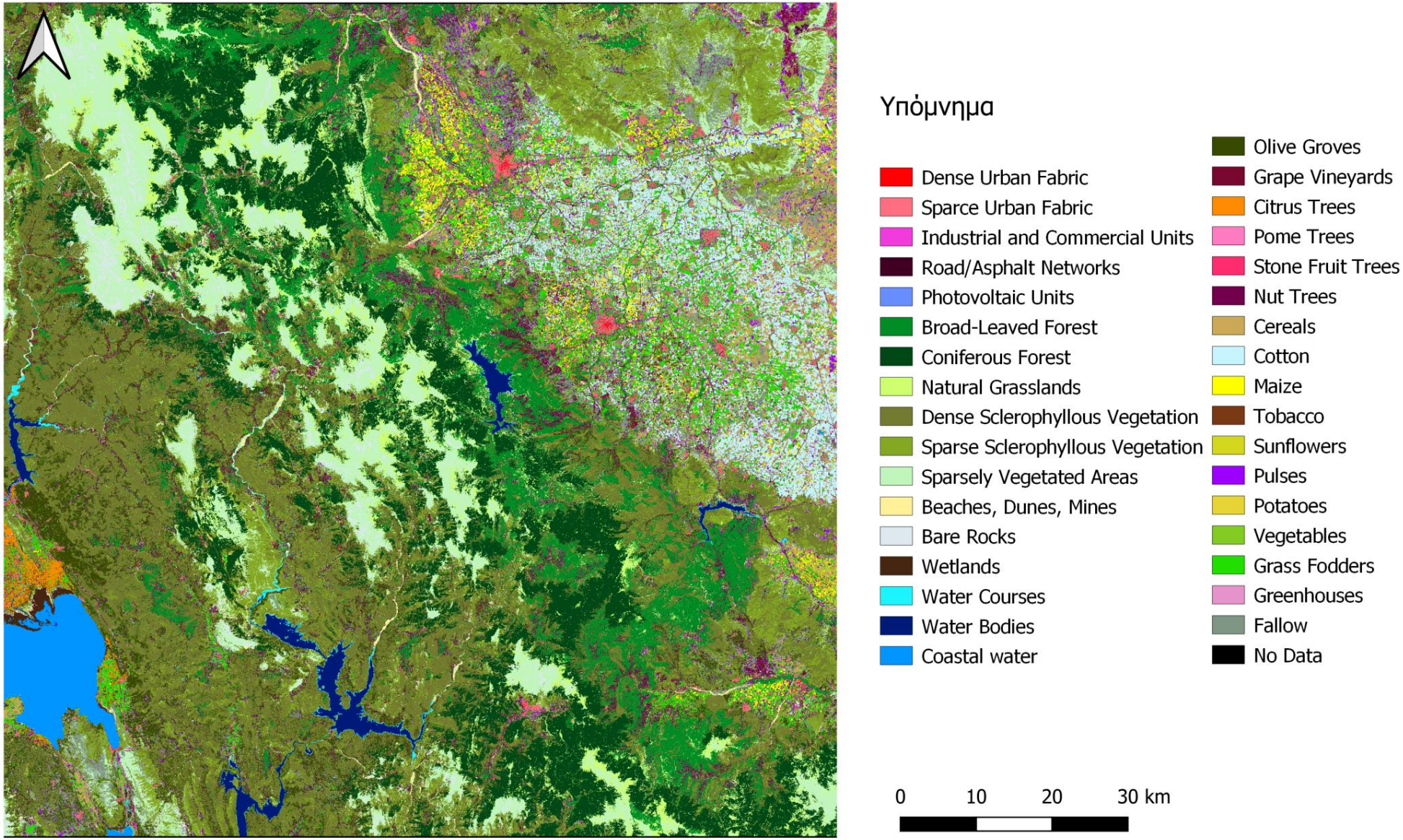
Χαμηλότερες τιμές ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυκνός Αστικός Ιστός (0,50): 35% των εικονοστοιχείων ελέγχου της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Αραιός Αστικός Ιστός και 12% ως Βιομηχανίες/Εμπορικές Μονάδες
- Μηλοειδή (0,40): 22% των εικονοστοιχείων χαρακτηρίστηκαν ως Ακρόδρυα, 14% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια, 7% ως Πυρηνόκαρπα και 6,5% ως Αμπελώνες
- Ακρόδρυα (0,59) : 15% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια, 8% ως Αγρανάπαυση, 7% ως Πυρηνόκαρπα και 6% ως Αμπελώνες
- Πυρηνόκαρπα (0,59) : 18% ως Ακρόδρυα, 10% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια και 9% ως Αμπελώνες
- Πατάτες (0) : τα εικονοστοιχεία της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Δημητριακά, Όσπρια και Αγρανάπαυση
- Όσπρια (0,63): 16,50% ως Δημητριακά και 8% ως Αγρανάπαυση
-

Χαμηλότερες τιμές αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυρηνόκαρπα (0,71): το 29% των ταξινομημένων στην κατηγορία αυτή εικονοστοιχεία ανήκαν κυρίως στα Ακρόδρυα και στα Μηλοειδή
- Ακρόδρυα (0,64): 36%, κυρίως Πυρηνόκαρπα, Μηλοειδή και Κτηνοτροφικά Γρασίδια
- Πατάτα (0)
- Αγρανάπαυση (0,71): 29%, κυρίως Κτηνοτροφικά Γρασίδια, Φυσικά Βοσκοτόπια και Όσπρια

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται επίσης στον ακόλουθο ταξινομημένο χάρτη.



Σχήμα 46: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το τρίτο μοντέλο

Πίνακας 20: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τρίτο μοντέλο για το Tile 34SEJ

Model #3		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	31	32	33	34		
34SEJ		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDM	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	CTR	POM	STN	NUT	CRL	CTN	MAI	TBC	SFL	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	21	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0,50
2	SUF	5	146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156	0,94
3	ICU	1	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	62	0,92
4	RAN	1	0	0	50	0	0	0	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	66	0,76
5	PHV	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	56	0,79
6	BLF	0	0	0	0	0	234	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240	0,98
7	CNF	0	0	0	0	0	0	397	0	3	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	400	0,99
8	NGR	0	0	0	0	0	0	0	212	0	1	7	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	9	0	28	263	0,81
9	DSV	0	0	0	0	0	3	0	0	501	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	511	0,98
10	SSV	0	0	0	0	0	1	0	1	11	265	8	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	293	0,90
11	SVA	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	194	0	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	215	0,90
12	BDM	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	1	195	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	211	0,92
13	RCK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0,94
14	WTL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	1,00
15	WCR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	26	0	0	139	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	167	0,83
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	1,00
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	1,00
18	OLG	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8	0	0	0	0	0	0	0	457	1	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3	511	0,89
19	VNY	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	275	0	0	3	11	0	0	0	7	0	4	0	1	7	0	7	323	0,85
20	CTR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	289	0,93
21	POM	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0	37	7	20	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	4	92	0,40
22	STN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	77	24	1	0	0	0	0	2	0	0	13	0	2	131	0,59
23	NUT	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	16	0	4	18	148	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	20	252	0,59
24	CRL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2496	1	0	0	0	6	0	0	13	0	14	2532	0,99
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1908	0	1	0	0	0	3	0	0	0	1913	1,00
26	MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1458	0	0	1	0	1	0	0	1	1466	0,99
27	TBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	337	0	0	0	8	1	0	0	347	0,97
28	SFL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	2	254	5	0	14	0	0	0	281	0,90
29	PUL	0	1	0	0	0	0	0	4	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	49	0	0	0	12	188	0	8	3	0	25	297	0,63
30	POT	0	0	0	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	5	0	0	0	0	5	13	0,00
31	VEG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	7	0	9	0	1	0	234	5	0	5	266	0,88
32	GRF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	2	2	0	1	14	9	0	0	0	0	0	0	0	1941	0	65	2040	0,95
33	GRH	0	0	3	1	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	0	66	0	70	0,94
34	FLW	0	0	0	0	0	0	0	7	0	3	1	0	0	0	0	0	0	9	4	0	0	0	8	29	0	0	0	0	7	0	0	75	0	454	597	0,76
	sum	28	164	69	55	44	244	397	227	524	294	224	229	191	45	146	140	60	506	326	298	41	108	230	2598	1923	1460	356	266	227	0	269	2136	69	641	OA	
	UA	0,75	0,89	0,83	0,91	1,00	0,96	1,00	0,93	0,96	0,90	0,87	0,85	0,93	1,00	0,95	1,00	1,00	0,90	0,84	0,90	0,90	0,71	0,64	0,96	0,99	1,00	0,95	0,95	0,83	0,00	0,87	0,91	0,96	0,71		0,927

5.3.2 Μοντέλο 3(Model 3 – S2 TC & AUX) – Tile: 35TLF

Στην ταξινόμηση με το τρίτο μοντέλο για το Tile 35TLF η συνολική ακρίβειά που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 88,62%, ο μέσος όρος τιμών F1 για τις κατηγορίες των καλλιεργειών είναι 0,70, για τις γενικές 0,87 και για όλες τις κατηγορίες 0,79.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5) πετυχαίνουν υψηλές τιμές του F1, της τάξης άνω του 87%, με υψηλότερη την κατηγορία 5 των Φωτοβολταικών (96%). Η κατηγορία 33 των Θερμοκηπίων είχε τη χαμηλότερη τιμή (0%).

Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 95%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 81% έως 96%, με χαμηλότερη την κατηγορία 11 των Εκτάσεων με Αραιή Βλάστηση.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 81% έως 90%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), πετυχαίνουν τιμές σε ποσοστά της τάξης άνω του 92%, με χαμηλότερη την κατηγορία 14 των Βάλτων/Υγροτόπων.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 29% έως 99%, με χαμηλότερη την κατηγορία 30 της Πατάτας, ενώ υψηλότερη η κατηγορία 23 των Ορυζώνων.

Πίνακας 21: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τρίτο μοντέλο στο Tile 35TLF

Class	Code	PA	UA	F1 Score
DUF	1	93,15%	91,07%	92,10%
SUF	2	86,07%	89,64%	87,82%
ICU	3	89,56%	91,57%	90,56%
RAN	4	92,77%	89,34%	91,02%
PHV	5	93,85%	100,00%	96,83%
BLF	6	99,81%	98,85%	99,33%
CNF	7	94,78%	96,60%	95,68%
NGR	8	95,50%	96,36%	95,93%
DSV	9	92,42%	90,73%	91,57%
SSV	10	90,07%	87,55%	88,79%
SVA	11	85,02%	78,57%	81,67%
BDS	12	88,95%	93,87%	91,34%
RCK	13	86,67%	81,25%	83,87%
WTL	14	90,56%	93,68%	92,09%
WCR	15	98,65%	97,33%	97,99%
WBD	16	100,00%	100,00%	100,00%
CWT	17	100,00%	100,00%	100,00%
OLG	18	88,57%	89,57%	89,07%
VNY	19	62,07%	80,25%	70,00%
POM	20	26,47%	69,23%	38,30%
STN	21	64,04%	65,14%	64,59%
NUT	22	37,17%	52,07%	43,38%
RIC	23	99,44%	98,89%	99,16%

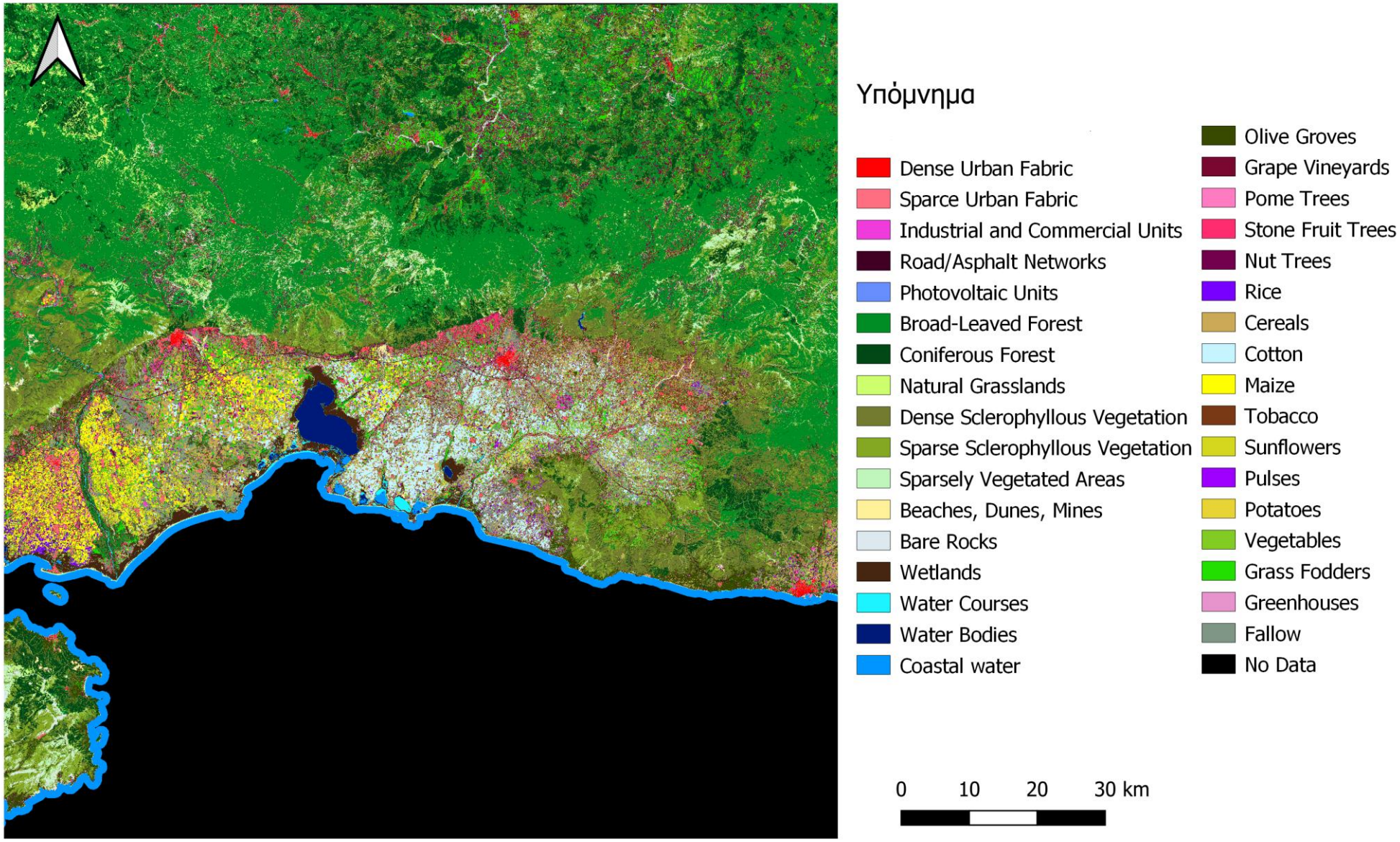
CRL	24	94,24%	87,45%	90,72%
CTN	25	95,99%	90,03%	92,91%
MAI	26	96,26%	96,19%	96,23%
TBC	27	89,70%	79,07%	84,05%
SFL	28	91,33%	79,76%	85,15%
PUL	29	41,98%	65,44%	51,15%
POT	30	17,74%	91,67%	29,73%
VEG	31	43,33%	65,00%	52,00%
GRF	32	77,02%	74,49%	75,73%
GRH	33	0,00%	0,00%	0,00%
FLW	34	71,30%	62,10%	66,38%
		AV, F1	79,56%	
		AV, F1 CROPS	70,53%	
		AV, F1 NO CROPS	87,59%	
		OA	0,8862	

Χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

- Αμπελώνες (0,62): 7% των εικονοστοιχείων της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Αγρανάπαυση, 6% ως Καπνό και 5% ως Ελαιώνες
- Πυρηνόκαρπα (0,64): 11% ως Αγρανάπαυση και 8% Κτηνοτροφικά Γρασίδια
- Μηλοειδή (0,26): 12% ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Ακρόδρυα, 10% ως Πυρηνόκαρπα, 10% ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια και 9% ως Αμπελώνες
- Ακρόδρυα (0,37): 14% ως Αγρανάπαυση και 10% ως Πυρηνόκαρπα
- Πατάτες (0,18): 23% των εικονοστοιχείων χαρακτηρίστηκαν ως Κηπευτικά, 18% ως Ηλίανθοι, 11% ως Καπνά και 8% ως Ακρόδρυα
- Κηπευτικά (0,43): 17% ως Καπνά, 14% ως Βαμβάκι και 13% ως Ηλίανθοι
- Όσπρια (0,42): 25% ως Ηλίανθοι, 9% ως Κηπευτικά και 8% ως Ακρόδρυα
- Θερμοκήπια (0): τα εικονοστοιχεία της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Δρόμοι/Ασφάλτινες Επιφάνειες, Ηλίανθοι, Καπνά και άλλα

Χαμηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυρηνόκαρπα (0,65): 35% των ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε αυτήν την κατηγορία ανήκαν σε άλλες κατηγορίες, κυρίως τα Ακρόδρυα
- Μηλοειδή (0,69): 31 % κυρίως Πυρηνόκαρπα και Αμπελώνες
- Ακρόδρυα (0,52): 48% κυρίως Ηλίανθοι, Αγρανάπαυση και λοιπές Δένδρωδεις καλλιέργειες
- Κηπευτικά (0,65): 35% κυρίως Πατάτες, Όσπρια και Καπνά
- Όσπρια (0,65): 35%, κυρίως Ακρόδρυα και Κηπευτικά
- Θερμοκήπια (0)
- Αγρανάπαυση (0,62): 38% κυρίως Αμπελώνες, Ακρόδρυα και Πυρηνόκαρπα



Σχήμα 47: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το τρίτο μοντέλο

Πίνακας 22: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τρίτο μοντέλο για το Tile 35TLF

Model #2		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	31	32	33	34		
35TLF		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDS	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	POM	STN	NUT	RIC	CRL	CTN	MAI	TBC	SUN	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	204	12	1	1	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	0	0	1	219	0,93
2	SUF	12	173	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	1	201	0,86
3	ICU	4	2	163	9	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0,90
4	RAN	4	0	9	218	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	235	0,93
5	PHV	0	0	0	3	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0,94
6	BLF	0	0	0	0	0	2656	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2661	1,00
7	CNF	0	0	0	0	0	17	1362	2	56	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	1437	0,95
8	NGR	0	0	0	0	0	5	0	106	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	111	0,96
9	DSV	0	0	0	0	0	7	42	0	793	11	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	858	0,92
10	SSV	0	0	0	0	0	1	0	0	9	408	17	0	3	0	0	0	0	11	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	453	0,90
11	SVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	176	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	207	0,85
12	BDS	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	153	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	172	0,89
13	RCK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	14	3	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	165	0,87
14	WTL	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	163	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	180	0,91
15	WCR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	74	0,99
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	1,00
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	1,00
18	OLG	0	0	0	0	0	0	0	0	13	15	0	0	1	0	0	0	0	558	3	0	0	8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	19	0	10	630	0,89
19	VNY	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	10	126	2	7	9	0	0	4	0	13	0	4	0	8	1	0	14	203	0,62
20	POM	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	18	7	8	0	0	0	0	3	3	0	0	2	7	0	5	68	0,26
21	STN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	114	8	0	0	3	0	7	2	0	0	3	14	0	19	178	0,64
22	NUT	0	3	0	0	0	1	0	1	0	6	2	0	1	0	0	0	0	12	10	1	30	113	0	6	1	0	20	7	15	0	9	22	0	44	304	0,37
23	RIC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	179	0,99
24	CRL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	704	0	0	1	1	0	0	0	17	0	22	747	0,94
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	957	0	27	8	0	0	4	0	0	0	997	0,96
26	MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	6	1237	5	24	3	0	3	0	0	0	1285	0,96
27	TBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	5	0	5	27	0	627	12	2	0	15	0	0	3	699	0,90
28	SUN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	13	28	7	674	2	0	4	0	0	6	738	0,91
29	PUL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	16	0	0	1	16	5	52	89	0	19	0	0	6	212	0,42
30	POT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	0	3	2	0	7	11	3	11	14	1	0	1	62	0,18
31	VEG	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	5	0	0	0	0	1	2	0	0	10	0	0	49	4	61	47	14	0	156	1	0	5	360	0,43
32	GRF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	3	0	0	0	4	1	1	6	9	0	38	0	0	0	0	0	0	0	362	0	41	470	0,77
33	GRH	0	1	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	1	1	0	0	15	0,00
34	FLW	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	8	0	0	0	9	0	0	7	10	0	42	0	0	0	1	2	0	0	40	0	308	432	0,71
	sum	224	193	178	244	61	2687	1410	110	874	466	224	163	176	174	75	128	150	623	157	26	175	217	180	805	1063	1286	793	845	136	12	240	486	0	496	OA	
	UA	0,91	0,90	0,92	0,89	1,00	0,99	0,97	0,96	0,91	0,88	0,79	0,94	0,81	0,94	0,97	1,00	1,00	0,90	0,80	0,69	0,65	0,52	0,99	0,87	0,90	0,96	0,79	0,80	0,65	0,92	0,65	0,74	0,00	0,62		0,886

5.4 Αποτελέσματα με Χρήση Sentinel-2, Βοηθητικών & Sentinel-1 Δεδομένων

Το τέταρτο μοντέλο ταξινόμησης αναφέρεται στα πειράματα με χρήση εποχικών συνθέτων Sentinel-2 και Sentinel-1 και των βοηθητικών δεδομένων (DEM & Corine Land Cover)

5.4.1 Μοντέλο 4(Model 4 – S2 TC & AUX & S1TC) – Tile: 34SEJ

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε με το τέταρτο μοντέλο για το Tile 34SEJ,παρατηρήθηκε συνολική ακρίβεια της τάξης του 93,5%. Οι μέσοι όροι των τιμών F1 ήταν όμοια υψηλοί, της τάξης του 0,80 για τις καλλιέργειες, του 0,91 για τις γενικές και 0,86 στο σύνολο.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5,33) πετυχαίνουν υψηλές τιμές του F1, της τάξης άνω του 64%, με υψηλότερη την κατηγορία 2 του Αραιού Αστικού Ιστού (93,08%). Η κατηγορία 1 του Πυκνού Αστικού Ιστού είχε τη χαμηλότερη τιμή (64%).
Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 97%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 81% έως 96%, με χαμηλότερη την κατηγορία 8 των Φυσικών Λιβαδιών.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 89% και 94%.

Για τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), χαμηλότερη τιμή δείκτη F1 είχε η κατηγορία 15 των Ποταμιών/ Υδατορευμάτων με 90,57%, με τις υπόλοιπες κατηγορίες να πετυχαίνουν απόλυτη ακρίβεια και αξιοπιστία.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-29,31,32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 56% έως 99%, με την κατηγορία 30 της Πατάτας να έχει μηδενικές τιμές, ενώ υψηλότερες οι κατηγορίες 25 και 26 του Βαμβακιού και του Αραβόσιτου αντίστοιχα.

Πίνακας 23: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τέταρτο μοντέλο στο Tile 34SEJ

		PA	UA	F1 Score
DUF	1	59,52%	69,44%	64,10%
SUF	2	94,87%	91,36%	93,08%
ICU	3	88,71%	80,88%	84,62%
RAN	4	74,24%	89,09%	80,99%
PHV	5	73,21%	100,00%	84,54%
BLF	6	98,75%	95,56%	97,13%
CNF	7	99,25%	100,00%	99,62%
NGR	8	77,19%	93,98%	84,76%
DSV	9	98,04%	95,79%	96,91%
SSV	10	88,74%	91,55%	90,12%
SVA	11	92,09%	86,46%	89,19%
BDM	12	91,47%	87,33%	89,35%
RCK	13	95,21%	92,75%	93,96%
WTL	14	100,00%	100,00%	100,00%
WCR	15	86,23%	95,36%	90,57%
WBD	16	100,00%	100,00%	100,00%
CWT	17	100,00%	100,00%	100,00%

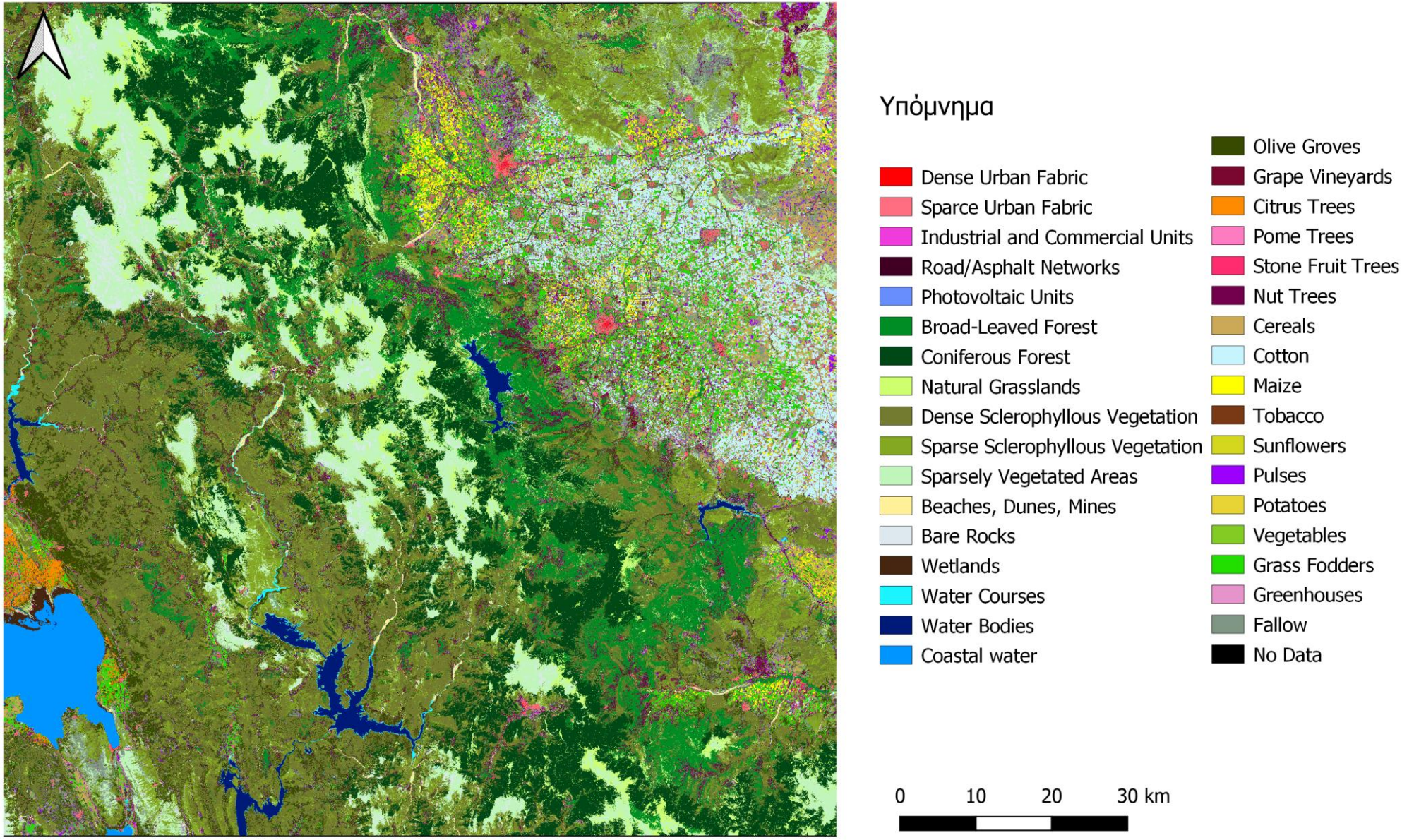
OLG	18	93,54%	89,85%	91,66%
VNY	19	90,71%	86,94%	88,79%
CTR	20	94,81%	95,14%	94,97%
POM	21	40,22%	92,50%	56,06%
STN	22	57,25%	76,53%	65,50%
NUT	23	65,48%	63,71%	64,58%
CRL	24	99,01%	96,39%	97,68%
CTN	25	99,79%	99,63%	99,71%
MAI	26	99,86%	99,80%	99,83%
TBC	27	97,69%	96,86%	97,27%
SFL	28	92,17%	96,64%	94,35%
PUL	29	66,33%	85,28%	74,62%
POT	30	0,00%	0,00%	0,00%
VEG	31	92,86%	91,14%	91,99%
GRF	32	95,88%	93,68%	94,77%
GRH	33	94,29%	95,65%	94,96%
FLW	34	75,71%	69,43%	72,44%
		AV, F1	85,83%	
		AV, F1 CROPS	80,26%	
		AV, F1 NO CROPS	90,77%	
		OA	0,9352	

Χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυκνός Αστικός Ιστός (0,59): 31% των εικονοστοιχείων ελέγχου της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Αραιός Αστικός Ιστός και 10% ως Βιομηχανίες/Εμπορικές Μονάδες
- Μηλοειδή (0,40): 31% ως Ακρόδρυα, 7% ως Αγρανάπαυση και 5% ως Πυρηνόκαρπα
- Ακρόδρυα (0,65): 9,5% των εικονοστοιχείων χαρακτηρίστηκαν ως Κτηνοτροφικά Γρασίδια, 9% ως Αγρανάπαυση, 6% ως Αμπελώνες και 5% ως Πυρηνόκαρπα
- Πυρηνόκαρπα (0,57): 21% ως Ακρόδρυα, 9% ως Αμπελώνες
- Πατάτες (0): η πλειοψηφία των εικονοστοιχείων της κατηγορίας αυτής ταξινομήθηκε λανθασμένα ως Όσπρια και Αγρανάπαυση
- Όσπρια (0,66): 15% ως Δημητριακά και 9,5% ως Αγρανάπαυση

Χαμηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Πυκνός Αστικός Ιστός (0,69): 31% των ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε αυτήν την κατηγορία ανήκαν σε άλλες κατηγορίες, κυρίως του Αραιού Αστικού Ιστού και Δρόμων/Ασφάλτινων Επιφανειών
- Ακρόδρυα (0,64): 36%, κυρίως Πυρηνόκαρπα, Μηλοειδή και Αγρανάπαυση
- Πατάτα (0)
- Αγρανάπαυση (0,69): 31%, κυρίως Κτηνοτροφικά Γρασίδια, Φυσικά Βοσκοτόπια και Όσπρια



Σχήμα 48: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το τέταρτο μοντέλο

Πίνακας 24: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τέταρτο μοντέλο για το Tile 34SEJ

Model #4		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	31	32	33	34		
34SEJ		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDM	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	CTR	POM	STN	NUT	CRL	CTN	MAI	TBC	SFL	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	25	13	4	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	0	0	0	0	42	0,60
2	SUF	6	148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156	0,95
3	ICU	2	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	62	0,89
4	RAN	3	1	0	49	0	0	0	0	0	0	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	66	0,74
5	PHV	0	0	0	1	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	56	0,73
6	BLF	0	0	0	1	0	237	0	0	2	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	240	0,99
7	CNF	0	0	0	0	0	0	397	0	3	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	400	0,99
8	NGR	0	0	0	0	0	0	0	203	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	5	0	0	0	0	1	0	0	13	0	33	263	0,77
9	DSV	0	0	0	0	0	3	0	0	501	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	511	0,98
10	SSV	0	0	0	0	0	1	0	0	11	260	12	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	293	0,89
11	SVA	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	198	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	215	0,92
12	BDM	0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	1	193	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	211	0,91
13	RCK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0,95
14	WTL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	1,00
15	WCR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	21	0	0	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	167	0,86
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	1,00
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	1,00
18	OLG	0	0	0	0	0	1	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	478	0	14	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	4	511	0,94
19	VNY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	293	0	2	5	10	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	7	323	0,91
20	CTR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	274	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	289	0,95
21	POM	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	0	37	5	29	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	7	92	0,40
22	STN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	1	75	28	0	0	0	0	0	3	0	0	8	0	4	131	0,57
23	NUT	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	15	0	0	12	165	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	23	252	0,65
24	CRL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2507	0	0	0	1	4	0	0	7	0	11	2532	0,99
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1909	0	3	0	0	0	1	0	0	0	1913	1,00
26	MAI	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	1464	0	0	1	0	0	0	0	1	1466	1,00
27	TBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	339	0	0	0	5	0	0	0	347	0,98
28	SFL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	2	259	2	0	12	0	0	0	281	0,92
29	PUL	0	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	2	45	0	0	0	8	197	0	5	1	0	28	297	0,66
30	POT	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	0	6	0	1	0	0	6	13	0,00
31	VEG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	0	6	0	1	0	247	0	0	6	266	0,93
32	GRF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9	1	0	0	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	1956	0	59	2040	0,96
33	GRH	0	0	3	1	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	0	66	2	72	0,94
34	FLW	0	0	0	0	0	0	0	7	0	4	6	0	0	0	0	0	0	7	5	0	0	0	13	29	0	0	0	0	8	0	0	66	0	452	597	0,76
	sum	36	162	68	55	41	248	397	216	523	284	229	221	193	45	151	140	60	532	337	288	40	98	259	2601	1916	1467	350	268	231	0	271	2088	69	653	OA	
	UA	0,69	0,91	0,81	0,89	1,00	0,96	1,00	0,94	0,96	0,92	0,86	0,87	0,93	1,00	0,95	1,00	1,00	0,90	0,87	0,95	0,93	0,77	0,64	0,96	1,00	1,00	0,97	0,97	0,85	0,00	0,91	0,94	0,96	0,69		0,923

5.4.2 Μοντέλο 4(Model 4 – S2 TC & AUX & S1TC) – Tile: 35TLF

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε με το τέταρτο μοντέλο για το Tile 35TLF,παρατηρήθηκε συνολική ακρίβεια της τάξης του 93,5%. Οι μέσοι όροι των τιμών F1 ήταν όμοια υψηλοί, της τάξης του 0,80 για τις καλλιέργειες, του 0,91 για τις γενικές και 0,86 στο σύνολο.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις τεχνητές επιφάνειες (1,2,3,4,5) πετυχαίνουν υψηλές τιμές του F1, της τάξης άνω του 89%, με υψηλότερη την κατηγορία 5 των φωτοβολταικών (96,06%). Η κατηγορία 33 των θερμοκηπίων είχε τη χαμηλότερη τιμή (22%), γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται στα λιγοστά δεδομένα αναφοράς.

Οι δασικές κατηγορίες (6,7) πετυχαίνουν υψηλά ποσοστά άνω του 96%.

Οι κατηγορίες που αφορούν σε θαμνώδεις περιοχές και λιβάδια (8,9,10,11), στο δείκτη F1 τα αποτελέσματα τους κυμαίνονται σε ποσοστά από 81% έως 96%, με χαμηλότερη την κατηγορία 11 των εκτάσεων με αραιή βλάστηση.

Οι κατηγορίες που αφορούν χέρσα τμήματα γης και παραλίες (12,13), πετυχαίνουν ποσοστά 80% έως 89%.

Οι κατηγορίες που αφορούν τις υδάτινες επιφάνειες (14,15,16,17), πετυχαίνουν τιμές σε ποσοστά της τάξης άνω του 93%, με χαμηλότερη την κατηγορία 14 των υγροτόπων.

Τα ποσοστά του δείκτη F1 στις κατηγορίες των καλλιεργειών (18-32,34), κυμαίνονται σε τιμές από 27% έως 99%, με χαμηλότερη την κατηγορία 30 της πατάτας, ενώ υψηλότερη η κατηγορία 23 των ορυζώνων.

Πίνακας 25: Πίνακας αποτελεσμάτων Ακρίβειας, Αξιοπιστίας και Δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τέταρτο μοντέλο στο Tile 35TLF

		PA	UA	F1 Score
DUF	1	92,24%	93,52%	92,87%
SUF	2	91,54%	89,32%	90,42%
ICU	3	89,56%	89,07%	89,32%
RAN	4	92,77%	91,98%	92,37%
PHV	5	93,85%	98,39%	96,06%
BLF	6	99,70%	98,77%	99,23%
CNF	7	95,06%	98,06%	96,54%
NGR	8	96,40%	97,27%	96,83%
DSV	9	94,29%	90,90%	92,56%
SSV	10	89,18%	90,38%	89,78%
SVA	11	86,47%	76,82%	81,36%
BDM	12	87,79%	90,42%	89,09%
RCK	13	82,42%	79,07%	80,71%
WTL	14	92,22%	94,32%	93,26%
WCR	15	100,00%	93,67%	96,73%
WBD	16	100,00%	100,00%	100,00%
CWT	17	100,00%	100,00%	100,00%
OLG	18	88,57%	88,85%	88,71%
VNY	19	70,44%	83,63%	76,47%
POM	20	27,94%	100,00%	43,68%
STN	21	76,40%	75,14%	75,77%

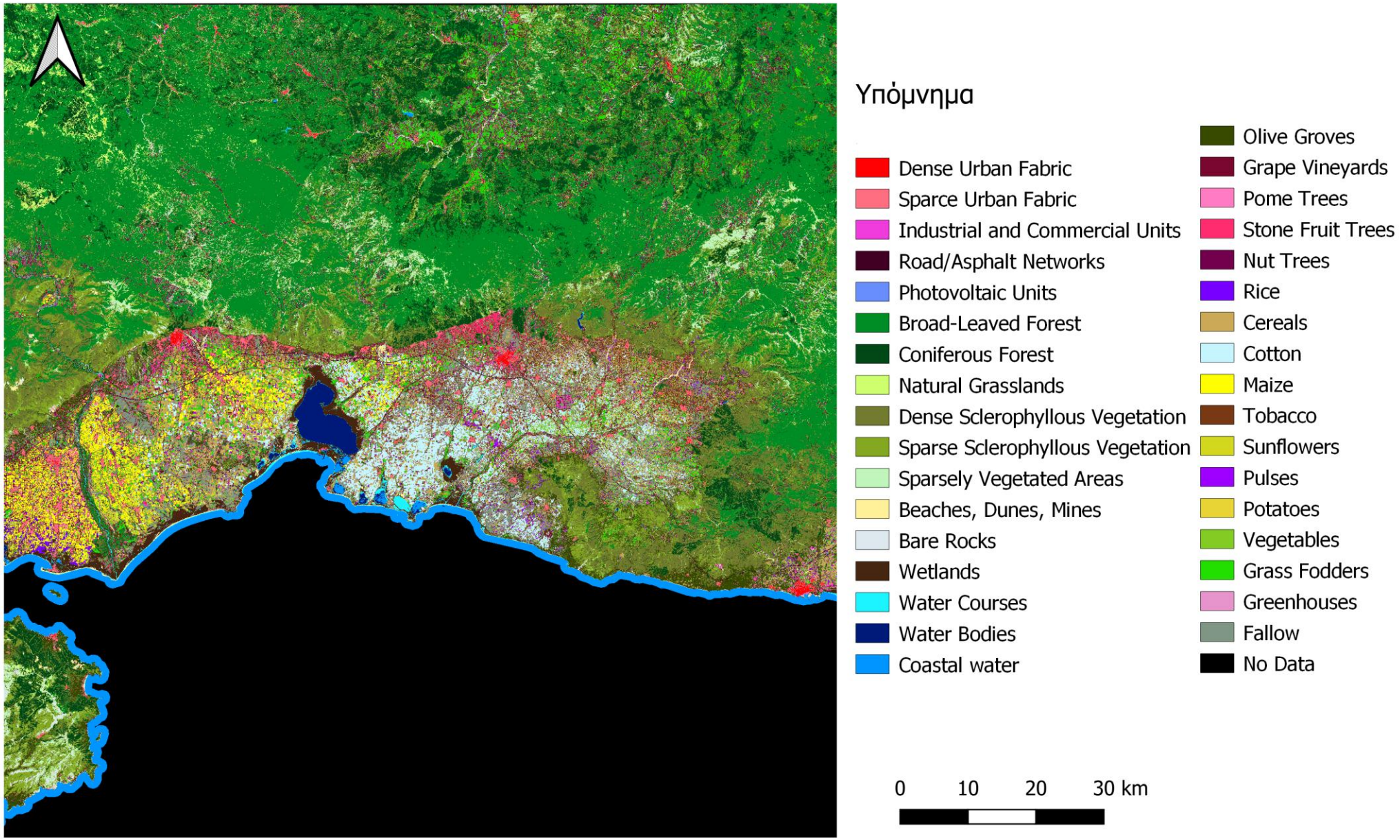
NUT	22	48,03%	64,32%	54,99%
RIC	23	100,00%	99,44%	99,72%
CRL	24	95,98%	89,74%	92,76%
CTN	25	97,99%	90,80%	94,26%
MAI	26	97,74%	97,82%	97,78%
TBC	27	89,70%	84,62%	87,08%
SFL	28	94,58%	86,92%	90,59%
PUL	29	50,94%	65,85%	57,45%
POT	30	16,13%	90,91%	27,40%
VEG	31	57,22%	71,78%	63,68%
GRF	32	78,30%	78,63%	78,46%
GRH	33	13,33%	66,67%	22,22%
FLW	34	74,77%	64,60%	69,31%
		AV, F1	82,28%	
		AV, F1 CROPS	74,88%	
		AV, F1 NO CROPS	88,85%	
		OA	0,9036	

Χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (PA) είχαν οι κατηγορίες :

- Μηλοειδή (0,28):12 % ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Πυρηνόκαρπα, 10% ως Καπνά και 9% ως Αγρανάπαυση
- Ακρόδρυα (0,48): 14% ως Αγρανάπαυση, 7% ως Καπνά και 6% ως Πυρηνόκαρπα,
- Πατάτες (0,16): 23% των εικονοστοιχείων χαρακτηρίστηκαν ως Ηλίανθοι, 21% ως Κηπευτικά και 13% ως Όσπρια
- Κηπευτικά (0,57): 13% ως Βαμβάκι και 10% Καπνά
- Όσπρια (0,51): 24% χαρακτηρίστηκαν λανθασμένα ως Ηλίανθοι και 8% ως Κηπευτικά
- Θερμοκήπια (0,13): 40% ως Ηλίανθοι και 13% ως Δρόμοι/Ασφάλτινες Επιφάνειες

Χαμηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας(UA) είχαν οι κατηγορίες :

- Θερμοκήπια (0,67): 33% των ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε αυτήν την κατηγορία ανήκαν σε άλλες κατηγορίες, κυρίως Δρόμοι/Ασφάλτινες Επιφάνειες
- Ακρόδρυα (0,64): 36%, κυρίως Αγρανάπυση, Ελαιώνες και Κηπευτικά
- Όσπρια (0,66): 34% των εικονοστοιχείων χαρακτηρισμένων ως Όσπρια προέρχονται από άλλες κατηγορίες, κυρίως Κηπευτικά, Πατάτες και Ακρόδρυα
- Αγρανάπαυση (0,65): 35%, κυρίως Ακρόδρυα, Δημητριακά και Κτηνοτροφικά Γρασίδια



Σχήμα 49: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το τέταρτο μοντέλο

Πίνακας 26: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τέταρτο μοντέλο για το Tile 35TLF

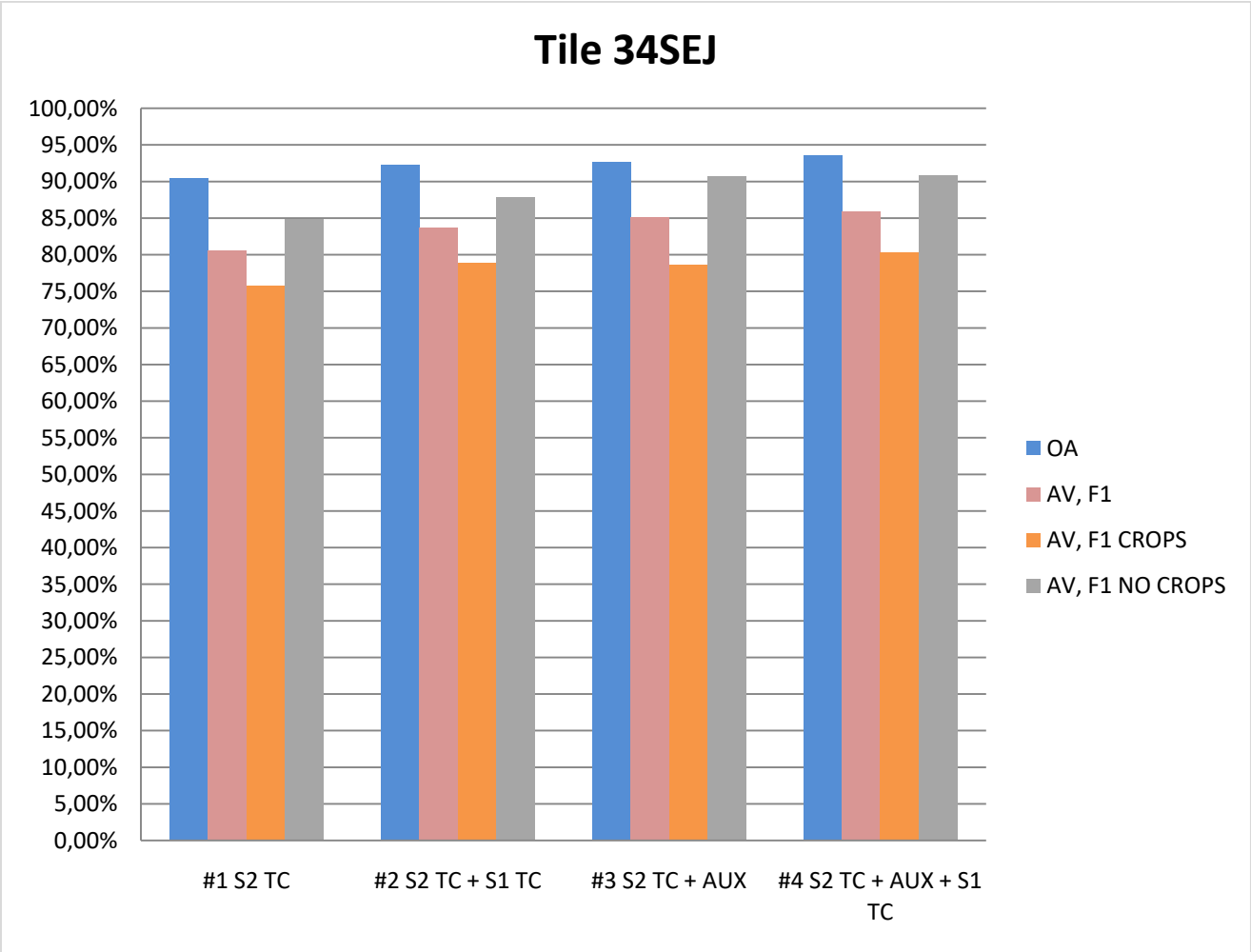
Model #4		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
35TLF		DUF	SUF	ICU	RAN	PHV	BLF	CNF	NGR	DSV	SSV	SVA	BDS	RCK	WTL	WCR	WBD	CWT	OLG	VNY	POM	STN	NUT	RIC	CRL	CTN	MAI	TBC	SUN	PUL	POT	VEG	GRF	GRH	FLW	sum	PA
1	DUF	202	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219	0,92
2	SUF	10	184	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201	0,92
3	ICU	4	5	163	5	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0,90
4	RAN	0	0	9	218	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	235	0,93
5	PHV	0	0	0	3	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0,94
6	BLF	0	0	0	0	0	2653	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2661	1,00
7	CNF	0	0	0	0	0	16	1366	2	53	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	1437	0,95
8	NGR	0	0	0	0	0	4	0	107	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	111	0,96
9	DSV	0	0	0	0	0	9	24	0	809	9	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	858	0,94
10	SSV	0	0	0	2	0	1	0	0	10	404	18	0	3	0	0	0	0	13	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	453	0,89
11	SVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	179	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	207	0,86
12	BDS	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	151	8	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	172	0,88
13	RCK	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	19	4	136	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	165	0,82
14	WTL	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166	4	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	0,92
15	WCR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	1,00
16	WBD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	1,00
17	CWT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	1,00
18	OLG	0	0	0	0	0	0	0	0	12	11	0	1	0	0	0	0	0	558	1	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	16	630	0,89
19	VNY	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	12	143	0	9	4	0	1	2	0	8	0	3	0	4	1	0	11	203	0,70
20	POM	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5	3	19	8	6	0	0	0	0	7	0	2	0	3	4	0	6	68	0,28
21	STN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	136	3	0	0	0	0	9	0	0	0	2	4	0	15	178	0,76
22	NUT	0	0	0	0	0	1	0	1	0	4	3	0	2	0	0	0	0	12	11	0	17	146	0	7	0	0	21	2	8	0	10	16	0	43	304	0,48
23	RIC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	1,00
24	CRL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	717	1	0	0	1	0	0	0	6	0	21	747	0,96
25	CTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	977	0	11	1	0	0	8	0	0	0	997	0,98
26	MAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	3	1256	6	6	5	0	3	0	0	0	1285	0,98
27	TBC	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	4	38	0	627	5	3	0	12	0	0	4	699	0,90
28	SUN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	16	3	698	2	0	8	0	0	2	738	0,95
29	PUL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	9	0	0	0	9	6	50	108	0	16	0	0	7	212	0,51
30	POT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	1	2	5	14	8	10	13	0	0	2	62	0,16
31	VEG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	1	4	0	0	0	0	1	1	0	0	9	1	1	47	1	35	20	24	0	206	0	0	4	360	0,57
32	GRF	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	4	0	0	0	9	2	0	5	5	0	33	0	0	0	0	0	0	0	368	0	40	470	0,78
33	GRH	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2	0	15	0,13
34	FLW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	0	0	5	1	0	4	14	0	29	0	0	0	0	1	0	1	47	0	323	432	0,75
	sum	216	206	183	237	62	2686	1393	110	890	447	233	167	172	176	79	128	150	628	171	19	181	227	180	799	1076	1284	741	803	164	11	287	468	3	494	OA	
	UA	0,94	0,89	0,89	0,92	0,98	0,99	0,98	0,97	0,91	0,90	0,77	0,90	0,79	0,94	0,94	1,00	1,00	0,89	0,84	1,00	0,75	0,64	0,99	0,90	0,91	0,98	0,85	0,87	0,66	0,91	0,72	0,79	0,67	0,65		0,904

5.5 Συγκριτική Ποσοτική και Ποιοτική Αξιολόγηση

Στους ακόλουθους πίνακες γίνεται η ποσοτική συγκριτική αξιολόγηση των πειραμάτων για τους δείκτες ακριβείας της συνολικής ακρίβειας κάθε μοντέλου αλλά και των μέσων όρων των τιμών του F1 Score.

Πίνακας 27: Σύγκριση δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 αποτελεσμάτων για τα πειράματα στο Tile 34SEJ

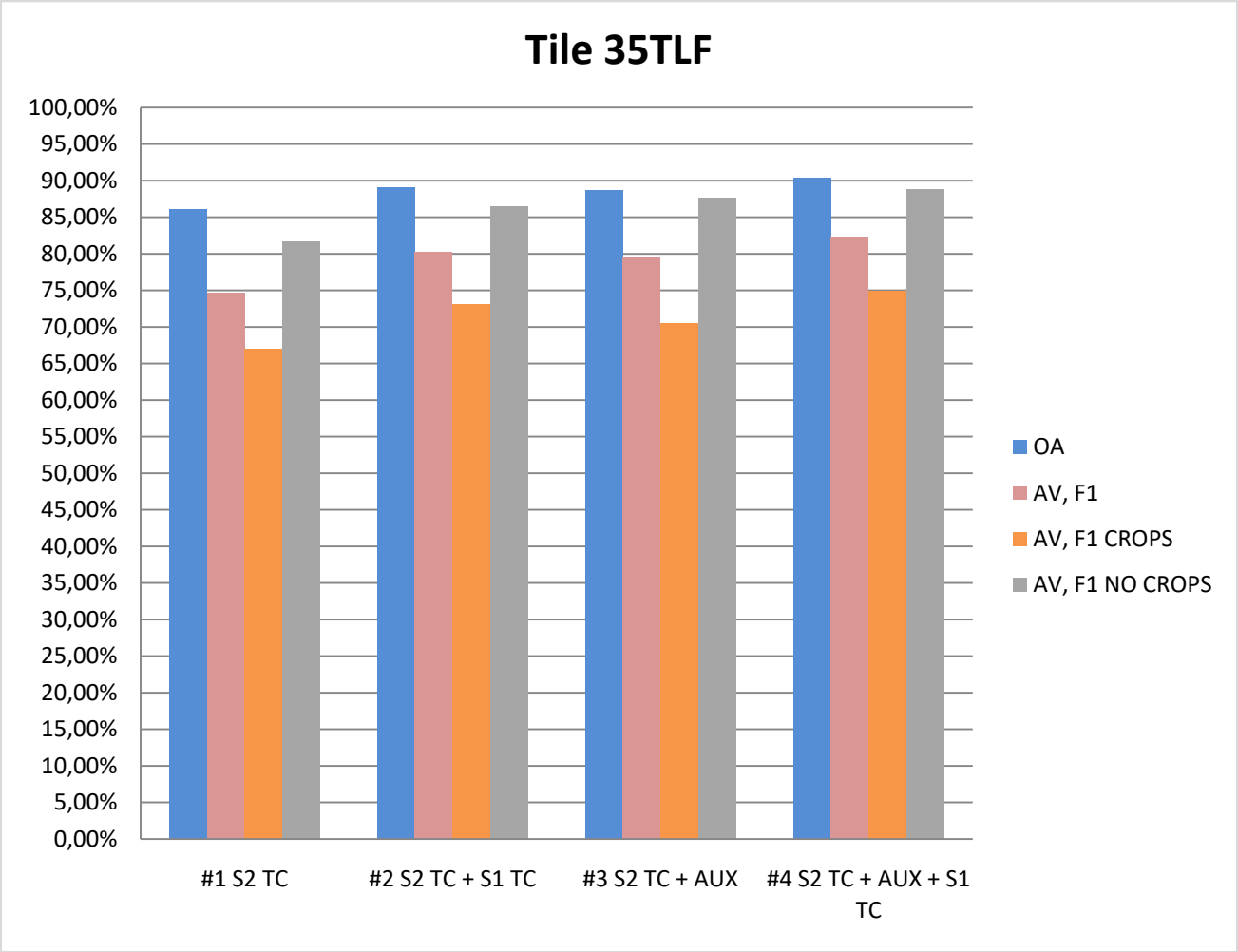
Tile 34SEJ					
Model		OA	AV, F1	AV, F1 CROPS	AV, F1 NO CROPS
#1	S2 TC	90,49%	80,53%	75,70%	84,81%
#2	S2 TC + S1 TC	92,31%	83,63%	78,87%	87,86%
#3	S2 TC + AUX	92,71%	85,04%	78,63%	90,73%
#4	S2 TC + AUX + S1 TC	93,52%	85,83%	80,26%	90,77%
#5	S1 TC	79,91%	60,52%	61,03%	60,07%
#6	S1 TC + AUX	85,77%	71,37%	68,08%	74,30%



Σχήμα 50: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 αποτελεσμάτων για τα 4 πειράματα στο Tile 34SEJ

Πίνακας 28: Σύγκριση δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 αποτελεσμάτων για τα πειράματα στο Tile 35TLF

Tile 35TLF					
Model		OA	AV, F1	AV, F1 CROPS	AV, F1 NO CROPS
#1	S2 TC	86,05%	74,71%	66,95%	81,60%
#2	S2 TC + S1 TC	89,04%	80,17%	73,12%	86,44%
#3	S2 TC + AUX	88,63%	79,56%	70,53%	87,59%
#4	S2 TC + AUX + S1 TC	90,36%	82,28%	74,88%	88,85%
#5	S1 TC	74,78%	57,82%	56,63%	58,88%
#6	S1 TC + AUX	81,46%	68,44%	62,70%	73,54%



Σχήμα 51: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 Αποτελεσμάτων για τα 4 πειράματα στο Tile 35TLF

Από τους συγκριτικούς πίνακες και διαγράμματα παρατηρήθηκε βελτίωση τόσο στη συνολική ακρίβεια όσο και στις τιμές του δείκτη F1 και στα δύο Tiles. Συγκεκριμένα, προσθέτοντας στις ταξινομήσεις με χρήση των οπτικών εποχικών συνθέτων(Μοντέλο 1) τα χρονικά σύνθετα των εικόνων του Sentinel-1(Μοντέλο 3) προκύπτει μία αύξηση στη συνολική ακρίβεια της τάξης του 1,80% για το Tile 34SEJ και του 3% για το 35TLF. Στις μέσες τιμές του δείκτη F1 παρατηρήθηκε αύξηση κατά 3,1% για το Tile 34SEJ και 5,5% για το 35TLF.

Προσθέτοντας τα μικροκυματικά δεδομένα(Μοντέλο 4) στις ταξινομήσεις με τα χρονικά σύνθετα του Sentinel-2 και τα βοηθητικά δεδομένα(Μοντέλο 3) υπάρχει βελτίωση στη συνολική ακρίβεια κατά 0,8% στο Tile 34SEJ και κατά 1,6% στο 35TF. Στο ίδιο Tile

παρατηρήθηκε αύξηση του μέσου όρου των τιμών του δείκτη F1 κατά 2,8% περίπου, ενώ για το πρώτο μόλις κατά 0,8%.

Παρατηρήθηκε επίσης η ομοιότητα στις τιμές της συνολικής ακρίβειας, αλλά και των δεικτών F1 μεταξύ των μοντέλων 2 και 3, δηλαδή χρησιμοποιώντας ως συμπληρωματικά δεδομένα στα χρονικά σύνθετα του Sentinel-2 αυτά του Sentinel-1 και χρησιμοποιώντας ως συμπληρωματικά ένα ΨΜΕ και ένα θεματικό χάρτη του Corine 2018.

Στα επικουρικά πειράματα με τα μοντέλα #5 και #6(κάτω από τη διακεκομμένη γραμμή στους πίνακες 27 και 28) που πραγματοποιήθηκαν με χρήση των δεδομένων του Sentinel-1 και των βοηθητικών, όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 4.4, παρατηρήθηκαν οι μικρότερες ακρίβειες και τιμές δείκτη F1 και για τα δύο Tiles. Η προσθήκη των βοηθητικών δεδομένων αυξάνει και εδώ τις συνολικές ακρίβειες και το μέσο όρο των τιμών του δείκτη F1 κατά 6,50% και 10,60% περίπου αντίστοιχα.

Πίνακας 29: Πίνακας σύγκρισης τιμών Δείκτη F1 για τα πειράματα στα δύο Tiles

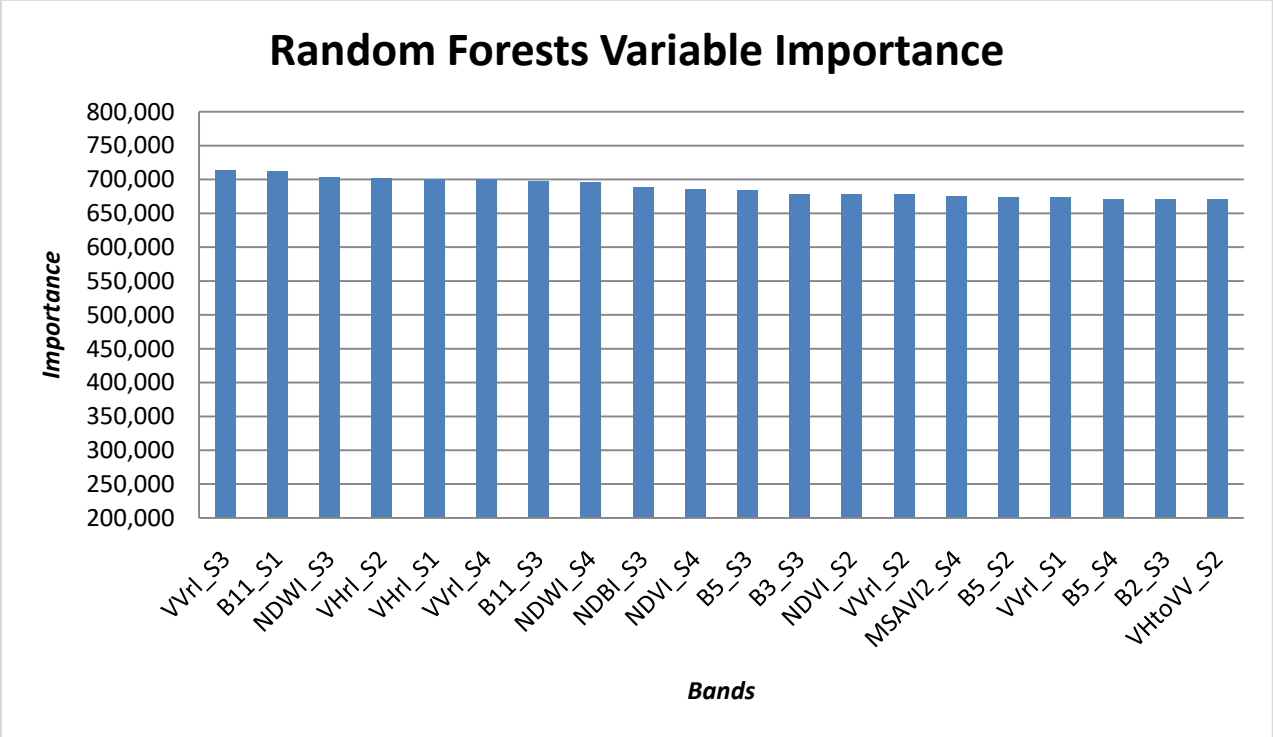
		Tile 34SEJ				Tile 35TLF			
		F1 Scores (%)							
		Model #1 S2 TC	Model #2 S2 TC + S1 TC	Model #3 S2 TC + AUX	Model #4 S2 TC + AUX + S1 TC	Model #1 S2 TC	Model #2 S2 TC + S1 TC	Model #3 S2 TC + AUX	Model #4 S2 TC + AUX + S1 TC
Code	Class								
1	DUF	44,44%	57,89%	60,00%	64,10%	77,16%	87,13%	92,10%	92,87%
2	SUF	74,05%	89,76%	91,25%	93,08%	69,21%	87,25%	87,82%	90,42%
3	ICU	75,86%	77,19%	87,02%	84,62%	74,43%	75,49%	90,56%	89,32%
4	RAN	79,37%	78,69%	82,64%	80,99%	87,78%	90,38%	91,02%	92,37%
5	PHV	86,87%	85,71%	88,00%	84,54%	95,16%	96,00%	96,83%	96,06%
6	BLF	90,84%	92,53%	96,69%	97,13%	98,77%	98,99%	99,33%	99,23%
7	CNF	99,12%	99,12%	99,62%	99,62%	95,23%	96,58%	95,68%	96,54%
8	NGR	80,18%	81,40%	86,53%	84,76%	93,21%	97,30%	95,93%	96,83%
9	DSV	92,86%	93,16%	96,81%	96,91%	90,59%	92,25%	91,57%	92,56%
10	SSV	81,29%	84,53%	90,29%	90,12%	82,44%	84,12%	88,79%	89,78%
11	SVA	81,27%	85,18%	88,38%	89,19%	70,73%	76,85%	81,67%	81,36%
12	BDM	80,17%	83,22%	88,64%	89,35%	72,95%	85,21%	91,34%	89,09%
13	RCK	89,54%	91,49%	93,40%	93,96%	69,82%	75,37%	83,87%	80,71%
14	WTL	97,73%	98,88%	100,00%	100,00%	84,24%	88,36%	92,09%	93,26%
15	WCR	89,10%	89,24%	88,82%	90,57%	95,36%	92,90%	97,99%	96,73%
16	WBD	97,56%	100,00%	100,00%	100,00%	99,22%	98,41%	100,00%	100,00%
17	CWT	92,98%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
18	OLG	85,09%	87,40%	89,87%	91,66%	85,25%	85,87%	89,07%	88,71%
19	VNY	82,75%	89,03%	84,75%	88,79%	65,05%	72,98%	70,00%	76,47%
20	CTR	83,08%	87,90%	91,31%	94,97%				
21	POM	48,12%	54,01%	55,64%	56,06%	32,94%	45,45%	38,30%	43,68%
22	STN	60,83%	65,80%	64,44%	65,50%	54,17%	69,12%	64,59%	75,77%
23	NUT	55,19%	60,19%	61,41%	64,58%	36,21%	51,29%	43,38%	54,99%
24	RIC					99,16%	99,44%	99,16%	99,72%
25	CRL	97,23%	97,47%	97,31%	97,68%	90,74%	92,62%	90,72%	92,76%
26	CTN	99,32%	99,66%	99,48%	99,71%	93,63%	94,20%	92,91%	94,26%
27	MAI	99,59%	99,83%	99,66%	99,83%	95,84%	97,78%	96,23%	97,78%
28	TBC	95,17%	96,58%	95,87%	97,27%	81,86%	86,42%	84,05%	87,08%

29	SFL	89,01%	92,31%	92,87%	94,35%	83,77%	90,51%	85,15%	90,59%
30	PUL	68,09%	71,89%	71,76%	74,62%	43,80%	54,01%	51,15%	57,45%
31	POT	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	19,72%	22,86%	29,73%	27,40%
32	VEG	84,89%	91,79%	87,48%	91,99%	51,10%	62,13%	52,00%	63,68%
33	GRF	92,05%	94,54%	92,96%	94,77%	74,35%	78,35%	75,73%	78,46%
34	GRH	93,43%	93,53%	94,96%	94,96%	12,50%	33,33%	0,00%	22,22%
35	FLW	70,78%	73,52%	73,34%	72,44%	63,66%	66,81%	66,38%	69,31%

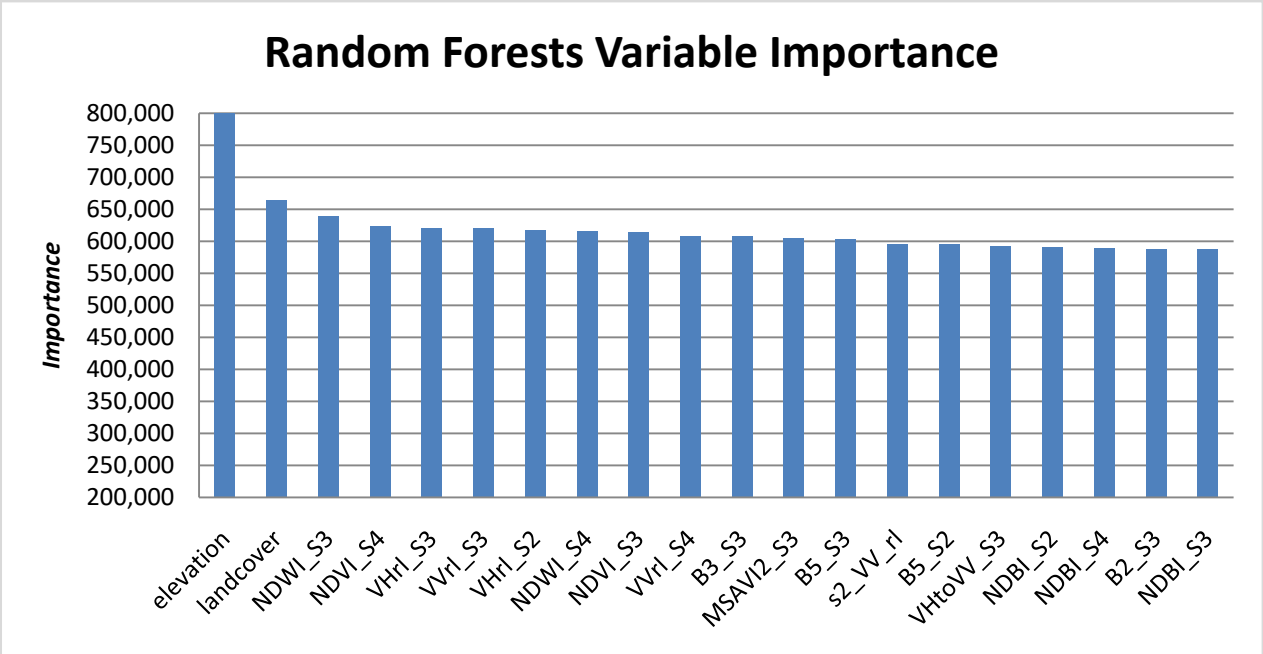
Στον προηγούμενο πίνακα σύγκρισης των τιμών F1 των κατηγοριών σε κάθε πείραμα, παρατηρείται η βελτίωση τους σχεδόν σε όλες και στα δύο Tiles στα πειράματα που συμμετέχουν τα SAR σύνθετα του Sentinel-1. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερες αυξήσεις υπήρξαν στις κατηγορίες των Τεχνικών Επιφανειών, κυρίως Θερμοκήπια και Αστικό Ιστό(που στην περίπτωση του Tile 35TLF ξεπέρασε και το 20%) και των Καλλιεργειών, κυρίως δενδρώδεις μόνιμες καλλιέργειες, Κηπευτικά και Αμπελώνες(φτάνοντας και το 15%).

Μικρές μειώσεις παρατηρήθηκαν και σε κατηγορίες, όπως τα Φωτοβολταικά, οι Απογυμνωμένοι Βράχοι και τα Ποτάμια/Υδατορεύματα.

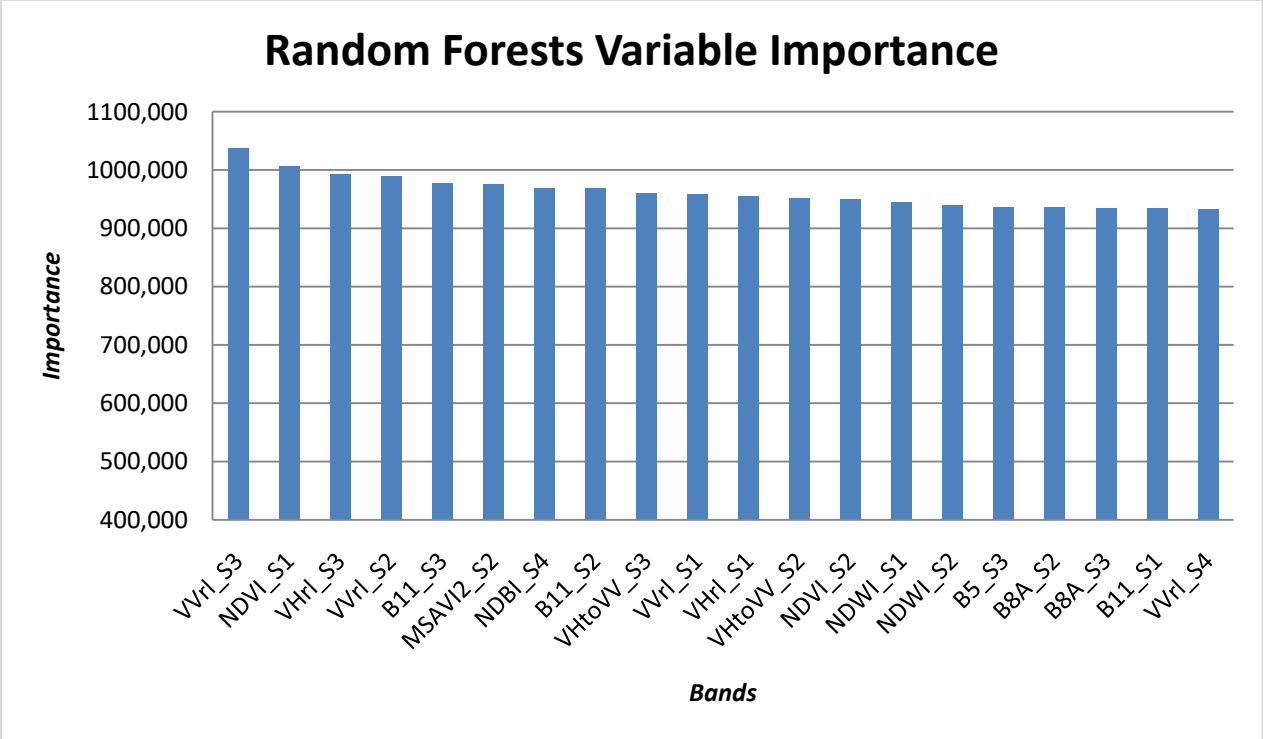
Η σημαντική επίδραση των δεδομένων SAR στην ταξινόμηση φαίνεται και με βάση το δείκτη σημασίας Gini, όπου και για τα δύο Tiles στα πειράματα των μοντέλων 2 και 4, οι εικόνες των δορυφόρων Sentinel-1 ήταν σταθερά στην εικοσάδα των πιο επιδραστικών δεδομένων (features) στον αλγόριθμο Random Forests. Συγκεκριμένα, οι εικόνες των μέσων τιμών για τις πολώσεις VV και VH του καλοκαιριού και του Φθινοπώρου, όπως και του λόγου VH προς VV. Σημειώνεται πως επιδραστικότερο στοιχείο σε όλα τα πειράματα ήταν η υψομετρική πληροφορία(elevation) από το DEM.



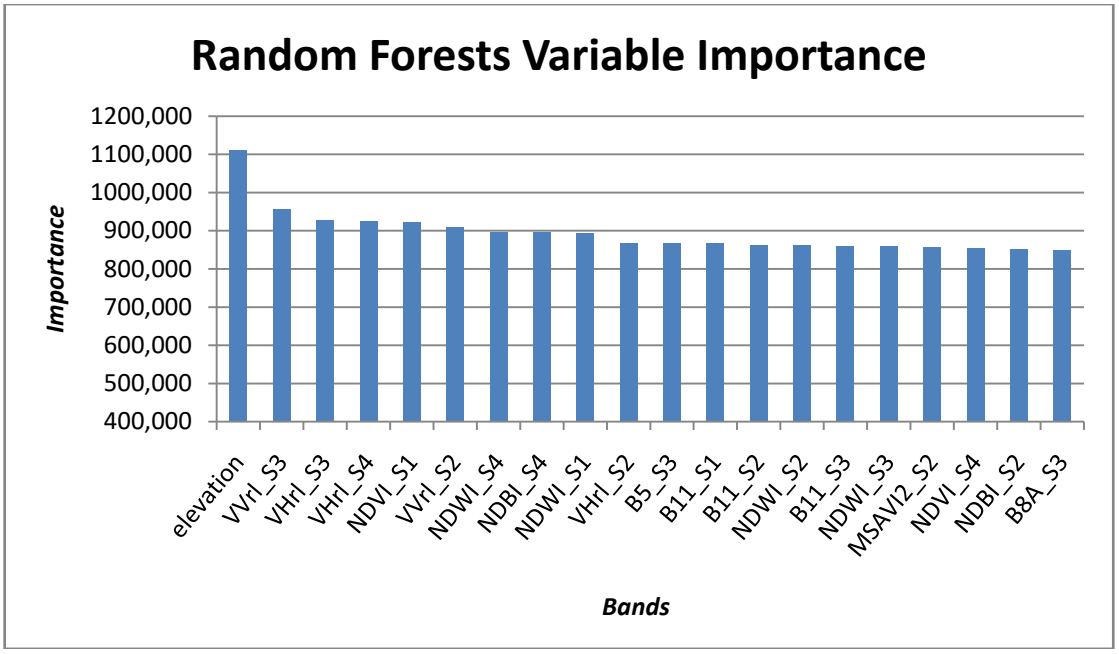
Σχήμα 52: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 2 για το Tile 34SEJ



Σχήμα 53: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 4 για το Tile 34SEJ



Σχήμα 54: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 2 για το Tile 35TLF



Σχήμα 55: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 4 για το Tile 35TLF

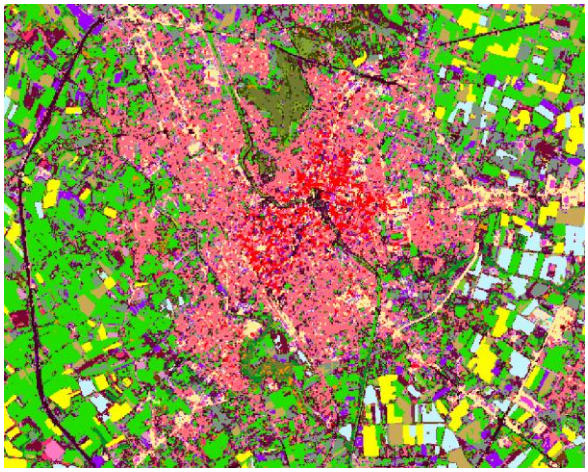
5.6 Χαρακτηριστικά Παραδείγματα Ταξινόμησης

Ακολουθούν παραδείγματα κατηγοριών, οι οποίες ταξινομήθηκαν λανθασμένα σε μεγάλο ποσοστό σε κάποιο ή και στα δύο tiles, σε εικόνες παραδείγματος από Google Earth και ταξινομημένων με τα τέσσερα μοντέλα.

<u>Πυκνός Αστικός Ιστός, κατηγορία 1:</u>

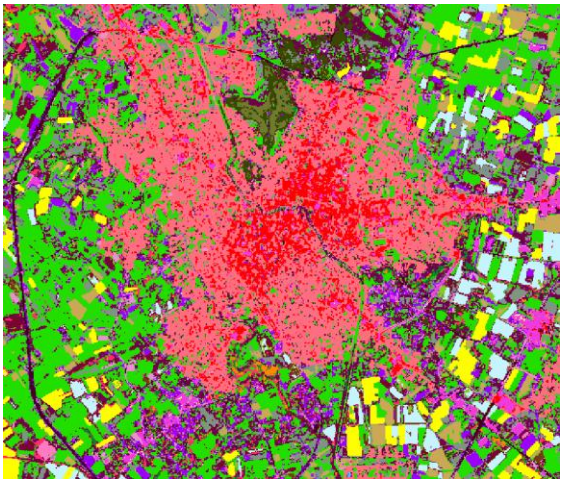
Στο Tile 34SEJ, η κατηγορία 1 έχει τιμές δείκτη F1 από 44% έως 65%, με μεγάλες βελτιώσεις να σημειώνονται στα μοντέλα 2 και 4, με χρήση των δεδομένων Sentinel-1 δηλαδή. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα απεικονίζεται η πόλη των Τρικάλων και φαίνεται η σταδιακή βελτίωση στην αναγνώριση του πυκνού αστικού ιστού (έντονο κόκκινο χρώμα) στα πειράματα με τα τέσσερα μοντέλα. Έντονη συσχέτιση της κατηγορίας προκύπτει σε όλα τα πειράματα με τις κατηγορίες των Βιομηχανικών/Εμπορικών Μονάδων(έντονο ροζ) και των Παραλιών, Αμμολόφων και Ορυχείων(ανοιχτό κίτρινο).

Συμπληρωματικά να αναφερθεί ότι στο Tile 35TLF ο Συνεχής Αστικός Ιστός πετυχαίνει τιμές από 77% έως 92%.

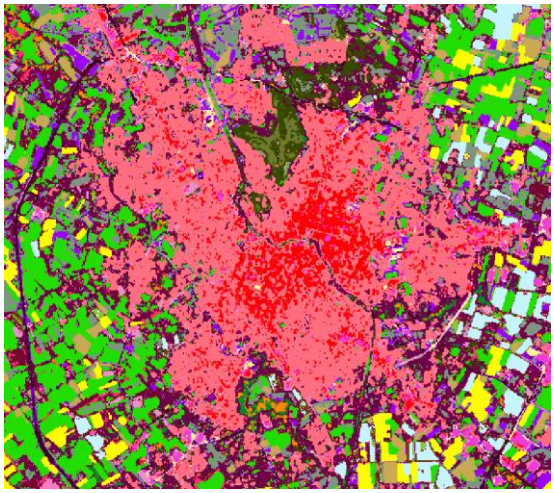


(α)

(β)

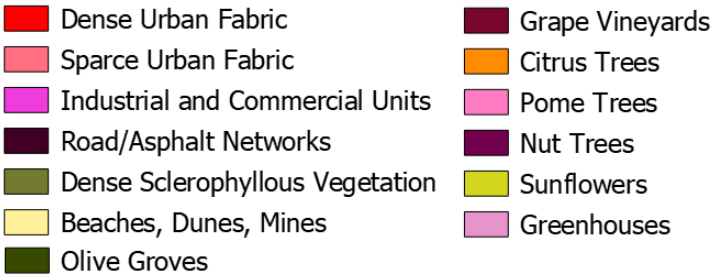


(γ)



(δ)

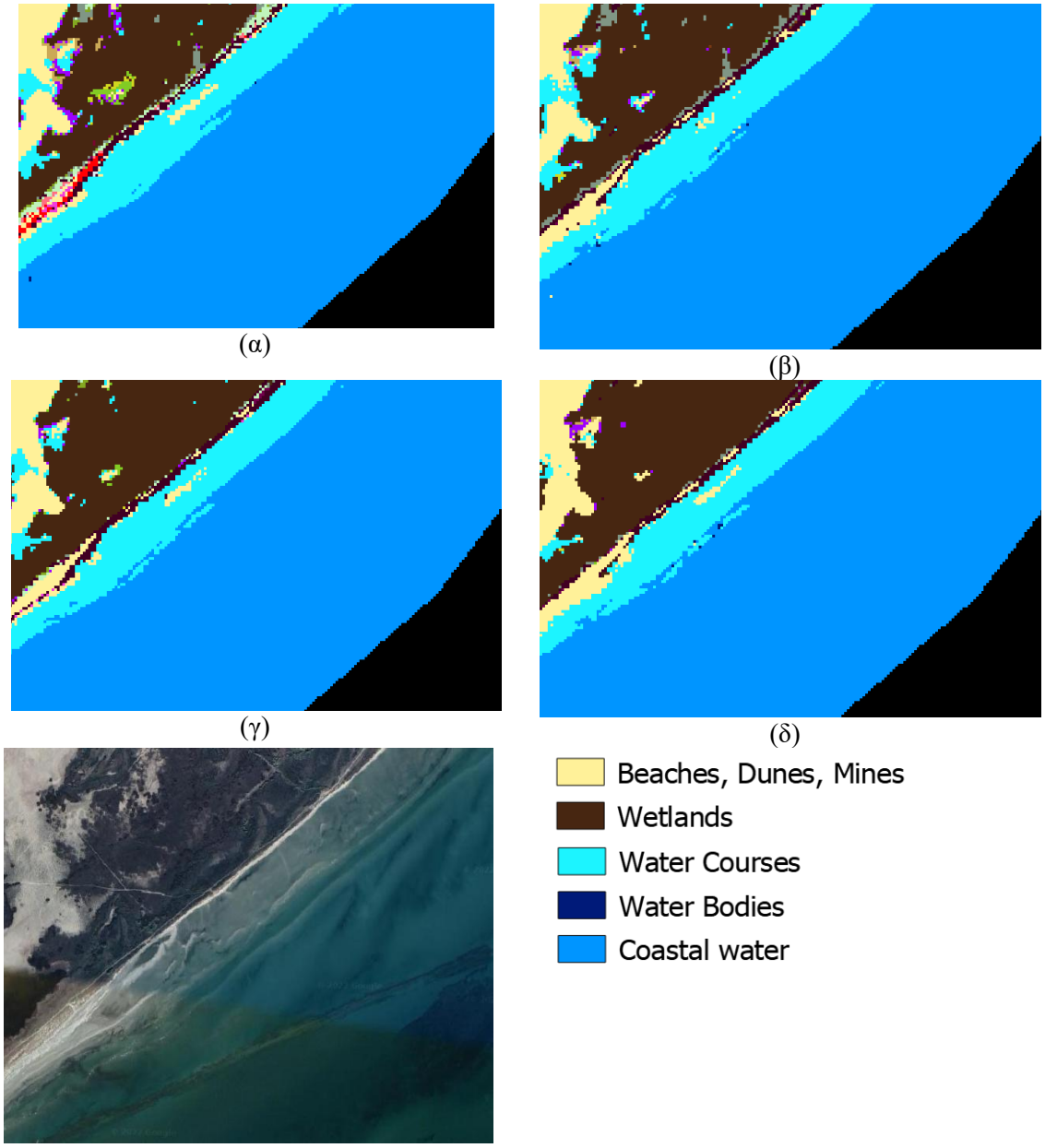
(ε)



Σχήμα 56: Η πόλη των Τρικάλων ταξινομημένη με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth

Παράκτια Ύδατα, κατηγορία 17:

Στο Tile 34SEJ, η κατηγορία 17 των Παράκτιων Υδάτων πετυχαίνει απόλυτη ακρίβεια και αξιοπιστία, όμως στα τμήματα του αιγιαλού τα αβαθή ύδατα χαρακτηρίζονται λανθασμένα ως Ποτάμια/Υδατορέυματα σε όλα τα μοντέλα. Αυτό οφείλεται κυρίως στη συμπεριφορά του αλγορίθμου Random Forests.

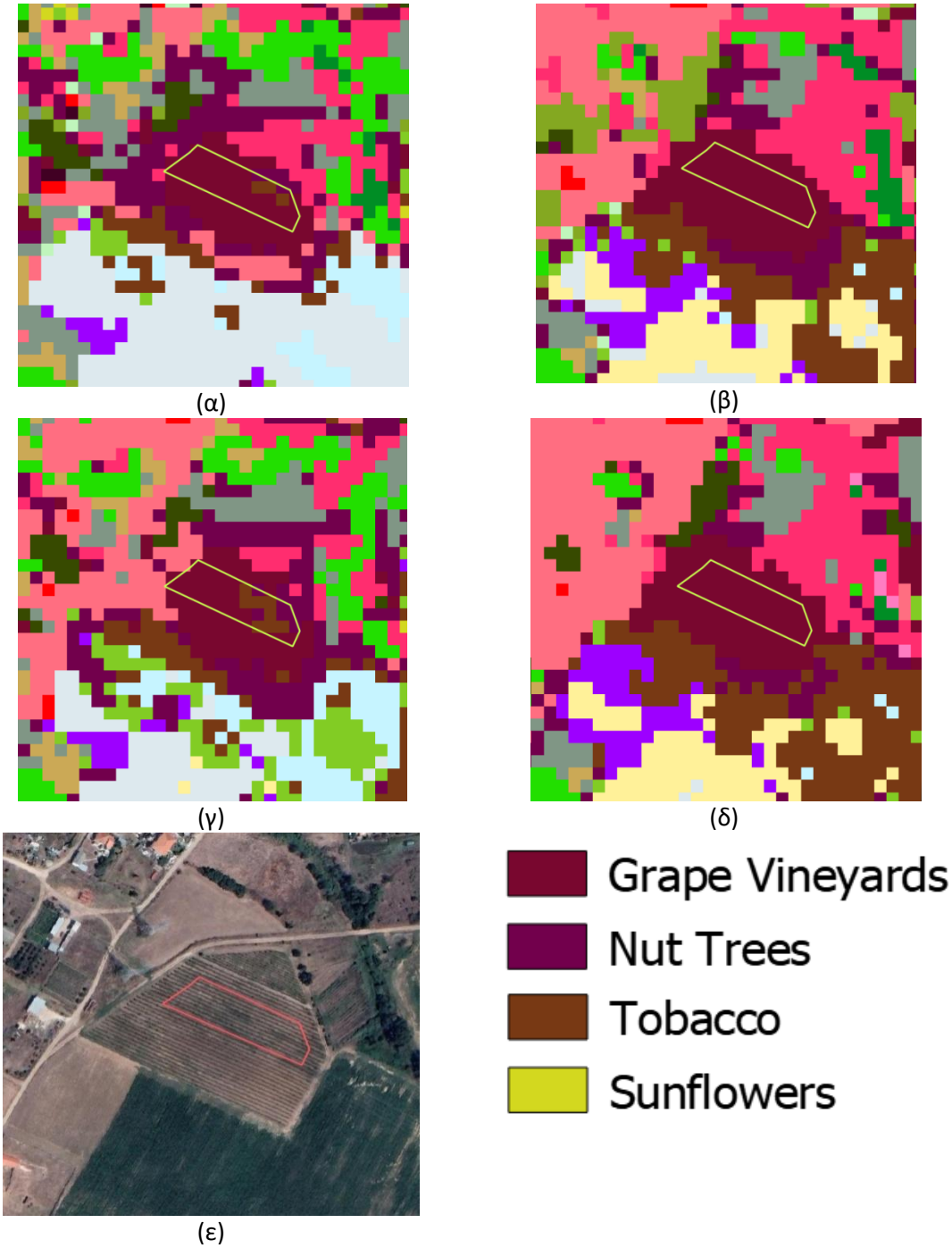


(ε)

Σχήμα 57: Τμήμα αιγιαλού ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Αμπελώνες, κατηγορία 19:

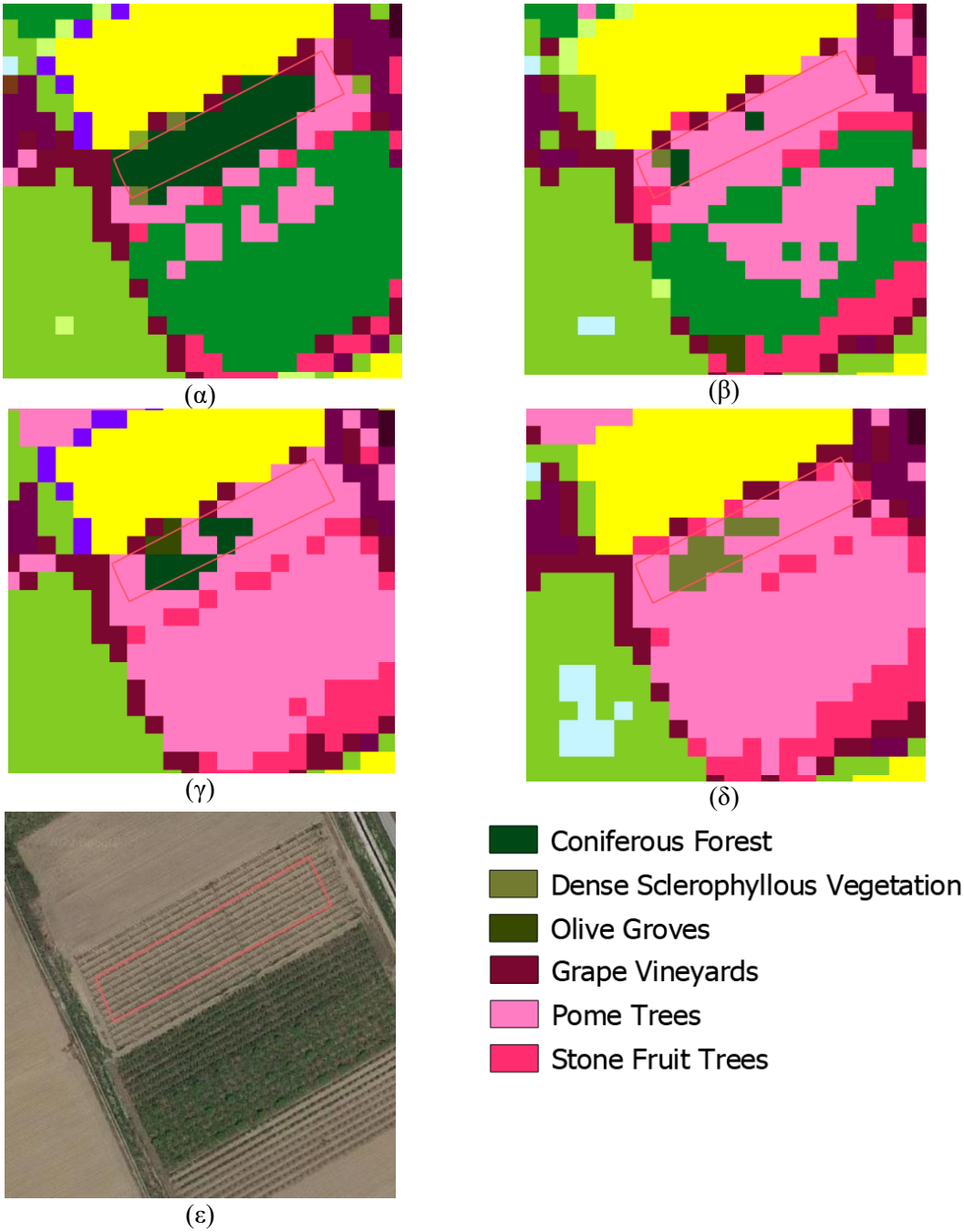
Στο Tile 34SEJ, οι αμπελώνες πετυχαίνουν υψηλές τιμές δείκτη F1 από 83% έως 89%, με τις μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται στα μοντέλα 2 και 4, με χρήση των δεδομένων Sentinel-1 δηλαδή. Στο 35TLF, η κατηγορία 19 έχει μικρότερες τιμές F1 που κυμαίνονται από 65% έως 77%, με μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται ξανά στα πειράματα με προσθήκη των SAR δεδομένων.



Σχήμα 58: Αγροτεμάχιο Αμπελώνων στο Tile 35TLFταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Μηλοειδή Δένδρα, κατηγορία 20:

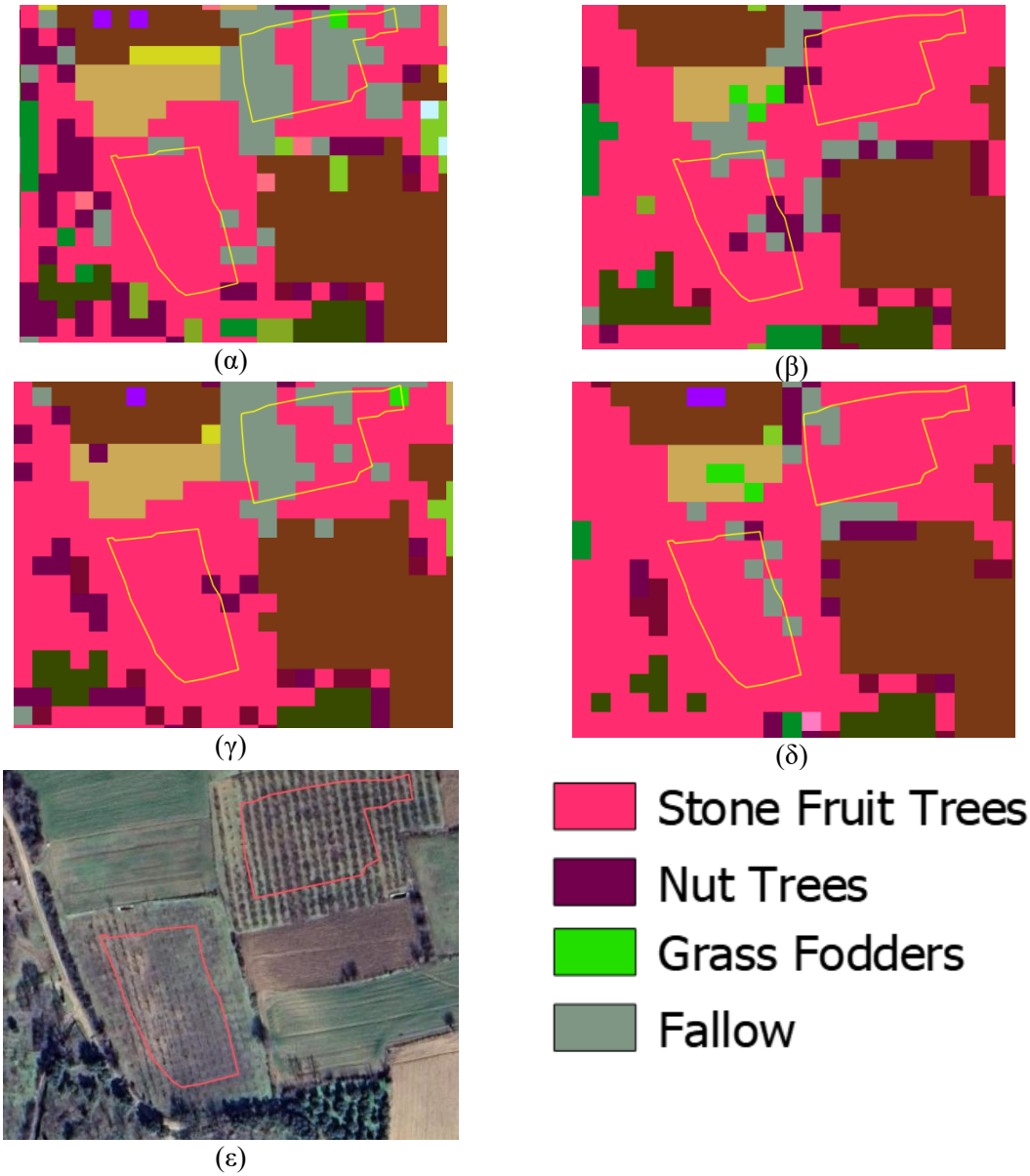
Στο Tile 34SEJ, τα μηλοειδή πετυχαίνουν τιμές δείκτη F1 από 48% έως 56%, με τις μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται στα μοντέλα 2 και 4, με χρήση των δεδομένων Sentinel-1 δηλαδή. Στο 35TLF, η κατηγορία 20 έχει παρόμοια χαμηλές τιμές F1 που κυμαίνονται από 33% έως 45%, με μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται ξανά στα πειράματα με προσθήκη των SAR δεδομένων. Σημειώθηκαν και στα δύο Tiles υψηλές τιμές αξιοπιστίας(UA), φτάνοντας μέχρι και το 100%. Η κατηγορία των Μηλοειδών συγχέεται κυρίως με τις κατηγορίες των Ακρόδρυων, Πυρηνόκαρπων, Αγρανάπαυσης και Κτηνοτροφικών Γρασιδίων.



Σχήμα 59: Αγροτεμάχιο Μηλοειδών Δένδρων στο Tile 34SEJ ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Πυρηνόκαρπα Δένδρα, κατηγορία 21:

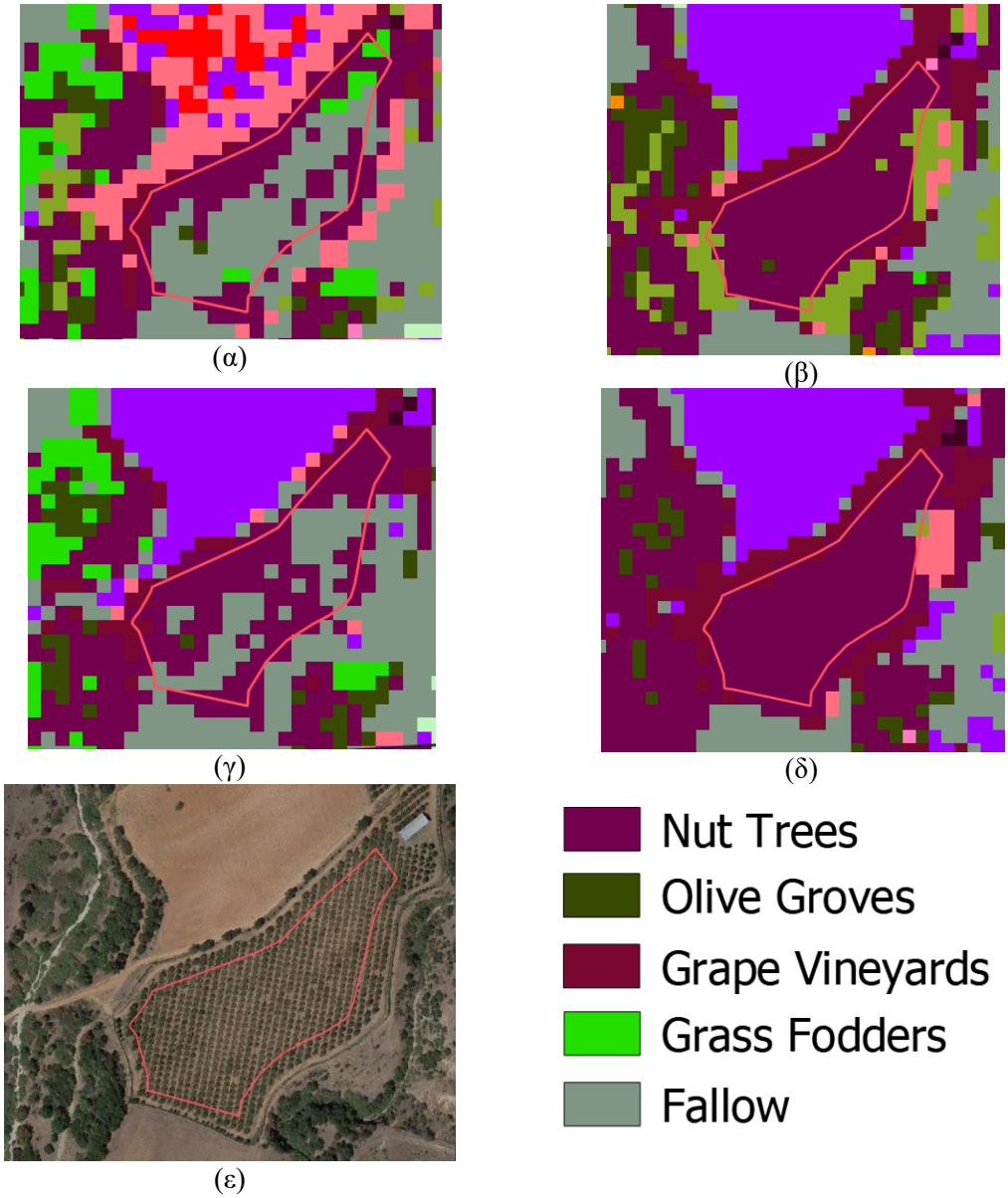
Τα πυρηνόκαρα πετυχαίνουν τιμές δείκτη F1 από 61% έως 66% στο tile 34SEJ, με τις μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται στα μοντέλα 2 και 4, με χρήση των δεδομένων Sentinel-1 δηλαδή. Στο 35TLF, η κατηγορία έχει παρόμοιες τιμές F1 που κυμαίνονται από 33% έως 45%, με μεγάλες βελτιώσεις να σημειώνονται στα μοντέλα 2 και 4 σε σχέση με τα μοντέλα με χρήση μόνο των οπτικών εικόνων. Η κατηγορία συγχέεται κυρίως με τις υπόλοιπες δενδρώδεις καλλιέργειες, τα Κτηνοτοτροφικά Γρασίδια και την Αγρανάπαυση.



Σχήμα 60: Αγροτεμάχια Πυρηνόκαρπων Δένδρων στο Tile 34SEJ ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Ακρόδρυα Δένδρα, κατηγορία 22:

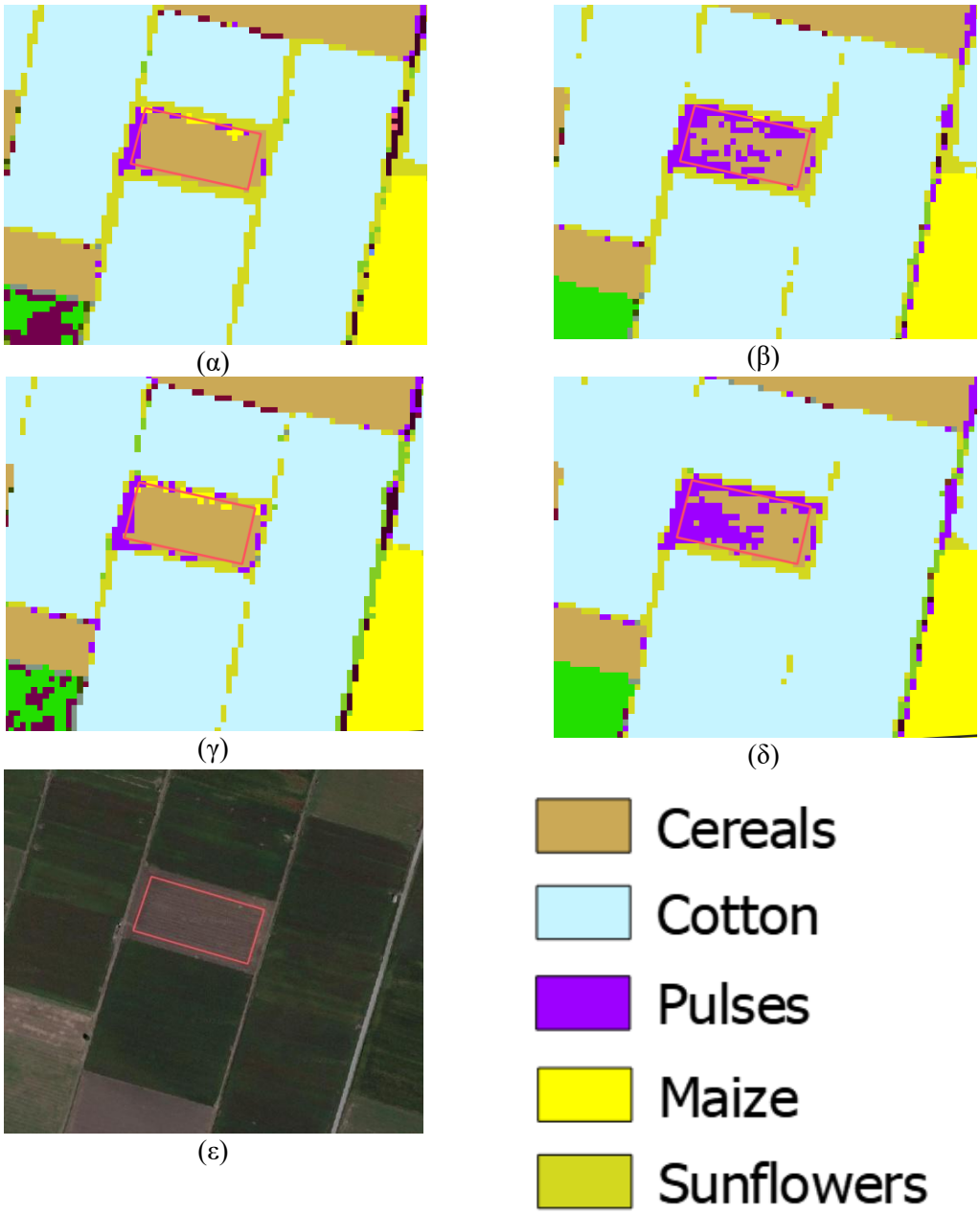
Τα ακρόδρυα πετυχαίνουν τιμές δείκτη F1 από 55% έως 65% στο tile 34SEJ. Στο 35TLF, η κατηγορία έχει παρόμοιες τιμές F1 που κυμαίνονται από 36% έως 55%, με μεγάλες βελτιώσεις(έως +15%) να σημειώνονται στα μοντέλα 2 και 4 σε σχέση με τα μοντέλα 1 και 3. Η κατηγορία συγχέεται κυρίως με τις υπόλοιπες δενδρώδεις καλλιέργειες και την Αγρανάπαυση.



Σχήμα 61: Αγροτεμάχια Ακρόδρυων Δένδρων στο Tile 34SEJ ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Όσπρια κατηγορία 29:

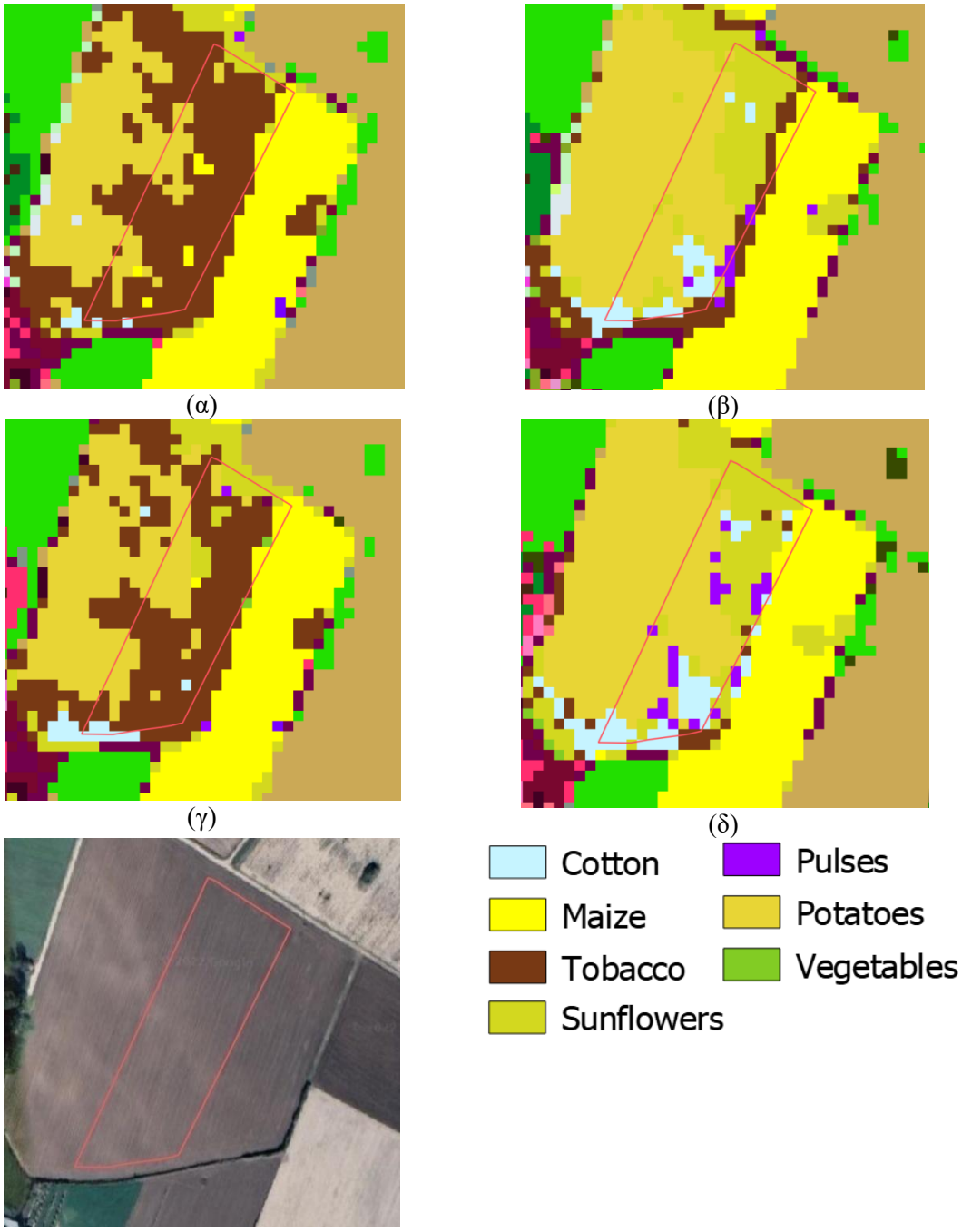
Τα Όσπρια πετυχαίνουν τιμές δείκτη F1 από 68% έως 74% στο tile 34SEJ. Στο 35TLF, η κατηγορία έχει χαμηλότερες τιμές F1 που κυμαίνονται από 44% έως 58%. Η κατηγορία συγχέεται κυρίως με τα Δημητριακά, την Αγρανάπαυση και τα Κηπευτικά. Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η σύγχυση της κατηγορίας 29(μωβ χρώμα) με αυτή των Δημητριακών(μπεζ).



Σχήμα 62: Αγροτεμάχιο Οσπρίων στο Tile 34SEJταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Πατάτα κατηγορία 30:

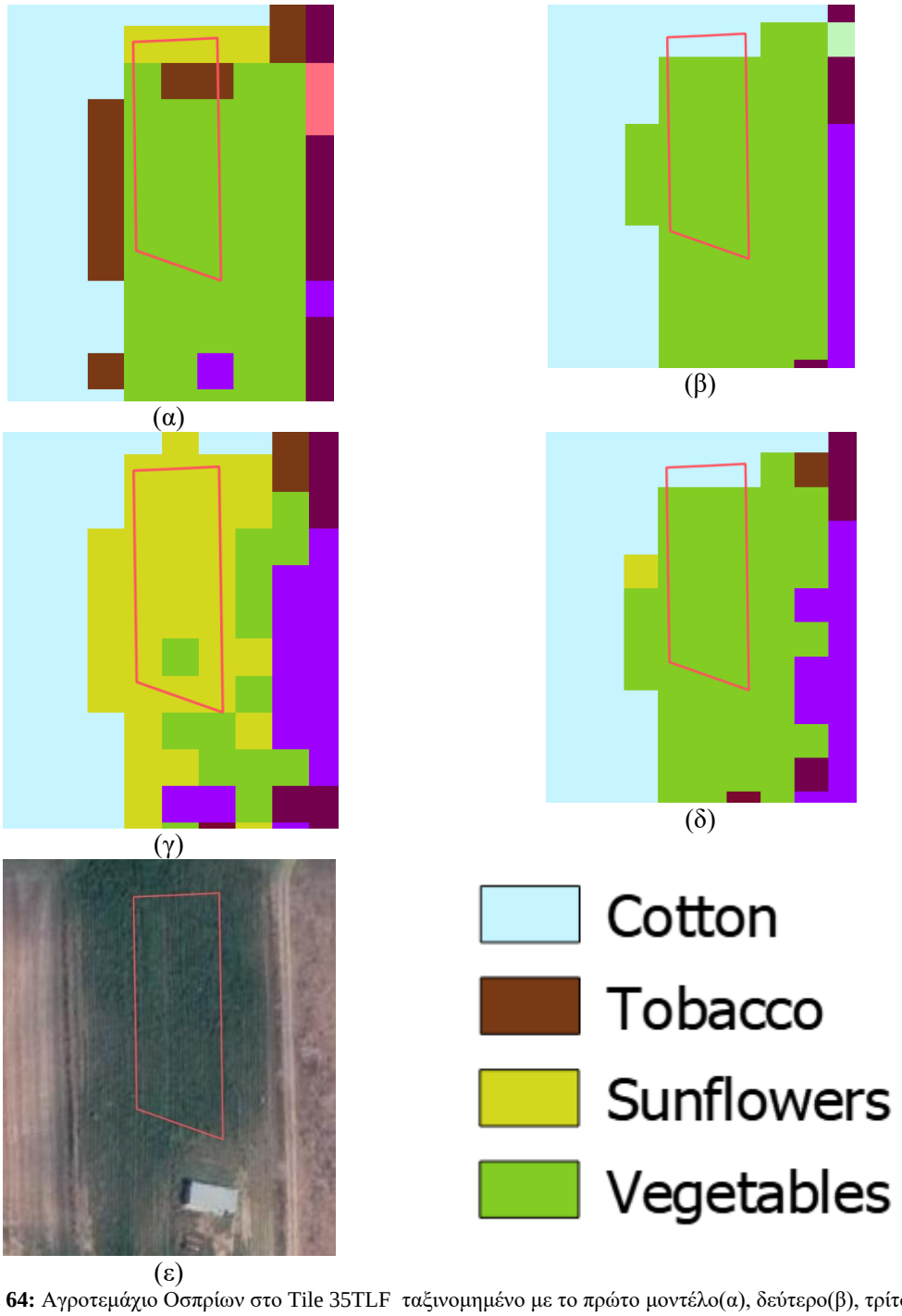
Η κατηγορία της Πατάτας έχει χαμηλές τιμές F1 σε όλα τα πειράματα. Συγκεκριμένα, στο tile 34SEJ η Πατάτα έχει μηδενικές τιμές F1 και στο 35TLF πετυχαίνει τιμές από 20% έως 30%. Η μηδενική ακρίβεια και αξιοπιστία στο πρώτο tile ενδέχεται να οφείλεται στα λιγοστά διαθέσιμα σημεία εκπαίδευσης της κατηγορίας(μόλις 31), καθώς και στο γεγονός πως πρόκειται για μία υπόγεια καλλιέργεια, με αποτέλεσμα να μην είναι τόσο διακριτή σε σχέση με το γυμνό χώμα, γεγονός που φαίνεται και από την σύγχυση με την κατηγορία της Αγρανάπαυσης. Επίσης, συγχέεται με τις κατηγορίες του Καπνού, Βαμβακιού και των Ηλίανθων. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η Πατάτα με ανοιχτό μωβ χρώμα, όπου σταδιακά με τη χρήση των SAR εικόνων στις ταξινομήσεις αναγνωρίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό(μοντέλα 2 & 4), καθώς και η σύγχυση της κατηγορίας με αυτές του Καπνού(καφέ) και Ηλίανθων(κίτρινο).



Σχήμα 63: Αγροτεμάχιο Πατάτας στο Tile 35TLF ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Λοιπά Κηπευτικά κατηγορία 31:

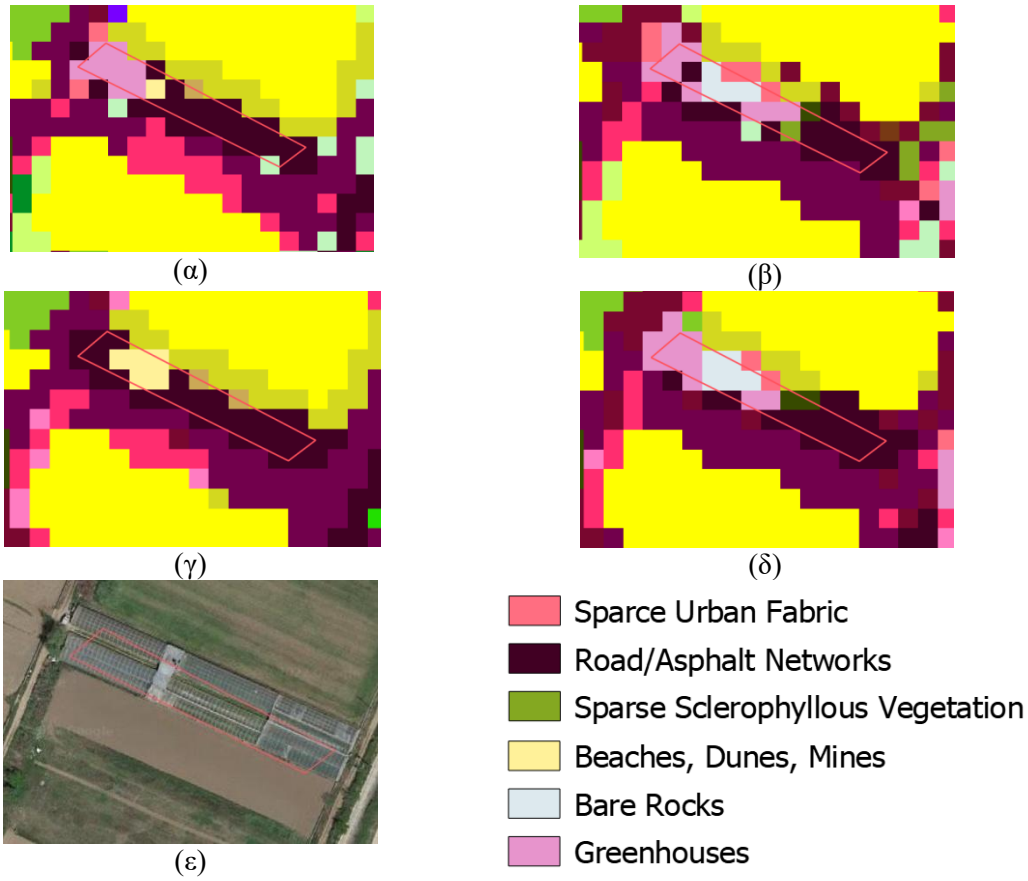
Τα Κηπευτικά πετυχαίνουν υψηλές τιμές δείκτη F1 από 85% έως 92% στο tile 34SEJ. Στο 35TLF, η κατηγορία έχει αρκετά χαμηλότερες τιμές F1 που κυμαίνονται από 51% έως 63%, ενώ συγχέεται σε μεγάλο βαθμό με τις κατηγορίες του Βαμβακιού, του Καπνού και των Ηλίανθων. Στο σχήμα 9 απεικονίζεται η κατηγορία των Κηπευτικών με πράσινο χρώμα, που συγχέεται με τους Ηλίανθους(κίτρινο) και τον Καπνό(καφέ).



Σχήμα 64: Αγροτεμάχιο Οσπρίων στο Tile 35TLF ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

Θερμοκήπια κατηγορία 33:

Τα Θερμοκήπια πετυχαίνουν πολύ υψηλές τιμές δείκτη F1 από 93% έως 95% στο tile 34SEJ. Στο 35TLF, η κατηγορία έχει αρκετά χαμηλότερες τιμές F1 που κυμαίνονται από 0% έως 33% με μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται στα πειράματα των μοντέλων 2 & 4, όπου παρατηρήθηκαν βελτιώσεις πάνω από 20%. Οι χαμηλές τιμές ακρίβειας και αξιοπιστίας στο δεύτερο tile οφείλονται στο λιγοστό αριθμό δεδομένων εκπαίδευσης(35 σημεία). Η κατηγορία 33 συγχέεται γενικά με τις κατηγορίες των Απογυμνωμένων Βράχων, των Δρόμων & Ασφάλτινων Επιφανειών, αλλά και των Ηλίανθων και των Εκτάσεων με Αραιή Βλάστηση . Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η κατηγορία των Θερμοκηπίων με ροζ χρώμα, των Δρόμων με σκούρο μωβ και των Βράχων με ανοιχτό κίτρινο.



Σχήμα 65: ‘Εκταση με Θερμοκήπια στο Tile 35TLF ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε)

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στην παρούσα εργασία ερευνήθηκε η συνεισφορά των SAR δεδομένων του δορυφόρου Sentinel-1 σε εφαρμογές χαρτογράφησης κάλυψης γης και τύπων καλλιεργειών, σε συνδυασμό με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων Sentinel-2. Παράλληλα, αξιολογήθηκε η χρήση εποχικών συνθέτων των προαναφερθέντων δεδομένων και η χρήση της πλατφόρμας Google Earth Engine για την προεπεξεργασία των εικόνων, την εφαρμογή της ταξινόμησης και την παραγωγή χαρτών. Για την διεξοδικότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε δύο διαφορετικές μεγάλες περιοχές της Ελλάδας σε διαφορετικά γεωγραφικά μήκη, εκτάσεως περίπου 10.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων η κάθε μία.

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως συνολικά η προσθήκη των Sentinel-1 εποχικών συνθέτων προσφέρει μικρές αλλά σημαντικές βελτιώσεις στη συνολική ακρίβεια και στις μέσες τιμές F1 των κατηγοριών στις ταξινομήσεις, σε σχέση με χρήση μόνο συνθέτων Sentinel-2 ή/και βοηθητικών δεδομένων. Ποσοτικά, οι ακρίβειες των ταξινομήσεων κινήθηκαν από 86% έως 93% και οι μέσες τιμές του δείκτη F1από 75% έως και 86%, με χαμηλότερες τιμές να παρατηρούνται στο βορειότεροTile 35TLF. Αναφέρεται, πώς οι αντίστοιχες τιμές στα πειράματα με χρήση των Sentinel-1 συνθέτων(μοντέλα 5 & 6) κυμάνθηκαν από 75% έως 86% για τις πρώτες και από 57% έως 62% για τις δεύτερες. Μεγαλύτερες τιμές συνολικής ακρίβειας, αλλά και τιμών δείκτη F1 και για τα δύο Tiles είχαν τα πειράματα των μοντέλων 4 που αξιοποίησαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα και μικρότερες τα πειράματα των μοντέλων 5, με χρήση μόνο των SAR δεδομένων.

Οι αυξήσεις που παρατηρήθηκαν και στα δύο Tiles ήταν της τάξης έως 3% για τη συνολική ακρίβεια, 5,5% για τις μέσες τιμές του δείκτη F1 για όλες τις κατηγορίες, 6% για αυτές των καλλιεργειών και 5% των γενικών καλλιεργειών, προσθέτοντας στα οπτικά δεδομένα τα SAR και τα βοηθητικά.

Μεμονωμένα, παρατηρήθηκαν μεγάλες αυξήσεις στην αξιοπιστία και ακρίβεια κάποιων κατηγοριών και κυρίως καλλιεργειών με την προσθήκη των εποχικών συνθέτων του Sentinel-1. Συγκεκριμένα, στο Tile 34SEJ παρατηρήθηκαν αυξήσεις του δείκτη F1 έως και 13% στις κατηγορίες του Αστικού Ιστού και έως και 7% σε κάποιες καλλιέργειες (Κηπευτικά, Αμπελώνες, Μηλοειδή) στο μοντέλο 2 σε σχέση με το 1. Η συμπερίληψη των βοηθητικών δεδομένων οδήγησε σε μικρότερη θετική επίδραση(της τάξης έως 5%) της συμπερίληψης των δεδομένωνSentinel-1 στην ταξινόμησηγια τις ίδιες κατηγορίες (μοντέλο 4-μοντέλο 3).

Στο Tile 35TLF σημειώθηκαν μεγαλύτερες αυξήσεις έως και 20% σε μεμονωμένες κατηγορίες Τεχνιτών Επιφανειών (Θερμοκήπια) και έως 15% σε καλλιέργειες (Ακρόδρυα, Πυρηνόκαρπα, Μηλοειδή κ.α.) στο μοντέλο 2 σε σχέση με το 1. Στην προσθήκη των συνθέτων Sentinel-1 στα πειράματα με αυτά του Sentinel-2 και τα βοηθητικά δεδομένα σημειώθηκε μεγάλη αύξηση στην κατηγορία των θερμοκηπίων(22%), αλλά μικρότερες στις υπόλοιπες κατηγορίες, έως και 12% για τις καλλιέργειες των Κηπευτικών, των Ακρόδρυων, των Πυρηνόκαρπων κ.α.

Η μεγαλύτερη θετική επίδραση των SAR δεδομένων στοTile 35TLF σε σχέση με το 34SEJ ενδέχεται να σχετίζεται με την νεφοκάλυψη της περιοχής που είναι συχνότερη για το πρώτο βορειότερο tile. Επιπρόσθετα το ανάγλυφο στην περιοχή του tile 34SEJ παρουσιάζει μεγάλες κλίσεις και απότομες αλλαγές λόγω ορεινών όγκων, οι οποίες επιδρούν αρνητικά στις εικόνες GRD του δορυφόρου Sentinel-1. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι επιδράσεις, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία προτείνεται η εφαρμογή ειδικών διορθώσεων, οι οποίες όμως δεν πραγματοποιηθήκαν στην εν λόγω εργασία, καθώς η ανάπτυξη και η εφαρμογή τους θα απαιτούσε μεγαλύτερο κόστος σε χρόνο και θα αποτελούσε μία εμπειρική προσέγγιση με αμφίβολα αποτελέσματα. Αντίθετα, η περιοχή στο Tile 35TLF είναι στο μεγαλύτερο μέρος της επίπεδη με λίγους ορεινούς όγκους στα βόρεια της χωρίς όμως να υπάρχουν μεγάλες αλλαγές κλίσεων.

Σημειώνεται, πως η χρήση των βοηθητικών δεδομένων, συγκεκριμένα του Ψηφιακό Μοντέλο

Εδάφους και χάρτης κάλυψης γης Corine,αυξάνει την ακρίβεια των ταξινομήσεων, όπως έχουν δείξει και πρόσφατες σχετικές εργασίες του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης [43]. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν κατά μέσο όρο αυξήσεις έως και 6,27% για τη συνολική ακρίβεια και 5,86% για τις μέσες τιμές του δείκτη F1 σε σχέση με τα πειράματα χωρίς τη χρήση των βοηθητικών δεδομένων.

Σχετικά με την αξιολόγηση της χρήσης της πλατφόρμας Google Earth Engine τα συμπεράσματα που εξάγονται συνοψίζονται στο ότι αυτή η διαδικτυακή πλατφόρμα πλανητικής κλίμακας, μπορεί να προσφέρει λύση στα προβλήματα υπολογιστικού κόστους που συνοδεύουν την χρήση και επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων σε μεγάλες εκτάσεις, αλλά ταυτόχρονα η χρήση της συνεπάγεται περιορισμούς στην εφαρμογή της μεθοδολογίας. Στην περίπτωση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονταν με την χρήση εποχικών συνθέτων έναντι των χρονοσειρών εικόνων, τη χρήση ενός υποσυνόλου των διαθέσιμων δεδομένων αναφοράς για τις περιοχές μελέτης και την εκπαίδευση του αλγορίθμου με μικρό αριθμό δέντρων(100), λόγω των περιορισμών στη διαθέσιμη από τη Google υπολογιστική μνήμη σε κάθε χρήστη.

Προτάσεις για την εξέλιξη και εμβάθυνση της παρούσας εργασίας έγκεινται στην ανάλυση των δεδομένων, καθώς και στην εφαρμογή των ταξινομήσεων. Συγκεκριμένα, η χρήση ολόκληρων χρονοσειρών εικόνων Sentinel-2 και Sentinel-1 σε συστήματα local cluster χωρίς περιορισμούς ενδέχεται να οδηγήσει σε ακριβέστερα αποτελέσματα ταξινομήσεων και ασφαλέστερα συμπεράσματα για τη συνεισφορά των SAR δεδομένων, αυξάνοντας όμως κατά πολύ το χρόνο και κόστος της μελέτης.

Η διερεύνηση και εφαρμογή άλλων τεχνικών μηχανικής μάθησης, όπως τα Νευρωνικά Δίκτυα θα μπορούσε να μελετηθεί προς την ίδια κατεύθυνση. Μια ακόμα πρόταση είναι η χρήση τεχνικών ταξινόμησης που αξιοποιούν εκτός από φασματικά χαρακτηριστικά και άλλα όπως είναι τα χωρικά ή τα χαρακτηριστικά υφής. Προς αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας (object-based), βασική ιδέα της οποίας αποτελεί η κατάτμηση των χωρικά γειτονικών εικονοστοιχείων σε φασματικά όμοια αντικείμενα και διεξαγωγή ανάλυσης στα αντικείμενα σαν μοναδιαία πληροφορία, η οποία έχει επιτυχώς δοκιμαστεί σε εφαρμογές στην πλατφόρμα Google Earth Engine.

Οι κώδικες που γράφτηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι δημόσια διαθέσιμοι στην πλατφόρμα Google Earth Engine στο link: https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/giorgosbegkos/thesis.

7. Βιβλιογραφία

[1] Δ. Ρόκος, *Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1987.

[2] Αργιαλάς Δ., *Φωτοερμηνεία- Τηλεπισκόπηση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1999.

[3] Καραθανάση Β., *Μικροκυματική Τηλεπισκόπηση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.

[4] I. Parcharidis and I. Παρχαρίδης, *Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης*. 2016. Accessed: Jun. 29, 2022. [Online]. Available: http://repository.kallipos.gr/handle/11419/3960

[5] B.-M. Πέγιου - Μαλακού and V.-M. Pegiou - Malakou, "Soil Moisture Estimation based on Multispectral and SAR Satellite Data using Google Earth Engine and Machine Learning," Dec. 2019, doi: 10.26240/heal.ntua.17331.

[6] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone," *Remote Sens. Environ.*, vol. 202, pp. 18–27, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

[7] H. Tamiminia, B. Salehi, M. Mahdianpari, L. Quackenbush, S. Adeli, and B. Brisco, "Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, May 2020, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001.

[8] K. Perakis, A. Moysiadis, I. Faraslis, K. Περάκης, A. Μωυσιάδης, and I. Φαρασλής, *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες*. 2016. Accessed: Jun. 29, 2022. [Online]. Available: http://repository.kallipos.gr/handle/11419/1840

[9] G. Mountrakis, J. Im, and C. Ogole, "Support vector machines in remote sensing: A review," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 66, no. 3, pp. 247–259, May 2011, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001.

[10] Y. Kumar and G. Sahoo, "Analysis of Parametric & Non Parametric Classifiers for Classification Technique using WEKA," 2012, doi: 10.5815/IJITCS.2012.07.06.

[11] J. R. Quinlan, "Induction of decision trees," *Mach. Learn.*, vol. 1, no. 1, pp. 81–106, Mar. 1986, doi: 10.1007/BF00116251.

[12] J. Huang, "Towards Attribute-aware Cross-domain Image Retrieval," p. 120.

[13] J. C.-W. Chan and D. Paelinckx, "Evaluation of Random Forest and Adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery," *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, no. 6, pp. 2999–3011, Jun. 2008, doi: 10.1016/j.rse.2008.02.011.

[14] G. Cavallaro, M. Dalla Mura, J. A. Benediktsson, and L. Bruzzone, "Extended Self-Dual Attribute Profiles for the Classification of Hyperspectral Images," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 12, no. 8, pp. 1690–1694, Dec. 2015, doi: 10.1109/LGRS.2015.2419629.

[15] T. Kattenborn, J. Maack, F. Faßnacht, F. Enßle, J. Ermert, and B. Koch, "Mapping forest biomass from space – Fusion of hyperspectral EO1-hyperion data and Tandem-X and WorldView-2 canopy height models," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, vol. 35, pp. 359–367, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jag.2014.10.008.

[16] L. Demarchi, F. Canters, C. Cariou, G. Licciardi, and J. C.-W. Chan, "Assessing the performance of two unsupervised dimensionality reduction techniques on hyperspectral APEX data for high resolution urban land-cover mapping," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 87, pp. 166–179, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.10.012.

[17] K. Y. Peerbhay, O. Mutanga, and R. Ismail, "Random Forests Unsupervised Classification: The Detection and Mapping of Solanum mauritianum Infestations in Plantation Forestry Using Hyperspectral Data," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 8, no. 6, pp. 3107–3122, Jun. 2015, doi: 10.1109/JSTARS.2015.2396577.

[18] E. M. Abdel-Rahman, O. Mutanga, E. Adam, and R. Ismail, "Detecting Sirex noctilio grey-attacked and lightning-struck pine trees using airborne hyperspectral data, random forest and support vector machines classifiers," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 88, pp. 48–59, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.11.013.

[19] K. Mansour, O. Mutanga, T. Everson, and E. Adam, "Discriminating indicator grass

species for rangeland degradation assessment using hyperspectral data resampled to AISA Eagle resolution," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 70, pp. 56–65, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2012.03.006.

[20] S. Adelabu, O. Mutanga, and E. Adam, "Evaluating the impact of red-edge band from Rapideye image for classifying insect defoliation levels," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 95, pp. 34–41, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.05.013.

[21] N. Verde *et al.*, "National Scale Land Cover Classification for Ecosystem Services Mapping and Assessment, Using Multitemporal Copernicus EO Data and Google Earth Engine," *Remote Sens.*, vol. 12, p. 3303, Oct. 2020, doi: 10.3390/rs12203303.

[22] T. N. Phan, V. Kuch, and L. W. Lehnert, "Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 15, Art. no. 15, Jan. 2020, doi: 10.3390/rs12152411.

[23] *The Elements of Statistical Learning*. Accessed: Jun. 29, 2022. [Online]. Available: https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-84858-7

[24] X. Blaes, L. Vanhalle, and P. Defourny, "Efficiency of crop identification based on optical and SAR image time series," *Remote Sens. Environ.*, vol. 96, no. 3, pp. 352–365, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.rse.2005.03.010.

[25] M. Lopes *et al.*, "Improving the accuracy of land cover classification in cloud persistent areas using optical and radar satellite image time series," *Methods Ecol. Evol.*, vol. 11, no. 4, pp. 532–541, 2020, doi: 10.1111/2041-210X.13359.

[26] K. Van Tricht, A. Gobin, S. Gilliams, and I. Piccard, "Synergistic Use of Radar Sentinel-1 and Optical Sentinel-2 Imagery for Crop Mapping: A Case Study for Belgium," *Remote Sens.*, vol. 10, no. 10, Art. no. 10, Oct. 2018, doi: 10.3390/rs10101642.

[27] J. Soria-Ruiz, Y. Fernandez-Ordoñez, and I. H. Woodhouse, "Land-cover classification using radar and optical images: a case study in Central Mexico," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 31, no. 12, pp. 3291–3305, Jun. 2010, doi: 10.1080/01431160903160777.

[28] J. Inglada, A. Vincent, M. Arias, and C. Marais-Sicre, "Improved Early Crop Type Identification By Joint Use of High Temporal Resolution SAR And Optical Image Time Series," *Remote Sens.*, vol. 8, no. 5, Art. no. 5, May 2016, doi: 10.3390/rs8050362.

[29] M. Amani *et al.*, "Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 13, pp. 5326–5350, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.3021052.

[30] C. Luo, H. Liu, L. Lu, Z. Liu, F. Kong, and X. Zhang, "Monthly composites from Sentinel-1 and Sentinel-2 images for regional major crop mapping with Google Earth Engine," *J. Integr. Agric.*, vol. 20, no. 7, pp. 1944–1957, Jul. 2021, doi: 10.1016/S2095-3119(20)63329-9.

[31] C. Karakizi, G. Antoniou, and K. Karantzalos, "Towards Joint Land Cover and Crop Type Mapping with Numerous Classes," Jul. 2018, pp. 2980–2983. doi: 10.1109/IGARSS.2018.8517473.

[32] Γ. Αντωνίου and G. Antoniou, "Χαρτογράφηση κάλυψης γης με χρήση δεδομένων sentinel-2 από πολλαπλές ημερομηνίες μέσω μηχανών διανυσματικής υποστήριξης," Feb. 2018, doi: 10.26240/heal.ntua.14942.

[33] Κ. Τσιώκου and K. Tsiokou, "Χαρτογράφηση Καλλιεργειών και Κάλυψης Γης από Διαχρονικά Δεδομένα Sentinel-2 για τα έτη 2016 και 2017.," May 2019, doi: 10.26240/heal.ntua.9412.

[34] J. W. Rouse, R. H. Haas, D. W. Deering, J. A. Schell, and J. C. Harlan, "Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation," E75-10354, Nov. 1974. Accessed: Jun. 29, 2022. [Online]. Available: https://ntrs.nasa.gov/citations/19750020419

[35] J. Qi, A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr, and S. Sorooshian, "A modified soil adjusted vegetation index," *Remote Sens. Environ.*, vol. 48, no. 2, pp. 119–126, May 1994, doi: 10.1016/0034-4257(94)90134-1.

[36] S. K. McFEETERS, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 17, no. 7, pp. 1425–1432, May 1996, doi: 10.1080/01431169608948714.

[37] "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery: International Journal of Remote Sensing: Vol 24, No 3."

https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160304987 (accessed Jun. 29, 2022).

[38] N. Baghdadi, M. Bernier, R. Gauthier, and I. Neeson, "Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 22, no. 1, pp. 71–88, Jan. 2001, doi: 10.1080/014311601750038857.

[39] K. O. Pope, E. Rejmankova, J. F. Paris, and R. Woodruff, "Detecting seasonal flooding cycles in marshes of the Yucatan Peninsula with SIR-C polarimetric radar imagery," *Remote Sens. Environ.*, vol. 59, no. 2, pp. 157–166, Feb. 1997, doi: 10.1016/S0034-4257(96)00151-4.

[40] J.-S. Lee, "Speckle Suppression And Analysis For Synthetic Aperture Radar Images," *Opt. Eng.*, vol. 25, no. 5, pp. 636–643, May 1986, doi: 10.1117/12.7973877.

[41] C. Oliver and S. Quegan, *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*. SciTech Publishing, 2004.

[42] M. Lavreniuk, N. Kussul, M. Meretsky, V. Lukin, S. Abramov, and O. Rubel, "Impact of SAR data filtering on crop classification accuracy," in *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Feb. 2017, pp. 912–917. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100381.

[43] A. S. Yommy, R. Liu, Wu, and Shuang, "SAR Image Despeckling Using Refined Lee Filter," in *2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Dec. 2015, vol. 2, pp. 260–265. doi: 10.1109/IHMSC.2015.236.

[44] M. Vreugdenhil *et al.*, "Sensitivity of Sentinel-1 Backscatter to Vegetation Dynamics: An Austrian Case Study," *Remote Sens.*, vol. 10, no. 9, Art. no. 9, Sep. 2018, doi: 10.3390/rs10091396.

[45] C. Planque *et al.*, "National Crop Mapping Using Sentinel-1 Time Series: A Knowledge-Based Descriptive Algorithm," *Remote Sens.*, vol. 13, no. 5, Art. no. 5, Jan. 2021, doi: 10.3390/rs13050846.

[46] C. Karakizi, Z. Kandylakis, A. D. Vaiopoulos, and K. Karantzalos, "JOINT LAND COVER AND CROP TYPE MAPPING USING MULTI-TEMPORAL SENTINEL-2 DATA FROM VARIOUS ENVIRONMENTAL ZONES IN GREECE," in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Jun. 2021, vol. XLIII-B3-2021, pp. 319–326. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-319-2021.

[47] C. Karakizi, "Land cover and crop type mapping at national scale from multitemporal high resolution satellite data," Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής. Τομέας Τοπογραφίας. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, 2022. Accessed: Jun. 30, 2022. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10442/hedi/51551

Α. Παράρτημα 1 – Πίνακες Εικόνων

Πίνακας 30: Οι Sentinel-2 εικόνες για το Tile 34SEJ

α/α	Ημερομηνία	Ποσοστό Νεφοκάλυψης %	Δορυφόρος	Κατεύθυνση Τροχιάς
1	20/12/2018	15,438	Sentinel-2A	DESCENDING
2	28/12/2018	0,701	Sentinel-2B	DESCENDING
3	02/01/2018	8,402	Sentinel-2A	DESCENDING
4	17/01/2019	1,141	Sentinel-2B	DESCENDING
5	27/01/2019	2,254	Sentinel-2B	DESCENDING
6	18/02/2019	0,616	Sentinel-2A	DESCENDING
7	21/02/2019	6,916	Sentinel-2A	DESCENDING
8	26/02/2019	1,902	Sentinel-2B	DESCENDING
9	28/02/2019	1,224	Sentinel-2A	DESCENDING
10	03/03/2019	11,100	Sentinel-2A	DESCENDING
11	10/03/2019	0,524	Sentinel-2A	DESCENDING
12	23/03/2019	8,140	Sentinel-2A	DESCENDING
13	25/03/2019	0,591	Sentinel-2B	DESCENDING
14	02/04/2019	6,448	Sentinel-2A	DESCENDING
15	04/04/2019	13,378	Sentinel-2B	DESCENDING
16	27/04/2019	8,035	Sentinel-2B	DESCENDING
17	29/04/2019	4,530	Sentinel-2A	DESCENDING
18	06/06/2019	5,986	Sentinel-2B	DESCENDING
19	08/06/2019	0,209	Sentinel-2A	DESCENDING
20	11/06/2019	18,625	Sentinel-2A	DESCENDING
21	13/06/2019	0,177	Sentinel-2B	DESCENDING
22	16/06/2019	17,784	Sentinel-2B	DESCENDING
23	18/06/2019	6,116	Sentinel-2A	DESCENDING
24	21/06/2019	6,271	Sentinel-2A	DESCENDING
25	28/06/2019	3,588	Sentinel-2A	DESCENDING
26	01/07/2019	5,101	Sentinel-2A	DESCENDING
27	03/07/2019	0,078	Sentinel-2B	DESCENDING
28	06/07/2019	11,215	Sentinel-2B	DESCENDING
29	08/07/2019	0,113	Sentinel-2A	DESCENDING
30	13/07/2019	16,633	Sentinel-2B	DESCENDING
31	21/07/2019	8,394	Sentinel-2A	DESCENDING
32	23/07/2019	13,690	Sentinel-2B	DESCENDING
33	28/07/2019	0,094	Sentinel-2A	DESCENDING
34	02/08/2019	4,181	Sentinel-2B	DESCENDING
35	07/08/2019	0,128	Sentinel-2A	DESCENDING
36	10/08/2019	0,674	Sentinel-2A	DESCENDING
37	12/08/2019	0,099	Sentinel-2B	DESCENDING
38	17/08/2019	13,802	Sentinel-2A	DESCENDING
39	20/08/2019	1,824	Sentinel-2A	DESCENDING
40	22/08/2019	11,030	Sentinel-2B	DESCENDING
41	25/08/2019	0,298	Sentinel-2B	DESCENDING

α/α	Ημερομηνία	Ποσοστό Νεφοκάλυψης %	Δορυφόρος	Κατεύθυνση Τροχιάς
42	27/08/2019	0,080	Sentinel-2A	DESCENDING
43	30/08/2019	0,768	Sentinel-2A	DESCENDING
44	01/09/2019	7,243	Sentinel-2B	DESCENDING
45	04/09/2019	0,439	Sentinel-2B	DESCENDING
46	06/09/2019	8,855	Sentinel-2A	DESCENDING
47	14/09/2019	0,004	Sentinel-2B	DESCENDING
48	16/09/2019	0,043	Sentinel-2A	DESCENDING
49	19/09/2019	2,399	Sentinel-2A	DESCENDING
50	26/09/2019	13,236	Sentinel-2A	DESCENDING
51	29/09/2019	0,132	Sentinel-2A	DESCENDING
52	01/10/2019	0,058	Sentinel-2B	DESCENDING
53	04/10/2019	6,334	Sentinel-2B	DESCENDING
54	06/10/2019	5,834	Sentinel-2A	DESCENDING
55	09/10/2019	16,842	Sentinel-2A	DESCENDING
56	11/10/2019	5,128	Sentinel-2B	DESCENDING
57	14/10/2019	0,063	Sentinel-2B	DESCENDING
58	16/10/2019	2,851	Sentinel-2A	DESCENDING
59	19/10/2019	1,231	Sentinel-2A	DESCENDING
60	21/10/2019	0,954	Sentinel-2B	DESCENDING
61	26/10/2019	0,018	Sentinel-2A	DESCENDING
62	29/10/2019	0,534	Sentinel-2A	DESCENDING

Πίνακας 31: Οι Sentinel-2 εικόνες για το Tile 35TLF

α/α	Ημερομηνία	Ποσοστό Νεφοκάλυψης %	Δορυφόρος	Κατεύθυνση Τροχιάς
1	25/12/2018	2,173	Sentinel-2B	DESCENDING
2	27/12/2018	0,299	Sentinel-2A	DESCENDING
3	30/12/2018	8,853	Sentinel-2A	DESCENDING
4	16/01/2019	0,732	Sentinel-2A	DESCENDING
5	05/02/2019	0,323	Sentinel-2A	DESCENDING
6	18/02/2019	3,334	Sentinel-2A	DESCENDING
7	20/02/2019	1,867	Sentinel-2B	DESCENDING
8	28/02/2019	5,659	Sentinel-2A	DESCENDING
9	17/03/2019	0,114	Sentinel-2A	DESCENDING
10	22/03/2019	7,268	Sentinel-2B	DESCENDING
11	25/03/2019	1,547	Sentinel-2B	DESCENDING
12	01/04/2019	1,540	Sentinel-2B	DESCENDING
13	04/04/2019	1,943	Sentinel-2B	DESCENDING
14	21/04/2019	12,691	Sentinel-2B	DESCENDING
15	26/04/2019	5,601	Sentinel-2A	ASCENDING
16	11/05/2019	16,812	Sentinel-2B	DESCENDING
17	26/05/2019	6,011	Sentinel-2A	ASCENDING
18	31/05/2019	13,048	Sentinel-2B	DESCENDING
19	13/06/2019	15,873	Sentinel-2B	DESCENDING

α/α	Ημερομηνία	Ποσοστό Νεφοκάλυψης %	Δορυφόρος	Κατεύθυνση Τροχιάς
20	20/06/2019	9,582	Sentinel-2B	DESCENDING
21	23/06/2019	4,638	Sentinel-2B	DESCENDING
22	25/06/2019	5,316	Sentinel-2A	DESCENDING
23	30/06/2019	13,231	Sentinel-2B	DESCENDING
24	03/07/2019	0,002	Sentinel-2B	DESCENDING
25	05/07/2019	9,532	Sentinel-2A	DESCENDING
26	18/07/2019	19,818	Sentinel-2A	DESCENDING
27	20/07/2019	0,059	Sentinel-2B	DESCENDING
28	25/07/2019	3,370	Sentinel-2A	DESCENDING
29	28/07/2019	18,834	Sentinel-2A	DESCENDING
30	02/08/2019	16,029	Sentinel-2B	DESCENDING
31	04/08/2019	7,870	Sentinel-2A	DESCENDING
32	07/08/2019	0,254	Sentinel-2A	DESCENDING
33	12/08/2019	0,004	Sentinel-2B	DESCENDING
34	14/08/2019	0,423	Sentinel-2A	DESCENDING
35	19/08/2019	0,686	Sentinel-2B	DESCENDING
36	22/08/2019	0,001	Sentinel-2B	DESCENDING
37	24/08/2019	1,014	Sentinel-2A	DESCENDING
38	27/08/2019	12,932	Sentinel-2A	DESCENDING
39	29/08/2019	0,154	Sentinel-2B	DESCENDING
40	01/09/2019	0,017	Sentinel-2B	DESCENDING
41	03/09/2019	0,087	Sentinel-2A	DESCENDING
42	08/09/2019	7,986	Sentinel-2B	DESCENDING
43	13/09/2019	18,374	Sentinel-2A	DESCENDING
44	16/09/2019	0,002	Sentinel-2A	DESCENDING
45	18/09/2019	0,061	Sentinel-2B	DESCENDING
46	21/09/2019	13,560	Sentinel-2B	DESCENDING
47	28/09/2019	1,986	Sentinel-2B	DESCENDING
48	01/10/2019	17,717	Sentinel-2B	DESCENDING
49	06/10/2019	14,506	Sentinel-2A	DESCENDING
50	13/10/2019	0,245	Sentinel-2A	DESCENDING
51	16/10/2019	0,002	Sentinel-2A	DESCENDING
52	18/10/2019	4,705	Sentinel-2B	DESCENDING
53	21/10/2019	0,001	Sentinel-2B	DESCENDING
54	23/10/2019	0,104	Sentinel-2A	DESCENDING
55	26/10/2019	0,574	Sentinel-2A	DESCENDING
56	05/11/2019	1,295	Sentinel-2A	DESCENDING
57	12/11/2019	10,431	Sentinel-2A	DESCENDING
58	15/11/2019	5,274	Sentinel-2A	DESCENDING

Πίνακας 32: Οι Sentinel-1 εικόνες για το Tile 34SEJ

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
1	19/12/2018	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
2	19/12/2018	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
3	20/12/2018	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
4	20/12/2018	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
5	25/12/2018	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
6	25/12/2018	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
7	26/12/2018	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
8	26/12/2018	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
9	31/12/2018	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
10	31/12/2018	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
11	01/01/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
12	01/01/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
13	06/01/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
14	06/01/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
15	07/01/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
16	07/01/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
17	12/01/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
18	12/01/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
19	13/01/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
20	13/01/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
21	18/01/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
22	18/01/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
23	19/01/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
24	19/01/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
25	24/01/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
26	24/01/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
27	25/01/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
28	25/01/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
29	30/01/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
30	30/01/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
31	31/01/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
32	31/01/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
33	05/02/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
34	05/02/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
35	06/02/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
36	06/02/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
37	11/02/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
38	11/02/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
39	12/02/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
40	12/02/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
41	17/02/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
42	17/02/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
43	18/02/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
44	18/02/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
45	23/02/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
46	23/02/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
47	24/02/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
48	24/02/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
49	01/03/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
50	01/03/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
51	02/03/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
52	02/03/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
53	07/03/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
54	07/03/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
55	08/03/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
56	08/03/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
57	13/03/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
58	13/03/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
59	14/03/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
60	14/03/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
61	19/03/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
62	19/03/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
63	20/03/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
64	20/03/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
65	25/03/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
66	25/03/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
67	26/03/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
68	26/03/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
69	31/03/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
70	31/03/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
71	01/04/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
72	01/04/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
73	06/04/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
74	06/04/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
75	07/04/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
76	07/04/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
77	12/04/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
78	12/04/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
79	13/04/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
80	13/04/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
81	18/04/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
82	19/04/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
83	19/04/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
84	24/04/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
85	24/04/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
86	25/04/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
87	25/04/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
88	30/04/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
89	30/04/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
90	01/05/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
91	01/05/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
92	06/05/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
93	06/05/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
94	07/05/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
95	07/05/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
96	12/05/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
97	12/05/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
98	13/05/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
99	13/05/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
100	18/05/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
101	18/05/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
102	19/05/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
103	19/05/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
104	24/05/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
105	24/05/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
106	25/05/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
107	30/05/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
108	30/05/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
109	31/05/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
110	31/05/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
111	05/06/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
112	05/06/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
113	06/06/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
114	06/06/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
115	07/06/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
116	11/06/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
117	11/06/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
118	12/06/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
119	12/06/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
120	17/06/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
121	17/06/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
122	18/06/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
123	18/06/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
124	23/06/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
125	23/06/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
126	24/06/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
127	24/06/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
128	29/06/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
129	30/06/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
130	30/06/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
131	05/07/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
132	05/07/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
133	06/07/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
134	11/07/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
135	11/07/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
136	12/07/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
137	12/07/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
138	17/07/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
139	17/07/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
140	18/07/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
141	18/07/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
142	23/07/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
143	23/07/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
144	24/07/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
145	24/07/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
146	29/07/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
147	29/07/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
148	30/07/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
149	30/07/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
150	04/08/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
151	04/08/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
152	05/08/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
153	05/08/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
154	10/08/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
155	10/08/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
156	11/08/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
157	11/08/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
158	16/08/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
159	16/08/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
160	17/08/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
161	17/08/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
162	22/08/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
163	22/08/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
164	23/08/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
165	23/08/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
166	28/08/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
167	28/08/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
168	29/08/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
169	29/08/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
170	03/09/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
171	03/09/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
172	04/09/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
173	04/09/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
174	09/09/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
175	09/09/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
176	10/09/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
177	10/09/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
178	15/09/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
179	15/09/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
180	16/09/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
181	16/09/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
182	21/09/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
183	21/09/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
184	22/09/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
185	22/09/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
186	27/09/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
187	27/09/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
188	28/09/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
189	28/09/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
190	03/10/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
191	03/10/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
192	04/10/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
193	04/10/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
194	09/10/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
195	09/10/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
196	10/10/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
197	10/10/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
198	15/10/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
199	15/10/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
200	16/10/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
201	16/10/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
202	21/10/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
203	21/10/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
204	22/10/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
205	22/10/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
206	27/10/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING
207	27/10/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
208	28/10/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
209	28/10/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
210	02/11/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
211	02/11/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
212	03/11/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
213	03/11/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING
214	08/11/2019	Sentinel-1 B	80	DESCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
215	08/11/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
216	09/11/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
217	09/11/2019	Sentinel-1 B	102	ASCENDING
218	14/11/2019	Sentinel-1 A	80	DESCENDING
219	14/11/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
220	15/11/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
221	15/11/2019	Sentinel-1 A	102	ASCENDING

Πίνακας 33: Οι Sentinel-1 εικόνες για το Tile 35TLF

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
1	15/12/2018	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
2	15/12/2018	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
3	16/12/2018	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
4	20/12/2018	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
5	21/12/2018	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
6	21/12/2018	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
7	22/12/2018	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
8	26/12/2018	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
9	27/12/2018	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
10	27/12/2018	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
11	28/12/2018	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
12	01/01/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
13	02/01/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
14	02/01/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
15	03/01/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
16	07/01/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
17	08/01/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
18	08/01/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
19	09/01/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
20	14/01/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
21	14/01/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
22	15/01/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
23	19/01/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
24	20/01/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
25	20/01/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
26	21/01/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
27	25/01/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
28	26/01/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
29	26/01/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
30	27/01/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
31	31/01/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
32	01/02/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
33	01/02/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
34	02/02/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
35	03/02/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
36	07/02/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
37	08/02/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
38	12/02/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
39	13/02/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
40	13/02/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
41	14/02/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
42	18/02/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
43	19/02/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
44	19/02/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
45	20/02/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
46	24/02/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
47	25/02/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
48	25/02/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
49	26/02/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
50	02/03/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
51	03/03/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
52	03/03/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
53	04/03/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
54	08/03/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
55	09/03/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
56	09/03/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
57	10/03/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
58	14/03/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
59	15/03/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
60	15/03/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
61	16/03/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
62	20/03/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
63	21/03/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
64	21/03/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
65	22/03/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
66	26/03/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
67	27/03/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
68	27/03/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
69	28/03/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
70	01/04/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
71	02/04/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
72	02/04/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
73	03/04/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
74	07/04/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
75	08/04/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
76	08/04/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
77	09/04/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
78	13/04/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
79	14/04/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
80	14/04/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
81	15/04/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
82	19/04/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
83	20/04/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
84	20/04/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
85	21/04/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
86	25/04/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
87	26/04/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
88	26/04/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
89	27/04/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
90	01/05/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
91	02/05/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
92	02/05/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
93	03/05/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
94	07/05/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
95	08/05/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
96	08/05/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
97	09/05/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
98	14/05/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
99	14/05/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
100	15/05/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
101	19/05/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
102	20/05/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
103	20/05/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
104	21/05/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
105	26/05/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
106	26/05/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
107	27/05/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
108	31/05/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
109	01/06/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
110	01/06/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
111	02/06/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
112	06/06/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
113	07/06/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
114	08/06/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
115	12/06/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
116	13/06/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
117	13/06/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
118	14/06/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
119	18/06/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
120	19/06/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
121	19/06/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
122	20/06/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
123	24/06/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
124	25/06/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
125	25/06/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
126	26/06/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
127	30/06/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
128	01/07/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
129	01/07/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
130	02/07/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
131	05/07/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
132	06/07/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
133	07/07/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
134	07/07/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
135	08/07/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
136	12/07/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
137	13/07/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
138	13/07/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
139	14/07/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
140	18/07/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
141	19/07/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
142	19/07/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
143	20/07/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
144	24/07/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
145	25/07/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
146	25/07/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
147	26/07/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
148	30/07/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
149	31/07/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
150	31/07/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
151	01/08/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
152	06/08/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
153	06/08/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
154	07/08/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
155	11/08/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
156	12/08/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
157	12/08/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
158	13/08/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
159	17/08/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
160	18/08/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
161	18/08/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
162	19/08/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
163	23/08/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
164	24/08/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
165	24/08/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
166	25/08/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
167	29/08/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
168	30/08/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
169	30/08/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
170	31/08/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
171	04/09/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
172	05/09/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
173	05/09/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
174	06/09/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
175	10/09/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
176	11/09/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
177	11/09/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
178	12/09/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
179	16/09/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
180	17/09/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
181	17/09/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
182	18/09/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
183	22/09/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
184	23/09/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
185	23/09/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
186	24/09/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
187	28/09/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
188	29/09/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
189	29/09/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
190	30/09/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
191	04/10/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
192	05/10/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
193	05/10/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
194	06/10/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
195	10/10/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
196	11/10/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
197	11/10/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
198	12/10/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING

α/α	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Αριθμός Σχετικής Τροχιάς	Κατεύθυνση Τροχιάς
199	16/10/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
200	17/10/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
201	17/10/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
202	18/10/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
203	22/10/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
204	23/10/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
205	23/10/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
206	24/10/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
207	28/10/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
208	29/10/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
209	29/10/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
210	30/10/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
211	03/11/2019	Sentinel-1 B	7	DESCENDING
212	04/11/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
213	04/11/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING
214	05/11/2019	Sentinel-1 A	131	ASCENDING
215	09/11/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
216	10/11/2019	Sentinel-1 B	109	DESCENDING
217	10/11/2019	Sentinel-1 A	29	ASCENDING
218	11/11/2019	Sentinel-1 B	131	ASCENDING
219	13/11/2019	Sentinel-1 A	7	DESCENDING
220	16/11/2019	Sentinel-1 A	109	DESCENDING
221	16/11/2019	Sentinel-1 B	29	ASCENDING

Β. Παράρτημα 2 – Κώδικας JavaScript

Δημιουργία Εποχικών Συνθέτων Διάμεσης Τιμής Sentinel-2

```
var rgbVis = {
  min: 0.0,
  max: 0.3,
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
};

var s2_35tlf_cloud = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")
  .filterMetadata('MGRS_TILE', 'equals', '34SEJ')
  .filterDate('2018-12-16', '2019-11-15')
  .filter(ee.Filter.lte('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 20));
  print(s2_35tlf,'Image Collection');

/**
 * Function to mask clouds using the Sentinel-2 QA band
 * @param {ee.Image} image Sentinel-2 image
 * @return {ee.Image} cloud masked Sentinel-2 image
 */
function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');

  // Bits 10 and 11 are clouds and cirrus, respectively.
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;

  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
      .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).divide(10000).copyProperties(image, image.propertyNames());
}


//Apply cloud masking function to Image Collection
var s2_35tlf = s2_35tlf_cloud.map(maskS2clouds);

// Function to calculate and add an NDVI band
var addNDVI = function(image) {
return image.addBands(image.normalizedDifference(['B8', 'B4']))
.copyProperties(image, image.propertyNames())};

// Function to calculate and add an NDWI band
var addNDWI = function(image) {
return image.addBands(image.normalizedDifference(['B3', 'B8']))
.copyProperties(image, image.propertyNames())};

// Function to calculate and add an NDBI band
var addNDBI = function(image) {
return image.addBands(image.normalizedDifference(['B11', 'B8']))
.copyProperties(image, image.propertyNames())};

// Function to calculate and add an MSAVI2 band
var addmsavi2 = function(image) {
  return image.addBands(image.expression(
    '(2 * NIR + 1 - sqrt(pow((2 * NIR + 1), 2) - 8 * (NIR - RED)) ) / 2',
    {
      'NIR': image.select('B8'),
      'RED': image.select('B4'),
    }).toFloat().copyProperties(image, image.propertyNames()));
};

// Function to select and rename final bands
var tobands = function(image) {
return image.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','nd','nd_1','nd_2','constant'],
['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'])
.copyProperties(image, image.propertyNames())};


// Add NDVI band to Image Collection
var s2_35tlf = s2_35tlf.map(addNDVI);

// Add NDWI band to Image Collection
var s2_35tlf = s2_35tlf.map(addNDWI);

// Add NDBI band to Image Collection
var s2_35tlf = s2_35tlf.map(addNDBI);

// Add MSAVI band to Image Collection
var s2_35tlf = s2_35tlf.map(addmsavi2);

var s2_35tlf = s2_35tlf.map(tobands);

print(s2_35tlf,'Image Collection with Final Bands & Spectral Indices');

//Create seasonal median images
//Collection S1 = Winter
 var s2_35tlf_s1 = s2_35tlf.filterDate('2018-12-16','2019-03-15');
print(s2_35tlf_s1,'Winter Image Collection');

var season1Median = s2_35tlf_s1.median();
season1Median= season1Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S1','B3_S1','B4_S1','B5_S1','B8_S1','B8A_S1','B11_S1',
                                     'NDVI_S1','NDWI_S1','NDBI_S1','MSAVI2_S1']);

```

```
//Collection S2 = Spring
var s2_35tlf_s2 = s2_35tlf.filterDate('2019-03-16', '2019-06-15');
print(s2_35tlf_s2,'Spring Image Collection');

var season2Median = s2_35tlf_s2.median();
season2Median= season2Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S2','B3_S2','B4_S2','B5_S2','B8_S2','B8A_S2','B11_S2',
                                     'NDVI_S2','NDWI_S2','NDBI_S2','MSAVI2_S2']);

//Collection S3 = Summer
var s2_35tlf_s3 = s2_35tlf.filterDate('2019-06-16', '2019-09-15');
print(s2_35tlf_s3,'Summer Image Collection');

var season3Median =s2_35tlf_s3.median();
season3Median= season3Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S3','B3_S3','B4_S3','B5_S3','B8_S3','B8A_S3','B11_S3',
                                     'NDVI_S3','NDWI_S3','NDBI_S3','MSAVI2_S3']);

//Collection S4 = Autumn
 var s2_35tlf_s4 =s2_35tlf.filterDate('2019-09-16', '2019-11-15');
print(s2_35tlf_s4,'Autumn Image Collection');

var season4Median = s2_35tlf_s4.median();
season4Median= season4Median.select(['B2','B3','B4','B5','B8','B8A','B11','NDVI','NDWI','NDBI','MSAVI2'],
                                    ['B2_S4','B3_S4','B4_S4','B5_S4','B8_S4','B8A_S4','B11_S4',
                                     'NDVI_S4','NDWI_S4','NDBI_S4','MSAVI2_S4']);


//Create Seasonal Composite
var ImSeasonal =season1Median.addBands(season2Median)
                             .addBands(season3Median)
                             .addBands(season4Median);

print(ImSeasonal,'ImSeasonal');

//ImSeasonal = ImSeaconal.reproject({crs: 'EPSG:4326}', scale: 10})

Export.image.toAsset({
  image: ImSeasonal,
  description: 'ImSeasonal_35tlf_19_mask_QA60',
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: geometry,
  maxPixels: 1e13, //max pixels allowed for download
  pyramidingPolicy: {".default": "mean"}
});

print('end');
```

Δημιουργία Εποχικών Συνθέτων Μέσης Τιμής και Τυπικής Απόκλισης Sentinel-1

```
1   //Giorgos Begkos, SRSE NTUA 2022
2
3   var sent1 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
4       .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
5       .filterMetadata('transmitterReceiverPolarisation', 'equals', ['VV', 'VH'])
6       .filterDate('2018-12-16', '2019-11-15')
7       .filter(ee.Filter.eq('resolution_meters',10))
8       .filterBounds(geometry);
9
10  Map.centerObject(geometry);
11
12
13  // Functions to convert from dB
14  function toNatural_VH(img) {
15    return ee.Image(10.0).pow(img.select('VH').divide(10.0))
16    .copyProperties(img, img.propertyNames());
17  }
18
19  function toNatural_VV(img) {
20    return ee.Image(10.0).pow(img.select('VV').divide(10.0))
21    .copyProperties(img, img.propertyNames());}
22
23
24  //function to convert back to Db
25  var toDb= function(image) {
26  return ee.Image(image).log10().multiply(10.0)
27  .copyProperties(image, image.propertyNames());
28  };
29
30
31  //    Lee Filter.
32  //
33  //#####################################################
34
35  // The RL speckle filter from https://code.earthengine.google.com/2ef38463ebaf5ae133a478f173fd0ab5
36  // by Guido Lemoine
37  function refinedLee(img) {
38    // img must be in natural units, i.e. not in dB!
39    // Set up 3x3 kernels
40    var weights3 = ee.List.repeat(ee.List.repeat(1,3),3);
41    var kernel3 = ee.Kernel.fixed(3,3, weights3, 1, 1, false);
42
43    var mean3 = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), kernel3);
44    var variance3 = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), kernel3);
45
46    // Use a sample of the 3x3 windows inside a 7x7 windows to determine gradients and directions
47    var sample_weights = ee.List([[0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],[0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],
48                                  [0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],[0,0,0,0,0,0,0]]);
49
50    var sample_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, sample_weights, 3,3, false);
51
52    // Calculate mean and variance for the sampled windows and store as 9 bands
53    var sample_mean = mean3.neighborhoodToBands(sample_kernel);
54    var sample_var = variance3.neighborhoodToBands(sample_kernel);
55
56    // Determine the 4 gradients for the sampled windows
57    var gradients = sample_mean.select(1).subtract(sample_mean.select(7)).abs();
58    gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(6).subtract(sample_mean.select(2)).abs());
59    gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(3).subtract(sample_mean.select(5)).abs());
60    gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(0).subtract(sample_mean.select(8)).abs());
61
62    // And find the maximum gradient amongst gradient bands
63    var max_gradient = gradients.reduce(ee.Reducer.max());
64
65    // Create a mask for band pixels that are the maximum gradient
66    var gradmask = gradients.eq(max_gradient);
67
68    // duplicate gradmask bands: each gradient represents 2 directions
69    gradmask = gradmask.addBands(gradmask);
70
71     // Determine the 8 directions
72    var directions = sample_mean.select(1).subtract(sample_mean.select(4))
73                                .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(7))).multiply(1);
74    directions = directions.addBands(sample_mean.select(6).subtract(sample_mean.select(4))
75                           .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(2))).multiply(2));
76    directions = directions.addBands(sample_mean.select(3).subtract(sample_mean.select(4))
77                           .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(5))).multiply(3));
78    directions = directions.addBands(sample_mean.select(0).subtract(sample_mean.select(4))
79                           .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(8))).multiply(4));
80
81    // The next 4 are the not() of the previous 4
82    directions = directions.addBands(directions.select(0).not().multiply(5));
83    directions = directions.addBands(directions.select(1).not().multiply(6));
84    directions = directions.addBands(directions.select(2).not().multiply(7));
85    directions = directions.addBands(directions.select(3).not().multiply(8));
86
87    // Mask all values that are not 1-8
88    directions = directions.updateMask(gradmask);
89
90    // "collapse" the stack into a singe band image (due to masking,
91    //each pixel has just one value (1-8) in it's directional band, and is otherwise masked)
92    directions = directions.reduce(ee.Reducer.sum());
93
94    //var pal = ['ffffff','ff0000','ffff00', '00ff00', '00ffff', '0000ff', 'ff00ff', '000000'];
95    //Map.addLayer(directions.reduce(ee.Reducer.sum()), {min:1, max:8, palette: pal}, 'Directions', false);
96
97    var sample_stats = sample_var.divide(sample_mean.multiply(sample_mean));
98
99    // Calculate localNoiseVariance
100   var sigmaV = sample_stats.toArray().arraySort().arraySlice(0,0,5).arrayReduce(ee.Reducer.mean(), [0]);
101
102   // Set up the 7*7 kernels for directional statistics
103   var rect_weights = ee.List.repeat(ee.List.repeat(0,7),3).cat(ee.List.repeat(ee.List.repeat(1,7),4));
104
```

```
  var diag_weights = ee.List([[1,0,0,0,0,0,0], [1,1,0,0,0,0,0], [1,1,1,0,0,0,0],
    [1,1,1,1,0,0,0], [1,1,1,1,1,0,0], [1,1,1,1,1,1,0], [1,1,1,1,1,1,1]]);

  var rect_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, rect_weights, 3, 3, false);
  var diag_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, diag_weights, 3, 3, false);

  // Create stacks for mean and variance using the original kernels. Mask with relevant direction.
  var dir_mean = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), rect_kernel).updateMask(directions.eq(1));
  var dir_var = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), rect_kernel).updateMask(directions.eq(1));

  dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), diag_kernel)
  .updateMask(directions.eq(2)));
  dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), diag_kernel)
  .updateMask(directions.eq(2)));

  // and add the bands for rotated kernels
  for (var i=1; i<4; i++) {
    dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), rect_kernel.rotate(i))
    .updateMask(directions.eq(2*i+1)));
    dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), rect_kernel.rotate(i))
    .updateMask(directions.eq(2*i+1)));
    dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), diag_kernel.rotate(i))
    .updateMask(directions.eq(2*i+2)));
    dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), diag_kernel.rotate(i))
    .updateMask(directions.eq(2*i+2)));
  }

  // "collapse" the stack into a single band image (due to masking, each pixel has just
  //one value in it's directional band, and is otherwise masked)
  dir_mean = dir_mean.reduce(ee.Reducer.sum());
  dir_var = dir_var.reduce(ee.Reducer.sum());

  // A finally generate the filtered value
  var varX = dir_var.subtract(dir_mean.multiply(dir_mean).multiply(sigmaV)).divide(sigmaV.add(1.0));

  var b = varX.divide(dir_var);

  var result = dir_mean.add(b.multiply(img.subtract(dir_mean)));
  return(result.arrayFlatten([['sum']])).copyProperties(img, img.propertyNames());
}

// Select images of Descending Order
var sent1_des = sent1.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass','DESCENDING'));
print(sent1_des,'sent1_des');

// Select images of Ascending Order
var sent1_asc = sent1.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass','ASCENDING'));
print(sent1_asc,'sent1_asc');


var sent1_asc_vh_rl = sent1_asc.select('VH').map(toNatural_VH).map(refinedLee).map(toDb)
                                                                  .select(['sum'],['VH_rl']);

var sent1_asc_vv_rl = sent1_asc.select('VV').map(toNatural_VV).map(refinedLee).map(toDb)
                                                                  .select(['sum'],['VV_rl']);

var sent1_des_vh_rl = sent1_des.select('VH').map(toNatural_VH).map(refinedLee).map(toDb)
                                                                  .select(['sum'],['VH_rl']);

var sent1_des_vv_rl = sent1_des.select('VV').map(toNatural_VV).map(refinedLee).map(toDb)
                                                                  .select(['sum'],['VV_rl']);


// Use an equals filter to define how the collections match.
var filter = ee.Filter.equals({
  leftField: 'system:time_start',
  rightField: 'system:time_start'
});

// Create the join.
var innerJoin = ee.Join.inner();

// Apply the join.
var sent1_asc_rl_in  = innerJoin.apply( sent1_asc_vh_rl, sent1_asc_vv_rl, filter);
var sent1_des_rl_in  = innerJoin.apply( sent1_des_vh_rl, sent1_des_vv_rl, filter);

// Map a function to merge the results in the output FeatureCollection.
var sent1_asc_rl = sent1_asc_rl_in.map(function(feature) {
  return ee.Image.cat(feature.get('primary'), feature.get('secondary'));
});

// Map a function to merge the results in the output FeatureCollection.
var sent1_des_rl = sent1_des_rl_in.map(function(feature) {
  return ee.Image.cat(feature.get('primary'), feature.get('secondary'));
});

// Merge the two collections with different orientations
var sent1_rl = sent1_asc_rl.merge(sent1_des_rl).sort('system:time_start', true);

sent1_rl = ee.ImageCollection(sent1_rl);
print(sent1_rl,'sent1_rl');


//Create seasonal Mean & Standard Deviation images
//Collection S1 = Winter
var sent1_rl_s1 = sent1_rl.filterDate('2018-12-16', '2019-03-15');
print(sent1_rl_s1,'Winter Image Collection');

var sent1_rl_s1_mean = sent1_rl_s1.mean().select(['VH_rl','VV_rl'],['VHrl_S1','VVrl_S1']);
//print(sent1_rl_s1_mean,'sent1_rl_s1_mean');

var sent1_rl_s1_stdDev = sent1_rl_s1.reduce(ee.Reducer.stdDev()).select(['VH_rl_stdDev','VV_rl_stdDev'],
                                                                  ['VHrl_StdDev_S1','VVrl_StdDev_S1']);
//print(sent1_rl_s1_stdDev,'sent1_rl_s1_stdDev');

```

```
//Collection S2 = Spring
var sent1_rl_s2 = sent1_rl.filterDate('2019-03-16', '2019-06-15');
print(sent1_rl_s2,'Spring Image Collection');

var sent1_rl_s2_mean = sent1_rl_s2.mean().select(['VH_rl','VV_rl'],['VHrl_S2','VVrl_S2']);
//print(sent1_rl_s2_mean,'sent1_rl_s2_mean');

var sent1_rl_s2_stdDev = sent1_rl_s2.reduce(ee.Reducer.stdDev()).select(['VH_rl_stdDev','VV_rl_stdDev'],
                                                                         ['VHrl_StdDev_S2','VVrl_StdDev_S2']);
//print(sent1_rl_s2_stdDev,'sent1_rl_s2_stdDev');

//Collection S3 = Summer
var sent1_rl_s3 = sent1_rl.filterDate('2019-06-16', '2019-09-15');
print(sent1_rl_s3,'Summer Image Collection');

var sent1_rl_s3_mean = sent1_rl_s3.mean().select(['VH_rl','VV_rl'],['VHrl_S3','VVrl_S3']);
//print(sent1_rl_s3_mean,'sent1_rl_s3_mean');

var sent1_rl_s3_stdDev = sent1_rl_s3.reduce(ee.Reducer.stdDev()).select(['VH_rl_stdDev','VV_rl_stdDev'],
                                                                         ['VHrl_StdDev_S3','VVrl_StdDev_S3']);
//print(sent1_rl_s3_stdDev,'sent1_rl_s3_stdDev');

//Collection S4 = Autumn
var sent1_rl_s4 = sent1_rl.filterDate('2019-09-16', '2019-11-15');
print(sent1_rl_s4,'Autumn Image Collection');

var sent1_rl_s4_mean = sent1_rl_s4.mean().select(['VH_rl','VV_rl'],['VHrl_S4','VVrl_S4']);
//print(sent1_rl_s4_mean,'sent1_rl_s4_mean');

var sent1_rl_s4_stdDev = sent1_rl_s4.reduce(ee.Reducer.stdDev()).select(['VH_rl_stdDev','VV_rl_stdDev'],
                                                                         ['VHrl_StdDev_S4','VVrl_StdDev_S4']);
//print(sent1_rl_s4_stdDev,'sent1_rl_s4_stdDev');


//Create Seasonal Composites
var sent1_rl_mean = sent1_rl_s1_mean.addBands(sent1_rl_s2_mean)
                                    .addBands(sent1_rl_s3_mean)
                                    .addBands(sent1_rl_s4_mean);
print(sent1_rl_mean,'sent1_rl_mean');


var sent1_rl_stdDev = sent1_rl_s1_stdDev.addBands(sent1_rl_s2_stdDev)
                                        .addBands(sent1_rl_s3_stdDev)
                                        .addBands(sent1_rl_s4_stdDev);
print(sent1_rl_stdDev,'sent1_rl_stdDev');

//Clip images to AOI's extent
sent1_rl_mean = sent1_rl_mean.clip(geometry);
sent1_rl_stdDev = sent1_rl_stdDev.clip(geometry);

Export.image.toAsset({
  image: sent1_rl_mean,
  description: 'sent_1_rl_mean_19_35TLF' ,
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: geometry,
  maxPixels: 1e13, //max pixels allowed for download
  pyramidingPolicy: {".default": "mean"}
});

Export.image.toAsset({
  image: sent1_rl_stdDev,
  description: 'sent_1_rl_std_19_35TLF' ,
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: geometry,
  maxPixels: 1e13, //max pixels allowed for download
  pyramidingPolicy: {".default": "mean"}
});


print('end');
```

Δημιουργία Εποχικών Συνθέτων Λόγου Πολώσεων VH/VV Sentinel-1

```
//Giorgos Begkos, SRSE NTUA 2022

var sent1 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
    .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
    .filterMetadata('transmitterReceiverPolarisation', 'equals', ['VV', 'VH'])
    .filterDate('2018-12-16', '2019-11-15')
    .filter(ee.Filter.eq('resolution_meters',10))
    .filterBounds(geometry);

Map.centerObject(geometry);

// Functions to convert from/to dB
function toNatural_VH(img) {
  return ee.Image(10.0).pow(img.select('VH').divide(10.0))
  .copyProperties(img, img.propertyNames());
}

function toNatural_VV(img) {
  return ee.Image(10.0).pow(img.select('VV').divide(10.0))
  .copyProperties(img, img.propertyNames());}


//function to convert back to Db
var toDb= function(image) {
return ee.Image(image).log10().multiply(10.0)
.copyProperties(image, image.propertyNames());
};

// Function to add band containing VH/VV ratio
var addvhvv = function(image) {
return image.addBands(image.expression(
'VH/VV', {
'VH': image.select(['VH_rl']),
'VV': image.select(['VV_rl'])
}
))
.copyProperties(image, image.propertyNames());
};

  //function to convert db to original
var toNatural= function(image) {
return ee.Image(10.0).pow(image.select('VH_rl','VV_rl').divide(10.0))
.copyProperties(image, image.propertyNames());
};

//    Lee Filter.
//
//#######################################################

// The RL speckle filter from https://code.earthengine.google.com/2ef38463ebaf5ae133a478f173fd0ab5
// by Guido Lemoine
function refinedLee(img) {
  // img must be in natural units, i.e. not in dB!
  // Set up 3x3 kernels
  var weights3 = ee.List.repeat(ee.List.repeat(1,3),3);
  var kernel3 = ee.Kernel.fixed(3,3, weights3, 1, 1, false);

  var mean3 = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), kernel3);
  var variance3 = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), kernel3);

  // Use a sample of the 3x3 windows inside a 7x7 windows to determine gradients and directions
  var sample_weights = ee.List([[0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],[0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],
                                [0,0,0,0,0,0,0], [0,1,0,1,0,1,0],[0,0,0,0,0,0,0]]);

  var sample_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, sample_weights, 3,3, false);

  // Calculate mean and variance for the sampled windows and store as 9 bands
  var sample_mean = mean3.neighborhoodToBands(sample_kernel);
  var sample_var = variance3.neighborhoodToBands(sample_kernel);

  // Determine the 4 gradients for the sampled windows
  var gradients = sample_mean.select(1).subtract(sample_mean.select(7)).abs();
  gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(6).subtract(sample_mean.select(2)).abs());
  gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(3).subtract(sample_mean.select(5)).abs());
  gradients = gradients.addBands(sample_mean.select(0).subtract(sample_mean.select(8)).abs());

  // And find the maximum gradient amongst gradient bands
  var max_gradient = gradients.reduce(ee.Reducer.max());

  // Create a mask for band pixels that are the maximum gradient
  var gradmask = gradients.eq(max_gradient);

  // duplicate gradmask bands: each gradient represents 2 directions
  gradmask = gradmask.addBands(gradmask);

  // Determine the 8 directions
  var directions = sample_mean.select(1).subtract(sample_mean.select(4))
                              .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(7))).multiply(1);
  directions = directions.addBands(sample_mean.select(6).subtract(sample_mean.select(4))
                         .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(2))).multiply(2));
  directions = directions.addBands(sample_mean.select(3).subtract(sample_mean.select(4))
                         .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(5))).multiply(3));
  directions = directions.addBands(sample_mean.select(0).subtract(sample_mean.select(4))
                         .gt(sample_mean.select(4).subtract(sample_mean.select(8))).multiply(4));

  // The next 4 are the not() of the previous 4
  directions = directions.addBands(directions.select(0).not().multiply(5));
  directions = directions.addBands(directions.select(1).not().multiply(6));
  directions = directions.addBands(directions.select(2).not().multiply(7));
  directions = directions.addBands(directions.select(3).not().multiply(8));

```

```
105     // "collapse" the stack into a singe band image (due to masking,
106     //each pixel has just one value (1-8) in it's directional band, and is otherwise masked)
107     directions = directions.reduce(ee.Reducer.sum());
108
109     //var pal = ['ffffff','ff0000','ffff00', '00ff00', '00ffff', '0000ff', 'ff00ff', '000000'];
110     //Map.addLayer(directions.reduce(ee.Reducer.sum()), {min:1, max:8, palette: pal}, 'Directions', false);
111
112     var sample_stats = sample_var.divide(sample_mean.multiply(sample_mean));
113
114     // Calculate localNoiseVariance
115     var sigmaV = sample_stats.toArray().arraySort().arraySlice(0,0,5).arrayReduce(ee.Reducer.mean(), [0]);
116
117     // Set up the 7*7 kernels for directional statistics
118     var rect_weights = ee.List.repeat(ee.List.repeat(0,7),3).cat(ee.List.repeat(ee.List.repeat(1,7),4));
119
120     var diag_weights = ee.List([[1,0,0,0,0,0,0], [1,1,0,0,0,0,0], [1,1,1,0,0,0,0],
121       [1,1,1,1,0,0,0], [1,1,1,1,1,0,0], [1,1,1,1,1,1,0], [1,1,1,1,1,1,1]]);
122
123     var rect_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, rect_weights, 3, 3, false);
124     var diag_kernel = ee.Kernel.fixed(7,7, diag_weights, 3, 3, false);
125
126     // Create stacks for mean and variance using the original kernels. Mask with relevant direction.
127     var dir_mean = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), rect_kernel).updateMask(directions.eq(1));
128     var dir_var = img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), rect_kernel).updateMask(directions.eq(1));
129
130     dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), diag_kernel)
131     .updateMask(directions.eq(2)));
132     dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), diag_kernel)
133     .updateMask(directions.eq(2)));
134
135     // and add the bands for rotated kernels
136     for (var i=1; i<4; i++) {
137       dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), rect_kernel.rotate(i))
138       .updateMask(directions.eq(2*i+1)));
139       dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), rect_kernel.rotate(i))
140       .updateMask(directions.eq(2*i+1)));
141       dir_mean = dir_mean.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.mean(), diag_kernel.rotate(i))
142       .updateMask(directions.eq(2*i+2)));
143       dir_var = dir_var.addBands(img.reduceNeighborhood(ee.Reducer.variance(), diag_kernel.rotate(i))
144       .updateMask(directions.eq(2*i+2)));
145     }
146
147     // "collapse" the stack into a single band image (due to masking, each pixel has just
148     //one value in it's directional band, and is otherwise masked)
149     dir_mean = dir_mean.reduce(ee.Reducer.sum());
150     dir_var = dir_var.reduce(ee.Reducer.sum());
151
152     // A finally generate the filtered value
153     var varX = dir_var.subtract(dir_mean.multiply(dir_mean).multiply(sigmaV)).divide(sigmaV.add(1.0));
154
155     var b = varX.divide(dir_var);
156
157     var result = dir_mean.add(b.multiply(img.subtract(dir_mean)));
158     return(result.arrayFlatten([['sum']])).copyProperties(img, img.propertyNames());
159   }
160
161   // Select images of Descending Order
162   var sent1_des = sent1.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass','DESCENDING'));
163   print(sent1_des,'sent1_des');
164
165   // Select images of Ascending Order
166   var sent1_asc = sent1.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass','ASCENDING'));
167   print(sent1_asc,'sent1_asc');
168
169
170   var sent1_asc_vh_rl = sent1_asc.select('VH').map(toNatural_VH).map(refinedLee).map(toDb)
171                                   .select(['sum'],['VH_rl']);
172
173   var sent1_asc_vv_rl = sent1_asc.select('VV').map(toNatural_VV).map(refinedLee).map(toDb)
174                                   .select(['sum'],['VV_rl']);
175
176   var sent1_des_vh_rl = sent1_des.select('VH').map(toNatural_VH).map(refinedLee).map(toDb)
177                                   .select(['sum'],['VH_rl']);
178
179   var sent1_des_vv_rl = sent1_des.select('VV').map(toNatural_VV).map(refinedLee).map(toDb)
180                                   .select(['sum'],['VV_rl']);
181
182
183   // Use an equals filter to define how the collections match.
184   var filter = ee.Filter.equals({
185     leftField: 'system:time_start',
186     rightField: 'system:time_start'
187   });
188
189   // Create the join.
190   var innerJoin = ee.Join.inner();
191
192   // Create the join.
193   var innerJoin = ee.Join.inner();
194
195   // Apply the join.
196   var sent1_asc_rl_in  = innerJoin.apply( sent1_asc_vh_rl, sent1_asc_vv_rl, filter);
197   var sent1_des_rl_in  = innerJoin.apply( sent1_des_vh_rl, sent1_des_vv_rl, filter);
198
199   // Map a function to merge the results in the output FeatureCollection.
200   var sent1_asc_rl = sent1_asc_rl_in.map(function(feature) {
201     return ee.Image.cat(feature.get('primary'), feature.get('secondary'));
202   });
203
204   // Map a function to merge the results in the output FeatureCollection.
205   var sent1_des_rl = sent1_des_rl_in.map(function(feature) {
206     return ee.Image.cat(feature.get('primary'), feature.get('secondary'));
207   });
208
209   // Merge the two collections with different orientations
210   var sent1_rl = sent1_asc_rl.merge(sent1_des_rl).sort('system:time_start', true);
211   sent1_rl = ee.ImageCollection(sent1_rl);
212   print(sent1_rl,'sent1_rl');
213
```

```
//Create Seasonal Mean Ratio Images
//Collection S1 = Winter
var sent1_rl_s1 = sent1_rl.filterDate('2018-12-15', '2019-03-15').map(toNatural).map(addvhvv).map(toDb);
print(sent1_rl_s1,'Winter Image Collection');
var sent1_VHtoVV_s1_mean = sent1_rl_s1.mean().select(['VH_rl_1'],['VHtoVV_S1']);
//print(sent1_VHtoVV_s1_mean,'sent1_VHtoVV_s1_mean');

//Collection S2 = Spring
var sent1_rl_s2 = sent1_rl.filterDate('2019-03-16', '2019-06-15').map(toNatural).map(addvhvv).map(toDb);
print(sent1_rl_s2,'Spring Image Collection');
var sent1_VHtoVV_s2_mean = sent1_rl_s2.mean().select(['VH_rl_1'],['VHtoVV_S2']);
//print(sent1_VHtoVV_s2_mean,'sent1_VHtoVV_s2_mean');

//Collection S3 = Summer
var sent1_rl_s3 = sent1_rl.filterDate('2019-06-16', '2019-09-15').map(toNatural).map(addvhvv).map(toDb);
print(sent1_rl_s3,'Summer Image Collection');
var sent1_VHtoVV_s3_mean = sent1_rl_s3.mean().select(['VH_rl_1'],['VHtoVV_S3']);
//print(sent1_VHtoVV_s3_mean,'sent1_VHtoVV_s3_mean');

//Collection S4 = Winter
var sent1_rl_s4 = sent1_rl.filterDate('2019-09-16', '2019-11-15').map(toNatural).map(addvhvv).map(toDb);
print(sent1_rl_s4,'Summer Image Collection');
var sent1_VHtoVV_s4_mean = sent1_rl_s4.mean().select(['VH_rl_1'],['VHtoVV_S4']);
//print(sent1_VHtoVV_s4_mean,'sent1_VHtoVV_s4_mean');

//Create Seasonal Composites
var sent1_VHtoVV_mean = sent1_VHtoVV_s1_mean.addBands(sent1_VHtoVV_s2_mean)
                                            .addBands(sent1_VHtoVV_s3_mean)
                                            .addBands(sent1_VHtoVV_s4_mean);
print(sent1_VHtoVV_mean,'sent1_VHtoVV_mean');

//Clip images to AOI's extent
sent1_VHtoVV_mean = sent1_VHtoVV_mean.clip(geometry);


Export.image.toAsset({
  image: sent1_VHtoVV_mean,
  description: 'sent1_VHtoVV_mean19_35TLF' ,
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: geometry,
  maxPixels: 1e13, //max pixels allowed for download
  pyramidingPolicy: {".default": "mean"}
});


print('end');
```

Δημιουργία Εικόνων Χάρτη Corine 2018

```

//Giorgos Begkos, SRSE NTUA 2022

//Load the CLC 2018 dataset
var clc = ee.Image('COPERNICUS/CORINE/V20/100m/2018');
print(clc, 'clc');
Map.addLayer(clc,{},'clc');

//Clip the CLC 2018 dataset to the AOIs' extents
var clc_34SEJ = clc.clip(extent_34SEJ);
var clc_35TLF = clc.clip(extent_35TLF);
Map.addLayer(clc_34SEJ,{},'clc_34SEJ');
Map.addLayer(clc_35TLF,{},'clc_35TLF');

//Export the CLC datasets to assets
Export.image.toAsset({
  image: clc_34SEJ,
  description: 'CLC_34SEJ' ,
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: extent_34SEJ,
  maxPixels: 1e13,  //max pixels allowed for download
  pyramidingPolicy:  "mean"  //default pyramiding policy
});

Export.image.toAsset({
  image: clc_35TLF,
  description: 'CLC_35TLF' ,
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: extent_35TLF,
  maxPixels: 1e13,  //max pixels allowed for download
  pyramidingPolicy: "mean"  //default pyramiding policy
});

print(end);

```

Δημιουργία, Εκπαίδευση και Εκτέλεση Αλγόριθμου Random Forests

```
//Giorgos Begkos, RS Lab - SRSE NTUA 2022

var image = sent_2_median_19_35TLF
            .addBands(DEM_35TLF).addBands(CLC_2018_35TLF) //when adding Ancillary Data to the classification
            .addBands(sent_1_rl_mean_19_35TLF) //when adding Sentinel-1 Data to the classification
            .addBands(sent_1_rl_std_19_35TLF)  //when adding Sentinel-1 Data to the classification
            .addBands(sent1_VHtoVV_mean19_35TLF); //when adding Sentinel-1 Data to the classification

image = image.updateMask(SWM_35TLF); //only for 35TLF
print(image);
Map.addLayer(image);

var bands = image.bandNames();

var train_samples= train_points_19_35TLF;

var test_samples= test_points_19_35TLF ;

// Sample the input imagery to get a FeatureCollection of training data.
var training = image.select(bands).sampleRegions({
  collection: train_samples,
  properties: ['class'],
  scale: 10,
  tileScale :16,
   geometries: true
});


var bandNumber = bands.length().getInfo();
print('Bands:', bands);

// // mtry is usually the square root of the number of bands you use for classification
var mtry =  Math.round(Math.sqrt(bandNumber));
print('mtry value:',mtry);

// create the RF classifier
var rf = ee.Classifier.smileRandomForest({
      numberOfTrees: 100, // (ntree) most used value 500
      variablesPerSplit : mtry, // (mtry) is usually the square root of the number of bands
                                //you use for classification
    });


// train the created classifier with the training image and training samples
var classifier = rf.train({
  features: training,
  classProperty: 'class',
  inputProperties: bands
  });

  var classifierDetails = classifier.explain();
print('RF model and importance:', classifierDetails);
print('OOB error estimate:', classifierDetails.get('outOfBagErrorEstimate'));

// -------------------------- ACCURACY -----------------------------------



// Sample the input imagery to get a FeatureCollection of testing data.
 var testing = image.select(bands).sampleRegions({
  collection: test_samples,
  properties: ['class'],
  scale: 10,
  tileScale :16,
   geometries: true
});


var validated=testing.classify(classifier,'classification');

var list = ee.List.sequence(1,34);

var errorMatrix = validated.errorMatrix('class', 'classification',list);
print('Error Matrix:', errorMatrix);

var OA = errorMatrix.accuracy();
print('Model OA:', OA);
var PA = errorMatrix.producersAccuracy();
print('Model PA (Omission accuracy):', PA);
var UA = errorMatrix.consumersAccuracy();
print('Model UA (Commission Accuracy):', UA);
var Kappa = errorMatrix.kappa();
print('Model Kappa:', Kappa);

// -------------------------- EXPORTS -----------------------

var exportErrorMatrix = ee.Feature(null, {matrix: errorMatrix.array()});


```

```
// -------------------------- ACCURACY -----------------------------------



// Sample the input imagery to get a FeatureCollection of testing data.
 var testing = image.select(bands).sampleRegions({
  collection: test_samples,
  properties: ['class'],
  scale: 10,
  tileScale :16,
   geometries: true
});


var validated=testing.classify(classifier,'classification');

var list = ee.List.sequence(1,34);

var errorMatrix = validated.errorMatrix('class', 'classification',list);
print('Error Matrix:', errorMatrix);

var OA = errorMatrix.accuracy();
print('Model OA:', OA);
var PA = errorMatrix.producersAccuracy();
print('Model PA (Omission accuracy):', PA);
var UA = errorMatrix.consumersAccuracy();
print('Model UA (Commission Accuracy):', UA);
var Kappa = errorMatrix.kappa();
print('Model Kappa:', Kappa);

// -------------------------- EXPORTS -----------------------

var exportErrorMatrix = ee.Feature(null, {matrix: errorMatrix.array()});


// Export Confusion Matrix
Export.table.toDrive({
 collection: ee.FeatureCollection(exportErrorMatrix),
 description: 'ErrorMatrix_ent',
  folder : 'vhvv_images',
  fileFormat: 'CSV'
 });


var varImp = ee.Feature(null, ee.Dictionary(classifierDetails).get('importance'));
print(varImp,'varImp');

var Variable_Importance_chart =
ui.Chart.feature.byProperty(varImp)
.setChartType('ColumnChart')
.setOptions({
title: 'Random Forest Variable Importance',
legend: {position: 'none'},
hAxis: {title: 'Bands'},
vAxis: {title: 'Importance'}
});
print(Variable_Importance_chart);

// Export Variable Importance
//var descr = nameSuffix + '_variableImportance';
Export.table.toDrive({
 collection: ee.FeatureCollection(varImp),
  description: 'ent_varImp',
 folder : 'thesis_exports',
 fileFormat: 'CSV'
});
```

```
121
122 var classified = image.classify(classifier).uint8();
123 // Define an SLD style of discrete intervals to apply to the image.
124 var sld_intervals_35tlf1 =
125 '<RasterSymbolizer>' +
126   '<ColorMap type="intervals" extended="false">' +
127     '<ColorMapEntry color="#000000" quantity="0" label="No Data"/>' +
128     '<ColorMapEntry color="#ff0003" quantity="1" label="Dense urban fabric"/>' +
129     '<ColorMapEntry color="#ff6e81" quantity="2" label="Sparce urban fabric"/>' +
130     '<ColorMapEntry color="#f13cdd" quantity="3" label="Industrial and commercial units"/>' +
131     '<ColorMapEntry color="#410023" quantity="4" label="Road/Asphalt networks"/>' +
132     '<ColorMapEntry color="#688dfd" quantity="5" label="Photovoltaic units"/>' +
133     '<ColorMapEntry color="#008d25" quantity="6" label="Broad-leaved forest"/>' +
134     '<ColorMapEntry color="#004917" quantity="7" label="Coniferous forest"/>' +
135     '<ColorMapEntry color="#cdff6e" quantity="8" label="Natural grasslands"/>' +
136     '<ColorMapEntry color="#727b30" quantity="9" label="Dense sclerophyllous vegetation"/>' +
137     '<ColorMapEntry color="#84a821" quantity="10" label="Sparse sclerophyllous vegetation"/>' +
138     '<ColorMapEntry color="#c0f5bc" quantity="11" label="Sparsely vegetated areas"/>' +
139     '<ColorMapEntry color="#fff199" quantity="12" label="Beaches, dunes, mines"/>' +
140     '<ColorMapEntry color="#dde9ee" quantity="13" label="Bare rocks"/>' +
141     '<ColorMapEntry color="#472611" quantity="14" label="Wetlands"/>' +
142     '<ColorMapEntry color="#1cf4ff" quantity="15" label="Water courses"/>' +
143     '<ColorMapEntry color="#001a79" quantity="16" label="Water bodies"/>' +
144     '<ColorMapEntry color="#0000ff" quantity="17" label="Coastal water"/>' +
145     '<ColorMapEntry color="#374a00" quantity="18" label="Olive Groves"/>' +
146     '<ColorMapEntry color="#79072f" quantity="19" label="Grape Vines"/>' +
147     '<ColorMapEntry color="#ff7cc2" quantity="20" label="Pome Trees"/>' +
148     '<ColorMapEntry color="#ff2d6f" quantity="21" label="Stone Fruit Trees"/>' +
149     '<ColorMapEntry color="#72004c" quantity="22" label="Nut Trees"/>' +
150     '<ColorMapEntry color="#7800ff" quantity="23" label="Rice"/>' +
151     '<ColorMapEntry color="#cba956" quantity="24" label="Cereals"/>' +
152     '<ColorMapEntry color="#c6f4ff" quantity="25" label="Cotton"/>' +
153     '<ColorMapEntry color="#ffff00" quantity="26" label="Maize"/>' +
154     '<ColorMapEntry color="#783914" quantity="27" label="Tobacco"/>' +
155     '<ColorMapEntry color="#d3d81f" quantity="28" label="Sunflower"/>' +
156     '<ColorMapEntry color="#9d00ff" quantity="29" label="Pulses"/>' +
157     '<ColorMapEntry color="#e8d535" quantity="30" label="Potatoes"/>' +
158     '<ColorMapEntry color="#82cc24" quantity="31" label="Vegetables"/>' +
159     '<ColorMapEntry color="#22df00" quantity="32" label="Grass Fodders"/>' +
160     '<ColorMapEntry color="#e794cc" quantity="33" label="Greenhouses"/>' +
161     '<ColorMapEntry color="#809685" quantity="34" label="Fallow"/>' +
162     '</ColorMap>' +
163 '</RasterSymbolizer>';
164
165 Map.addLayer(classified.sldStyle(sld_intervals_35tlf1), {}, 'classified', true);
166
167 //wgs 84 UTM ZONE 34N : EPSG:32634 ----> 34SEJ
168 //wgs 84 UTM ZONE 35N : EPSG:32635 ----> 35TLF
169
170 Export.image.toDrive({
171   image: classified,
172   description: 'classified_rl_angle_corr_19' ,
173   scale: 10,
174   crs: 'EPSG:32635',//'EPSG:4326',
175   region: geometry_35TLF,
176   maxPixels: 1e13, //max pixels allowed for download
177   folder : 'thesis_exports'
178 });
179
180
181 print('end');
182
```

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κανάλια συχνοτήτων ραντάρ και χρήσεις τους (Πηγή: earthdata.nasa.gov) 18
Πίνακας 2: Τα προϊόντα του Sentinel-2 (Πηγή : sentinel.esa.int) 29
Πίνακας 3: Διαθέσιμα δεδομένα στο GEE(Πηγή : GEEdocumentation) 30
Πίνακας 4: Πλήθος εικόνων Sentinel-2 κάθε εποχής για τα δύο Tiles 49
Πίνακας 5: Πλήθος εικόνων Sentinel-1 κάθε εποχής για τα δύο Tiles 57
Πίνακας 6: Η ελληνική ονοματολογία του CLC 60
Πίνακας 7: Η Ονοματολογία των Θεματικών Κατηγοριών Ταξινόμησης 64
Πίνακας 8: Τελικές κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης σε εικόνες Google Earth 65
Πίνακας 9: Πλήθος σημείων ως δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 34SEJ 75
Πίνακας 10: Πλήθος σημείων ως δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 35TLF 76
Πίνακας 11: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το πρώτο μοντέλο στο Tile 34SEJ 78
Πίνακας 12: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το πρώτο μοντέλο για το Tile 34SEJ 82
Πίνακας 13: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το πρώτο μοντέλο στο Tile 35TLF 83
Πίνακας 14: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το πρώτο μοντέλο για το Tile 35TLF 86
Πίνακας 15: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το δεύτερο μοντέλο στο Tile 34SEJ 87
Πίνακας 16: Ο πίνακας σύγχυσης (ConfusionMatrix) της ταξινόμησης με το δεύτερο μοντέλο για το Tile 34SEJ 90
Πίνακας 17: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το δεύτερο μοντέλο στο Tile 35TLF 91
Πίνακας 18: Ο πίνακας σύγχυσης (ConfusionMatrix) της ταξινόμησης με το δεύτερο μοντέλο για το Tile 35TLF 94
Πίνακας 19: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τρίτο μοντέλο για το Tile 34SEJ 95
Πίνακας 20: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τρίτο μοντέλο για το Tile 34SEJ 98
Πίνακας 21: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τρίτο μοντέλο στο Tile 35TLF 99
Πίνακας 22: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τρίτο μοντέλο για το Tile 35TLF 102
Πίνακας 23: Πίνακας αποτελεσμάτων ακρίβειας, αξιοπιστίας και δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τέταρτο μοντέλο στο Tile 34SEJ 103
Πίνακας 24: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τέταρτο μοντέλο για το Tile 34SEJ 106
Πίνακας 25: Πίνακας αποτελεσμάτων Ακρίβειας, Αξιοπιστίας και Δείκτη F1 για την ταξινόμηση με το τέταρτο μοντέλο στο Tile 35TLF 107
Πίνακας 26: Ο πίνακας σύγχυσης (Confusion Matrix) της ταξινόμησης με το τέταρτο μοντέλο για το Tile 35TLF 110
Πίνακας 27: Σύγκριση δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 αποτελεσμάτων για τα πειράματα στο Tile 34SEJ 111
Πίνακας 28: Σύγκριση δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 αποτελεσμάτων για τα πειράματα στο Tile 35TLF 112
Πίνακας 29: Πίνακας σύγκρισης τιμών Δείκτη F1 για τα πειράματα στα δύο Tiles 113
Πίνακας 30: Οι Sentinel-2 εικόνες για το Tile 34SEJ 132
Πίνακας 31: Οι Sentinel-2 εικόνες για το Tile 35TLF 133
Πίνακας 32: Οι Sentinel-1 εικόνες για το Tile 34SEJ 135
Πίνακας 33: Οι Sentinel-1 εικόνες για το Tile 35TLF 140

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας (Πηγή: https://gsp.humboldt.edu) 18
Σχήμα 2: Λειτουργία των συστημάτων Radar (τροποποιημένη, από Paco Lopez - Decker,2010) 19
Σχήμα 3: Φυσικό και συνθετικό άνοιγμα κεραίας συστήματος SAR (Πηγή: Δημήτρης Δεληκαράογλου)..... 21
Σχήμα 4: Διαφορετική διείσδυση σε βάθος από την επιφάνεια, των ζωνών X,C και L ,η οποία αυξάνει με το μήκος κύματος (Πηγή: ESA) 22
Σχήμα 5: Η κάθετη και η οριζόντια πόλωση του Η/Μ κύματος (Πηγή: CNES) 23
Σχήμα 6: Η παγκόσμια κάλυψη των δίδυμων δορυφόρων Sentinel-1 (Πηγή: ESA)..... 24
Σχήμα 7: Καταστάσεις λειτουργίας συστήματος SAR των δορυφόρων Sentinel-1 (Πηγή: ESA) 26
Σχήμα 8: Τα επίπεδα επεξεργασίας των Sentinel-1 δεδομένων, ανάλογα τον τρόπο απόκτησής (Acquisition Mode) τους 27
Σχήμα 9: Η παγκόσμια κάλυψη των δίδυμων δορυφόρων Sentinel-2 (Πηγή: ESA)..... 28
Σχήμα 10: Τα φασματικά κανάλια του Sentinel-2 (Πηγή: Martimort et al.2007) 28
Σχήμα 11: Απλοποιημένη αρχιτεκτονική του συστήματος (Πηγή: N. Gorelicketal.2017)..... 33
Σχήμα 12: Η περιοχή μελέτης που ορίζεται από τα όρια του Tile 34SEJ του Seninel-2..... 39
Σχήμα 13: Η περιοχή μελέτης που ορίζεται από τα όρια του Tile 35TLF του Seninel-2..... 41
Σχήμα 14:: Απόσπασμα του κώδικα JavaScript στο GEE με τη δημιουργία της συλλογής εικόνων Sentinel-2 για το Tile 35TLF..... 42
Σχήμα 15: Η νεφοκάλυψη των εικόνων Sentinel-2 ανά ημερομηνία στο Tile 34SEJ..... 43
Σχήμα 16: Η νεφοκάλυψη των εικόνων Sentinel-2 ανά ημερομηνία στο Tile 35TLF 43
Σχήμα 17: Τα κανάλια των δορυφόρων Sentinel-2, το μήκος κύματος και η χωρική ανάλυση τους (Πηγή εικόνας: satimagingcorp.com)..... 46
Σχήμα 18: Απόσπασμα του κώδικα JavaScript στο GEE με τον υπολογισμό των φασματικών δεικτών 49
Σχήμα 19: Απόσπασμα του κώδικα JavaScript στο GEE με τη δημιουργία των εποχικών συνθέτων για την περιοχή μελέτης 35TLF 50
Σχήμα 20: Τα εποχικά σύνθετα του Sentinel-2 για το Tile 34SEJ 51
Σχήμα 21: Τα εποχικά σύνθετα του Sentinel-2 για το Tile 35TLF..... 52
Σχήμα 22: Οι διαφορετικές γεωμετρίες, πολώσεις και τρόποι απόκτησης εικόνων των δορυφόρων Sentinel-1..... 53
Σχήμα 23: Η κηλίδωση σε μια απεικόνιση SAR αγροτεμαχίων του Tile 35TLF (Αριστερά) και η Ελάττωση της μετά το φιλτράρισμα (Δεξιά) 55
Σχήμα 24: Το φίλτρο Refined Lee σε κώδικα JavaScript..... 56
Σχήμα 25: Το ΨΜΕ EU-DEMv1.1 του Tile 34SEJ..... 59
Σχήμα 26: Το ΨΜΕ EU-DEMv1.1 του Tile 35TLF..... 59
Σχήμα 27: Απόσπασμα κώδικα από το Google Earth Engine για τη δημιουργία των εικόνων CLC 60
Σχήμα 28: Οι χρήσεις γης στο Tile 34SEJ σύμφωνα με το Corine 2018..... 62
Σχήμα 29: Οι χρήσεις γης στο Tile 35TLF σύμφωνα με το Corine 2018..... 62
Σχήμα 30: Το υπόμνημα των κατηγοριών του Corine..... 63
Σχήμα 31: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Σιτηρών 69
Σχήμα 32: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Εσπεριδοειδών 69
Σχήμα 33: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια του Βαμβακιού 70
Σχήμα 34: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια του Αραβόσιτου 70
Σχήμα 35: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Ακρόδρυων δένδρων.. 71
Σχήμα 36: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Ελαιώνων 71
Σχήμα 37: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των Πυρηνόκαρπων δένδρων 72
Σχήμα 38: Διάγραμμα μέσης τιμής οπισθοσκέδασης για την καλλιέργεια των όσπριων..... 72
Σχήμα 39: Πολύγωνα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 34SEJ..... 73
Σχήμα 40: Πολύγωνα εκπαίδευσης και ελέγχου για το Tile 35TLF..... 74
Σχήμα 41: Η δημιουργία σημείων σε ένα πολύγωνο εκπαίδευσης..... 75
Σχήμα 42: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το πρώτο μοντέλο..... 81
Σχήμα 43: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το πρώτο μοντέλο 85
Σχήμα 44: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το δεύτερο μοντέλο 89
Σχήμα 45: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το δεύτερο μοντέλο 93
Σχήμα 46: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το τρίτο μοντέλο..... 97
Σχήμα 47: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το τρίτο μοντέλο 101
Σχήμα 48: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 34SEJ με το τέταρτο μοντέλο..... 105
Σχήμα 49: Ο παραγόμενος χάρτης για το Tile 35TLF με το τέταρτο μοντέλο..... 109
Σχήμα 50: Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 αποτελεσμάτων για τα 4 πειράματα στο Tile 34SEJ 111
Σχήμα 51:Διάγραμμα σύγκρισης δεικτών Ακρίβειας και Μέσων Τιμών F1 Αποτελεσμάτων για τα 4

πειράματα στο Tile 35TLF 112
Σχήμα 52: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 2 για το Tile 34SEJ114
Σχήμα 53: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 4 για το Tile 34SEJ115
Σχήμα 54: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 2 για το Tile 35TLF 115
Σχήμα 55: Τα είκοσι επιδραστικότερα στοιχεία της ταξινόμησης με το μοντέλο 4 για το Tile 35TLF 116
Σχήμα 56: Η πόλη των Τρικάλων ταξινομημένη με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth 117
Σχήμα 57: Τμήμα αιγιαλού ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 118
Σχήμα 58: Αγροτεμάχιο Αμπελώνων στο Tile 35TLFταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 119
Σχήμα 59: Αγροτεμάχιο Μηλοειδών Δένδρων στο Tile 34SEJ ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 120
Σχήμα 60: Αγροτεμάχια Πυρηνόκαρπων Δένδρων στο Tile 34SEJ ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 121
Σχήμα 61: Αγροτεμάχια Ακρόδρυων Δένδρων στο Tile 34SEJ ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 122
Σχήμα 62: Αγροτεμάχιο Οσπρίων στο Tile 34SEJταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 123
Σχήμα 63: Αγροτεμάχιο Πατάτας στο Tile 35TLF ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 124
Σχήμα 64: Αγροτεμάχιο Οσπρίων στο Tile 35TLF ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 125
Σχήμα 65: Έκταση με Θερμοκήπια στο Tile 35TLF ταξινομημένο με το πρώτο μοντέλο(α), δεύτερο(β), τρίτο(γ), τέταρτο(δ) και σε εικόνα Google Earth(ε) 126