



Σχολή Μηχανικής  
& Τεχνολογίας



**Μεταπτυχιακή διατριβή**

**Ταξινόμηση καλλιεργειών με χρήση δορυφορικών εικόνων  
Sentinel 2**

**Μαρία Γ. Ιορδανίδου**

**Λεμεσός, Σεπτέμβριος 2020**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή διατριβή

Ταξινόμηση καλλιεργειών με χρήση δορυφορικών εικόνων  
Sentinel 2

της

ΜΑΡΙΑΣ Γ. ΙΟΡΔΑΝΙΔΟΥ

Λεμεσός, Σεπτέμβριος 2020

## Έντυπο έγκρισης

Μεταπτυχιακή διατριβή

### Ταξινόμηση καλλιεργειών με χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2

Παρουσιάστηκε από την

Μαρία Γ. Ιορδανίδου

Επιβλέπων καθηγητής: Όνομα και ιδιότητα

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Μέλος επιτροπής: Όνομα και ιδιότητα

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Μέλος επιτροπής: Όνομα και ιδιότητα

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λεμεσός, Σεπτέμβριος 2020

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Μαρία Γ. Ιορδανίδου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Μηχανικής & Τεχνολογίας του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως εκ μέρους του Τμήματος.

*Η έρευνα αυτή δε θα μπορούσε καν να υλοποιηθεί αν η ESA δεν παρείχε τις εφαρμογές ανοιχτής πρόσβασης Copernicus και SNAP, με τις οποίες ο κάθε ενδιαφερόμενος να μπορεί να εξάγει δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής αλλά κυρίως χρονικής ανάλυσης. Πραγματικά την ευχαριστώ για αυτή την μεγάλη προσφορά της στην ακαδημαϊκή κοινότητα και όχι μόνο.*

*Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποστήριξη του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης και Γεωπεριβάλλοντος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου και του έργου «EXCELSIOR» H2020. Το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και Γεωπεριβάλλοντος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής τελεί υπό αναβάθμιση ως Κέντρο Αριστείας ERATOSTHENES (ECoE) μέσω του «EXCELSIOR» H 2020 Widespread Teaming project ([www.excelsior2020.eu](http://www.excelsior2020.eu)). Πράγματι, αυτή η διατριβή βρίσκεται υπό την αιγίδα όλων των δραστηριοτήτων του προγράμματος «ERATOSTHENES: Excellence Research Center for Earth Surveillance and Space-Based Monitoring of the Environment» - «EXCELSIOR» project που έχει λάβει χρηματοδότηση από την έρευνα και την καινοτομία «Horizon 2020» της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπό την συμφωνία N° 857510 και από την Κυβέρνηση της Κυπριακής Δημοκρατίας μέσω της Γενικής Διεύθυνσης Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων, Συντονισμού και Ανάπτυξης.*

*Ιδιαίτερες και από καρδιάς ευχαριστίες οφείλω στον κ. Χατζημιτσή Διόφαντο, καθηγητή στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, γιατί εκτός από την απύθμενη γνώση του, το ανεξάντλητο πάθος του για μετάδοση της γνώσης του αλλά κυρίως τη διάθεση που έχει για νέες ιδέες, μου έδωσε την ευκαιρία εκπόνησης της συγκεκριμένης έρευνας. Επιπλέον αισθάνομαι βαθιά ευγνωμοσύνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για μία πολύ εποικοδομητική συνεργασία.*

*Ένα τεράστιο ευχαριστώ, αν και είναι λίγο, οφείλω στον κ. Αγαπίου Άθω, ερευνητικό συνεργάτη (Ανώτερος Ερευνητής Β') στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, που οι γνώσεις του, η υπομονή του και η επίμονη υποστήριξή του στις στιγμές που ένιωθα ότι τίποτα δεν πηγαίνει καλά, με βοήθησαν να ξεπεράσω τα όποια εμπόδια αντιμετώπισα. Θεωρώ μεγάλο πλεονέκτημα που το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου διαθέτει ένα τέτοιο στέλεχος, άψογος επαγγελματίας με ήθος, απίστευτη μεταδοτικότητα, που πάντα βρίσκεται κοντά στους φοιτητές.*

*Από τις ευχαριστίες μου δε θα μπορούσε να λείπει ο κ. Ευθυμίου Τίμης, Επίτροπος του Κυπριακού Οργανισμού Πληρωμών Κύπρου, ο οποίος στάθηκε δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού ηθικά αλλά κυρίως πρακτικά, δίνοντας άδεια για παροχή όποιων πληροφοριών και δεδομένων χρειάστηκα. Πρόκειται για έναν άνθρωπο που είναι υπέρμαχος της επιστημονικής έρευνας και καινοτομίας, αποδεικνύοντάς το σε κάθε ευκαιρία. Φυσικά, χωρίς τη συνδρομή της στενής του συνεργάτιδας κ. Γρηγορίου Ελένη δε θα μπορούσα να εκπονήσω εμπρόθεσμα την*

*οποιαδήποτε εργασία που βασιζόταν σε δεδομένα του Οργανισμού συμπεριλαμβανομένης και της παρούσας. Η υπευθυνότητα και ο επαγγελματισμός που υπέδειξε είναι στοιχεία που την χαρακτηρίζουν. Θεωρώ απίστευτα τυχερό τον εαυτό μου που τους γνώρισα και συνεργάστηκα.*

*Τέλος, το πιο ζεστό και ειλικρινές ευχαριστώ το οφείλω στα παιδιά μου Στράτο και Βασιλική. Στις στιγμές άγχους, πίεσης και υπερέντασης ήταν πολύ υποστηρικτικοί. Μου έδιναν κουράγιο και μου υπενθύμιζαν τις αρχές και τις αξίες που ως μαμά θέλω οι ίδιοι να έχουν, μία από τις οποίες είναι «υπομονή και επιμονή σε οτιδήποτε αποφασίζουμε να κάνουμε». Η υποστήριξη όμως από τον σύζυγο και καλύτερο φίλο μου Μιχάλη είναι ανεκτίμητης αξίας. Σε οτιδήποτε και αν αποφασίσω να κάνω, ακόμα κι αν δε συμφωνεί, είναι πάντα δίπλα μου να με στηρίζει. Τον ευχαριστώ πολύ και του χρωστώ πραγματικά ό,τι έχω καταφέρει μέχρι σήμερα.*

*Στον Μιχάλη μου και στα παιδιά μου,  
Βασιλική και Στράτο*



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξέλιξη του ανθρώπου και των δραστηριοτήτων του οδήγησαν την ανθρωπότητα σε απροσδόκητες καταστάσεις. Από την μια βελτίωσε κατά πολύ το βιοτικό του επίπεδο από την άλλη αύξησε το προσδόκιμο ζωής του, προκαλώντας ξέφρενη αύξηση του πληθυσμού της Γης. Άμεση πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπίσει είναι η σίτιση όλου αυτού του πληθυσμού. Την τελευταία εικοσαετία ο πληθυσμός διπλασιάστηκε ενώ οι εκτάσεις που καλλιεργούνται καθώς και οι άνθρωποι που ασχολούνται με τη γεωργία παραμένουν σε σταθερά επίπεδα. Είναι επομένως επιτακτική η ανάγκη χάραξης στρατηγικής προκειμένου να εξασφαλίζεται η επάρκεια αγαθών για όλο αυτόν τον πληθυσμό.

Η ταξινόμηση καλλιεργειών είναι ένα εργαλείο που δύναται να βοηθήσει αποτελεσματικά στην οριοθέτηση αυτής της στρατηγικής. Με τη χρήση εικόνων Sentinel 2 και των δεικτών NDVI, SAVI και RVI ταξινομούνται δύο καλλιέργειες, ο σίτος και το κριθάρι, οι οποίες αφενός ανήκουν στην ίδια καλλιεργητική ομάδα με παρόμοιο φαινολογικό κύκλο, αφετέρου παράγουν τελείως διαφορετικά αγαθά, ενώ για την Κύπρο κατέχουν τις πρώτες θέσεις στη λίστα με τις καλλιέργειες που προτιμούν οι αγρότες.

Η χρήση των δεικτών αυτών στη διάκριση των δύο καλλιεργειών έφερε συγκριτικά καλά αποτελέσματα > 85% για τον δείκτη SAVI, δεδομένου ότι χρησιμοποιήθηκε μόνο μία εικόνα Sentinel, εξαιρέθηκαν μικρής έκτασης τεμάχια ενώ δε λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών όπως ποικιλία, πότισμα, κλίση εδάφους κ.α. Με τη παρούσα έρευνα αποδεικνύεται ότι με τα εργαλεία που προσφέρει η ESA είναι δυνατή η ταξινόμηση καλλιεργειών σε μία περιοχή με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

**Λέξεις κλειδιά:** επιβλεπόμενη ταξινόμηση, Sentinel, Copernicus, σιτηρά, NDVI, SAVI, RVI

## **ABSTRACT**

The evolution of man and his activities have led humanity to ambiguous situations. On the one hand, he greatly improved his standard of living, on the other hand, he increased his life expectancy, causing a frantic increase in the Earth's population. The immediate challenge to be faced is to feed this entire population. In the last twenty years the population has doubled while the cultivated areas as well as the people engaged in agriculture remain at constant levels. It is therefore imperative strategy to ensure the adequacy of goods for this entire population.

Crop classification is a tool that can help effectively delineate this strategy. Using Sentinel 2 images and the NDVI, SAVI and RVI indices, wheat and barley crops are classified, which on the one hand belong to the same crop class with a similar phenological cycle, on the other hand produce completely different goods, while for Cyprus they belong on the top preference list by the farmers.

The use of these indices in distinguishing the two crops yielded comparatively good results > 85% for SAVI, as only one Sentinel image is used, small plots are excluded and factors affecting plant growth such as variety, irrigation, territorial slope etc are not considered. This research reveals that using the tools ESA offers, crop classification is easily be achieved with quite well accuracy in a region.

**Keywords:** supervised classification, Copernicus, Sentinel, cereals, NDVI, SAVI, RVI

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ABSTRACT.....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	13
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	15
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	16
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	17
1 Εισαγωγή .....	18
1.1 Ιστορική αναδρομή .....	21
1.2 Ταξινόμηση καλλιεργειών .....	22
1.3 Χάρτες ταξινόμησης .....	24
1.4 Προκλήσεις κατά την ταξινόμηση .....	26
1.5 Τεχνικές ταξινόμησης .....	28
1.6 Δορυφόροι.....	29
1.6.1 Εξέλιξη δορυφόρων και δορυφορικών αισθητήρων.....	29
1.6.2 Sentinel 2 .....	31
1.7 Συνεισφορά και στόχος.....	35
2 Σιτάρι και Κριθάρι .....	38
2.1 Γενικά.....	38
2.2 Φαινολογικός κύκλος.....	41
3 Μεθοδολογία.....	43
3.1 Λήψη εικόνων Sentinel 2 .....	43
3.2 Προεπεξεργασία εικόνων .....	44
3.3 Επεξεργασία εικόνων .....	45
3.4 Δείκτες.....	45
3.4.1 Normalized Difference Vegetation Index – NDVI.....	45
3.4.2 Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI.....	47

1.4.3 Ratio Vegetation Index – RVI .....	48
3.5 Περιοχές εκπαίδευσης.....	50
3.6 Δεδομένα.....	51
3.6.1 Επεξεργασία δεδομένων .....	52
4 Αποτελέσματα.....	58
4.1 Ταξινόμηση .....	62
5 Συζήτηση αποτελεσμάτων .....	65
6 Συμπεράσματα .....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι .....	79

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των καναλιών του Sentinel 2.....	32
Πίνακας 2: Συνδυασμοί καναλιών και οι χρήσεις τους.....	34
Πίνακας 3: Ημερομηνίες ανάκτησης δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν από τον ΚΟΑΠ για το 2019.....	51
Πίνακας 4: Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.....	52
Πίνακας 5: Στατιστικά δεδομένα των δεικτών για σίτο και κριθάρι.....	55
Πίνακας 6: Αποτελέσματα ταξινόμησης.....	61
Πίνακας 7: Υπολογισμός συντελεστή Kappa.....	64
Πίνακας 8: Συνοπτικός πίνακας μελετών για την ταξινόμηση καλλιεργειών.....	66

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Παγκόσμιος πληθυσμός και ρυθμός αύξησης του.....	19
Διάγραμμα 2: Συνολικός και αγροτικός πληθυσμός της γης.....	19
Διάγραμμα 3: Παγκόσμια καλλιεργήσιμη έκταση .....	20
Διάγραμμα 4: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	22
Διάγραμμα 5: Φασματικές υπογραφές νερού, εδάφους και βλάστησης.....	23
Διάγραμμα 6: Φασματικά χαρακτηριστικά και φασματική ανάλυση των ζωνών .....	31
Διάγραμμα 7: Αριθμός ερευνών για ταξινόμηση καλλιεργειών.....	36
Διάγραμμα 8: Έκταση σίτου και κριθαριού παγκοσμίως 1994-2018.....	38
Διάγραμμα 9: Παραγωγή σίτου και κριθαριού παγκοσμίως .....	39
Διάγραμμα 10: Παγκόσμια κατανομή παραγωγής σίτου και κριθαριού .....	40
Διάγραμμα 11: Κατανομή κυριότερων καλλιεργειών στην Κύπρο.....	40
Διάγραμμα 12: Έκταση και παραγωγή σίτου στην Κύπρο.....	41
Διάγραμμα 13: Έκταση και παραγωγή κριθαριού στην Κύπρο .....	41
Διάγραμμα 14: Στάδια ανάπτυξης σιτηρών .....	42
Διάγραμμα 15: Στάδια μεθοδολογίας .....	43
Διάγραμμα 16: Διακύμανση τιμών των δεικτών ανά καλλιέργεια.....	59
Διάγραμμα 17: Διαφορά ανταπόκρισης του σίτου και κριθαριού στους δείκτες.....	60
Διάγραμμα 18: Το εύρος τιμών των δεικτών ανά καλλιέργεια .....	60

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Sentinel 2 και η τροχιά που ακολουθούν .....	31
Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα φυσικών χρωμάτων .....	33
Εικόνα 3: Δορυφορική εικόνα με συνδυασμό καναλιών B8, B4, B3.....	33
Εικόνα 4: Δορυφορική εικόνα με συνδυασμό καναλιών B12,B8 <sup>A</sup> ,B4.....	34
Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα Sentinel 2, περιοχή Λάρνακας 04/05/2020.....	45
Εικόνα 6: : Εικόνα NDVI .....	47
Εικόνα 7: Εικόνα SAVI .....	48
Εικόνα 8: Εικόνα RVI.....	49
Εικόνα 9: Διαφορές μεταξύ των τριών επεξεργασμένων εικόνων συγκριτικά με την RGB .....	49
Εικόνα 10: Τοποθεσίες όπου εντοπίζονται τα τεμάχια του δείγματος τηλεπισκόπησης	50
Εικόνα 11: Δορυφορική εικόνα Sentinel 2 α) RGB, β) NDVI, γ) SAVI, δ) RVI.....	52
Εικόνα 12: Απομόνωση τεμαχίων σίτου και κριθαριού .....	53
Εικόνα 13: Απομόνωση τεμαχίων σιταριού και κριθαριού .....	54
Εικόνα 14: Τυχαία σημεία εντός πολυγώνου .....	54
Εικόνα 15: Ταξινόμηση με βάση τον M.O. για σίτο και για κριθάρι .....	55
Εικόνα 16: Απεικόνιση της αντίδρασης του σίτου και του κριθαριού στους δείκτες ....	58
Εικόνα 17: Ταξινόμηση της εικόνας Sentinel 2 βάση του δείκτη SAVI.....	64

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
FAO:	Food and Agriculture Organization of United Nations
Κ.Ο.Α.Π.	Κυπριακός Οργανισμός Αγροτικών Πληρωμών
ESA	European Space Agency



## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

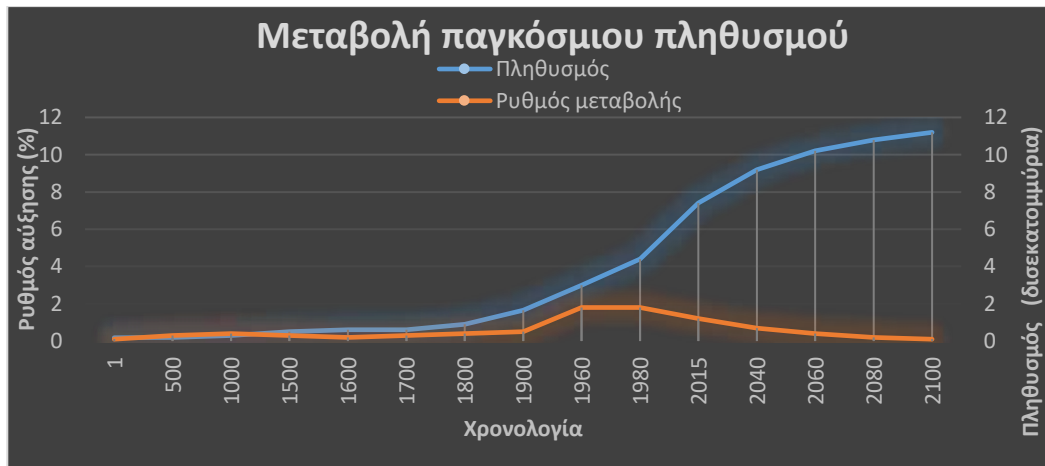
Data	Δεδομένα
Metadata	Μεταδεδομένα
Pixel	Εικονοστοιχείο
In situ	Επιτόπια επίσκεψη

## 1 Εισαγωγή

Η περιέργεια αλλά και η έμφυτη επιθυμία του ανθρώπου να μαθαίνει, να εξελίσσεται, να δημιουργεί και να ονειρεύεται τον οδήγησε με το πέρασμα χιλιάδων ετών σε ανέλπιστες καταστάσεις, άλλες πολλά υποσχόμενες και άλλες με τρομακτικές συνέπειες. Η αύξηση του προσδόκιμου ορίου ζωής του ανθρώπου εξαιτίας της εξέλιξης της ανθρώπινης αντίληψης, των ικανοτήτων και δυνατοτήτων του, αυτόματα οδήγησε σε εκπληκτική αύξηση του πληθυσμού της γης. Γεγονός που αποτέλεσε τη βάση για την περαιτέρω ανάπτυξη και ανάδειξη προβλημάτων όπως είναι η ραγδαία εξέλιξη των δραστηριοτήτων όλου αυτού του πληθυσμού αλλά και της εν γένει επιβίωσής του.

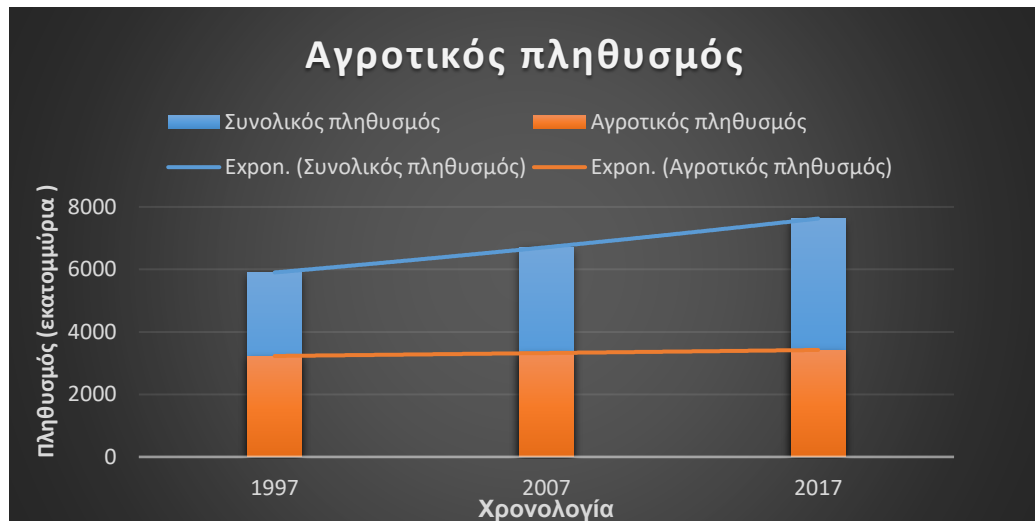
Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, που στοχεύουν κυρίως στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του, προκάλεσαν σημαντικές αλλαγές, που πλέον θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν και ως μη αντιστρέψιμες. Μερικές από αυτές είναι η κλιματική αλλαγή μέσω των εκπομπών ρυπογόνων ουσιών (βιομηχανίες, εργοστάσια, αεροπλάνα κ.α.), η αλλαγή στη χρήση γης ή κάλυψης αυτής (αστική επέκταση, πυρκαγιές, εκτεταμένο οδικό δίκτυο κ.α.) ακόμα και η εξάντληση σχεδόν των φυσικών πόρων (νερό, έδαφος, ορυκτές πρώτες ύλες κ.α.).

Η μεγαλύτερη όμως πρόκληση που έχει να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα είναι η εξασφάλιση αγαθών με κύριο μέλημα τα τρόφιμα για το σύνολο του παγκόσμιου πληθυσμού. Μελετώντας την εξέλιξη του πληθυσμού σε παγκόσμια κλίμακα γίνεται άμεσα αντιληπτή η ραγδαία αύξησή του. Δεν είναι τυχαίο που από το 1800 έως σήμερα υπάρχει ξέφρενη αύξηση του πληθυσμού που δικαιολογείται εξαιτίας της βιομηχανικής και κατ' επέκταση τεχνολογικής επανάστασης (Διαγ.1). Ειδικά από το 1980 και έπειτα, ο πληθυσμός από 4,4 δισεκατομμύρια, εκτινάχτηκε περίπου στα διπλάσια το 2015 σε διάστημα μόλις 35 ετών (CNN Greece, 2020).



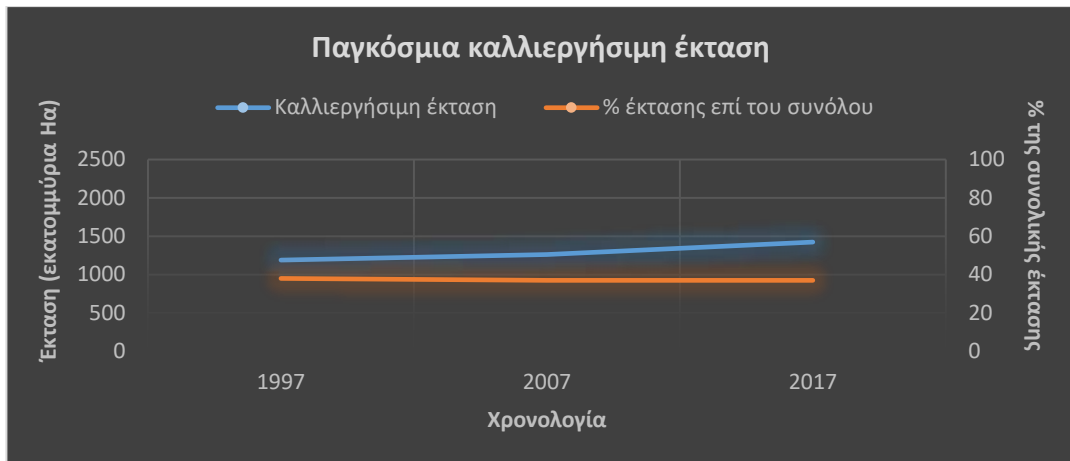
**Διάγραμμα 1:** Παγκόσμιος πληθυσμός και ρυθμός αύξησης του

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στην εικοσαετία 1997 έως 2017 ο πληθυσμός που ασχολείται με την αγροτική δραστηριότητα συγκριτικά με τον συνολικό πληθυσμό, είναι περίπου ο μισός, ενώ δεν ακολουθεί τον ρυθμό αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού (Διαγ.2). Παρατηρείται δηλαδή μία σταθερή αύξηση του συνολικού πληθυσμού, ωστόσο ο αριθμός των ανθρώπων που ασχολούνται με τον πρωτογενή τομέα παραμένει στα ίδια επίπεδα (FAO,2020).



**Διάγραμμα 2:** Συνολικός και αγροτικός πληθυσμός της γης

Επιπλέον, η αύξηση του συνόλου του πληθυσμού, δεν ακολουθείται αντίστοιχα και από την αύξηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων της υφελίου. Παρατηρείται μία στασιμότητα ως προς το ποσοστό της έκτασης που καλλιεργείται στο σύνολο της έκτασης της γης για την ίδια περίοδο (FAO,2020).



**Διάγραμμα 3:** Παγκόσμια καλλιεργήσιμη έκταση

Ενώ ο πληθυσμός αυξάνεται, η έκταση που καλλιεργείται για την παραγωγή προϊόντων διαβίωσης και διατροφής καθώς και ο αριθμός των ανθρώπων που δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτό παραμένουν σε σταθερά επίπεδα. Ο αυξανόμενος πληθυσμός άσκησε τεράστια πίεση στα τρόφιμα και στους υδάτινους πόρους (Karthikeyan et al., 2020). Η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί κατά 50% για τις απαιτήσεις του προβλεπόμενου παγκόσμιου πληθυσμού έως το 2050 (Chakraborty&Newton, 2011; Prosekon&Ivanova, 2018) καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη διαμόρφωσης μιας στρατηγικής εκ μέρους των θεσμών προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε σίτιση. Για να καλυφθούν οι ανάγκες σε παραγωγή τροφίμων, απαιτείται προγραμματισμός παραγωγής, νέες καλλιεργητικές τεχνικές, φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς και λελογισμένη χρήση των φυσικών πόρων (Karthikeyan et al., 2020).

Η χαρτογράφηση των καλλιεργειών αποτελεί βασικό εργαλείο στην παρακολούθηση των χρήσεων γης και αλλαγής χρήσης αυτής. Πληροφορίες σχετικές με το είδος και την έκταση των καλλιεργειών κατέχουν πρωταρχική θέση ανάμεσα στους παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της στρατηγικής για λήψη αποφάσεων που στόχο έχουν την αειφόρο γεωργία, την ανάπτυξη της γεωργίας με σεβασμό στο περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους που αυτό διαθέτει.

Η τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα γεωπληροφοριακά συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας γεωχωρικών βάσεων χρήσης και κάλυψης γης. Οι μεταβαλλόμενες ανάγκες για παραγωγή διαφόρων προϊόντων ανά τακτά χρονικά διαστήματα καθώς και η εντατικοποίηση της γεωργίας για την κάλυψη των

αυξανόμενων αναγκών οδήγησε την ακαδημαϊκή κοινότητα στην εξεύρεση μεθόδων αυτόματης παρακολούθησης και καταγραφής των χρήσεων και καλύψεων της γης.

## **1.1 Ιστορική αναδρομή**

Η γεωργία αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της οικονομίας καθώς συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη και κοινωνική σταθερότητα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση γνωρίζοντας τη συμβολή αυτή της γεωργίας στην ευμάρεια των πολιτών καθώς και τον ανελέητο ανταγωνισμό στα γεωργικά προϊόντα σε παγκόσμια κλίμακα, έχει λάβει άμεσα ή έμμεσα μέτρα ενίσχυσης των αγροτών. Μερικά από τα άμεσα μέτρα είναι η καταβολή κοινοτικής ενίσχυσης βάση του είδους και της έκτασης της καλλιεργήσιμης γης, που εκμεταλλεύεται ο αγρότης και η παροχή οδηγιών και πρακτικών μέσω κανονισμών, προκειμένου τα παραγόμενα προϊόντα να καθίστανται πιο υγιεινά και φιλικά προς το περιβάλλον αλλά ταυτόχρονα και πιο ανταγωνιστικά στην αγορά. Στα έμμεσα μέτρα συγκαταλέγονται η παρακολούθηση της γης μέσω δορυφόρων, είτε χρήσης της είτε εναλλαγής χρήσης της, η παρακολούθηση μετεωρολογικών στοιχείων και κλιματικών αλλαγών.

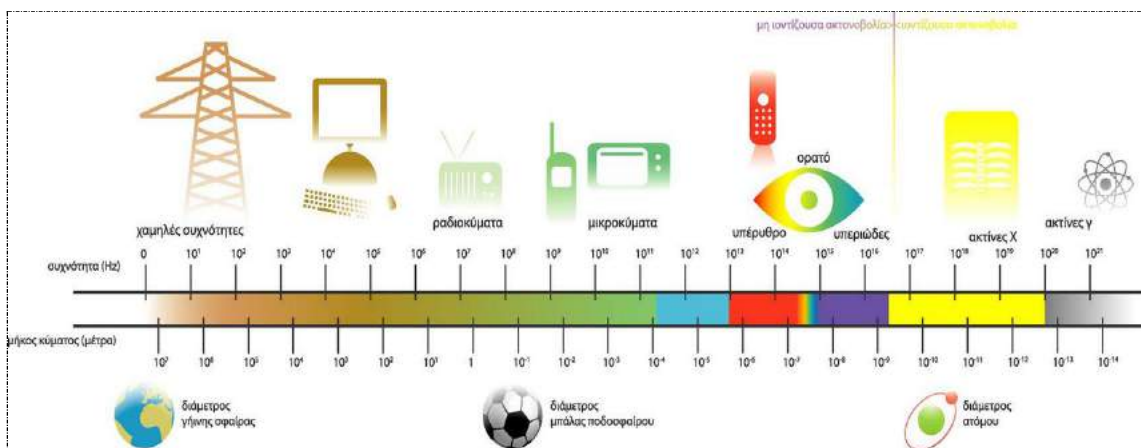
Για την παρακολούθηση και χαρτογράφηση των καλλιεργειών όμως πρέπει να ληφθεί η δυναμικότητα του χαρακτήρα της βλάστησης, τα στάδια δηλαδή ανάπτυξης των φυτών. Τα φυσικά οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς φαινολογικούς κύκλους, κύκλους ανάπτυξης, που είναι χρονικά επαναλαμβανόμενοι. Ωστόσο διαφορετικά είδη φυτών δύναται να ανήκουν στον ίδιο φαινολογικό κύκλο και να παρουσιάζουν παρόμοιες φασματικές ιδιότητες σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή και να διαφέρουν σε μία άλλη. Αντιστρόφως, φασματικές υπογραφές διαφορετικών ειδών δύναται να έχουν επικάλυψη μία δεδομένη περίοδο σε ένα στάδιο δηλαδή της ανάπτυξής τους. Είναι επομένως αυτονόητο ότι η χρήση μίας και μόνο εικόνας δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα αναφορικά με την ταξινόμηση καλλιεργειών, ειδικά στην περίπτωση των φυτών με παρόμοιο φαινολογικό κύκλο όπου ο κίνδυνος αυξάνεται (Siachalou et al., 2015). Μελέτες έχουν αποδείξει την αναγκαιότητα δια-εποχικών και διαχρονικών πολυφασματικών εικόνων στην ερμηνεία και παρακολούθηση της βλάστησης (Jia et al., 2014; Xu et al., 2019).

## 1.2 Ταξινόμηση καλλιεργειών

Για την κατανόηση της φιλοσοφίας και της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα έρευνα κρίνεται σκόπιμη μία σύντομη αναφορά σε βασικές έννοιες στις οποίες βασίζεται η ταξινόμηση στην τηλεπισκόπηση.

Εξ ορισμού *ταξινόμηση* στην τηλεπισκόπηση είναι η διαδικασία κατά την οποία ταυτοποιούνται και κατηγοριοποιούνται άγνωστα δεδομένα με τη βοήθεια των ήδη γνωστών. Με απλά λόγια υπάρχουν τα γνωστά δεδομένα που έχουν δημιουργήσει τις κατηγορίες, στις οποίες επιδιώκεται η κατάταξη των άγνωστων. Η κατάταξη αυτή βασίζεται στην αρχή της χρήσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

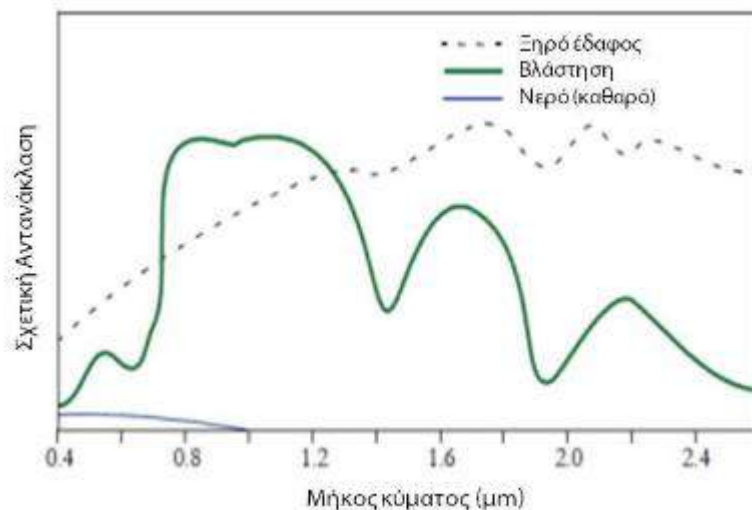
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αφορά στα μήκη κύματος από 0,01 Angstrom έως  $3 \times 10^6$  μέτρα (Διαγρ. 4). Το ανθρώπινο μάτι ωστόσο αντιλαμβάνεται συγκεκριμένα μήκη κύματος (350-700nm) με αποτέλεσμα να μην γίνονται αντιληπτά πολλά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον.



**Διάγραμμα 4:** Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Πηγή: <https://www.eett.gr/>

Η πολυφασματική ταξινόμηση βασίζεται στην αντίδραση του αντικειμένου στα διάφορα μήκη κύματος που εκπέμπονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες. Κάθε αντικείμενο παρουσιάζει μία συγκεκριμένη συμπεριφορά όταν προσκρούονται σε αυτά τα διάφορα μήκη κύματος από τους αισθητήρες. Το έδαφος, η βλάστηση και το νερό, οι βασικές κατηγορίες που κυριαρχούν στην γήινη φυσική επιφάνεια, εμφανίζουν διαφορετική ανακλαστικότητα (Διαγρ. 5).



**Διάγραμμα 5:** Φασματικές υπογραφές νερού, εδάφους και βλάστησης

Το έδαφος παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αντανάκλαση στην περιοχή του ορατού και του υπέρυθρου φάσματος, ωστόσο υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στους διάφορους τύπους εδάφους. Διαφορετικοί συνδυασμοί μετάλλων στην επιφάνεια της γης έχουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές. Στο διάγραμμα 5 παρουσιάζεται μόνο μια μέση καμπύλη του χέρσου εδάφους.

Η βλάστηση εμφανίζει μεγάλη αντανάκλαση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου και μικρή ανάκλαση στην περιοχή του ορατού. Αυτό επιτρέπει τη διάκριση των περιοχών με βλάστηση από τις χέρσες περιοχές. Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η φασματική υπογραφή των φυτών. Η χλωροφύλλη των αναπτυσσόμενων φυτών απορροφά την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού και ιδιαίτερα στο κόκκινο που χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση, ενώ ανακλάται σχεδόν πλήρως η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, καθώς είναι άχρηστη για το φυτό. Με τον τρόπο αυτό τα φυτά αποφεύγουν την άσκοπη θέρμανση και την απώλεια υγρών λόγω της εξάτμισης. Κατά συνέπεια, η αντανάκλαση της βλάστησης στην περιοχή του ορατού φάσματος και στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου διαφέρουν σημαντικά. Το μέγεθος της διαφοράς φανερώνει πόσο μεγάλο είναι το τμήμα της απεικονιζόμενης περιοχής που καλύπτεται από πράσινα φύλλα (δείκτης φυλλώδους περιοχής).

Το νερό αντανακλά την ακτινοβολία μόνο στην περιοχή του ορατού φάσματος. Καθώς το νερό δεν αντανακλά σχεδόν καθόλου στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, μπορεί να διακριθεί εύκολα από άλλες επιφάνειες. Επομένως οι υδατικές επιφάνειες μπορούν να

διακριθούν εύκολα επειδή είναι σκούρες (χαμηλές τιμές εικονοστοιχείου) στις απεικονίσεις που καταγράφονται στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.

Συμπερασματικά, γίνεται αντιληπτό ότι οι διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης γης διαχωρίζονται σχετικά εύκολα μεταξύ τους φασματικά, με την προϋπόθεση ότι σε κάθε περίπτωση επιλέγεται να μελετηθεί το κατάλληλο τμήμα του φάσματος. Αυτό το γεγονός, καθιστά την επιστήμη της τηλεπισκόπησης χρήσιμη κυρίως στη χαρτογράφηση.

### **1.3 Χάρτες ταξινόμησης**

Σήμερα, ο αντίκτυπος των στρατηγικών διαχείρισης στην απόδοση των καλλιεργειών μπορεί να προσομοιωθεί με περιφερειακά μοντέλα αγρο-οικοσυστημάτων (Resor et al., 2012; Van Wart et al., 2013). Αυτά τα μοντέλα απαιτούν μεγάλο αριθμό παραμέτρων εισόδου για τις ιδιότητες εδάφους και διαχείρισης, καθώς και χωρικά δεδομένα καιρού σε υψηλή χρονική ανάλυση. Ένα από τα βασικά στοιχεία εισροών για την περιφερειακή μοντελοποίηση αγρο-οικοσυστημάτων είναι τα χωρικά δεδομένα χρήσης γης, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών για τους τύπους καλλιεργειών και τις εναλλαγές καλλιεργειών (Guido Waldhoff et al., 2017). Οι τελευταίοι έχουν καθοριστική σημασία για τον προσδιορισμό της συγκεκριμένης καλλιέργειας σε ένα χωροχρονικό πλαίσιο μέσα στα μοντέλα (Lobell et al., 2015; Nendel et al., 2011). Ωστόσο, σπάνια διατίθενται χωροχρονικά δεδομένα σχετικά με τους τύπους καλλιεργειών και τις εναλλαγές καλλιεργειών σε επίπεδο αγρού για περιφερειακές κλίμακες. Ένα από τα σπάνια παραδείγματα για τη διαθεσιμότητα πολυετών χαρτών καλλιέργειας είναι τα στοιχεία δεδομένων των καλλιεργήσιμων εκτάσεων για τις Ηνωμένες Πολιτείες, τα οποία παρέχονται από την Εθνική Υπηρεσία Γεωργικής Στατιστικής (NASS) του Τμήματος Γεωργίας των ΗΠΑ (Boryan et al., 2011). Με βάση τα δεδομένα αυτά, παρέχονται επίσης χάρτες συχνότητας φύτευσης για καλαμπόκι, σόγια, σιτάρι και βαμβάκι (Boryan et al., 2014), αλλά δεν περιλαμβάνονται χωρικά δεδομένα σχετικά με τις πραγματικές εναλλαγές των καλλιεργειών.

Οι Leteinturier et al. (2006) διενήργησαν ανάλυση σειριακών καλλιεργειών για την περιοχή Wallon του Βελγίου βάσει των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν στο πλαίσιο του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης και Ελέγχου για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ωστόσο, στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, οι πληροφορίες



αυτές δεν είναι διαθέσιμες στο ευρύ κοινό, λόγω των νόμων περί προστασίας δεδομένων. Η έλλειψη αυτών των πληροφοριών αποτελεί μείζον μειονέκτημα για την περιφερειακή μοντελοποίηση αγρο-οικοσυστημάτων, δεδομένου ότι προκύπτουν μεγάλες αβεβαιότητες σχετικά με τη διαχείριση και τις ροές της συγκεκριμένης τοποθεσίας (Kersebaum et al., 2007). Για να μειωθούν αυτές οι αβεβαιότητες, συνήθως εξετάζονται μόνο μερικές διαφορετικές πρωτότυπες εναλλαγές καλλιεργειών, οι οποίες βασίζονται σε εμπειρογνωμοσύνη ή έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με την ορθή γεωργική πρακτική (Schönhart et al., 2011). Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο μπορούν να ικανοποιηθούν οι πραγματικές υποθέσεις σχετικά με την εναλλαγή των καλλιεργειών είναι υπό αίρεση.

Μια κεντρική υπόθεση στο πλαίσιο της διαδικασίας ταξινόμησης των διαφορετικών εναλλαγών των καλλιεργειών είναι ότι τα δεδομένα αλληλουχίας καλλιεργειών πρέπει να περιλαμβάνουν τουλάχιστον οκτώ διαδοχικά έτη (Guido Waldhoff et al., 2017). Το τελευταίο οφείλεται στο γεγονός ότι η εναλλαγή καλλιεργειών στην Κεντρική Ευρώπη μπορεί να καλύψει μια χρονική περίοδο από δύο έως πέντε χρόνια (Castellazzi et al., 2008). Η ανάλυση των δεδομένων δορυφορικής τηλεπισκόπησης είναι ένας οικονομικά αποδοτικός τρόπος για την παραγωγή επικαιροποιημένων χαρτών ταξινόμησης των καλλιεργειών για μεγαλύτερες περιοχές σε διάφορες κλίμακες (Atzberger, 2013; Waldner et al., 2015; Wu et al., 2015). Συνδυάζοντας τα ακριβή δεδομένα πολυετών τύπων καλλιεργειών, μπορεί να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων για τη χωροχρονική ταυτοποίηση των ακολουθιών των καλλιεργειών και των εναλλαγών καλλιεργειών. Για την χαρτογράφηση των καλλιεργειών σε περιφερειακή κλίμακα (μεγαλύτερη από 1.000 km<sup>2</sup>), συνήθως τα πολυφασματικά δεδομένα τηλεπισκόπησης μέτριας χωρικής ανάλυσης (περίπου 10-30 m) εξακολουθούν να είναι η πιο λογική επιλογή (Guido Waldhoff et al., 2017). Παρόλα αυτά, πολλές μελέτες επιδεικνύουν επίσης τη δυνατότητα των δορυφορικών δεδομένων ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) (Hütt et al., 2016; Korpe et al., 2012; McNairn et al., 2009) με οπτικά δεδομένα (Blaes et al., 2005; Forkuor et al., 2014; Lussem et al., 2016) για χαρτογράφηση χρήσης γης/κάλυψης γης. Σε κάθε περίπτωση, η δημιουργία γενικών χαρτών ταξινόμησης των καλλιεργειών συνήθως παρεμποδίζεται από τα όρια των τεχνικών δυνατοτήτων των συστημάτων τηλεπισκόπησης (π.χ. φασματική ή ραδιομετρική ανάλυση), όσον αφορά τις υψηλές φασματικές ομοιότητες ορισμένων τύπων καλλιεργειών. Η μεταβολή της

καλλιέργειας (π.χ. χειμερινές/καλοκαιρινές καλλιέργειες) ή οι καιρικές συνθήκες (Whitcraft et al., 2015) είναι πρόσθετες πτυχές, οι οποίες εμποδίζουν τη διαφοροποίηση των καλλιεργειών. Αυτοί οι παράγοντες απαιτούν πολυθερμικές παρατηρήσεις για τη σύλληψη και διαφοροποίηση όλων των τύπων καλλιεργειών. Σήμερα, η μελέτη της φαινολογίας των καλλιεργειών και των πολυχρονικών δεδομένων είναι καλά εδραιωμένη για την επίτευξη αποτελεσμάτων ανώτερων από μονοθεματικές ταξινομήσεις (Foerster et al., 2012; Siachalou et al., 2015; G. Waldhoff et al., 2012).

#### **1.4 Προκλήσεις κατά την ταξινόμηση**

Για τη μείωση των λανθασμένων ταξινομήσεων που προκαλούνται από τη σύγχυση με τη μη γεωργική καλλιέργεια, συμπληρωματικές πληροφορίες, όπως τα τοπογραφικά δεδομένα (Waldhoff et al., 2017) ή τα σύνορα των αγροτεμαχίων (Smith & Fuller, 2001) ενσωματώνονται επιπροσθέτως χρησιμοποιώντας μεθόδους GIS. Τέτοιες προσεγγίσεις συχνά ενισχύονται με την ενσωμάτωση των γνώσεων των εμπειρογνομόνων υπό τη μορφή μεθόδων βασισμένων στην παραγωγή (Peña-Barragán et al., 2011; Peña et al., 2014; Roy et al., 2015; Waldner et al., 2015). Το κύριο πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης των διαθέσιμων πηγών δεδομένων GIS σε ταξινομήσεις τηλεπισκόπησης είναι η αποφυγή της ταξινόμησης της αστικής ή μη γεωργικής βλάστησης ως καλλιέργεια ή λειμώνες. Επιπλέον, πληροφορίες σχετικά με τη χρήση γης που δεν μπορούν να ανακτηθούν από δεδομένα τηλεπισκόπησης, για παράδειγμα σε αστικές, βιομηχανικές, μεταλλευτικές ή μεταφορικές χρήσεις γης, μπορούν να ενσωματωθούν στο τελικό προϊόν χρήσης γης. Τέλος, άλλες μελέτες επικεντρώνονται περισσότερο σε πολλαπλές ρυθμίσεις ταξινομητή (Löwetal., 2015), εξελιγμένους αλγόριθμους τελευταίας τεχνολογίας όπως τυχαία δάση, Random Forest (Belgiu & Drăgu, 2016; Long et al., 2013) ή την τελειοποίηση δεδομένων κατάρτισης για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων χαρτογράφησης των καλλιεργειών (Mathur & Foody, 2008).

Όσον αφορά τη γενική στρατηγική ταξινόμησης πολλαπλών χρονικών περιόδων (Wardlow et al., 2007; Zheng et al., 2015) μπορούν να διαφοροποιηθούν από μια ομάδα διαφορετικών προσεγγίσεων, οι οποίες συνδυάζουν αποτελέσματα ανάλυσης (Turker & Arikian, 2005a; Van Niel & McVicar, 2004; G. Waldhoff et al., 2012). Παρεμπιπτόντως, αυτές οι προσεγγίσεις εφαρμόζονται ανά pixel καθώς και σε αντικείμενο (Blaschke et

al., 2016). Από την άποψη αυτή, οι Duro et al. (2012) ή οι Robertson & King, (2011) αναφέρουν ότι γενικά καμία από αυτές τις δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις δεν μπορεί να θεωρηθεί ανώτερη από την άλλη, όταν χρησιμοποιούν μέτρια δεδομένα εικόνας χωρικής ανάλυσης. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι περιφερειακές μελέτες πρέπει να καλύπτονται πλήρως από έτος σε έτος, ισχύουν διαφορετικά πλαίσια σε σχέση με τις μονοετείς μελέτες. Ως αποτέλεσμα, δεν είναι όλες οι προσεγγίσεις επαρκείς για την παραγωγή ομοιόμορφων χαρτών καλλιέργειας πολλών ετών, οι οποίοι να μπορούν να συνδυαστούν για την παροχή πληροφοριών αλληλουχιών καλλιεργειών στο επίπεδο του αγρού και για την τελική διεξαγωγή χαρτογράφησης εναλλαγής καλλιεργειών στο επίπεδο του αγρού. Για παράδειγμα, οι μεγαλύτερες περιοχές μελέτης δεν καλύπτονται εξ ολοκλήρου από μια ενιαία τηλεπισκόπηση. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο μέγεθος της περιοχής μελέτης, στις μετατοπίσεις μεταξύ της θέσης και της έκτασης της περιοχής μελέτης με το εύρος σάρωσης του απομακρυσμένου αισθητήρα ή, ειδικά σε εύκρατες περιοχές μεσαίου γεωγραφικού πλάτους, εξαιτίας της κάλυψης από νέφος (Whitcraft et al., 2015). Σε τέτοιες περιπτώσεις, επαρκής κάλυψη δεδομένων τηλεπισκόπησης μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την ενσωμάτωση επιπρόσθετων δεδομένων από πολλούς αισθητήρες, οι οποίοι καλύπτουν απλώς κομμάτια της περιοχής μελέτης. Εν κατακλείδι, η μεταβαλλόμενη κάλυψη της χωρικής και χρονικής τηλεπισκοποπικής εικόνας μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές προϋποθέσεις την ταυτοποίηση των καλλιεργειών για τα μεμονωμένα τεμάχια της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, οι μέθοδοι ανάλυσης που είναι ιδιαίτερα προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένες εικόνες εισόδου ή/και οι συνθήκες απόκτησης, μπορεί να μην είναι επωφελείς, αν η προσαρμογή τους σε άλλα δεδομένα τηλεπισκόπησης απαιτεί χρονοβόρες τροποποιήσεις στον αλγόριθμο (Franklin et al., 2011).

Σε αυτό το πλαίσιο, θα πρέπει να μελετηθεί ο σχεδιασμός και η εφαρμογή μιας ισχυρής και ετήσιας αναπαραγωγίσιμης προσέγγισης χαρτογράφησης καλλιεργειών, η οποία μπορεί να αντιμετωπίσει πολλαπλά χρονικά και χωρικά δεδομένα τηλεπισκόπησης. Εκτός από την εξέταση της φαινολογίας των καλλιεργειών, η ενσωμάτωση χωρικών δεδομένων μεγάλης ακρίβειας, σχετικά με τη χρήση της γεωργικής γης και την κάλυψη της γης από επίσημες πηγές δεδομένων, αποτελεί βασικό παράγοντα για την απόκτηση των επιθυμητών πληροφοριών. Το ζήτημα αυτό υπερκεράστηκε συνδυάζοντας τις διαδικασίες ανάλυσης μέσω τηλεπισκόπησης και τις μεθόδους GIS, όπου

συγκεντρώνονται οι βοηθητικές πληροφορίες και οι ειδικές γνώσεις για τη φαινολογία των καλλιιεργειών σε ένα πλαίσιο πολλαπλών δεδομένων (MDA).

## 1.5 Τεχνικές ταξινόμησης

Οι τεχνικές ταξινόμησης βασίζονται κατά κύριο λόγο στη στατιστική όπου οι τιμές των εικονοστοιχείων της δορυφορικής εικόνας ταξινομούνται στις κατηγορίες που είτε έχουν πρωτίστως οριστεί από τον ερευνητή είτε όχι. Σε αυτή την περίπτωση η ταξινόμηση καλείται (πολύ-)φασματική. Ωστόσο υπάρχει και η ταξινόμηση που βασίζεται στη γεωμετρία των αντικειμένων όπως σχήμα και μέγεθος, η οποία καλείται χωρική ταξινόμηση.

Μία περαιτέρω διάκριση της φασματικής ταξινόμησης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αφορά στο αν είναι προκαθορισμένες ή όχι οι κατηγορίες στις οποίες επιδιώκεται να ταξινομηθούν τα εικονοστοιχεία από τον ερευνητή. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση βασίζεται στην ιδέα ότι ο ερευνητής μπορεί να επιλέξει δείγματα εικονοστοιχείων σε μια εικόνα που είναι αντιπροσωπευτικά συγκεκριμένων τάξεων - κατηγοριών και, στη συνέχεια, να κατευθύνει το λογισμικό επεξεργασίας εικόνων χρησιμοποιώντας τα εν λόγω δείγματα εκπαίδευσης (trainings data) ως αναφορές για την ταξινόμηση όλων των άλλων εικονοστοιχείων στην εικόνα (Matci & Avdan, 2020). Τα σημεία εκπαίδευσης (επίσης γνωστά και ως σετ δοκιμών ή τάξεις εισαγωγής) επιλέγονται με βάση τις γνώσεις του ερευνητή ή του χρήστη γενικότερα. Για να λάβουν χρήσιμες πληροφορίες από απομακρυσμένες εικόνες, οι χρήστες πρέπει να έχουν εμπειρία στην επεξεργασία και την ερμηνεία εικόνων (Bianchetti & MacEachren, 2015). Ο χρήστης καθορίζει επίσης τα όρια για το πώς πρέπει να είναι παρόμοια άλλα pixels για την ομαδοποίησή τους. Δεδομένου ότι αυτές οι μέθοδοι δεν περιλαμβάνουν μια φάση προπόνησης, απαιτούν λιγότερο χρόνο για την εφαρμογή και είναι πιο πρακτικές στη χρήση. Οι παραδοσιακές μέθοδοι ταξινόμησης χωρίς επίβλεψη λειτουργούν με παραμέτρους που δίνονται από τον χρήστη, όπως ο αριθμός των τάξεων, το κριτήριο διακοπής ή ο αριθμός των επαναλήψεων του αλγορίθμου. Ο καθορισμός των βέλτιστων τιμών αυτών των παραμέτρων για την επίτευξη επιτυχούς αποτελέσματος ταξινόμησης είναι ένα σημαντικό πρόβλημα (Matci & Avdan, 2020).

## 1.6 Δορυφόροι

### 1.6.1 Εξέλιξη δορυφόρων και δορυφορικών αισθητήρων

Η τηλεπισκόπηση εξελίσσεται ραγδαία παρέχοντας ένα τεράστιο εύρος πληροφοριών, καθώς καταγράφει άπειρες παρατηρήσεις ενώ βρίσκει εφαρμογή σε ολοένα και περισσότερα πεδία. Η γεωργία αποτελεί ένα από τα πρώτα πεδία εφαρμογής της τηλεπισκόπησης με εντυπωσιακά αποτελέσματα και χρήσεις (LIU et al., 2019). Ο εντοπισμός και η ταυτοποίηση καλλιεργειών (Immitzer, Vuolo, & Atzberger, 2016; Ng et al., 2017; Palchowdhuri, et. al., 2018), η παρακολούθηση και η ανάπτυξη δασικών εκτάσεων ή ακόμα και η παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών (Navarro et al., 2017) είναι μερικές από τις θεματικές περιοχές που βρίσκουν εφαρμογή στη γεωργία.

Για δεκαετίες η τηλεπισκόπηση αποτελούσε τη βασική πηγή δεδομένων για την επιχειρησιακή παρακολούθηση της γεωργίας (Vuolo et. al., 2018). Η χρήση των δορυφόρων μέτριας χωρικής ανάλυσης SPOT-Vegetation, MODIS και PROBA-V παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιχειρησιακή παρακολούθηση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο εξαιτίας της καθημερινής τροχιάς τους από το ίδιο σημείο, της παγκόσμιας κάλυψης, του μεγάλου αποθηκευτικού χώρου και της καθόλου ή μηδαμινού κόστους πρόσβασης (Li et al., 2019). Η σειρά δορυφόρων Landsat επέτρεψαν την χαρτογράφηση υψηλής ανάλυσης καλλιεργειών για συγκεκριμένες αγροτικές περιοχές μεγάλων εκτάσεων (Boryan, et.al., 2011). Ωστόσο η χρονική ανάλυση των 16 ημερών θεωρήθηκε προβληματική για την χαρτογράφηση καλλιεργειών σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και σε περιοχές με έντονη την παρουσία σύννεφων, εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού αξιόπιστων παρατηρήσεων (Blaes, Vanhalle, & Defourny, 2005; Johnson, 2014; Whitcraft et.al, 2015). Επιπλέον η χωρική ανάλυση 30 μέτρων, δεν επιτρέπει την ανάλυση μεμονωμένων τεμαχίων σε διάφορες αγροτικές περιοχές, αποτρέποντας οποιαδήποτε εφαρμογή που βασίζεται σε τεμάχια στα περισσότερα συστήματα καλλιέργειας σε όλο τον κόσμο (Defourny et al., 2019). Εμπορικοί δορυφόροι όπως ο RapidEye επιτρέπουν την παρακολούθηση αγροτικών περιοχών με χωρική ανάλυση υψηλότερη των πέντε μέτρων (Davidson et. al, 2017), ωστόσο αυτό αυξάνει το κόστος αλλά και τον χρόνο επεξεργασίας.

Από την τεχνογνωσία που αποκτήθηκε από την αποστολή και χρήση των δορυφόρων Landsat και SPOT, σχεδιάστηκε ο επόμενος δορυφόρος Sentinel 2 με τον μηχανισμό

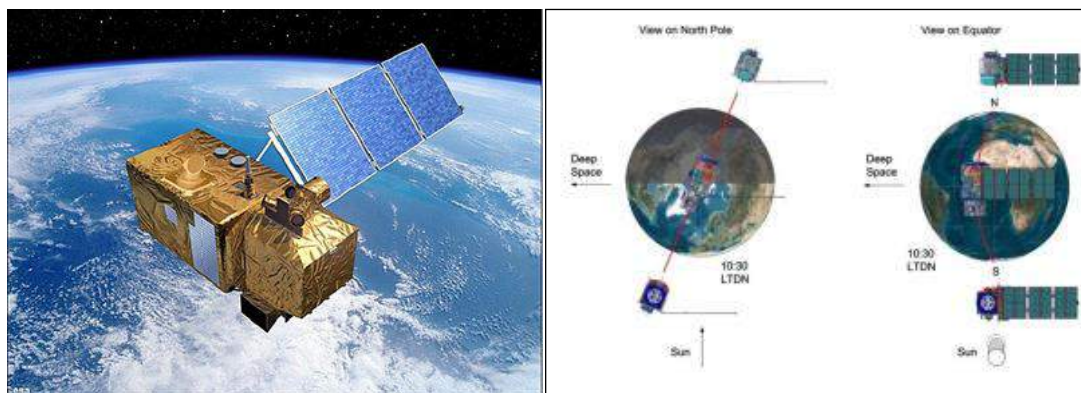
Multi Spectral Instrument (MSI), στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus του οποίου στόχος είναι η επιτήρηση της επιφάνειας της γης και κατά συνέπεια της γεωργίας, μετρώντας την ανακλαστικότητα σε 13 διαφορετικές φασματικές ζώνες που κυμαίνονται από το ορατό έως το υπέρυθρο τμήμα (SWIR). Από τα τέλη του 2015, ο δορυφόρος Sentinel-2A παρέχει χρονική ανάλυση 10 ημερών σε όλη την Ευρώπη και την Αφρική και 20 ημερών οπουδήποτε αλλού, ενώ η επιτυχημένη έναρξη του Sentinel-2B, τον Μάρτιο του 2017, εξασφαλίζει χρόνο επανόδου 5 ημερών πάνω από όλες τις χερσαίες εκτάσεις από το Φεβρουάριο του 2018. Οι δορυφόροι Sentinel-2A και 2B σχεδιάστηκαν ως μια παγκόσμια συνιστώσα και μακροπρόθεσμη λύση, η συνέχεια της οποίας εξασφαλίζεται πέραν του 2030 τουλάχιστον με τους προσεχείς δορυφόρους Sentinel-2C και 2D (Defourny et al., 2019).

Η πολιτική ανοιχτής και ελεύθερης πρόσβασης του Copernicus σε συνδυασμό με την εξαιρετικής ποιότητας εικόνα του Sentinel 2 (Gascon et al., 2017) παρέχει την ευκαιρία να δημιουργηθούν πυκνές και σταθερές χρονοσειρές σε έναν αυξανόμενο κύκλο στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. Μια γεωργική εφαρμογή που μπορεί να επωφεληθεί από πυκνή χρονολογική σειρά είναι η αναγνώριση και χαρτογράφηση των τύπων καλλιεργειών και των εναλλαγών καλλιεργειών. Τόσο ο τύπος καλλιέργειας όσο και η εναλλαγή των καλλιεργειών είναι καθοριστικής σημασίας για τον καθορισμό της διαχείρισης της καλλιέργειας σε ένα χωροχρονικό πλαίσιο (Marais Sicre et al., 2016; Vaglio Laurin, et. al., 2018; Waldhoff, Lussem, & Bareth, 2017). Οι λεπτομερείς φασματικές πληροφορίες παρέχουν ευκαιρίες για βελτίωση της ακρίβειας όταν γίνεται διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων καλλιεργειών (Asgarian et al., 2016). Πρωταρχική σημασία όμως έχει η διαθεσιμότητα πολλαπλών χρονικών δεδομένων για την καταγραφή της ανάπτυξης συγκεκριμένων καλλιεργειών.

Ορισμένες πρόσφατες μελέτες χρησιμοποίησαν οπτικά δεδομένα σε χρονοσειρές για την ταξινόμηση. Οι Inglada et al. (2015), για παράδειγμα, επικεντρώθηκαν στην σκοπιμότητα της χαρτογράφησης μεγάλου μεγέθους καλλιεργειών χρησιμοποιώντας διαφορετικούς αλγόριθμους και προσομοιωμένες χρονοσειρές Sentinel 2. Οι Sheeren et al. (2016) κατέδειξαν την καταλληλότητα των πυκνών χρονοσειρών για τη χαρτογράφηση κυρίαρχων ειδών δέντρων χρησιμοποιώντας δεδομένα Formosat-2.

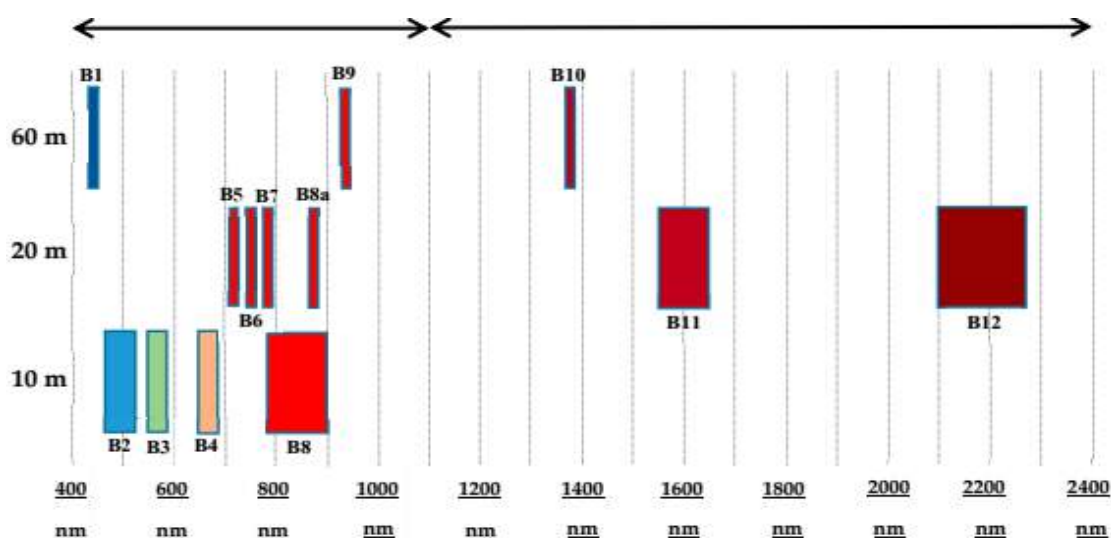
## 1.6.2 Sentinel 2

Για τις ανάγκες της παρούσας ερευνητικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο δορυφόρος Sentinel 2. Ο Sentinel 2 αποτελεί έναν αστερισμό δύο δορυφόρων τον Α και Β, που κατασκεύασε η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) στα πλαίσια του προγράμματος Copernicus (Εικ. 1).



**Εικόνα 1:** Sentinel 2 και η τροχιά που ακολουθούν

Διαθέτουν μεγάλη έγχρωμη πολυφασματική κάμερα 13 φασματικών ζωνών, τέσσερις στα 10 μέτρα, έξι στα 20 μέτρα και τρεις ζώνες χωρικής ανάλυσης στα 60 μέτρα (Διαγρ. 6) ενώ το οπτικό τους πεδίο στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα φτάνει τα 290 χιλιόμετρα. Η χρονική διακριτική τους ικανότητα είναι πέντε ημερών (Vaglio Laurin et al., 2018), γεγονός που βοηθά στην παρακολούθηση των αλλαγών στη βλάστηση κατά την διάρκεια της ανάπτυξής της.



**Διάγραμμα 6:** Φασματικά χαρακτηριστικά και φασματική ανάλυση των ζωνών (Palchowdhuriet. al., 2018)

Αναλυτικά σύμφωνα με τους Palchowdhuri et. al. (2018) και Gascon et al. (2016) αυτά τα φασματικά κανάλια περιλαμβάνουν:

- ✓ 4 ζώνες στα 10 μέτρα: μπλε (490 nm), πράσινα (560 nm), κόκκινα (665 nm) και κοντά σε υπέρυθρες ακτίνες (842 nm).
- ✓ 6 ζώνες στα 20 μέτρα: 4 στενές ζώνες για χαρακτηρισμό βλάστησης (705 nm, 740 nm, 783 nm και 865 nm) και 2 μεγαλύτερες ζώνες SWIR (1610 nm και 2190 nm) για εφαρμογές όπως ανίχνευση χιονιού / πάγου / νέφους ή βλάστηση εκτίμηση της πίεσης υγρασίας.
- ✓ 3 ζώνες στα 60 μέτρα για εφαρμογές όπως η διαστρωμάτωση σύννεφων και οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις (443 nm για αερολύματα, 945 nm για υδρατμούς και 1375 nm για ανίχνευση κύκλων).

Συγκεντρωτικά οι φασματικές και χωρικές ιδιότητες του κάθε καναλιού παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 1:** Χαρακτηριστικά των καναλιών του Sentinel 2

Κανάλι	Ανάλυση	Μήκος κύματος	Περιγραφή
B1	60m	490nm	Βαθύ μπλε
B2	10m	560nm	Μπλε
B3	10m	560nm	Πράσινο
B4	10m	665nm	Κόκκινο
B5	20m	705nm	Ορατό και Εγγύς υπέρυθρο (VNIR)
B6	20m	740nm	Ορατό και Εγγύς υπέρυθρο (VNIR)
B7	20m	783nm	Ορατό και Εγγύς υπέρυθρο (VNIR)
B8	10m	842nm	Ορατό και Εγγύς υπέρυθρο (VNIR)
B8a	20m	865nm	Ορατό και Εγγύς υπέρυθρο (VNIR)
B9	60m	940nm	Κοντινό υπέρυθρο (SWIR)
B10	60m	1375nm	Κοντινό υπέρυθρο (SWIR)
B11	20m	1610nm	Κοντινό υπέρυθρο (SWIR)
B12	20m	2190nm	Κοντινό υπέρυθρο (SWIR)



Συνδυασμοί των παραπάνω καναλιών του συγκεκριμένου δορυφόρου προσφέρουν ανάλογες εικόνες που κάθε φορά στοχεύουν σε διαφορετική κατεύθυνση. Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω συνδυασμοί:

i. Εικόνα με φυσικά χρώματα: (B4, B3, B2)

Απεικονίζεται το φράγμα Άχνα στη Λάρνακα με τα φυσικά χρώματα όπως τα αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι.



**Εικόνα 2:** Δορυφορική εικόνα φυσικών χρωμάτων

ii. Εικόνα με υπέρυθρα χρώματα (B8, B4, B3):

Ο συνδυασμός αυτών των υπέρυθρων καναλιών χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό της υγιούς από τη μη υγιούς βλάστησης. Η χρήση συγκεκριμένα του καναλιού B8 είναι ιδιαίτερα καλή στην αντανάκλαση της χλωροφύλλης που πρακτικά σημαίνει ότι πυκνή βλάστηση εμφανίζεται με έντονο κόκκινο χρώμα ενώ οι αστικές περιοχές με άσπρο.



**Εικόνα 3:** Δορυφορική εικόνα με συνδυασμό καναλιών B8, B4, B3

iii. Εικόνες στο κοντινό υπέρυθρο (B12, B8<sup>A</sup>, B4):

Ο παραπάνω συνδυασμός εμφανίζει τη βλάστηση στις διάφορες αποχρώσεις του πράσινου με τα σκούρα χρώματα να αποδίδονται όταν αυτή είναι πυκνή ενώ με καφέ στο γυμνό έδαφος και στις κατοικημένες περιοχές.



**Εικόνα 4:** Δορυφορική εικόνα με συνδυασμό καναλιών B12,B8<sup>A</sup>,B4

Υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί που μπορούν να δημιουργηθούν και να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς ή σε διάφορους τομείς (Πίνακας 2). Κάθε συνδυασμός που αποτελεί και μία ή περισσότερες μαθηματικές πράξεις καλείται δείκτης. Οι δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα έρευνα αναφέρονται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο.

**Πίνακας 2:** Συνδυασμοί καναλιών και οι χρήσεις τους

Τομέας	Συνδυασμός καναλιών	Σκοπός
Γεωργία	B11, B8, B2	Παρακολούθηση της ευρωστίας της βλάστησης
	B8-B4/B8+B4	Ποσοτικό προσδιορισμό βλάστησης
Γεωλογία	B12, B8, B2	Εύρεση γεωλογικών χαρακτηριστικών, λιθολογία, γεωλογικοί σχηματισμοί
Βαθυμετρία	B4, B3, B1	Εκτιμήσεις αιωρούμενων ιζημάτων στο νερό

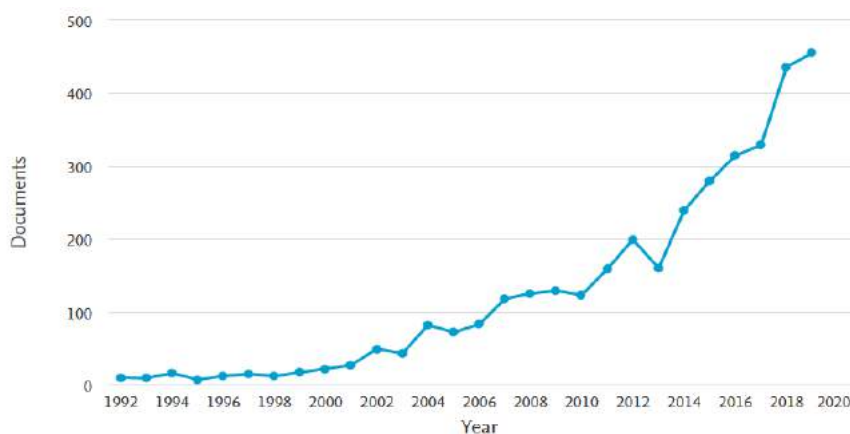
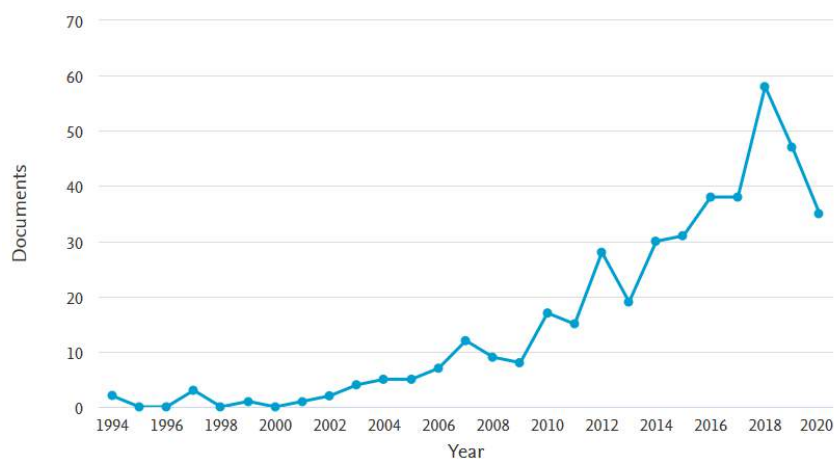
Τα προϊόντα του μηχανισμού MSI περιλαμβάνουν τα ακόλουθα επίπεδα επεξεργασίας (Defourny et.al., 2019):

- ✓ Προϊόντα επιπέδου-0 (L0): Ακατέργαστα δεδομένα που συσσωρεύονται για μακροπρόθεσμη αποθήκευση και μελλοντικές εκστρατείες επανεπεξεργασίας.

- ✓ Προϊόντα επιπέδου-1A (L1A): Μη συμπιεσμένα δεδομένα στη γεωμετρία των αισθητήρων και με χονδρική εγγραφή (δηλαδή ευθυγράμμιση εικονοστοιχείων μεταξύ διαφορετικών φασματικών ζωνών και μονάδων ανιχνευτών). Δεν έχουν εφαρμοστεί πλήρεις ραδιομετρικές διορθώσεις. Αυτά τα προϊόντα χρησιμοποιούνται για σκοπούς βαθμονόμησης.
- ✓ Προϊόντα επιπέδου-1B (L1B): Ακτινοβολίες Top-Of-Atmosphere (TOA) στη γεωμετρία των αισθητήρων (ίδια με τα προϊόντα Level-1A). Έχουν εφαρμοστεί πλήρεις ραδιομετρικές διορθώσεις. Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται για σκοπούς βαθμονόμησης, επικύρωσης και ποιοτικού ελέγχου.
- ✓ Προϊόντα επιπέδου-1C (L1C): Ανακλάσεις TOA σε χαρτογραφική γεωμετρία. Τα προϊόντα αυτά διαδίδονται δημοσίως από την ESA.
- ✓ Προϊόντα επιπέδου-2A (L2A): Ανακλάσεις κατώτερης ατμόσφαιρας Bottom-Of-Atmosphere (BOA) σε χαρτογραφική γεωμετρία ίδια με προϊόντα Level-1C). Σήμερα, τα προϊόντα αυτά μπορούν να δημιουργηθούν από τους χρήστες με τη δημόσια Προεπισκόπηση ([www.preprints.org](http://www.preprints.org)).

## 1.7 Συνεισφορά και στόχος

Μελετώντας την πληθώρα βιβλιογραφία όπως αυτή αναπτύχθηκε παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η επιστημονική κοινότητα ασχολείται επιστάμενα με την ταξινόμηση των χρήσεων γης ή τη μεταβολής αυτής. Τα κίνητρα σε γενικές γραμμές αφορούν τον έλεγχο και την παρακολούθηση της βλάστησης (Karlsen et al., 2018), της αστικής και βιομηχανικής ζώνης (Ning & Lin, 2017; Zhou et al., 2016), της διάβρωσης του εδάφους κ.α. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι μελέτες σχετικές με ταξινόμηση αποκλειστικά καλλιεργειών είναι περιορισμένες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Ευρώπη πραγματοποιήθηκαν δύο έρευνες το 1994 ενώ το 2019 ανήλθαν στις 47, όταν παγκοσμίως για τα ίδια έτη, οι μελέτες που ολοκληρώθηκαν ήταν 16 και 455 αντίστοιχα (Διαγρ.7). Σαφώς υπάρχει μία ανοδική τάση και ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον της ακαδημαϊκής κοινότητας για το αντικείμενο αυτό, που εν μέρει μπορεί να αποδοθεί και στην εκτόξευση του Sentinel 2 (ανοιχτής πρόσβασης δορυφόρος), ωστόσο προς το παρόν ακόμα είναι λίγες οι μελέτες που αφορούν στην ταξινόμηση καλλιεργειών. Κύριος λόγος είναι η δυσκολία ανάκτησης πληροφοριών από τους φορείς που τις συλλέγουν στα πλαίσια των προσωπικών δεδομένων.



**Διάγραμμα 7:** Αριθμός ερευνών για ταξινόμηση καλλιεργειών σε Ευρώπη (πάνω) και παγκοσμίως (κάτω) (Source: Scopus Database)

Παρόλα αυτά, η χαρτογράφηση καλλιεργειών έχει ως απώτερο σκοπό τον έλεγχο της παραγωγής καθώς είναι πλέον επιτακτική η ανάγκη παρακολούθησής της, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού σε παγκόσμιο επίπεδο, της κλιματικής αλλαγής αλλά και τη ραγδαία μείωση των φυσικών πόρων. Ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών αφορά στην ταξινόμηση είτε γενικευμένων κατηγοριών όπως καλλιέργεια, έδαφος, αστική, βιομηχανική ζώνη κ.α. είτε κατηγοριών καλλιεργειών όπως βαμβάκι, σπυροφόρα δέντρα, σιτηρά, τριφύλλι κ.α.

Με την εξέλιξη όμως της τηλεπισκόπησης όπως αυτή αναπτύχθηκε παραπάνω δημιουργείται η πρόκληση για ταξινόμηση καλλιεργειών που παρουσιάζουν παρόμοιο κύκλο ανάπτυξης ή που ανήκουν στην ίδια ομάδα καλλιέργειας. Μία τέτοια περίπτωση είναι ο κύκλος ανάπτυξης του σιταριού και του κριθαριού, τα οποία ανήκουν στην

κατηγορία των δημητριακών και σπάνια εμφανίζονται ως ξεχωριστές καλλιέργειες στις διάφορες έρευνες.

Όπως έχει ήδη αναλυθεί, η εξέλιξη των δορυφορικών αισθητήρων επέτρεψε τον εντοπισμό αντικειμένων από τα 30 μέτρα σε λίγα εκατοστά, δηλαδή δύναται να εντοπιστούν και να ταυτοποιηθούν αντικείμενα με μέγεθος λίγων εκατοστών. Γιατί αυτή η εξέλιξη να μην συνοδεύεται και από αντίστοιχη πιο λεπτομερή διάκριση καλλιεργειών. Πλέον υπάρχει ο εξοπλισμός, η γνώση αλλά κυρίως η ανάγκη τέτοιων διακρίσεων και ταξινομήσεων καλλιεργειών, καθώς επιτελούν διαφορετικούς σκοπούς, παρόλο που ανήκουν στην ίδια ομάδα καλλιέργειας.

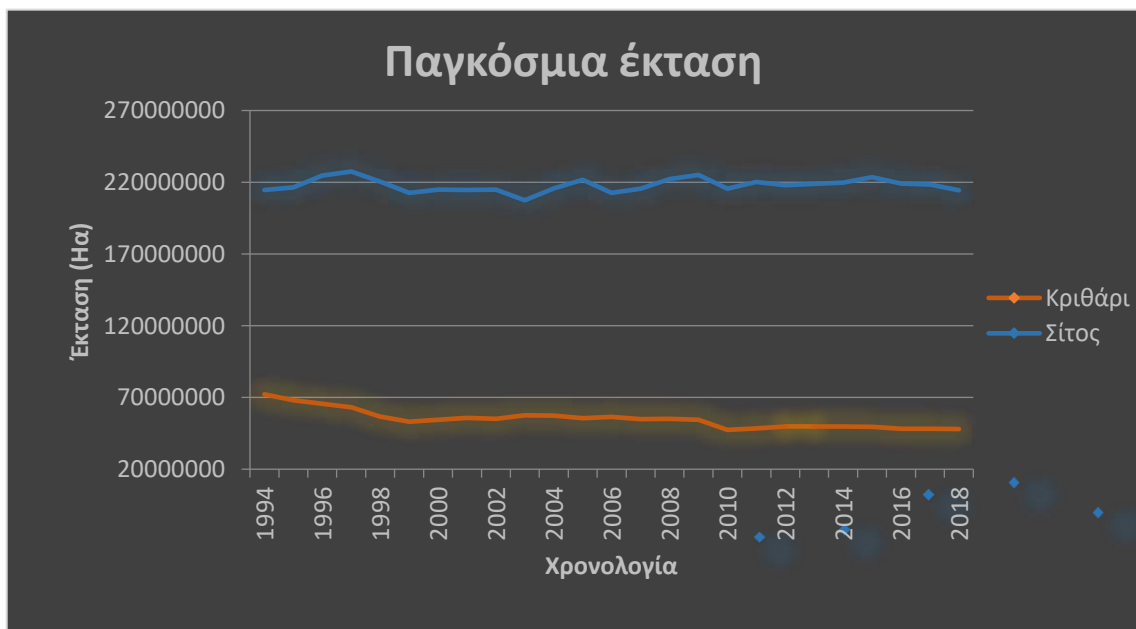
Με την παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να ταξινομηθούν τεμάχια που καλλιεργήθηκαν με σιτάρι και κριθάρι σε περιοχές της Κύπρου. Η ταξινόμηση που έχει επιλεγεί είναι η επιβλεπόμενη φασματική και ως εργαλεία ταξινόμησης θα χρησιμοποιηθούν τρεις διαφορετικοί συνδυασμοί καναλιών του Sentinel 2. Οι δύο αυτές καλλιέργειες ανήκουν στη μεγάλη κατηγορία δημητριακών, ωστόσο κατέχουν σημαντικά διαφορετικό μερίδιο σε έκταση και σε παραγωγή και δε θα πρέπει να συγχέονται. Οι καλλιέργειες παρουσιάζουν παρόμοιο φαινολογικό κύκλο ενώ επιδέχονται παρόμοιες καλλιεργητικές φροντίδες (λίπανση, πότισμα κ.α.), για αυτό τα αποτελέσματα προβλέπονται να είναι συγκεχυμένα και όχι απολύτως ξεκάθαρα.

## 2 Σιτάρι και Κριθάρι

### 2.1 Γενικά

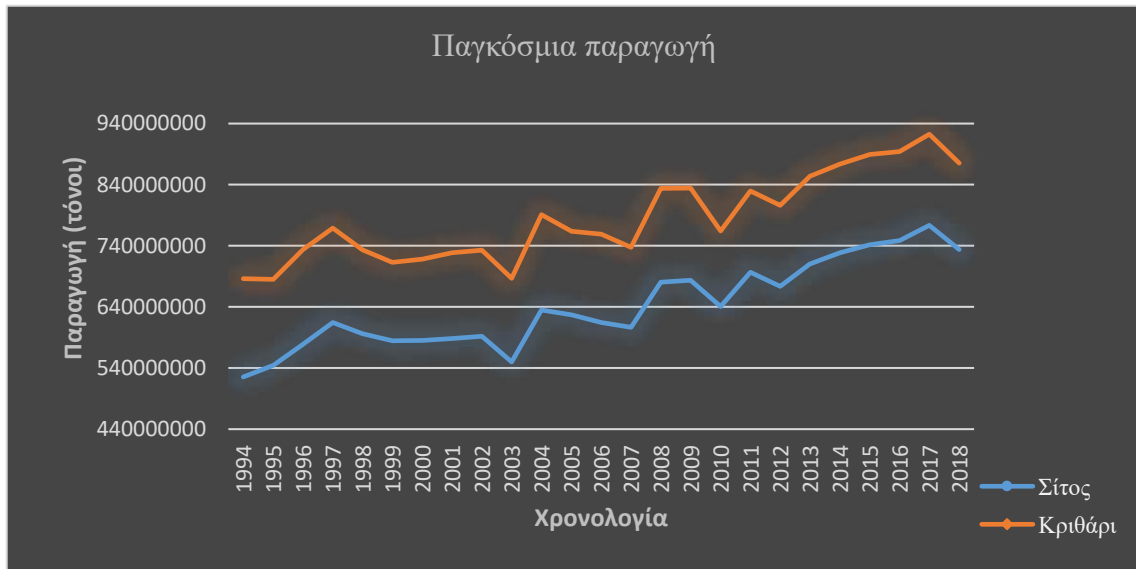
Τα δημητριακά αποτελούν μία από τις κυριότερες καλλιέργειες σε παγκόσμιο επίπεδο από τα οποία παράγονται πληθώρα είδη πρώτης διατροφής (Blakeney et al., 2009) ενώ αποτελούν τη βάση για την παραγωγή άλλων τόσων. Είναι η δεύτερη ομάδα καλλιέργειας μετά τον αραβόσιτο σε συγκομιδή σε παγκόσμιο επίπεδο (FAO, 2020). Ειδικά το σιτάρι αποτελεί την πιο σημαντική πηγή υδατανθράκων (Blakeney et al., 2009) παρέχοντας, κατά μέσο όρο, το 1/5 της συνολικής θερμιδικής εισροής του παγκόσμιου πληθυσμού και το ήμισυ των συνολικών θερμίδων διατροφής σε περιοχές όπως η Βόρεια Αφρική, η Τουρκία και η Κεντρική Ασία (Reynolds et al., 2005).

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η έκταση που καταλαμβάνει το σιτάρι και το κριθάρι ανέρχεται περίπου σε 220 και 50 εκατομμύρια εκτάρια (1 εκτάριο = 10 στρέμματα) αντίστοιχα τις τελευταίες δεκαετίες (Διαγ.8). Η παγκόσμια παραγωγή κυμαίνεται περίπου στα 640 εκατομμύρια τόνους για τον σίτο και 900 εκατομμύρια τόνους για το κριθάρι (Διαγ.9)



Διάγραμμα 8: Έκταση σίτου και κριθαριού παγκοσμίως 1994-2018

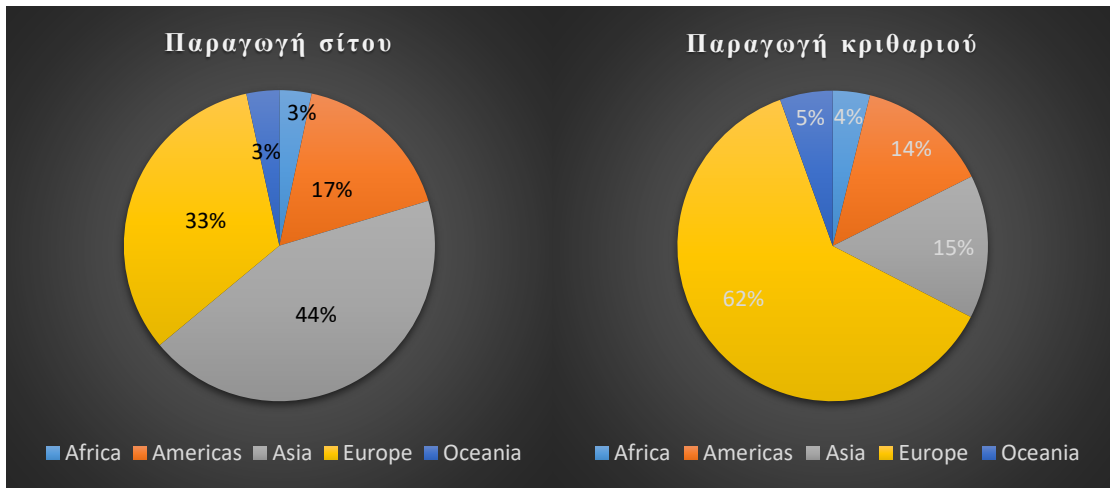
Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχει μία σταθερότητα ως προς την παγκόσμια έκταση που καλλιεργείται γεγονός που αποδεικνύεται στο παραπάνω διάγραμμα. Ενδιαφέρον όμως έχει η παραγωγή που εξάγεται από αυτές τις εκτάσεις.



**Διάγραμμα 9:** Παραγωγή σίτου και κριθαριού παγκοσμίως

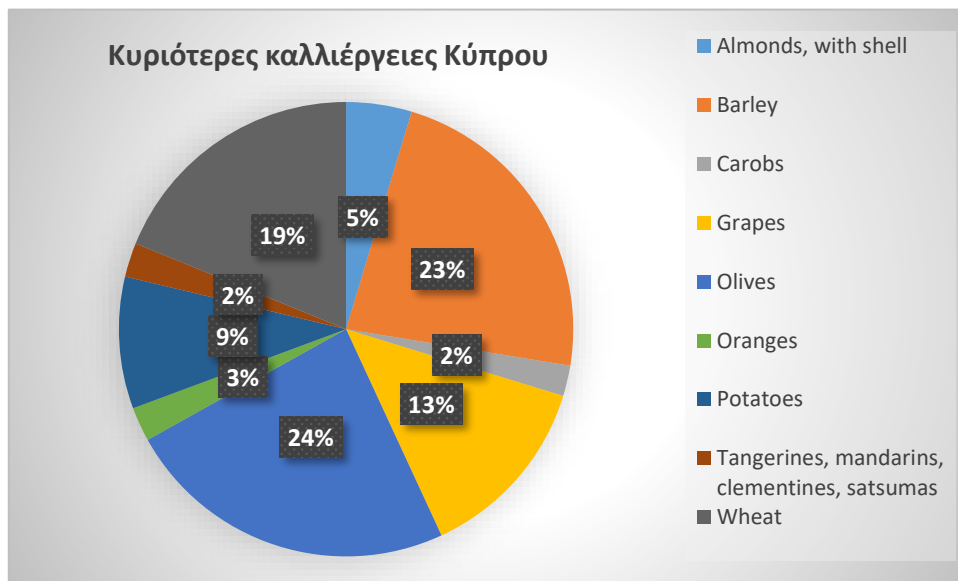
Είναι εξαιρετικής σημασίας η κατανόηση ότι μία συγκεκριμένη έκταση δε συνεπάγει αντίστοιχη παραγωγή. Είναι ολοφάνερο ότι ενώ η έκταση παραμένει σε σχετικά σταθερά επίπεδα, η παραγωγή και για τα δύο είδη έχει σημαντική ανοδική πορεία, γεγονός που οφείλεται σε πολλούς παράγοντες μερικοί από αυτούς είναι η αυτοματοποίηση πολλών γεωργικών πρακτικών, η χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων κ.α. Μία επιπλέον απόδειξη ότι είναι απαραίτητη η παρακολούθηση καλλιεργειών ή η επικαιροποίηση των χαρτών ταξινόμησης.

Η παραγωγή σίτου στην Ασία καλύπτει παγκοσμίως το 44% ενώ του κριθαριού την πρωτοκαθεδρία κατέχει η Ευρώπη με ποσοστό που αγγίζει το 62% (Διαγρ.10).



**Διάγραμμα 10:** Παγκόσμια κατανομή παραγωγής σίτου και κριθαριού

Ενδιαφέρον έχει η στατιστική ανάλυση για τα κυπριακά δεδομένα όπου ο επιμερισμός των κυριότερων καλλιέργειών εμφανίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 11.



**Διάγραμμα 11:** Κατανομή κυριότερων καλλιεργειών στην Κύπρο

Μελετώντας τα στατιστικά είτε σε παγκόσμια κλίμακα είτε σε επίπεδο κράτους κρίνεται πολύ σημαντικός ο διαχωρισμός των καλλιεργειών στους χάρτες ταξινόμησης. Ενδεικτικά αναφέρεται για τον σίτο το 2016 η έκταση που καλλιεργήθηκε ανέρχεται στα 8.386 Ha με απόδοση παραγωγής 6.902 τόνους ενώ για το 2018 η έκταση ήταν περίπου ίδια, ήτοι 8.485 Ha, ωστόσο η παραγωγή τριπλασιάστηκε (18.054 τόνους) (Διάγρ.12). Αντίστοιχα για το κριθάρι το 2008 καλλιεργήθηκαν 30.680 Ha που απέδωσαν 3.496 τόνους παραγωγή ενώ το 2012 καλλιεργήθηκαν περίπου 2.000 Ha λιγότερα, η απόδοση παραγωγής εκτινάχθηκε σε 67.028 τόνους (Διαγρ.13). Οι παράγοντες που προκαλούν τέτοιες αυξομειώσεις παραγωγής συγκριτικά με την έκταση



ποικίλουν, ξεκινώντας από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περίοδο ανάπτυξης, τη διαθεσιμότητα νερού κ.α.



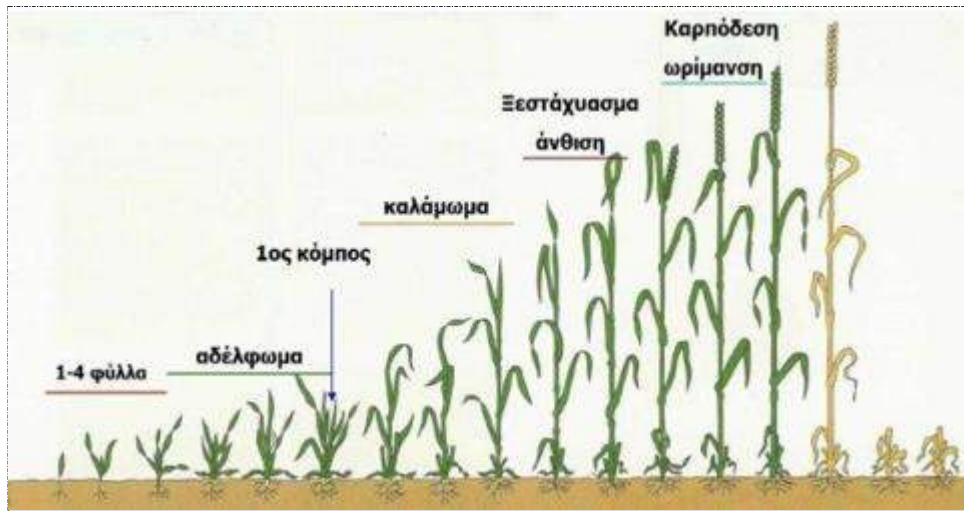
Διάγραμμα 12: Έκταση και παραγωγή σίτου στην Κύπρο



Διάγραμμα 13: Έκταση και παραγωγή κριθαριού στην Κύπρο

## 2.2 Φαινολογικός κύκλος

Τα σιτηρά ανήκουν στην κατηγορία των χειμερινών καλλιεργειών. Αναλόγως των επικρατουσών καιρικών συνθηκών, η σπορά πραγματοποιείται στους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο.

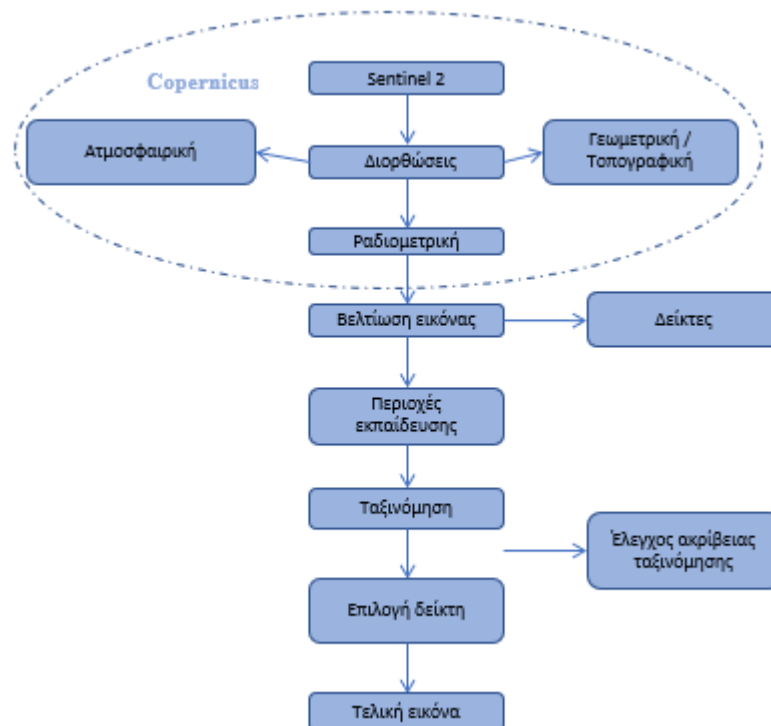


**Διάγραμμα 14:** Στάδια ανάπτυξης σιτηρών

Υπό φυσιολογικές κλιματικές συνθήκες και καλλιεργητικές πρακτικές, η μέγιστη ανάπτυξη του στελέχους ή αλλιώς η ωρίμανση, λαμβάνει χώρα τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, όπου αρχίζει η ξήρανση για να συγκομιστεί από τα τέλη Ιουνίου έως και τον Ιούλιο. Είναι σημαντική η καταγραφή της ανάπτυξης τους καθώς θέτει τα πλαίσια για την ορθή χρονικά επιλογή των δορυφορικών εικόνων.

### 3 Μεθοδολογία

Η προεπεξεργασία και η επεξεργασία ή βελτίωση των εικόνων είναι διαδικασίες που συντελούν με την σειρά τους στην καλύτερη και ασφαλέστερη ταξινόμηση. Δεν αρκεί μόνο η μελέτη των τεχνικών χαρακτηριστικών των δορυφόρων από τους οποίους θα ληφθούν οι εικόνες για την ασφαλή ταξινόμηση σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της εκάστοτε μελέτης. Απαιτούνται και μία σειρά από διαδικασίες για την τελική, ορθά ταξινομημένη εικόνα. Σε γενικές γραμμές τα στάδια της μεθοδολογίας, που ακολουθούνται συνήθως, διακρίνονται στο σχεδιάγραμμα 15 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 15: Στάδια μεθοδολογίας

#### 3.1 Λήψη εικόνων Sentinel 2

Αρχικά λαμβάνονται οι εικόνες από τους δορυφόρους με βάση τον φαινολογικό κύκλο των υπό μελέτη καλλιεργειών, τη χρονική περίοδο όπου η βλάστηση είναι πυκνή. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, θεωρητικά η μέγιστη ανάπτυξη (καρπόδεση/ωρίμανση) του σίτου και του κριθαριού εντοπίζεται τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Αυτό οδήγησε στη λήψη δορυφορικών εικόνων σε αυτήν την περίοδο. Η επιλογή της τελικής εικόνας εξαρτήθηκε από τις τιμές του δείκτη NDVI ο οποίος στην ουσία αποκαλύπτει την ύπαρξη έντονης βλάστησης. Συνεπώς επιλέχτηκε η εικόνα με τις μεγαλύτερες τιμές στον δείκτη αυτόν, ήτοι 4 Μαΐου 2019.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2019 υπήρξαν πολλές βροχές με συνέπεια να μην υπάρχουν πολλές διαθέσιμες εικόνες λόγω ύπαρξης σύννεφων.

### **3.2 Προεπεξεργασία εικόνων**

Στη συνέχεια η εικόνα πρέπει να υποστεί κάποιες διορθώσεις, οι οποίες αφορούν στη ραδιομετρική, στην ατμοσφαιρική καθώς και στη γεωμετρική/τοπογραφική. Η ραδιομετρική διόρθωση αφορά στην φωτεινότητα της εικόνας σε συγκεκριμένα σημεία συνεπώς σε ομάδες ψηφίδων (pixel), στη θολότητα της εικόνας ή ακόμα και σε γραμμές σάρωσης. Τα εικονοστοιχεία έχουν ασυνήθιστη ραδιομετρική τιμή για την περιοχή στην οποία αυτά περιβάλλονται. Τέτοια προβλήματα δημιουργούνται από τα όργανα σάρωσης ή κατά την διαδικασία δειγματοληψίας και μετάδοσης των δεδομένων. Η ραδιομετρική διόρθωση γίνεται συνήθως από τον ίδιο τον δορυφόρο και παρέχεται στον χρήστη διορθωμένη. Η ατμοσφαιρική διόρθωση αφορά στα σφάλματα που δημιουργούνται λόγω απορρόφησης, σκέδασης και διάχυσης της ηλικοακτικής ακτινοβολίας, επηρεάζοντας τη λαμπρότητα της εικόνας. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος ατμοσφαιρικής διόρθωσης είναι η μέθοδος του σκοτεινού στόχου (Darkest Pixel-DP). Ένας σκοτεινός στόχος έχει μηδενική ή σχεδόν μηδενική ανακλαστικότητα, συνεπώς οποιαδήποτε τιμή καταγραφεί θεωρείται ότι οφείλεται στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η γραμμική παλινδρόμηση ή η χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων. Τέλος, η γεωμετρική διόρθωση αφορά στα σφάλματα που γίνονται λόγω της περιστροφικής κίνησης και καμπυλότητας της γης, της ταχύτητας και τροχιάς των δορυφόρων. Τα σφάλματα αυτά διακρίνονται σε τυχαία και συστηματικά. Τα συστηματικά σφάλματα διορθώνονται από τους παρόχους των εικόνων ενώ η διόρθωση των τυχαίων βασίζεται σε ευδιάκριτα σημεία γνωστών συντεταγμένων (Ground Control Points) βάση των οποίων γίνεται η προσαρμογή – διόρθωση ή αλλιώς ορθοδιόρθωση της νέας εικόνας. Ως τέτοια νοούνται μεγάλα σταυροδρόμια, γέφυρες κ.α. Για τον τελικό έλεγχο ορθότητας εφαρμόζεται η μέθοδος της πλησιέστερης γειτνίασης (Nearest Neighbor) σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η τιμή ενός εικονοστοιχείου με βάση την αντίστοιχη τιμή των γειτονικών του εικονοστοιχείων. Πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν επηρεάζονται οι ραδιομετρικές τιμές των

εικονοστοιχείων. Μία άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι μέθοδος του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) των σημείων ελέγχου.

Ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή που διορθώνει ραδιομετρικά, ατμοσφαιρικά και γεωμετρικά τις εικόνες είναι η εφαρμογή SNAP με το βοηθητικό plugin sen2cor, το οποίο μετατρέπει τις τιμές της εικόνας σε τιμές ανάκλασης εδάφους, δηλαδή από “Top of Atmosphere” σε “Bottom of Atmosphere”. Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας οι ανωτέρω διορθώσεις έχουν πραγματοποιηθεί στο ανοιχτής πρόσβασης λογισμικό SNAP (Εικ. 5).



**Εικόνα 5:** Δορυφορική εικόνα Sentinel 2, περιοχή Λάρνακας 04/05/2019

### **3.3 Επεξεργασία εικόνων**

Επιπλέον η εφαρμογή SNAP επιτρέπει την απεικόνιση των δορυφορικών εικόνων συνδυάζοντας συγκεκριμένα κανάλια, τα οποία εξυπηρετούν καλύτερα τους σκοπούς της εκάστοτε έρευνας.

Στην προκειμένη έρευνα έχουν χρησιμοποιηθεί οι δείκτες NDVI, SAVI και RVI καθώς είναι οι πλέον ενδεδειγμένοι για διάκριση καλλιεργειών.

### **3.4 Δείκτες**

#### **3.4.1 Normalized Difference Vegetation Index – NDVI**

Ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένων Διαφορών NDVI μετρά τη διαφορά μεταξύ του εγγύς υπέρυθρου και κόκκινου τμήματος της ηλικιακής ακτινοβολίας (Rouse et al., 1973). Ο τύπος που εκφράζει τον δείκτη είναι:

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

όπου NIR είναι η τιμή της αντανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο και RED η αντίστοιχη στο κόκκινο τμήμα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι τιμές που λαμβάνει είναι από -1 έως +1 με τις αρνητικές τιμές να αποδίδονται σε νερό, ανθρώπινες κατασκευές κ.α. και τιμές κοντά στο +1 να αποδίδονται στην παρουσία πλούσιας βλάστησης, καθώς σχετίζονται με την υψηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα.

Ο δείκτης αυτός έχει ευρεία χρήση στη παρακολούθηση του περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με άλλα εργαλεία (δείκτες), στην παρακολούθηση της δυναμικής της βλάστησης στο χρόνο, στην ταξινόμηση των καλλιεργειών και τύπων κάλυψης της γης, στην παρακολούθηση της υγρασίας κ.α. (Borgogno-Mondino et al., 2018; Hmimina et al., 2013). Το μειονέκτημα που παρουσιάζει όμως είναι ότι είναι επιρρεπής στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και στα λεπτά σύννεφα καθώς επηρεάζουν τον υπολογισμό του. Επιπλέον σε περιοχές με μικρή κάλυψη από βλάστηση (<40%) γεγονός που συνεπάγει ότι η επιφάνεια του εδάφους είναι εκτεθειμένη, η αντανάκλαση του φωτός στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο εν δυνάμει επηρεάζει τις τιμές του δείκτη NDVI. Ωστόσο το τελευταίο δύναται να υπερκεραστεί με τη χρήση ενός άλλου δείκτη, τον SAVI, καθώς διορθώνει τη φωτεινότητα του εδάφους σε περιοχές με χαμηλή βλάστηση.



**Εικόνα 6:** : Εικόνα NDVI όπου το έντονο πράσινο αντιπροσωπεύει υψηλές τιμές του δείκτη φανερόντας πλούσια βλάστηση ενώ το κόκκινο αρνητικές τιμές φανερόντας παρουσία νερού, κατοικιών κ.α

### 3.4.2 Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI

Μία παραλλαγή του NDVI είναι ο Εδαφικός Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης, οποίος εξαλείφει το πρόβλημα της επιρροής του εδάφους καθώς αυτό αντανακλά το κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Επιπλέον δεν απαιτείται η εφαρμογή της υπόθεσης ότι σε όλη την υπό μελέτη περιοχή υπάρχει μόνο ένας τύπος εδάφους κάτω από τη βλάστηση (Huete, 1988). Ο τύπος που εκφράζει τον δείκτη είναι:

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

όπου L μία παράμετρος της οποίας η τιμή εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και κυμαίνεται από 0 έως 1. Η τιμή 1 αποδίδεται σε εδάφη με αραιή ή καθόλου βλάστηση ενώ η 0,25 σε εδάφη με πλούσια βλάστηση. Συνήθως για σχετικά μικρές περιοχές μελέτης προτείνεται η τιμή 0,5 (Turker & Arikan, 2005b).

Ο δείκτης SAVI επίσης λαμβάνει τιμές από -1 έως +1 με τις αρνητικές τιμές να αποδίδονται σε νερό, ανθρώπινες κατασκευές κ.α. και τιμές κοντά στο +1 παρουσία υγιούς βλάστησης.

Παρόλο όμως που εξαλείφει τον παράγοντα του τύπου εδάφους, είναι πιο ευαίσθητος στις ατμοσφαιρικές συνθήκες από τον NDVI, ενώ έχει καλύτερη εφαρμογή σε εδάφη με αραιή βλάστηση όταν δηλαδή το έδαφος είναι ορατό από την κόμη.



**Εικόνα 7:** Εικόνα SAVI όπου το έντονο πράσινο αντιπροσωπεύει υψηλές τιμές του δείκτη που φανερώνουν πλούσια βλάστηση ενώ το κόκκινο αρνητικές τιμές που φανερώνουν παρουσία νερού, κατοικιών κ.α

### 1.4.3 Ratio Vegetation Index – RVI

Ο δείκτης Ratio Vegetation Index ή αλλιώς Simple Ratio Vegetation Index μετρά τον λόγο μεταξύ του κόκκινου και του εγγυούς τμήματος της ακτινοβολίας (Jordan, 1969).

Ο τύπος που εκφράζει τον δείκτη είναι:

$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

Γίνεται αντιληπτό ότι όταν οι τιμές αντανάκλασης στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο είναι σχεδόν ίδιες η τιμή του δείκτη αγγίζει το 1. Αυτό παρατηρείται κυρίως σε γυμνά εδάφη. Επιπλέον ο δείκτης δεν είναι οριοθετημένος καθώς είναι προφανές ότι οι τιμές δύναται να ξεπερνούν το 1, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στους προηγούμενους δύο δείκτες. Υψηλές τιμές αποδίδονται κυρίως στην υγιή βλάστηση ενώ οι χαμηλές σε νερό, ανθρώπινες κατασκευές κ.α.

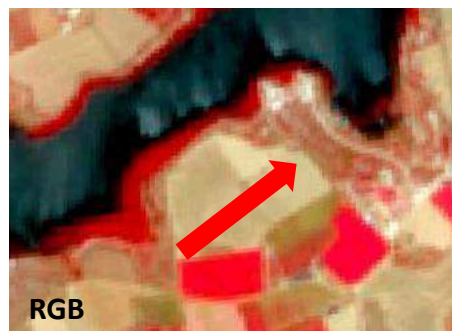




**Εικόνα 8:** Εικόνα RVI όπου το πράσινο αντιπροσωπεύει υψηλές τιμές του δείκτη που φανερώνουν πλούσια βλάστηση ενώ το κόκκινο χαμηλές έως μηδενικές τιμές που φανερώνουν παρουσία νερού, εδάφους, κατοικιών κ.α

Όπως γίνεται αντιληπτό η εικόνα ουσιαστικά διακρίνεται σε δύο χρώματα καθώς για κάθε pixel υπολογίζεται τον λόγο κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου μήκους κύματος.

Μία πρώτη μελέτη των εικόνων NDVI, SAVI και RVI δεν αποκαλύπτουν σημαντικές διαφορετικές. Ωστόσο μία πιο προσεκτική, θα πρόδιδε τις διαφορές που οι τρεις δείκτες εμφανίζουν μεταξύ τους αλλά και με την επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα.



**Εικόνα 9:** Διαφορές μεταξύ των τριών επεξεργασμένων εικόνων συγκριτικά με την RGB

Το σημείο που υποδεικνύει το βέλος στις εικόνες αφορά σε περιοχή που ενώ στην RGB εμφανίζεται ως γυμνό έδαφος στις άλλες εικόνες αποκαλύπτεται η παρουσία βλάστησης, με τον NDVI και SAVI να αποκαλύπτουν πιο πολλά σημεία εν αντιθέσει με τον RVI. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή των χρωμάτων πραγματοποιήθηκε από την ερευνήτρια, χρησιμοποιώντας την ίδια παλέτα και για τους τρεις δείκτες για καλύτερη και ευκολότερη σύγκριση και μελέτη μεταξύ τους.

### 3.5 Περιοχές εκπαίδευσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η περιοχή μελέτης είναι η περιοχή της Κύπρου και συγκεκριμένα οι περιοχές όπου για το έτος 2019 έχει πραγματοποιηθεί τηλεπισκόπηση από τον Κυπριακό Οργανισμό Πληρωμών (Κ.Ο.Α.Π.). Ως Ευρωπαϊκός Οργανισμός που καταβάλλει κοινοτικές ενισχύσεις σε παραγωγούς, οφείλει να ελέγχει και τις εκτάσεις οι οποίες θεωρούνται επιλέξιμες για τις ενισχύσεις αυτές. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιεί υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης δορυφορικές εικόνες (High Resolution-HR και Very High Resolution -VHR) για την ταυτοποίηση της καλλιέργειας και την εξακρίβωση της έκτασης. Οι έλεγχοι με τηλεπισκόπηση βασίζονται σε δείγμα που εξάγεται σε ένα ποσοστό τυχαία και σε ένα άλλο με ανάλυση κινδύνου. Το δείγμα αφορά τεμάχια στις περιοχές Λευκωσίας, Λάρνακας και Πάφου όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 10:** Τοποθεσίες όπου εντοπίζονται τα τεμάχια του δείγματος τηλεπισκόπησης

Ο έλεγχος και η ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιούνται, γίνεται από έμπειρο και εξειδικευμένο προσωπικό του Κ.Ο.Α.Π. προκειμένου να αποφανθούν για την επιλεξιμότητα των τεμαχίων.

**Πίνακας 3:** Ημερομηνίες ανάκτησης δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν από τον ΚΟΑΠ για το 2019

Επαρχία	Εικόνα	Δορυφόρος	Ημερομηνία ανάκτησης
Λάρισα	HR	SPOT 7	02-02-19
Λευκωσία	HR	SPOT 6	01-02-19
Πάφος	HR	SPOT 6	13-02-19
Λάρισα	VHR	WV2(WEST) + GEOEYE(EAST)	20/04, 27/04, 23/04
Λευκωσία	VHR	GEOEYE(EAST) + WV3	04-05-19
Πάφος	VHR	GEOEYE1	12-05-19
Λάρισα	HR	SPOT 6	28-05-2019
Λευκωσία	HR	SPOT 7	03-06-19
Πάφος	HR	SPOT7	10-06-19

Οι εικόνες που χρησιμοποιούνται αφορούν όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου καθώς οι καλλιέργειες είναι πολλές, χειμερινές και καλοκαιρινές. Οι ελεγκτές επιπλέον χρησιμοποιούν και εικόνες Sentinel 1 και 2, όταν κρίνεται απαραίτητο.

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκε μία εικόνα Sentinel 2 που ανακτήθηκε στις 04-05-2020 από το site της ESA, <https://scihub.copernicus.eu/> (Εικ. 5).

### 3.6 Δεδομένα

Το σύνολο των τεμαχίων σιταριού που περιλαμβάνονται στο δείγμα ελέγχου 2019 ανέρχεται στα 3.297 ενώ του κριθαριού στα 11.682. Για εξοικονόμηση χρόνου και αποθηκευτικού χώρου πραγματοποιήθηκε στοχευμένη επιλογή τεμαχίων.

Για όλα τα τεμάχια εφαρμόστηκε επιλογή όπου η δηλωμένη έκταση ήταν ίδια με την ελεγχθείσα. Αναφορικά με το σιτάρι, πρωτίστως επιλέχτηκαν τα τεμάχια με έκταση μεγαλύτερη των τεσσάρων στρεμμάτων, ήτοι 1.104 τεμάχια. Το σύνολο αυτό χωρίστηκε σε τεμάχια για την εκπαίδευση του αλγόριθμου επιλέγοντας τεμάχια άνω των 6,5 στρεμμάτων, ήτοι 507 (Βλ. παράρτημα), ενώ για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν τεμάχια στα οποία έγινε επιβεβαίωση και με επιτόπια επίσκεψη από τους ελεγκτές του Κ.Ο.Α.Π., ήτοι 111 τεμάχια.

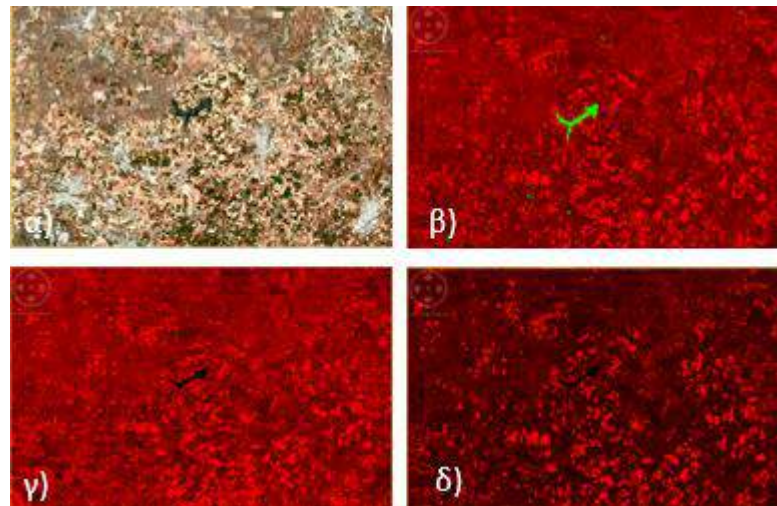
Για το κριθάρι το σύνολο των τεμαχίων είναι 4.321 τεμάχια από τα οποία τα 1.529 τεμάχια χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του αλγόριθμου έχοντας έκταση άνω των 6,5 στρεμμάτων, ενώ τα 821 έκτασης άνω των πέντε στρεμμάτων για την αξιολόγησή του (Πιν. 4).

**Πίνακας 4:** Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

	Σύνολο	Τεμάχια Εκπαίδευσης	Τεμάχια Αξιολόγησης
<b>Σίτος</b>	1.104	507	111
<b>Κριθάρι</b>	4.321	1.529	821

### 3.6.1 Επεξεργασία δεδομένων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πρώτη επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας που ανακτήθηκε από το Copernicus πραγματοποιήθηκε στο ανοιχτής πρόσβασης λογισμικό SNAP. Με τη χρήση του λογισμικού εξήχθησαν οι τρεις εικόνες των δεικτών (Εικ. 11), εκτελώντας τις αντίστοιχες εντολές οι οποίες παρατίθενται σε εικόνες στο παράρτημα.



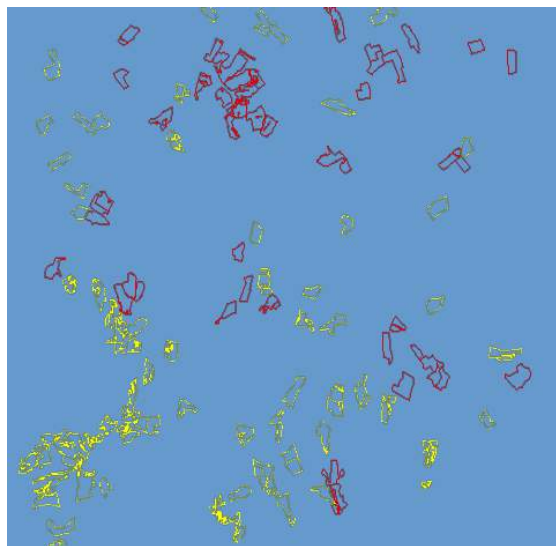
**Εικόνα 11:** Δορυφορική εικόνα Sentinel 2 α) RGB, β) NDVI, γ) SAVI, δ) RVI

Η δορυφορική εικόνα Sentinel 2 (Εικ. 11α)) φέρει τις πληροφορίες των τιμών αντανάκλασης από 13 κανάλια, ωστόσο για τον σκοπό της παρούσας μελέτης δεν είναι απαραίτητα όλα τα κανάλια. Για αυτό εκτελέστηκε η εντολή κατά την οποία εξάγεται η εικόνα μόνο με τα κανάλια που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των δεικτών, ήτοι B2, B3 και B4. Ακολούθως, με την χρήση του λογισμικού έγινε επιλογή και αυτόματος υπολογισμός των δεικτών NDVI, SAVI και RVI. Κοινό και των τριών δεικτών είναι ότι αυτοί υπολογίζονται βάσει το κόκκινο και το εγγύς υπέρυθρο τμήμα

του φάσματος, για αυτό και οι εικόνες φέρουν τις αποχρώσεις του κόκκινου στην αρχική τους μορφή. Η απεικόνιση του φράγματος Άχνα στη περιοχή της Λάρνακας καταδεικνύει τη διαφορετική συμπεριφορά του νερού στον εκάστοτε δείκτη, καθώς στον NDVI εμφανίζεται πράσινο ενώ στους άλλους δύο μαύρο.

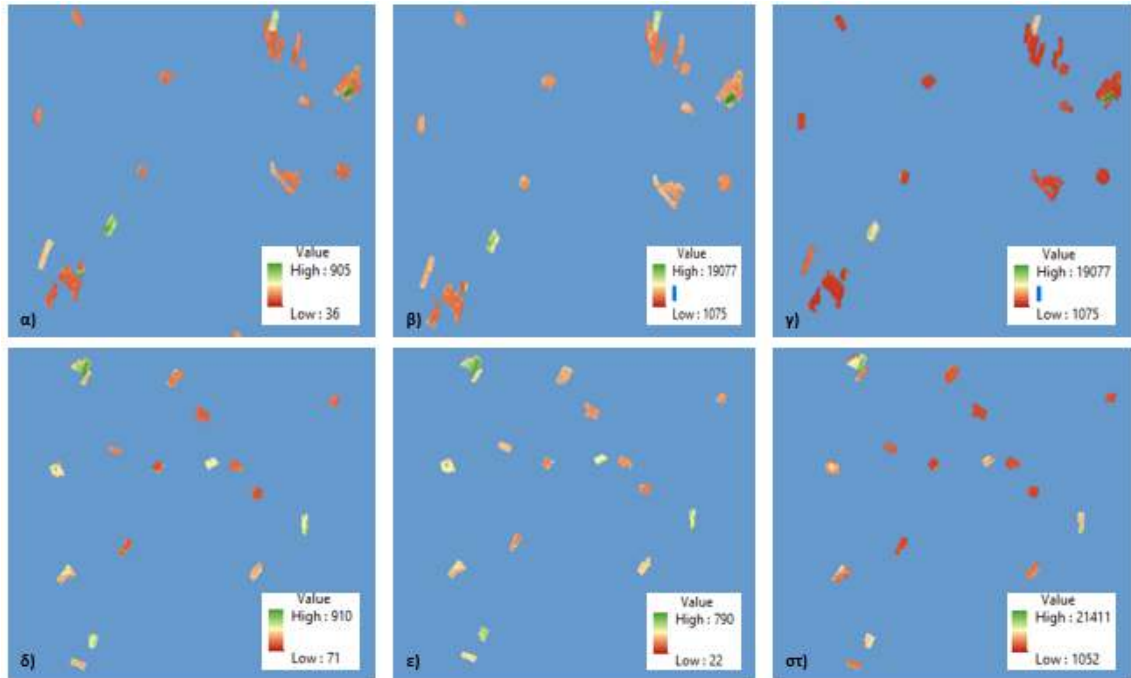
Ακολούθησε η εισαγωγή τους στην εφαρμογή ArcGIS Pro για περαιτέρω επεξεργασία. Στο ArcGIS επιπλέον εισήχθησαν και τα αρχεία των τεμαχίων ως πολύγωνα σιταριού και κριθαριού με τη μορφή shape file. Ενδεικτικά παρατίθεται ο πίνακας με τα τεμάχια εκπαίδευσης για το σίτο στο παράρτημα.

Για διευκόλυνση στην ανάλυση αλλά και για εξοικονόμηση χρόνου πραγματοποιήθηκε απομόνωση από τις τρεις δορυφορικές εικόνες των τεμαχίων, που προορίζονται για την εκπαίδευση του αλγόριθμου χωρίς να χάνεται η πληροφορία από τα pixels που περικλείονται σε αυτά (Εικ. 12). Συνεπώς οποιαδήποτε επεξεργασία δεδομένων που ακολουθείται, αφορά μόνο στα pixels τεμαχίων.



**Εικόνα 12:** Απομόνωση τεμαχίων σίτου (κόκκινο περίγραμμα) και κριθαριού (κίτρινο περίγραμμα)

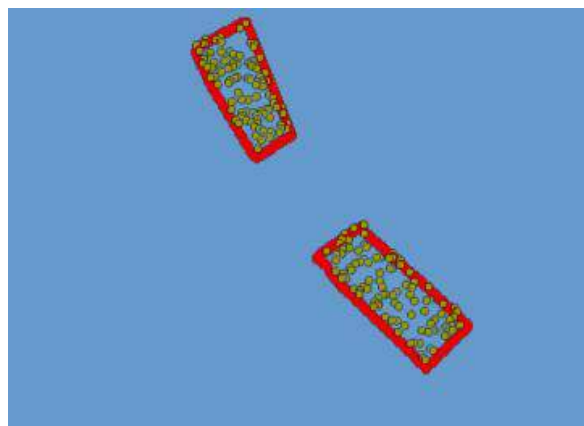
Ακολούθως δημιουργήθηκαν έξι εικόνες για τις δύο καλλιέργειες με τους τρεις δείκτες (Εικ. 13).



**Εικόνα 13:** Απομόνωση τεμαχίων σιταριού α) στον NDVI, β) στον SAVI γ) στον RVI και κριθαριού δ) στον NDVI, ε) στον SAVI και στ) στον RVI

Για την αποφυγή οποιασδήποτε σύγχυσης προκειμένου να είναι εφικτή η οποιαδήποτε επεξεργασία της αρχικής δορυφορικής εικόνας, έπρεπε αυτή να πολλαπλασιαστεί με 1000. Για αυτό οι ανώτερες και κατώτερες τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες από το εύρος τιμών που λαμβάνουν οι δείκτες. Αυτό λήφθηκε υπόψη στην τελική εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Η επόμενη εντολή αφορά στη δημιουργία ενός αρχείου με τυχαία σημεία. Συγκεκριμένα δόθηκε εντολή να επιλεγεί ένας αριθμός σημείων (Εικ. 14) εντός των πολύγωνων, καθένα από τα οποία φέρει τις τιμές των δεικτών.



**Εικόνα 14:** Τυχαία σημεία εντός πολυγώνου

Στη συνέχεια λήφθηκαν ο μέσος όρος (Average), η μέγιστη (max) και ελάχιστη (min) τιμή για κάθε δείκτη των pixels που περιλαμβάνονται στα σημεία που εντός των τεμαχίων.

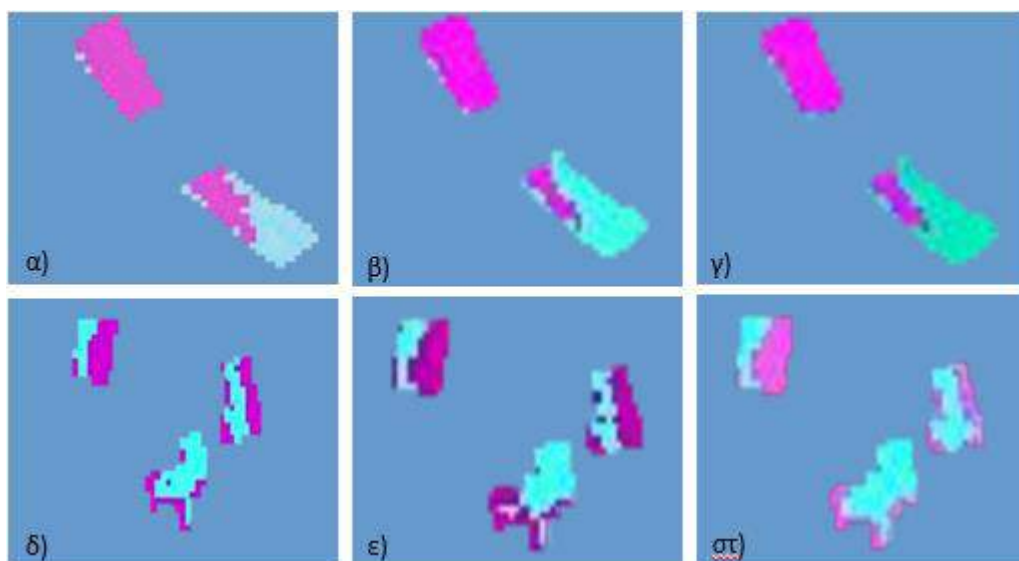
**Πίνακας 5:** Στατιστικά δεδομένα των δεικτών για σίτο και κριθάρι

Σίτος	NDVI	SAVI	RVI
Max	0,9	0,76	19.0
Min	0.07	0.06	1.15
Average	0.24	0,18	1.75
STD	0.11	0,076	1.06

Κριθάρι	NDVI	SAVI	RVI
Max	0.64	0.55	6.4
Min	0.28	0.2	1.85
Average	0.12	0.1	1.28
STD	0.10	0.06	0.47

Ο μέσος όρος χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία κλάσεων ανά εικόνα δείκτη. Συγκεκριμένα οι τιμές του κάθε δείκτη ταξινομήθηκαν σε δύο κλάσεις με τον μέσο όρο να αποτελεί το σημείο διάκρισης των κλάσεων (Εικ. 15).



**Εικόνα 15:** Ταξινόμηση με βάση τον Μ.Ο. για σίτο α) NDVI, β) SAVI, γ) RVI για το κριθάρι δ) NDVI, ε) SAVI, στ) RVI. Με γαλάζιο χρώμα εμφανίζονται τα pixels με τιμές που ανήκουν στην 1<sup>η</sup> κλάση (κάτω του μέσου όρου) ενώ με μωβ στη 2<sup>η</sup> κλάση (άνω του μέσου όρου)

Γίνεται αντιληπτό ότι τα πολύγωνα διακρίνονται πλέον σε δύο χρώματα αναλόγως τη κλάση στην οποία ανήκουν. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, στις περιοχές όπου ο ένας δείκτης παρουσιάζει τιμές που ανήκουν στην 2<sup>η</sup> κλάση (ανώτερες τιμές), σε αυτές τις περιοχές παρουσιάζουν επίσης και οι άλλοι δύο δείκτες τιμές άνω του Μ.Ο. Επιπλέον παρατηρείται ότι στο ίδιο το τεμάχιο είτε σίτου είτε κριθαριού, υπάρχουν περιοχές όπου ανήκουν και στις δύο κλάσεις.

Όπως έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, υψηλές τιμές, που πλησιάζουν τη μονάδα, αποκαλύπτουν πλούσια υγιή βλάστηση. Ειδικά για τον NDVI υψηλές τιμές αποδίδονται στην φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Δεδομένου ότι όλα τα τεμάχια σίτου και κριθαριού δε σπέρνονται την ίδια χρονική στιγμή ούτε εφαρμόζονται οι ίδιες καλλιεργητικές φροντίδες (πότισμα, λίπανση κ.α.) υπάρχει αυτή η ποικιλομορφία στην απόκριση της αντανάκλασης από το φύλλωμα. Ενώ και στο ίδιο το τεμάχιο παρατηρείται μεγάλη διαφορά στις τιμές, καθώς η ποικιλομορφία του εδάφους (σύσταση, κλίση) επηρεάζει την ανάπτυξη της ίδιας της καλλιέργειας. Η διαφορετική αυτή συμπεριφορά αποδίδεται και στο γεγονός ότι οι καλλιέργειες βρίσκονται στο ζενίθ της βλαστικής περιόδου για να ακολουθήσει η ξήρανση και η μετέπειτα συγκομιδή. Τέλος, λόγω του χαρακτήρα του φυλλώματος των δύο καλλιεργειών υπάρχει έκθεση εδάφους συνεπώς οι τιμές του NDVI ενδεχομένως να έχουν επηρεαστεί.

Ακριβώς όμως για αυτό το λόγο ο δείκτης SAVI έχει καλύτερα αποτελέσματα. Λαμβάνει υπόψη την επιρροή του εδάφους και διορθώνει τις τιμές ανάκλασης από αυτό.

Προκειμένου να υπάρχουν συγκεντρωμένες οι τιμές των δεικτών ανά σημείο εκτελέστηκε η εντολή Extract multi values και δημιουργήθηκε ο πίνακας (Attribute Table) με όλα τα δεδομένα ανά υπό μελέτη καλλιέργεια.

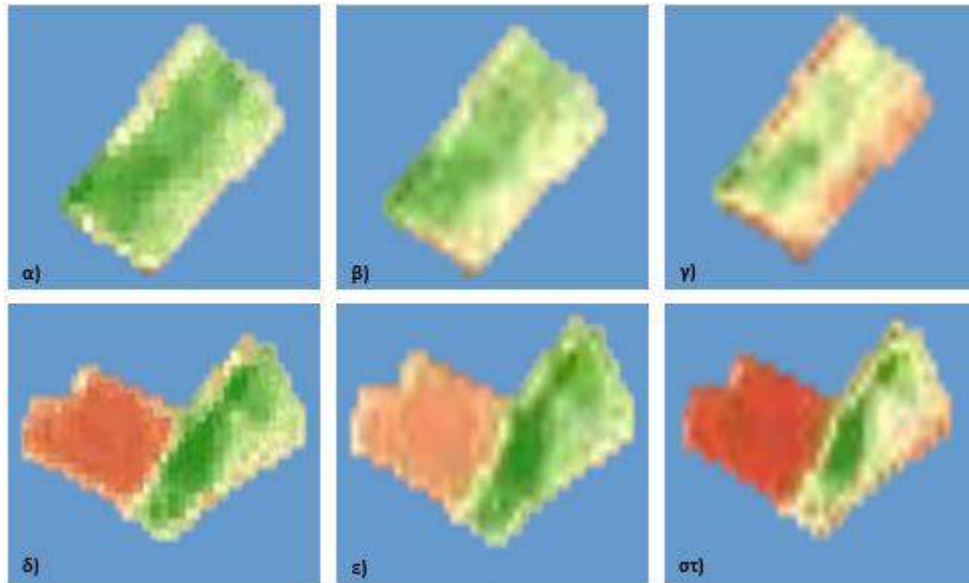
Όλη η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε ξανά για τα τεμάχια που κρατήθηκαν «κρυφά» για την αξιολόγηση. Ο τελικός πίνακας περιλαμβάνει τις τιμές των δεικτών για τα νέα τυχαία σημεία εντός των τεμαχίων-πολυγώνων. Ο τελικός πίνακας που δημιουργήθηκε, εξήχθη σε Excel ώστε να γίνει περαιτέρω επεξεργασία. Αναλόγως των max/min τιμών του εκάστοτε δείκτη, δόθηκε η εντολή τιμές που περικλείονται στο εύρος αυτό συμπεριλαμβανομένης και της απόκλισης (STD), να χαρακτηρίζονται ως OK ενώ σε άλλη περίπτωση ως NULL.



Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ποσοστό της ορθής ταξινόμησης των σημείων ανά δείκτη.

## 4 Αποτελέσματα

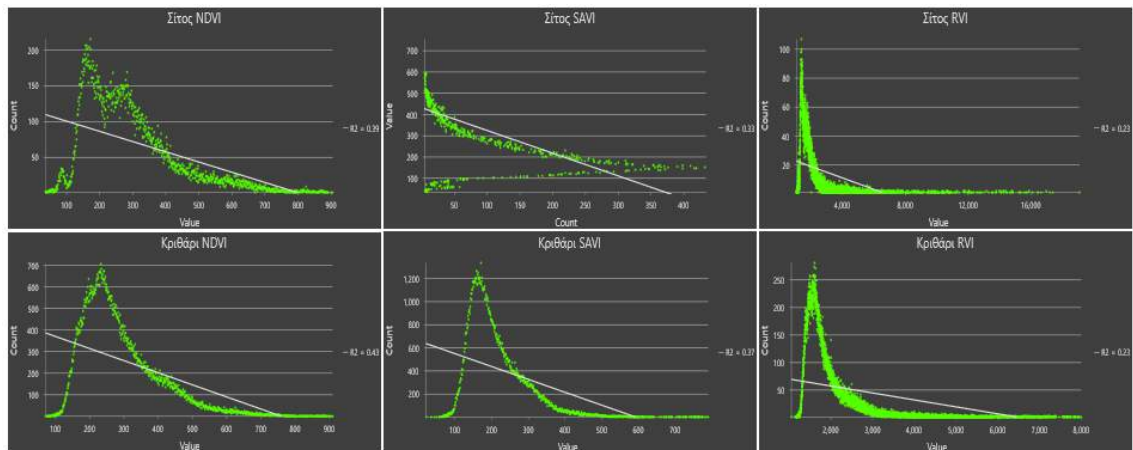
Μία πιο λεπτομερή μελέτη των τεμαχίων σίτου και κριθαριού στην αντίδραση τους στην κόκκινη και εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.



**Εικόνα 16:** Απεικόνιση της αντίδρασης του σίτου α) στον NDVI, β) στον SAVI γ) στον RVI και του κριθαριού δ) στον NDVI, ε) στον SAVI και στ) στον RVI, όπου με πράσινο χρώμα αποτυπώνονται υψηλές τιμές, άσπρο μέσες ενώ με κόκκινο χαμηλές.

Μία πρώτη παρατήρηση είναι ότι στο σιτάρι ο NDVI και ο SAVI παρουσιάζουν υψηλές τιμές στις ίδιες περιοχές με τον πρώτο να καλύπτει ελαφρώς μεγαλύτερη έκταση υψηλών τιμών, ενώ ο RVI στο ίδιο τεμάχιο εμφανίζεται σε γενικές γραμμές με μέσες έως χαμηλές τιμές. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η αντανάκλαση στο κόκκινο τμήμα του φάσματος είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο εγγύς υπέρυθρο, γεγονός που προδίδει ότι το εν λόγω τεμάχιο εισέρχεται στο επόμενο στάδιο ανάπτυξης, την ξήρανση. Αναφορικά με το κριθάρι δεν υπάρχει τόσο έντονα αυτό το φαινόμενο. Ένας από τους λόγους είναι ότι ενδεχομένως το εν λόγω τεμάχιο κριθαριού να βρίσκεται ήδη στη διαδικασία ξήρανσης οπότε να έχει μειωμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα.

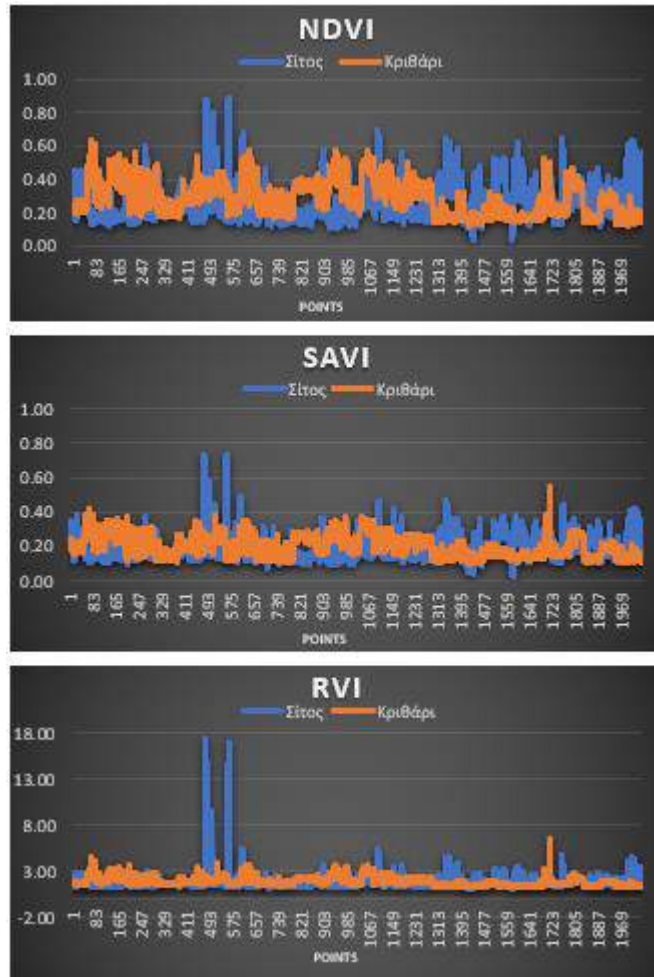
Η διακύμανση των τιμών για τους τρεις δείκτες για το σιτάρι και το κριθάρι παρουσιάζονται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.



**Διάγραμμα 16:** Διακύμανση τιμών των δεικτών ανά καλλιέργεια

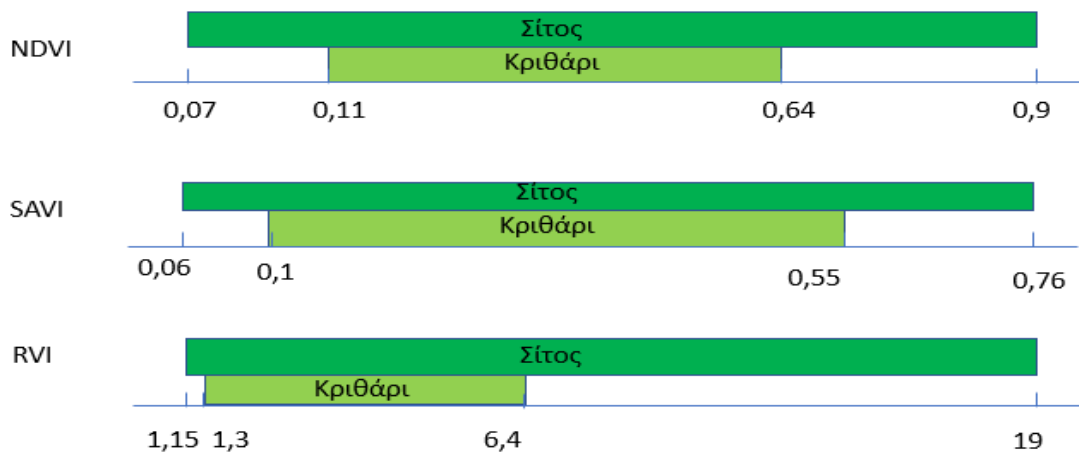
Στα σχεδιαγράμματα αυτά η κορυφή αποτυπώνει τον μεγαλύτερο αριθμό σημείων που εμφανίζουν ίδια ή παρόμοια τιμή σε κάθε δείκτη. Είναι εύκολο επομένως να διαπιστωθεί πού κυμαίνονται οι τιμές στα περισσότερα σημεία επιβεβαιώνοντας τους Μέσους Όρους.

Μία επιπλέον ποσοτική προσέγγιση των αποτελεσμάτων είναι ότι το εύρος τιμών και των τριών δεικτών αλληλεπικαλύπτεται για τις δύο καλλιέργειες. Δεν είναι ξεκάθαρη η διαφορά μεταξύ τους γεγονός που συνεπάγει ότι το φύλλωμα του σιταριού και κριθαριού συμπεριφέρεται σε γενικές γραμμές με παρόμοιο τρόπο απέναντι στην κόκκινη και εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και από τα σχεδιαγράμματα που ακολουθούν όπου γίνεται σύγκριση της διακύμανσης των τιμών των τριών δεικτών για τις δύο καλλιέργειες.



**Διάγραμμα 17:** Διαφορά ανταπόκρισης του σίτου και κριθαριού στους δείκτες

Ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει μία διαφορετική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του εύρους τιμών που κάθε δείκτης περιλαμβάνει. Στο σχεδιάγραμμα 18 αποκαλύπτεται η περιοχή του εύρους τιμών του κάθε δείκτη που συμπίπτει στις δύο καλλιέργειες.



**Διάγραμμα 18:** Το εύρος τιμών των δεικτών ανά καλλιέργεια

Μελετώντας τα σχεδιαγράμματα μία πρώτη εκτίμηση θα μπορούσε να είναι ότι, όπου οι τιμές των δεικτών του σίτου δεν επικαλύπτονται από τις αντίστοιχες του κριθαριού, μπορεί να αποτελέσει εν δυνάμει τη βάση για διάκριση μεταξύ των δύο. Για παράδειγμα αν μία περιοχή εμφανίζει τιμή για NDVI 0,7, για SAVI 0,65 και για RVI 10 η πιθανότητα να είναι σίτος και όχι κριθάρι είναι πολύ αυξημένη. Ενώ αντίθετα για αντίστοιχες τιμές 0,2 NDVI, 0,3 SAVI και 1,5 RVI είναι αδύνατη η διάκριση, καθώς αυτές περικλείονται στο επικαλυπτόμενο εύρος. Επιπλέον γίνεται αντιληπτό ότι ο δείκτης RVI εμφανίζει καλύτερο διαχωρισμό των δύο καλλιεργειών μεταξύ των τριών δεικτών. Το πρόβλημα εντοπίζεται στις περιοχές όπου οι τιμές των δεικτών συμπίπτουν για τις δύο καλλιέργειες, όπου η διάκριση είναι αδύνατη. Αυτό όμως που διακρίνεται έκδηλα είναι ότι το κριθάρι έχει σαφώς πιο περιορισμένο εύρος τιμών. Ένας σημαντικός παράγοντας που πιθανόν να έχει παίξει ρόλο είναι ότι τα σημεία εκπαίδευσης ήταν πολύ περισσότερα αναλογικά από τα αντίστοιχα του σιταριού καθώς τα τεμάχια ήταν πολλαπλάσια.

Ένας παράγοντας που ενδεχομένως να επηρέασε την ταξινόμηση είναι η επιλογή των τεμαχίων που χρησιμοποιήθηκαν για εκπαίδευση και αξιολόγηση. Τα τεμάχια έχουν επιλεγεί με βάση την έκταση εξαιρώντας όσα ήταν κάτω των 6,5 στρεμμάτων για το σιτάρι και το κριθάρι, ωστόσο τα τεμάχια αξιολόγησης περιλάμβαναν και τεμάχια έκτασης κάτω των 6,5 και 5 στρεμμάτων αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν από την επιλογή των σημείων, που περικλείονται στα πολύγωνα των τεμαχίων των δύο καλλιεργειών με βάση τα ανωτέρω εύρη, παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 6:** Αποτελέσματα ταξινόμησης

Σίτος	NDVI	SAVI	RVI
Ταυτοποίηση	69%	86,6%	15,58%

Κριθάρι	NDVI	SAVI	RVI
Ταυτοποίηση	85,5%	100%	68,12%

Αναφορικά με το κριθάρι τα αποτελέσματα της ταξινόμησης κρίνονται ως καλύτερα από ότι αυτά του σιταριού. Οι δύο δείκτες NDVI και SAVI έχουν ποσοστό ταύτισης >85%, ποσοστό που βάσει της βιβλιογραφίας κρίνεται στατιστικά σημαντικός. Σε

αντίθεση με το σιτάρι όπου το ποσοστό ταύτισης για τον RVI είναι ιδιαίτερα χαμηλός ο αυτός ο δείκτης για το κριθάρι, αν και εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό, δεν κρίνεται σημαντικός.

Αυτό που είναι όμως εμφανές είναι ότι και το σιτάρι και το κριθάρι ανταποκρίνονται εξαιρετικά στον δείκτη SAVI καθώς παρουσιάζουν πολύ υψηλά ποσοστά. Ο λόγος εντοπίζεται στο ότι λαμβάνει υπόψη την επίδραση του εδάφους. Η έκθεση του εδάφους εξαιτίας της φυσιολογίας των φυτών είναι ιδιαίτερα μεγάλη, γεγονός που καθιστά τον εν λόγω δείκτη πιο αξιόπιστο.

Αξιοσημείωτο είναι ότι ο δείκτης RVI ενώ παρουσιάζει αρκετά ικανοποιητικό διαχωρισμό το δύο καλλιεργειών αναφορικά με το εύρος τιμών του μεταξύ των δύο καλλιεργειών, δεν εμφανίζει ανάλογα αποτελέσματα κατά την ταξινόμηση κυρίως του σιταριού.

Ένα σημείο που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι το 2019 παρουσίασε ιδιαίτερα βροχερό καιρό που πρακτικά αφενός επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών και αφετέρου την περιεκτικότητα σε νερό και στα ίδια τα φυτά αλλά και στο έδαφος. Η αυξημένη όμως περιεκτικότητα σε νερό προκαλεί μεγαλύτερη αντανάκλαση στο κόκκινο τμήμα του ηλιακού φάσματος, επηρεάζοντας τους δύο ευαίσθητους δείκτες NDVI και RVI.

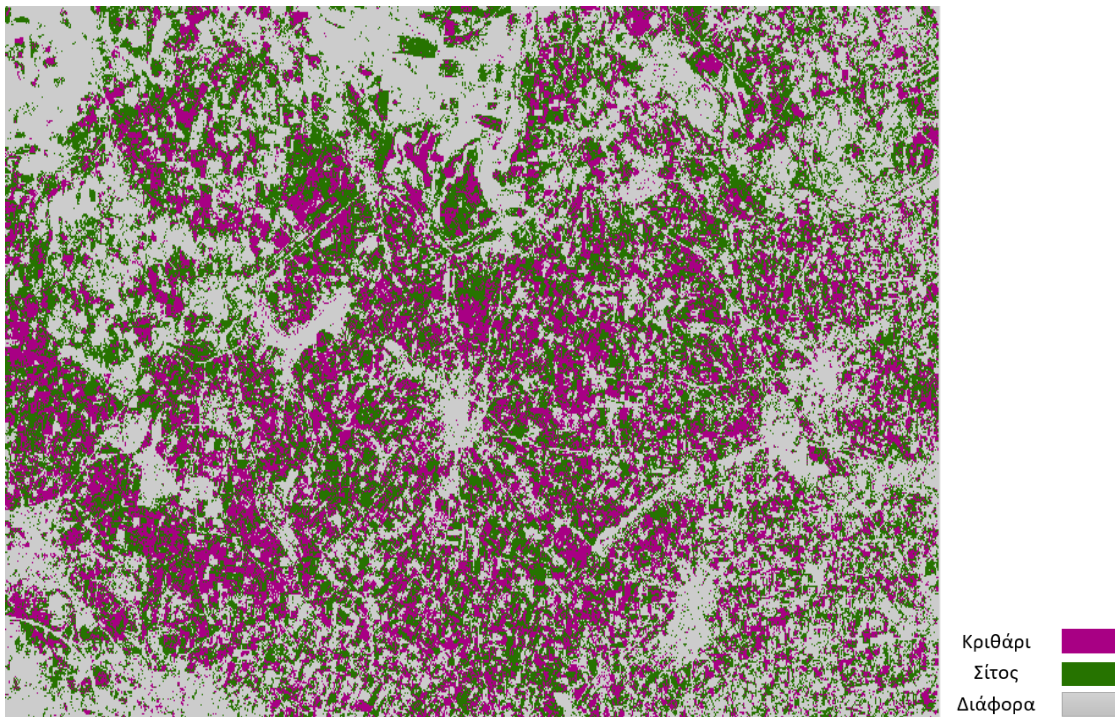
#### **4.1 Ταξινόμηση**

Το επόμενο και τελευταίο βήμα της διαδικασίας είναι η ταξινόμηση της εικόνας με τη χρήση ενός αλγόριθμου. Η ταξινόμηση που επιλέχτηκε, πραγματοποιήθηκε επίσης στο ArcGIS και είναι επιβλεπόμενη, ενώ ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Support Vector Machine (SVM).

Ο ταξινομητής αυτός δέχεται εικόνες πολλαπλών ζωνών οποιουδήποτε βάθους bit ενώ εκτελεί την ταξινόμηση σε επίπεδο pixel, βασιζόμενος στα δεδομένα εκπαίδευσης που παρέχονται από τον ερευνητή. Αποτέλεσμα αυτών των χαρακτηριστικών είναι ότι με απευθείας είσοδο μιας RGB εικόνας και διοχέτευσης των δεδομένων εκπαίδευσης πραγματοποιείται γρήγορα και εύκολα οποιαδήποτε επιθυμητή ταξινόμηση. Επιπλέον, συγκριτικά με τη μέθοδο ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classification- MLC), ο SVM απαιτεί μικρότερο αριθμό δειγμάτων ενώ δεν απαιτεί αυτά να έχουν κανονική κατανομή. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι ο SVM είναι

λιγότερο ευαίσθητος σε θόρυβο, σε συσχετιζόμενα κανάλια καθώς και σε μη ισορροπημένο αριθμό ή μέγεθος των δεδομένων εκπαίδευσης εντός των κλάσεων.

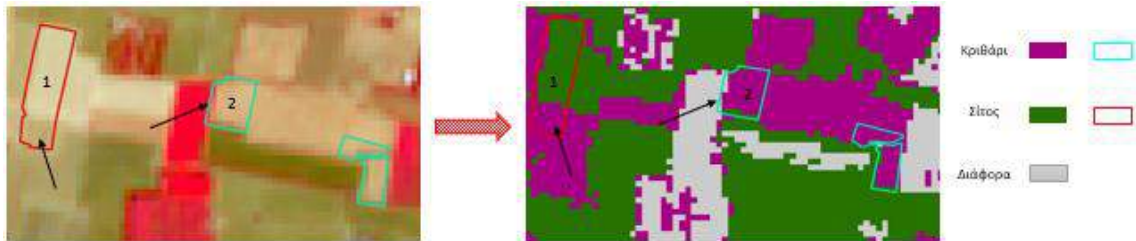
Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αποδείχθηκε ότι ο SAVI έχει καλύτερη απόδοση στην ταξινόμηση και των δύο καλλιιεργειών. Επομένως από την εικόνα όπως αυτή δημιουργήθηκε με τις δύο κλάσεις (Εικ. 15 α) και ε)), δημιουργήθηκαν νέα σημεία εκπαίδευσης στον χάρτη ταξινόμησης με την εντολή Create Accuracy Points. Στη συνέχεια εκτελώντας την διαδικασία ταξινόμησης και ακολουθώντας τα βήματα όπως αυτά ορίζονται με την εντολή Update Accuracy Class Data, η εικόνα ταξινομείται βάσει των κλάσεων που ο ερευνητής ορίζει. Στην προκειμένη περίπτωση ορίστηκαν ως κλάσεις ο σίτος, το κριθάρι και μία ακόμα που αφορά όλα τα υπόλοιπα, ήτοι δρόμοι, κτίρια, άλλες καλλιέργειες (Εικ.17). Τέλος, υπολογίστηκε ο συντελεστής Kappa εκτελώντας την εντολή Compute Confusion Matrix.



**Εικόνα 17:** Ταξινομημένη εικόνα βάση του δείκτη SAVI

Μία προσεκτική μελέτη της εικόνας φανερώνει ότι ο δείκτης SAVI δίνει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς την ταξινόμηση των σιτηρών. Αν συγκριθεί με την αρχική εικόνα (Εικ.18) παρατηρείται ότι ο δείκτης διαχωρίζει ακόμα και πολύ μικρές περιοχές. Στο τεμάχιο 1 (σίτος) της εικόνας είναι ευδιάκριτη η διαφορά στην υφή του (εκεί όπου στοχεύει το βέλος). Αυτό οφείλεται είτε σε λάθος σχεδίαση σε επίπεδο αίτησης, είτε στο ότι και το κάτω τεμάχιο είναι του ίδιου παραγωγού, όποτε τα όρια ουσιαστικά και

πρακτικά δεν παίζουν σημαντικό ρόλο. Στην ταξινομημένη εικόνα αυτή η περιοχή, διακρίνεται ξεκάθαρα. Ομοίως συμβαίνει και στο τεμάχιο 2 (κριθάρι) όπου η περιοχή που αφορά άλλο τεμάχιο (βλ. βέλος) επίσης διακρίνεται στη ταξινομημένη εικόνα.



**Εικόνα 18:** Ταξινόμηση της εικόνας Sentinel 2 βάση του δείκτη SAVI

Υπολογίζοντας τον συντελεστή Kappa εξάγονται τα στατιστικά όπως αυτά εμφανίζονται στον Πίνακα 7.

**Πίνακας 7:** Υπολογισμός συντελεστή Kappa

OBJECTID	ClassValue	Σίτος	Κριθάρι	Total	U_Accuracy	Kappa
1	Σίτος	408	0	408	1	0
2	Κριθάρι	0	92	92	1	0
3	Total	408	92	500	0	0
4	P_Accuracy	1	1	0	1	0
5	Kappa	0	0	0	0	1

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν και την αρχική διαπίστωση που βασίστηκε στο εύρος τιμών των δεικτών όπου ο δείκτης SAVI παρουσίασε ταυτοποίηση >85 % για τον σίτο και 100% για το κριθάρι. Ο συντελεστής Kappa που εμφανίζεται ως 1 φανερώνει την απόλυτα ορθή ταξινόμηση της εικόνας. Είναι λίγο δύσκολο να συμβαίνει αυτό αλλά μπορεί να αποδοθεί στη μικρής έκτασης περιοχή και ότι δε λήφθηκαν πολλοί παράμετροι υπόψη, όπως άρδευση, καλλιεργητικές φροντίδες, κλίση εδάφους κ.α.



## 5 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Η συμπεριφορά της βλάστησης στην ηλιακή ακτινοβολία ποικίλει παρόλο που η γενική αρχή είναι ότι αυτή αντανακλά περισσότερο το κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος της. Αρκετές μελέτες έχουν διεξαχθεί στην ταξινόμηση καλλιεργειών έχοντας ως βάση τη διαφορετική συμπεριφορά των φυτών στην αντανάκλαση των συγκεκριμένων τμημάτων του ηλιακού φάσματος.

Οι Griffiths et al. (2019) ταξινόμησαν 12 είδη λιβαδιών με ποσοστό ακρίβειας >80%, ενώ οι Meier et al., (2020) 10 κύριες καλλιέργειες με ακρίβεια που χαρακτηρίζεται ως αρκετά καλή. Και στις δύο μελέτες εξαιρέθηκαν τεμάχια έκτασης <1 Ha (10 στρέμματα) και <1,6, 2,4 και 2,8 Ha κατά περίπτωση αντίστοιχα, ενώ χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από Sentinel 2 και Landsat. Στην παρούσα μελέτη η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε για δύο συγγενείς καλλιέργειες με τη χρήση μόνο μίας εικόνας Sentinel 2, εξαιρέθηκαν πολύ μικρότερες εκτάσεις <0,65 Ha και τα ποσοστά ακρίβειας ανέρχονται κυρίως για τον δείκτη SAVI >85% για το σιτάρι και 100% για το κριθάρι (ένα μόνο σημείο δεν ταυτοποιήθηκε).

Ποσοστό ακριβείας μεγαλύτερο από 90% παρουσίασαν σε μελέτη τους οι Chellasamy et al. (2016) κατά την οποία ταξινόμησαν μεταξύ άλλων και επτά τύπους σιτηρών, ενώ εξαίρεσαν τεμάχια μικρότερα των 0,3 Ha. Η διαφορά όμως έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποίησαν τον εμπορικό δορυφόρο Worldview 2. Επιπλέον τα δεδομένα εκπαίδευσης προήλθαν από επιτόπιες επισκέψεις. Σε αντίθεση με τη παρούσα μελέτη όπου τα δεδομένα εκπαίδευσης προέρχονται από την φωτοερμηνεία έμπειρων ελεγκτών του Κ.Ο.Α.Π. που όμως ενέχει κίνδυνο λαθεμένης ερμηνείας, καθώς υπάρχει η μεροληψία της ανθρώπινης αντίληψης. Αποκαλυπτική είναι και η έρευνα των Gozdowski et al. (2020) οι οποίοι σύγκριναν τα αποτελέσματα τιμών NDVI που συλλέχθηκαν in situ με αυτά από δορυφορικές εικόνες και διαπίστωσαν ότι τα αποτελέσματα δεν είναι συγκρίσιμα αν και οι αντίστοιχοι χάρτες που δημιουργήθηκαν ήταν αρκετά παρόμοιοι ακόμα και σε διαφορετικές ημερομηνίες ανάκτησης των δεδομένων.

Ομοίως με την παρούσα έρευνα, οι Vuolo et al. (2018) χρησιμοποιώντας εικόνες Sentinel 2 πέτυχαν ποσοστά ακρίβειας 91-95% για την ταξινόμηση καλλιεργειών ωστόσο το σιτάρι και το κριθάρι εκλήφθηκε ως μία ομάδα «χειμερινά σιτηρά». Εν

αντιθέσει οι Waldho et al. (2017) χρησιμοποιώντας και εμπορικούς δορυφόρους το ποσοστό ακρίβειας της ταξινόμησης μεταξύ του σίτου και του κριθαριού ήταν >75%. Η διαφορά αυτής της μελέτης ήταν ότι εξαιρέθηκαν pixels και όχι έκταση τεμαχίων, αφαιρέθηκε δηλαδή έκταση < 3 pixels.

Σχεδόν όλες οι μελέτες αφορούν ταξινόμηση καλλιεργειών με τη χρήση διαχρονικών δορυφορικών εικόνων. Λαμβάνονται δηλαδή και επεξεργάζονται εικόνες καθ' όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου των υπό μελέτη καλλιεργειών. Αντιθέτως στη παρούσα μελέτη επιλέχτηκε η επεξεργασία μίας εικόνας στο ζενίθ της βλαστικής δραστηριότητας των φυτών.

**Πίνακας 8:** Συνοπτικός πίνακας μελετών για την ταξινόμηση καλλιεργειών

Authors	Satellite	Parcel size	Crop classes	Training data	Results
Meier et al. (2020)	Sentinel 2 and Landsat	Bavaria > 1.6Ha Lower Saxony > 2.8 Ha Netherlands > 2.4 Ha	Bavaria: 17 κλάσεις Lower Saxony: 12 κλάσεις Netherlands: 13 κλάσεις		Μειώνοντας τη φασματική ανάλυση αυξάνεται ο αριθμός των pixels που δύναται να ταξινομηθεί
Griffiths, Nendel, and Hostert (2019)	Sentinel 2 and Landsat	> 1Ha	12 κλάσεις λιβαδιών	Geospatial Aid Application (GSAA) για χρήση λιβαδιών στη Γερμανία	Overall Accuracy >80%
Vuolo et al. (2018)	Sentinel 2		Καρότο* Ρύζι Κρεμμύδι* Πατάτα Κολοκύθι Όσπρια Ζαχαρότευτλα Ηλιστρόπια Χειμερινά σιτηρά  * Θεωρήθηκαν ως λαχανικά	Επιτόπου επισκέψεις LPIS	Overall Accuracy 0.95-0.96 0.91-0.95
Waldho, Lussem, and Bareth (2017)	ASTER Landsat SPOT RapidEye	Εξάιρεση περιοχής < 3 pixels	Σίτος Κριθάρι (χειμωνιάτικο/ανοιξιάτικο) Ρύζι Ζαχαρότευτλα Πατάτα	Επιτόπου επισκέψεις	75% correction
Chellasamy et al. (2016)	Worldview 2	> 0.3Ha	7 τύπους σιτηρών 4 τύπους λιβαδιών Peas 2 τύπους φρούτων Ιτιά	Rapid Field Visit (RFV)	Overall Accuracy 90.2%
Ιορδανίδου (2020)	Sentinel 2	> 0.65Ha > 0.5Ha	Σίτος κριθάρι	LPIS Rapid Field Visit (RFV)	SAVI Overall Accuracy >85%

## 6 Συμπεράσματα

Η εξέλιξη των δορυφόρων αλλά κυρίως η είσοδος των δορυφόρων Sentinel με τη σχετικά υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση, οδηγεί σε πιο λεπτομερείς παρατηρήσεις της Γης, με την ταξινόμηση καλλιεργειών να κατέχει μία από τις πρώτες θέσεις στις έρευνες που διενεργούνται.

Το σιτάρι και το κριθάρι ανήκουν στην μεγάλη οικογένεια των σιτηρών. Ο βιολογικός τους κύκλος είναι σχεδόν ίδιος ενώ οι ανάγκες σε λίπανση και πότισμα είναι παρόμοιες. Επιτελούν όμως διαφορετικό σκοπό καθώς παράγονται εντελώς διαφορετικά προϊόντα με αποτέλεσμα η διάκρισή τους για προγραμματισμό της παραγωγής να καθίσταται μεγάλης σημασίας σε επίπεδο χώρας αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στην παρούσα έρευνα έγινε μία προσπάθεια να διακριθούν οι δύο καλλιέργειες έχοντας στη διάθεση της ερευνήτριας μόνο ελεύθερης πρόσβασης εργαλεία. Ο λόγος είναι για να αποδειχθεί επίσης ότι με τα απλά εργαλεία που παρέχει η ESA, δύναται καταρχήν η ταξινόμηση καλλιεργειών, ενώ μπορούν να διακριθούν ακόμα και καλλιέργειες παρόμοιας βλαστικής εξέλιξης.

Χρησιμοποιώντας τους δείκτες NDVI, SAVI και RVI καταγράφηκαν οι τιμές τους για τις δύο καλλιέργειες όπου σε ένα μέρος τους συμπίπτουν. Ωστόσο υπάρχουν περιοχές τιμών των δεικτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά για διάκριση των δύο καλλιεργειών με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Από την επεξεργασία των εικόνων διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης SAVI παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα στη ταξινόμηση των δύο καλλιεργειών με ποσοστό που ξεπερνά το 85% ενώ για το κριθάρι αγγίζει το 100%. Αυτό επιβεβαιώθηκε και με τον υπολογισμό του συντελεστή kappa της ταξινομημένης εικόνας με βάση τον δείκτη SAVI. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η φυσιολογία των σιτηρών είναι τέτοια που επιτρέπει την έκθεση του εδάφους στην ακτινοβολία γεγονός που επηρεάζει σημαντικά τους άλλους δύο δείκτες.

Η εξαίρεση μικρών τεμαχίων αποτελεί περιορισμό της παρούσας έρευνας ενώ σε περίπτωση που συμπεριληφθούν, τα αποτελέσματα ενδεχομένως να είναι διαφορετικά. Υπενθυμίζεται ότι στην επικράτεια της Κύπρου τα μικρής έκτασης τεμάχια κυριαρχούν, πολυτεμαχισμός. Επιπλέον, ο υπολογισμός των καιρικών συνθηκών κυρίως της

υγρασίας στις ευρύτερες περιοχές του δείγματος, συμβάλλει θετικά σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Ένας επιπλέον περιορισμός είναι ότι δεν είναι γνωστές οι καλλιεργητικές φροντίδες κυρίως του ποτίσματος από τους παραγωγούς, η κλίση των εδαφών καθώς και οι ποικιλίες του σίτου και κριθαριού που χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση. Με το τελευταίο να καθορίζει το ύψος των στελεχών το οποίο κυμαίνεται από 0,3 έως 1,5m, με ό,τι αυτό συνεπάγεται (μεγαλύτερο φύλλωμα άρα περισσότερη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, μεγαλύτερη κάλυψη εδάφους κ.α.). Παρόλα αυτά οι δείκτες μπορούν να αποτελέσουν μία βάση για μία γρήγορη ταξινόμηση, με τον δείκτη SAVI να αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμος στη ταξινόμηση των σιτηρών. Τέλος, πιστεύεται ότι η χρήση διαχρονικών εικόνων από έναν ή περισσότερους αισθητήρες συντελούν και αυτοί με τη σειρά τους σε αυξημένα ποσοστά ακρίβειας της ταξινόμησης καλλιεργειών, από ότι η χρήση μίας και μόνο εικόνας, ωστόσο αυτό προϋποθέτει πολύ χρόνο.

Προεκτάσεις της παρούσας έρευνας θα ήταν η χρήση φασματικής υπογραφής, καθώς θα μπορούσε αυξητικά να συμβάλλει στην ακόμα καλύτερη διάκριση των καλλιεργειών, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου οι τιμές των δεικτών συμπίπτουν, ωστόσο κάτι τέτοιο προϋποθέτει τη χρήση φασματογράφου και πολύ περισσότερου χρόνου ολοκλήρωσης.

Η συνέργεια δορυφορικών εικόνων και από άλλους αισθητήρες όπως Landsat 8 συντελούν επίσης σε ακόμα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Ωστόσο το εργαλείο sen4cap (Sentinel for CAP) αποτελεί εξαιρετικό καινοτόμο εργαλείο για την ταξινόμηση καλλιεργειών, την παρακολούθηση της βλαστικής κατάστασης, τη δημιουργία θεματικών χαρτών κ.α., το οποίο παρέχεται δωρεάν στους χρήστες από την ESA κάνοντας χρήση εικόνων Sentinel 1 και 2. Χρησιμοποιεί τις εικόνες Sentinel ενώ με τους εγκεκριμένους αλγόριθμους που περιλαμβάνει, παρέχει εξαιρετικής ποιότητας προϊόντα παρακολούθησης γης μειώνοντας όχι μόνο τους οικονομικούς αλλά και τους ανθρώπινους πόρους μεταξύ άλλων και των εθνικών οργανισμών πληρωμών κοινοτικών ενισχύσεων. Πρόκειται για ένα νέο εργαλείο η χρησιμότητα του οποίου αναμένεται ανεκτίμητη.

## BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

- Asgarian, A., Soffianian, A., & Pourmanafi, S. (2016). Crop type mapping in a highly fragmented and heterogeneous agricultural landscape: A case of central Iran using multi-temporal Landsat 8 imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, *127*, 531–540. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.019>
- Atzberger, C. (2013). Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, *5*(2), 949–981. <https://doi.org/10.3390/rs5020949>
- Belgiu, M., & Drăgu, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *114*, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Bianchetti, R. A., & MacEachren, A. M. (2015). Cognitive themes emerging from air photo interpretation texts published to 1960. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *4*(2), 551–571. <https://doi.org/10.3390/ijgi4020551>
- Blaes, X., Vanhalle, L., & Defourny, P. (2005). Efficiency of crop identification based on optical and SAR image time series. *Remote Sensing of Environment*, *96*(3–4), 352–365. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.010>
- Blakeney, A. B., Cracknell, R. L., Crosbie, G. B., S.P. Jefferies, D.M. Miskelly, L. O'Brien, J. F. P., & D.A.I. Suter, V. Solah, T. Watts, T. Westcott, R. M. W. (2009). *Understanding Australian Wheat Quality*.
- Blaschke, T., Lang, S., Tiede, D., Papadakis, M., & Györi, A. (2016). Object-based image analysis beyond remote sensing - The human perspective. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, *41*(July), 879–882. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B7-879-2016>
- Borgogno-Mondino, E., Lessio, A., Tarricone, L., Novello, V., & de Palma, L. (2018). A comparison between multispectral aerial and satellite imagery in precision viticulture. *Precision Agriculture*, *19*(2), 195–217. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9510-0>
- Boryan, C. G., Yang, Z., & Willis, P. (2014). US geospatial crop frequency data layers.

- 2014 *The 3rd International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2014*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2014.6910657>
- Boryan, C., Yang, Z., Mueller, R., & Craig, M. (2011). Monitoring US agriculture: The US department of agriculture, national agricultural statistics service, cropland data layer program. *Geocarto International*, 26(5), 341–358. <https://doi.org/10.1080/10106049.2011.562309>
- Bradshaw, M. J., Bhattacharyya, S., Venna, N., & Cahill, J. F. (2020). Neurologic Manifestations of Systemic Rheumatologic Diseases. In *Current Clinical Neurology* (pp. 321–342). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24436-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24436-1_17)
- Castellazzi, M. S., Wood, G. A., Burgess, P. J., Morris, J., Conrad, K. F., & Perry, J. N. (2008). A systematic representation of crop rotations. *Agricultural Systems*, 97(1–2), 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.10.006>
- Chakraborty, S., & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: An overview. *Plant Pathology*, 60(1), 2–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
- Chellasamy, M., Paul, T., Ferré, A., & Humlekrog, M. (2016). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Evaluating an ensemble classification approach for crop diversity verification in Danish greening subsidy control. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 49, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.01.008>
- Davidson, A.M., Fiset, T., McNairn, Heather and Daneshfar, B. (2017). Handbook on remote sensing for agricultural statistics. In *Handbook on Remote Sensing for Agricultural Statistics*.
- Defourny, P., Bontemps, S., Bellemans, N., Cara, C., Dedieu, G., Guzzonato, E., Hagolle, O., Inglada, J., Nicola, L., Rabaut, T., Savinaud, M., Udrou, C., Valero, S., Bégué, A., Dejoux, J. F., El Harti, A., Ezzahar, J., Kussul, N., Labassi, K., ... Koetz, B. (2019). Near real-time agriculture monitoring at national scale at parcel resolution: Performance assessment of the Sen2-Agri automated system in various cropping systems around the world. *Remote Sensing of Environment*, 221(March 2018), 551–568. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.007>

- Duro, D. C., Franklin, S. E., & Dubé, M. G. (2012). A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. *Remote Sensing of Environment*, *118*, 259–272. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.020>
- Foerster, S., Kaden, K., Foerster, M., & Itzerott, S. (2012). Crop type mapping using spectral-temporal profiles and phenological information. *Computers and Electronics in Agriculture*, *89*, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.07.015>
- Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Ullmann, T., & Zoungrana, E. (2014). *Integration of Optical and Synthetic Aperture Radar Imagery for Improving Crop Mapping in Northwestern Benin, West Africa*. 6472–6499. <https://doi.org/10.3390/rs6076472>
- Francesco Vuolo , Martin Neuwirth, Markus Immitzer, Clement Atzberger, W.-T. N. (2018). How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification? *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, *72*(July), 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.007>
- Franklin, S. E., He, Y., Pape, A., Guo, X., & McDermid, G. J. (2011). Landsat-comparable land cover maps using ASTER and SPOT images: A case study for large-area mapping programmes. *International Journal of Remote Sensing*, *32*(8), 2185–2205. <https://doi.org/10.1080/01431161003674642>
- Gascon, F., Bouzinac, C., Thépaut, O., Jung, M., Francesconi, B., Louis, J., Lonjou, V., Lafrance, B., Massera, S., Gaudel-Vacaresse, A., Languille, F., Alhammoud, B., Viallefont, F., Pflug, B., Bieniarz, J., Clerc, S., Pessiot, L., Trémas, T., Cadau, E., ... Fernandez, V. (2017). Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status. *Remote Sensing*, *9*(6). <https://doi.org/10.3390/rs9060584>
- Gozdowski, D., Stępień, M., Panek, E., Varghese, J., Bodecka, E., Rozbicki, J., & Samborski, S. (2020). Comparison of winter wheat NDVI data derived from Landsat 8 and active optical sensor at field scale. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *20*(March). <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100409>
- Griffiths, P., Nendel, C., & Hostert, P. (2019). Remote Sensing of Environment Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, *220*(October 2018),

135–151. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>

- Hmimina, G., Dufrêne, E., Pontailier, J. Y., Delpierre, N., Aubinet, M., Caquet, B., de Grandcourt, A., Burban, B., Flechard, C., Granier, A., Gross, P., Heinesch, B., Longdoz, B., Moureaux, C., Ourcival, J. M., Rambal, S., Saint André, L., & Soudani, K. (2013). Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements. *Remote Sensing of Environment*, 132, 145–158. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.01.010>
- Huete, A. R. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index ( SAVI ). 309, 295–309. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/003442578890106X?token=37A207C5603D1388AF816DD9C49F504F255778F47C416D2A44EE830790778162EC2F257E62A04DC4D0C9AE99F8E51726>
- Hütt, C., Koppe, W., Miao, Y., & Bareth, G. (2016). Best accuracy land use/land cover (LULC) classification to derive crop types using multitemporal, multisensor, and multi-polarization SAR satellite images. *Remote Sensing*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/rs8080684>
- Immitzer, M., Vuolo, F., & Atzberger, C. (2016). First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. *Remote Sensing*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/rs8030166>
- Inglada, J., Arias, M., Tardy, B., Hagolle, O., Valero, S., Morin, D., Dedieu, G., Sepulcre, G., Bontemps, S., Defourny, P., & Koetz, B. (2015). Assessment of an operational system for crop type map production using high temporal and spatial resolution satellite optical imagery. *Remote Sensing*, 7(9), 12356–12379. <https://doi.org/10.3390/rs70912356>
- Jia, K., Liang, S., Wei, X., Yao, Y., Su, Y., Jiang, B., & Wang, X. (2014). Land cover classification of landsat data with phenological features extracted from time series MODIS NDVI data. *Remote Sensing*, 6(11), 11518–11532. <https://doi.org/10.3390/rs6111518>
- Jordan, C. F. (1969). Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. *Ecology*, 50(4), 663–666. <https://doi.org/10.2307/1936256>



- Karlsen, S. R., Anderson, H. B., Van Der Wal, R., & Hansen, B. B. (2018). A new NDVI measure that overcomes data sparsity in cloud-covered regions predicts annual variation in ground-based estimates of high arctic plant productivity. *Environmental Research Letters*, *13*(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9f75>
- Karthikeyan, L., Chawla, I., & Mishra, A. K. (2020). A review of remote sensing applications in agriculture for food security: Crop growth and yield, irrigation, and crop losses. *Journal of Hydrology*, *586*(March), 124905. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124905>
- Kersebaum, K. C., Hecker, J.-M., Mirschel, W., & Wegehenkel, M. (2007). Modelling water and nutrient dynamics in soil–crop systems: a comparison of simulation models applied on common data sets. *Modelling Water and Nutrient Dynamics in Soil–Crop Systems, 1994*, 1–17. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4479-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4479-3_1)
- Koppe, W., Gnyp, M. L., Hütt, C., Yao, Y., Miao, Y., Chen, X., & Bareth, G. (2012). Rice monitoring with multi-temporal and dual-polarimetric terrasar-X data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *21*(1), 568–576. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.016>
- Li, Z., Zhou, G., & Zhang, T. (2019). Interleaved group convolutions for multitemporal multisensor crop classification. *Infrared Physics & Technology*, *102*(July), 103023. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.103023>
- LIU, C. an, CHEN, Z. xin, SHAO, Y., CHEN, J. song, Hasi, T., & PAN, H. zhu. (2019). Research advances of SAR remote sensing for agriculture applications: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, *18*(3), 506–525. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62016-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62016-7)
- Lobell, D. B., Thau, D., Seifert, C., Engle, E., & Little, B. (2015). A scalable satellite-based crop yield mapper. *Remote Sensing of Environment*, *164*, 324–333. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.021>
- Long, J. A., Lawrence, R. L., Greenwood, M. C., Marshall, L., & Miller, P. R. (2013). Object-oriented crop classification using multitemporal ETM+ SLC-off imagery and random forest. *GIScience and Remote Sensing*, *50*(4), 418–436. <https://doi.org/10.1080/15481603.2013.817150>

- Lussem, U., Hütt, C., & Waldhoff, G. (2016). Combined analysis of Sentinel-1 and RapidEye data for improved crop type classification: An early season approach for rapeseed and cereals. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41(July), 959–963. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-959-2016>
- Marais Sicre, C., Inglada, J., Fieuzal, R., Baup, F., Valero, S., Cros, J., Huc, M., & Demarez, V. (2016). Early Detection of Summer Crops Using High Spatial Resolution Optical Image Time Series. *Remote Sensing*, 8(7), 591. <https://doi.org/10.3390/rs8070591>
- Matci, D. K., & Avdan, U. (2020). Optimization-based Automated Unsupervised Classification Method: A. *Expert Systems With Applications*, 113735. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113735>
- Mathur, A., & Foody, G. M. (2008). Crop classification by support vector machine with intelligently selected training data for an operational application. *International Journal of Remote Sensing*, 29(8), 2227–2240. <https://doi.org/10.1080/01431160701395203>
- McNairn, H., Champagne, C., Shang, J., Holmstrom, D., & Reichert, G. (2009). Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(5), 434–449. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.07.006>
- Meier, J., Mauser, W., Hank, T., & Bach, H. (2020). Assessments on the impact of high-resolution-sensor pixel sizes for common agricultural policy and smart farming services in European regions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169(October 2019), 105205. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105205>
- Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P. C., Vázquez, Á., & Caldeira, R. (2017). Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 58, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.003>
- Nendel, C., Berg, M., Kersebaum, K. C., Mirschel, W., Specka, X., Wegehenkel, M., Wenkel, K. O., & Wieland, R. (2011). The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling*,

222(9), 1614–1625. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.018>

- Ng, W. T., Rima, P., Einzmann, K., Immitzer, M., Atzberger, C., & Eckert, S. (2017). Assessing the potential of sentinel-2 and pléiades data for the detection of *prosopis* and *vachellia* spp. In Kenya. *Remote Sensing*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/rs9010074>
- Ning, X., & Lin, X. (2017). An index based on joint density of corners and line segments for built-up area detection from high resolution satellite imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi6110338>
- Palchowdhuri, Y., Valcarce-Diñeiro, R., King, P., & Sanabria-Soto, M. (2018). Classification of multi-temporal spectral indices for crop type mapping: A case study in Coalville, UK. *Journal of Agricultural Science*, 156(1), 24–36. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000879>
- Peña-Barragán, J. M., Ngugi, M. K., Plant, R. E., & Six, J. (2011). Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. *Remote Sensing of Environment*, 115(6), 1301–1316. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.01.009>
- Peña, J. M., Gutiérrez, P. A., Hervás-Martínez, C., Six, J., Plant, R. E., & López-Granados, F. (2014). Object-based image classification of summer crops with machine learning methods. *Remote Sensing*, 6(6), 5019–5041. <https://doi.org/10.3390/rs6065019>
- Prosekov, A. Y., & Ivanova, S. A. (2018). Food security: The challenge of the present. *Geoforum*, 91(February), 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.02.030>
- Resop, J. P., Fleisher, D. H., Wang, Q., Timlin, D. J., & Reddy, V. R. (2012). Combining explanatory crop models with geospatial data for regional analyses of crop yield using field-scale modeling units. *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.001>
- Reynolds, M. P., Pietragalla, J., & Braun, H. J. (2005). Symposium Sponsors. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(1–3), xvii–xx. <https://doi.org/10.1081/css-200047039>

- Robertson, L. D., & King, D. J. (2011). Comparison of pixel-and object-based classification in land cover change mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1505–1529. <https://doi.org/10.1080/01431160903571791>
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium, 1*, 309–317. <https://doi.org/citeulike-article-id:12009708>
- Roy, P. S., Behera, M. D., Murthy, M. S. R., Roy, A., Singh, S., Kushwaha, S. P. S., Jha, C. S., Sudhakar, S., Joshi, P. K., Reddy, C. S., Gupta, S., Pujar, G., Dutt, C. B. S., Srivastava, V. K., Porwal, M. C., Tripathi, P., Singh, J. S., Chitale, V., Skidmore, A. K., ... Ramachandran, R. M. (2015). New vegetation type map of India prepared using satellite remote sensing: Comparison with global vegetation maps and utilities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 142–159. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.03.003>
- Schönhart, M., Schmid, E., & Schneider, U. A. (2011). CropRota - A crop rotation model to support integrated land use assessments. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.004>
- Sheeren, D., Fauvel, M., Josipović, V., Lopes, M., Planque, C., Willm, J., & Dejoux, J. F. (2016). Tree species classification in temperate forests using Formosat-2 satellite image time series. *Remote Sensing*, 8(9), 1–29. <https://doi.org/10.3390/rs8090734>
- Siachalou, S., Mallinis, G., & Tsakiri-Strati, M. (2015). A hidden markov models approach for crop classification: Linking crop phenology to time series of multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing*, 7(4), 3633–3650. <https://doi.org/10.3390/rs70403633>
- Smith, G. M., & Fuller, R. M. (2001). An integrated approach to land cover classification: An example in the Island of Jersey. *International Journal of Remote Sensing*, 22(16), 3123–3142. <https://doi.org/10.1080/01431160152558288>
- Turker, M., & Arikan, M. (2005a). Sequential masking classification of multi-temporal Landsat7 ETM+ images for field-based crop mapping in Karacabey, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 26(17), 3813–3830.

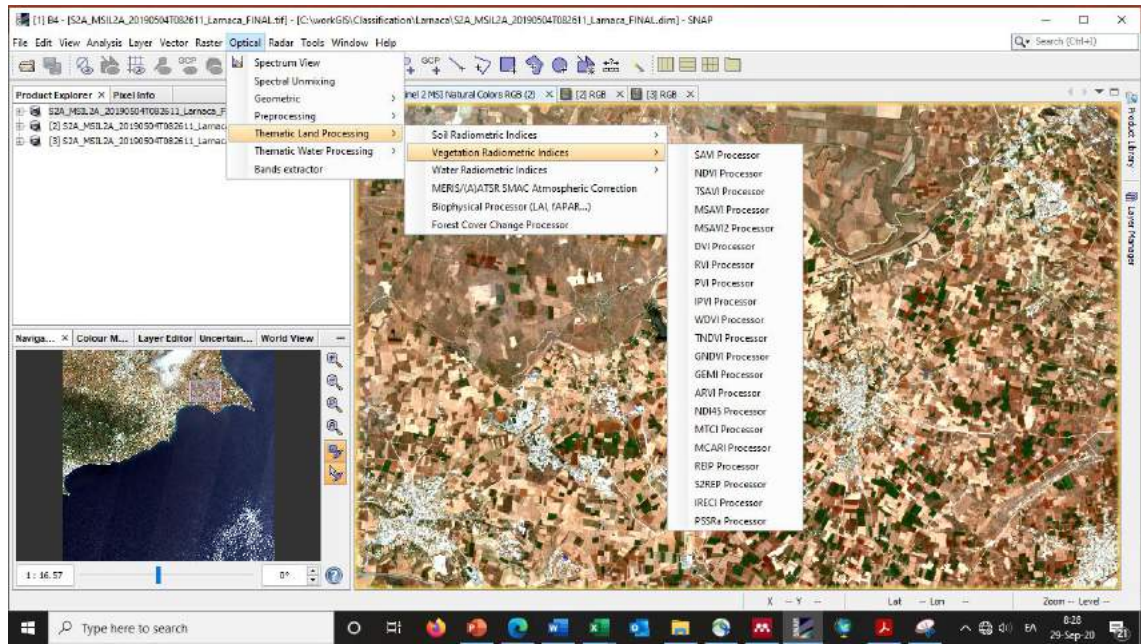
<https://doi.org/10.1080/01431160500166391>

- Turker, M., & Arikan, M. (2005b). Sequential masking classification of multi-temporal Landsat7 ETM+ images for field-based crop mapping in Karacabey, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 26(17), 3813–3830. <https://doi.org/10.1080/01431160500166391>
- Vaglio Laurin, G., Belli, C., Bianconi, R., Laranci, P., & Papale, D. (2018). Early mapping of industrial tomato in Central and Southern Italy with Sentinel 2, aerial and RapidEye additional data. In *Journal of Agricultural Science* (Vol. 156, Issue 3). <https://doi.org/10.1017/S0021859618000400>
- Van Niel, T. G., & McVicar, T. R. (2004). Determining temporal windows for crop discrimination with remote sensing: A case study in south-eastern Australia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 45(1–3), 91–108. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.06.003>
- Van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.018>
- Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C., & Ng, W. (2018). Int J Appl Earth Obs Geoinformation How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification? *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 72(April), 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.007>
- Waldho, G., Lussem, U., & Bareth, G. (2017). *Int J Appl Earth Obs Geoinformation Multi-Data Approach for remote sensing-based regional crop rotation mapping : A case study for the Rur catchment , Germany*. 61(July 2016), 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.04.009>
- Waldhoff, G., Curdt, C., Hoffmeister, D., & Bareth, G. (2012). ANALYSIS of MULTITEMPORAL and MULTISENSOR REMOTE SENSING DATA for CROP ROTATION MAPPING. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1(September), 177–182. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-I-7-177-2012>
- Waldhoff, Guido, Lussem, U., & Bareth, G. (2017). Multi-Data Approach for remote

- sensing-based regional crop rotation mapping: A case study for the Rur catchment, Germany. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 61(July 2016), 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.04.009>
- Waldner, F., Canto, G. S., & Defourny, P. (2015). Automated annual cropland mapping using knowledge-based temporal features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 110, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.09.013>
- Wardlow, B. D., Egbert, S. L., & Kastens, J. H. (2007). Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 108(3), 290–310. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.021>
- Whitcraft, A. K., Becker-Reshef, I., Killough, B. D., & Justice, C. O. (2015). Meeting earth observation requirements for global agricultural monitoring: An evaluation of the revisit capabilities of current and planned moderate resolution optical earth observing missions. *Remote Sensing*, 7(2), 1482–1503. <https://doi.org/10.3390/rs70201482>
- Wu, B., Gommers, R., Zhang, M., Zeng, H., Yan, N., Zou, W., Zheng, Y., Zhang, N., Chang, S., Xing, Q., & van Heijden, A. (2015). Global crop monitoring: A satellite-based hierarchical approach. *Remote Sensing*, 7(4), 3907–3933. <https://doi.org/10.3390/rs70403907>
- Xu, J., Zhong, R., Xu, J., Li, H., Huang, J., & Lin, T. (2019). *Efficient Multi-temporal and In-season Crop Mapping with Landsat Analysis Ready Data via Long Short-term Memory Networks* (pp. 1–4).
- Zheng, B., Myint, S. W., Thenkabail, P. S., & Aggarwal, R. M. (2015). A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34(1), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.07.002>
- Zhou, Y., Lin, C., Wang, S., Liu, W., & Tian, Y. (2016). Estimation of building density with the integrated use of GF-1 PMS and Radarsat-2 data. *Remote Sensing*, 8(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/rs8110969>

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

## Εντολή εξαγωγής εικόνας για κάθε δείκτη



## Πίνακας τεμαχίων εκπαίδευσης σιταριού

A/A	Shape *	OBJECTID	PLOT_NAME	PLOT_ID_CR	APPLICANT_	LAND_USE	CROP_CODE
1	Polygon	1629	1416-28/29--8#1	1416-28/29--8#1~226	7625	1	226
2	Polygon	3474	1329-28/31--455#1	1329-28/31--455#1~226	7615	1	226
3	Polygon	3527	1329-28/31--455#2	1329-28/31--455#2~226	7615	1	226
4	Polygon	36045	3102-33/18E2--H20	3102-33/18E2--H20~226	1495	1	226
5	Polygon	37980	3101-/2-293-376-18-4	3101-/2-293-376-18-4~226	1056	1	226
6	Polygon	38529	3114-33/10W1--H8	3114-33/10W1--H8~226	1985	1	226
7	Polygon	36278	3102-33/19W2--141	3102-33/19W2--141~226	1495	1	226
8	Polygon	37208	3105-/2-280-382-09-419	3105-/2-280-382-09-419~226	1339	1	226
9	Polygon	36314	3102-/2-285-381-02-73	3102-/2-285-381-02-73~226	1495	1	226
10	Polygon	36962	3114-33/17E1--336	3114-33/17E1--336~226	1339	1	226
11	Polygon	36963	3105-/2-280-380-11-81	3105-/2-280-380-11-81~226	1339	1	226
12	Polygon	36349	3102-33/36W2--154	3102-33/36W2--154~226	1448	1	226
13	Polygon	36353	3102-33/38W2--851	3102-33/38W2--851~226	1448	1	226
14	Polygon	36966	3105-/2-280-379-12-286	3105-/2-280-379-12-286~226	1339	1	226
15	Polygon	36968	3105-/2-280-381-09-310	3105-/2-280-381-09-310~226	1339	1	226
16	Polygon	36970	3105-/2-280-381-09-318	3105-/2-280-381-09-318~226	1339	1	226
17	Polygon	36149	3102-/2-285-380-03-293#1	3102-/2-285-380-03-293#1~226	1495	1	226
18	Polygon	36673	3102-33/18E2--378#1	3102-33/18E2--378#1~226	1495	1	226
19	Polygon	36677	3102-33/27E2--407	3102-33/27E2--407~226	1495	1	226
20	Polygon	36495	3105-/2-281-382-09-	3105-/2-281-382-09-170~226	1377	1	226

			170				
21	Polygon	36499	3102-33/27E1--650	3102-33/27E1--650~226	1495	1	226
22	Polygon	36500	3102-33/27E1--651	3102-33/27E1--651~226	1495	1	226
23	Polygon	36502	3102-33/27W1--201	3102-33/27W1--201~226	1495	1	226
24	Polygon	36505	3102-33/27W2--396	3102-33/27W2--396~226	1495	1	226
25	Polygon	36558	3105-/2-281-381-08-89#1	3105-/2-281-381-08-89#1~226	1377	1	226
26	Polygon	40208	3110-/2-275-375-07-232	3110-/2-275-375-07-232~226	1736	1	226
27	Polygon	40237	3110-/2-277-376-06-118#1	3110-/2-277-376-06-118#1~226	1780	1	226
28	Polygon	39315	4105-41/5E1--268	4105-41/5E1--268~226	1838	1	226
29	Polygon	39316	4105-32/60W2--199	4105-32/60W2--199~226	1838	1	226
30	Polygon	39328	3110-/2-278-378-04-216	3110-/2-278-378-04-216~226	1838	1	226
31	Polygon	39329	3110-/2-278-379-03-363	3110-/2-278-379-03-363~226	1838	1	226
32	Polygon	39330	3110-/2-278-379-03-365	3110-/2-278-379-03-365~226	1838	1	226
33	Polygon	39331	3114-/2-279-382-02-111	3114-/2-279-382-02-111~226	1838	1	226
34	Polygon	39333	3114-/2-279-383-02-139	3114-/2-279-383-02-139~226	1838	1	226
35	Polygon	39335	3114-/2-280-382-02-134	3114-/2-280-382-02-134~226	1838	1	226
36	Polygon	39336	3114-/2-280-382-02-136	3114-/2-280-382-02-136~226	1838	1	226
37	Polygon	39337	3114-/2-280-382-02-199	3114-/2-280-382-02-199~226	1838	1	226
38	Polygon	39984	3110-/2-277-376-06-554	3110-/2-277-376-06-554~226	1780	1	226
39	Polygon	39987	3110-/2-277-375-07-345	3110-/2-277-375-07-345~226	1780	1	226
40	Polygon	39570	3105-/2-280-382-09-103#2	3105-/2-280-382-09-103#2~226	1997	1	226
41	Polygon	39126	3110-/2-278-381-12-H1	3110-/2-278-381-12-H1~226	1835	1	226
42	Polygon	39428	3114-33/10E2--H2	3114-33/10E2--H2~226	1985	1	226
43	Polygon	39430	3114-33/10E2--H4	3114-33/10E2--H4~226	1985	1	226
44	Polygon	39431	3114-33/10E2--H5	3114-33/10E2--H5~226	1985	1	226
45	Polygon	40450	3102-/2-285-381-02-34	3102-/2-285-381-02-34~226	1495	1	226
46	Polygon	38722	3110-/2-277-378-04-140	3110-/2-277-378-04-140~226	1838	1	226
47	Polygon	38725	3110-/2-278-378-04-194	3110-/2-278-378-04-194~226	1838	1	226
48	Polygon	40469	4107-42/1W2--313	4107-42/1W2--313~226	1780	1	226
49	Polygon	38746	3105-/2-284-379-05-109	3105-/2-284-379-05-109~226	1898	1	226
50	Polygon	38776	3110-/2-277-378-04-119	3110-/2-277-378-04-119~226	1835	1	226
51	Polygon	38780	3110-/2-277-380-12-277	3110-/2-277-380-12-277~226	1835	1	226
52	Polygon	40542	3110-/2-276-377-08-537	3110-/2-276-377-08-537~226	1780	1	226
53	Polygon	38548	3110-/2-277-381-12-53	3110-/2-277-381-12-53~226	1835	1	226
54	Polygon	38841	3110-/2-277-379-03-319#2	3110-/2-277-379-03-319#2~226	1835	1	226
55	Polygon	38556	3111-/2-274-379-13-211#2	3111-/2-274-379-13-211#2~226	1860	1	226



56	Polygon	40361	3102-/2-287-379-04-383	3102-/2-287-379-04-383~226	1448	1	226
57	Polygon	40852	3105-/2-279-380-10-442	3105-/2-279-380-10-442~226	1398	1	226
58	Polygon	38713	3110-/2-275-381-13-44	3110-/2-275-381-13-44~226	1838	1	226
59	Polygon	43337	3111-/2-274-381-07-400	3111-/2-274-381-07-400~226	2075	1	226
60	Polygon	43032	3111-/2-273-380-07-130	3111-/2-273-380-07-130~226	2075	1	226
61	Polygon	43270	3111-/2-274-381-07-367	3111-/2-274-381-07-367~226	2075	1	226
62	Polygon	44714	4107-/2-279-370-14-446#2	4107-/2-279-370-14-446#2~226	3156	1	226
63	Polygon	44147	3104-42/26E1--F1173	3104-42/26E1--F1173~226	3156	1	226
64	Polygon	44149	3104-42/26E1--F1171	3104-42/26E1--F1171~226	3156	1	226
65	Polygon	44150	3104-42/26E2--F1166	3104-42/26E2--F1166~226	3156	1	226
66	Polygon	44152	3104-42/26E2--F1168	3104-42/26E2--F1168~226	3156	1	226
67	Polygon	44703	3104-/2-280-371-10-82	3104-/2-280-371-10-82~226	3156	1	226
68	Polygon	44711	3104-/2-280-371-10-76#1	3104-/2-280-371-10-76#1~226	3156	1	226
69	Polygon	49615	1329-28/16--36	1329-28/16--36~226	7629	1	226
70	Polygon	60469	1368-29/39--6	1368-29/39--6~226	5527	1	226
71	Polygon	60472	1208-29/47--252	1208-29/47--252~226	5527	1	226
72	Polygon	60728	1211-29/39W1-B-4	1211-29/39W1-B-4~226	5527	1	226
73	Polygon	79815	1360-29/13--671	1360-29/13--671~226	6800	1	226
74	Polygon	78585	1242-20/47--66	1242-20/47--66~226	6764	1	226
75	Polygon	83386	1350-20/57--202/2	1350-20/57--202/2~226	6880	1	226
76	Polygon	84008	1328-28/24--277	1328-28/24--277~226	7431	1	226
77	Polygon	84009	1328-28/24--282	1328-28/24--282~226	7431	1	226
78	Polygon	84023	1328-28/24--437	1328-28/24--437~226	7431	1	226
79	Polygon	84024	1328-28/24--438	1328-28/24--438~226	7431	1	226
80	Polygon	84025	1328-28/24--466	1328-28/24--466~226	7431	1	226
81	Polygon	82967	1368-29/21--217	1368-29/21--217~226	7053	1	226
82	Polygon	82428	1242-20/38--126#1	1242-20/38--126#1~226	6805	1	226
83	Polygon	82429	1242-20/38--216	1242-20/38--216~226	6805	1	226
84	Polygon	81403	1368-29/30--179	1368-29/30--179~226	7032	1	226
85	Polygon	81442	1368-29/22--782	1368-29/22--782~226	7104	1	226
86	Polygon	82198	1368-29/29--428	1368-29/29--428~226	7053	1	226
87	Polygon	81168	1368-29/21--544	1368-29/21--544~226	7104	1	226
88	Polygon	81173	1368-29/21--709	1368-29/21--709~226	7104	1	226
89	Polygon	81174	1368-29/21--802	1368-29/21--802~226	7104	1	226
90	Polygon	81547	1368-29/22--1030	1368-29/22--1030~226	7104	1	226
91	Polygon	85606	1368-29/21--165	1368-29/21--165~226	7131	1	226
92	Polygon	85609	1368-29/21--660	1368-29/21--660~226	7131	1	226
93	Polygon	85615	1368-29/29--136	1368-29/29--136~226	7131	1	226
94	Polygon	86472	1368-29/6--1302	1368-29/6--1302~226	7071	1	226
95	Polygon	85535	1368-29/21--326	1368-29/21--326~226	7137	1	226
96	Polygon	85536	1368-29/21--330	1368-29/21--330~226	7137	1	226

97	Polygon	85537	1368-29/21--331	1368-29/21--331~226	7137	1	226
98	Polygon	85539	1368-29/21--628	1368-29/21--628~226	7137	1	226
99	Polygon	86114	1368-29/21--169	1368-29/21--169~226	7071	1	226
100	Polygon	84086	1328-29/9--643	1328-29/9--643~226	7431	1	226
101	Polygon	84730	1322-29/17--106	1322-29/17--106~226	7431	1	226
102	Polygon	84581	1329-28/16--357	1329-28/16--357~226	7431	1	226
103	Polygon	88327	1327-/2-206-384-02-247	1327-/2-206-384-02-247~226	7466	1	226
104	Polygon	88328	1327-/2-206-384-02-259	1327-/2-206-384-02-259~226	7466	1	226
105	Polygon	89036	1327-29/19--500	1327-29/19--500~226	7466	1	226
106	Polygon	89038	1327-29/19--609	1327-29/19--609~226	7466	1	226
107	Polygon	89117	1329-28/24--468	1329-28/24--468~226	7431	1	226
108	Polygon	87375	1329-28/16--131	1329-28/16--131~226	7599	1	226
109	Polygon	87057	1328-28/16--349	1328-28/16--349~226	7581	1	226
110	Polygon	87614	1329-28/16--11	1329-28/16--11~226	7580	1	226
111	Polygon	87086	1329-28/31--313	1329-28/31--313~226	7615	1	226
112	Polygon	87648	1329-28/32--35	1329-28/32--35~226	7615	1	226
113	Polygon	87649	1329-28/32--55	1329-28/32--55~226	7615	1	226
114	Polygon	87650	1329-28/32--80	1329-28/32--80~226	7615	1	226
115	Polygon	87673	1329-28/16--55	1329-28/16--55~226	7580	1	226
116	Polygon	87674	1329-28/16--88	1329-28/16--88~226	7580	1	226
117	Polygon	87134	1329-28/16--134	1329-28/16--134~226	7599	1	226
118	Polygon	87135	1329-28/16--280	1329-28/16--280~226	7599	1	226
119	Polygon	87137	1329-28/16--334	1329-28/16--334~226	7599	1	226
120	Polygon	87138	1329-28/16--392	1329-28/16--392~226	7599	1	226
121	Polygon	87139	1329-28/24--106	1329-28/24--106~226	7599	1	226
122	Polygon	87140	1329-28/24--271	1329-28/24--271~226	7599	1	226
123	Polygon	88131	1329-28/39--238	1329-28/39--238~226	7431	1	226
124	Polygon	88144	1322-/2-200-383-02-82	1322-/2-200-383-02-82~226	7431	1	226
125	Polygon	87168	1415-28/29--69	1415-28/29--69~226	7625	1	226
126	Polygon	87426	1417-28/20W2--167	1417-28/20W2--167~226	7625	1	226
127	Polygon	87431	1416-28/36W1--115#1	1416-28/36W1--115#1~226	7625	1	226
128	Polygon	86912	1327-29/28--475	1327-29/28--475~226	7466	1	226
129	Polygon	87458	1329-28/16--108	1329-28/16--108~226	7599	1	226
130	Polygon	87459	1329-28/16--125	1329-28/16--125~226	7599	1	226
131	Polygon	86962	1329-28/16--105	1329-28/16--105~226	7580	1	226
132	Polygon	87919	1329-28/23--65	1329-28/23--65~226	7580	1	226
133	Polygon	87920	1329-28/23--66	1329-28/23--66~226	7580	1	226
134	Polygon	87921	1329-28/23--84	1329-28/23--84~226	7580	1	226
135	Polygon	87503	1328-28/24--433	1328-28/24--433~226	7597	1	226
136	Polygon	87504	1328-28/24--443	1328-28/24--443~226	7597	1	226
137	Polygon	86963	1329-28/16--116	1329-28/16--116~226	7580	1	226
138	Polygon	86964	1329-28/16--117	1329-28/16--117~226	7580	1	226

139	Polygon	86965	1329-28/22--101	1329-28/22--101~226	7580	1	226
140	Polygon	86970	1329-28/31--145	1329-28/31--145~226	7580	1	226
141	Polygon	86973	1329-28/31--318	1329-28/31--318~226	7580	1	226
142	Polygon	86975	1411-28/30--86	1411-28/30--86~226	7629	1	226
143	Polygon	86976	1415-28/29--99	1415-28/29--99~226	7629	1	226
144	Polygon	87935	1327-29/29--25	1327-29/29--25~226	7466	1	226
145	Polygon	87505	1329-28/16--374	1329-28/16--374~226	7597	1	226
146	Polygon	91238	1329-28/32--8	1329-28/32--8~226	7615	1	226
147	Polygon	91239	1329-28/32--9	1329-28/32--9~226	7615	1	226
148	Polygon	91387	1411-28/38--238	1411-28/38--238~226	7592	1	226
149	Polygon	90365	1328-29/17--14	1328-29/17--14~226	7592	1	226
150	Polygon	89834	6123-45/6--872	6123-45/6--872~226	8221	1	226
151	Polygon	95394	3101-/2-291-377-13-261	3101-/2-291-377-13-261~226	10656	1	226
152	Polygon	94472	3100-/2-296-373-09-H1	3100-/2-296-373-09-H1~226	10749	1	226
153	Polygon	94473	3100-/2-296-373-09-H3	3100-/2-296-373-09-H3~226	10749	1	226
154	Polygon	94704	3100-/2-296-373-09-H8	3100-/2-296-373-09-H8~226	10749	1	226
155	Polygon	94746	3103-/2-283-372-11-231	3103-/2-283-372-11-231~226	10204	1	226
156	Polygon	94755	3105-/2-280-380-11-127	3105-/2-280-380-11-127~226	10204	1	226
157	Polygon	94130	3103-/2-286-379-02-98	3103-/2-286-379-02-98~226	10204	1	226
158	Polygon	94396	3100-42/24E2-H-F1852	3100-42/24E2-H-F1852~226	10749	1	226
159	Polygon	94847	3101-/2-288-377-02-158	3101-/2-288-377-02-158~226	10002	1	226
160	Polygon	94848	3101-/2-288-377-02-219	3101-/2-288-377-02-219~226	10002	1	226
161	Polygon	98244	3101-/2-291-377-12-699	3101-/2-291-377-12-699~226	10755	1	226
162	Polygon	98239	3101-/2-291-377-12-533	3101-/2-291-377-12-533~226	10755	1	226
163	Polygon	97474	3101-/2-292-376-13-545	3101-/2-292-376-13-545~226	10755	1	226
164	Polygon	97821	3105-/2-281-380-11-H5	3105-/2-281-380-11-H5~226	10921	1	226
165	Polygon	97542	3101-/2-292-376-13-577	3101-/2-292-376-13-577~226	10755	1	226
166	Polygon	97547	3101-/2-292-376-13-606	3101-/2-292-376-13-606~226	10755	1	226
167	Polygon	98028	3100-43/17W2-H-F1931	3100-43/17W2-H-F1931~226	10749	1	226
168	Polygon	98490	3101-/2-291-377-13-397	3101-/2-291-377-13-397~226	10755	1	226
169	Polygon	98493	3101-/2-291-377-13-412	3101-/2-291-377-13-412~226	10755	1	226
170	Polygon	97143	4107-42/33E2--F544	4107-42/33E2--F544~226	11987	1	226
171	Polygon	97215	3104-/2-280-372-09-220	3104-/2-280-372-09-220~226	11987	1	226
172	Polygon	97217	3104-/2-280-372-09-224	3104-/2-280-372-09-224~226	11987	1	226
173	Polygon	99726	1368-29/29--561	1368-29/29--561~226	13368	1	226
174	Polygon	99482	1211-29/38E1-B-165	1211-29/38E1-B-165~226	13368	1	226
175	Polygon	98981	1212-29/39--31	1212-29/39--31~226	13368	1	226

176	Polygon	103364	1327-29/27--197	1327-29/27--197~226	13602	1	226
177	Polygon	103282	1327-29/36--33	1327-29/36--33~226	13602	1	226
178	Polygon	103465	1327-29/26--333	1327-29/26--333~226	13602	1	226
179	Polygon	103467	1327-29/26--367	1327-29/26--367~226	13602	1	226
180	Polygon	103474	1327-29/27--109	1327-29/27--109~226	13602	1	226
181	Polygon	102953	1327-29/27--250	1327-29/27--250~226	13602	1	226
182	Polygon	102985	1327-29/27--97	1327-29/27--97~226	13602	1	226
183	Polygon	102488	1361-29/19--236	1361-29/19--236~226	13602	1	226
184	Polygon	102491	1432-28/29--165	1432-28/29--165~226	13602	1	226
185	Polygon	101518	1330-29/9--528	1330-29/9--528~226	14011	1	226
186	Polygon	102282	1327-29/28--282	1327-29/28--282~226	13602	1	226
187	Polygon	101244	1362-29/9--299	1362-29/9--299~226	14011	1	226
188	Polygon	101269	1327-29/28--762	1327-29/28--762~226	13602	1	226
189	Polygon	105211	1368-29/30--13	1368-29/30--13~226	14203	1	226
190	Polygon	105779	1327-29/13--945	1327-29/13--945~226	14375	1	226
191	Polygon	105484	1368-29/21--315	1368-29/21--315~226	14203	1	226
192	Polygon	104791	1327-29/35--242	1327-29/35--242~226	14789	1	226
193	Polygon	106045	1330-29/26--300	1330-29/26--300~226	14011	1	226
194	Polygon	106159	1363-20/53--521	1363-20/53--521~226	6795	1	226
195	Polygon	104055	1329-28/30--181	1329-28/30--181~226	14612	1	226
196	Polygon	104058	1329-28/32--17	1329-28/32--17~226	14612	1	226
197	Polygon	104406	1329-28/32--19#2	1329-28/32--19#2~226	14612	1	226
198	Polygon	104417	1329-28/24--254	1329-28/24--254~226	14616	1	226
199	Polygon	104418	1330-29/18--735	1330-29/18--735~226	14616	1	226
200	Polygon	106409	1368-29/29--685	1368-29/29--685~226	14203	1	226
201	Polygon	104350	1362-29/9--226	1362-29/9--226~226	14616	1	226
202	Polygon	110543	3102-/2-287-379-04-352#1	3102-/2-287-379-04-352#1~226	30130	1	226
203	Polygon	110286	3100-/2-288-374-06-261	3100-/2-288-374-06-261~226	25327	1	226
204	Polygon	110099	3102-33/18E1--332	3102-33/18E1--332~226	30130	1	226
205	Polygon	112238	3110-/2-277-381-12-55	3110-/2-277-381-12-55~226	38957	1	226
206	Polygon	112239	3110-/2-277-378-04-115	3110-/2-277-378-04-115~226	38957	1	226
207	Polygon	112241	3110-/2-277-381-12-113	3110-/2-277-381-12-113~226	38957	1	226
208	Polygon	112243	3110-/2-278-379-03-375	3110-/2-278-379-03-375~226	38957	1	226
209	Polygon	111673	1329-28/24--102	1329-28/24--102~226	32783	1	226
210	Polygon	115478	6332-0/V01-01-98	6332-0/V01-01-98~226	39898	1	226
211	Polygon	114547	1443-28/23--32	1443-28/23--32~226	39597	1	226
212	Polygon	114549	1443-28/23--34	1443-28/23--34~226	39597	1	226
213	Polygon	114551	1443-28/23--37	1443-28/23--37~226	39597	1	226
214	Polygon	114770	1328-28/24--336	1328-28/24--336~226	39597	1	226
215	Polygon	114772	1329-28/38--322	1329-28/38--322~226	39597	1	226
216	Polygon	114775	1411-28/38--158	1411-28/38--158~226	39597	1	226
217	Polygon	114487	1328-28/32--89	1328-28/32--89~226	39597	1	226

218	Polygon	122374	1411-28/30--4	1411-28/30--4~226	61265	1	226
219	Polygon	122030	1411-28/30--100	1411-28/30--100~226	61265	1	226
220	Polygon	122033	1411-28/30--107	1411-28/30--107~226	61265	1	226
221	Polygon	122039	1411-28/30--102	1411-28/30--102~226	61265	1	226
222	Polygon	122601	1411-28/22--71	1411-28/22--71~226	61265	1	226
223	Polygon	121810	1329-28/31--149	1329-28/31--149~226	61265	1	226
224	Polygon	121811	1329-28/31--202	1329-28/31--202~226	61265	1	226
225	Polygon	122661	1411-28/30--68	1411-28/30--68~226	61265	1	226
226	Polygon	122662	1411-28/30--75	1411-28/30--75~226	61265	1	226
227	Polygon	122665	1411-28/30--91	1411-28/30--91~226	61265	1	226
228	Polygon	121753	1411-28/30--99	1411-28/30--99~226	61265	1	226
229	Polygon	120668	3105-/2-280-379-12-364	3105-/2-280-379-12-364~226	63998	1	226
230	Polygon	120743	1329-28/31--415	1329-28/31--415~226	7629	1	226
231	Polygon	123129	4107-42/17W2--852	4107-42/17W2--852~226	67380	1	226
232	Polygon	123131	4107-/2-277-374-05-48	4107-/2-277-374-05-48~226	67380	1	226
233	Polygon	127782	1368-29/31--187	1368-29/31--187~226	79053	1	226
234	Polygon	127597	1350-29/1--12	1350-29/1--12~226	73363	1	226
235	Polygon	127605	1362-29/10--99	1362-29/10--99~226	73363	1	226
236	Polygon	127607	1362-29/9--357	1362-29/9--357~226	73363	1	226
237	Polygon	127609	1362-29/9--382	1362-29/9--382~226	73363	1	226
238	Polygon	126196	1368-29/21--570	1368-29/21--570~226	72542	1	226
239	Polygon	125348	1362-29/9--154	1362-29/9--154~226	73363	1	226
240	Polygon	126442	1330-29/9--515#1	1330-29/9--515#1~226	73363	1	226
241	Polygon	125423	1330-29/17--302	1330-29/17--302~226	73363	1	226
242	Polygon	125425	1330-29/17--630	1330-29/17--630~226	73363	1	226
243	Polygon	128895	1368-29/31--163	1368-29/31--163~226	79053	1	226
244	Polygon	128364	1411-28/29--219	1411-28/29--219~226	78279	1	226
245	Polygon	128365	1411-28/29--223	1411-28/29--223~226	78279	1	226
246	Polygon	128085	1411-28/30--80#1	1411-28/30--80#1~226	7629	1	226
247	Polygon	128415	4107-/2-277-374-05-44	4107-/2-277-374-05-44~226	78707	1	226
248	Polygon	128417	4107-/2-277-374-05-51	4107-/2-277-374-05-51~226	78707	1	226
249	Polygon	128418	4107-/2-277-374-05-65	4107-/2-277-374-05-65~226	78707	1	226
250	Polygon	128453	1411-28/30--6	1411-28/30--6~226	78279	1	226
251	Polygon	128491	4107-/2-277-374-05-9#1	4107-/2-277-374-05-9#1~226	78707	1	226
252	Polygon	129843	1322-29/33--91	1322-29/33--91~226	77516	1	226
253	Polygon	132029	1368-29/21--428	1368-29/21--428~226	79053	1	226
254	Polygon	132040	1368-29/13--942	1368-29/13--942~226	79053	1	226
255	Polygon	132584	1411-28/29--213	1411-28/29--213~226	78279	1	226
256	Polygon	132589	1411-28/38--115	1411-28/38--115~226	78279	1	226
257	Polygon	132350	1329-28/16--124	1329-28/16--124~226	7629	1	226
258	Polygon	132842	1411-28/38--122	1411-28/38--122~226	78279	1	226
259	Polygon	131366	1361-29/10--331	1361-29/10--331~226	84311	1	226

260	Polygon	131688	1368-29/22--42	1368-29/22--42~226	79053	1	226
261	Polygon	131690	1360-29/13--795	1360-29/13--795~226	79053	1	226
262	Polygon	131764	1368-29/13--941	1368-29/13--941~226	79053	1	226
263	Polygon	133581	1328-28/24--325	1328-28/24--325~226	90571	1	226
264	Polygon	133582	1329-28/16--307	1329-28/16--307~226	90571	1	226
265	Polygon	133583	1329-28/16--309	1329-28/16--309~226	90571	1	226
266	Polygon	139329	6310-35/46--369	6310-35/46--369~226	103519	1	226
267	Polygon	143979	1368-29/21--374	1368-29/21--374~226	107591	1	226
268	Polygon	143238	1361-20/59--1035	1361-20/59--1035~226	111823	1	226
269	Polygon	145590	3110-/2-276-376-07-97	3110-/2-276-376-07-97~226	109571	1	226
270	Polygon	145591	3110-/2-275-378-10-442	3110-/2-275-378-10-442~226	109571	1	226
271	Polygon	148319	1368-29/29--183	1368-29/29--183~226	112286	1	226
272	Polygon	148321	1368-29/29--190	1368-29/29--190~226	112286	1	226
273	Polygon	148322	1368-29/29--224	1368-29/29--224~226	112286	1	226
274	Polygon	152398	4107-41/24E2--358	4107-41/24E2--358~226	113701	1	226
275	Polygon	150271	4107-/2-276-372-08-88	4107-/2-276-372-08-88~226	112701	1	226
276	Polygon	150314	1327-29/13--928	1327-29/13--928~226	112663	1	226
277	Polygon	154296	1368-29/30--540	1368-29/30--540~226	112286	1	226
278	Polygon	154420	1368-29/29--539	1368-29/29--539~226	112286	1	226
279	Polygon	154432	1368-29/30--502	1368-29/30--502~226	112286	1	226
280	Polygon	154491	1368-29/22--644	1368-29/22--644~226	112286	1	226
281	Polygon	154985	3101-/2-290-377-12-227	3101-/2-290-377-12-227~226	114368	1	226
282	Polygon	154662	6310-35/45--356	6310-35/45--356~226	114585	1	226
283	Polygon	156712	3110-/2-277-376-06-181	3110-/2-277-376-06-181~226	113932	1	226
284	Polygon	157448	1362-20/57--521	1362-20/57--521~226	120247	1	226
285	Polygon	155630	1213-29/45--H3	1213-29/45--H3~226	115341	1	226
286	Polygon	155634	1368-29/29--127	1368-29/29--127~226	115341	1	226
287	Polygon	172975	3101-/2-291-377-13-306	3101-/2-291-377-13-306~226	114368	1	226
288	Polygon	172424	4107-/2-275-373-06-132	4107-/2-275-373-06-132~226	117075	1	226
289	Polygon	173033	1242-20/38--58	1242-20/38--58~226	116366	1	226
290	Polygon	173034	1242-20/54--35	1242-20/54--35~226	116366	1	226
291	Polygon	173338	1242-20/38--95	1242-20/38--95~226	116366	1	226
292	Polygon	172447	3110-/2-274-377-09-88	3110-/2-274-377-09-88~226	117187	1	226
293	Polygon	172448	3110-/2-274-380-10-16	3110-/2-274-380-10-16~226	117187	1	226
294	Polygon	172449	3110-/2-275-381-13-60	3110-/2-275-381-13-60~226	117187	1	226
295	Polygon	172454	3110-/2-275-381-13-137	3110-/2-275-381-13-137~226	117187	1	226
296	Polygon	167570	4107-41/16E2--190	4107-41/16E2--190~226	117838	1	226
297	Polygon	170112	3105-/2-281-379-11-235#1	3105-/2-281-379-11-235#1~226	117410	1	226
298	Polygon	167574	4107-41/16E2--610	4107-41/16E2--610~226	117838	1	226
299	Polygon	167584	4106-/2-273-374-03-149	4106-/2-273-374-03-149~226	117838	1	226

300	Polygon	167585	4106-/2-273-374-03-162	4106-/2-273-374-03-162~226	117838	1	226
301	Polygon	171108	3100-/2-286-373-05-141	3100-/2-286-373-05-141~226	117272	1	226
302	Polygon	170806	3110-/2-278-382-03-51	3110-/2-278-382-03-51~226	117272	1	226
303	Polygon	169243	3110-/2-277-379-12-299	3110-/2-277-379-12-299~226	117272	1	226
304	Polygon	169245	3110-/2-277-380-12-279	3110-/2-277-380-12-279~226	117272	1	226
305	Polygon	172155	3110-/2-275-381-13-150	3110-/2-275-381-13-150~226	117187	1	226
306	Polygon	172159	3110-/2-276-379-11-346	3110-/2-276-379-11-346~226	117187	1	226
307	Polygon	168658	3110-/2-277-380-12-282#1	3110-/2-277-380-12-282#1~226	117272	1	226
308	Polygon	171862	3110-/2-277-379-03-277	3110-/2-277-379-03-277~226	117187	1	226
309	Polygon	171868	3111-/2-273-377-13-300	3111-/2-273-377-13-300~226	117187	1	226
310	Polygon	167740	1361-29/3--384	1361-29/3--384~226	117241	1	226
311	Polygon	169661	1327-29/27--94	1327-29/27--94~226	117666	1	226
312	Polygon	165598	1328-29/9--641	1328-29/9--641~226	119899	1	226
313	Polygon	165902	1242-20/46--27	1242-20/46--27~226	119899	1	226
314	Polygon	164642	1211-29/39W2-B-135	1211-29/39W2-B-135~226	119558	1	226
315	Polygon	164672	1242-20/38--284#1	1242-20/38--284#1~226	119899	1	226
316	Polygon	164674	1328-28/16--373	1328-28/16--373~226	119899	1	226
317	Polygon	166904	6122-45/13--KS1114	6122-45/13--KS1114~226	119102	1	226
318	Polygon	166612	3101-/2-291-378-10-704	3101-/2-291-378-10-704~226	120141	1	226
319	Polygon	164094	3105-/2-280-378-12-323	3105-/2-280-378-12-323~226	120732	1	226
320	Polygon	165993	3110-/2-279-377-05-329	3110-/2-279-377-05-329~226	120141	1	226
321	Polygon	163779	1242-20/38--215	1242-20/38--215~226	120636	1	226
322	Polygon	164123	1360-20/61--1263#2	1360-20/61--1263#2~226	120636	1	226
323	Polygon	164758	3101-/2-290-377-12-54	3101-/2-290-377-12-54~226	119853	1	226
324	Polygon	163188	1360-20/61--1240	1360-20/61--1240~226	119296	1	226
325	Polygon	164465	3101-/2-292-376-19-121	3101-/2-292-376-19-121~226	119853	1	226
326	Polygon	162562	1360-29/5--154	1360-29/5--154~226	119296	1	226
327	Polygon	166081	1360-29/13--45	1360-29/13--45~226	119167	1	226
328	Polygon	167253	1362-20/58--38	1362-20/58--38~226	120247	1	226
329	Polygon	166089	1368-29/21--675	1368-29/21--675~226	119167	1	226
330	Polygon	166092	1368-29/29--392	1368-29/29--392~226	119167	1	226
331	Polygon	166096	1368-29/15--43#2	1368-29/15--43#2~226	119167	1	226
332	Polygon	163227	4107-42/9W2--243	4107-42/9W2--243~226	119631	1	226
333	Polygon	163228	4107-41/16E1--590	4107-41/16E1--590~226	119631	1	226
334	Polygon	163230	4107-42/25E2--F787	4107-42/25E2--F787~226	119631	1	226
335	Polygon	162621	4107-/2-276-374-09-53	4107-/2-276-374-09-53~226	119631	1	226
336	Polygon	158387	3101-/2-291-377-13-309	3101-/2-291-377-13-309~226	120568	1	226
337	Polygon	158752	1368-29/22--1027	1368-29/22--1027~226	120854	1	226

338	Polygon	158762	1368-29/30--678	1368-29/30--678~226	120854	1	226
339	Polygon	161009	1350-20/50--343	1350-20/50--343~226	120247	1	226
340	Polygon	161013	1350-20/57--440	1350-20/57--440~226	120247	1	226
341	Polygon	161017	1361-20/59--236	1361-20/59--236~226	120247	1	226
342	Polygon	159474	1362-20/57--458	1362-20/57--458~226	120247	1	226
343	Polygon	159496	1362-29/1--776	1362-29/1--776~226	120247	1	226
344	Polygon	162136	3101-/2-289-376-11-236	3101-/2-289-376-11-236~226	120141	1	226
345	Polygon	157660	3100-/2-286-372-05-231	3100-/2-286-372-05-231~226	120141	1	226
346	Polygon	159258	1361-29/11--54	1361-29/11--54~226	120631	1	226
347	Polygon	159265	1361-29/11--73	1361-29/11--73~226	120631	1	226
348	Polygon	158971	3101-/2-291-377-12-535	3101-/2-291-377-12-535~226	120568	1	226
349	Polygon	195677	3110-/2-277-380-12-285	3110-/2-277-380-12-285~226	121448	1	226
350	Polygon	195680	3110-/2-277-379-12-295#1	3110-/2-277-379-12-295#1~226	121448	1	226
351	Polygon	192568	3104-/2-280-374-02-334	3104-/2-280-374-02-334~226	122199	1	226
352	Polygon	194574	1368-29/37--41	1368-29/37--41~226	121749	1	226
353	Polygon	194274	1325-29/45--H2	1325-29/45--H2~226	121749	1	226
354	Polygon	192077	1368-29/30--614	1368-29/30--614~226	121490	1	226
355	Polygon	194630	1368-29/22--1036	1368-29/22--1036~226	121749	1	226
356	Polygon	188097	1242-20/30--122#1	1242-20/30--122#1~226	122322	1	226
357	Polygon	189151	1368-29/15--228	1368-29/15--228~226	122646	1	226
358	Polygon	189452	1368-29/22--804	1368-29/22--804~226	122646	1	226
359	Polygon	188844	1211-29/39W2-B-137	1211-29/39W2-B-137~226	122646	1	226
360	Polygon	187026	3104-/2-279-376-04-75	3104-/2-279-376-04-75~226	124148	1	226
361	Polygon	187320	3105-/2-279-379-12-78	3105-/2-279-379-12-78~226	124148	1	226
362	Polygon	187322	3105-/2-279-383-10-16	3105-/2-279-383-10-16~226	124148	1	226
363	Polygon	187033	3114-/2-280-383-02-197	3114-/2-280-383-02-197~226	124148	1	226
364	Polygon	188279	1368-29/21--557#2	1368-29/21--557#2~226	121749	1	226
365	Polygon	185894	1360-20/61--728	1360-20/61--728~226	122843	1	226
366	Polygon	185900	1360-20/61--1343	1360-20/61--1343~226	122843	1	226
367	Polygon	186217	1327-29/35--362	1327-29/35--362~226	122936	1	226
368	Polygon	184072	1368-29/39--2	1368-29/39--2~226	122646	1	226
369	Polygon	183810	3105-/2-279-383-10-14	3105-/2-279-383-10-14~226	124148	1	226
370	Polygon	183811	3105-/2-279-383-10-21	3105-/2-279-383-10-21~226	124148	1	226
371	Polygon	185111	1322-29/17--94	1322-29/17--94~226	124423	1	226
372	Polygon	183535	3114-33/18E1--F1960	3114-33/18E1--F1960~226	124148	1	226
373	Polygon	185130	1322-29/17--166	1322-29/17--166~226	124423	1	226
374	Polygon	182634	1213-29/37--68	1213-29/37--68~226	123949	1	226
375	Polygon	183236	3105-/2-279-381-10-271	3105-/2-279-381-10-271~226	124148	1	226
376	Polygon	184539	1327-29/28--640	1327-29/28--640~226	123277	1	226
377	Polygon	184546	1327-29/28--764	1327-29/28--764~226	123277	1	226



378	Polygon	182120	1360-20/54--874	1360-20/54--874~226	125141	1	226
379	Polygon	185002	1360-29/6--1136	1360-29/6--1136~226	122641	1	226
380	Polygon	181850	1362-20/59--278	1362-20/59--278~226	124214	1	226
381	Polygon	180294	1327-29/19--605	1327-29/19--605~226	124706	1	226
382	Polygon	180295	1327-29/19--619	1327-29/19--619~226	124706	1	226
383	Polygon	180298	1327-29/20--1034	1327-29/20--1034~226	124706	1	226
384	Polygon	180301	1327-29/20--1035	1327-29/20--1035~226	124706	1	226
385	Polygon	178765	1327-29/27--393	1327-29/27--393~226	125141	1	226
386	Polygon	178767	1327-29/35--252	1327-29/35--252~226	125141	1	226
387	Polygon	178768	1327-29/35--253	1327-29/35--253~226	125141	1	226
388	Polygon	196599	3110-/2-277-376-06-147	3110-/2-277-376-06-147~226	121448	1	226
389	Polygon	196600	3110-/2-277-376-06-148	3110-/2-277-376-06-148~226	121448	1	226
390	Polygon	179108	1330-29/26--323	1330-29/26--323~226	123277	1	226
391	Polygon	195978	3110-/2-277-380-03-243	3110-/2-277-380-03-243~226	121448	1	226
392	Polygon	196296	3110-/2-275-378-09-125	3110-/2-275-378-09-125~226	121448	1	226
393	Polygon	196297	3110-/2-275-378-09-126	3110-/2-275-378-09-126~226	121448	1	226
394	Polygon	196606	3110-/2-277-379-12-284	3110-/2-277-379-12-284~226	121448	1	226
395	Polygon	195979	3110-/2-277-380-12-189	3110-/2-277-380-12-189~226	121448	1	226
396	Polygon	195985	3110-/2-274-377-09-311	3110-/2-274-377-09-311~226	121448	1	226
397	Polygon	195990	3110-/2-274-377-09-362	3110-/2-274-377-09-362~226	121448	1	226
398	Polygon	195992	3110-/2-274-377-09-364	3110-/2-274-377-09-364~226	121448	1	226
399	Polygon	180411	3105-/2-280-379-12-342	3105-/2-280-379-12-342~226	124148	1	226
400	Polygon	180416	3105-/2-280-382-09-314	3105-/2-280-382-09-314~226	124148	1	226
401	Polygon	179485	1368-29/22--1063	1368-29/22--1063~226	123949	1	226
402	Polygon	179813	3114-33/10W1--H1	3114-33/10W1--H1~226	124148	1	226
403	Polygon	180118	3105-/2-280-380-11-100#1	3105-/2-280-380-11-100#1~226	124148	1	226
404	Polygon	197021	3102-33/27W2--H8	3102-33/27W2--H8~226	121024	1	226
405	Polygon	196418	3102-33/27W1--521	3102-33/27W1--521~226	121024	1	226
406	Polygon	196419	3102-33/27W2--548	3102-33/27W2--548~226	121024	1	226
407	Polygon	197703	1362-20/58--318	1362-20/58--318~226	121154	1	226
408	Polygon	179215	3114-33/10W1--18	3114-33/10W1--18~226	124148	1	226
409	Polygon	180187	1330-/2-203-387-03-5	1330-/2-203-387-03-5~226	125413	1	226
410	Polygon	197070	1361-20/51--361	1361-20/51--361~226	121154	1	226
411	Polygon	178607	3114-33/10W1--29	3114-33/10W1--29~226	124148	1	226
412	Polygon	180593	1327-/2-207-385-02-145	1327-/2-207-385-02-145~226	124706	1	226
413	Polygon	197824	3102-33/18E2--H8	3102-33/18E2--H8~226	129644	1	226
414	Polygon	197825	3102-33/18E2--H17	3102-33/18E2--H17~226	129644	1	226
415	Polygon	197826	3102-33/18E2--H18	3102-33/18E2--H18~226	129644	1	226
416	Polygon	197827	3102-33/18E2--H19	3102-33/18E2--H19~226	129644	1	226

417	Polygon	212160	1415-28/29--84	1415-28/29--84~226	126122	1	226
418	Polygon	212439	1415-28/29--88	1415-28/29--88~226	126122	1	226
419	Polygon	212442	1415-28/29--93	1415-28/29--93~226	126122	1	226
420	Polygon	211866	1415-28/29--97	1415-28/29--97~226	126122	1	226
421	Polygon	211867	1415-28/29--98	1415-28/29--98~226	126122	1	226
422	Polygon	211869	1330-29/19--553	1330-29/19--553~226	126122	1	226
423	Polygon	211872	1330-29/19--573	1330-29/19--573~226	126122	1	226
424	Polygon	210945	4107-/2-275-374-07-52	4107-/2-275-374-07-52~226	127798	1	226
425	Polygon	212878	1430-0/V01-01-5	1430-0/V01-01-5~226	126122	1	226
426	Polygon	211333	1327-29/27--541	1327-29/27--541~226	126548	1	226
427	Polygon	212711	1368-29/22--589	1368-29/22--589~226	125466	1	226
428	Polygon	207057	1329-28/31--439	1329-28/31--439~226	7629	1	226
429	Polygon	208269	1415-28/29--36	1415-28/29--36~226	126122	1	226
430	Polygon	208586	1327-29/19--543	1327-29/19--543~226	126122	1	226
431	Polygon	208587	1327-29/19--544	1327-29/19--544~226	126122	1	226
432	Polygon	206808	1326-29/35--444	1326-29/35--444~226	126515	1	226
433	Polygon	206810	1326-29/35--557	1326-29/35--557~226	126515	1	226
434	Polygon	207093	1327-29/26--332	1327-29/26--332~226	126515	1	226
435	Polygon	207705	1415-28/29--72	1415-28/29--72~226	126122	1	226
436	Polygon	207706	1415-28/29--73	1415-28/29--73~226	126122	1	226
437	Polygon	207708	1415-28/29--75	1415-28/29--75~226	126122	1	226
438	Polygon	207709	1415-28/29--76	1415-28/29--76~226	126122	1	226
439	Polygon	207992	1415-28/29--83	1415-28/29--83~226	126122	1	226
440	Polygon	207994	1327-29/19--548	1327-29/19--548~226	126122	1	226
441	Polygon	207995	1327-29/26--360	1327-29/26--360~226	126122	1	226
442	Polygon	207996	1327-29/26--361	1327-29/26--361~226	126122	1	226
443	Polygon	207997	1327-29/26--405	1327-29/26--405~226	126122	1	226
444	Polygon	208282	1327-29/19--539	1327-29/19--539~226	126122	1	226
445	Polygon	208284	1327-29/27--187	1327-29/27--187~226	126122	1	226
446	Polygon	207712	1415-28/29--82	1415-28/29--82~226	126122	1	226
447	Polygon	207713	1415-28/29--65	1415-28/29--65~226	126122	1	226
448	Polygon	207714	1415-28/29--71	1415-28/29--71~226	126122	1	226
449	Polygon	207716	1327-29/27--584	1327-29/27--584~226	126122	1	226
450	Polygon	208004	1327-29/27--185	1327-29/27--185~226	126122	1	226
451	Polygon	200377	1361-29/19--192#1	1361-29/19--192#1~226	129470	1	226
452	Polygon	200384	1327-/2-206-385-02-82#1	1327-/2-206-385-02-82#1~226	129470	1	226
453	Polygon	200452	1368-29/13--841	1368-29/13--841~226	129726	1	226
454	Polygon	200477	1368-29/21--454	1368-29/21--454~226	129726	1	226
455	Polygon	214338	1242-20/38--365	1242-20/38--365~226	124978	1	226
456	Polygon	214652	1361-29/4--897	1361-29/4--897~226	125276	1	226
457	Polygon	214654	1361-29/4--895	1361-29/4--895~226	125276	1	226
458	Polygon	198528	1368-29/39--16	1368-29/39--16~226	129967	1	226
459	Polygon	217135	1430-28/20--62/1	1430-28/20--62/1~226	126122	1	226

460	Polygon	198584	1241-20/63--871	1241-20/63--871~226	129399	1	226
461	Polygon	215355	1411-28/45--379	1411-28/45--379~226	126122	1	226
462	Polygon	215080	1411-28/38--147	1411-28/38--147~226	126122	1	226
463	Polygon	215367	1431-28/20E1--288	1431-28/20E1--288~226	126122	1	226
464	Polygon	216291	1368-29/22--768	1368-29/22--768~226	126267	1	226
465	Polygon	216294	1368-29/29--366	1368-29/29--366~226	126267	1	226
466	Polygon	214807	1415-28/29--273	1415-28/29--273~226	126122	1	226
467	Polygon	214523	1415-28/29--128	1415-28/29--128~226	126122	1	226
468	Polygon	214524	1415-28/29--129	1415-28/29--129~226	126122	1	226
469	Polygon	215122	1415-28/37--208	1415-28/37--208~226	126122	1	226
470	Polygon	215123	1415-28/37--224	1415-28/37--224~226	126122	1	226
471	Polygon	215124	1415-28/37--227	1415-28/37--227~226	126122	1	226
472	Polygon	215125	1415-28/37--243	1415-28/37--243~226	126122	1	226
473	Polygon	214528	1415-28/29--261	1415-28/29--261~226	126122	1	226
474	Polygon	199054	3102-33/19W2--251	3102-33/19W2--251~226	129644	1	226
475	Polygon	199055	3102-33/19W2--252	3102-33/19W2--252~226	129644	1	226
476	Polygon	199059	3104-/2-282-372-08-258	3104-/2-282-372-08-258~226	129639	1	226
477	Polygon	235427	1330-29/18--699	1330-29/18--699~226	130026	1	226
478	Polygon	304867	3110-/2-274-377-09-312#1	3110-/2-274-377-09-312#1~226	121448	1	226
479	Polygon	298834	1211-29/39W2-B-131#1	1211-29/39W2-B-131#1~226	121107	1	226
480	Polygon	298835	1211-29/39W2-B-131#2	1211-29/39W2-B-131#2~226	121107	1	226
481	Polygon	295941	1327-29/35--249	1327-29/35--249~226	125141	1	226
482	Polygon	326795	1443-28/22--164#3	1443-28/22--164#3~226	126136	1	226
483	Polygon	327631	1329-28/30--238#1	1329-28/30--238#1~226	7580	1	226
484	Polygon	328808	1368-29/37--14#1	1368-29/37--14#1~226	121490	1	226
485	Polygon	327712	1242-20/38--59	1242-20/38--59~226	119899	1	226
486	Polygon	328709	1415-28/37--H1#5	1415-28/37--H1#5~226	126122	1	226
487	Polygon	328715	1212-29/54--822#2	1212-29/54--822#2~226	124768	1	226
488	Polygon	328964	1415-28/29--64#7	1415-28/29--64#7~226	126122	1	226
489	Polygon	327302	1411-28/30--52#1	1411-28/30--52#1~226	61265	1	226
490	Polygon	324774	1415-28/29--63#1	1415-28/29--63#1~226	126122	1	226
491	Polygon	318755	1328-28/16--372	1328-28/16--372~226	119899	1	226
492	Polygon	318102	3100-/2-296-373-09-139	3100-/2-296-373-09-139~226	10749	1	226
493	Polygon	319741	1411-28/30--103	1411-28/30--103~226	61265	1	226
494	Polygon	320020	1329-28/31--137	1329-28/31--137~226	7629	1	226
495	Polygon	320024	1329-28/31--355	1329-28/31--355~226	7629	1	226
496	Polygon	329476	1443-28/23--30#1	1443-28/23--30#1~226	39597	1	226
497	Polygon	329225	1415-28/37--H1#2	1415-28/37--H1#2~226	126122	1	226
498	Polygon	329226	1415-28/37--H1#3	1415-28/37--H1#3~226	126122	1	226
499	Polygon	329494	1415-28/29--55#1	1415-28/29--55#1~226	126122	1	226
500	Polygon	330884	1360-29/13--805	1360-29/13--805~226	79053	1	226
501	Polygon	330886	3110-/2-277-375-06-189#1	3110-/2-277-375-06-189#1~226	1780	1	226

502	Polygon	329744	3114-33/10W1--31#1	3114-33/10W1--31#1~226	124148	1	226
503	Polygon	315188	1329-28/31--166	1329-28/31--166~226	7629	1	226
504	Polygon	315189	1329-28/31--166	1329-28/31--166~226	7629	1	226
505	Polygon	334941	1322-28/39--255	1322-28/39--255~226	7629	1	226
506	Polygon	334691	1322-28/39--354	1322-28/39--354~226	7629	1	226
507	Polygon	333804	1329-28/16--148	1329-28/16--148~226	7629	1	226

### Πίνακας εντολών ταξινόμησης και υπολογισμού συντελεστή Kappa

