

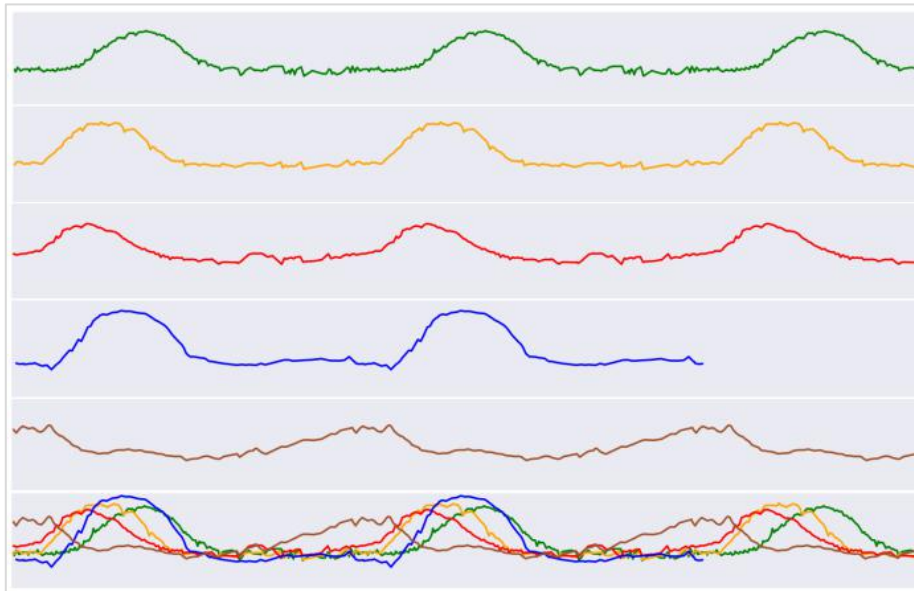


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Διαχρονική Παρακολούθηση Καλλιεργειών με
Δορυφορικά Δεδομένα Sentinel-2 και Ανάλυση
Χρονοσειρών



Διπλωματική Εργασία

Ουζούν Μεμέτ

Αθήνα, Ιούλιος 2020

Διπλωματική Εργασία

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....
Κωνσταντίνος Κεράντζαλος
Αν. Καθηγητής

.....
Βασιλεία Καραθανάση
Καθηγήτρια

.....
Μαρία Παπαδοπούλου
Καθηγήτρια



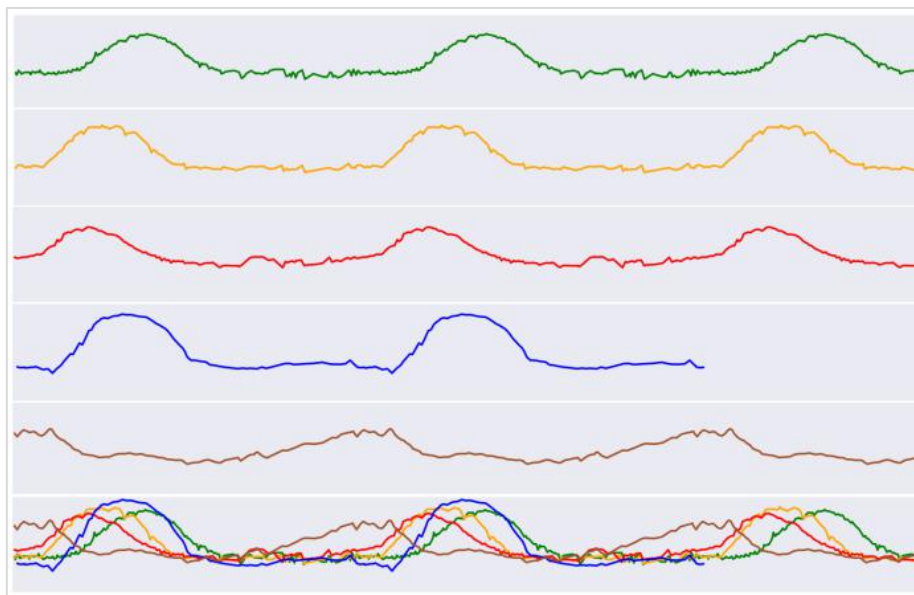
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING

Department of Topography

Laboratory of Remote Sensing

Crop Monitoring with Sentinel-2 Satellite Data and Time Series Analysis



Diploma Thesis

Ouzoun Memet

Athens, July 2020

Περίληψη

Τα δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης έχουν διευκολύνει την παρακολούθηση της βλάστησης και των καλλιεργειών σε μεγάλες εκτάσεις με χαμηλό κόστος. Με την κατάλληλη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων, υπάρχει η δυνατότητα ανίχνευσης και προσδιορισμού της συμπεριφοράς μιας καλλιέργειας, του είδους της και των μεταβολών στις χρήσεις γης στο χρόνο.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν και εφαρμόστηκαν μαθηματικά μοντέλα ανάλυσης χρονοσειρών σε δορυφορικά δεδομένα, με σκοπό την αναγνώριση του είδους των καλλιεργειών τηλεπισκοπικά. Η μελέτη αφορούσε τις εξής καλλιέργειες: βαμβάκι, καλαμπόκι, ηλίανθο, ρύζι, σιτάρι και μηδική. Ως περιοχή μελέτης ορίστηκαν 6 νομοί στη Βόρεια Ελλάδα και ο νομός Καρδίτσας, για τους οποίους τα δεδομένα ελέγχου είτε παραχωρήθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ (2017), είτε συλλέχθηκαν από το εργαστήριο τηλεπισκόπησης (2018, 2019).

Τα δορυφορικά δεδομένα που εξετάστηκαν, προήλθαν από τη δορυφορική αποστολή Sentinel 2, της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας. Η δορυφορική πληροφορία αξιοποιήθηκε για τον υπολογισμό του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI, ο οποίος απετέλεσε στη συνέχεια, το δεδομένο ανάλυσης. Η λήψη των απαραίτητων δεδομένων, για τε γεωτεμάχια ενδιαφέροντος, έγινε μέσω της πλατφόρμας Google Earth Engine, χωρίς να χρειαστεί οποιαδήποτε αποθήκευση εικόνων τοπικά. Η περίοδος μελέτης ορίστηκε από το μήνα Απρίλιο του 2017 έως το μήνα Νοεμβρίου του 2019, λόγω της διαθεσιμότητας του δορυφόρου σε ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες.

Από τη στατιστική ανάλυση του δείκτη NDVI με τη μέθοδο χρονοσειρών, εξάχθηκαν διαγράμματα παρατήρησης, εποχικότητας, τάσης και σφάλματος για διάφορες δοκιμές για το σύνολο των δεδομένων ή για δεδομένα ανά περιοχές. Από την παρατήρηση των διαγραμμάτων προέκυψαν πληροφορίες για φαινολογικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, όπως ο χρόνος έναρξης και μέγιστης ανάπτυξης των καλλιεργειών. Εν κατακλείδι, προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα δορυφορικά δεδομένα Sentinel 2 μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην αναγνώριση του είδους των καλλιεργειών με τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις.

Abstract

High spatial and temporal resolution satellite data to be reliable and affordable vegetation's and crops' monitoring in large areas. The suitable remote sensing techniques allow to detect the behavior and the kind of a crop, as well as changes in the land uses during the time.

This thesis aims to study the capabilities of recognition the type of vegetation by using remote sensing methods and satellite data as well as time series analysis models. The study was about the crops of cotton, corn, sunflower, rice, wheat and olive in the rural regions of northern Greece and Karditsa. Ground truth data were provided by the Agricultural Payments Agency (2017) and by Remote Sensing Laboratory of NTUA (2018, 2019).

The study, based on satellite observations from Copernicus Sentinel 2 mission of European Space Agency (ESA). Analysis data was the normalized vegetation index (NDVI). It is remarkable that the data was obtained through the Google Earth Engine platform, without any need to storage images locally. The study period was set between April 2017 and November 2019, depending on surface reflectance data availability.

The NDVI index analysed with timeseries method, in order to extract diagrams of observation, seasonality, trend and error about the whole data set or data by regions. Diagrams gave information about phenological characteristics of vegetation as the start time or the max growth time of crops. In conclusion, Sentinel 2 data and remote sensing techniques can contribute about the recognition of the type of crops.

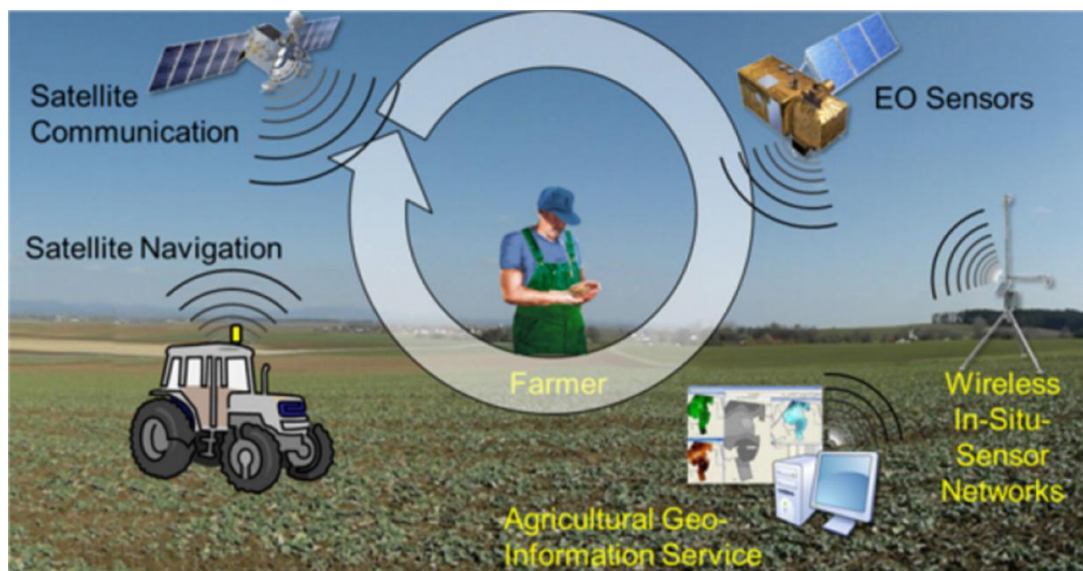
Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Κίνητρο και Στόχος.....	8
2 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	9
2.1 Ποιοτικές παράμετροι στις καλλιέργειες.....	9
2.2 Καλλιέργειες μελέτης.....	10
2.3 ΟΠΕΚΕΠΕ.....	14
2.4 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και περιβάλλον.....	14
2.5 Ανάλυση χρονοσειρών.....	19
3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	22
4 Μεθοδολογία.....	26
4.1 Περιοχή μελέτης.....	26
4.2 Δεδομένα ελέγχου.....	27
4.3 Δορυφορικά δεδομένα και δείκτες.....	29
5 Αποτελέσματα.....	33
5.1 Καλλιέργεια βαμβακιού.....	33
5.2 Καλλιέργεια καλαμποκιού.....	52
5.3 Καλλιέργεια ηλίανθου.....	63
5.4 Καλλιέργεια ρυζιού.....	74
5.5 Καλλιέργεια σιταριού.....	81
5.6 Καλλιέργεια μηδικής.....	90
6 Συμπεράσματα και προτάσεις.....	97
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	101

1 Εισαγωγή

Η ανάγκη παρακολούθησης της γης είναι καθοριστικής σημασίας λόγω της σημαντικής θέσης που κατέχει ο τομέας της γεωργίας στην κοινωνία και την οικονομία. Η σημασία των εφαρμογών τηλεπισκόπησης στον τομέα της γεωργίας είναι μεγάλη και αυξανόμενη λόγω αυτής της ανάγκης για παρακολούθηση .

Η δυνατότητα παρακολούθησης με μεθόδους τηλεπισκόπησης διευκολύνει και βελτιώνει πολλές διαδικασίες καθώς δίνει τη δυνατότητα για πιο συχνή και ευρεία παρακολούθηση. Μερικές εφαρμογές που υποστηρίζονται από την τηλεπισκόπηση και σχετίζονται με τη γεωργία είναι η αποτίμηση καταστροφών σε καλλιέργειες από φυσικά φαινόμενα ή ασθένειες, ο υπολογισμός βιομάζας, η αποτύπωση κάλυψης και χρήσης γης και η εξέταση της ποιότητας των καλλιεργειών και των αναγκών τους μέσω της ευφυούς γεωργίας και της γεωργίας ακριβείας.



Εικόνα 1: Παγκόσμιο σύστημα α παρατήρησης, πηγή: ESA_Multimedia/Images/2015

Δορυφορικά δεδομένα και μέθοδοι τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται ήδη από υπηρεσίες για σκοπούς ελέγχων και επιδοτήσεων χωρίς να χρειάζονται επιτόπου επισκέψεις στο σύνολο των αγροτικών περιοχών. Επίσης, η τεχνολογική εξέλιξη για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και η αύξηση των διαθέσιμων δεδομένων και εικόνων από δορυφορικές αποστολές όπως του Sentinel-2 του προγράμματος Copernicus, επιτρέπουν τη συνεχή και αυτοματοποιημένη παροχή αγροπεριβαλλοντικών πληροφοριών για αγροτεμάχια.

Ο στόχος της τηλεπισκόπησης είναι η ολοένα και αυξανόμενη συμβολή της στον τομέα της γεωργίας με την παροχή προϊόντων και υπηρεσιών που θα βελτιώνουν τις δραστηριότητες λήψης αποφάσεων των παραγωγών και των οργανισμών πληρωμών και θα ωθούν τους αγρότες στην εφαρμογή της ευφυούς γεωργίας. Για την επίτευξη του στόχου, χρειάζεται συνεχής

παρακολούθηση των διαθέσιμων δορυφορικών προϊόντων και σύγκρισή τους με επίγειες μετρήσεις ώστε να εξάγονται ασφαλείς παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

1.1 Κίνητρο και Στόχος

Κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας απετέλεσε η ανάγκη εξερεύνησης των δυνατοτήτων νέων ελεύθερα διαθέσιμων δορυφορικών δεδομένων και εργαλείων τηλεπισκόπησης για τον τομέα της γεωργίας. Εξετάστηκαν δεδομένα από την πρόσφατη δορυφορική αποστολή Sentinel 2, με τυπικό μέγεθος εικονοστοιχείου 10 km x 10 km, του προγράμματος Copernicus, της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας (ESA).

Η δυνατότητα που προσφέρουν οι δορυφορικές - τηλεπισκοπικές απεικονίσεις για ευρεία κάλυψη, καθιστούν τις μεθόδους που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα πιο ελκυστικές, λόγω της ευρείας ανάγκης παρακολούθησης της αγροτικής γης. Ο τομέας της γεωργίας αποτελεί έναν από τους κύριους τομείς της οικονομίας τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκόσμια καθώς και το σημαντικότερο τομέα της διατροφικής αλυσίδας.

Η εφαρμογή μεθόδων που βασίζονται σε συχνές λήψεις δορυφορικών δεδομένων, θα δώσουν τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων για θέματα χρήσης και κάλυψης γης με ελάχιστο οικονομικό κόστος, όπως επίσης της μετέπειτα δυνατότητας για εφαρμογές έξυπνων μεθόδων γεωργίας.

Στόχος της εργασίας ήταν η παραγωγή χρονοσειρών που αφορούσαν τις καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού, ηλίανθου, ρυζιού, σιταριού και μηδικής με χρήση δορυφορικών δεδομένων Sentinel 2. Επειδή ένας από τους στόχους της εργασίας ήταν η εξερεύνηση εργαλείων που είναι διαθέσιμα ελεύθερα για σκοπούς τηλεπισκόπησης, η λήψη των δορυφορικών δεδομένων έγινε μέσω της πλατφόρμας 'Google Earth Engine'. Τα απαραίτητα δορυφορικά δεδομένα αντλήθηκαν μέσω της πλατφόρμας, χωρίς να χρειαστεί να γίνει οποιαδήποτε λήψη εικόνων τοπικά.

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Ποιοτικές παράμετροι στις καλλιέργειες

Χλωροφύλλη

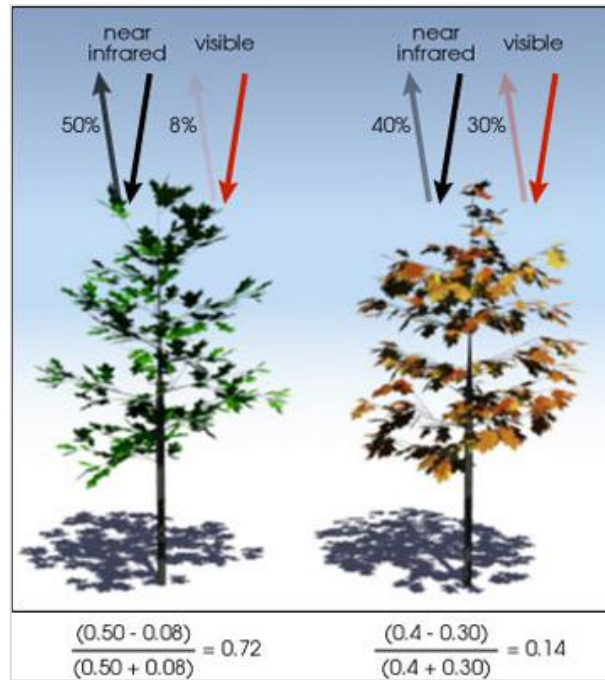
Η χλωροφύλλη χαρακτηρίζει μια ολόκληρη ομάδα χρωστικών ουσιών, στην οποία οφείλεται το πράσινο χρώμα των φυτών. Εντοπίζεται σε οποιοδήποτε σημείο του φυτού που βρίσκεται εκτεθειμένο στο ηλιακό φως και περιέχεται στους χλωροπλάστες.

Λειτουργικά η χλωροφύλλη χρησιμεύει στην απορρόφηση ηλιακής ενέργειας για την επιτέλεση της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης, μετατρέποντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε χημική ενέργεια. Υπάρχουν δύο τύποι χλωροφύλλης, η χλωροφύλλη Α και η χλωροφύλλη Β. Η χλωροφύλλη Α, παράγει οξυγόνο και έχει κυανοπράσινο χρώμα σε διάλυμα και κυανόμαυρο σε στερεά κατάσταση. Η χλωροφύλλη Β, απαντάται σε ανώτερα φυτά και πράσινα φύκη και είναι κιτρινοπράσινη σε διάλυμα και πρασινομαύρη σε στερεά κατάσταση. Η χλωροφύλλη Α, απορροφά το κόκκινο χρώμα και η χλωροφύλλη Β το ιώδες.

Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης - NDVI

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI αναπτύχθηκε το 1974 από τον Rouge και την ομάδα του. Πρωτοεφαρμόστηκε με τα ψηφιακά τηλεπισκοπικά δεδομένα Landsat MSS και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως, παραμένοντας ένας από τους σημαντικότερους δείκτες της τηλεπισκόπησης. Προκύπτει από τον κανονικοποιημένο λόγο της τιμής στο εγγύς υπέρυθρο προς την τιμή στο ερυθρό τμήμα του φάσματος.

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



Εικόνα 1: Παράδειγμα εφαρμογής του δείκτη NDVI

Οι τιμές που λαμβάνει είναι από -1 έως το 1. Όσο ο δείκτης πλησιάζει την τιμή -1 υποδηλώνει την ύπαρξη νερού, το 0 υποδηλώνει καθόλου βλάστηση ή χιόνι και το 1 υποδηλώνει πλούσια βλάστηση. Λόγω της ιδιότητας της χλωροφύλλης να ανακλά έντονα την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία και να απορροφά την ακτινοβολία στο ερυθρό τμήμα του φάσματος, ο δείκτης NDVI δίνει πληροφορία για την αφθονία της πράσινης βλάστησης. Όσο πιο υγιές είναι ένα πράσινο φυτό, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η τιμή του δείκτη.

Ο δείκτης NDVI είναι ένας σημαντικός δείκτης βλάστησης γιατί περιγράφει πολλές ιδιότητες των φυτών όπως, την ανάπτυξη τους, τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας τους, την εκτίμηση της πράσινης βιομάζας και την απόδοση των καλλιεργειών. Ωστόσο, πέρα από τα θετικά, έχει και κάποιες αδυναμίες. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν το λόγο του δείκτη όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα, επίσης παρουσιάζει δείγματα κορεσμού σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης καθώς τα φυτά καλύπτουν το έδαφος από την κάτοψη.

2.2 Καλλιέργειες μελέτης

Βαμβάκι

Το βαμβάκι είναι από τα πιο κοινά καλλιεργούμενα φυτά και το ύψος του φτάνει το 1,5 μέτρο στην Ελλάδα. Τα φύλλα του είναι με μίσχο, μεγάλα και με έλασμα. Αν και τα είδη που υπάρχουν είναι τέσσερα, στην Ελλάδα καλλιεργείτε μόνο το Αδρότριχο Βαμβάκι ή Χνουδωτό βαμβάκι. Το είδος αυτό είναι πολυετές αλλά στην Ελλάδα καλλιεργείται ως μονοετές γιατί δεν επιβιώνει σε κρύο χειμώνα. Η παραγωγή του δεν επηρεάζεται εάν φυτεύεται για πολλά χρόνια στο ίδιο χωράφι. Η σωστή ανάπτυξή του απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες και συχνές βροχοπτώσεις όχι μεγάλης έντασης. Η κατάλληλη εποχή για την σπορά είναι από τον Απρίλιο έως τα

μέσα Μαΐου. Η συγκομιδή του ξεκινάει μέσα Σεπτεμβρίου και ολοκληρώνεται στα τέλη Οκτωβρίου.



Εικόνα 2: Καλλιέργεια βαμβακιού, πηγή:<https://agrot.es.eu>, <https://2.bp.blogspot.com>, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα

Καλαμπόκι

Το καλαμπόκι ή αραβόσιτος είναι μια καλλιέργεια διαδεδομένη παγκοσμίως. Κατάγεται από την Αμερικάνικη ήπειρο. Έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με άλλα καλλιεργούμενα σιτηρά όπως το σιτάρι, το κριθάρι, το ρύζι και άλλα. Το ύψος του φτάνει τα 2 με 2,5 μέτρα και έχει στενά και μακριά φύλλα σε σχήμα σπαθιού. Τα είδη καλαμποκιού κατατάσσονται σε 7 κατηγορίες, όπου κάθε κατηγορία έχει διαφορετική χρήση. Οι κατηγορίες αυτές είναι το σκληρό, το οδοντωτό, το αλευρώδες, το σακχαρώδες, το κηρώδες, το μικρό και το ντυμένο. Την περίοδο της άνθησης του, μέχρι και την αύξηση των καρπών του χρειάζεται τακτικό πότισμα και αρκετή ποσότητα νερού για να έχει μεγάλη ανάπτυξη και πλούσια παραγωγή. Η κατάλληλη εποχή για την σπορά του καλαμποκιού είναι την άνοιξη. Οι ημέρες συγκομιδής του, διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία του σπόρου. Ανάλογα με την ωρίμανση του κάθε είδους, ο χρόνος συγκομιδής κυμαίνεται από τις 60 μέχρι τις 120 ημέρες από την ημέρα φύτευσης του.



Εικόνα 3: Καλλιέργεια καλαμποκιού, πηγή:<https://www.serresparatiritis.gr>, <https://blog.farmacon.gr/>, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα

Ηλιάνθος

Ο ηλιάνθος είναι μια από τις πιο σημαντικές ελαιοδοτικές καλλιέργειες στον κόσμο. Κυρίως καλλιεργείται για το λάδι του σε πολλές χώρες, λόγω των χαμηλών καλλιεργητικών απαιτήσεων του, αλλά τα τελευταία χρόνια καλλιεργείται και για καύσιμη ύλη με την μορφή βιομάζας. Έχει μεγάλο ύψος και τα φύλλα του είναι μεγάλα, πλατιά, ωσειδή, τριχωτά και

οδοντωτά στην περιφέρεια. Σε κάθε φυτό υπάρχουν 20 με 30 φύλλα. Στην Ελλάδα ο ηλιάνθος, καλλιεργείται κυρίως στην Ανατολική Μακεδονία και στην Θράκη. Μπορεί να καλλιεργηθεί σαν ξερική καλλιέργεια αλλά εάν καλλιεργηθεί σαν ποτιστική η παραγωγή διπλασιάζεται. Η πιο κατάλληλη εποχή σποράς είναι μετά τα μέσα Μαρτίου έως τα τέλη Απριλίου. Συνήθως ο αλωνισμός γίνεται τουλάχιστον όταν τα 3/4 των φύλλων έχουν ξεραθεί, όμως σε ειδικές χρήσεις ο αλωνισμός γίνεται προτού αρχίσει να ξηραίνεται το φυτό.



Εικόνα 4: Καλλιέργεια ηλιάνθου, πηγή:<https://blog.farmacon.gr>, <https://www.syngenta.gr/>, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα

Ρύζι

Το ρύζι είναι ένα από τα βασικά διατροφικά είδη της ανθρωπότητας. Η κατ' ύψος ανάπτυξή του είναι περίπου στο 1 μέτρο. Έχει μακριά λεία φύλλα με πλάτος 2 εκατοστών. Η καταγωγή του προέρχεται από την τροπική και υποτροπική Νότια Ασία και την Αφρική. Τα τελευταία χρόνια την καλλιέργεια ρυζιού την συναντάμε και στην Ελλάδα, κυρίως στους νομούς Θεσσαλονίκης, Σερρών, Έβρου Φθιώτιδας και Αιτωλοακαρνανίας. Λόγω των τεράστιων απαιτήσεων της καλλιέργειας σε νερό, το ρύζι καλλιεργείται σε κατάλληλα διαμορφωμένες λεκάνες, σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε υγρά τοπους, στα δέλτα των ποταμών και σε περιοχές κοντά σε λίμνες. Οι περίοδοι με τις μεγαλύτερες ανάγκες του ρυζιού σε νερό είναι κατά το φύτεμα και την άνθησή του. Η εποχή σποράς στην Ελλάδα γίνεται τις πρώτες εβδομάδες του Μαΐου και η συγκομιδή διενεργείται τις τελευταίες μέρες Σεπτεμβρίου με αρχές Οκτωβρίου.



Εικόνα 5: Καλλιέργεια ρυζιού, πηγή:<https://agroecosystem.gr>, <https://s.nbst.gr>, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα

Σιτάρι

Το σιτάρι είναι από τα πρώτα φυτά τα οποία καλλιέργησε ο άνθρωπος. Τα φύλλα του είναι στενά και στο στάδιο της ανάπτυξης έχουν χρώμα κυανοπράσινο ενώ κατά την ωρίμανση αποκτούν το κίτρινο χρώμα. Καλλιεργούνται δύο είδη σιταριού, το σκληρό και το μαλακό σιτάρι. Στην Ελλάδα σπέρνεται αποκλειστικά κατά το Φθινόπωρο-Χειμώνα. Υπάρχουν οι πρώιμες σπορές που γίνονται από 15 Οκτωβρίου μέχρι 15 Νοεμβρίου, οι όψιμες σπορές που είναι από 15 Νοεμβρίου μέχρι 15 Δεκεμβρίου και οι πολύ όψιμες σπορές από 15 Δεκεμβρίου μέχρι 15 Ιανουαρίου. Η συγκομιδή γίνεται τους πρώτους μήνες του καλοκαιριού. Ιδανικό κλίμα για το σιτάρι υπάρχει σε μέρη που επικρατούν αρκετές βροχοπτώσεις την άνοιξη ώστε το φυτό να έχει επαρκή ποσότητα νερού τόσο κατά τη βλάστηση όσο και κατά τη φύτευση των σπόρων.



Εικόνα 6: Καλλιέργεια σιταριού, πηγή:<https://www.usay.gr>

Μηδική

Η μηδική (τριφύλλι) καλλιεργείται κυρίως ως φυτό ζωοτροφής. Τα φύλλα του είναι σύνθετα στη κεφαλή με τρία φυλλαράκια. Καλλιεργείται για την παραγωγή σανού ή χλωρού χόρτου και είναι γευστικό και θρεπτικό για τα ζώα. Μεγαλώνει ελεύθερα, ξαναφυτρώνοντας έπειτα από επαναλαμβανόμενους θερισμούς. Οι ευνοϊκοί παράγοντες για την καλύτερη παραγωγή της μηδικής είναι ψηλές θερμοκρασίες και αρκετό νερό. Η σπορά της μηδικής σε περιοχές με ήπιο χειμώνα μπορεί να γίνει και το φθινόπωρο, ενώ σε περιοχές με ψυχρό χειμώνα γίνεται μόνο την άνοιξη. Η σπορά της μηδικής γίνεται με το χέρι στα πεταχτά ή με σπαρτική μηχανή. Η κοπή της μηδικής γίνεται όταν φτάσει περίπου τα 30 εκατοστά. Μπορεί να γίνουν έως έξι με επτά κοπές το χρόνο χωρίς να χρειαστεί να ξαναφυτευτεί.



Εικόνα 7: Καλλιέργεια μηδικής, πηγή:<https://agrotikistegi.gr>, <https://blog.farmacon.gr>, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα

2.3 ΟΠΕΚΕΠΕ

Ο Οργανισμός Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ) είναι ο Ελληνικός Οργανισμός πληρωμών των κοινοτικών ενισχύσεων που λειτουργεί από το 2001 υπέρ του δημοσίου συμφέροντος και εποπτεύεται από τον Υπουργό Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Ο ΟΠΕΚΕΠΕ είναι ο οργανισμός που ελέγχει και ελέγχεται προκειμένου να κατανεμηθούν δίκαια, σωστά και έννομα περίπου 3 δισεκατομμύρια ευρώ ανά έτος αγροτικών ενισχύσεων που χορηγούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στον γεωργικό τομέα. Κάθε έτος, ο δικαιούχος υποχρεούται να ενημερώνει την αρμόδια περιφερειακή υπηρεσία του ΟΠΕΚΕΠΕ για το είδος, την έκταση και το που βρίσκεται η καλλιέργεια που θα καλύπτει για το επόμενο έτος εφαρμογής. Ο οργανισμός ελέγχει επιτόπου τυχαία κατά τη διάρκεια του χρόνου για επαλήθευση των δηλώσεων. Στις περιπτώσεις που οι δηλώσεις δεν ευσταθούν υπάρχουν κυρώσεις στους αγρότες σε σχέση με τις επιδοτήσεις.

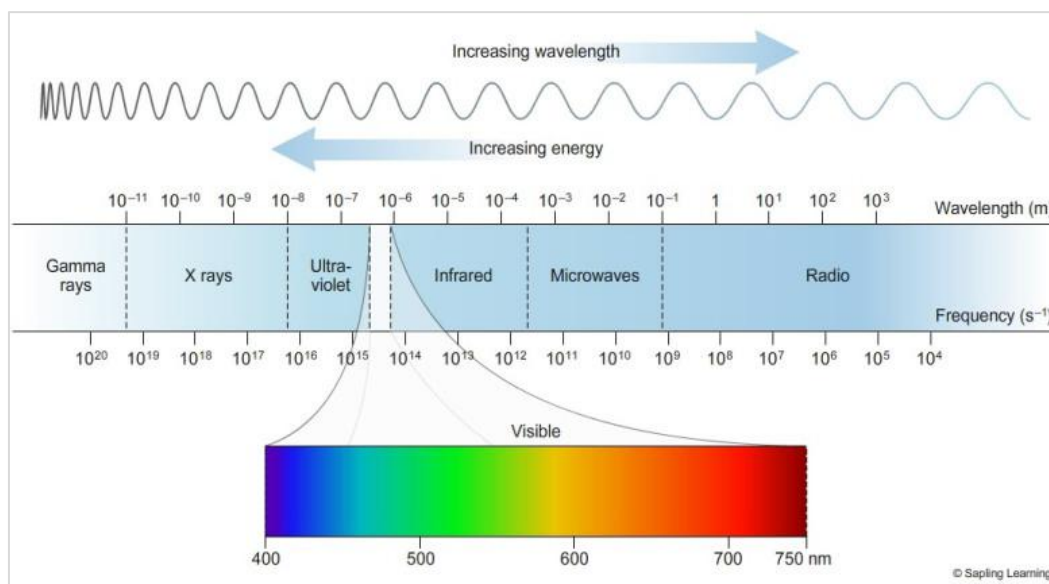
Τα δεδομένα που προέκυψαν από τους επιτόπου ελέγχους του οργανισμού, τις χρονολογίες 2016 μέχρι 2019 θα αξιοποιηθούν στην παρούσα εργασία ως πρωτογενή δεδομένα.

2.4 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και περιβάλλον

Η τηλεπισκόπηση ορίστηκε επισήμως από την Αμερικανική Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ASPRS - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) ως εξής: “Η μέτρηση ή συλλογή πληροφοριών για κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου ή φαινομένου μέσω κάποιου οργάνου καταγραφής το οποίο δε βρίσκεται σε άμεση επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο ” (Colwell, 1983). Συνδυάζεται αρμονικά με άλλες επιστήμες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γεωεπιστήμες) που περιλαμβάνουν τη χαρτογραφία, την τοπογραφία και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) (Jensen 2007).

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης βασίζεται στη συμπεριφορά που έχουν τα υλικά να απορροφούν και να ανακλούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δέχονται. Αυτή η συμπεριφορά των υλικών, περιγράφεται από τη

φασματική τους υπογραφή. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται, έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν πληροφορία σε μεγάλο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, πέρα από το ορατό φάσμα που είναι μεταξύ 350-700 nm. Χρησιμοποιούνται ενεργητικοί ή παθητικοί δέκτες. Οι ενεργητικοί δέκτες είναι οι δέκτες που εκπέμπουν ακτινοβολία προς το στόχο για να μετρήσουν, ενώ οι παθητικοί χρησιμοποιούν την ηλιακή κυρίως ακτινοβολία.



Εικόνα 8: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Οι εφαρμογές της ψηφιακής τηλεπισκόπησης εμπλουτίζονται όλο και περισσότερο λόγω της δυνατότητας για περισσότερες δορυφορικές αποστολές καθώς και λήψεις φωτογραφιών από drones ή άλλα εναέρια μέσα. Μέσω της τηλεπισκόπησης, υπάρχει δυνατότητα για συστηματική παρακολούθηση θεμάτων που αφορούν το περιβάλλον ή για αντιμετώπιση ραγδαίων περιβαλλοντικών μεταβολών. Σημαντικές εφαρμογές που υλοποιούνται, αφορούν την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων και της ατμόσφαιρας, την παρακολούθηση αγροτικών περιοχών για εφαρμογή γεωργίας ακριβείας, τη μελέτη χρήσεων γης, τη χαρτογράφηση περιοχών για σκοπούς γεωλογίας, την καταγραφή μεταβολών της ακτογραμμής. Όσον αφορά ραγδαίες περιβαλλοντικές μεταβολές, συμβάλλει στην χαρτογράφηση πλημμυρών και πυρκαγιών και στην καταγραφή των επιπτώσεών τους.

Η δυνατότητα της διαχρονικής παρακολούθησης καθώς και της ενιαίας αντίληψης που προσφέρει για το περιβάλλον η ψηφιακή τηλεπισκόπηση, δίνει το πλεονέκτημα της παρακολούθησης των διαχρονικών αλλαγών και του καθορισμού των μελλοντικών δράσεων για την προστασία και διαχείριση του περιβάλλοντος, όπως επίσης και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κρίσεων.



Εικόνα 9: Εφαρμογές της τηλεπισκόπησης, πηγή:ISRO

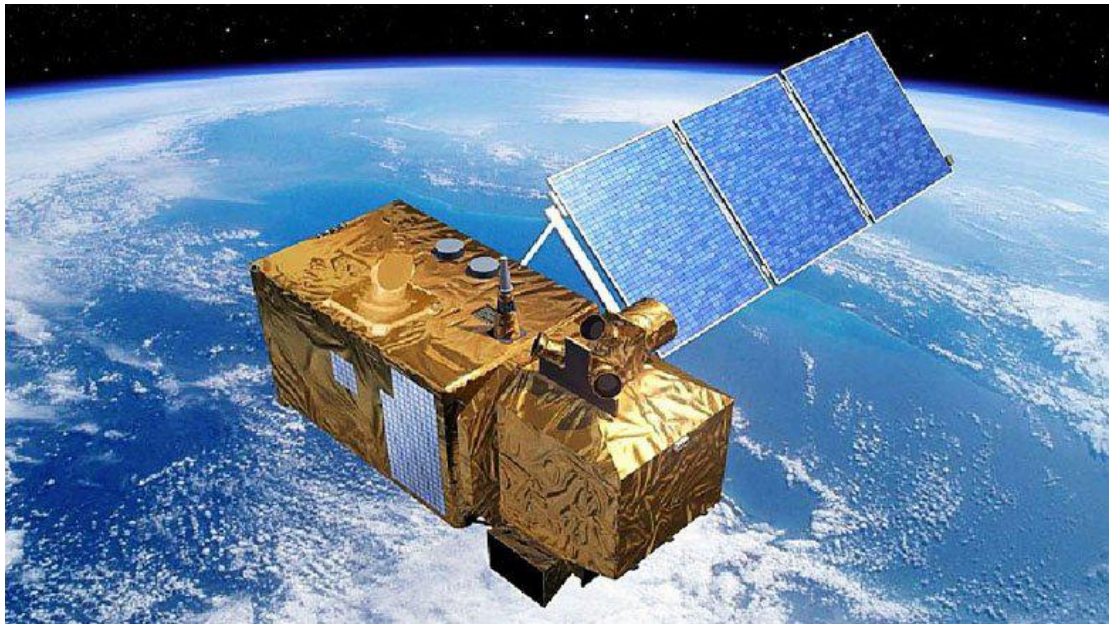
Οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης προσφέρουν πολλές νέες δυνατότητες, ωστόσο εμπεριέχουν αβεβαιότητες και περιορισμούς. Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών των μεθόδων.

- + Η παθητική τηλεπισκόπηση δεν είναι παρεμβατική αφού ο δέκτης απλώς καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ανακλά ή εκπέμπει το υπό εξέταση αντικείμενο ή φαινόμενο, έτσι δεν το επηρεάζει.
- + Επειδή τα όργανα τηλεπισκόπησης είναι συχνά προγραμματισμένα να συλλέγουν δεδομένα με συστηματικό τρόπο εξαλείφεται το δειγματοληπτικό σφάλμα.
- + Είναι συχνά πιο οικονομικός τρόπος συλλογής δεδομένων.
- + Υπάρχει δυνατότητα συνεχών μετρήσεων και σύγκρισής τους, χωρίς επιπλέον κόστος.
- Ισχυρά ενεργητικά συστήματα αισθητήρων τηλεπισκόπησης που εκπέμπουν τα ίδια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να αποδειχθούν παρεμβατικά και να επηρεάσουν το υπό εξέταση αντικείμενο ή φαινόμενο.
- Υπάρχει το ενδεχόμενο ανθρώπινου λάθους κατά τον καθορισμό των διαφόρων παραμέτρων για τα όργανα.
- Υπάρχει το ενδεχόμενο ανθρώπινου λάθους κατά τις εργασίες παρατήρησης και επεξεργασίας των δεδομένων.

- Στα όργανα τηλεπισκόπησης συχνά χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης και το αποτέλεσμα είναι μη βαθμονομημένα δεδομένα τηλεπισκόπησης.

Δορυφορική αποστολή Sentinel-2

Οι δορυφόροι Sentinel-2 είναι Ευρωπαϊκοί δορυφόροι οπτικής απεικόνισης του προγράμματος Copernicus του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA). Ο κύριος σκοπός της δημιουργίας τους είναι για την παρακολούθηση εκτάκτων αναγκών, ανίχνευση αλλαγών στη γήινη επιφάνεια και διαχείριση καταστροφών (σεισμοί, πλημμύρες κ.α). Επίσης μας δίνετε η δυνατότητα να παρακολουθούμε την βλάστηση και την ποιότητα υδάτων.



Οι δορυφόροι Sentinel-2 αποτελούνται από δύο πανομοιότυπους δορυφόρους, τον Sentinel-2A και Sentinel-2B. Ο Sentinel-2A τέθηκε σε τροχιά το 2015 και ο Sentinel-2B το 2017. Η απόσταση τους από την επιφάνεια της γης είναι 786 χιλιόμετρα και διάρκεια ζωής τους έχει σχεδιαστεί στα 7 χρόνια. Ο αισθητήρας του Sentinel-2 έχει την δυνατότητα να καταγράφει την ακτινοβολία σε 13 φασματικά κανάλια, γεγονός που του προσδίδει καλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα. Τα κανάλια του καλύπτουν μεγάλο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τα 443nm έως τα 2200nm. Τα τέσσερα κανάλια εξ αυτών έχουν διακριτική ικανότητα 10 μέτρων και αυτά είναι τα B2 (μπλε), B3 (πράσινο), B4 (κόκκινο) και B8 (εγγύς υπέρυθρο). Τα έξι κανάλια που έχουν διακριτική ικανότητα 20 μέτρων είναι τα B5, B6, B7 (ακμές κόκκινου) , B8a (εγγύς υπέρυθρο), B11, B12 (μικροκυματικό υπέρυθρο - SWIR). Τέλος τα τρία κανάλια των 60 μέτρων είναι τα B1, B9, B10 (κανάλια ατμοσφαιρικής διόρθωσης).

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

Οι Sentinel είναι προϊόντα συνεργασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Διαστήματος (European Space Agency - ESA), μιας κοινοπραξίας 60 εταιριών με επικεφαλής την Airbus Defense and Space και υποστηρίζονται από το Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών (Centre National d'udes Spatiales - CNES) της Γαλλίας και το Γερμανικό κεντρο Διαστημικής DLR, για την βελτιστοποίηση των καλύψεων της γήινης επιφάνειας.

Google Earth Engine

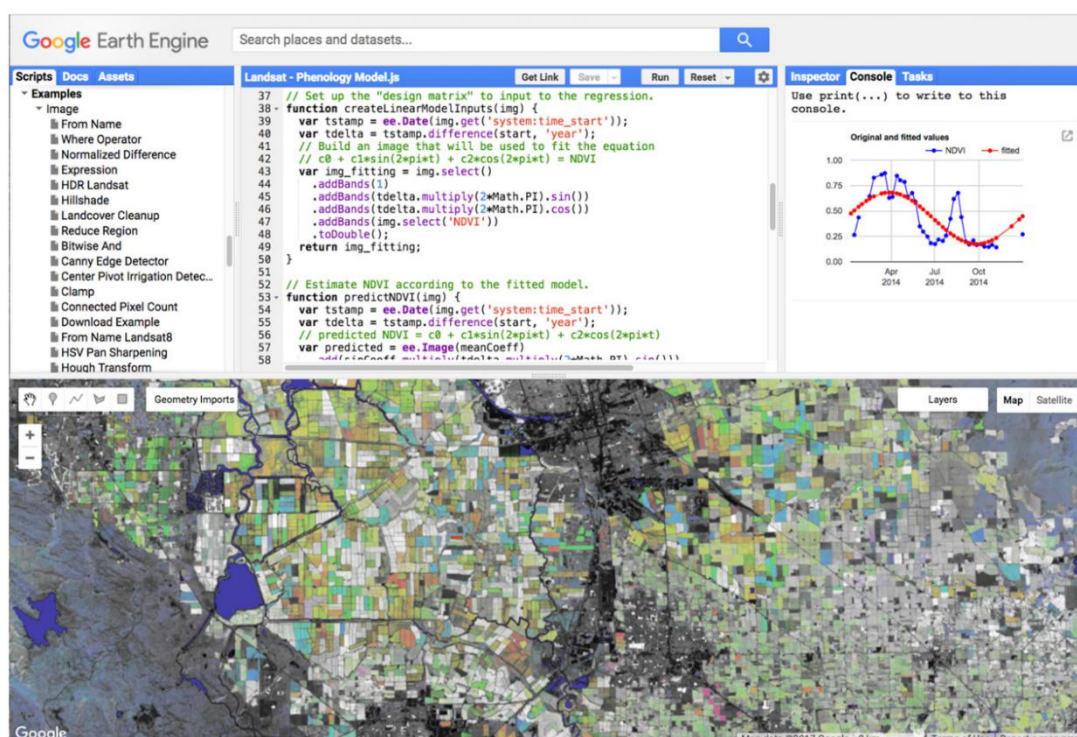
Το Google Earth Engine (GEE) αποτελεί μια πλατφόρμα βασισμένη σε τεχνολογίες υπολογιστικού νέφους. Η διάθεση των υπολογιστικών πόρων πραγματοποιείτε μέσω του διαδικτύου από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τον τελικό χρήστη. Τα συστήματα αυτά, εξυπηρετούν τον χρήστη αυτοματοποιώντας διαδικασίες και παρέχοντας ευκολίες και ευελιξία σύνδεσης.

Η γεωγραφική κάλυψη των χωρικών δεδομένων είναι παγκόσμιας κάλυψης και περιλαμβάνει πολλά δημοφιλή προγράμματα παροχής δεδομένων. Ορισμένα από αυτά είναι τα δεδομένα του Copernicus, τα δεδομένα των πολυφασματικών δίδυμων δορυφόρων Sentinel 2 (E.S.A), τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel 1 (E.S.A), αλλά και δεδομένα των παλαιότερων προγραμμάτων παροχής δεδομένων Landsat (N.A.S.A).

Το εγχείρημα αυτό συνδυάζει την υψηλού επιπέδου τεχνολογία και υπολογιστική ικανότητα των συστημάτων της Google με τα διαθέσιμα τηλεπισκοπικά δεδομένα, για την εξυπηρέτηση σοβαρών ζητημάτων όπως

η κλιματική αλλαγή και η προστασία του περιβάλλοντος, οι φυσικές καταστροφές, η παρακολούθηση της πρωτογενούς παραγωγής κ.α.

Το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων του GEE, είναι της τάξης των πολλαπλών petabyte και παρέχεται στους χρήστες με μία υψηλής απόδοσης παραλληλοποιημένη υπηρεσία. Η πρόσβαση των χρηστών στην υπηρεσία, γίνεται είτε μέσω Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογών (API), στις γλώσσες προγραμματισμού JavaScript ή Python, είτε με τη χρήση ενός διαδικτυακού περιβάλλοντος ανάπτυξης (IDE) στη γλώσσα προγραμματισμού JavaScript. Στη δεύτερη περίπτωση, επιτρέπεται και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας που υλοποιήθηκε από τον χρήστη.



Εικόνα 10: Στιγμιότυπο από την πλατφόρμα GEE

Οι χρήστες μπορούν να πραγματοποιήσουν χωρικά ή μη ερωτήματα (queries) και λειτουργίες με βάση περισσότερες από 800 βιβλιοθήκες και συναρτήσεις, που κυμαίνονται από απλές μαθηματικές συναρτήσεις έως τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης και επεξεργασίας εικόνας. Οι βιβλιοθήκες διευκολύνουν την χρήση λειτουργιών μεταξύ εικόνων χρησιμοποιώντας μια μορφή άλγεβρας εικόνας και υποστηρίζουν συναρτήσεις υψηλότερης τάξης, όπως η `map()` και `iterate()` που επιτρέπουν την εφαρμογή συναρτήσεων των χρηστών σε συλλογές εικόνων.

2.5 Ανάλυση χρονοσειρών

Χρονοσειρά είναι το σύνολο παρατηρήσεων με καθορισμένη διάταξη ως προς το χρόνο που παρουσιάζονται συνήθως με γραφήματα. Αυτές οι παρατηρήσεις μπορεί να είναι εβδομαδιαίες, μηνιαίες ή ετήσιες. Στόχος της ανάλυσης χρονοσειρών μιας μεταβλητής, είναι η πρόβλεψη της

μελλοντικής της συμπεριφοράς. Δηλαδή, με βάση την πληροφορία από το παρελθόν, γίνεται πρόβλεψη για τις μελλοντικές τιμές της μεταβλητής. Πρόκειται για μια στοχαστική διαδικασία, αφού οι τιμές του μεγέθους επηρεάζονται από τυχαίους παράγοντες, ενώ η τιμή κάθε χρονικής στιγμής συνιστά και μια ξεχωριστή τυχαία μεταβλητή. Οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται σε πολλούς κλάδους όπως στην οικονομία, την ιατρική, τη στατιστική και σε οποιοδήποτε τομέα των εφαρμοσμένων επιστημών και της μηχανικής που περιλαμβάνουν μετρήσεις σε μήκος χρόνου.

Μια χρονοσειρά αναλύεται σε τέσσερις βασικές συνιστώσες: την εποχικότητα (seasonality), την τάση (trend), την τυχειότητα (random) και την κυκλικότητα (circularity). Δεν είναι απαραίτητο να συνυπάρχουν και οι τέσσερις συνιστώσες. Συνήθως, όπως και στην περίπτωση αυτής της εργασίας, χρησιμοποιούνται οι πρώτες τρεις συνιστώσες. Αυτές οι συνιστώσες επεξηγούνται ακολούθως.

Εποχικότητα (seasonality) ορίζεται ως ένα μοτίβο διακύμανσης που παρουσιάζει η χρονοσειρά και επαναλαμβάνεται ανά τακτές χρονικές περιόδους με σταθερή διακύμανση και κυκλική κύμανση. Σε πολλές περιπτώσεις η διακύμανση είναι προβλέψιμη, διότι τα δεδομένα ορισμένων χρονοσειρών επαναλαμβάνονται με τον ίδιο περίπου τρόπο σε σχέση με το χρόνο. Για παράδειγμα η άνθηση του βαμβακιού που γίνεται πάντα προς το τέλος του καλοκαιριού, έχει διάγραμμα εποχικότητας εύκολα οπτικά αναγνωρίσιμο από το συστηματικό τρόπο που παρουσιάζει η διακύμανσή του.

Η τάση (trend) είναι απαλλαγμένες τιμές από την εποχικότητα, που περιγράφει την μεταβολή στις τιμές μιας χρονοσειράς. Η τάση των τιμών μπορεί να είναι ανοδική, φθίνουσα ή μηδενική. Προκύπτει από ιστορικά δεδομένα που έχουν δοθεί και με αυτό το τρόπο η καμπύλη τάσης προβλέπει την μελλοντική πορεία των τιμών της χρονοσειράς.

Τυχειότητα (random or outlier) ή μη συστηματική συνιστώσα (θόρυβος), είναι οι απομονωμένες τιμές που εμφανίζονται με απότομες αλλαγές στο πρότυπο συμπεριφοράς του γραφήματος λόγω των τυχαίων γεγονότων ή των λανθασμένων μετρήσεων. Οι τιμές αυτές δεν πρέπει να συμπεριλαμβάνονται για την διαμόρφωση των μελλοντικών τιμών. Αυτές οι τιμές δεν προσδιορίζονται από την εποχικότητα, την τάση και την κυκλικότητα. Μερικές φορές χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή διότι μπορεί να οφείλονται σε κάποιο απρόβλεπτο γεγονός.

Οι χρονοσειρές αναπαρίστανται με βάση μαθηματικά μοντέλα. Υπάρχουν δύο βασικά μοντέλα αναπαράστασης χρονοσειρών, το προσθετικό (additive) και το πολλαπλασιαστικό (multiplicative).

$$Y(t) = S(t) + T(t) + E(t)$$

$$Y(t) = S(t) * T(t) * E(t)$$

$Y(t)$ είναι η τιμή της χρονοσειράς την χρονική στιγμή t

$S(t)$ είναι η τιμή της εποχικής συνιστώσας την χρονική στιγμή t

$T(t)$ είναι η τιμή της τάσης την χρονική στιγμή t

$E(t)$ είναι η τιμή του θορύβου την χρονική στιγμή t

Το προσθετικό μοντέλο προκύπτει από το άθροισμα των συνιστωσών και χρησιμοποιείται όταν οι συνιστώσες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Επομένως μια αύξηση της συνιστώσας της τάσης δεν προκαλεί ανάλογη αύξηση στη συνιστώσα της εποχικότητας. Αυτό το μοντέλο έχει χρήση σε περιπτώσεις με σταθερές διακυμάνσεις, όπως για παράδειγμα τα φυσικά φαινόμενα.

Το πολλαπλασιαστικό μοντέλο προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των συνιστωσών, οπότε υποδεικνύει ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Η χρήση του μοντέλου είναι ευρεία, ειδικά σε περιπτώσεις πρόβλεψης οικονομικών δεδομένων, στα οποία συνήθως η διακύμανση της τάσης προκαλεί ανάλογες διακυμάνσεις στην εποχικότητα.

3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η παρακολούθηση της γεωργίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων αποτελεί ένα αρκετά δύσκολο αντικείμενο, διότι οι αλλαγές στην επιφάνεια της γης και των αγροτεμαχίων συμβαίνουν γρηγορότερα σε σύγκριση με τη συχνότητα λήψης δεδομένων χωρίς νεφοκάλυψη των δορυφόρων (Roy et al., 2020). Οι δείκτες βλάστησης και η εξέλιξη τους στο χρόνο παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση με τα στάδια ανάπτυξης και τη φαινολογία του φυτού. Η ανάλυση τέτοιου είδους χρονοσειρών δύναται να εξάγει σημαντικά συμπεράσματα για τέτοιου είδους παραμέτρους. Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί από ερευνητές παγκοσμίως σχετικά με την ανάλυση δεδομένων χρονοσειρών σε καλλιέργειες. Η βάση των περισσότερων από αυτές τις έρευνες είναι η αξιοποίηση φασματικών δεικτών και όχι η απευθείας χρήση δεδομένων κάποιου καναλιού, καθώς οι τιμές των δεικτών φαίνεται να εμπεριέχουν χρήσιμη πληροφορία για διάφορα χαρακτηριστικά του φυτού.

Ο πιο δημοφιλής φασματικός δείκτης για τον χαρακτηρισμό της φαινολογίας είναι ο δείκτης NDVI (Tucker, 1979, Rouse, 1973), ενώ δείκτες που ακολουθούν σε συχνότητα είναι ο EVI (Huete et al. (1999) και ο LAI (Watson (1947). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις μέγιστες τιμές που λαμβάνει ένας δείκτης στη διάσταση του χρόνου. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των μέγιστων τιμών των δεικτών είναι ότι παρουσιάζουν μειωμένη επίδραση της ατμόσφαιρας (Martínez and Gilabert, 2009). Για αυτό το λόγο, αποτελεί συνήθης πρακτική να λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές μιας χρονοσειράς κάποιου δείκτη, ανά κάποια ορισμένη χρονική περίοδο, εν είδη μείωσης του θορύβου. Η πρακτική αυτή τείνει να έχει καλύτερα αποτελέσματα όταν τα υπάρχοντα δεδομένα έχουν μεγάλη χρονική ανάλυση, ιδιαίτερα για περιοχές που παρουσιάζουν συχνή νεφοκάλυψη.

Τόσο η χρονική ανάλυση όσο και η χωρική ανάλυση των δεδομένων μιας χρονοσειράς, είναι καθοριστικοί παράμετροι που απασχόλησαν τις μελέτες φαινολογίας. Στο παρελθόν, οι τιμές του NDVI εξάγονταν από όργανα όπως Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) με χωρική ανάλυση από 1km έως 8km. Στη συνέχεια από αισθητήρες με καλύτερη χωρική ανάλυση όπως ο Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS), από 250m έως 1000m. Εντούτοις, ο αισθητήρας AVHRR (από το 1981) συνεχίζει να είναι καταλληλότερος για μελέτες μεγάλου χρονικού ορίζοντα καθώς καλύπτει μεγαλύτερο χρονικό εύρος σε σχέση με τον MODIS (από το 2001). Μέχρι σήμερα έχει υπάρξει εξέλιξη της χωρικής ανάλυσης των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται όπως ο Landsat με χωρική ανάλυση στα 30 m, αλλά και ο Sentinel-2 με χωρική ανάλυση στα 10m (Zeng et al., 2020). Επίσης, αξιοποιούνται τεχνικές συγχώνευσης δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, εκμεταλλευόμενοι την χωρική ανάλυση ενός δορυφόρου και την επισκεψιμότητα ενός άλλου δορυφόρου (Zhang et al., 2017).

Οι δημοφιλέστερες τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών στις συνιστώσες τους για αντίστοιχες εργασίες με την παρούσα είναι δύο, η Fourier fitting (Moody and Johnson, 2001, Wagenseil and Samimi, 2006) και wavelet analysis (Sakamoto et al. 2005). Ωστόσο έχει χρησιμοποιηθεί και πλήθος άλλων τεχνικών, όπως για παράδειγμα οι asymmetric Gaussians (Jonsson and Eklundh, 2002), piecewise logistic function (Zhang et al., 2003), Savitzky-Golay filter (Chen et al., 2004, Zhuokun et al., 2015), best index slope extraction algorithm (BISE) (Viovy et al., 1992), moving average (Reed et al., 1994), moving median, iterative interpolation (Julien and Sobrino, 2010), polynomial curve fitting (Bradley et al., 2007), convex quadratic model based on thermal time (de Beurs and Henebry, 2004).

Οι Jakubauskas et al. (2002), ανέπτυξαν μια μέθοδο για τον προσδιορισμό των διαφόρων τύπων καλλιεργειών, η οποία βασίζεται στην αρμονική ανάλυση του φασματικού δείκτη NDVI. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν του αισθητήρα AVHRR, με χρονική ανάλυση ανά δύο εβδομάδες, ξεκινώντας από το 1992. Διατηρήθηκαν οι μέγιστες τιμές του δείκτη, για κάθε ένα από τα διαστήματα των δύο εβδομάδων. Η μελέτη τους ως αποτέλεσμα είχε τον εντοπισμό αλλαγών στον τύπο της καλλιέργειας, στην κατάσταση του φυτού, στον χρόνο που προκύπτει η φύτευση, η συγκομιδή και το μέγιστο πρασίνισμα της καλλιέργειας (γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικές γεωργικές πρακτικές) και τέλος, λόγω του μεγάλου χρονικού ορίζοντα της μελέτης, εντοπίστηκαν αλλαγές στον τύπο κάλυψη γης (γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις ή και κλιματική αλλαγή).

Οι Sakamoto et al. (2005), χρησιμοποίησαν δεδομένα MODIS/Terra ενός έτους, με χρονική ανάλυση 8 ημέρες και χωρική ανάλυση 500 m. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε επιλεγμένες καλλιέργειες οι οποίες δεν ξεπερνούν τα 5000 τετραγωνικά μέτρα. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με δύο μεθόδους, τις wavelet και Fourier transforms. Στόχοι της μελέτης ήταν τόσο ο προσδιορισμός των φαινολογικών σταδίων του ρυζιού, όσο και η σύγκριση των δύο μεθόδων. Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο EVI (Enhanced Vegetation Index). Ως αποτέλεσμα της μελέτης, εντοπίστηκε η ημερομηνία φύτευσης, ωρίμανσης, συγκομιδής και η περίοδος ανάπτυξης των καλλιεργειών για το έτος 2002. Επίσης, από την σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις δύο μεθόδους, προέκυψε ότι δεν υπήρξε κάποια σημαντική διαφορά στον προσδιορισμό της ωρίμανσης και της συγκομιδής, ωστόσο παρατηρήθηκε διαφορά στον προσδιορισμό της ημερομηνίας σποράς, όπου η wavelet μέθοδος έδειξε να σημειώνει πιο ακριβή αποτελέσματα.

Οι Zhuokun et al. (2015), χρησιμοποίησαν ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα, χωρίς νέφη, τα οποία προήλθαν από τον αισθητήρα HJ-1A/B, ο οποίος έχει χωρική ανάλυση 30 μέτρων και χρονική ανάλυση ανά δύο ημέρες. Η εφαρμογή της εργασίας τους πραγματοποιήθηκε σε 4 περιοχές της Κίνας, με καλλιέργειες που δεν ξεπερνούν την έκταση του ενός εκταρίου. Αξιοποίησαν την μέθοδο Savitzky-Golay για την κατασκευή της καμπύλης της χρονοσειράς και στη συνέχεια τα δεδομένα πυκνώθηκαν

μέσω γραμμικής παλινδρόμησης, έτσι ώστε να έχουν παρατηρήσεις σε καθημερινή βάση, για τα έτη 2011-2013. Στόχος της μελέτης είναι η εξαγωγή των φαινολογικών χαρακτηριστικών καλλιεργειών σιταριού και καλαμποκιού. Αποτέλεσμα της μελέτης ήταν η διαπίστωση μεταβολών στη φαινολογία των καλλιεργειών, όπως για παράδειγμα χρονικές μετακινήσεις της περιόδου ανάπτυξης των φυτών, που μπορεί να οφείλονται είτε σε γεωργικές πρακτικές, είτε σε εναλλαγές του κλίματος. Αποδείχθηκε πιο εύκολο να εξαχθούν αποτελέσματα για το σιτάρι, σε σχέση με το καλαμπόκι, του οποίου ο φαινολογικός κύκλος συμπίπτει με άλλων καλλιεργειών και εξαρτάται περισσότερο από τις γεωργικές πρακτικές.

Οι Roy και Yan (2020), χρησιμοποίησαν δεδομένα δύο δορυφόρων Landsat 5 και 7, με χωρική ανάλυση 30 μέτρων και χρονική ανάλυση 8 ημέρες, για το έτος 2010. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από το σύνολο δεδομένων Landsat Analysis Ready Data (ARD), το οποίο αποτελεί χρονοσειρά έτοιμη για επεξεργασία. Αναπτύχθηκαν γραμμικά και μη-γραμμικά αρμονικά μοντέλα παλινδρόμησης και εξετάστηκε η μοντελοποίηση χρονοσειρών του δείκτη NDVI για καλλιέργειες όπως το σιτάρι, το τριφύλλι, το καλαμπόκι αλλά και άλλες. Στόχοι της μελέτης ήταν να πραγματοποιηθεί σύγκριση των μοντέλων όσο αφορά την ικανότητά τους να μοντελοποιούν χρονοσειρές φασματικών δεικτών, σε κυρίως αγροτικές περιοχές με δεδομένα μόνο ενός έτους. Πιο συγκεκριμένα υπολόγισαν τον δείκτη βλάστησης NDVI σε ατμοσφαιρικά διορθωμένα και καθαρά από νέφη, σκιές και χιόνι εικονοστοιχεία και χρησιμοποίησαν γραμμικά αρμονικά μοντέλα 5 και 7 παραμέτρων καθώς και ένα μη γραμμικό αρμονικό μοντέλο 5 παραμέτρων για την μοντελοποίηση των χρονοσειρών NDVI, σε 6 περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (USA). Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι η συχνότητα των δεδομένων καθώς και η χωρική ανάλυση τους ήταν πολύ σημαντική για την σωστή μοντελοποίηση. Επίσης ένα ακόμα σημαντικό συμπέρασμα της εργασίας ήταν ότι η πετυχημένη μοντελοποίηση ήταν συσχετισμένη με τα στάδια ανάπτυξης και την φαινολογία των καλλιεργειών, όπως για παράδειγμα η καλλιέργεια τριφυλλίου όπου παρουσιάζει πολλαπλά στάδια ανάπτυξης σε αντίθεση με καλλιέργειες όπως το σιτάρι.

Κλείνοντας, στόχος της συγκεκριμένης εργασίας ήταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων μοντελοποίησης χρονοσειρών NDVI από τους δίδυμους δορυφόρους Sentinel 2 του προγράμματος Copernicus της ESA, για την εξαγωγή φαινολογικών παραμέτρων. Η χωρική ανάλυση των δεδομένων είναι τα 10 μέτρα και η αντίστοιχη χρονική είναι 5 ημέρες. Η καλλιέργειες μελέτης ήταν το βαμβάκι, το σιτάρι, το τριφύλλι, το καλαμπόκι και το ρύζι σε 7 περιοχές της Ελλάδας. Τα μοντέλα αναπτύχθηκαν με την μέθοδο Seasonal Decomposition Using Moving Averages (ARIMA) (Damrongkulkamjorn et al., 2005, Cleveland et al., 1976). Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο σε πρακτικές εφαρμογές μοντελοποίησης χρονοσειρών οι οποίες παρουσιάζουν εποχικότητα (Zhang et al., 2005). Στις παρακάτω ενότητες ακολουθούν αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σχετικά με την απόκτηση των δεδομένων,

την ανάλυση τους, τα αποτελέσματα καθώς και τα συμπεράσματα της εργασίας.

4 Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην εργασία. Περιγράφεται η διαδικασία συλλογής των επίγειων και δορυφορικών παρατηρήσεων καθώς και η επεξεργασία και ανάλυσή τους. Ως δεδομένα ελέγχου, ορίστηκαν οι επίγειες παρατηρήσεις του είδους των καλλιεργειών. Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν παρατηρήσεις από τη δορυφορική αποστολή Sentinel-2.



Διάγραμμα 1

4.1 Περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκαν από τη Βόρεια Ελλάδα οι νομοί Έβρου, Ροδόπης, Ξάνθης, Δράμας, Σερρών και Θεσσαλονίκης, ενώ από την Κεντρική Ελλάδα ο νομός Καρδίτσας. Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε λόγω της διαθεσιμότητας των δεδομένων από τον ΟΠΕΚΕΠΕ καθώς και της δυνατότητας συλλογής δεδομένων στο πεδίο. Εκτός από τα διαθέσιμα δεδομένα του ΟΠΕΚΕΠΕ, επιπλέον δεδομένα συλλέχθηκαν από τις επισκέψεις στις περιοχές από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Στο χάρτη παρουσιάζονται οι περιοχές μελέτης.



Χάρτης 1: Περιοχή μελέτης

4.2 Δεδομένα ελέγχου

Η συλλογή δεδομένων αφορούσε την καταγραφή των καλλιεργειών που υπήρχαν στις περιοχές κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Από την καταγραφή προέκυψαν περισσότερες από είκοσι πέντε διαφορετικές καλλιέργειες. Η συγκεκριμένη εργασία εστιάστηκε στη μελέτη των εξής έξι καλλιεργειών: βαμβάκι, καλαμπόκι, σιτάρι, ρύζι, ηλίανθο και μηδική. Στον Πίνακας 1 καταγράφεται ο αριθμός εγγραφών που αξιοποιήθηκαν ανά

καλλιέργεια και χρονολογία. Η καλλιέργεια βαμβακιού κατά το έτος 2017 παρουσίασε την ιδιαιτερότητα της καταγραφής γεωτεμαχίων που η καλλιέργεια ήταν κανονικά ανεπτυγμένη αλλά και γεωτεμαχίων που η καλλιέργεια δεν κατάφερε να αναπτυχθεί όπως έπρεπε. Κατά πλειοψηφία, οι εγγραφές αφορούσαν την κανονική ανάπτυξη.

Τα δεδομένα του έτους 2017, διατέθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ και αφορούσαν την περιοχή του νομού Έβρου. Τα έτη 2018 και 2019 έγινε συλλογή δεδομένων από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Το 2018 συλλέχθηκαν δεδομένα από καλλιέργειες στους νομούς Έβρου, Ροδόπης, Ξάνθης, Δράμας, Σερρών, Θεσσαλονίκης και Καρδίτσας, ενώ το 2019 τα δεδομένα συλλέχθηκαν μόνο από το νομό Ξάνθης και Ροδόπης.

Καλλιέργειες	Χρονολογία	Πολύγωνα
Βαμβάκι	2017	113
	2018	500
	2019	139
Καλαμπόκι	2017	20
	2018	248
	2019	114
Ηλίανθος	2017	144
	2018	156
	2019	47
Σιτάρι	2017	14
	2018	64
	2019	180
Μηδική	2017	76
	2018	100
	2019	60
Ρύζι	2017	6
	2018	19

Πίνακας 1

Επειδή η πρωτογενής μορφή των δεδομένων ήταν σημειακή, ακολουθήθηκε κάποια επεξεργασία ώστε να γίνει αναγωγή της πληροφορίας σε επιφανειακή. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε λογισμικό GIS με εφαρμογή φωτοερμηνείας σε πολυφασματικές εικόνες Sentinel-2, χωρικής ανάλυσης δέκα μέτρων. Για κάθε περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις εικόνες - μία για κάθε εποχή καθώς και το υπόβαθρο του 'Google Earth'. Έχοντας τη σημειακή πληροφορία για τις καλλιέργειες και φωτοερμηνεύοντας τις εικόνες Sentinel-2, έγινε ψηφιοποίηση των αγροτεμαχίων που αφορούσαν κάθε καλλιέργεια. Έτσι έγινε μετάβαση από τη σημειακή πληροφορία στην επιφανειακή. Η ψηφιοποίηση έγινε πολύ προσεκτικά και συντηρητικά ώστε να μην ενταχθούν στα πολύγωνα γειτονικά εικονοστοιχεία που δεν ανήκουν στην εκάστοτε καλλιέργεια. Για τη διαδικασία φωτοερμηνείας χρησιμοποιήθηκε το φυσικό έγχρωμο σύνθετο RGB-432 καθώς και το ψευδέχρωμο RGB-843 που στο κόκκινο χρώμα εμφανίζονται αντικείμενα που ανακλούν περισσότερο την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία, όπως η υγής βλάστηση.

4.3 Δορυφορικά δεδομένα και δείκτες

4.3.1 Συλλογή δορυφορικών δεδομένων - δείκτες βλάστησης

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων του δορυφόρου Sentinel-2, πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά μέσω της πλατφόρμας 'Google Earth Engine'. Αναπτύχθηκε κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού 'JavaScript' για την άντληση των δεδομένων των εικόνων σε μορφή πινάκων και όχι ολόκληρες οι εικόνες. Τα δεδομένα Sentinel 2 ήταν ατμοσφαιρικά διορθωμένα κατά τη διάθεση τους (L2A). Οπότε τελικά τα δορυφορικά δεδομένα ήταν οι μέσες τιμές των ατμοσφαιρικά διορθωμένων καναλιών B2, B3, B4, B8 για κάθε γεωτεμάχιο, καθώς και τιμές που χαρακτηρίζουν την ποιότητα των εικόνων QA60, SCL και αφορούσαν μόνο τα γεωτεμάχια μελέτης. Με αυτό τον τρόπο ο όγκος των δεδομένων ήταν πολύ μικρότερος.

Ο δορυφόρος Sentinel-2, περιέχει για κάθε εικονοστοιχείο, πληροφορία για νεφοκάλυψη. Όταν η τιμή QA60 είναι μηδέν, τότε το εικονοστοιχείο είναι καθαρό από νέφη. Οπότε στη διαδικασία που ακολουθήθηκε, όταν η τιμή QA60 για κάποιο πολύγωνο σε κάποια ημερομηνία ήταν διάφορη του μηδενός, τότε η δορυφορική πληροφορία σε αυτή την ημερομηνία δεν λαμβανόταν υπόψη. Το δεύτερο κριτήριο αξιολόγησης ποιότητας της δορυφορικής πληροφορίας, ήταν η τιμή SCL, που δίνει πληροφορία για την κατηγορία που απεικονίζει κάθε εικονοστοιχείο. Στον πίνακα 2 καταγράφονται οι τιμές που χαρακτηρίζουν κάθε κατηγορία. Σε αυτή την εργασία το κριτήριο που ορίστηκε ώστε να λαμβάνεται υπόψη η δορυφορική πληροφορία ήταν η τιμή SCL να αφορά βλάστηση, γυμνό έδαφος ή νερό. Για αυτό το κριτήριο εξετάστηκε μια ελαστική και μια πιο αυστηρή περίπτωση. Αρχικά, όταν για κάποιες ημερομηνίες η τιμή SCL στα γεωτεμάχια ήταν μικρότερη του 4 και μεγαλύτερη ή ίση με 7, η δορυφορική πληροφορία δεν χρησιμοποιόταν. Μετά την παρατήρηση των πρώτων αποτελεσμάτων δοκιμάστηκε και πιο στενό διάστημα. Στην εφαρμογή του

αυστηρού κριτηρίου, η μικρότερη αποδεκτή τιμή ήταν 4 και η μεγαλύτερη 5.5. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα δύο κριτήρια ποιότητας των δορυφορικών δεδομένων, για την περίπτωση της καλλιέργειας βαμβακιού. Επειδή δεν παρατηρήθηκαν ουσιαστικές διαφορές σε σχέση με αυτό το κριτήριο, οι υπόλοιπες καλλιέργειες εξετάστηκαν με βάση το αρχικό κριτήριο για την τιμή SCL.

Value	Description
1	Saturated or defective
2	Dark Area Pixels
3	Cloud Shadows
4	Vegetation
5	Bare Soils
6	Water
7	Clouds Low Probability / Unclassified
8	Clouds Medium Probability
9	Clouds High Probability
10	Cirrus
11	Snow / Ice

Πίνακας 2:Κλάσεις SCL

Κριτήριο	Διάστημα περίπτωση 1	Διάστημα περίπτωση 2
SCL (Scene Classification Map)	$\geq 4, < 7$	$\geq 4, < 5.5$
QA60 (Cloud Mask)	0	0

Πίνακας 3: Κριτήρια αξιολόγησης δεδομένων Sentinel

Στη συνέχεια υπολογίστηκε, στη γλώσσα προγραμματισμού Python, ο δείκτης βλάστησης NDVI για όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, ώστε να χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση του κύκλου των καλλιεργειών.

4.3.2 Διαδικασία ανάλυσης

Έχοντας όλα τα δεδομένα διαθέσιμα, πραγματοποιήθηκε μια σειρά διαδικασιών με σκοπό να προκύψει το ιδανικό μοντέλο περιγραφής του κύκλου ανάπτυξης της εκάστοτε καλλιέργειας, μέσω χρονοσειρών.

Αρχικά ορίστηκαν οι διάφορες δοκιμές που θα πραγματοποιούνταν και στη συνέχεια διαχωρίστηκαν τα δεδομένα αναλόγως. Για το χωρικό διαχωρισμό χρησιμοποιήθηκε η πληροφορία του tile της εικόνας απ' όπου προέρχονταν τα δεδομένα.

Για την καλλιέργεια βαμβακιού, οι δοκιμές ήταν οι εξής:

- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019.
- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019, με απομάκρυνση των αγροτεμαχίων που δεν είχαν κανονική ανάπτυξη το 2017.
- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για τα έτη 2017, 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018.

Για την καλλιέργεια καλαμποκιού, οι δοκιμές ήταν οι εξής:

- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για τα έτη 2017, 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018.

Για στην καλλιέργεια ηλίανθου, οι δοκιμές ήταν οι εξής:

- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018, 2019.
- Δεδομένα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για τα έτη 2017, 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018.

Για την καλλιέργεια ρυζιού, οι δοκιμές ήταν οι εξής:

- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017 και 2018.
- Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018.

- Δεδομένα Ν. Έβρου και Ν. Θεσσαλονίκης για τα έτη 2017 και 2018.

Για την καλλιέργεια σιταριού, οι δοκιμές ήταν οι εξής:

- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018, 2019.
- Δεδομένα Ν. Έβρου, Ν. Καρδίτσας και Ν. Ξάνθης για τα έτη 2017, 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Καρδίτσας και Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019.
- Δεδομένα Ν. Σερρών, Ν. Δράμας και Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019.

Για την καλλιέργεια μηδικής, οι δοκιμές ήταν οι εξής:

- Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018, 2019.
- Δεδομένα για ένα αγροτεμάχιο κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019.

Μετά το διαχωρισμό των δεδομένων, υπολογίστηκε ο μέσος όρος του δείκτη NDVI από όλα τα πολύγωνα της κάθε διαθέσιμης ημερομηνίας και πραγματοποιήθηκε γραμμική παρεμβολή στα δεδομένα για αναγωγή των παρατηρήσεων NDVI σε επίπεδο ημέρας που ήταν σημαντικό για την συγκεκριμένη μέθοδο. Η κάθε απεικόνιση περιλάμβανε τέσσερα διαγράμματα.

- Το πρώτο διάγραμμα ήταν η παρατήρηση (observed) και απεικόνιζε τις τιμές του μέσου όρου των αγροτεμαχίων ανά ημερομηνία.
- Το δεύτερο διάγραμμα έδειχνε την τάση (trend) που ακολουθούσαν τα δεδομένα.
- Το τρίτο διάγραμμα περιέγραφε την εποχικότητα (seasonal) των δεδομένων. Η εποχικότητα προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τις αντίστοιχες περιόδους για όλα τα έτη παρατήρησης, οπότε είναι ίδια για όλα τα έτη που εμφανίζεται σε κάθε διάγραμμα.
- Στο τέταρτο διάγραμμα απεικονίζονταν τα σφάλματα των παρατηρήσεων.

Στη συνέχεια για να γίνει σύγκριση των παρατηρήσεων απεικονίστηκαν σε κοινό διάγραμμα κάθε άθροισμα εποχικότητας με την αντίστοιχη τάση των δεδομένων.

Τελευταίο στάδιο της ανάλυσης των δεδομένων απετέλεσε ο εντοπισμός των δέκα αγροτεμαχίων με την καλύτερη και τη χειρότερη προσαρμογή στο μέσο δείκτη NDVI, για διάφορες δοκιμές. Μετά τον εντοπισμό αυτών των αγροτεμαχίων έγιναν παρατηρήσεις με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων.

5 Αποτελέσματα

5.1 Καλλιέργεια βαμβακιού

Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019

Στο διάγραμμα 1, απεικονίζεται η παρατήρηση (observed), η τάση (trend), η εποχικότητα (seasonality) και ο θόρυβος (residuals) του συνόλου των δεδομένων της καλλιέργειας βαμβακιού. Το σύνολο των δεδομένων αφορούσε 818 γεωτεμάχια καλλιέργειας βαμβακιού συνολικής έκτασης 15.17 τετραγωνικών χιλιομέτρων, που βρίσκονταν στις περιοχές Καρδίτσας, Δράμας, Σερρών, Ξάνθης, Ροδόπης και Έβρου.

Επειδή το 2017, υπήρχαν γεωτεμάχια που το βαμβάκι δεν αναπτύχθηκε σωστά, εξετάστηκε και η περίπτωση που δεν λήφθηκαν υπόψη αυτά τα γεωτεμάχια. Στο διάγραμμα 2 απεικονίζεται αυτή η περίπτωση. Τα δεδομένα αφορούσαν 752 γεωτεμάχια, με συνολική έκταση 14.63 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

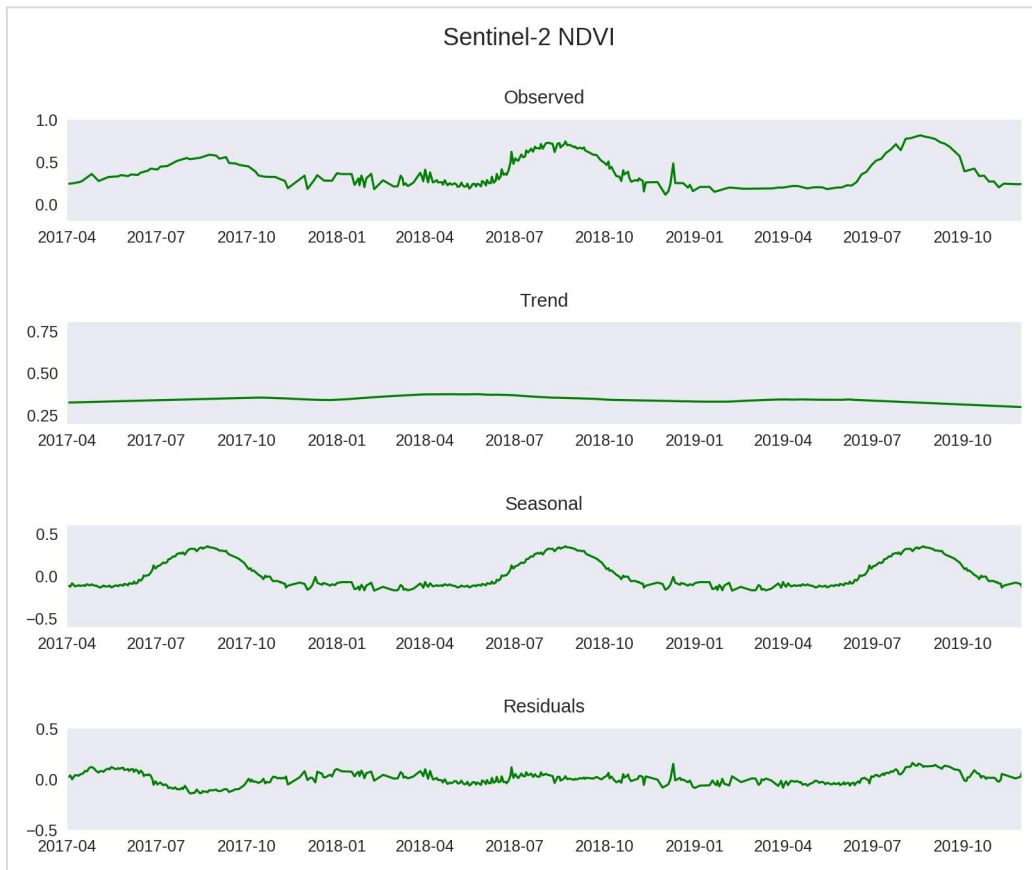
Όσον αφορά το πρώτο διάγραμμα με το σύνολο των δεδομένων, το 2017, που τα δεδομένα αφορούσαν την περιοχή του Έβρου και τα δεδομένα ελέγχου προήλθαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ, παρατηρήθηκε ότι ο δείκτης NDVI ήταν πιο χαμηλός στη περίοδο της υψηλότερης ανάπτυξης του φυτού από τις επόμενες χρονιές. Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI που παρατηρήθηκε το 2017 ήταν 0.58 στις 24 Αυγούστου, το 2018 ήταν 0.74 στις 22 Αυγούστου και το 2019 ήταν 0.81 στις 19 Αυγούστου. Επίσης η περίοδος έναρξης της ανάπτυξης της καλλιέργειας ήταν μακρύτερη το 2017 παρά τις δυο επόμενες χρονιές. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη το 2017 ξεκίνησε από τις αρχές Απριλίου και η ολοκλήρωση της ξήρανσης ολοκληρώθηκε προς τα τέλη Νοεμβρίου, σε αντίθεση με τα έτη 2018 και 2019 που οι αντίστοιχες περίοδοι ξεκίνησαν στα τέλη Ιουνίου και ολοκληρώθηκαν στα μέσα Οκτωβρίου το 2018 και στα τέλη Ιουνίου έως το πρώτο δεκαήμερο Οκτωβρίου το 2019.

Στο δεύτερο διάγραμμα, όπου απομακρύνθηκαν οι προβληματικές εγγραφές, η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI, παρατηρήθηκε στις 24 Αυγούστου και ήταν 0.64. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε 22 Ιουνίου και η ξήρανση ολοκληρώθηκε στα μέσα Οκτωβρίου .

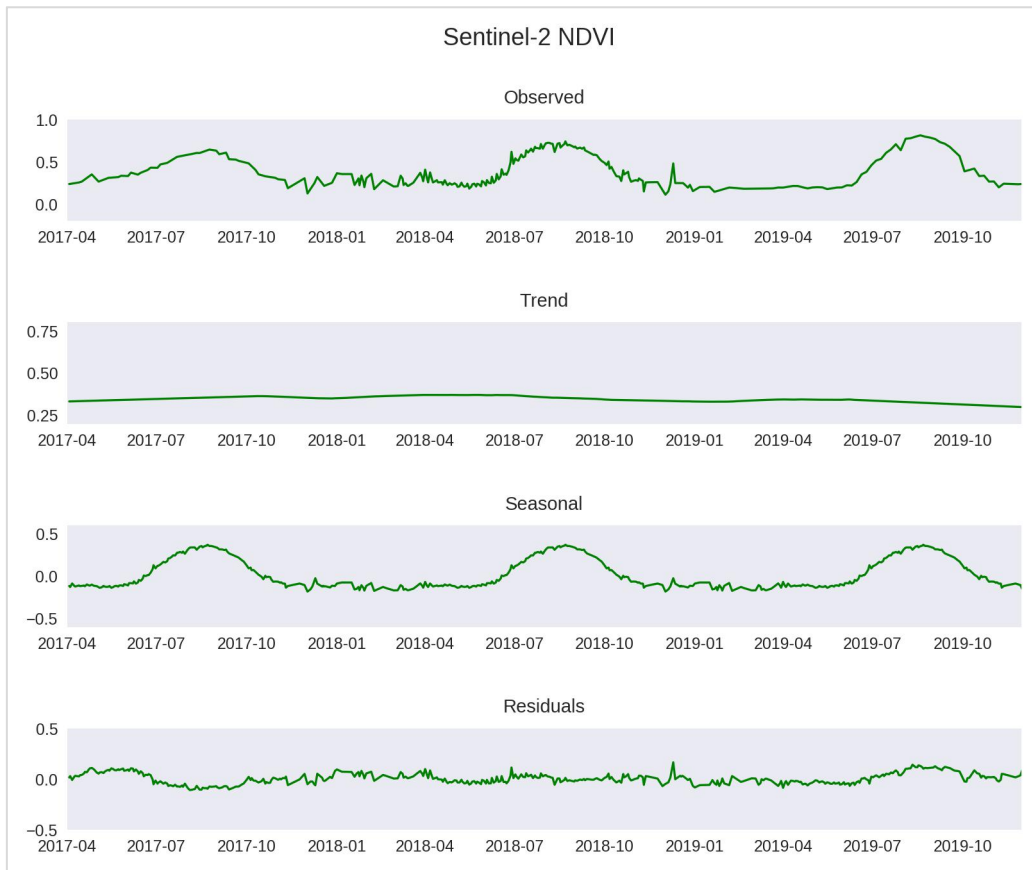
Το 2018 παρατηρήθηκε μεγαλύτερη διακύμανση τιμών σε σχέση με τα δύο άλλα έτη. Αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο όγκο διαθέσιμων δεδομένων ελέγχου αλλά και δορυφορικών δεδομένων. Τα δεδομένα ελέγχου για το έτος 2018 αφορούσαν ευρύτερη γεωγραφική περιοχή σε σχέση με τα άλλα δύο έτη. Επίσης από το 2018 τέθηκε σε λειτουργία ο δεύτερος δορυφόρος της αποστολής Sentinel-2 με αποτέλεσμα να υπάρχουν πιο πυκνές και με μικρές διαφορές παρατηρήσεις.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στα διαγράμματα, ορισμένες εγγραφές παρουσίασαν έντονες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες εγγραφές. Οι διαφοροποιήσεις αυτές εξετάστηκαν περαιτέρω και παρατηρήθηκε ότι στον υπολογισμό της μέσης τιμής του δείκτη NDVI σε αυτές τις ημερομηνίες, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες με έντονη νεφοκάλυψη. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι ακόμη και αν τα πολύγωνα ενδιαφέροντος κατά μέσο όρο τηρούν τα κριτήρια νεφοκάλυψης και κατηγορίας που τέθηκαν, επειδή οι τιμές QA60 και SCL για κάθε πολύγωνο προκύπτουν από το μέσο όρο όλων των εικονοστοιχείων του πολυγώνου, μπορεί να είναι παραπλανητικά. Ένα παράδειγμα αυτής της περίπτωσης, φαίνεται στα αποσπάσματα της εικόνας 5, όπου στο ίδιο πολύγωνο η τιμή SCL ήταν διαφορετική από σημείο σε σημείο και σε ορισμένες περιπτώσεις δεν πληρούσε το κριτήριο που τέθηκε, ωστόσο η εικόνα θεωρήθηκε καθαρή επειδή ο μέσος όρος της τιμής SCL από όλα τα εικονοστοιχεία του πολυγώνου ήταν εντός κριτηρίων. Στον πίνακα 4 καταγράφονται οι περιπτώσεις αυτές.

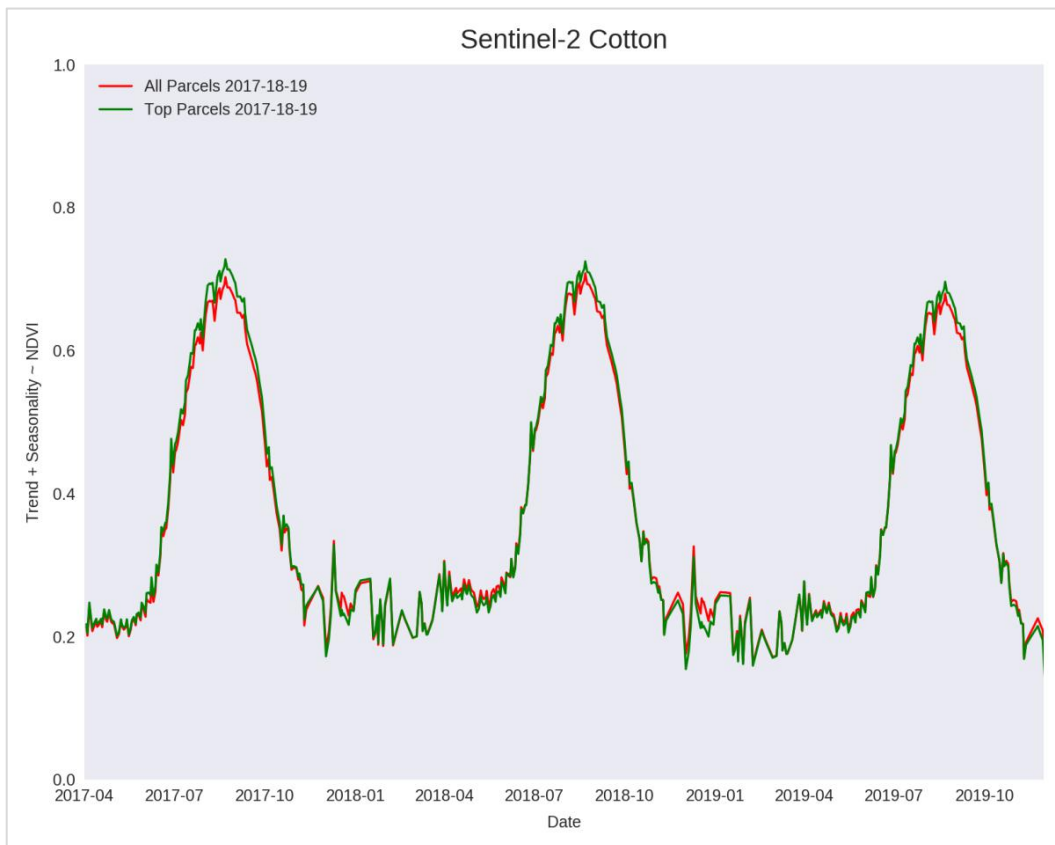
Στο διάγραμμα 3 συγκρίνονται οι ιδανικές καμπύλες του δείκτη NDVI που προέκυψαν από κάθε σύνολο δεδομένων. Η ιδανική καμπύλη προέκυψε από το άθροισμα της εποχικότητας και της τάσης του εκάστοτε συνόλου δεδομένων. Η κόκκινη καμπύλη αφορά το σύνολο των δεδομένων για τα τρία έτη μελέτης, ενώ η πράσινη καμπύλη αφορά το σύνολο δεδομένων χωρίς τα αγροτεμάχια που δεν έγινε ορθή ανάπτυξη της καλλιέργειας. Οι δύο καμπύλες παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά και ως προς τη μέγιστη τιμή του δείκτη και ως προς το διάστημα ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η μοναδική διαφοροποίηση που παρατηρήθηκε ήταν η ελάχιστη πιο ψηλή μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI και στα τρία έτη παρατήρησης. Το έτος 2017 η απόκλιση μεταξύ των δύο καμπύλων ήταν μεγαλύτερη παρά των δύο επόμενων ετών.



Διάγραμμα 2: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων βαμβακιού για τα έτη 2017, 2018, 2019- κριτήριο SCL [4,7)





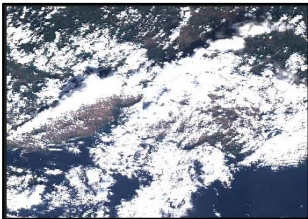


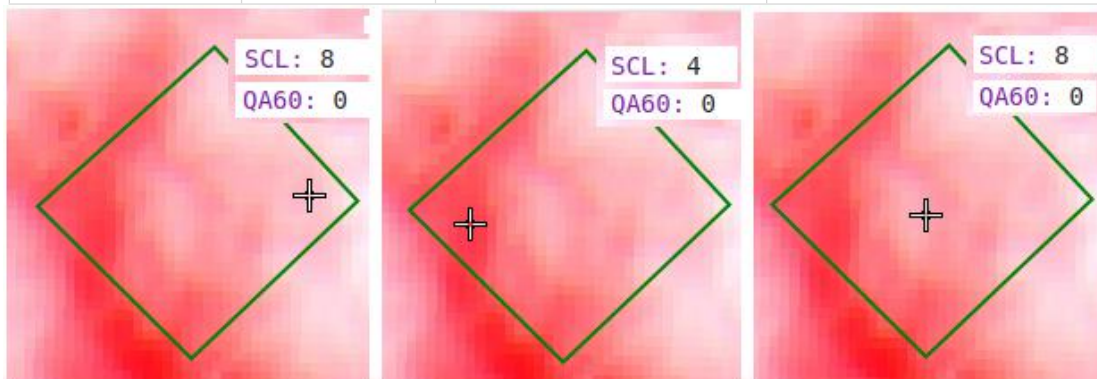
Διάγραμμα 3: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018, 2019, χωρίς τα προβληματικά γεωτεμάχια - κριτήριο SCL [4,7]



Διάγραμμα 4: Σύγκριση ιδανικής καμπύλης NDVI για το σύνολο δεδομένων τα έτη 2017, 2018, 2019, με και χωρίς τα προβληματικά γεωτεμάχια - κριτήριο SCL [4,7]

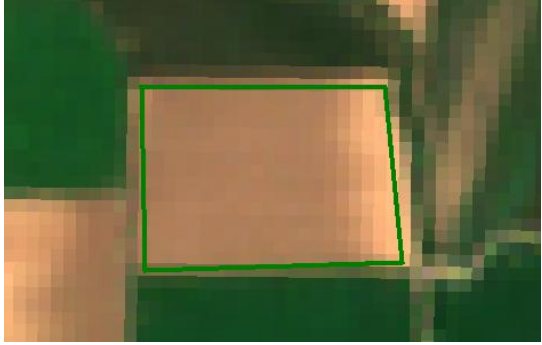
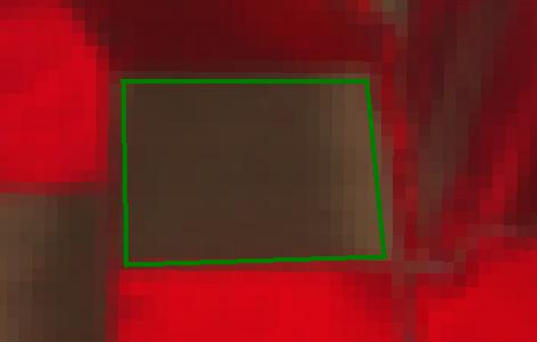

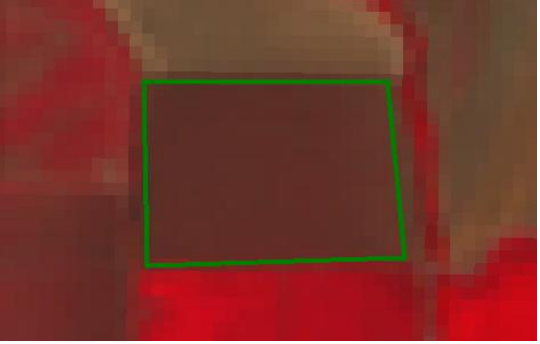

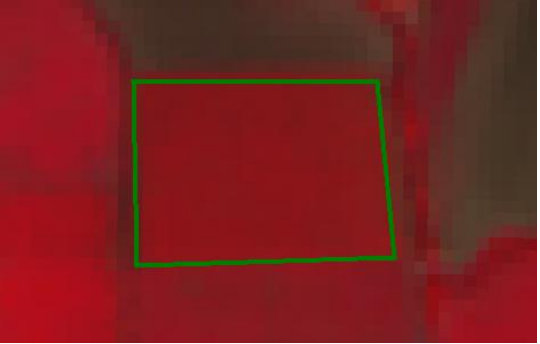
Πίνακας 4

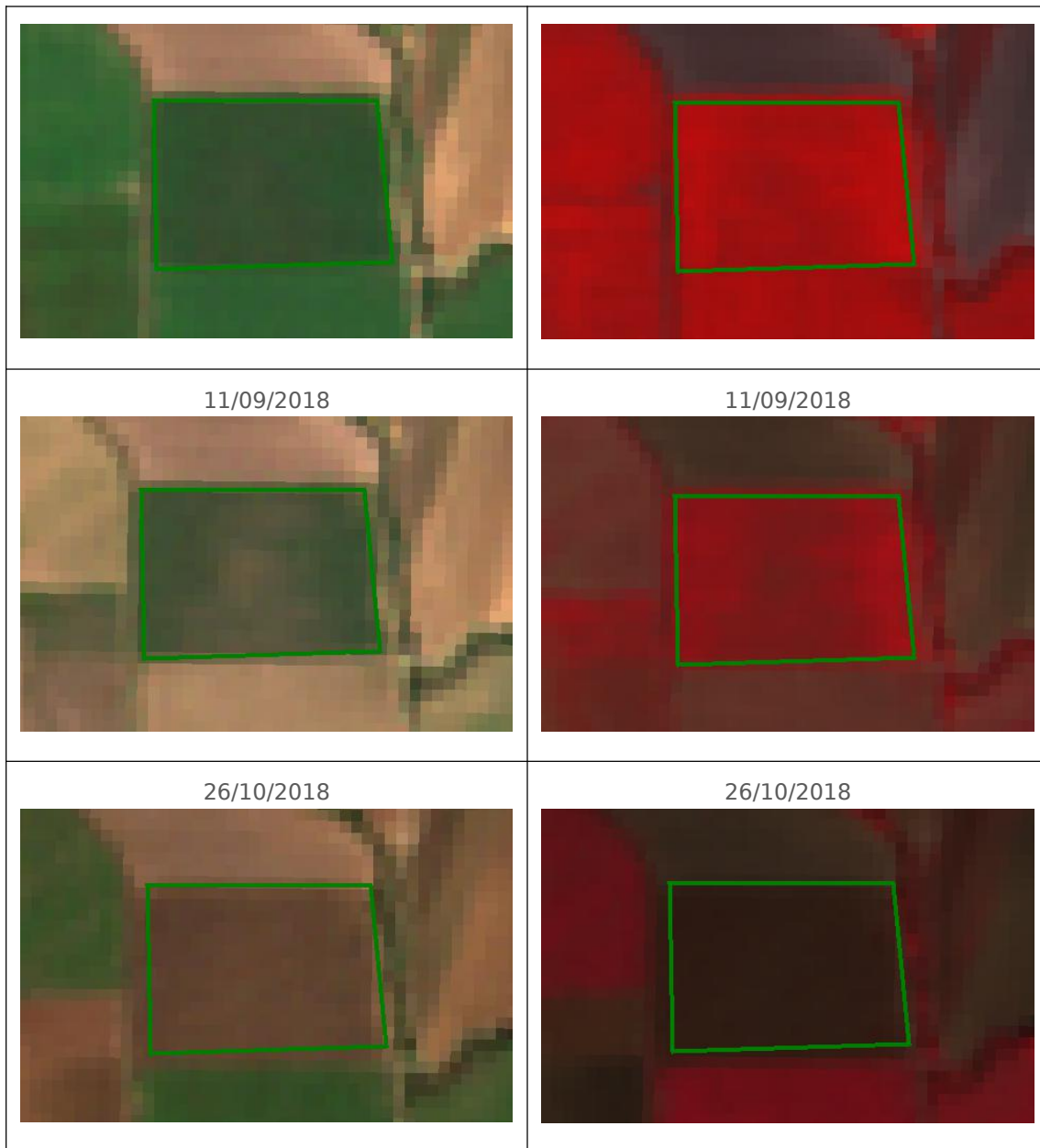
Ημερομηνία	NDVI	Νεφοκάλυψη εικόνας	Προεπισκόπηση εικόνας
28/06/2018	0.61	T34TFL - 85%	
11/08/2018	0.61	T35TMG - 15%	
10/12/2018	0.47	T34SEJ - 60%	
30/07/2019	0.63	T35TLF - 41%	
03/10/2019	0.38	T35TLF - 49%	



Εικόνα 11: Απόσπασμα εικόνας Sentinel-2, ημερομηνία

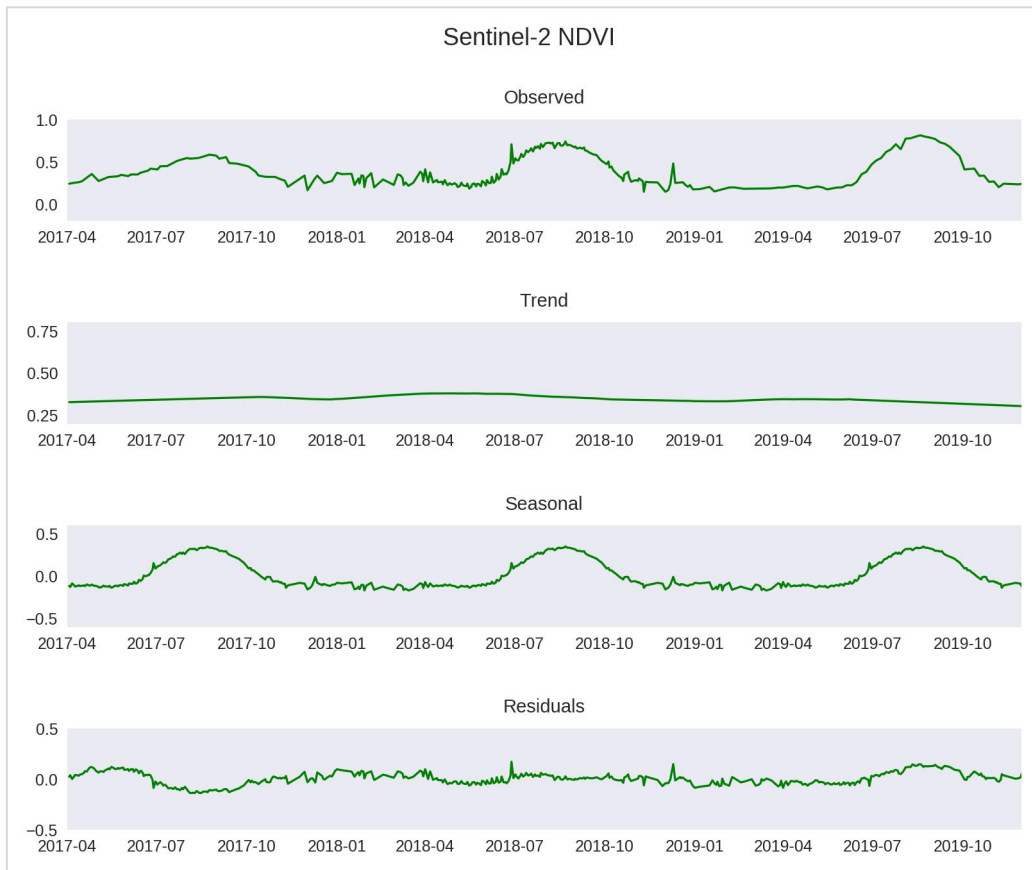
Στον πίνακα 5, απεικονίζεται η διαχρονική συμπεριφορά ενός αγροτεμαχίου με βαμβάκι, από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο του 2018. Στην αριστερή στήλη οι εικόνες απεικονίζονται με το φυσικό έγχρωμο σύνθετο, ενώ στη δεξιά με το έγχρωμο σύνθετο του δορυφόρου Sentinel-2, RGB-843. Το αγροτεμάχιο κατά τον Αύγουστο, είχε το εντονότερο πράσινο χρώμα στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο και το εντονότερο κόκκινο χρώμα στο ψευδέχρωμο, αυτό δείχνει την εντονότερη παρουσία χλωροφύλλης αυτό τον μήνα.

RGB-432, Sentinel-2	RGB-843, Sentinel-2
<p data-bbox="443 600 577 631">14/05/2018</p> 	<p data-bbox="1018 600 1152 631">14/05/2018</p> 
<p data-bbox="443 1025 577 1057">13/06/2018</p> 	<p data-bbox="1018 1025 1152 1057">13/06/2018</p> 
<p data-bbox="443 1451 577 1482">13/07/2018</p> 	<p data-bbox="1018 1451 1152 1482">13/07/2018</p> 
<p data-bbox="443 1877 577 1908">22/08/2018</p>	<p data-bbox="1018 1877 1152 1908">22/08/2018</p>

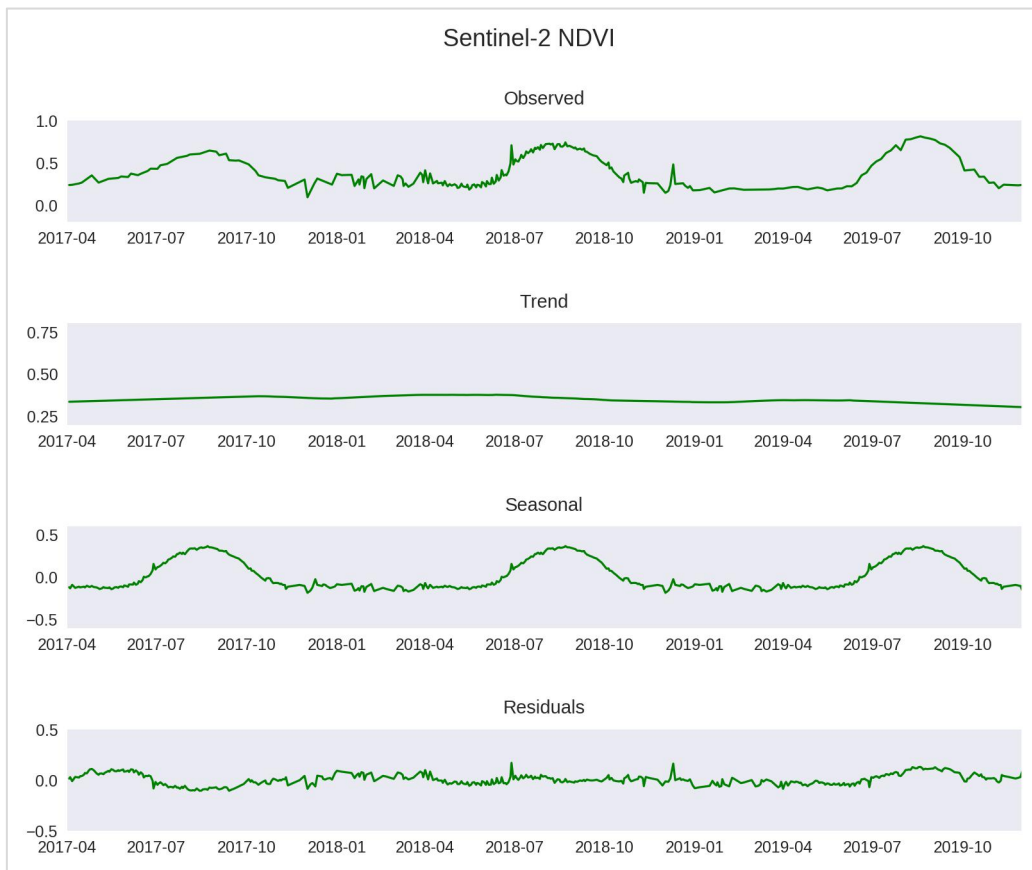


Πίνακας 5: Διαχρονική απεικόνιση αγροτεμαχίου βαμβακιού σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο, αριστερά και ψευδέχρωμο RGB-843, δεξιά.

Μετά την παρατήρηση που αφορούσε το κριτήριο SCL, πραγματοποιήθηκε δοκιμή που εξέταζε τα αγροτεμάχια με τιμή SCL από 4 έως 5.5. Στο διάγραμμα 5 απεικονίζονται τα δεδομένα που αφορούν το σύνολο δεδομένων για τα τρία έτη, ενώ στο διάγραμμα 6, απεικονίζεται το σύνολο δεδομένων που δεν περιλαμβάνει τα προβληματικά γεωτεμάχια του έτους 2017. Συγκρίνοντας το διάγραμμα 1 με το διάγραμμα 5 και το διάγραμμα 2 με το διάγραμμα 6, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση με την εισαγωγή του πιο αυστηρού κριτηρίου SCL. Υπήρξε μόνο μικρή ομαλοποίηση των διαγραμμάτων, χωρίς την επίτευξη απομάκρυνσης των έντονων διακυμάνσεων.



Διάγραμμα 5: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018, 2019- κριτήριο SCL [3.8,5.8]

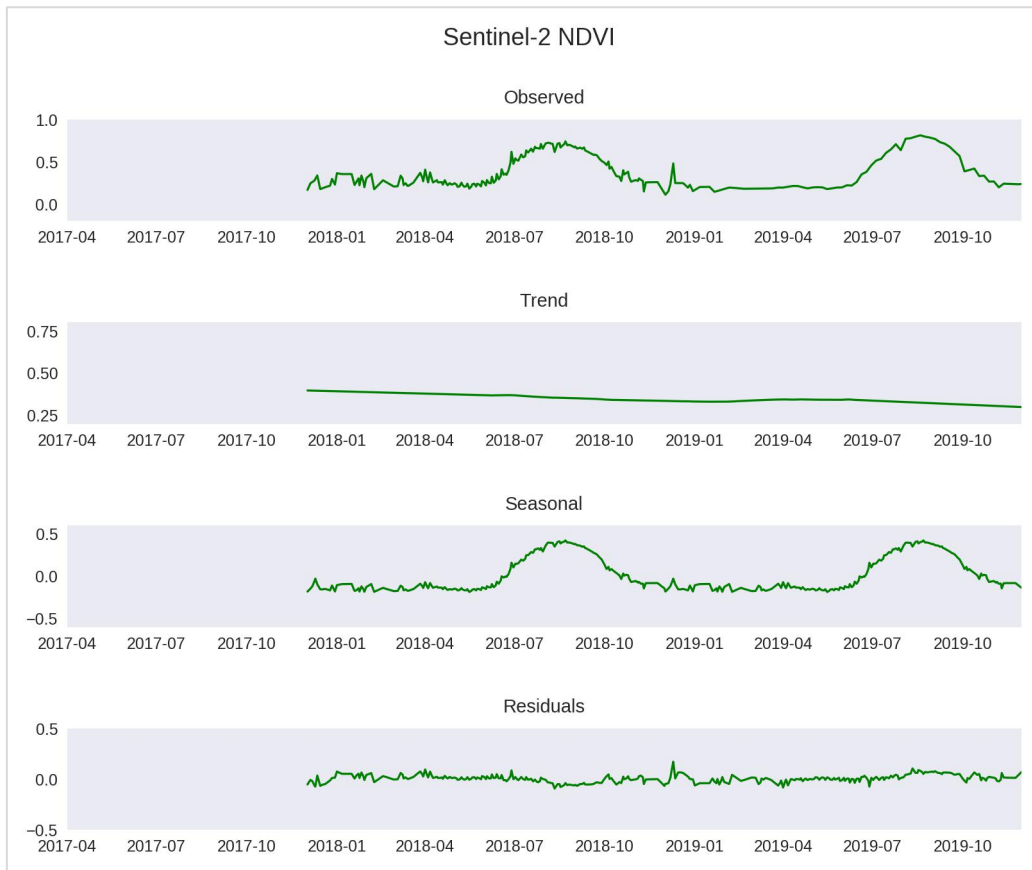


Διάγραμμα 6: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018, 2019, χωρίς τα προβληματικά γεωτεμάχια - κριτήριο SCL [3.8,5.8]

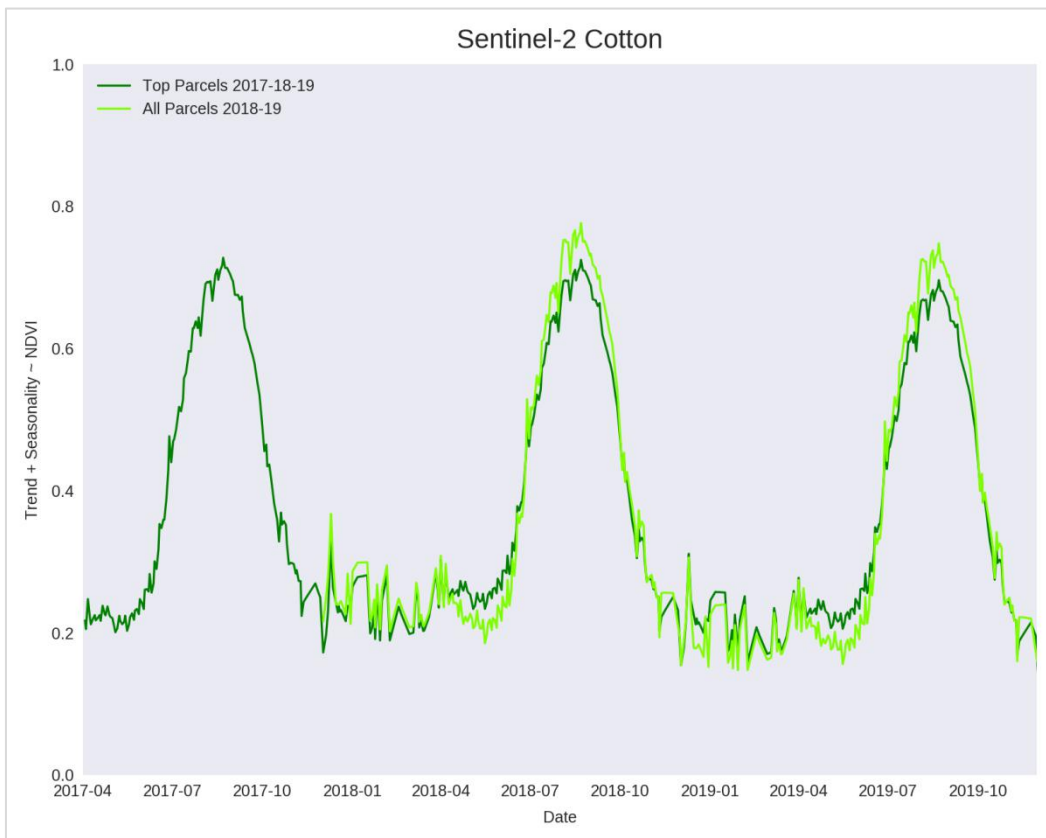
Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2018 και 2019

Η δεύτερη δοκιμή πραγματοποιήθηκε για το σύνολο των δεδομένων για τα έτη 2018 και 2019 (διάγραμμα 7), με σκοπό να εξεταστεί η διαφορά στο διάγραμμα εποχικότητας σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση όπου συνυπολογίστηκαν τα δεδομένα για το έτος 2017. Χρησιμοποιήθηκαν 639 γεωτεμάχια συνολικής έκτασης 13.57 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Σε αυτή τη δοκιμή λήφθηκε υπόψη η διαφορά που παρατηρήθηκε στην προηγούμενη δοκιμή στην περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών και το γεγονός ότι η πηγή λήψης των δεδομένων για το έτος 2017 ήταν διαφορετική σε σχέση με τα δύο επόμενα έτη. Να σημειωθεί ότι πραγματοποιήθηκε δοκιμή για το ίδιο σύνολο δεδομένων και με το πιο αυστηρό κριτήριο SCL, χωρίς να προκύψει σημαντική βελτίωση.

Στο διάγραμμα 8 απεικονίζεται η ιδανική καμπύλη NDVI (άθροισμα εποχικότητας με τάση), που προέκυψε από τα έτη 2017-2018-2019 και η καμπύλη που προέκυψε από τα έτη 2018-2019. Η μέγιστη τιμή NDVI, παρατηρήθηκε στις 22 Αυγούστου και στην πρώτη περίπτωση έφτασε το 2018 0.72 και το 2019 0.70 , ενώ στην δεύτερη περίπτωση έφτασε το 2018 0.78 και το 2019 0.75 . Η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε από τα τέλη Ιουνίου και η ξήρανση ολοκληρώθηκε στις πρώτες εβδομάδες του Οκτωβρίου και στην πρώτη και δεύτερη περίπτωση αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, τα δεδομένα του 2017 έριξαν τη μέγιστη τιμή του δείκτη, αλλά δεν επηρέασαν την συμπεριφορά του ως προς το χρόνο.



Διάγραμμα 7: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων για τα έτη 2018, 2019 - κριτήριο SCL [4,7)



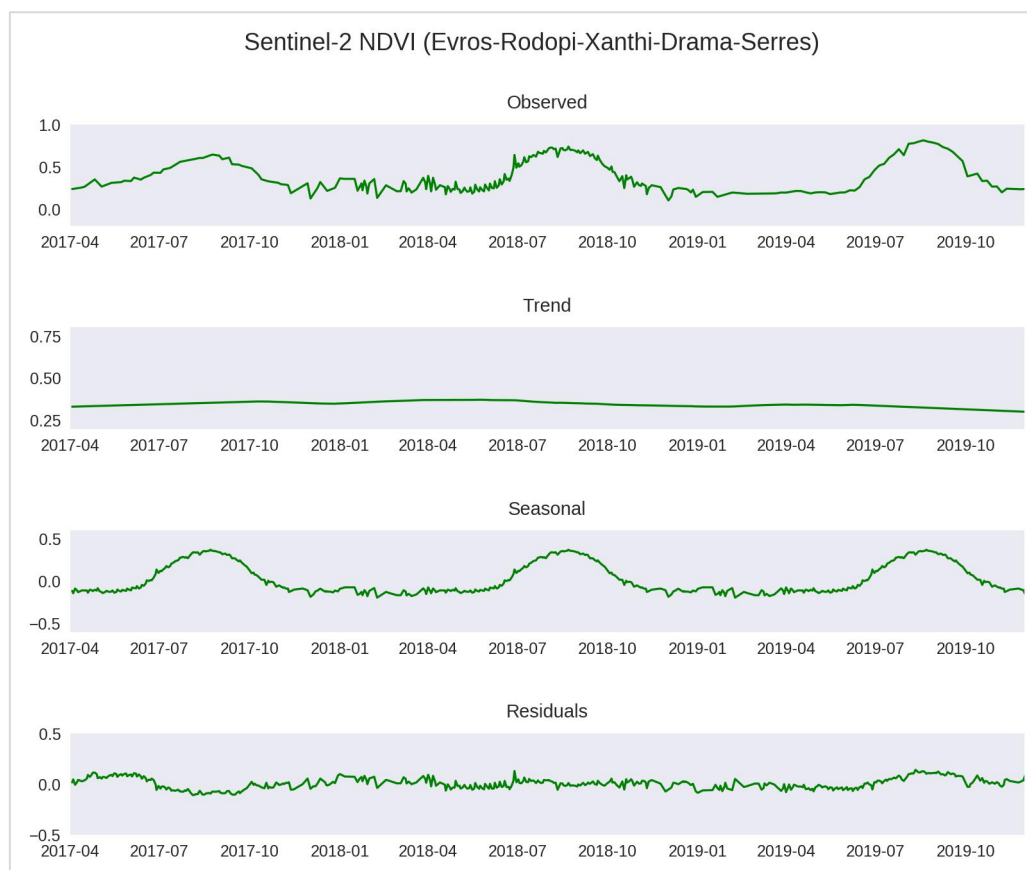
Διάγραμμα 8: Σύγκριση ιδανικής καμπύλης NDVI από τα δεδομένα 2017-18-19 και 2018-19 - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για τα έτη 2017, 2018 και 2019

Στο διάγραμμα 9 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του δείκτη NDVI σε μια πιο περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκαν τα διαθέσιμα δεδομένα στην περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης. Ως δεδομένα ελέγχου, χρησιμοποιήθηκαν 548 γεωτεμάχια, συνολικής έκτασης 8.86 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Η διαφορά σε αυτά τα δεδομένα ελέγχου σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις είναι για το έτος 2018 όπου απομονώθηκαν και απομακρύνθηκαν δεδομένα από γεωτεμάχια στην περιοχή της Καρδίτσας και της Θεσσαλονίκης. Επίσης και σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιήθηκε δοκιμή με το αυστηρό κριτήριο SCL, χωρίς κάποια αξιολογή μεταβολή, γι' αυτό και τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται.

Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI που παρατηρήθηκε σε αυτή την περίπτωση το 2017 καθώς και το 2019 ήταν ίδια με του συνόλου δεδομένων, ενώ το 2018 παρουσιάστηκε στις 4 Αυγούστου και ήταν 0.73. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας το 2018 ξεκίνησε από τις 23 Ιουνίου και η ξήρανση ολοκληρώθηκε περίπου στις 10 Οκτωβρίου.

Όσον αφορά την εποχικότητα, η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε στις 27 Ιουνίου και η ξήρανση ολοκληρώθηκε στις 10 Οκτωβρίου και η μέγιστη τιμή του δείκτη, η οποία αντανακλά το σημείο πλήρους ανάπτυξης του φυτού, παρατηρήθηκε στις 22 Αυγούστου και ήταν 0.70.

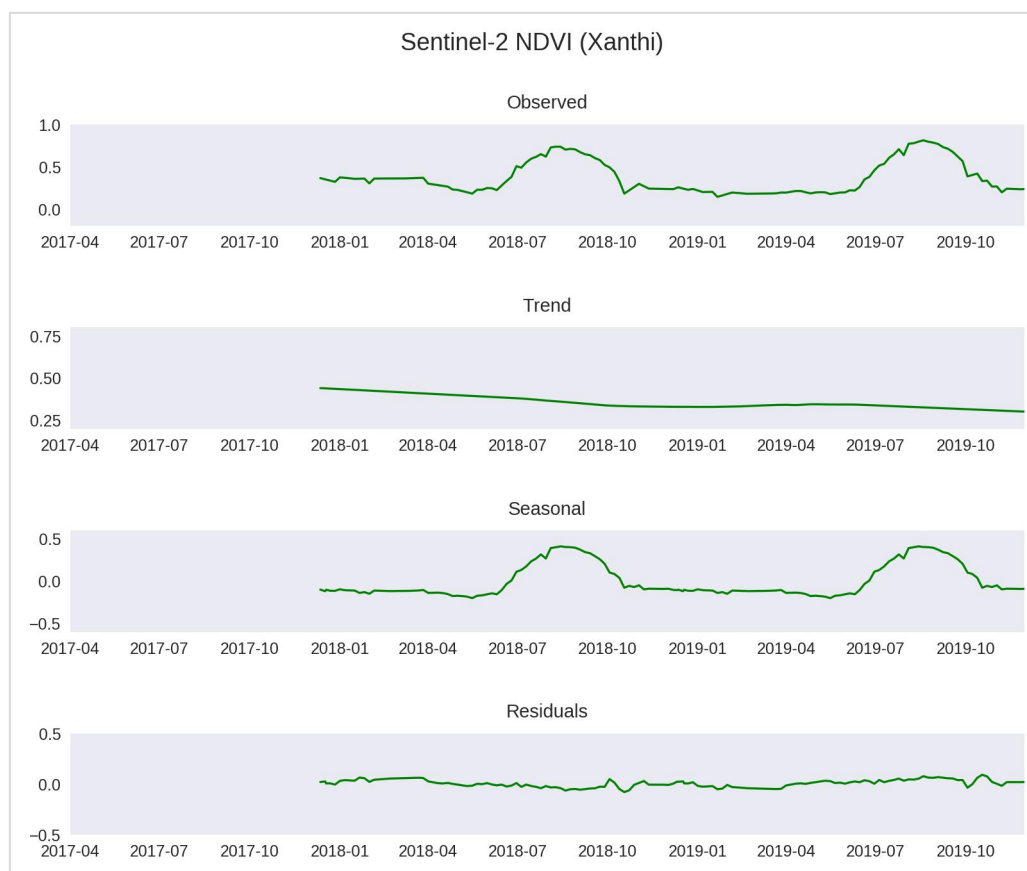


Διάγραμμα 9: δείκτης NDVI για τα έτη 2017, 2018, 2019 στις περιοχές Έβρου, Ροδόπης, Δράμας και Σερρών - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019

Επειδή για το έτος 2019 τα διαθέσιμα δεδομένα ελέγχου αφορούσαν το νομό Ξάνθης, επιλέχθηκε να γίνει δοκιμή περιορισμένη μόνο σε αυτή την γεωγραφική περιοχή με όσα διαθέσιμα δεδομένα υπήρχαν για τα προηγούμενα δύο έτη. Συνολικά στην περιοχή αυτή υπήρχαν 223 διαθέσιμα γεωτεμάχια συνολικής κάλυψης 4.11 τετραγωνικά χιλιόμετρα που αφορούσαν τα έτη 2018 και 2019. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις η δοκιμή με αυστηρότερο κριτήριο SCL, δεν είχε κάποιο αξιολογικό αποτέλεσμα.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 10, κατά μέσο όρο, οι καλλιέργειες βαμβακιού στην περιοχή φτάνουν στη μέγιστη ανάπτυξή τους στις 9 Αυγούστου το 2018 και 19 Αυγούστου το 2019, με τιμή του δείκτη NDVI 0.74 και 0.81 αντίστοιχα. Κατά το έτος 2018 η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε από 30 Ιουνίου και η ξήρανση ολοκληρώθηκε στις 8 Οκτωβρίου και το 2019 από 30 Ιουνίου έως 13 Οκτωβρίου. Η γραμμή εποχικότητας έδειξε ότι η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε από 26 Ιουνίου, η ξήρανση έφτασε έως τις 10 Οκτωβρίου και η μέγιστη ανάπτυξη παρατηρήθηκε περίπου στα μέσα του Αυγούστου .



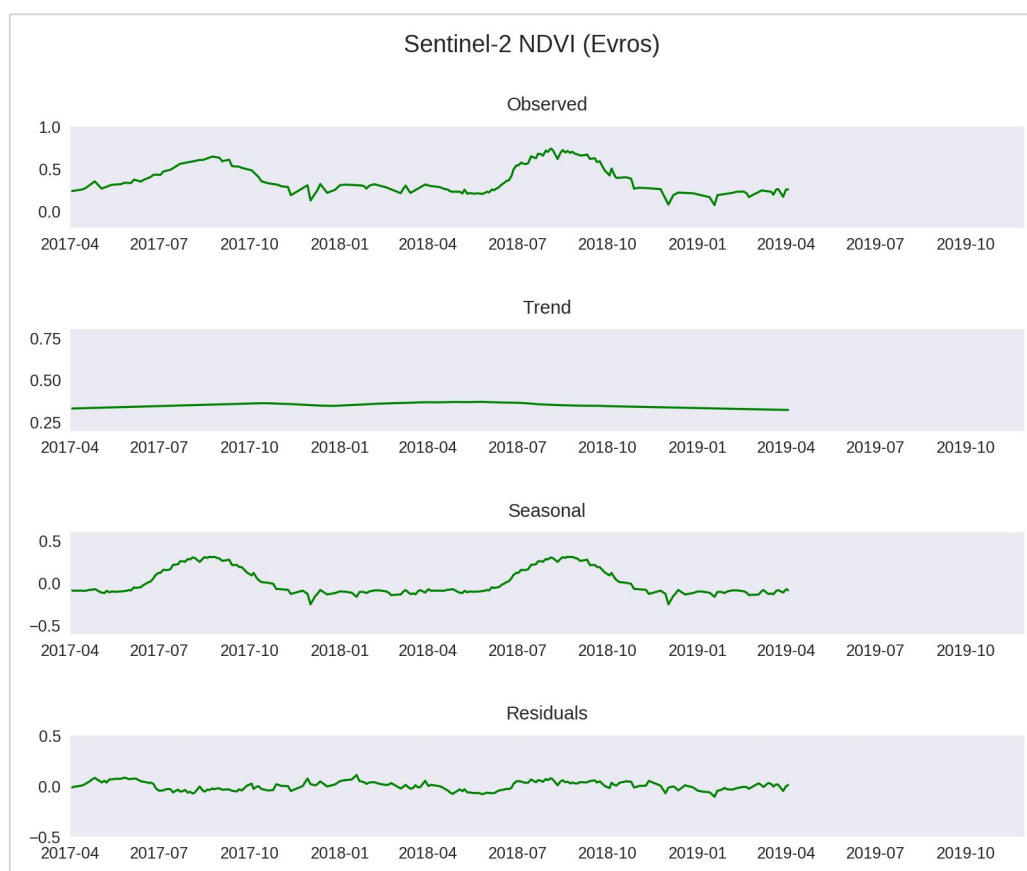
Διάγραμμα 10: δείκτης NDVI για τα έτη 2018, 2019 στην περιοχή Ξάνθης - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018

Επειδή τα δεδομένα ελέγχου το 2017 αναφέρονταν μόνο στο νομό Έβρου, επιλέχθηκε να απομονωθούν τα δεδομένα αυτής της περιοχής και από τα επόμενα έτη, ώστε να εξεταστούν ξεχωριστά. Στο διάγραμμα 11 παρουσιάζεται αυτή η δοκιμή. Εξετάστηκαν συνολικά 163 αγροτεμάχια, συνολικής κάλυψης 2.01 τετραγωνικών χιλιομέτρων για τα έτη 2017 και 2018. Τα δεδομένα του 2017 παραχωρήθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ, ενώ του 2018 από το εργαστήριο τηλεπισκόπησης.

Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI στην περιοχή του Ν. Έβρου το 2017 παρατηρήθηκε στις 24 Αυγούστου και ήταν 0.64, ενώ το 2018 παρατηρήθηκε στις 4 Αυγούστου και ήταν 0.73. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε στα τέλη Ιουνίου και τα δύο έτη και η ξήρανση ολοκληρώθηκε το 2017 πριν τα μέσα Οκτωβρίου ενώ το 2018 στις αρχές Οκτωβρίου.

Στο διάγραμμα 12 απεικονίζονται οι ιδανικές καμπύλες για το σύνολο δεδομένων και για τα δεδομένα που αφορούν αποκλειστικά το Ν. Έβρου. Συγκρίνοντας τις δύο καμπύλες παρατηρήθηκε αισθητή διαφορά στη μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI, ενώ δεν παρατηρήθηκε διαφορά στο διάστημα από την έναρξη της ανάπτυξης της καλλιέργειας μέχρι τη συγκομιδή.



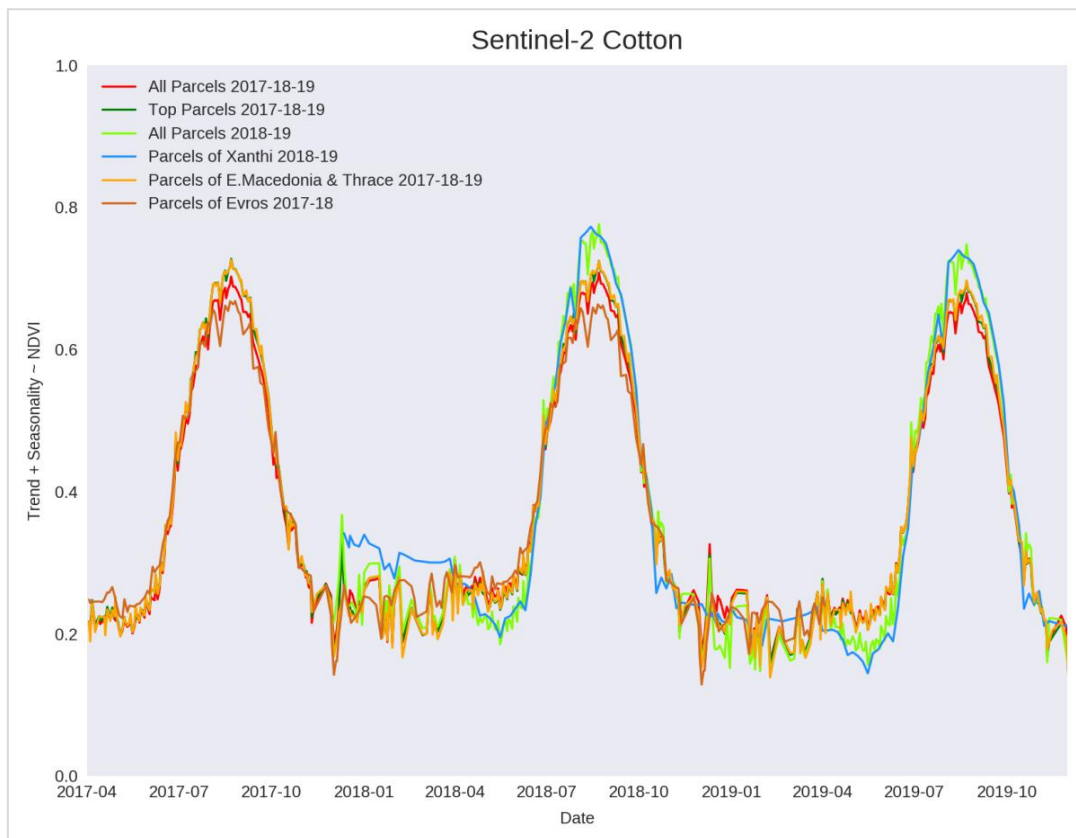
Διάγραμμα 11: δείκτης NDVI για τα έτη 2017, 2018 στην περιοχή Έβρου - κριτήριο SCL [4,7)



Διάγραμμα 12: δείκτης NDVI για τα έτη 2017, 2018, 2019 στις περιοχές Έβρου και Ξάνθης - κριτήριο SCL [4,7)

Σύγκριση αποτελεσμάτων

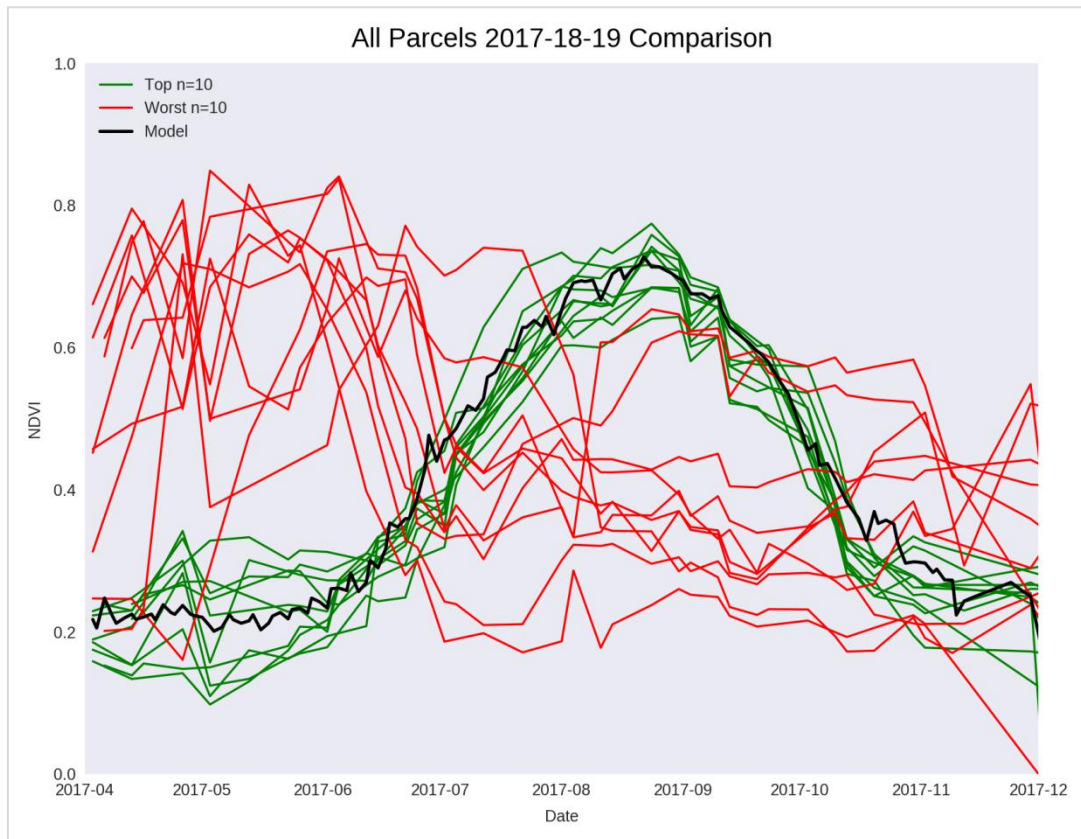
Στο διάγραμμα 12, απεικονίζεται το άθροισμα της τάσης με την εποχικότητα για όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Παρατηρήθηκε ότι οι καμπύλες που αφορούν μόνο δεδομένα από τα έτη 2018 και 2019, παρουσίασαν ψηλότερη τιμή NDVI, αλλά δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική διαφορά όσον αφορά την περίοδο από την έναρξη ανάπτυξης των καλλιεργειών μέχρι τη συγκομιδή. Οι χαμηλότερες τιμές NDVI, παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Ν. Έβρου. Αυτές οι παρατηρήσεις μπορεί να οφείλονται στη διαφορά της πηγής των δεδομένων, καθώς τα έτη 2018 και 2019 τα δεδομένα συλλέχθηκαν από το εργαστήριο τηλεπισκόπησης, ενώ τα δεδομένα του 2017 παραχωρήθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ. Αν η διαφορά δεν οφείλεται σε λάθος εγγραφές, τότε μπορεί να υπάρχει κάποιο χαρακτηριστικό στην περιοχή του Έβρου, άξιο περαιτέρω μελέτης.



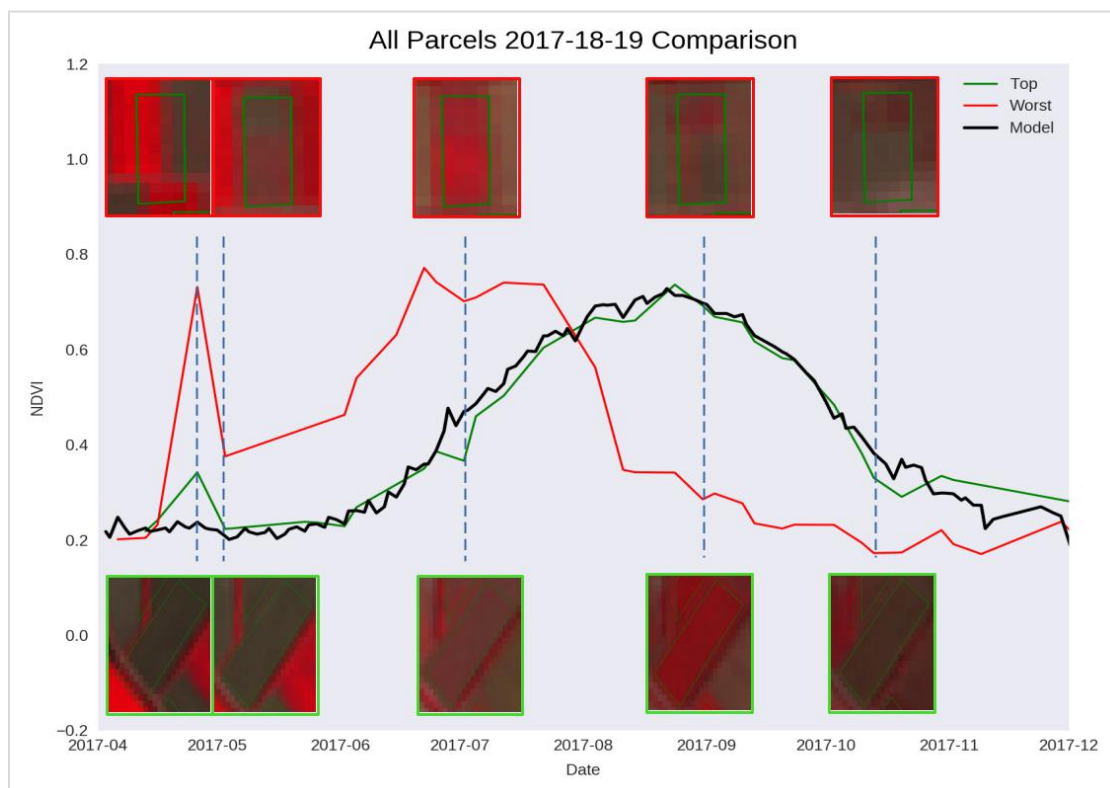
Διάγραμμα 13: Σύγκριση ιδανικής καμπύλης NDVI από όλες τις δοκιμές - κριτήριο SCL [4,7]

Στο διάγραμμα 13, απεικονίζεται ο μέσος όρος του δείκτη NDVI που προέκυψε από το σύνολο των δεδομένων κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019 (μαύρη γραμμή), σε σύγκριση με τα δέκα καλύτερα (πράσινη γραμμή) και δέκα χειρότερα (κόκκινη γραμμή) γεωτεμάχια του 2017. Παρατηρώντας τις χειρότερες καμπύλες, φαίνεται ότι ο δείκτης NDVI, ήταν κατά γενική άποψη ψηλότερος τους μήνες Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο, παρά τη μεγάλη διακύμανση, και φαίνεται ότι μειώθηκε η τιμή του τους επόμενους μήνες. Αυτό το χαρακτηριστικό έρχεται σε αντιπαράθεση με τη συμπεριφορά της καλλιέργειας του βαμβακιού, οπότε με επιφύλαξη προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα συγκεκριμένα αγροτεμάχια δεν αφορούσαν το βαμβάκι. Επίσης από τις συνολικές παρατηρήσεις, ήταν γνωστό ότι νέφη που δεν κάλυπταν όλη την επιφάνεια του αγροτεμαχίου, έδωσαν ψευδείς τιμές ανακλαστικότητας.

Για περαιτέρω εξέταση, στο διάγραμμα 14 παρουσιάζονται οι καμπύλες του καλύτερου και του χειρότερου αγροτεμαχίου καθώς και στιγμιότυπα (έγχρωμο σύνθετο - RGB843 Sentinel-2) του αγροτεμαχίου σε κοινά χρονικά σημεία ενδιαφέροντος. Οι πάνω εικόνες αφορούν το χειρότερο αγροτεμάχιο, ενώ οι κάτω το καλύτερο. Λόγω της υψηλής τιμή NDVI (έντονο κόκκινο χρώμα) που παρατηρήθηκε τους μήνες Απρίλιο και Μάιο και της χαμηλής τιμής τους καλοκαιρινούς μήνες (μουντό κόκκινο), θεωρήθηκε ότι το πολύγωνο με το μεγαλύτερο σφάλμα, δεν αντιπροσωπεύει καλλιέργεια βαμβακιού. Επίσης στην εικόνα της 26ης Απριλίου 2017, η γεωαναφορά φαίνεται ότι δεν συμφωνεί με τη θέση των πολυγώνων.

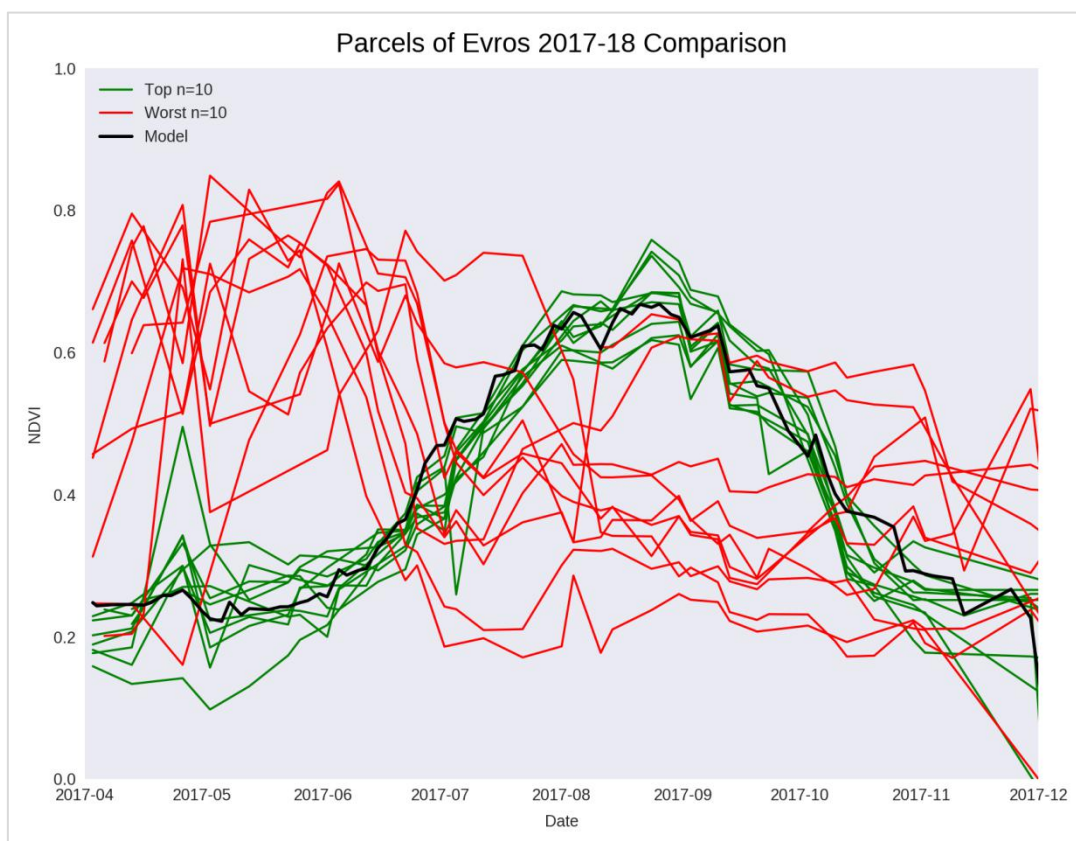


Διάγραμμα 14: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7]

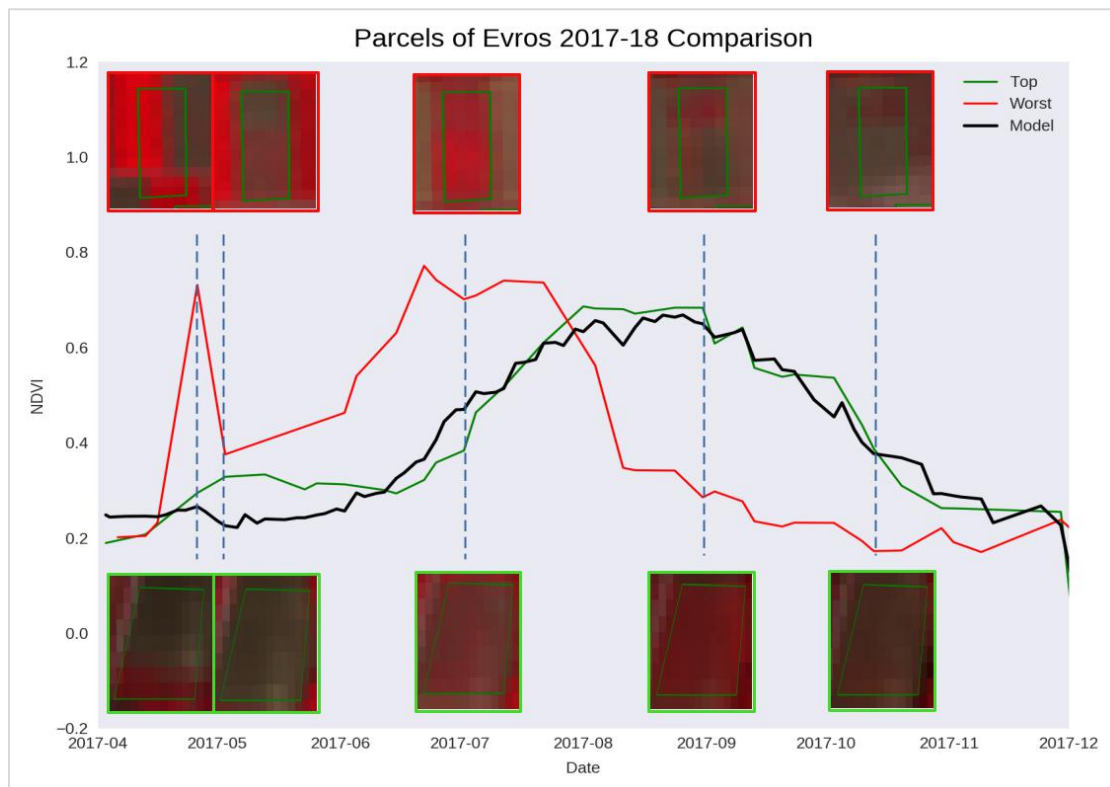


Διάγραμμα 15: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7], με παράθεση εικόνων

Στα διαγράμματα 16 και 17, συγκρίνονται τα καλύτερα και χειρότερα αγροτεμάχια που συλλέχθηκαν το 2017, με το σύνολο των δεδομένων του Ν. Έβρου κατά τα έτη 2017 και 2018. Η εικόνα μοιάζει με της προηγούμενης σύγκρισης, αφού το σύνολο των δεδομένων του 2017 αφορούσε την περιοχή Ν. Έβρου, όμως παρατηρήθηκε διαφοροποίηση ως προς ορισμένα από τα χειρότερα αγροτεμάχια. Οι υψηλές τιμές του δείκτη NDVI, την άνοιξη και οι χαμηλές τιμές το καλοκαίρι, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ορισμένες εγγραφές αφορούσαν άλλη καλλιέργεια και όχι βαμβάκι.



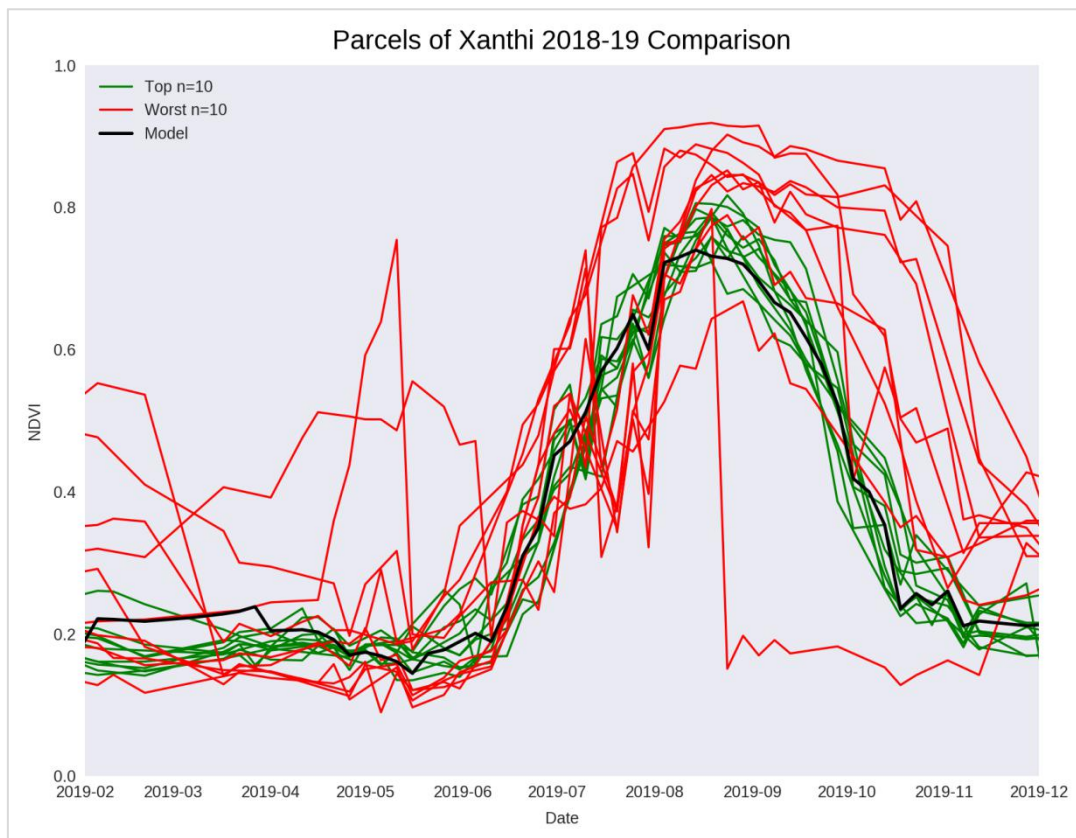
Διάγραμμα 16: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων του Ν. Έβρου κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7)



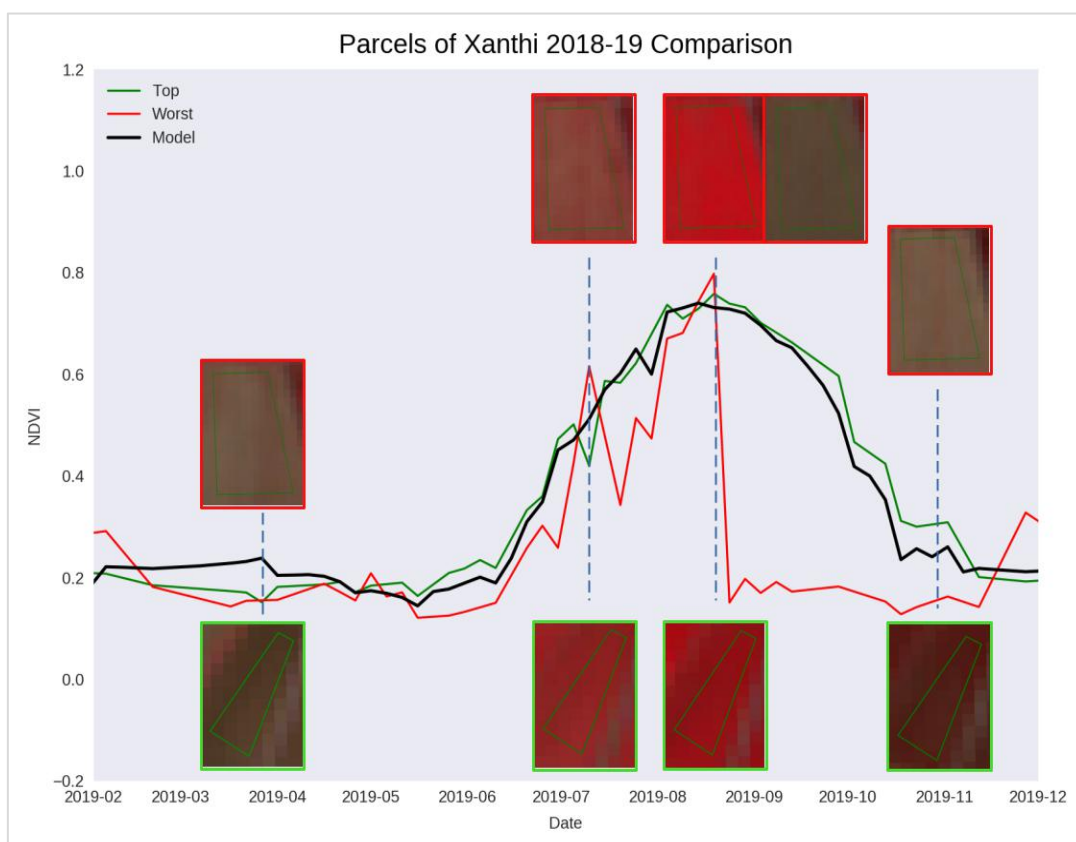
Διάγραμμα 17: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων του Ν. Έβρου κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7), με παράθεση εικόνων

Στα διαγράμματα 18 και 19 παρουσιάζεται η περίπτωση των δεδομένων που αφορούσαν το Ν. Ξάνθης για το έτος 2019. Η σύγκριση των πολυγώνων έγινε με τον μέσο όρο του δείκτη NDVI που προέκυψε από το σύνολο των δεδομένων του Ν. Ξάνθης κατά τα έτη 2018 και 2019. Σε αυτή την περίπτωση η εικόνα ήταν διαφορετική από αυτή που παρατηρήθηκε προηγουμένως. Κατά γενική άποψη, τα πολύγωνα ακολουθούσαν την πορεία του μέσου NDVI, όμως με υψηλότερη τιμή. Επίσης η αυξημένη τιμή που παρατηρήθηκε σημειοκά σε ορισμένες περιπτώσεις τους μήνες πριν τον Ιούνιο, μπορεί να οφειλόταν σε σφάλματα των εικόνων.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 19, η καλλιέργεια του αγροτεμαχίου με την μεγαλύτερη απόκλιση από το μέσο NDVI, παρουσίασε χαρακτηριστικές μεταβολές, από τα μέσα Ιουλίου και έπειτα. Οι πάνω εικόνες αφορούν τη χειρότερη καλλιέργεια, ενώ οι κάτω την καλύτερη. Ενώ η καλλιέργεια αναπτυσσόταν κανονικά, στα μέσα Ιουλίου παρατηρήθηκε ξαφνική πτώση του δείκτη NDVI, μετά συνέχισε να αυξάνεται με μικρές αυξομειώσεις μέχρι τέλη Αυγούστου όπου σημειώθηκε οριστική πτώση. Εικάζεται ότι αυτή η ξαφνική μεταβολή οφειλόταν σε χαλαζόπτωση που παρατηρήθηκε στην περιοχή τον μήνα Ιούλιο. Η χαλαζόπτωση μπορεί να κατέστρεψε το άνθος της καλλιέργειας και αφού δεν ήταν πια προσοδοφόρα, ο αγρότης αποφάσισε να την οργώσει νωρίτερα.



Διάγραμμα 18: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για τα δεδομένα N. Ξάνθης κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7)



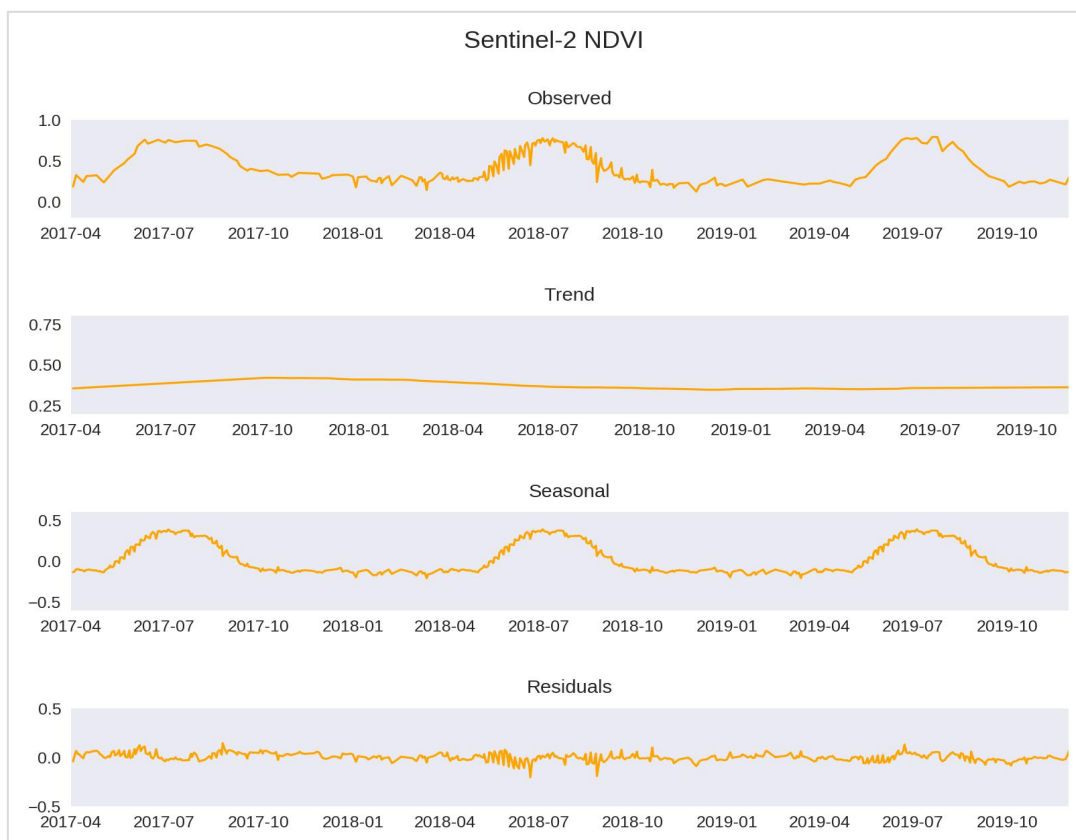
Διάγραμμα 19: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για τα δεδομένα N. Ξάνθης κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7), με παράθεση εικόνων

5.2 Καλλιέργεια καλαμποκιού

Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019

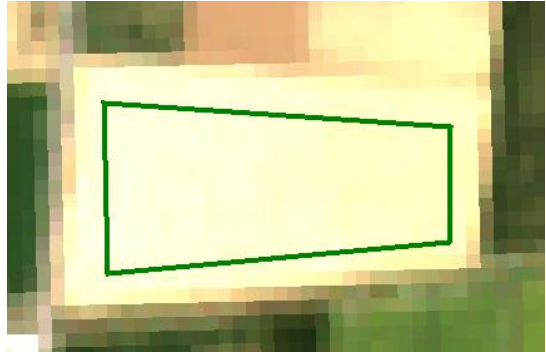
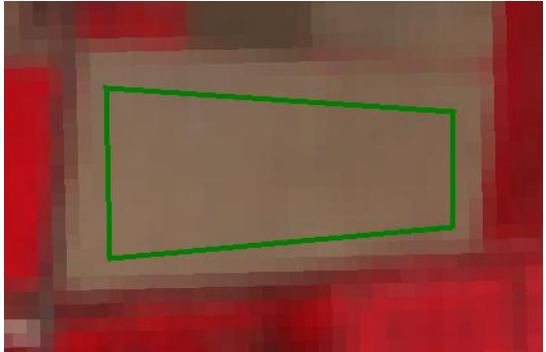
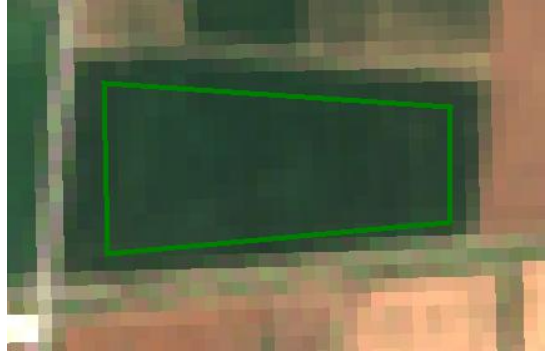
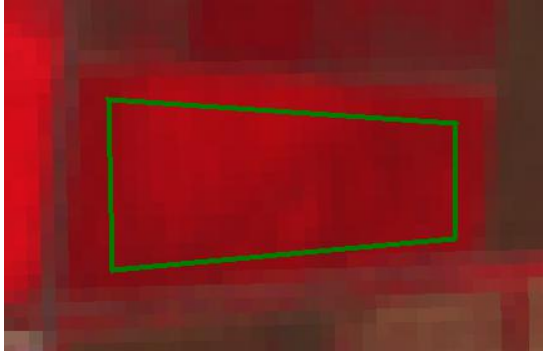
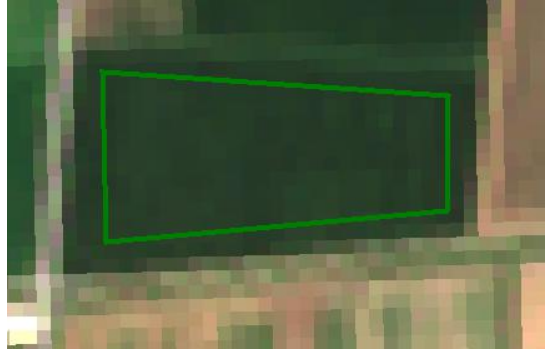
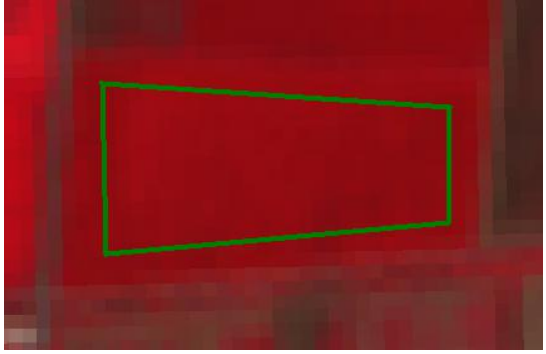
Στο διάγραμμα 20, απεικονίζεται η παρατήρηση (observed), η τάση (trend), η εποχικότητα (seasonality) και ο θόρυβος (residuals) του συνόλου των δεδομένων της καλλιέργειας καλαμποκιού. Το σύνολο των δεδομένων αφορούσε 379 γεωτεμάχια καλλιέργειας καλαμποκιού συνολικής έκτασης 6.45 τετραγωνικών χιλιομέτρων, που βρίσκονταν στις περιοχές Καρδίτσας, Δράμας, Σερρών, Ξάνθης, Ροδόπης και Έβρου. Τα δεδομένα του έτους 2017 αφορούσαν μόνο την περιοχή του Έβρου και τα δεδομένα του έτους 2019 αφορούσαν μόνο τις περιοχές Ροδόπης και Ξάνθης.

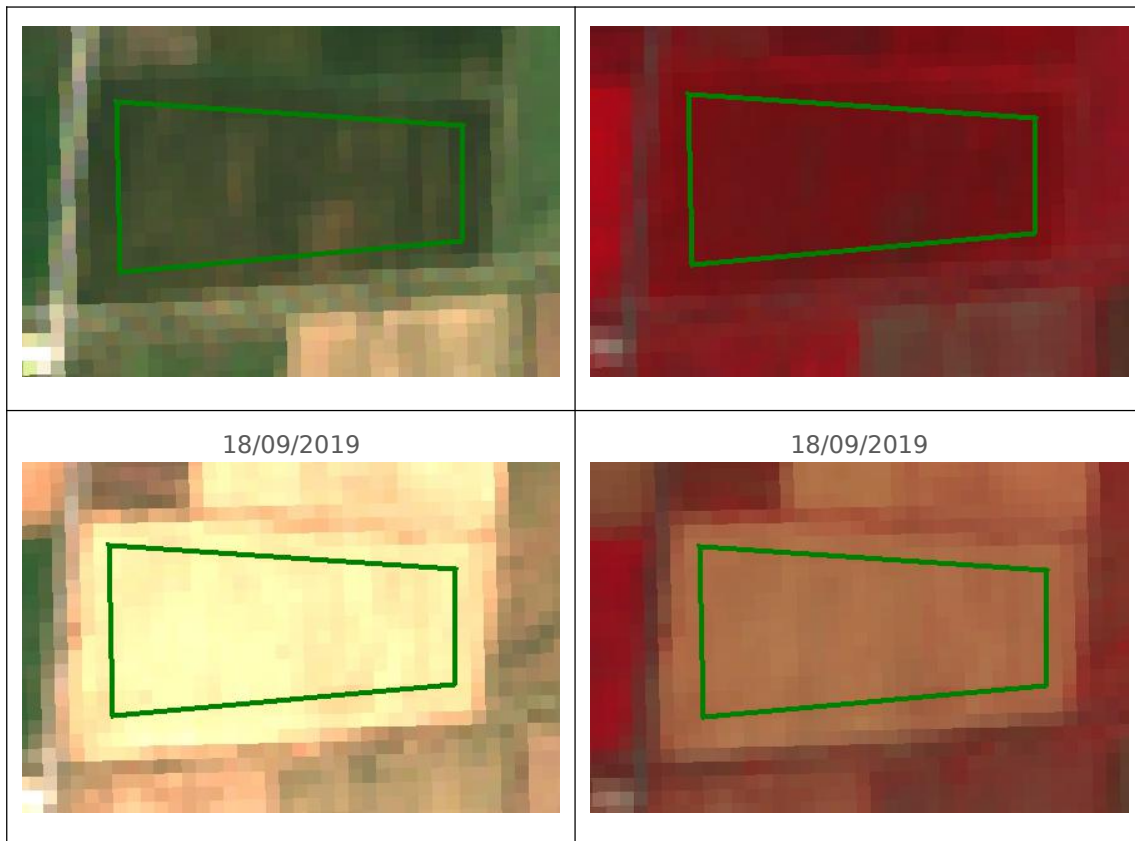
Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI που παρατηρήθηκε το 2017 από τις 12 Ιουνίου έως τις αρχές Αυγούστου ήταν 0.76, το 2018 από 16 Ιουνίου έως 8 Αυγούστου με μέγιστη τιμή να φτάνει 0.78 και το 2019 από 18 Ιουνίου έως τις αρχές Αυγούστου με μέγιστη τιμή 0.79. Η περίοδος από την έναρξη της ανάπτυξης της καλλιέργειας μέχρι την αρχή της συγκομιδής και τα 3 έτη ήταν περίπου ίδια. Ξεκινούσε περίπου μέσα Μαΐου και ολοκληρωνόταν στις αρχές Οκτώβρη. Στο διάγραμμα των παρατηρήσεων παρατηρείται όμοια εικόνα και στα 3 έτη παρατήρησης, με τη διαφορά ότι το 2018 υπάρχουν περισσότερες και πιο πυκνές διακυμάνσεις λόγω του μεγαλύτερου όγκου παρατηρήσεων, όπως παρατηρήθηκε και στην καλλιέργεια βαμβακιού.



Διάγραμμα 20: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων καλαμποκιού για τα έτη 2017, 2018, 2019 - κριτήριο SCL [4,7)

Στον πίνακα 6, απεικονίζεται η διαχρονική συμπεριφορά ενός αγροτεμαχίου καλαμποκιού, από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο του 2019. Στην αριστερή στήλη παρατίθενται οι εικόνες με φυσικά χρώματα, ενώ στη δεξιά με το έγχρωμο σύνθετο του δορυφόρου Sentinel-2, RGB-843. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στις εικόνες, κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο η καλλιέργεια ήταν στο καλύτερο επίπεδο ανάπτυξης και υγείας.

RGB-432, Sentinel-2	RGB-843, Sentinel-2
<p data-bbox="438 517 580 546">26/04/2019</p> 	<p data-bbox="1010 517 1152 546">26/04/2019</p> 
<p data-bbox="438 952 580 981">20/06/2019</p> 	<p data-bbox="1010 952 1152 981">20/06/2019</p> 
<p data-bbox="438 1386 580 1415">20/07/2019</p> 	<p data-bbox="1010 1386 1152 1415">20/07/2019</p> 
<p data-bbox="438 1821 580 1850">19/08/2019</p>	<p data-bbox="1010 1821 1152 1850">19/08/2019</p>

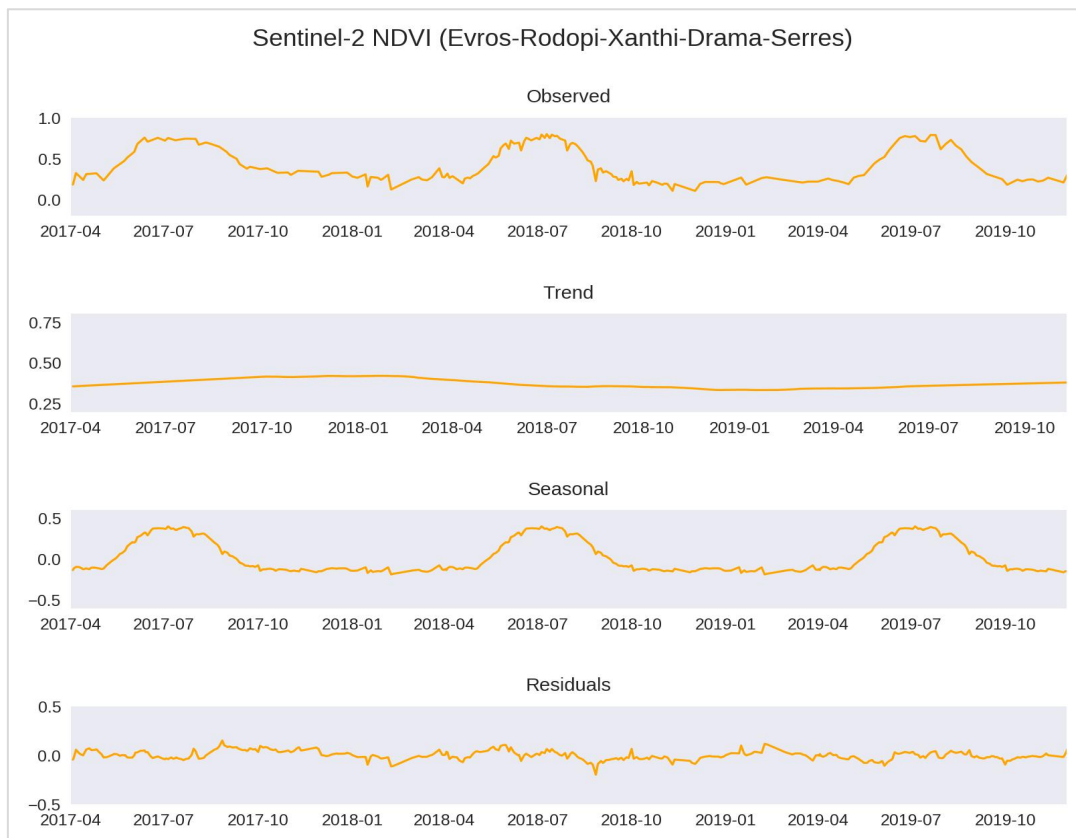


Πίνακας 6: Διαχρονική απεικόνιση αγροτεμαχίου καλαμποκιού σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο, αριστερά και ψευδέχρωμο RGB-843, δεξιά.

Δεδομένα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για τα έτη 2017, 2018 και 2019

Στο διάγραμμα 21 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του δείκτη NDVI σε μια πιο περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκαν τα διαθέσιμα δεδομένα στην περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης. Ως δεδομένα ελέγχου, χρησιμοποιήθηκαν 272 γεωτεμάχια, συνολικής έκτασης 4.72 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Τα δεδομένα για τα έτη 2017 και 2019 ήταν ίδια με την προηγούμενη περίπτωση, ενώ από τα δεδομένα του 2018 αποκλείστηκαν τα δεδομένα που αφορούσαν τις περιοχές της Καρδίτσας και της Θεσσαλονίκης.

Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI που παρατηρήθηκε σε αυτή την περίπτωση το 2017 καθώς και το 2019 ήταν ίδια με του συνόλου δεδομένων, ενώ το 2018 παρουσιάστηκε από τις 18 Ιουνίου έως τις 30 Ιουλίου και ήταν 0.80. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας το 2018 ξεκίνησε από τις 15 Μαΐου και η ξήρανση ολοκληρώθηκε μετά τα μέσα Σεπτέμβρη .

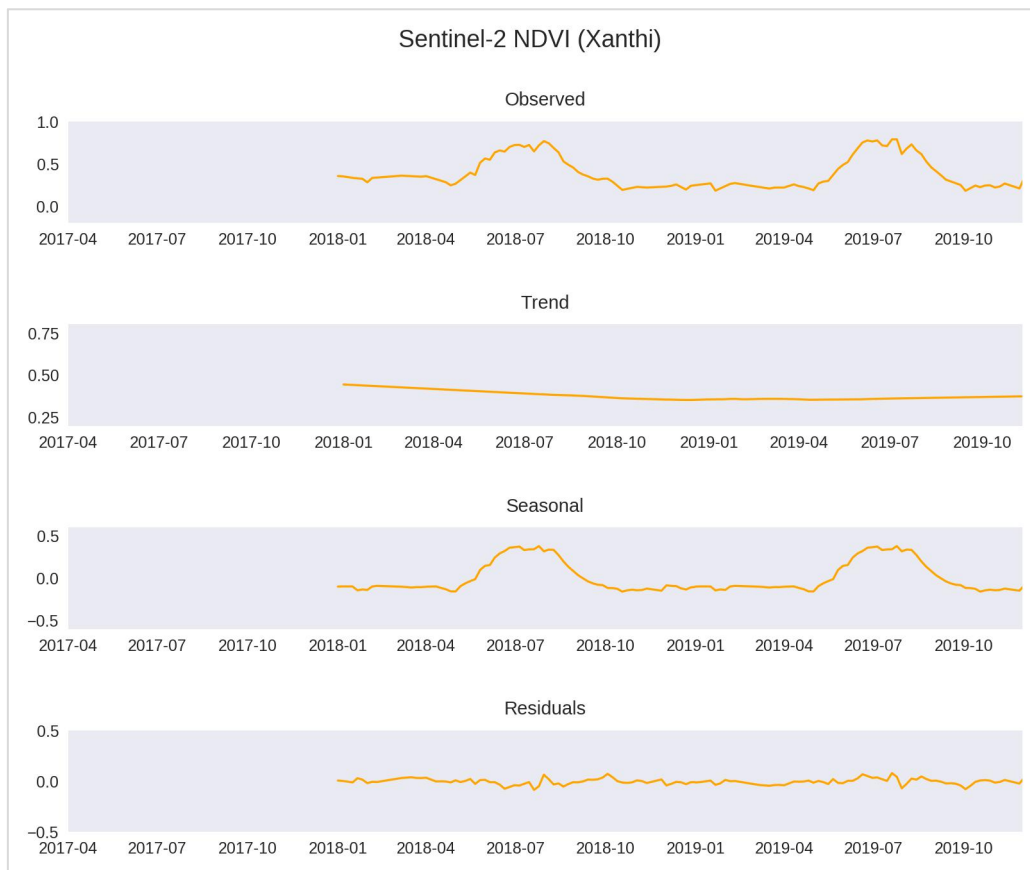


Διάγραμμα 21: δείκτης NDVI καλλιέργειας καλαμποκιού, τα έτη 2017, 2018, 2019 στις περιοχές Έβρου, Ροδόπης, Ξάνθης, Δράμας και Σερρών - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019

Και στην περίπτωση της καλλιέργειας καλαμποκιού, επειδή για το έτος 2019 τα διαθέσιμα δεδομένα ελέγχου αφορούσαν το νομό Ξάνθης, επιλέχθηκε να γίνει δοκιμή περιορισμένη μόνο σε αυτή την γεωγραφική περιοχή με όσα διαθέσιμα δεδομένα υπήρχαν για τα προηγούμενα δύο έτη. Συνολικά στην περιοχή αυτή υπήρχαν 160 διαθέσιμα γεωτεμάχια συνολικής κάλυψης 2.81 τετραγωνικά χιλιόμετρα που αφορούσαν τα έτη 2018 και 2019.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 22, το 2018 η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI έφτασε στις 25 Ιουλίου την τιμή 0.76. Κατά το έτος 2019, η μέγιστη τιμή που παρατηρήθηκε ήταν ελαφρώς αυξημένη. Συγκεκριμένα έφτασε 0.79 και παρατηρήθηκε επίσης στις 25 Ιουλίου. Η έναρξη της ανάπτυξης της καλλιέργειας το 2018 και το 2019 παρατηρήθηκε περίπου στα μέσα Μαΐου. Η ολοκλήρωση της ξήρανσης και τα 2 έτη καταγράφηκε περίπου τέλη Σεπτεμβρίου.

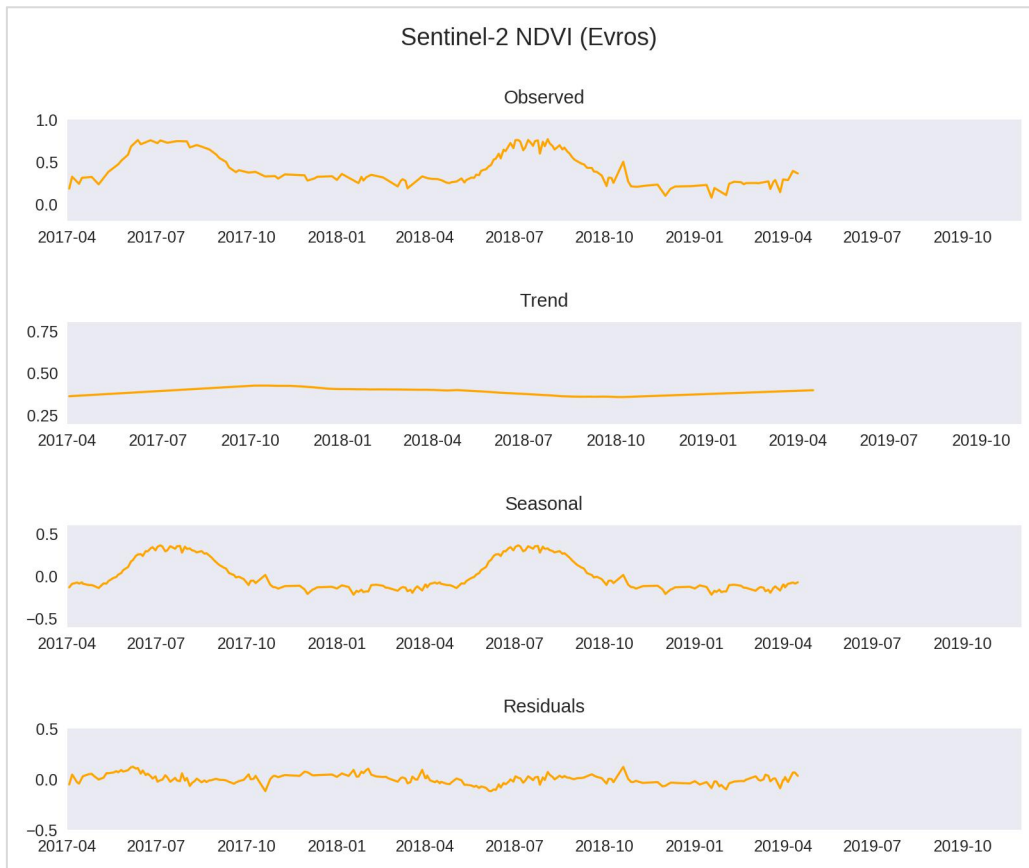


Διάγραμμα 22: δείκτης NDVI καλλιέργειας καλαμποκιού, τα έτη 2018, 2019 στην περιοχή Ξάνθης - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018

Εξετάστηκε μεμονωμένα και η περιοχή του Ν.Έβρου λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας δεδομένων κατά το έτος 2017. Για αυτή την περιοχή υπήρχαν δεδομένα για τα έτη 2017 και 2018. Εξετάστηκαν 45 αγροτεμάχια συνολικής έκτασης 0.44 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

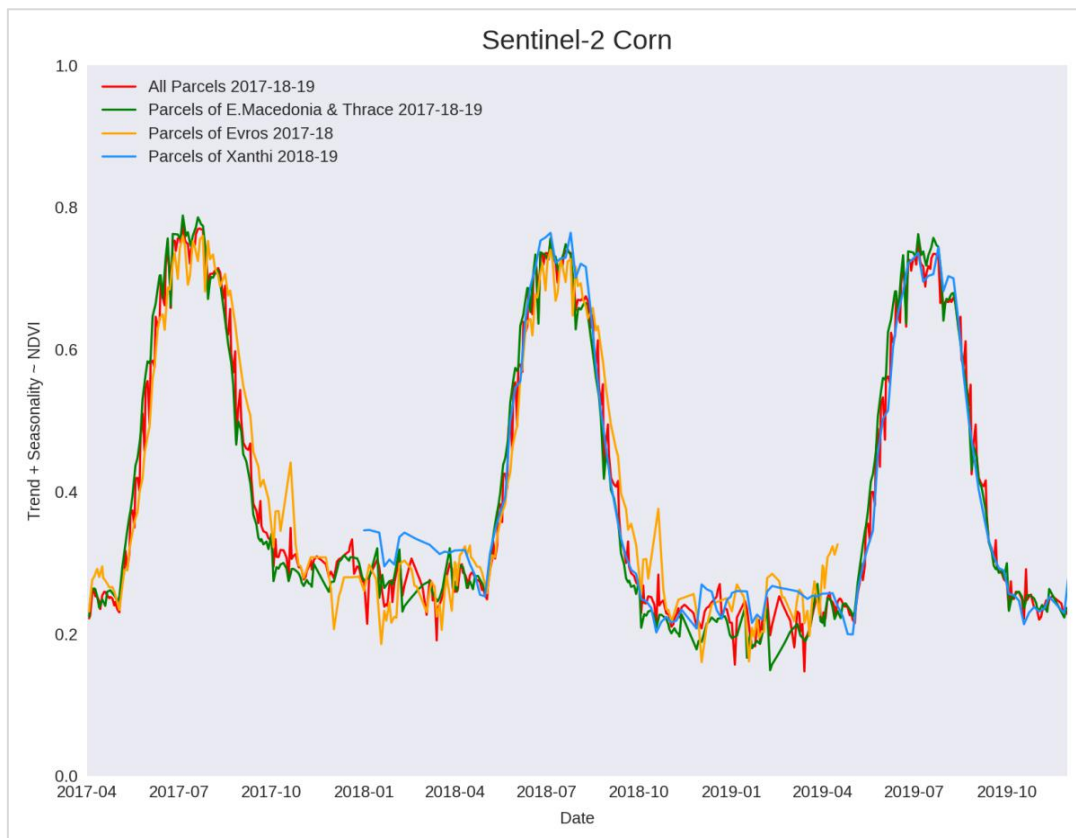
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 23, το 2019 παρατηρήθηκε πιο ομαλή αύξηση στις τιμές του δείκτη NDVI, παρά το 2018. Επίσης όπως συνέβη και στις προηγούμενες δοκιμές που αφορούσαν το καλαμπόκι, η ψηλότερη τιμή και στις 2 περιπτώσεις, παρά τις μικρές διακυμάνσεις, παρατηρήθηκε για χρονική περίοδο ορισμένων μηνών και όχι για συγκεκριμένη ημερομηνία. Κατά το έτος 2017 η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI ήταν 0.76 και διατηρήθηκε τόσο από τα μέσα Ιουνίου έως τις αρχές Αυγούστου, και κατά το έτος 2018 ήταν 0.77 από τις 20 Ιουνίου έως τις 9 Αυγούστου. Η περίοδος από την έναρξη της ανάπτυξης έως την ολοκλήρωση της ξήρανσης το 2017 διήρκεσε από 25 Μαΐου έως αρχές Σεπτεμβρίου και το 2018 από τις 31 Μαΐου έως αρχές Σεπτεμβρίου .



Διάγραμμα 23: δείκτης NDVI καλλιέργειας καλαμποκιού, τα έτη 2017, 2018 στην περιοχή Έβρου - κριτήριο SCL [4,7)

Σύγκριση αποτελεσμάτων

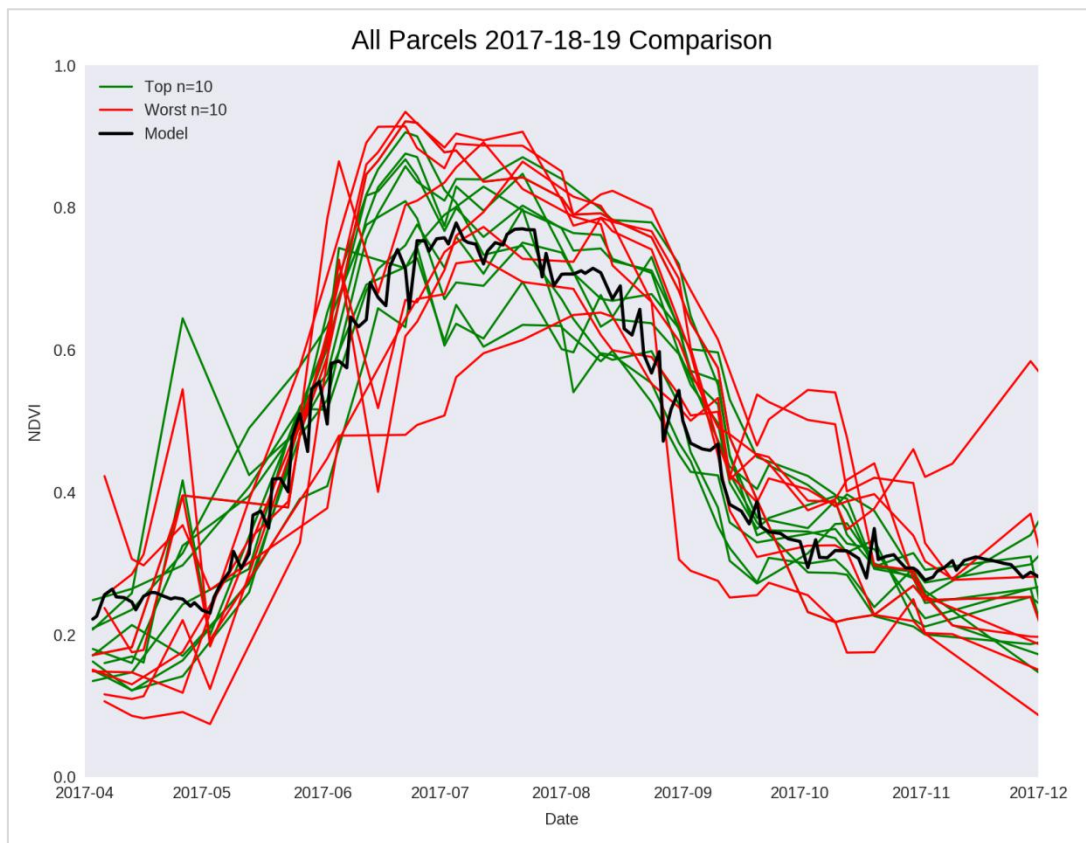
Στο διάγραμμα 24, απεικονίζεται το άθροισμα της τάσης με την εποχικότητα για όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Δεν παρατηρήθηκε κάποια ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στις διαφορετικές δοκιμές, ούτε ως προς τη μέγιστη τιμή που παρουσίασε ο δείκτης NDVI, αλλά ούτε και ως προς τη χρονική περίοδο της ανάπτυξης και διατήρησης της καλλιέργειας. Ωστόσο παρατηρήθηκε μικρή διαφορά ως προς τη μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI από έτος σε έτος, με την ψηλότερη τιμή να παρατηρείται το 2017 0.79 και τη χαμηλότερη το 2018 0.76 .



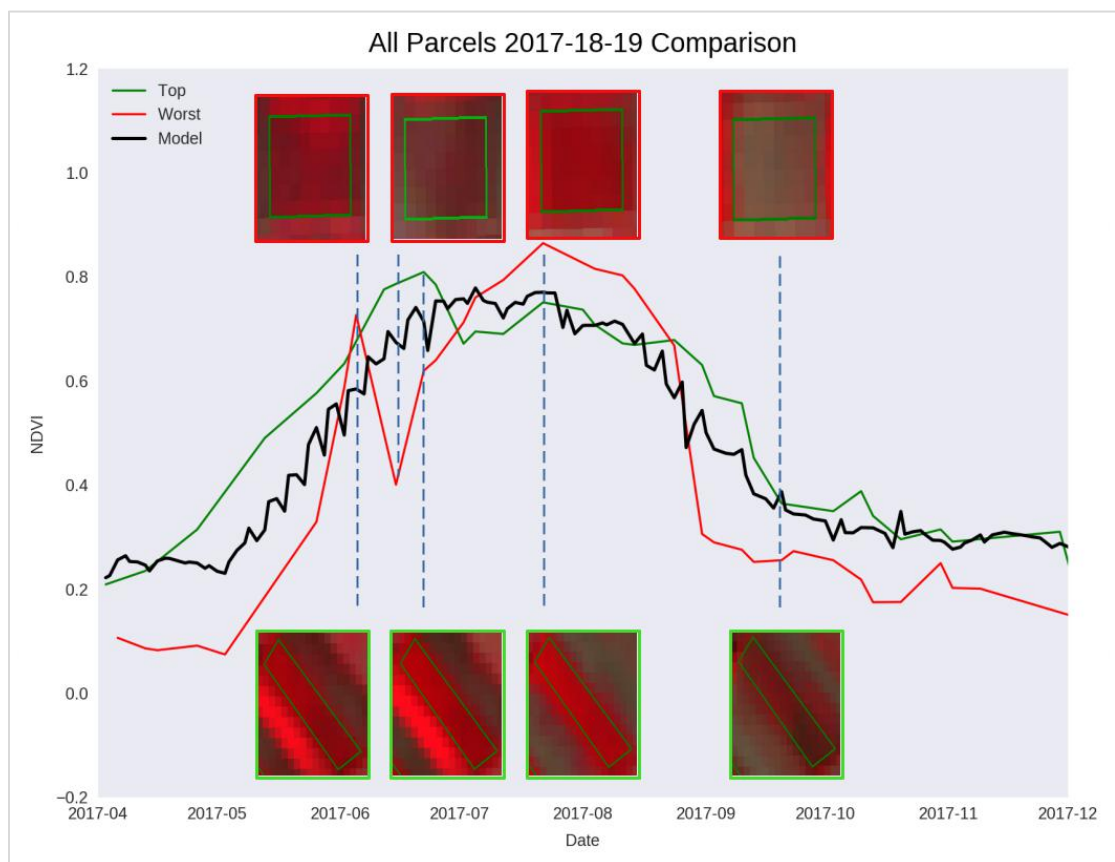
Διάγραμμα 24: Σύγκριση ιδανικής καμπύλης NDVI από όλες τις δοκιμές - κριτήριο SCL [4,7]

Στο διάγραμμα 25, απεικονίζεται ο μέσος όρος του δείκτη NDVI που προέκυψε από το σύνολο των δεδομένων κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019 (μαύρη γραμμή), σε σύγκριση με τα δέκα καλύτερα (πράσινη γραμμή) και δέκα χειρότερα (κόκκινη γραμμή) γεωτεμάχια του 2017. Παρατηρώντας τις χειρότερες καμπύλες, φάνηκε ότι ο δείκτης NDVI των χειρότερων πολυγώνων ακολουθούσε την καμπύλη του μέσου όρου. Τα περισσότερα από τα χειρότερα αγροτεμάχια παρουσίασαν ψηλότερη τιμή NDVI από το μέσο όρο, καθώς και ορισμένες έντονες διακυμάνσεις. Από αυτές τις παρατηρήσεις προέκυψε το συμπέρασμα ότι όντως σε αυτά τα αγροτεμάχια καλλιεργήθηκε καλαμπόκι και οι διακυμάνσεις οφείλονταν σε ψευδείς τιμές ανακλαστικότητας λόγω νεφών σε μέρος των εικόνων.

Για περαιτέρω εξέταση, στο διάγραμμα 26 παρουσιάζονται οι καμπύλες του καλύτερου και του χειρότερου αγροτεμαχίου καθώς και στιγμιότυπα (έγχρωμο σύνθετο - RGB843 Sentinel-2) του αγροτεμαχίου σε κοινά χρονικά σημεία ενδιαφέροντος. Οι πάνω εικόνες αφορούν το χειρότερο αγροτεμάχιο, ενώ οι κάτω το καλύτερο. Ενώ οι τιμές ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο ήταν ψηλές (έντονο κόκκινο) από το Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο, μέσα στον Ιούνιο παρατηρήθηκε έντονη πτώση στην ανακλαστικότητα στο χειρότερο αγροτεμάχιο (2η εικόνα). Αυτή η παρατήρηση ενδυναμώνει το συμπέρασμα για παρουσία νεφών αφού η πτώση αφορούσε μια συγκεκριμένη ημερομηνία.



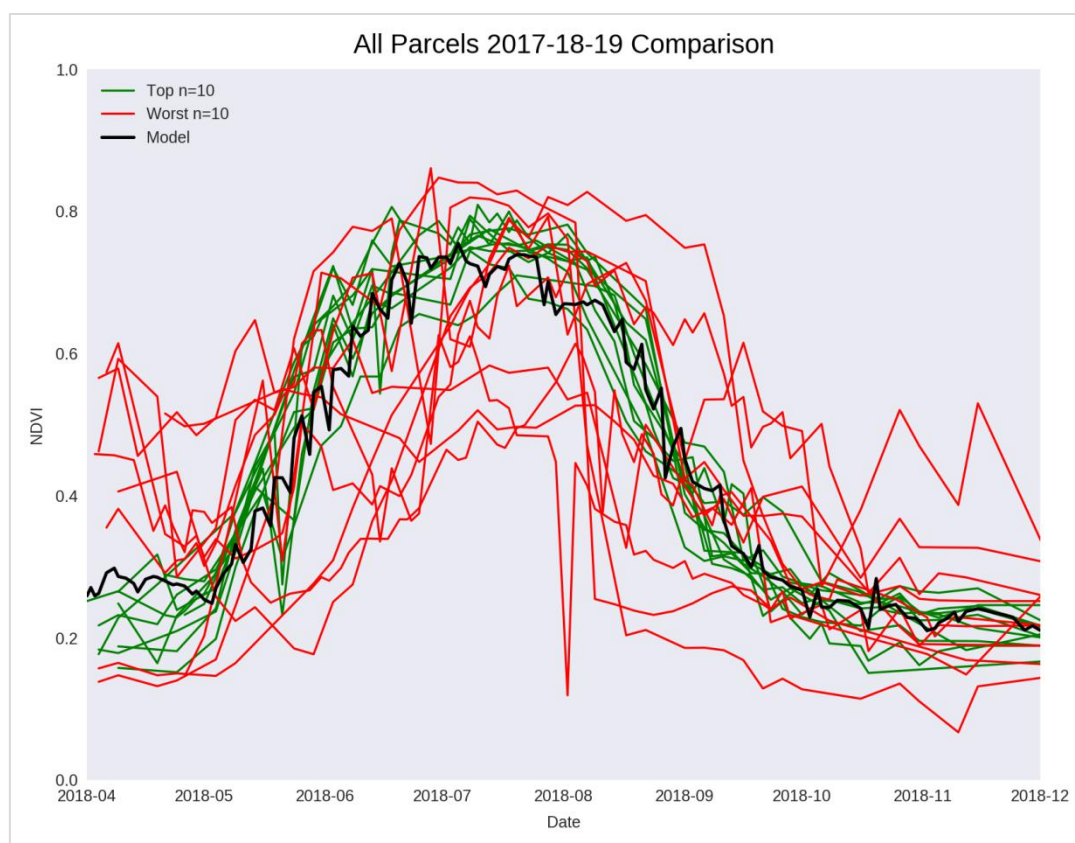
Διάγραμμα 25: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7]



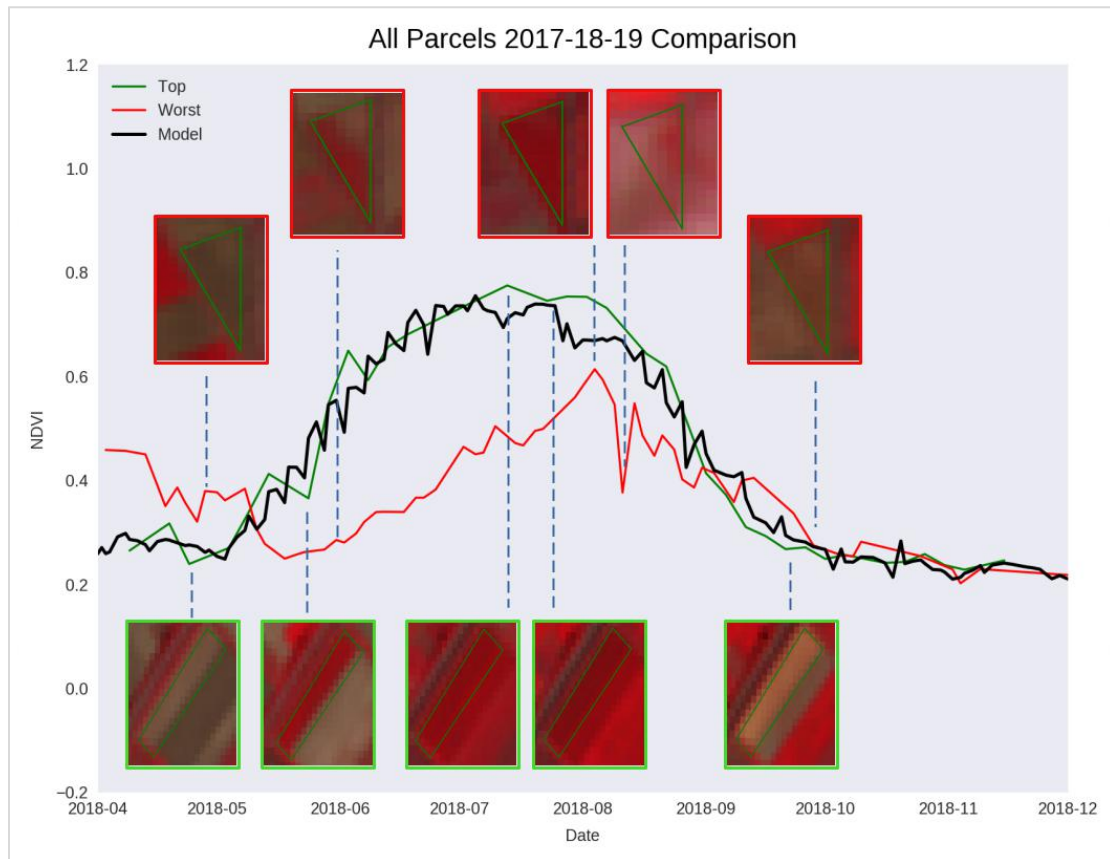
Διάγραμμα 26: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7], με παράθεση εικόνων

Στα διαγράμματα 27 και 28, συγκρίνονται τα καλύτερα και χειρότερα αγροτεμάχια από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν το 2018, σε σχέση με το σύνολο των δεδομένων κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019. Σε αυτή την περίπτωση, υπήρχε ποικιλία διαφοροποιήσεων. Παρατηρήθηκαν ψηλές τιμές NDVI πριν την έναρξη της ανάπτυξης καθώς και μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας. Επίσης κατά την περίοδο της πλήρους ανάπτυξης παρατηρήθηκαν χαμηλές τιμές στον δείκτη. Αυτή η απόκλιση από τις ορθές τιμές μπορεί να οφείλεται είτε σε λάθη κατά τη συλλογή των δεδομένων, δηλαδή να καταγράφηκαν καλλιέργειες ως καλαμπόκι ενώ δεν ήταν, είτε στην κακή κατάσταση ή έλλειψη περιποίησης των καλλιεργειών. Τέλος, παρατηρήθηκαν οι συνηθισμένες αυξομοιώσεις εξαιτίας των νεφών σε μέρος των αγροτεμαχίων.

Στο διάγραμμα 28, παρουσιάζεται η καμπύλη με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση. Όπως φαίνεται, η καμπύλη δεν ακολούθησε την πορεία ανάπτυξης του μέσου όρου των καλλιεργειών καλαμποκιού. Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης καλλιέργειας ξεκίνησε πολύ αργότερα, η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI έφτασε μόλις το 0.6 ενώ η πτώση της ακολούθησε το μέσο όρο. Πιθανόν αυτή η καμπύλη να περιγράφει ένα αγροτεμάχιο που δεν δέχτηκε την κατάλληλη περιποίηση.

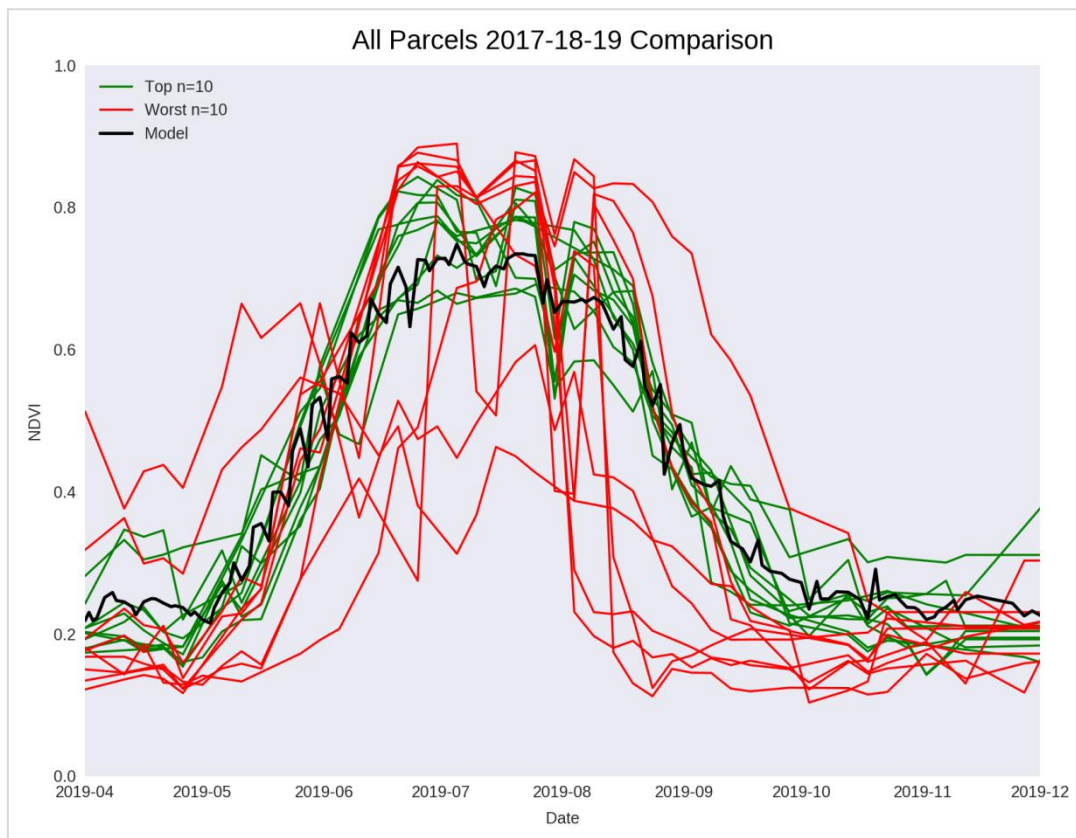


Διάγραμμα 27: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2018, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7]

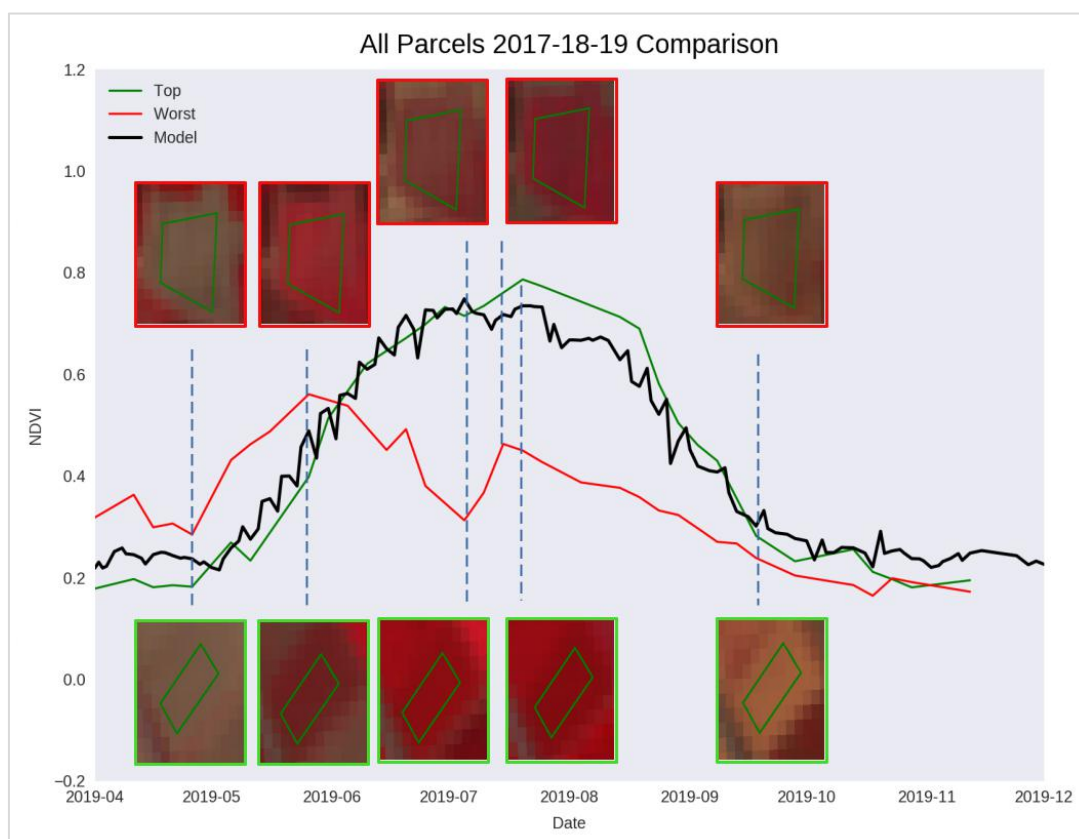


Διάγραμμα 28: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2018, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7], με παράθεση εικόνων

Στα διαγράμματα 29 και 30, συγκρίνονται τα καλύτερα και χειρότερα αγροτεμάχια από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν το 2019, με το σύνολο των δεδομένων κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019. Σε αυτή την περίπτωση, οι χειρότερες καμπύλες προήλθαν είτε λόγω έντονης πτώσης στην τιμή του δείκτη NDVI σε συγκεκριμένες ημερομηνίες, είτε λόγω πτώσης και διατήρησης της χαμηλής τιμής σε ορισμένα αγροτεμάχια. Η πρώτη περίπτωση οφείλεται στην ύπαρξη νεφών όπως και κατά το 2017. Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση, παρατηρώντας την πορεία ορισμένων καμπύλων καθώς και το διάγραμμα 30, φαίνεται ότι ενώ οι καλλιέργειες ξεκίνησαν να αναπτύσσονται κανονικά από τις αρχές Μαΐου μέχρι τον Ιούνιο, στη συνέχεια ακολούθησαν μια πτωτική τάση. Αυτή η πτώση του δείκτη NDVI, είναι ο αντίκτυπος της ύπαρξης χλωροφύλλης άρα και της κατάστασης της υγείας των καλλιεργειών. Η καταστροφή σε ορισμένες καλλιέργειες μπορεί να οφείλεται στη χαλαζόπτωση που υπήρξε κατά τους καλοκαιρινούς μήνες στην περιοχή Ροδόπης και Ξάνθης, απ' όπου προήλθαν τα δεδομένα, ή σε κάποια ασθένεια που κατέβαλε τις φυτείες.



Διάγραμμα 29: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7]



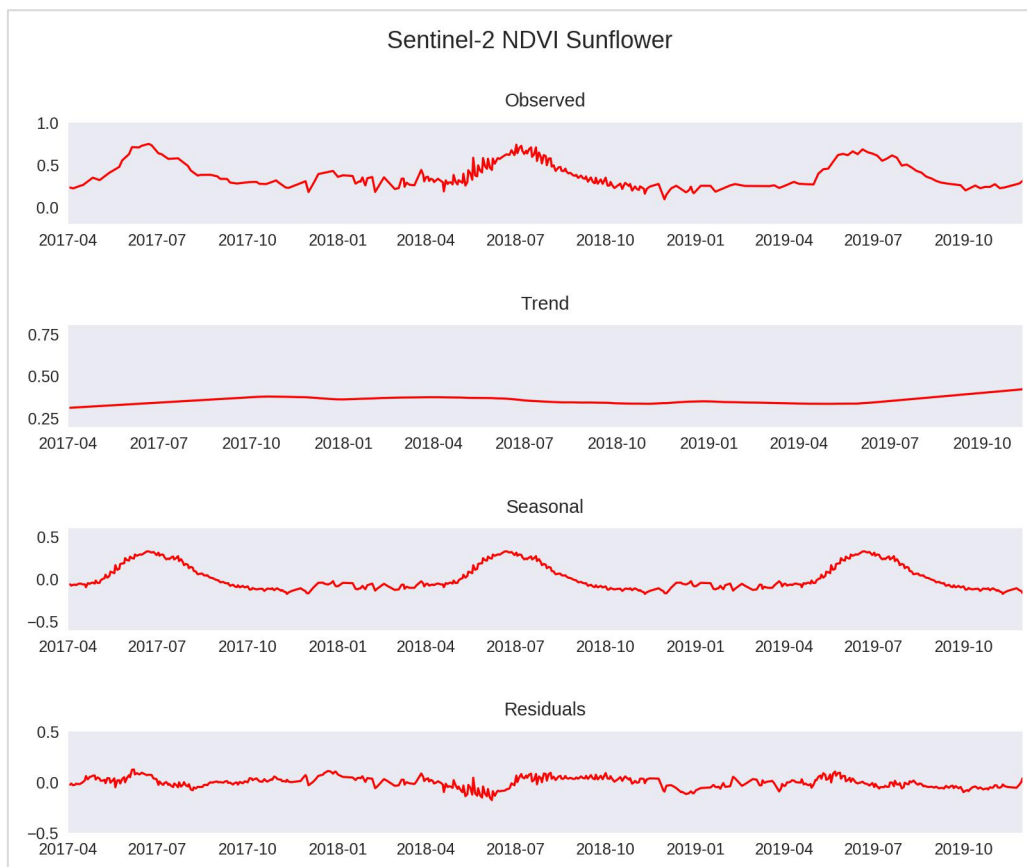
Διάγραμμα 30: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7], με παράθεση εικόνων

5.3 Καλλιέργεια ηλιάνθου

Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019

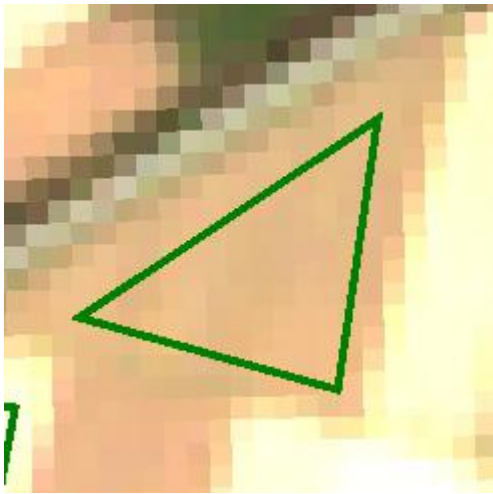
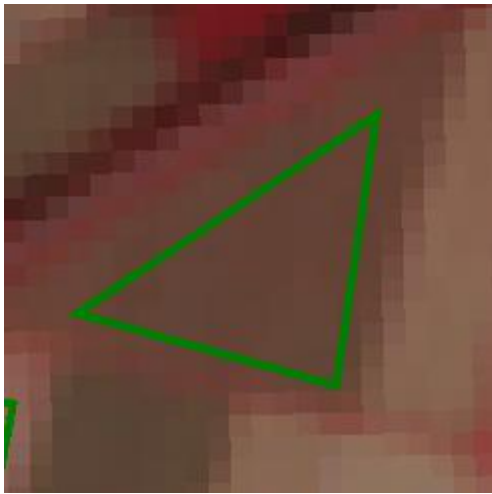
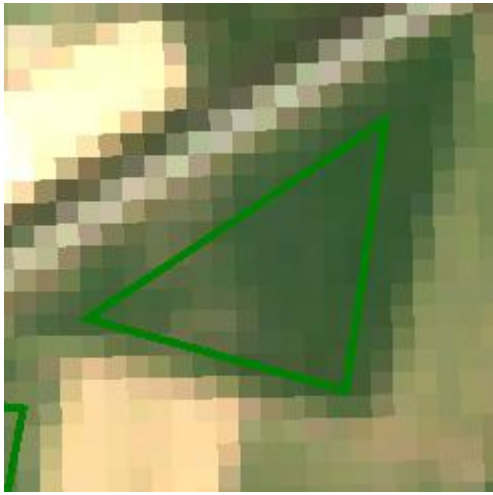
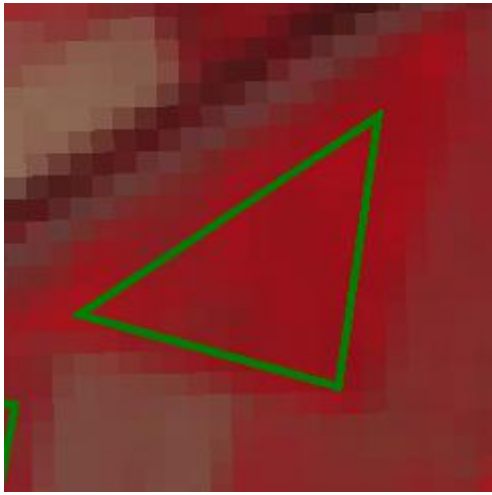
Στην περίπτωση του συνόλου των δεδομένων που αφορούσαν την καλλιέργεια ηλιάνθου, εξετάστηκαν 347 αγροτεμάχια, συνολικής έκτασης 3.70 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Οι καλλιέργειες βρίσκονταν στις περιοχές Δράμας, Σερρών, Ροδόπης, Ξάνθης, και Έβρου. Τα δεδομένα του έτους 2017 αφορούσαν μόνο την περιοχή του Έβρου, τα δεδομένα του έτους 2018 αφορούσαν όλες τις περιοχές και τα δεδομένα του έτους 2019 αφορούσαν μόνο τις περιοχές Ροδόπης και Ξάνθης.

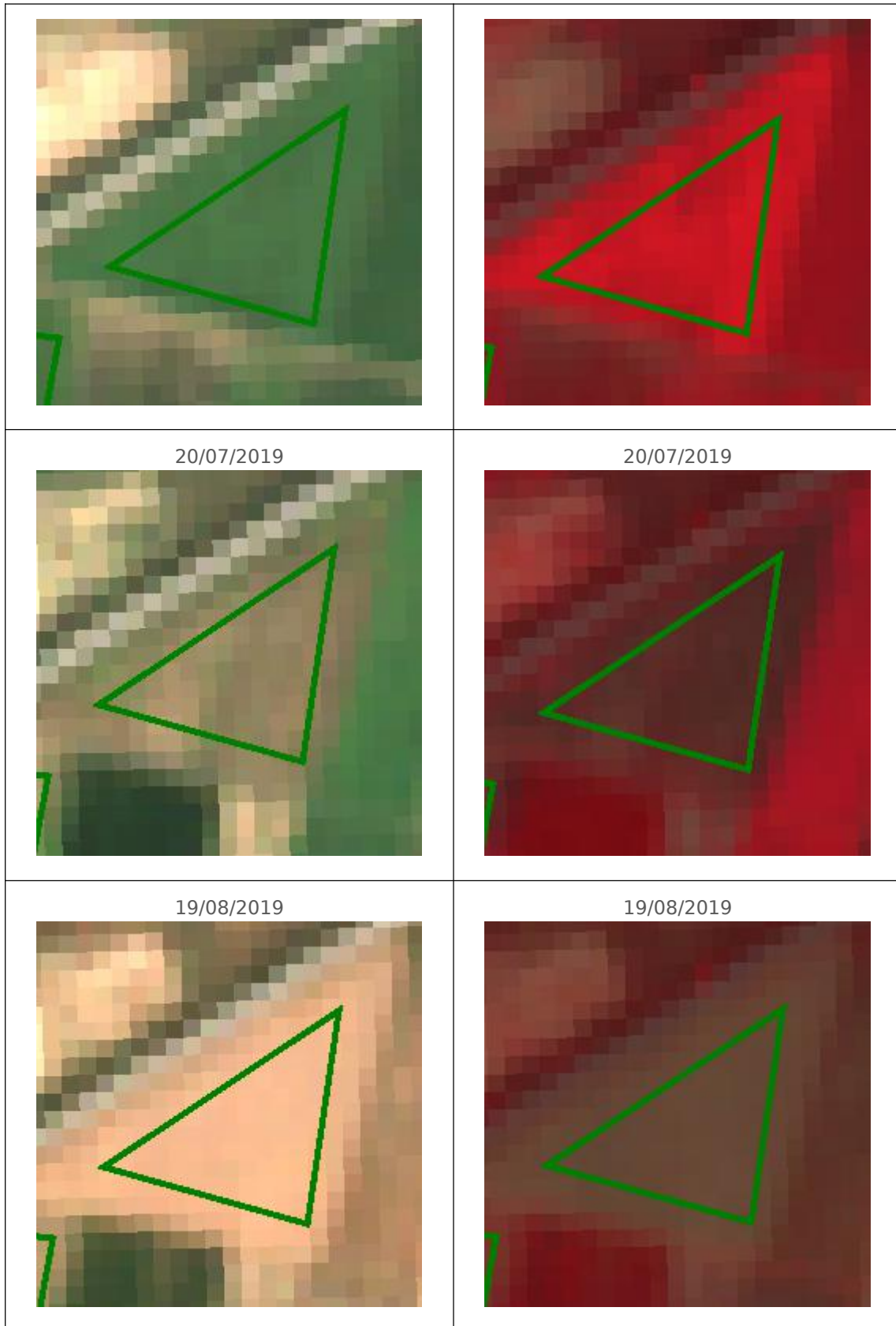
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 31, παρατηρήθηκαν ορισμένες διαφορές στο διάγραμμα απεικόνισης του μέσου όρου των παρατηρήσεων κάθε έτους. Κατά το 2017 η καμπύλη παρουσίασε εντονότερες κλίσεις, τόσο κατά την άνοδο όσο και κατά την κάθοδο. Κατά το 2018, αφαιρετικά η καμπύλη ήταν πιο ομαλή και κατά το 2019 στην άνοδο παρατηρήθηκε έντονη κλίση ενώ η πτώση πραγματοποιήθηκε ομαλά. Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI που παρατηρήθηκε κατά τα τρία έτη ήταν 0.75 στις 22 Ιουνίου το 2017, 0.74 στις 2 Ιουλίου το 2018 και 0.68 στις 20 Ιουνίου το 2019. Η έναρξη της ανάπτυξης της καλλιέργειας παρατηρήθηκε περίπου στα μέσα Μαΐου και η ολοκλήρωση της ξήρανσης περίπου μετά τα μέσα Αυγούστου και για τα 3 έτη παρατήρησης. Το 2018 παρατηρήθηκαν περισσότερες και πιο πυκνές διακυμάνσεις λόγω του μεγαλύτερου όγκου παρατηρήσεων όπως παρατηρήθηκε και στις άλλες καλλιέργειες.



Διάγραμμα 31: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων ηλίανθου για τα έτη 2017, 2018, 2019 - κριτήριο SCL [4,7)

Στον πίνακα 7, απεικονίζεται η διαχρονική συμπεριφορά ενός αγροτεμαχίου ηλίανθου από τον Απρίλιο έως τον Αύγουστο του 2019. Στην αριστερή στήλη οι εικόνες απεικονίζονται με το φυσικό έγχρωμο σύνθετο, ενώ στη δεξιά με το ψευδέγχρωμο του δορυφόρου Sentinel-2, RGB-843. Στις εικόνες του Μαΐου και του Ιουνίου η καλλιέργεια φαίνεται ότι είχε τα μέγιστα επίπεδα χλωροφύλλης, αφού στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο ήταν έντονα πράσινη και στο ψευδέγχρωμο ήταν έντονα κόκκινη. Το έντονο κόκκινο χρώμα προέκυψε από την υψηλή ανακλαστικότητα στην εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία, πράγμα που υποδεικνύει ισχυρή παρουσία χλωροφύλλης.

RGB-432, Sentinel-2	RGB-843, Sentinel-2
<p data-bbox="438 725 580 757">26/04/2019</p> 	<p data-bbox="1010 725 1152 757">26/04/2019</p> 
<p data-bbox="438 1296 580 1328">26/05/2019</p> 	<p data-bbox="1010 1296 1152 1328">26/05/2019</p> 
<p data-bbox="438 1868 580 1899">20/06/2019</p>	<p data-bbox="1010 1868 1152 1899">20/06/2019</p>

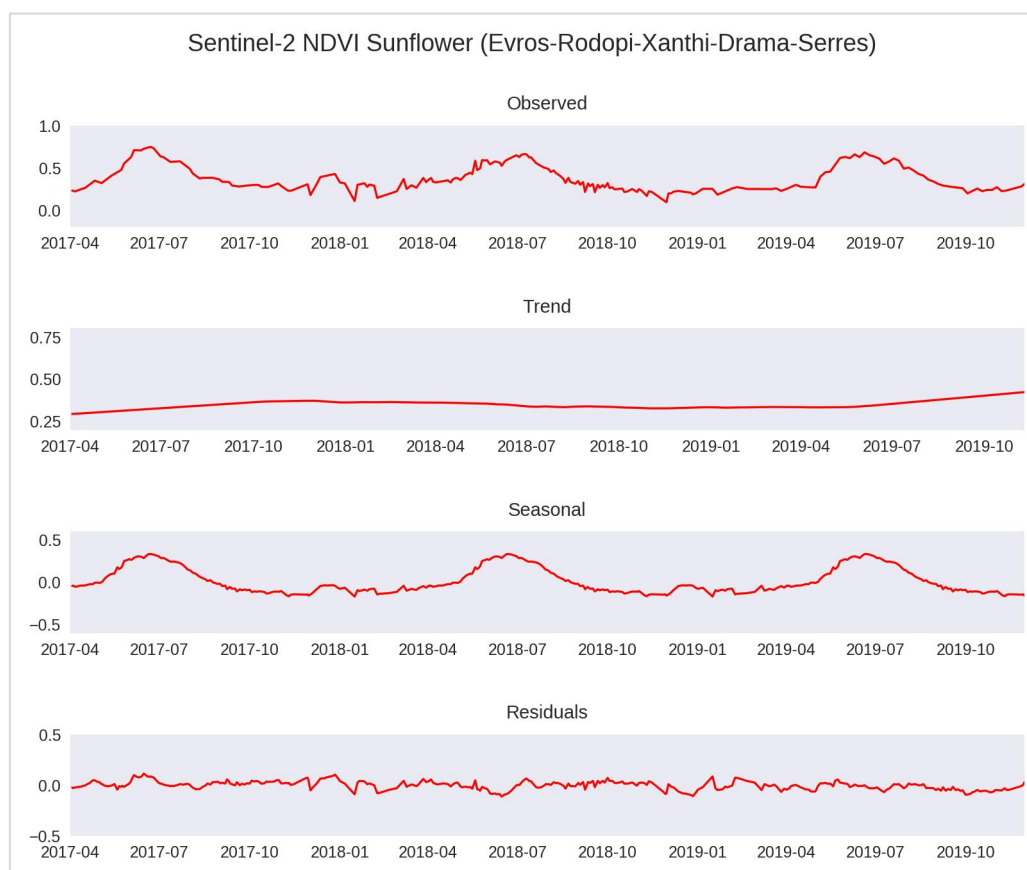


Πίνακας 7: Διαχρονική απεικόνιση αγροτεμαχίου ηλίανθου σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο, αριστερά και ψευδέχρωμο RGB-843, δεξιά.

Δεδομένα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για τα έτη 2017, 2018 και 2019

Στο διάγραμμα 32, παρουσιάζεται η συμπεριφορά του δείκτη NDVI στην περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης. Ως δεδομένα ελέγχου, χρησιμοποιήθηκαν 102 γεωτεμάχια, συνολικής έκτασης 2.07 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Τα δεδομένα του έτους 2017 αφορούσαν την περιοχή του Έβρου, του έτους 2018 τις περιοχές Δράμας και Σερρών και του έτους 2019 τις περιοχές Ροδόπης και Ξάνθης. Ο διαχωρισμός έγινε σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα και με σκοπό να χρησιμοποιούνται εικόνες από ένα tile σε κάθε έτος.

Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI το 2017 ήταν 0.75 και παρατηρήθηκε στις 22 Ιουνίου, το 2018 ήταν 0.66 και παρατηρήθηκε στις 8 Ιουλίου και το 2019 ήταν 0.68 και παρατηρήθηκε στις 20 Ιουλίου. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε στις 13, στις 9 και στις 11 Μαΐου τα έτη 2017, 2018 και 2019 αντίστοιχα. Η ξήρανση της καλλιέργειας ολοκληρώθηκε στις 11, στις 14 και στις 19 Αυγούστου τα έτη 2017, 2018 και 2019 αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε ότι η περίοδος που η καλλιέργεια περιείχε χλωροφύλλη, το 2018 ήταν μεγαλύτερη παρά τα άλλα δύο έτη.

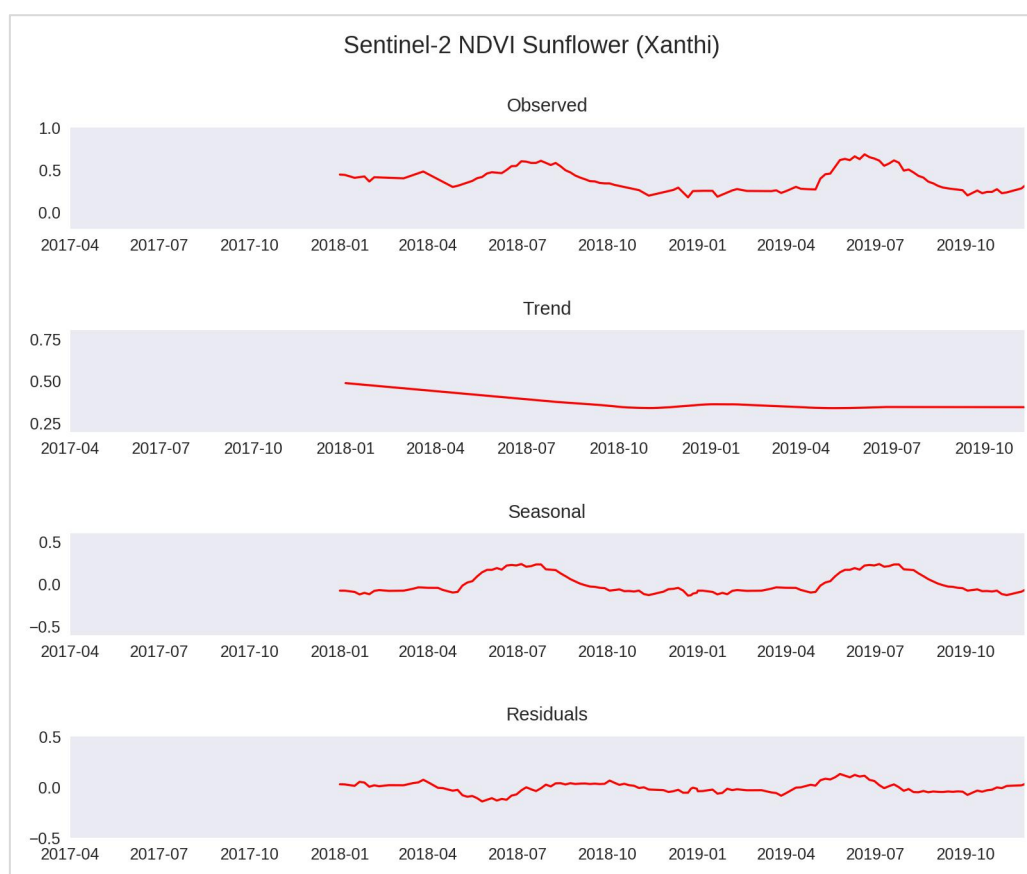


Διάγραμμα 32: δείκτης NDVI καλλιέργειας ηλιάνθου, τα έτη 2017, 2018, 2019 στις περιοχές Έβρου, Ροδόπης, Ξάνθης, Δράμας και Σερρών - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή η οποία αφορούσε την περιοχή της Ξάνθης. Διαθέσιμα δεδομένα για αυτή την περιοχή υπήρχαν για τα έτη 2018 και 2019. Εξετάστηκαν 64 αγροτεμάχια έκτασης 0.41 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 33, κατά μέσο όρο, οι καλλιέργειες ηλίανθου στην περιοχή φτάνουν στη μέγιστη ανάπτυξή τους στις 5 Ιουλίου το 2018 και 20 Ιουνίου το 2019, με τιμή του δείκτη NDVI 0.60 και 0.68 αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα παρατήρησης, το 2018 ο δείκτης NDVI διατηρήθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα παρά το 2019, επίσης η ανάπτυξη της καλλιέργειας φαίνεται ότι ξεκίνησε νωρίτερα το 2019. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξή της το 2018 ξεκίνησε 21 Μαΐου ενώ το 2019 στις 11 Μαΐου. Η ολοκλήρωση της διαδικασίας ξήρανσης καταγράφηκε στις 3 Σεπτεμβρίου και στις 24 Αυγούστου, τα έτη 2018 και 2019 αντίστοιχα.

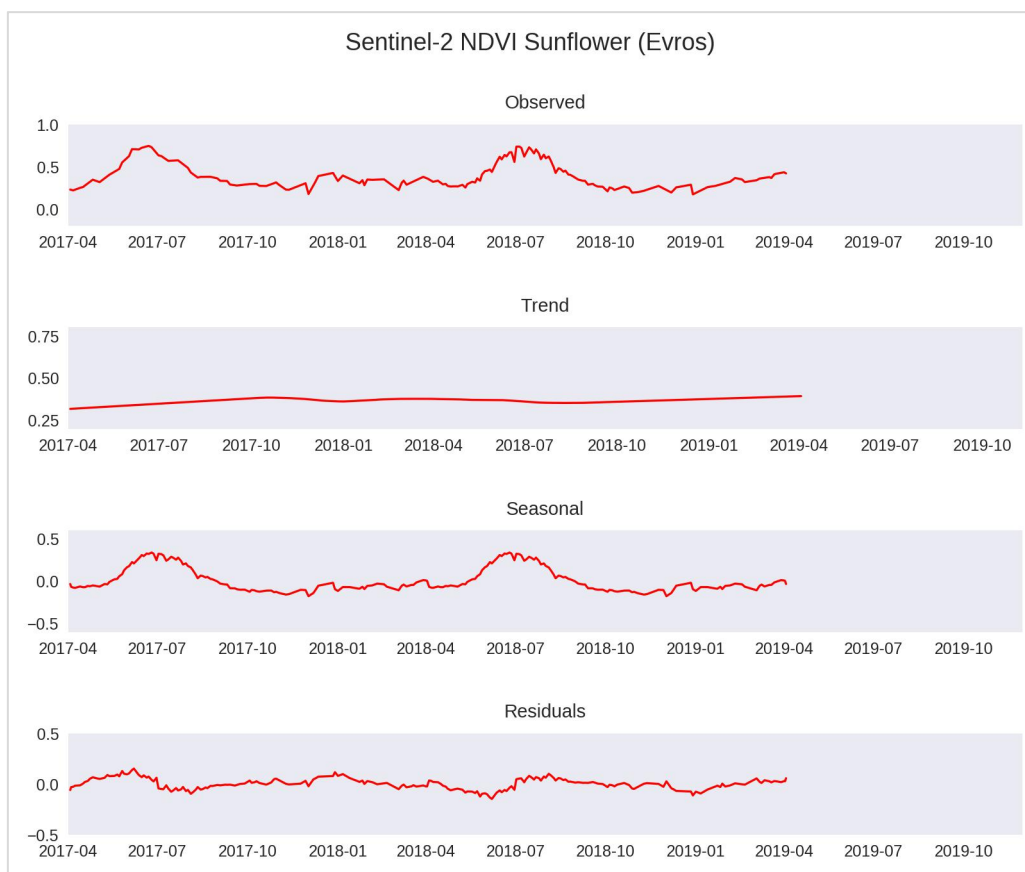


Διάγραμμα 33: δείκτης NDVI καλλιέργειας ηλίανθου, τα έτη 2018, 2019 στην περιοχή Ξάνθης - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018

Η τελευταία δοκιμή αφορούσε την περιοχή του Ν. Έβρου, για την οποία υπήρχαν δεδομένα για τα έτη 2017 και 2018. Εξετάστηκαν 225 αγροτεμάχια συνολικής έκτασης 2.33 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

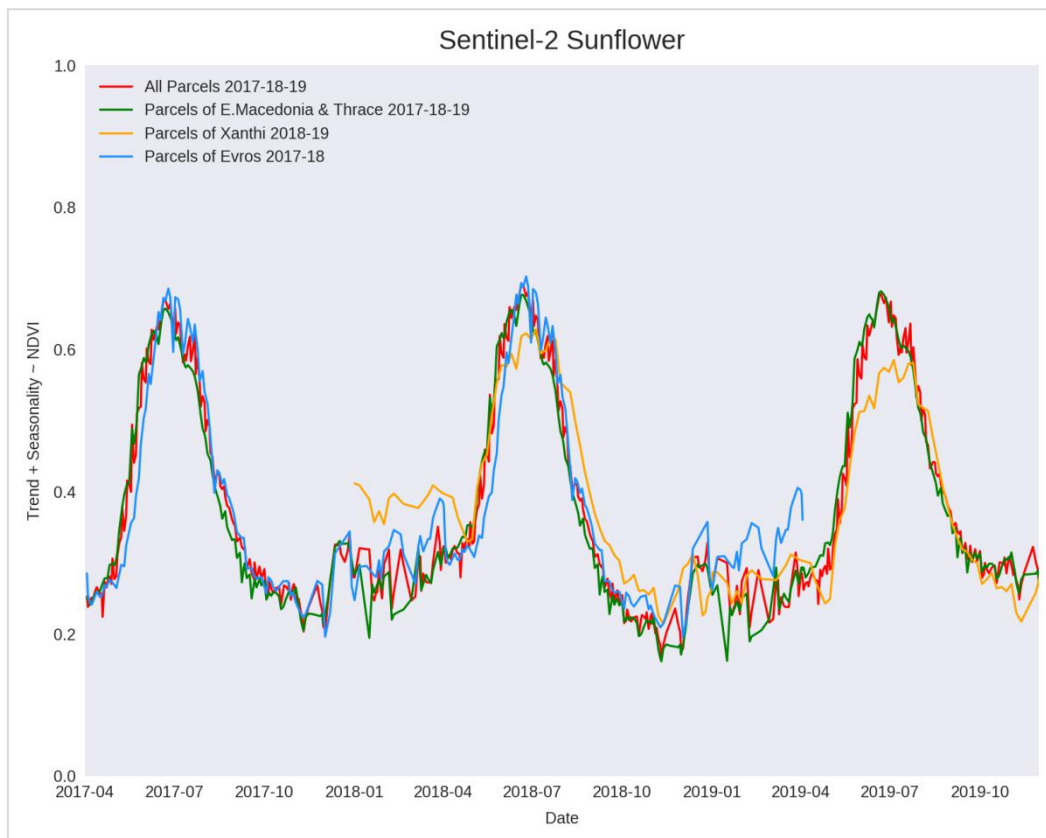
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 34 , το 2018 παρατηρήθηκε πιο ομαλή αύξηση στις τιμές του δείκτη NDVI, παρά το 2017. Η μέγιστη τιμή κυμάνθηκε στο ίδιο επίπεδο και τα δύο έτη, περίπου 0.74. Κατά το 2017 παρατηρήθηκε στις 25 Ιουνίου και κατά το 2018 στις 7 Ιουλίου. . Η περίοδος έναρξης της συγκομιδής, η οποία ορίζεται από το τέλος της ξήρανσης της καλλιέργειας, κατά το 2017 παρατηρήθηκε στις 10 Αυγούστου και κατά το 2018 στις 20 Αυγούστου.



Διάγραμμα 34: δείκτης NDVI καλλιέργειας ηλιάνθου, τα έτη 2017, 2018 στην περιοχή Έβρου - κριτήριο SCL [4,7)

Σύγκριση αποτελεσμάτων

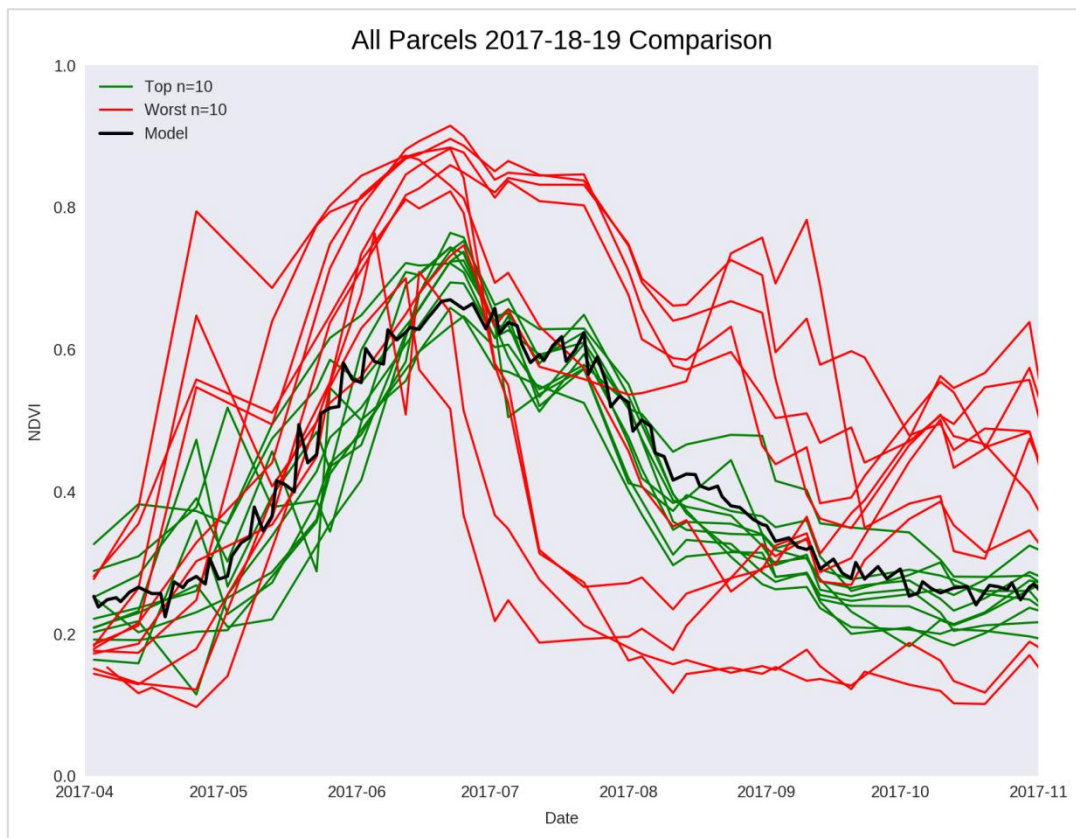
Συγκρίνοντας στο διάγραμμα 35 τις ιδανικές καμπύλες που προέκυψαν από κάθε δοκιμή, φάνηκε ότι η συμπεριφορά της καλλιέργειας καλαμποκιού ήταν παρόμοια σε όλες τις περιπτώσεις, ωστόσο υπήρχαν ορισμένες διαφοροποιήσεις. Συγκεκριμένα, η καμπύλη που αφορούσε τα δεδομένα του Ν. Ξάνθης, παρουσίασε χαμηλότερη τιμή δείκτη NDVI. Κάποιες άλλες παρατηρήσεις είναι ότι από τα δεδομένα του Ν. Έβρου προέκυψε υψηλότερος δείκτης NDVI, παρά από τις υπόλοιπες δοκιμές και σε αυτή την περιοχή το διάστημα όπου η καλλιέργεια περιείχε χλωροφύλλη ήταν πιο στενό και στα 2 έτη παρατήρησης.



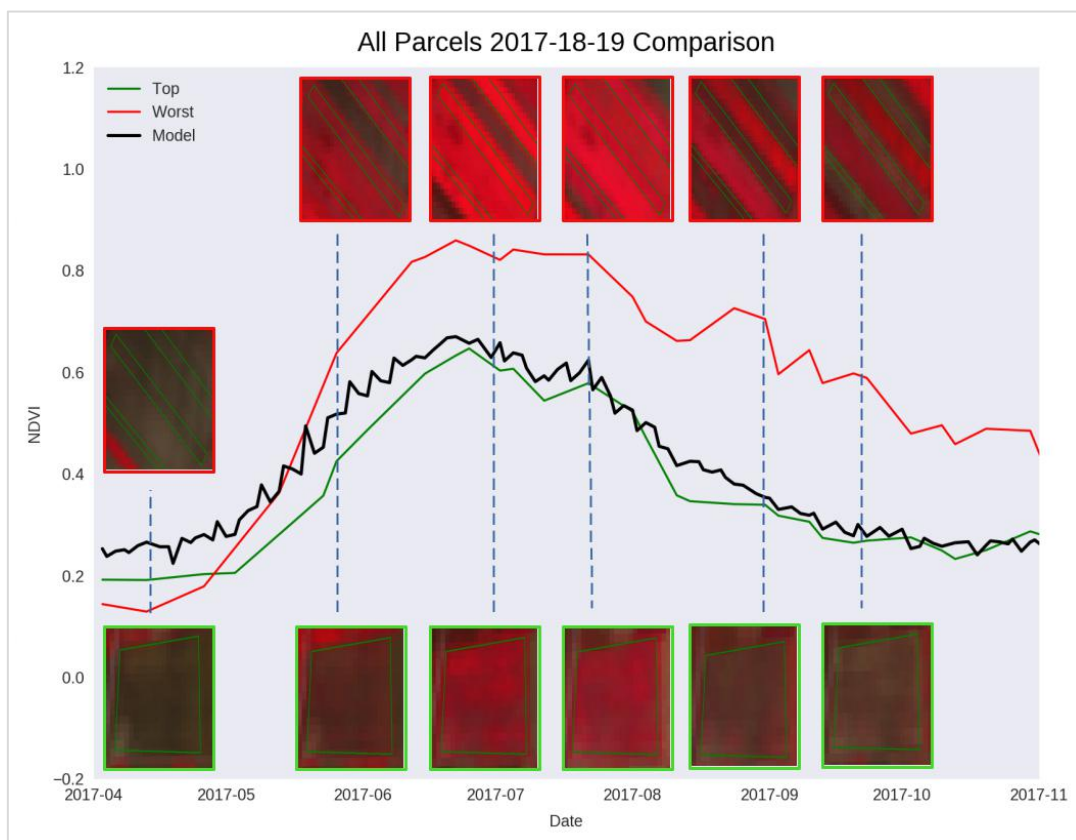
Διάγραμμα 35: Σύγκριση ιδανικής καμπύλης NDVI από όλες τις δοκιμές - κριτήριο SCL [4,7)

Στο διάγραμμα 36 , απεικονίζεται ο μέσος όρος του δείκτη NDVI που προέκυψε από το σύνολο των δεδομένων κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019 (μαύρη γραμμή), σε σύγκριση με τα δέκα καλύτερα (πράσινη γραμμή) και δέκα χειρότερα (κόκκινη γραμμή) γεωτεμάχια του 2017. Παρατηρώντας τις χειρότερες καμπύλες, φάνηκε ότι ο δείκτης NDVI των χειρότερων πολυγώνων ήταν αρκετά ψηλότερος από το μέσο όρο. Επίσης παρατηρήθηκαν έντονες διακυμάνσεις σε διάφορες στιγμές που μπορεί να οφείλονταν σε νέφη και σε κάποια αγροτεμάχια η πορεία της καλλιέργειας διακόπηκε ξαφνικά περί τα μέσα Ιουλίου.

Για περαιτέρω εξέταση, στο διάγραμμα 37 παρουσιάζονται οι καμπύλες του καλύτερου και του χειρότερου αγροτεμαχίου καθώς και στιγμιότυπα (έγχρωμο σύνθετο - RGB843 Sentinel-2) του αγροτεμαχίου σε κοινά χρονικά σημεία ενδιαφέροντος. Οι πάνω εικόνες αφορούν το χειρότερο αγροτεμάχιο, ενώ οι κάτω το καλύτερο. Το χειρότερο αγροτεμάχιο παρουσίασε στην κορυφή της καμπύλης περίπου κατά 0.2 της μονάδας ψηλότερη τιμή NDVI σε σχέση με τον μέσο όρο. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ξήρανση της καλλιέργειας έφτασε πολύ αργότερα από το μέσο όρο, πράγμα που δημιουργεί υποψίες για λανθασμένη καταγραφή του είδους της καλλιέργειας.

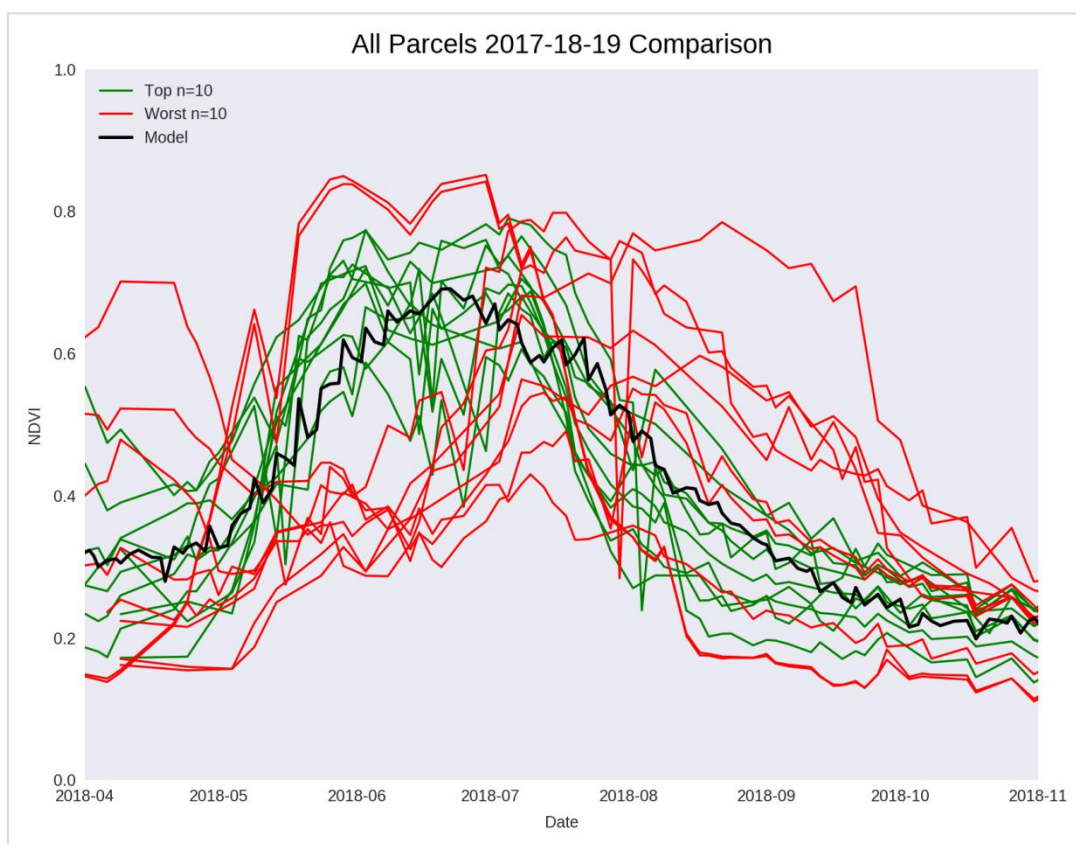


Διάγραμμα 36: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7]

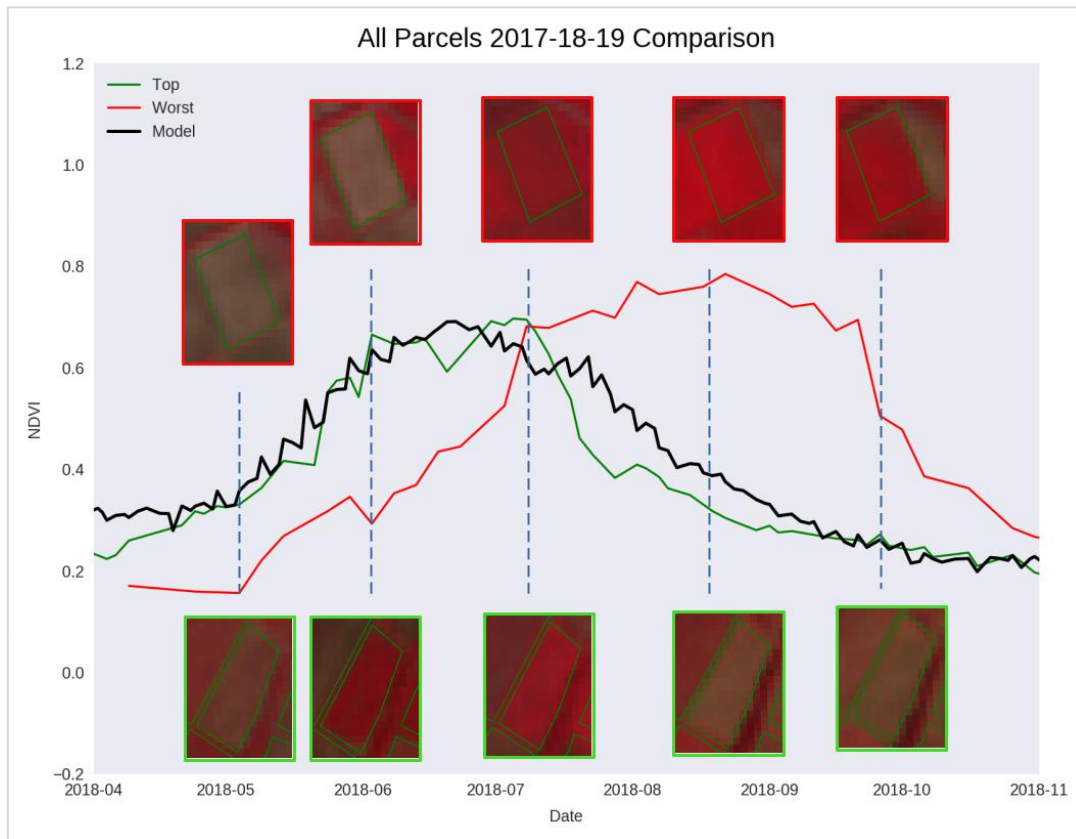


Διάγραμμα 37: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7], με παράθεση εικόνων

Στα διαγράμματα 38 και 39, συγκρίνονται τα καλύτερα και χειρότερα αγροτεμάχια που συλλέχθηκαν κατά το 2018, με το μέσο όρο του συνόλου των δεδομένων κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019. Ορισμένες από τις χειρότερες καμπύλες δεν ακολουθούσαν μια συγκεκριμένη μορφή καμπύλης, άλλες διατηρήθηκαν σε χαμηλές τιμές δείκτη NDVI καθ' όλη τη διάρκεια της παρατήρησης και άλλες ήταν μετατοπισμένες δεξιότερα. Στο διάγραμμα 38 η καμπύλη είναι μετατοπισμένη πιο δεξιά και ο δείκτης NDVI διατηρήθηκε στα ψηλότερα επίπεδα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, σε σχέση με το μέσο όρο. Πιθανόν αυτή η καμπύλη να αφορούσε άλλη καλλιέργεια και να καταγράφηκε από σφάλμα ως ηλίανθος ή να προήλθε από περιοχή με λίγες εγγραφές και με ορισμένη διαφοροποίηση στις κλιματικές συνθήκες.

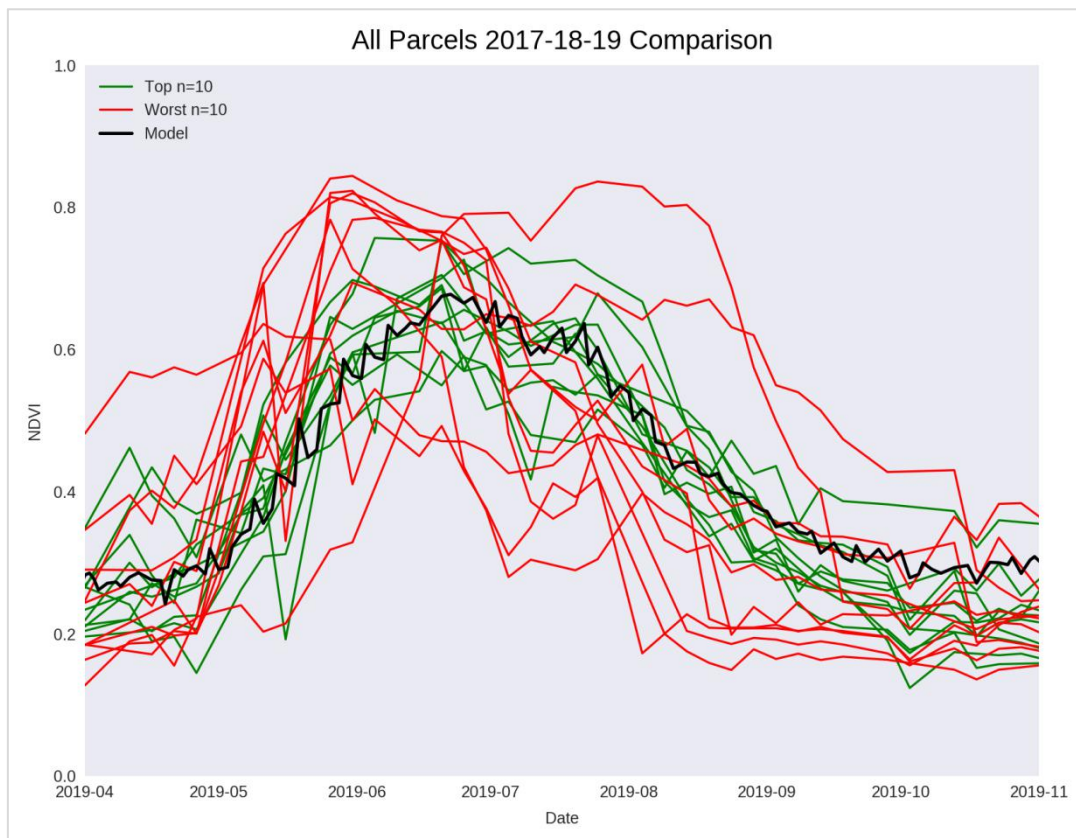


Διάγραμμα 38: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2018, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7]

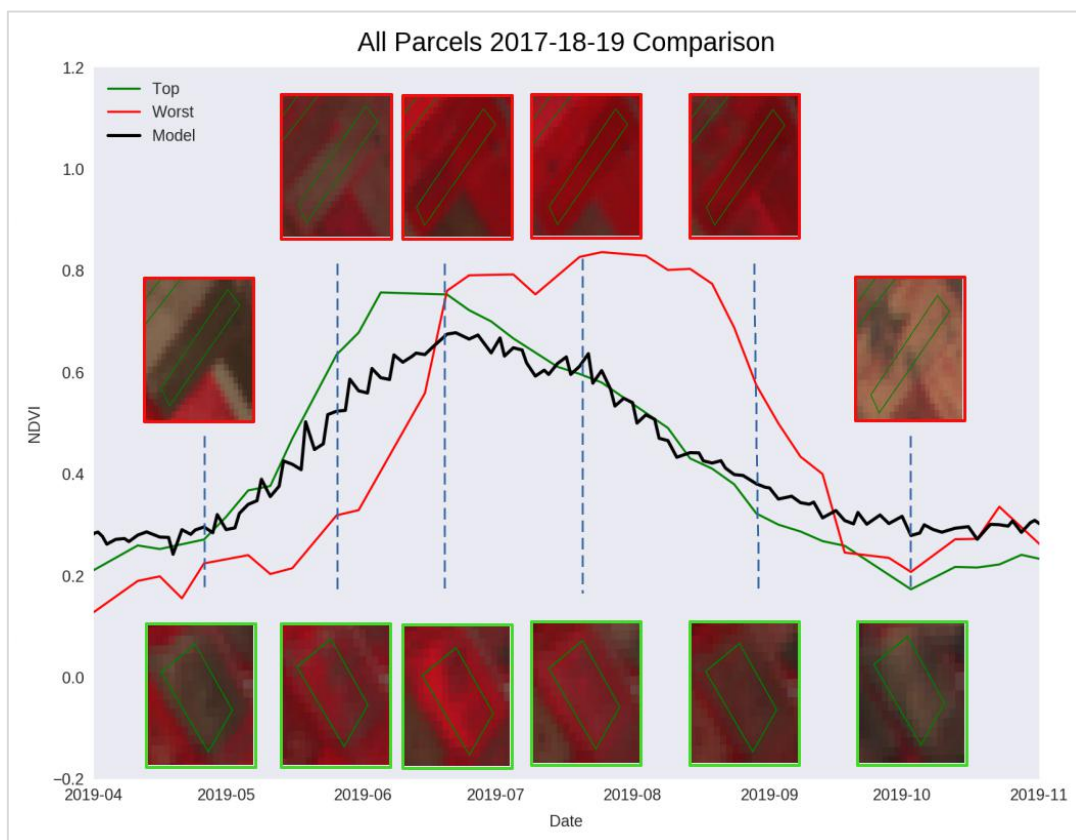


Διάγραμμα 39: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2018, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7], με παράθεση εικόνων

Στα διαγράμματα 40 παρουσιάζεται η σύγκριση του συνόλου των δεδομένων με τα δεδομένα του έτους 2019. Σε αυτή την περίπτωση κάποιες καμπύλες διατηρήθηκαν συνεχόμενα σε χαμηλά επίπεδα τιμών του δείκτη NDVI και άλλες ήταν μετατοπισμένες είτε δεξιότερα είτε αριστερότερα από το μέσο όρο. Και σε αυτή την περίπτωση υπήρχε υποψία λάθους καταγραφής ή ότι τα αγροτεμάχια βρίσκονταν σε περιοχή με λίγες εγγραφές και διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες. Η χειρότερη καμπύλη που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 41, πολύ πιθανόν να αφορούσε καλλιέργεια καλαμποκιού και όχι ηλίανθου, λόγω της περιόδου που αναπτύχθηκε καθώς και της επίπεδης κορυφής.



Διάγραμμα 40: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7

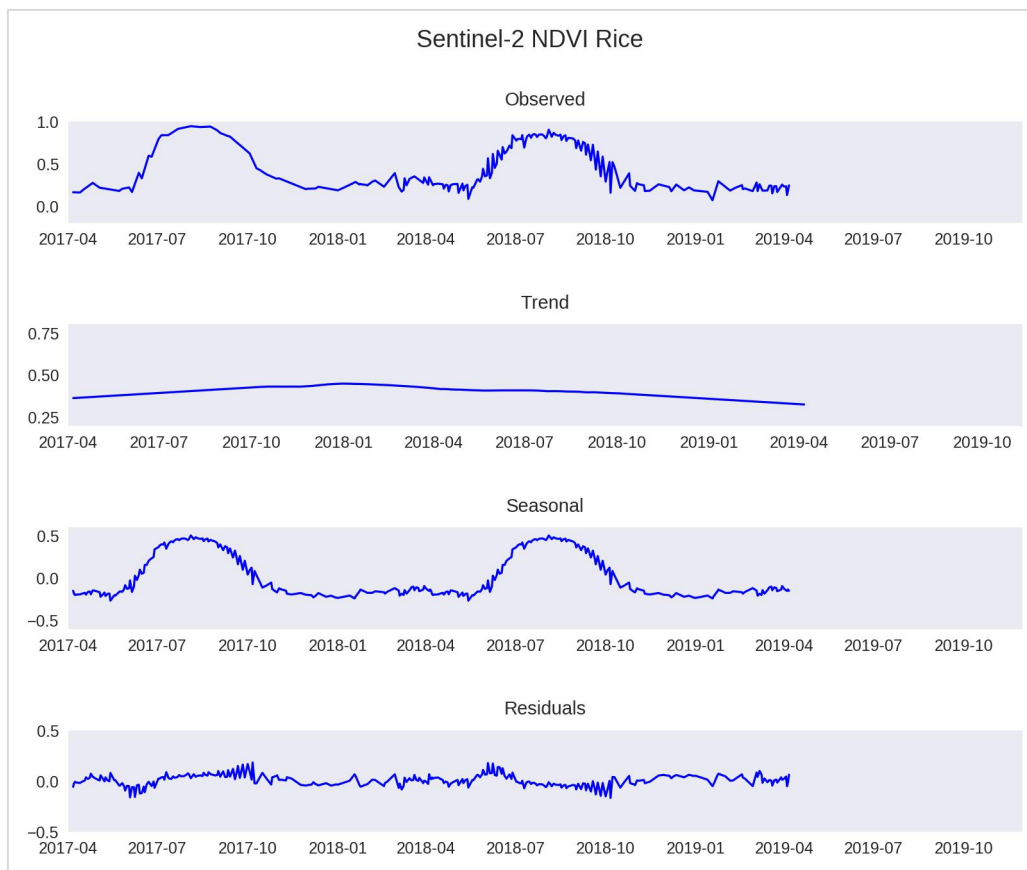


Διάγραμμα 41: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για το σύνολο των δεδομένων κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7), με παράθεση εικόνων

5.4 Καλλιέργεια ρυζιού

Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017 και 2018

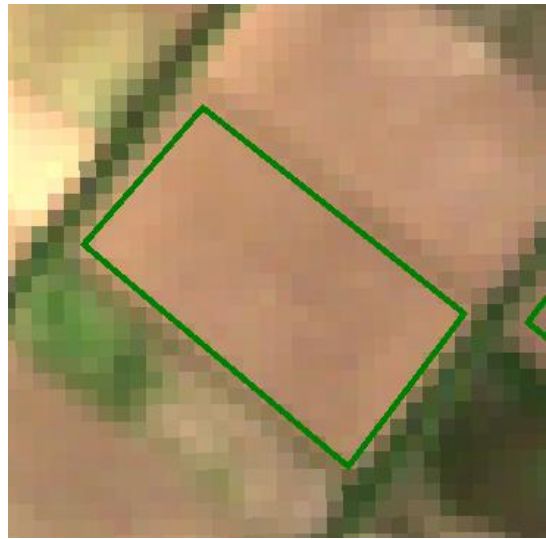
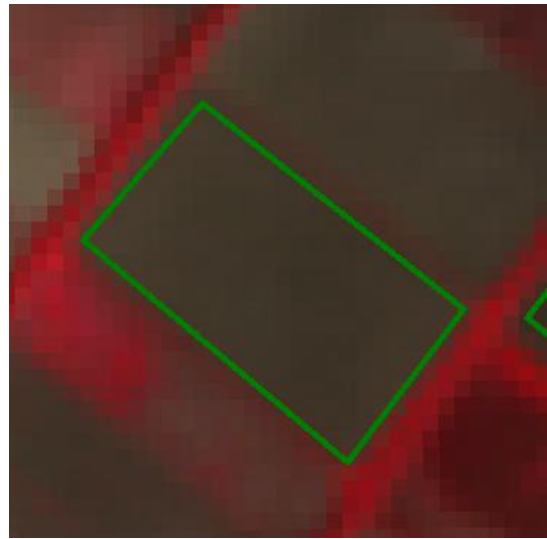
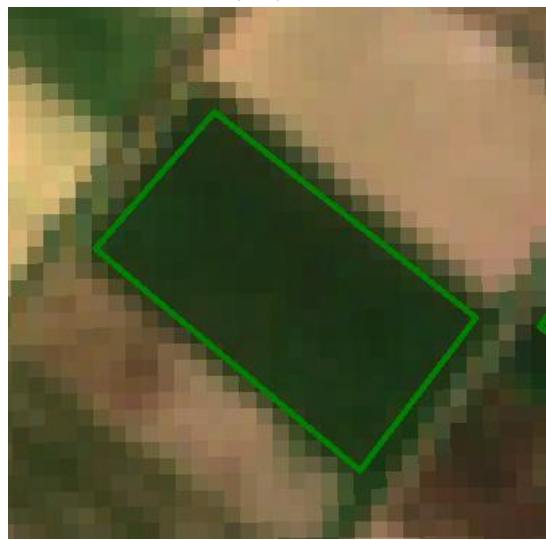
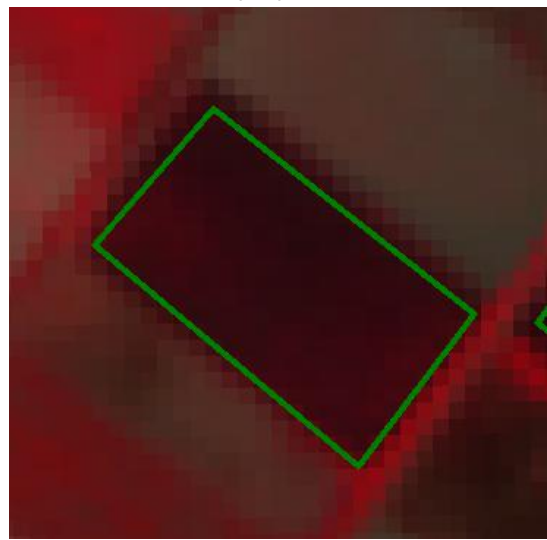
Το σύνολο των δεδομένων καλλιέργειας ρυζιού αναφερόταν σε 25 αγροτεμάχια, συνολικής έκτασης 0.70 τετραγωνικών χιλιομέτρων που συλλέχθηκαν κατά τα έτη 2017 και 2018. Οι καλλιέργειες βρίσκονταν στις περιοχές Έβρου και Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα του έτους 2017 αφορούσαν μόνο την περιοχή του Έβρου και τα δεδομένα του έτους 2018 αφορούσαν τις περιοχές Έβρου και Θεσσαλονίκης. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 42, κατά το 2018 οι ορυζώνες παρουσίασαν ελαφρώς πιο χαμηλό δείκτη NDVI, σε σχέση με το 2017. Κατά το 2017 η μέγιστη τιμή έφτασε 0.94 και κατά το 2018 0.90. Επίσης η περίοδος ανάπτυξης ξεκίνησε στις 15 Ιουνίου και στις 3 Ιουνίου και η ολοκλήρωση της ξήρανσης έγινε στις 20 Οκτωβρίου και στις 5 Οκτωβρίου τα έτη 2017 και 2018 αντίστοιχα.

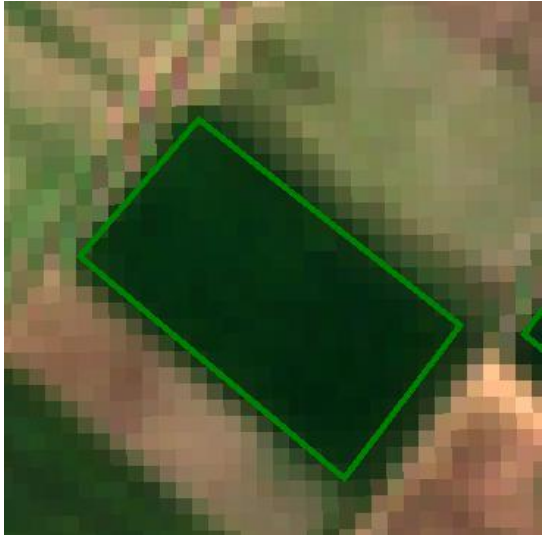
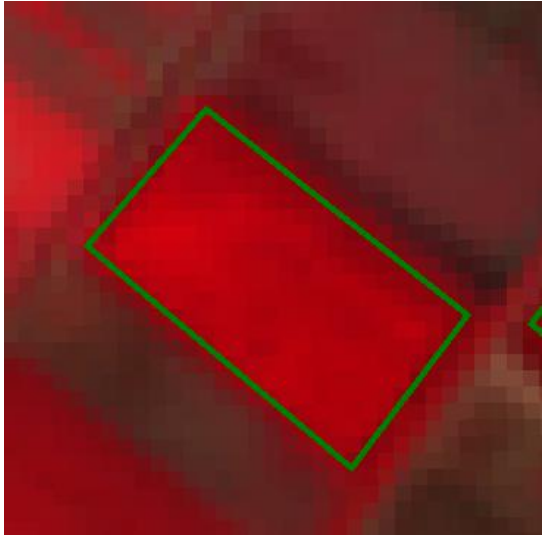
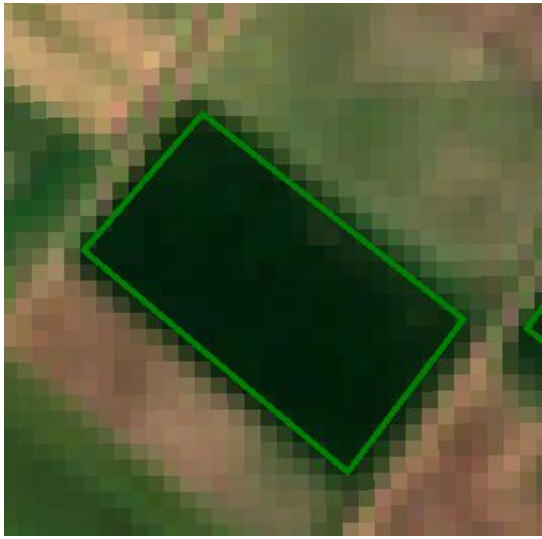
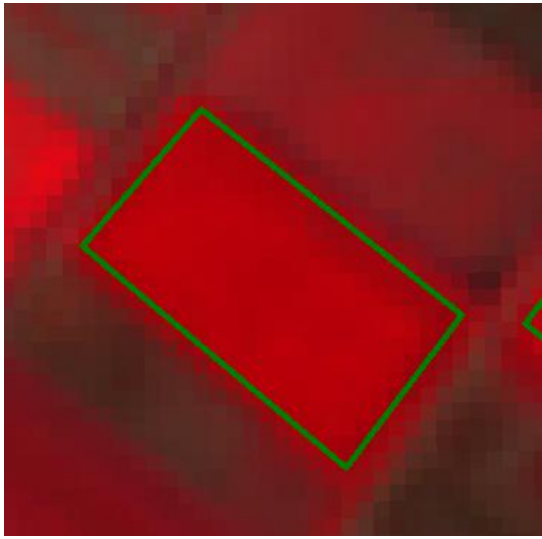
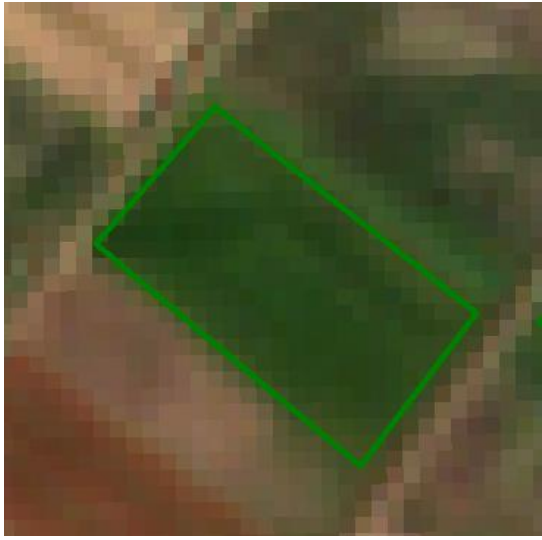
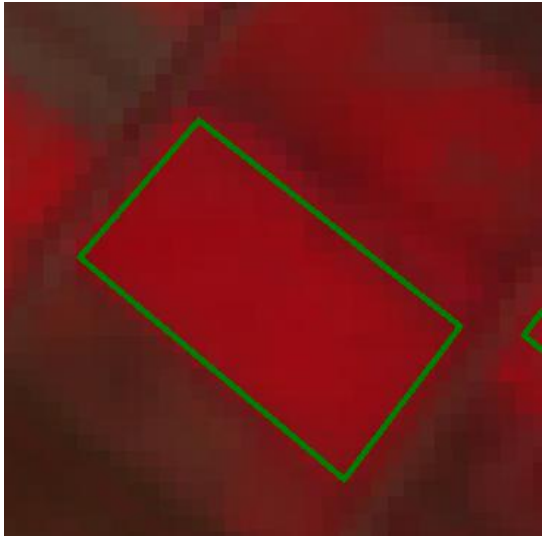


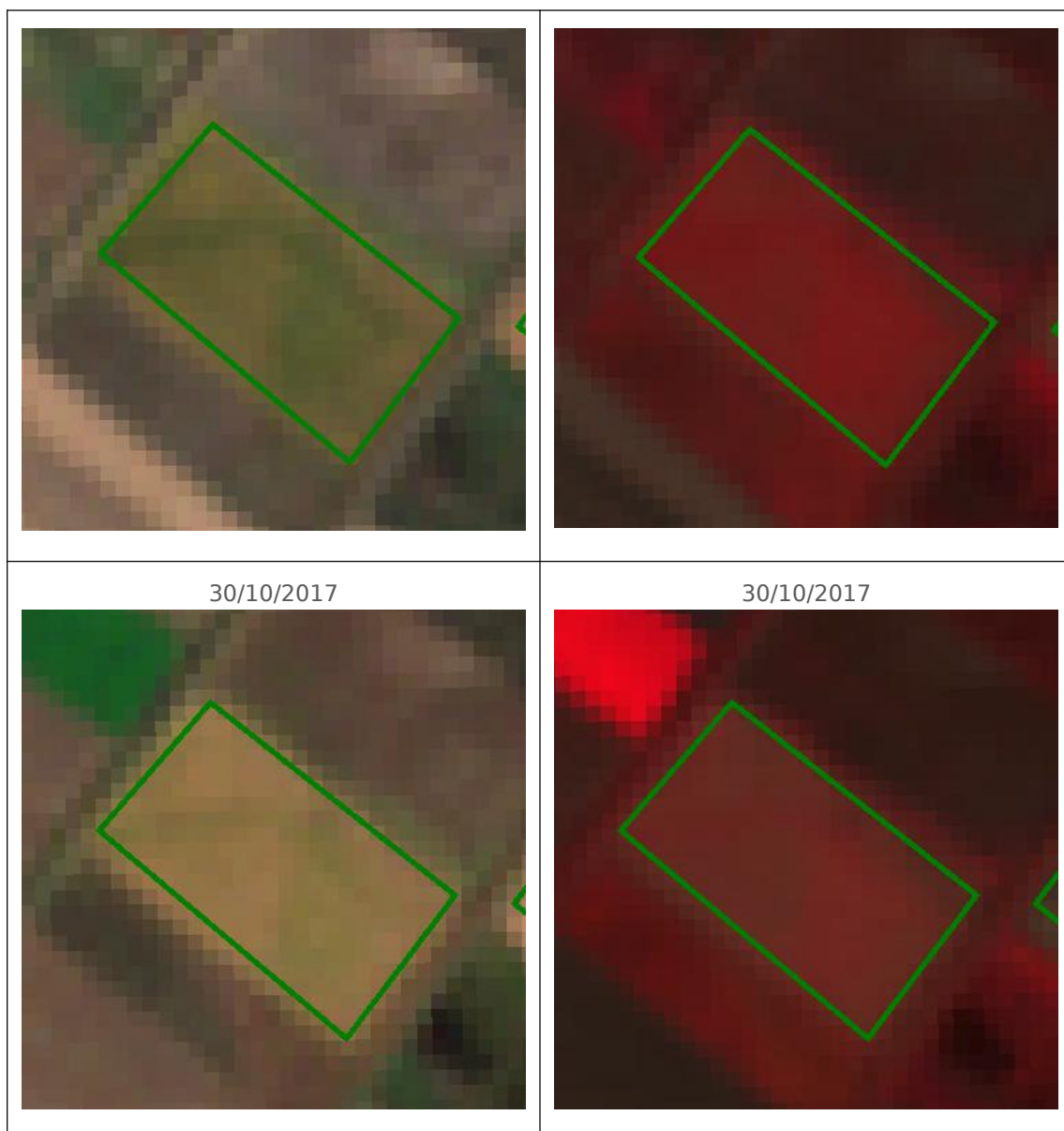
Διάγραμμα 42: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων ρυζιού για τα έτη 2017, 2018 - κριτήριο SCL [4,7)

Στον πίνακα 8, απεικονίζεται η διαχρονική συμπεριφορά ενός ορυζώνα από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο του 2017. Στην αριστερή στήλη οι εικόνες απεικονίζονται με το φυσικό έγχρωμο σύνθετο, ενώ στη δεξιά με το ψευδέγχρωμο του δορυφόρου Sentinel-2, RGB-843. Στις εικόνες του Ιουλίου και του Αυγούστου η καλλιέργεια φαίνεται ότι περιείχε τα μέγιστα επίπεδα χλωροφύλλης, αφού στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο απεικονίζεται έντονα πράσινη και στο ψευδέγχρωμο έντονα κόκκινη. Το έντονο κόκκινο χρώμα

προέκυψε από την υψηλή ανακλαστικότητα στην εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία, πράγμα που υποδεικνύει ισχυρή παρουσία χλωροφύλλης.

RGB-432, Sentinel-2	RGB-843, Sentinel-2
03/05/2017 	03/05/2017 
22/06/2017 	22/06/2017 
22/07/2017	22/07/2017

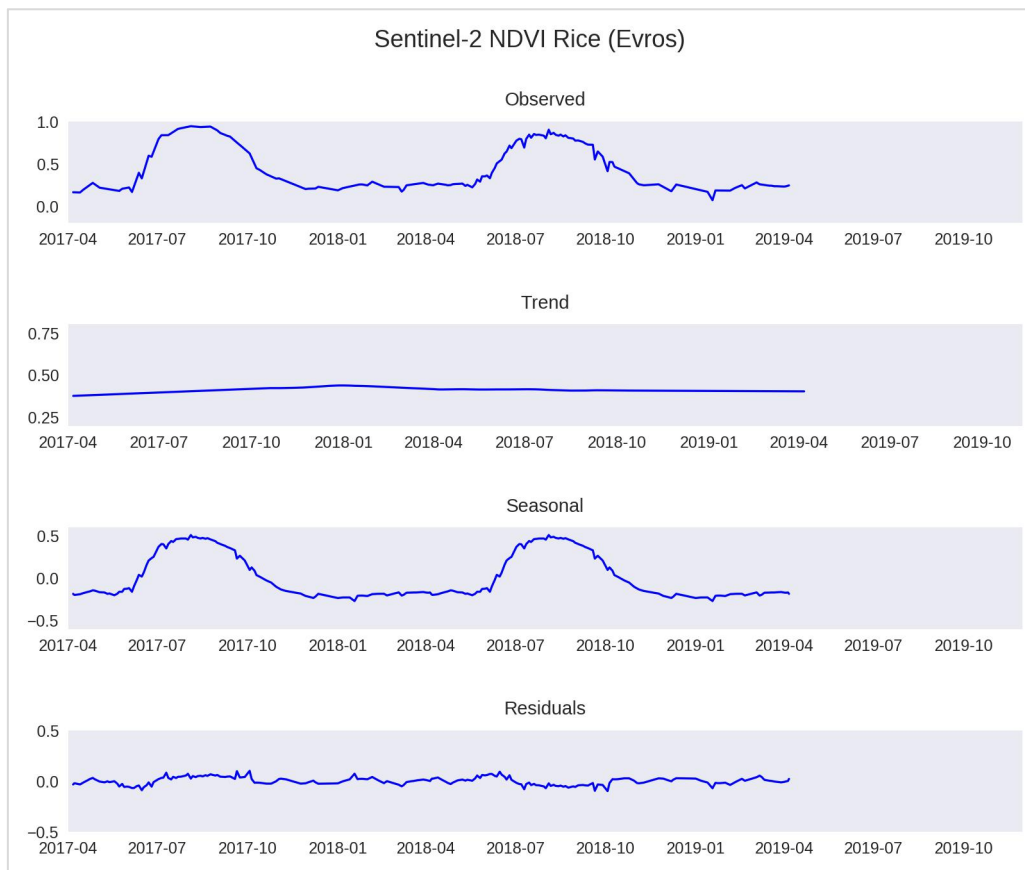
	
11/08/2017	11/08/2017
	
20/09/2017	20/09/2019
	
13/10/2017	13/10/2017



Πίνακας 8: Διαχρονική απεικόνιση ορυζώνα σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο, αριστερά και ψευδέγχρωμο RGB-843, δεξιά.

Δεδομένα Ν. Έβρου για τα έτη 2017 και 2018

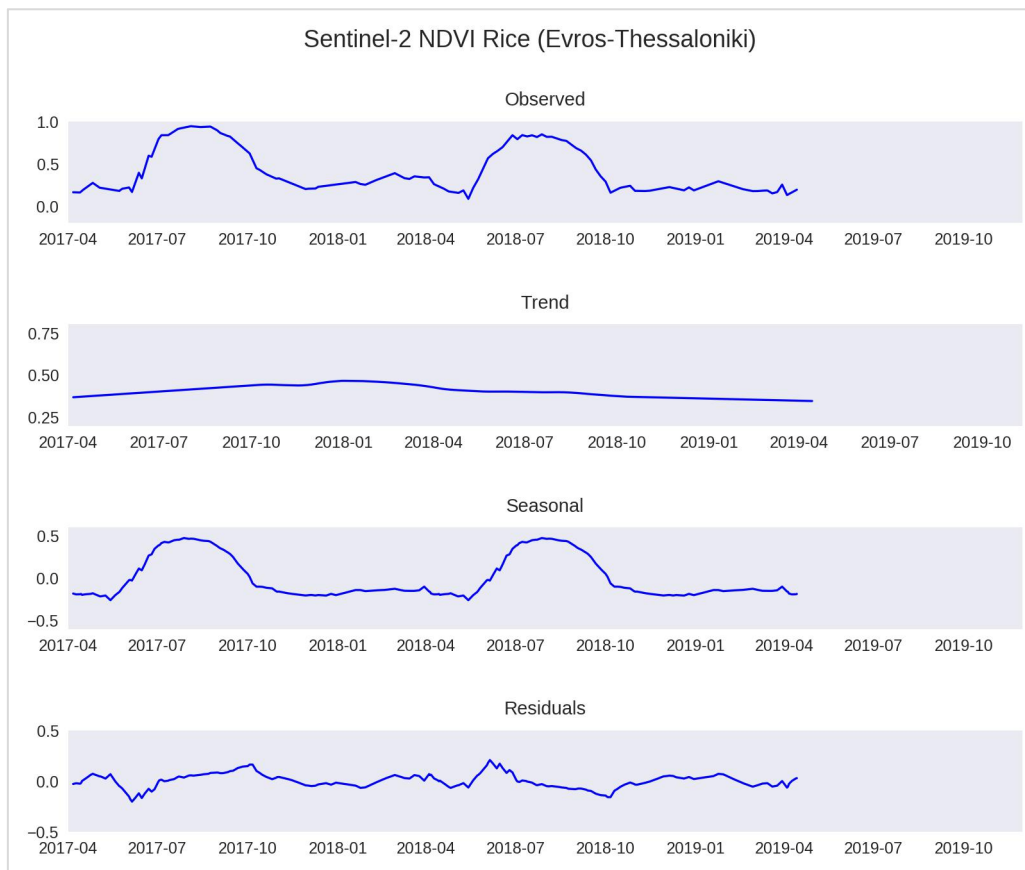
Στο διάγραμμα 43 απεικονίζεται ο δείκτης NDVI των δεδομένων που αφορούσαν μόνο την περιοχή του Ν. Έβρου κατά τα έτη 2017 και 2018. Τα δεδομένα αφορούσαν 17 ορυζώνες συνολικής έκτασης 0.47 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Και σε αυτό τον διαχωρισμό παρατηρήθηκε ότι κατά το 2018, η μέγιστη τιμή NDVI ήταν χαμηλότερη, παρά το 2017. Συγκεκριμένα το 2017 έφτασε 4 Αυγούστου στις 0.94 και το 2018 έφτασε 0.90 στις 4 Αυγούστου. Η περίοδος ανάπτυξης ξεκίνησε στις 15 και στις 10 Ιουνίου και η ολοκλήρωση της ξήρανσης έγινε στις 20 και στις 25 Οκτωβρίου, τα έτη 2017 και 2018 αντίστοιχα.



Διάγραμμα 43: δείκτης NDVI ορυζώνων, τα έτη 2017, 2018 στην περιοχή Έβρου - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Έβρου και Ν. Θεσσαλονίκης για τα έτη 2017 και 2018

Με στόχο τα δορυφορικά δεδομένα ανά έτος να προκύψουν από ένα tile, πραγματοποιήθηκε ακόμη μία δοκιμή, όπου τα δεδομένα του 2017 αφορούσαν την περιοχή Έβρου, ενώ του 2018 την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Εξετάστηκαν συνολικά 14 ορυζώνες, με συνολική έκταση 0.38 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 44, η κορυφή της καμπύλης κατά το 2017 παρατηρήθηκε στις 4 Αυγούστου και ήταν 0,94 και το 2018 παρατηρήθηκε στις 28 Ιουλίου και ήταν 0.85. Η έναρξη της ανάπτυξης στους ορυζώνες του Έβρου το 2017 ξεκίνησε στις 4 Ιουνίου και η ξήρανό τους ολοκληρώθηκε στις 20 Οκτωβρίου, ενώ στις Θεσσαλονίκης το 2018 ξεκίνησε νωρίτερα στις 24 Μαΐου και η ξήρανό τους ολοκληρώθηκε στις 26 Σεπτεμβρίου.



Διάγραμμα 44: δείκτης NDVI ορυζώνων, τα έτη 2017 στην περιοχή Έβρου και 2018 στην περιοχή Θεσσαλονίκης - κριτήριο SCL [4,7)

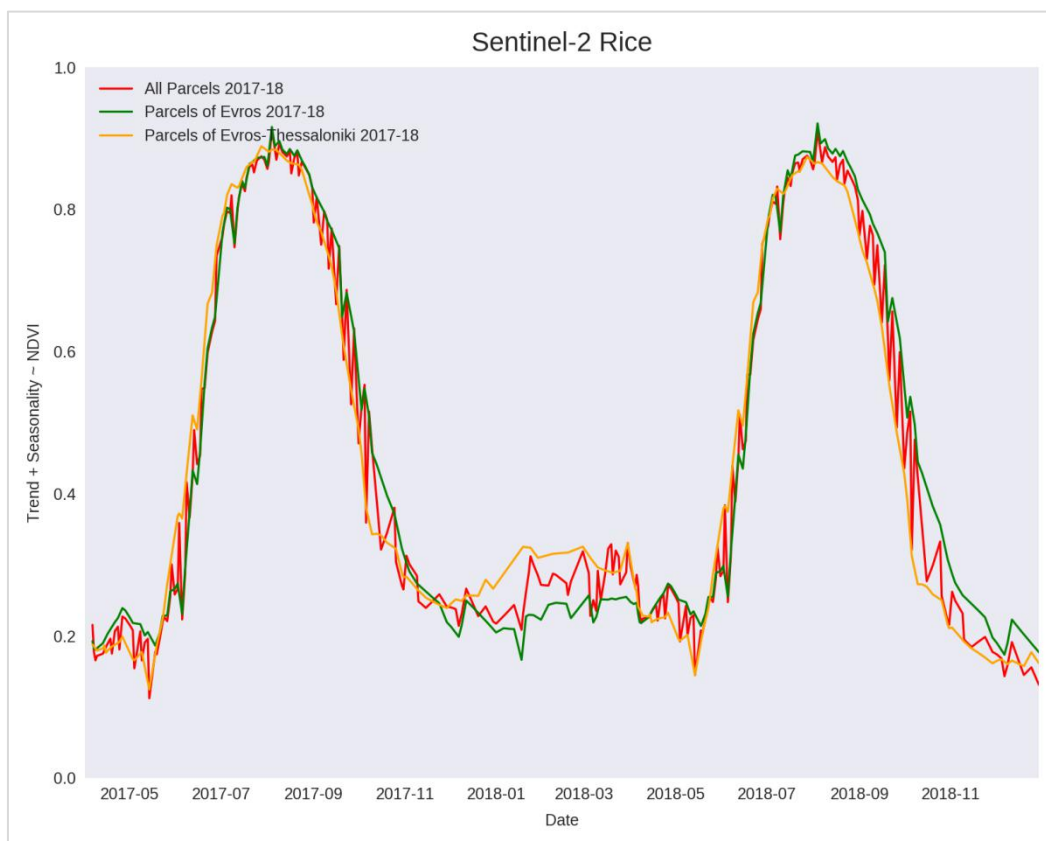
Σύγκριση αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας στο διάγραμμα 45 τις ιδανικές καμπύλες που προέκυψαν από κάθε δοκιμή, φάνηκε ότι η συμπεριφορά της καλλιέργειας ρυζιού ήταν παρόμοια και στις 3 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI ήταν περίπου 0.90 και παρατηρήθηκε στις 4 Αυγούστου και στα δύο έτη παρατήρησης.

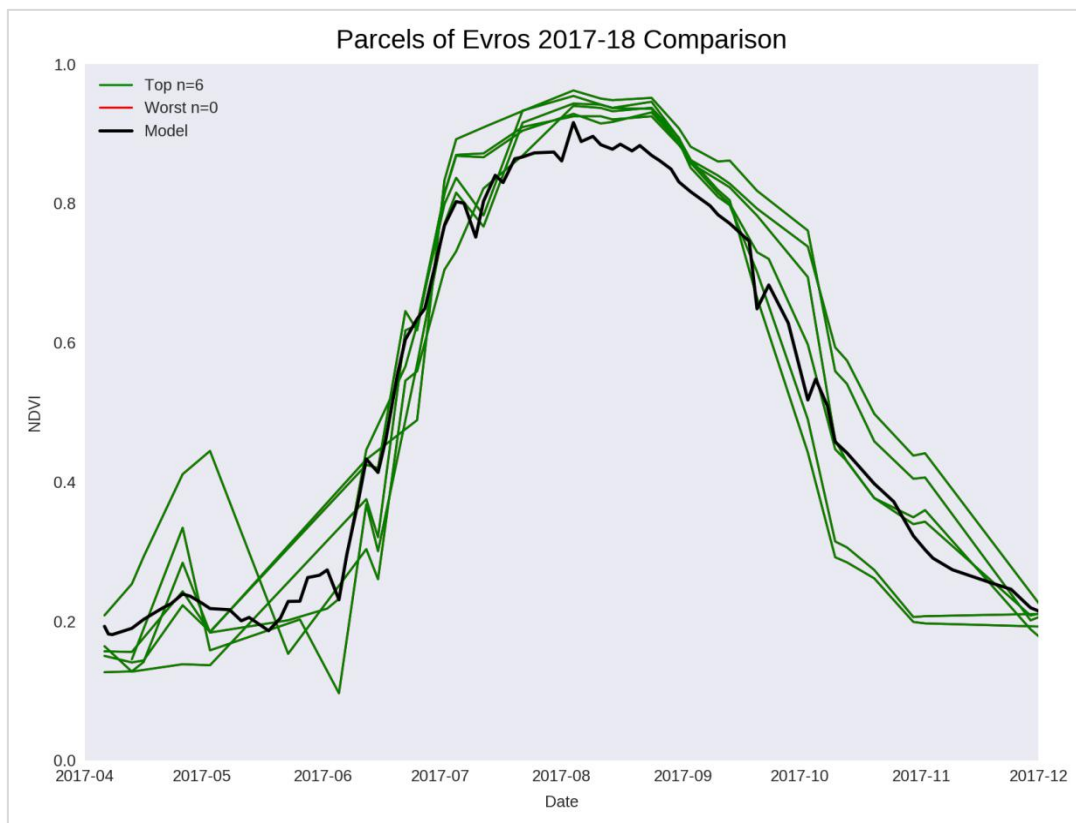
Στο διάγραμμα 46 γίνεται η σύγκριση του μέσου όρου του δείκτη NDVI που προέκυψε από τα δεδομένα της περιοχής Έβρου τα έτη 2017 και 2018 με τις καμπύλες της καλλιέργειας ρυζιού κατά το 2017. Λόγω του μικρού αριθμού δεδομένων, απεικονίζονται μόνο 6 καμπύλες. Καμία από τις καμπύλες δεν ήταν σε ασυμφωνία με το μέσο όρο της καλλιέργειας.

Στο διάγραμμα 47 η σύγκριση αφορά το μέσο όρο του δείκτη NDVI που προέκυψε από τα δεδομένα της περιοχής Έβρου το 2017 και της περιοχής Θεσσαλονίκης το 2018 με τις καμπύλες της καλλιέργειας ρυζιού κατά το 2018 από τη Θεσσαλονίκη. Σε αυτή την περίπτωση, λόγω του μικρού αριθμού δεδομένων, απεικονίζονται μόνο 8 καμπύλες. Καμία από τις καμπύλες δεν ήταν σε ασυμφωνία με το μέσο όρο της καλλιέργειας. Παρατηρήθηκε μόνο μια μικρή μετατόπιση των καμπύλων προς τα αριστερά, επειδή λόγω των διαφορετικών κλιματολογικών συνθηκών στις δύο περιοχές, υπήρξε διαφορετική χρονική έναρξη της ανάπτυξής τους. Η

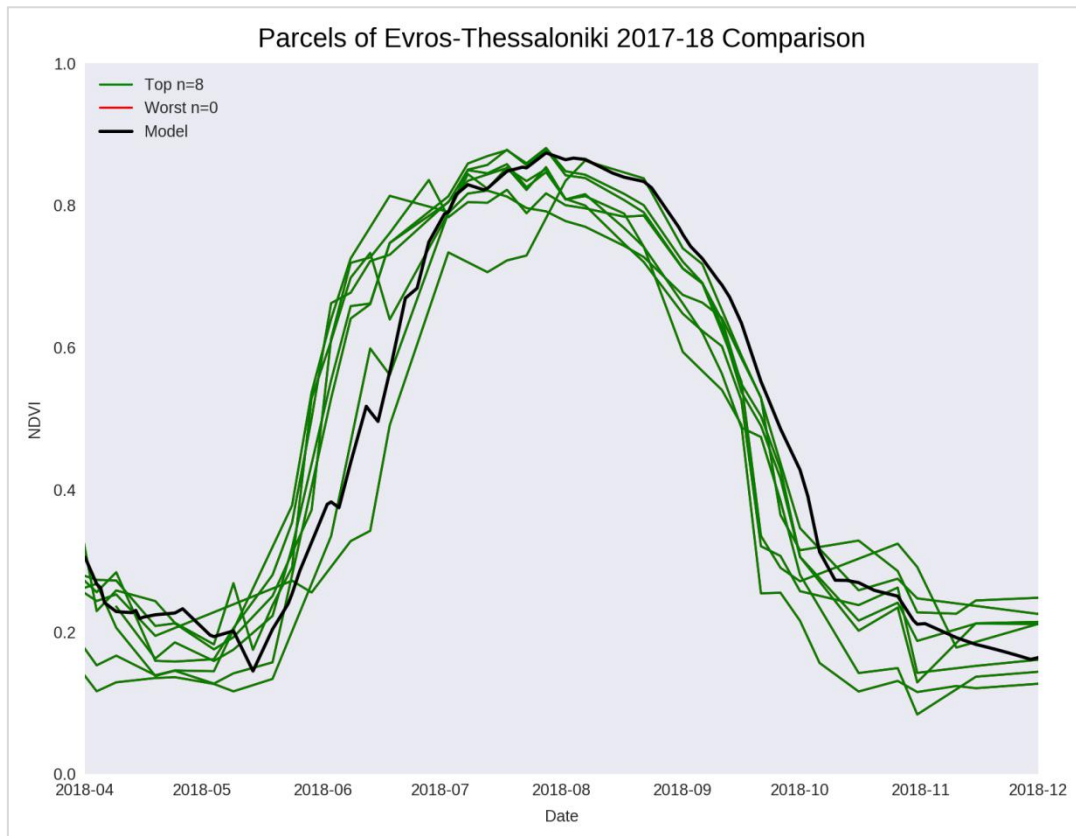
έναρξη της ανάπτυξης στους ορυζώνες της Θεσσαλονίκης, προηγείται από αυτούς του Έβρου.



Διάγραμμα 45: Σύγκριση ιδανικής καμπύλης NDVI από όλες τις δοκιμές - κριτήριο SCL [4,7]



Διάγραμμα 46: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων του Ν. Έβρου κατά το έτος 2017, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7]

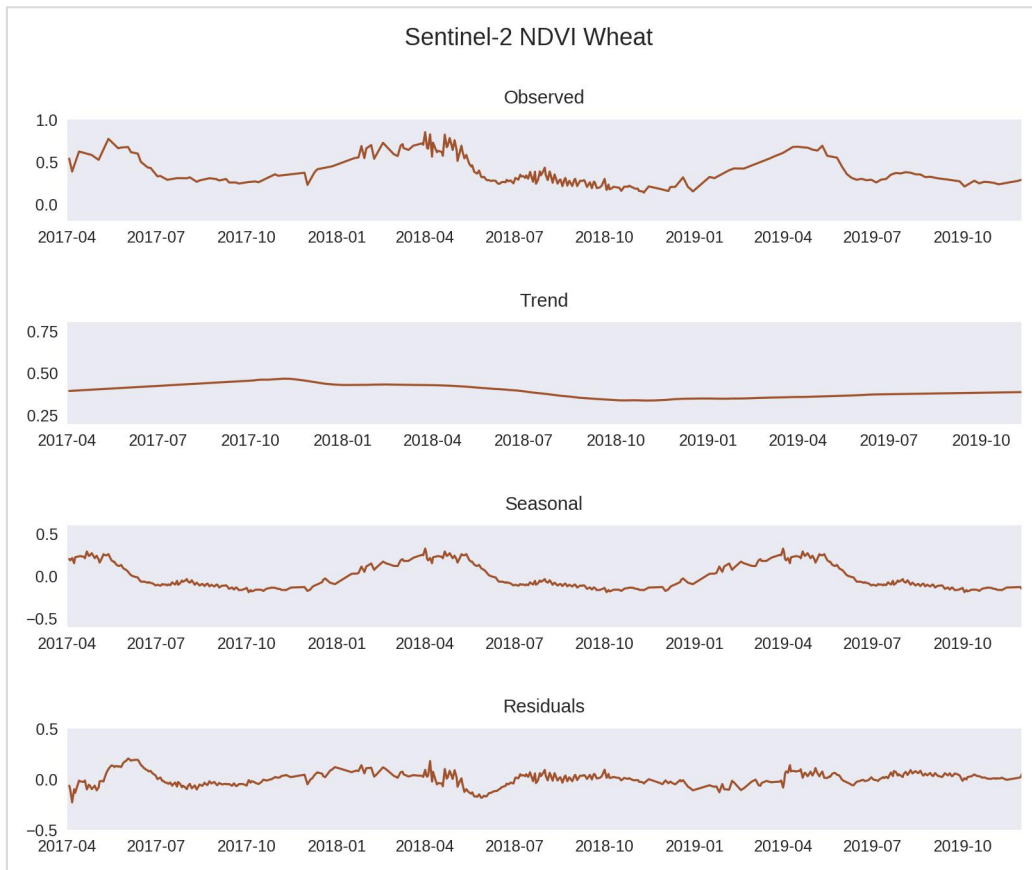


Διάγραμμα 47: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων του Ν. Θεσσαλονίκης κατά το έτος 2018, με τις τιμές του μέσου NDVI - κριτήριο SCL [4,7)

5.5 Καλλιέργεια σιταριού

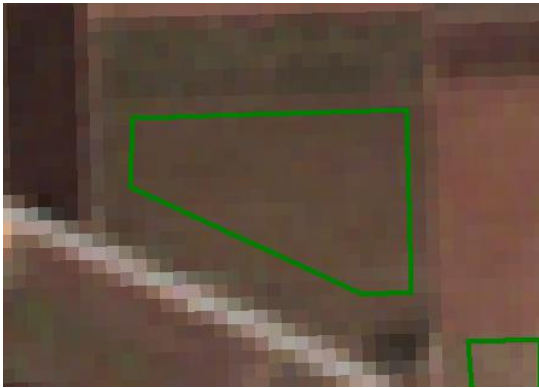
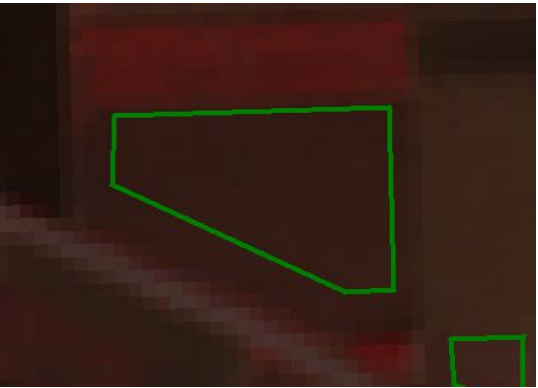
Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019

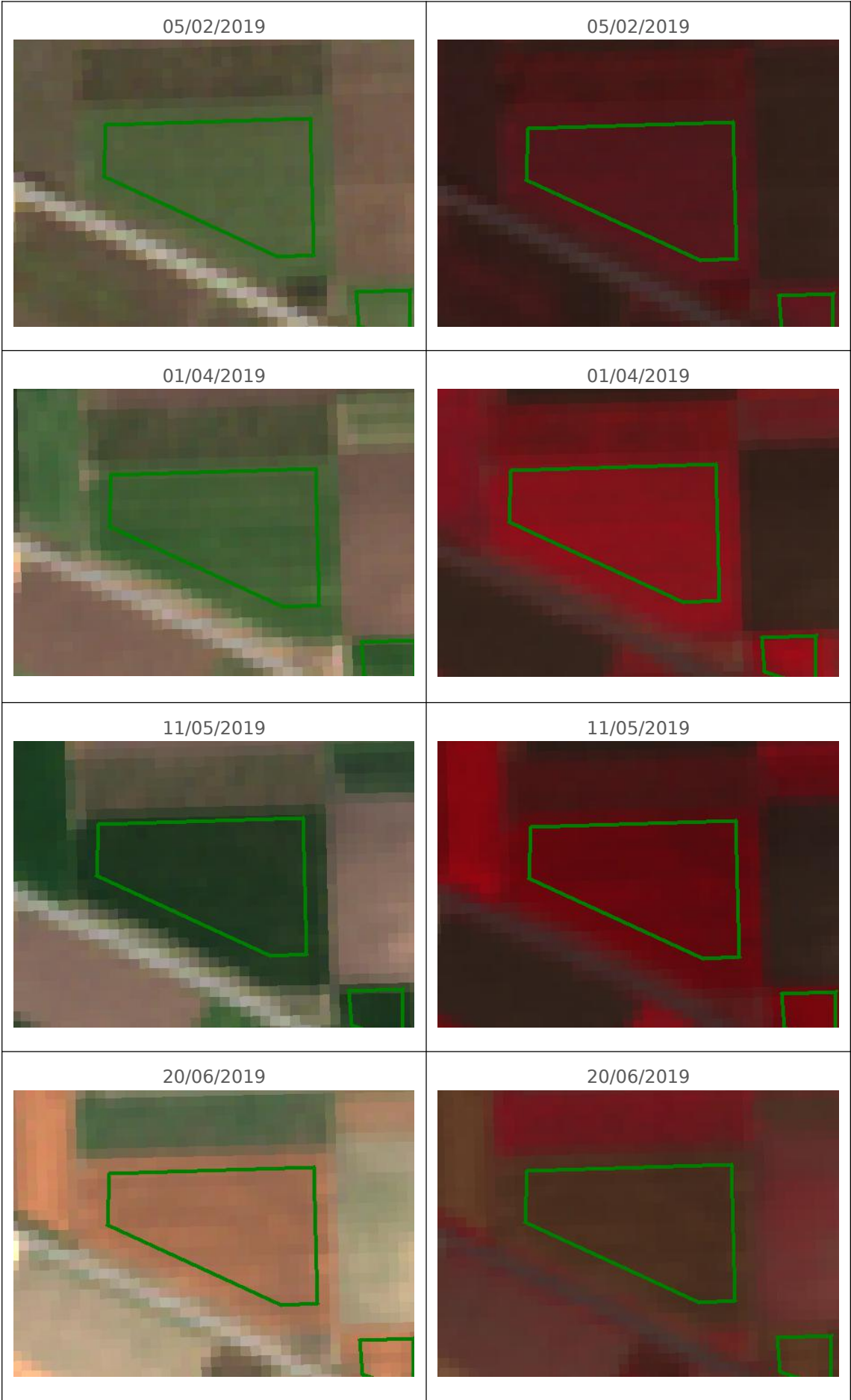
Τα δεδομένα που αφορούσαν την καλλιέργεια σιταριού προήλθαν από 258 αγροτεμάχια συνολικής έκτασης 2.72 τετραγωνικών χιλιομέτρων κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019. Οι καλλιέργειες βρίσκονταν στις περιοχές Έβρου, Ξάνθης, Δράμας, Σερρών, Θεσσαλονίκης και Καρδίτσας. Τα δεδομένα του έτους 2017 αφορούσαν μόνο την περιοχή του Έβρου, του έτους 2018 αφορούσαν τις περιοχές Έβρου, Θεσσαλονίκης και Καρδίτσας και του έτους 2019 αφορούσαν την περιοχή Ξάνθης. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 48, κατά τα 3 έτη οι καλλιέργειες συνολικά παρουσίασε παρόμοια συμπεριφορά. Όπως σε όλες τις περιπτώσεις υπήρχαν πυκνές διακυμάνσεις κατά το 2018, λόγω του πλήθους των δεδομένων που προήλθαν από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Κατά το 2017 η μέγιστη τιμή έφτασε 0.77, κατά το 2018 0.85 και κατά το 2019 0.69. Η περίοδος ανάπτυξης του σιταριού ξεκίνησε κατά το τέλος κάθε έτους και διήρκεσε περίπου 5 μήνες, αφού η μέγιστη τιμή NDVI παρουσιάστηκε στις 1 Απριλίου. Η ξήρανση της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε πολύ σύντομα σε σχέση με την ανάπτυξη και στα 3 έτη, αφού ολοκληρώθηκε περίπου στις αρχές Ιουνίου.



Διάγραμμα 48: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων σιταριού για τα έτη 2017, 2018, 2019 - κριτήριο SCL [4,7)

Στον πίνακα 9, απεικονίζεται η διαχρονική συμπεριφορά μιας καλλιέργειας σιταριού από το Δεκέμβριο του 2018 έως τον Ιούνιο του 2019. Στην αριστερή στήλη οι εικόνες απεικονίζονται με το φυσικό έγχρωμο σύνθετο, ενώ στη δεξιά με το ψευδέχρωμο του δορυφόρου Sentinel-2, RGB-843. Η καλλιέργεια φαίνεται ότι έφτασε στα μέγιστα επίπεδα χλωροφύλλης κατά τους μήνες Απρίλιο και Μάιο, αφού στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο απεικονίζεται έντονα πράσινη και στο ψευδέχρωμο έντονα κόκκινη.

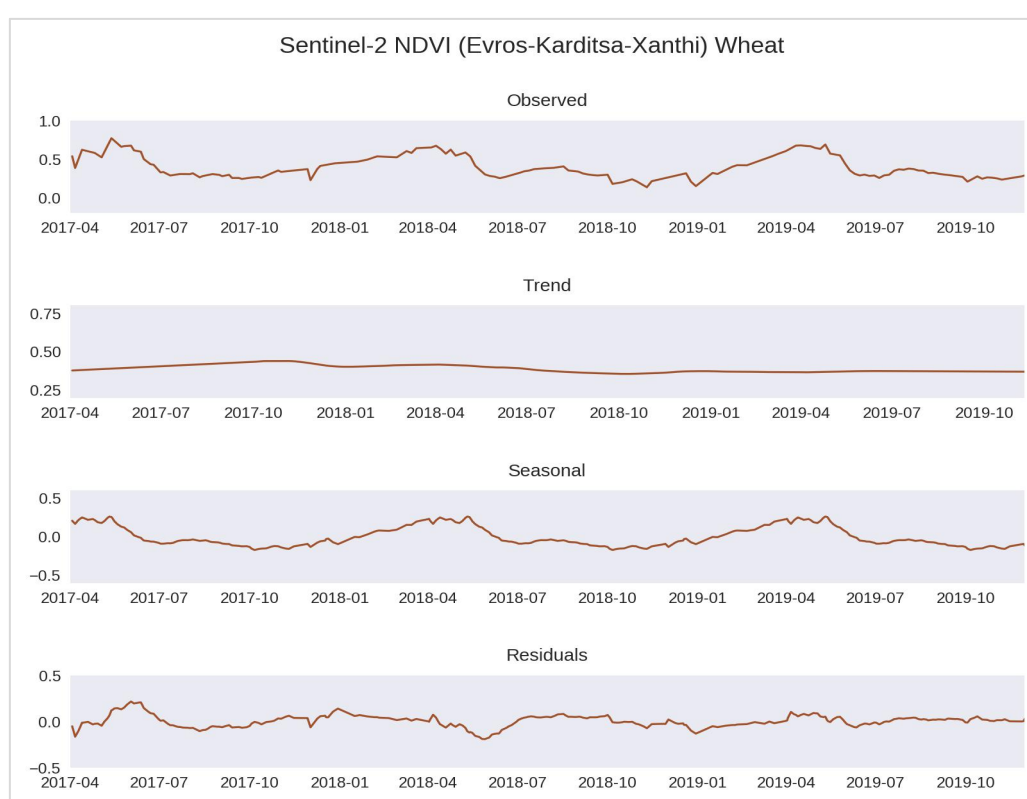
RGB-432, Sentinel-2	RGB-843, Sentinel-2
<p data-bbox="443 1599 577 1630">12/12/2018</p> 	<p data-bbox="1011 1599 1145 1630">12/12/2018</p> 



Πίνακας 9: Διαχρονική απεικόνιση καλλιέργειας σιταριού σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο, αριστερά και ψευδέχρωμο RGB-843, δεξιά.

Δεδομένα Ν. Έβρου, Ν. Καρδίτσας και Ν. Ξάνθης για τα έτη 2017, 2018 και 2019

Η δεύτερη διάγραμμα 49, δοκιμή αφορούσε 236 αγροτεμάχια συνολικής έκτασης 2.31 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Τα δεδομένα του 2017 προήλθαν από την περιοχή του Έβρου, του 2018 από την περιοχή Καρδίτσας και του 2019 από την περιοχή Ξάνθης. Επιλέχθηκε μια περιοχή ανά έτος ώστε τα δορυφορικά δεδομένα να προέρχονται από ένα tile κάθε φορά. Όπως φαίνεται, η ψηλότερη τιμή NDVI παρατηρήθηκε κατά το 2017 και ήταν 0.77 στις 13 Μαΐου και η χαμηλότερη κατά το 2018 και ήταν 0.67 στις 8 Απριλίου. Οι στιγμιαίες αυξομειώσεις που παρατηρήθηκαν οφείλονταν κυρίως σε νέφη.

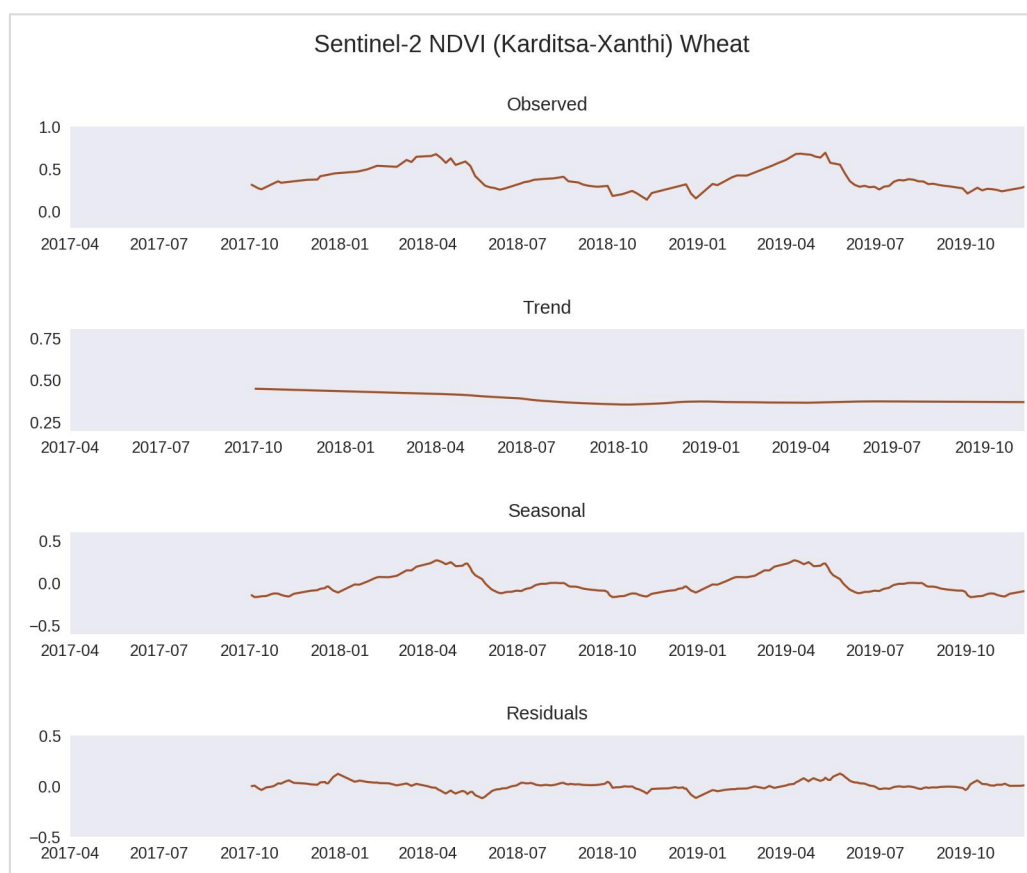


Διάγραμμα 49: δείκτης NDVI καλλιέργειας σιταριού, τα έτη 2017, 2018, 2019 στις περιοχές Έβρου, Καρδίτσας, και Ξάνθης αντίστοιχα - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Καρδίτσας και Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019

Σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκαν 222 αγροτεμάχια με συνολική έκταση 2.24 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Στο διάγραμμα 50 γίνεται η απεικόνιση των δεδομένων. Και σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα του 2018 αφορούσαν την περιοχή Καρδίτσας και του 2019 αφορούσαν την περιοχή Ξάνθης. Αυτή η δοκιμή πραγματοποιήθηκε ώστε να εξεταστεί κατά πόσο η εποχικότητα επηρεάστηκε από τα δεδομένα του Ν. Έβρου τα οποία προήλθαν από άλλη πηγή. Όσον αφορά το διάγραμμα της παρατήρησης.

Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε το 2018 και ήταν 0.67 . Η έναρξη ανάπτυξης της καλλιέργειας κατά το 2018 παρατηρήθηκε στις 12 Δεκεμβρίου και κατά το 2019 στις 20 Ιανουαρίου. Αντίστοιχα, η ολοκλήρωση ξήρανσης έγινε στις 19 Μαΐου και στις 5 Ιουνίου.

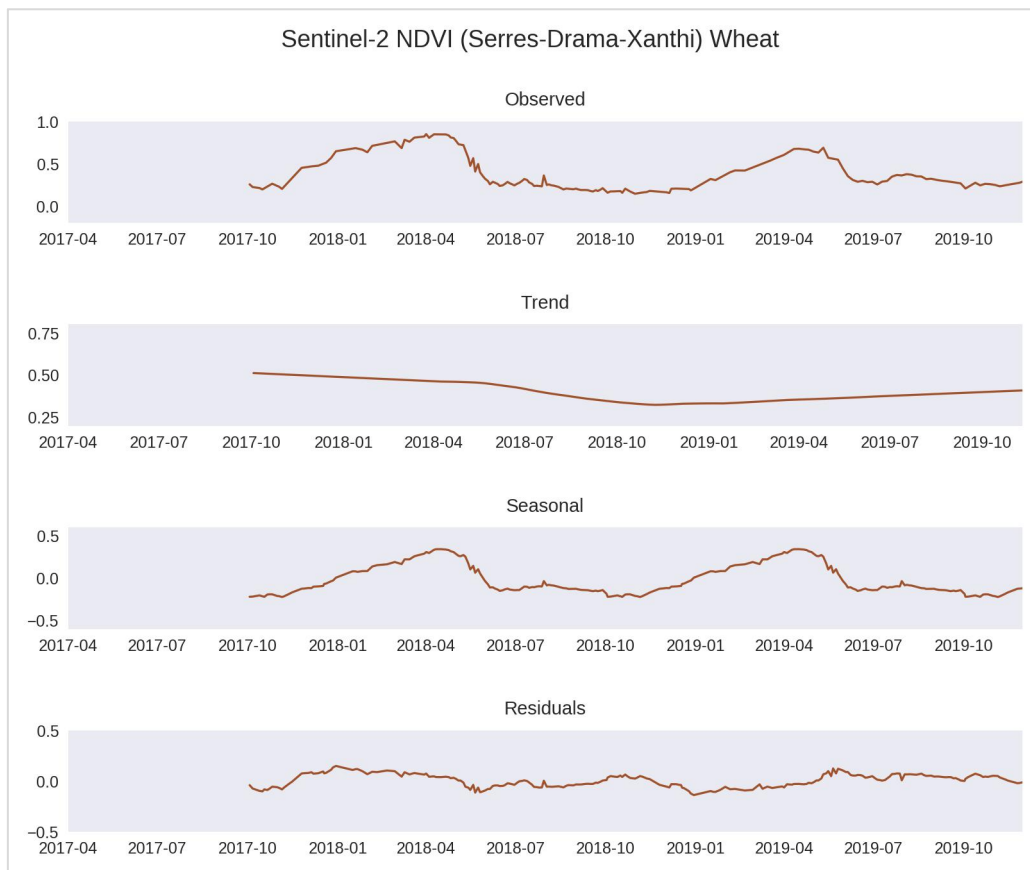


Διάγραμμα 50: δείκτης NDVI καλλιέργειας σιταριού, τα έτη 2018, 2019 στις περιοχές Καρδίτσας και Ξάνθης αντίστοιχα - κριτήριο SCL [4,7)

Δεδομένα Ν. Σερρών, Ν. Δράμας και Ν. Ξάνθης για τα έτη 2018 και 2019

Στο διάγραμμα 51 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του δείκτη NDVI σε μια πιο περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκαν τα διαθέσιμα δεδομένα στην περιοχή Δράμας και Σερρών το 2018 και Ξάνθης το 2019. Τα διαθέσιμα αγροτεμάχια ήταν στο σύνολό τους 198, με συνολική έκταση 1.78 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Τα διαθέσιμα δεδομένα για την περίοδο του 2018 ήταν μόλις 18 αγροτεμάχια, ενώ τα υπόλοιπα αφορούσαν την περίοδο του 2019.

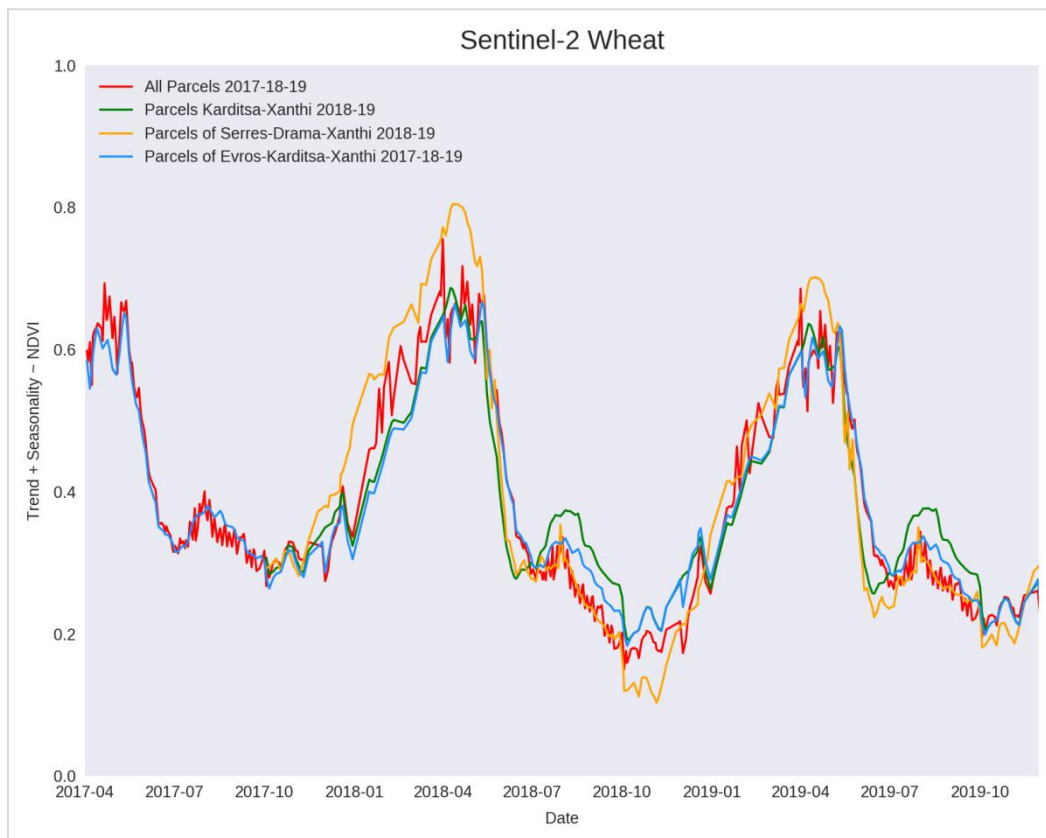
Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο του 2018 ήταν 0.84 και παρατηρήθηκε στις 21 Απριλίου . Κατά την περίοδο του 2019, η μέγιστη τιμή ήταν χαμηλότερη. Έφτασε 0.69 και παρατηρήθηκε στις 11 Μαΐου . Η ανάπτυξη της καλλιέργειας ξεκίνησε νωρίτερα στην περιοχή Δράμας-Σερρών στις 25 Νοεμβρίου , ενώ στην περιοχή Ξάνθης ξεκίνησε στις 20 Ιανουαρίου. Η ολοκλήρωση της ξήρανσης και στις 2 περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε περί τα τέλη Ιουνίου.



Διάγραμμα 51: δείκτης NDVI καλλιέργειας σιταριού, τα έτη 2018, 2019 στις περιοχές Δράμας, Σερρών και Ξάνθης - κριτήριο SCL [4,7)

Σύγκριση αποτελεσμάτων

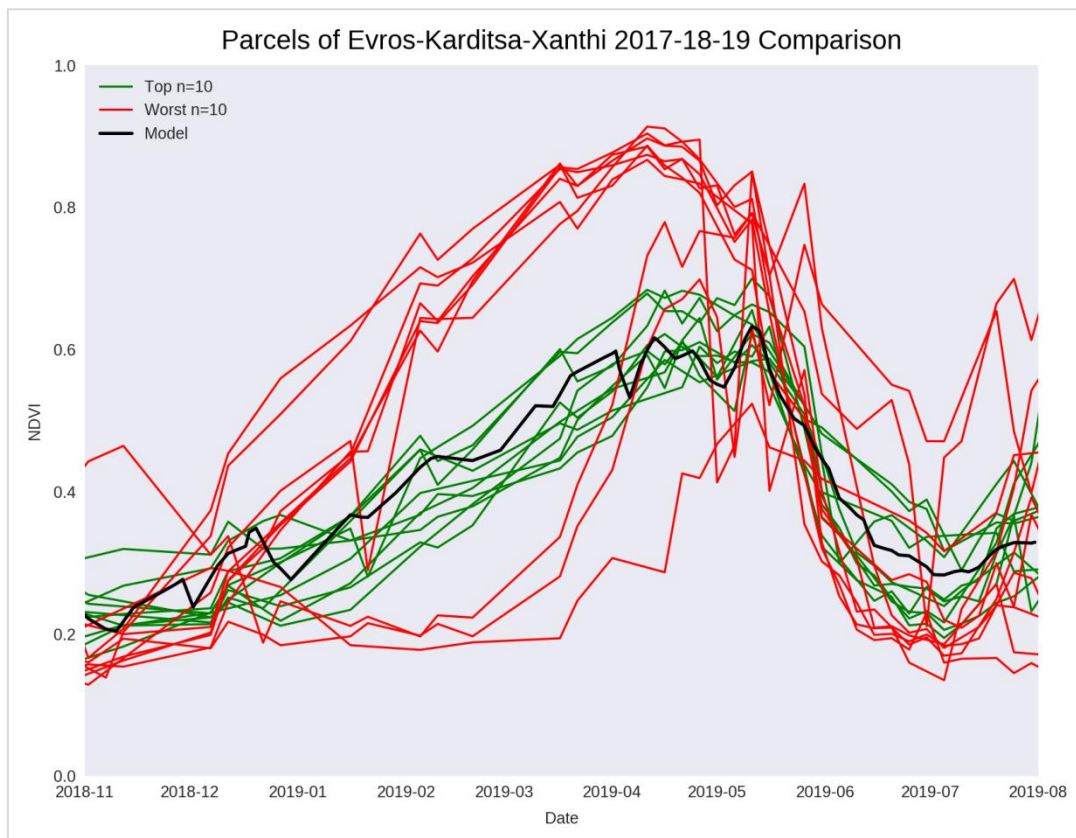
Στο διάγραμμα 52, απεικονίζεται το άθροισμα της τάσης με την εποχικότητα για όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Οι δοκιμές είχαν παρόμοια συμπεριφορά εκτός από τη δοκιμή που αφορούσε τις περιοχές Σερρών, Δράμας και Ξάνθης κατά τα έτη 2018 και 2019. Σε αυτή τη δοκιμή παρατηρήθηκε υψηλότερη τιμή δείκτη NDVI και στα δύο έτη παρατήρησης. Επίσης η ίδια καμπύλη δείχνει ότι κατά την περίοδο του 2018, η ανάπτυξη του συνόλου των καλλιεργειών που μελετήθηκαν ξεκίνησε νωρίτερα απ' ότι στις άλλες δοκιμές.



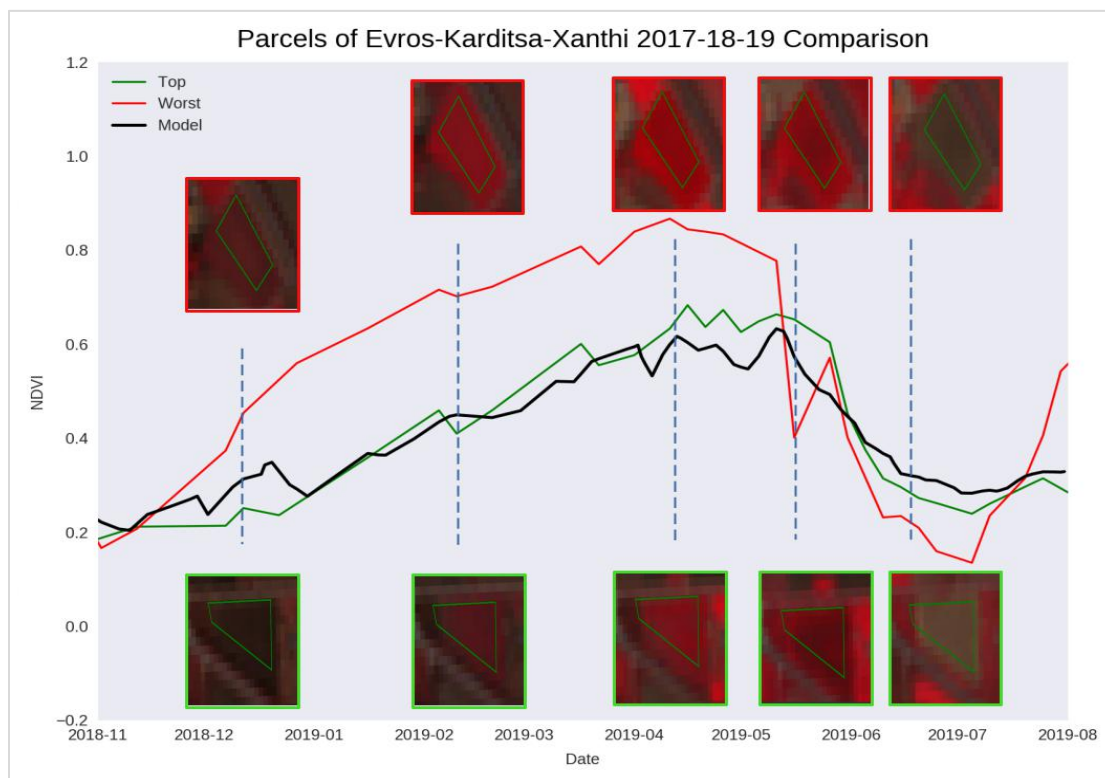
Διάγραμμα 52: Σύγκριση ιδανικής καμπύλης NDVI από όλες τις δοκιμές - κριτήριο SCL [4,7]

Στο διάγραμμα 53 , απεικονίζεται ο μέσος όρος του δείκτη NDVI που προέκυψε από το σύνολο των δεδομένων των περιοχών Έβρου, Καρδίτσας και Ξάνθης κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019 (μαύρη γραμμή), σε σύγκριση με τα δέκα καλύτερα (πράσινη γραμμή) και δέκα χειρότερα (κόκκινη γραμμή) γεωτεμάχια του 2019.

Παρατηρώντας τις χειρότερες καμπύλες, φάνηκε ότι ο δείκτης NDVI κάποιων από τα χειρότερα γεωτεμάχια ήταν αρκετά ψηλότερος από το μέσο όρο ή ήταν μετατοπισμένες οι καμπύλες δεξιότερα και με πιο στενή περίοδο παρουσίας χλωροφύλλης. Η πρώτη περίπτωση δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν λάθος, η δεύτερη περίπτωση όμως πιθανόν να οφείλεται σε λάθος καταγραφή των καλλιεργειών. Καταγράφηκαν ως σιτάρι ενώ τελικά παρουσίασαν συμπεριφορά άλλης καλλιέργειας. Στο διάγραμμα 54, όπου παρουσιάζονται οι καμπύλες του καλύτερου και του χειρότερου αγροτεμαχίου με στιγμιότυπα (έγχρωμο σύνθετο - RGB843 Sentinel-2) του αγροτεμαχίου σε κοινά χρονικά σημεία ενδιαφέροντος, φαίνεται η πρώτη περίπτωση που αναφέρθηκε.



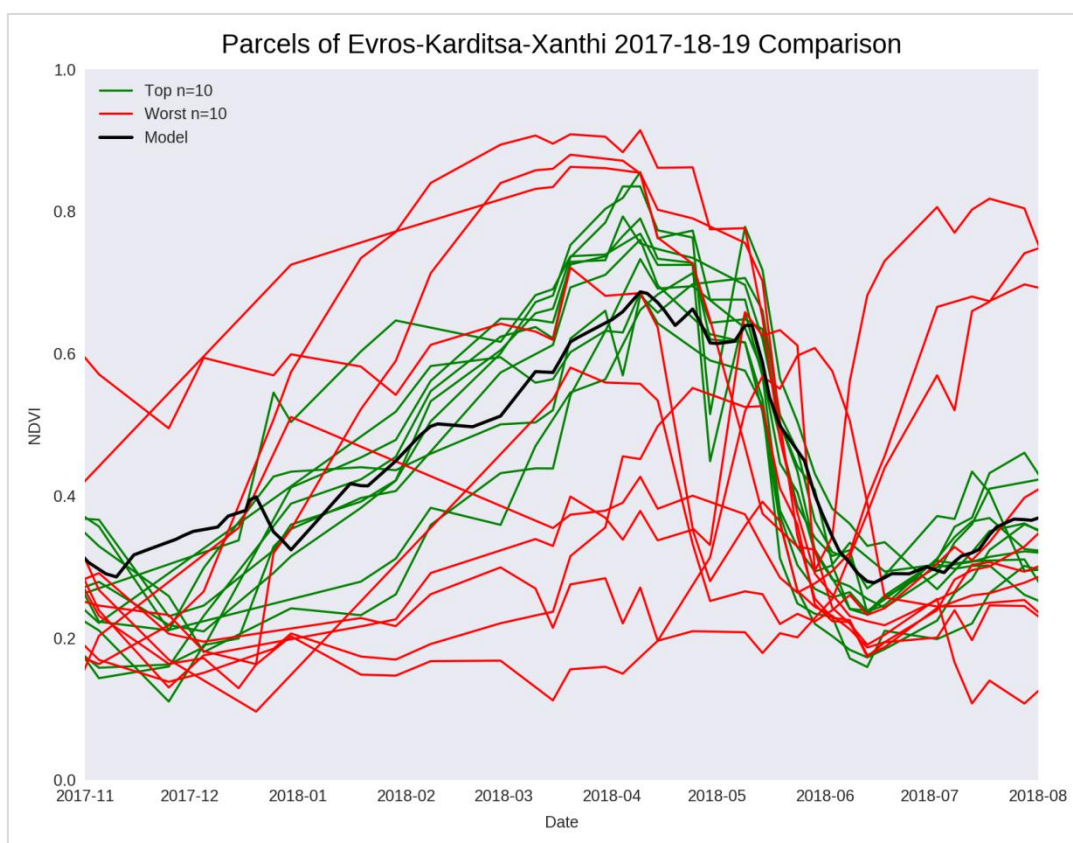
Διάγραμμα 53: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για για τα δεδομένα Ξάνθης κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI από τη δοκιμή Έβρος-Καρδίτσα-Ξάνθη - κριτήριο SCL [4,7)



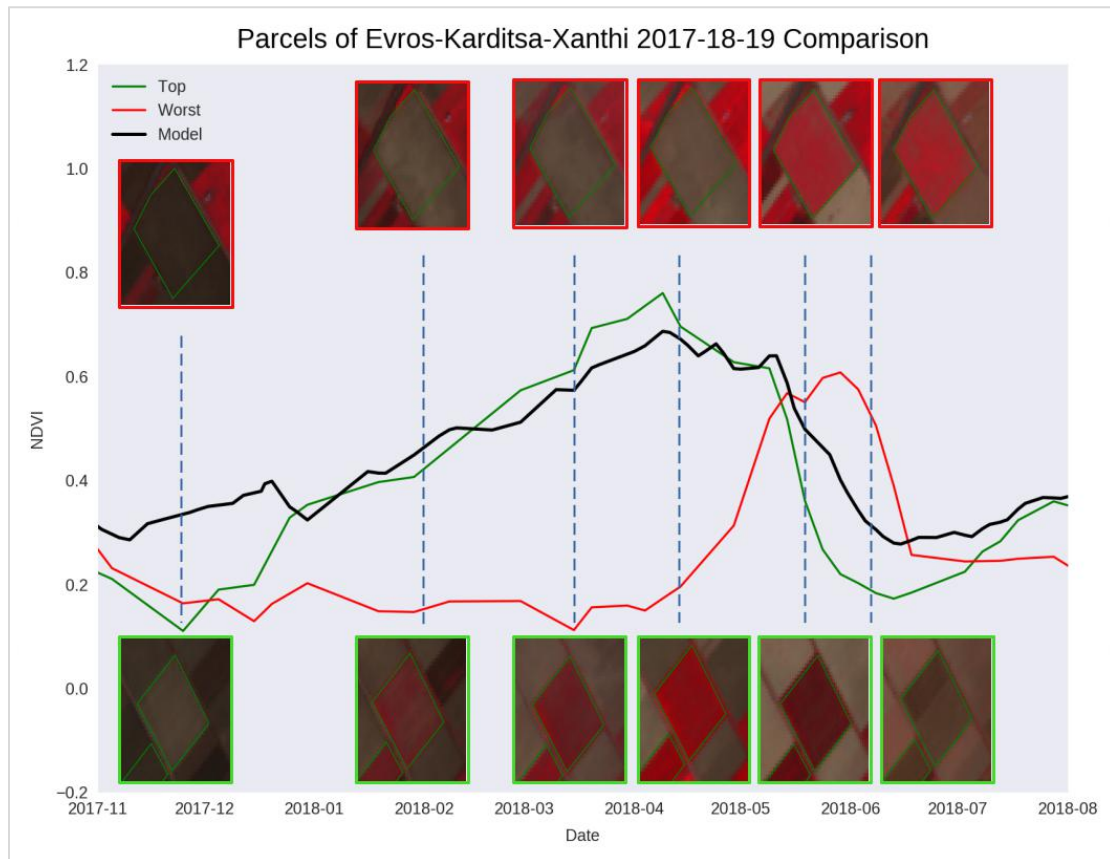
Διάγραμμα 54: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για για τα δεδομένα Ξάνθης κατά το έτος 2019, με τις τιμές του μέσου NDVI από τη δοκιμή Έβρος-Καρδίτσα-Ξάνθη - κριτήριο SCL [4,7), με παράθεση εικόνων

Στο διάγραμμα 55 , απεικονίζεται ο μέσος όρος του δείκτη NDVI που προέκυψε από το σύνολο των δεδομένων των περιοχών Έβρου, Καρδίτσας και Ξάνθης κατά τα έτη 2017, 2018 και 2019 (μαύρη γραμμή), σε σύγκριση με τα δέκα καλύτερα (πράσινη γραμμή) και δέκα χειρότερα (κόκκινη γραμμή) γεωτεμάχια της περιόδου του 2018.

Παρατηρώντας τις χειρότερες καμπύλες, φάνηκε και σε αυτή τη δοκιμή ότι ο δείκτης NDVI κάποιων από τα χειρότερα γεωτεμάχια ήταν ψηλότερος από το μέσο όρο. Επίσης υπήρχε η περίπτωση με πολύ χαμηλό δείκτη NDVI καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ή η περίπτωση με μετατοπισμένες τις καμπύλες δεξιότερα και με πιο στενή περίοδο παρουσίας χλωροφύλλης. Όπως και σε άλλες παρόμοιες παρατηρήσεις, η πρώτη περίπτωση είναι πολύ πιθανόν να συμβεί αφού εάν υπήρχαν αρκετά χαμηλές τιμές δείκτη, ο μέσος όρος κατεβαίνει. Από τις χαμηλές τιμές καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, προέκυψε το συμπέρασμα για αστοχία στην ανάπτυξη της καλλιέργειας ή για την ύπαρξη ασθένειας. Τέλος οι μετατοπισμένες καμπύλες οφείλονται σε λάθος κατά την καταγραφή των καλλιεργειών. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στο διάγραμμα 56, με την καλλιέργεια να ξεκίνησε την ανάπτυξη κατά τον Απρίλιο, να έφτασε στην κορυφή κατά τα τέλη Μάη και η ξήρανση να ολοκληρώθηκε στα μέσα Ιουνίου.



Διάγραμμα 55: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για τα δεδομένα Καρδίτσας κατά το έτος 2018, με τις τιμές του μέσου NDVI από τη δοκιμή Έβρος-Καρδίτσα-Ξάνθη - κριτήριο SCL [4,7)

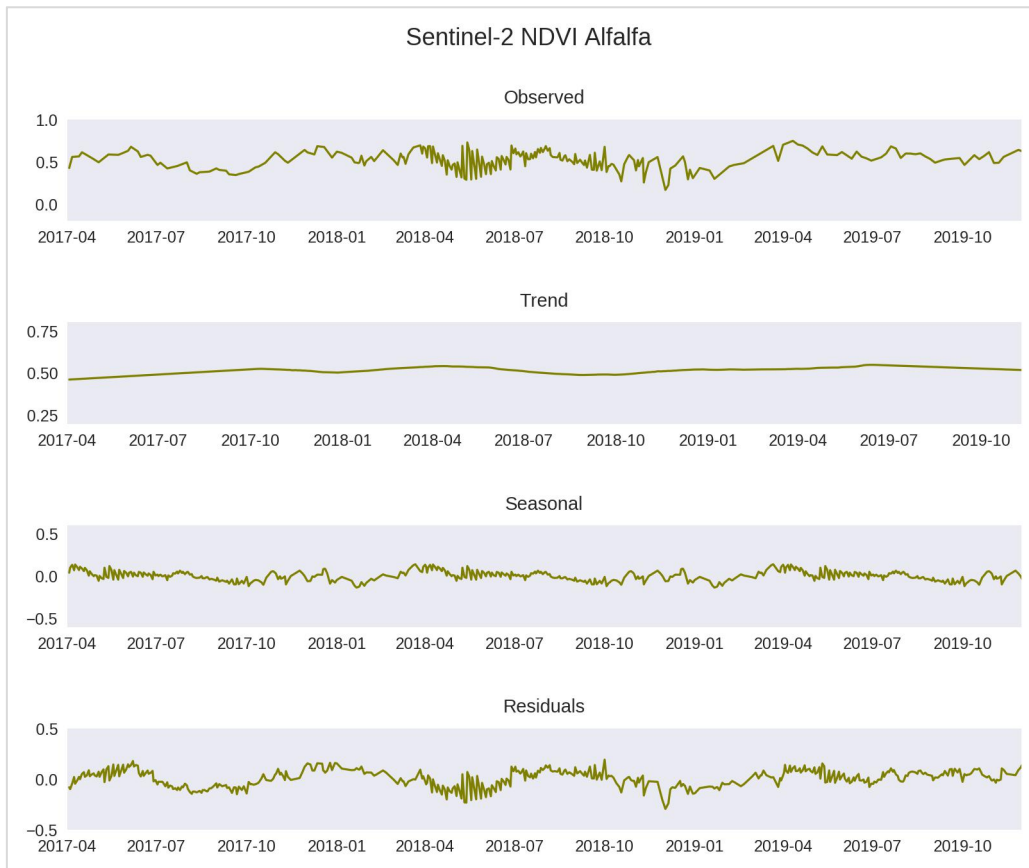


Διάγραμμα 56: Σύγκριση καλύτερων και χειρότερων πολυγώνων για για τα δεδομένα Καρδίτσας κατά το έτος 2018, με τις τιμές του μέσου NDVI από τη δοκιμή Έβρος-Καρδίτσα-Ξάνθη - κριτήριο SCL [4,7), με παράθεση εικόνων

5.6 Καλλιέργεια μηδικής

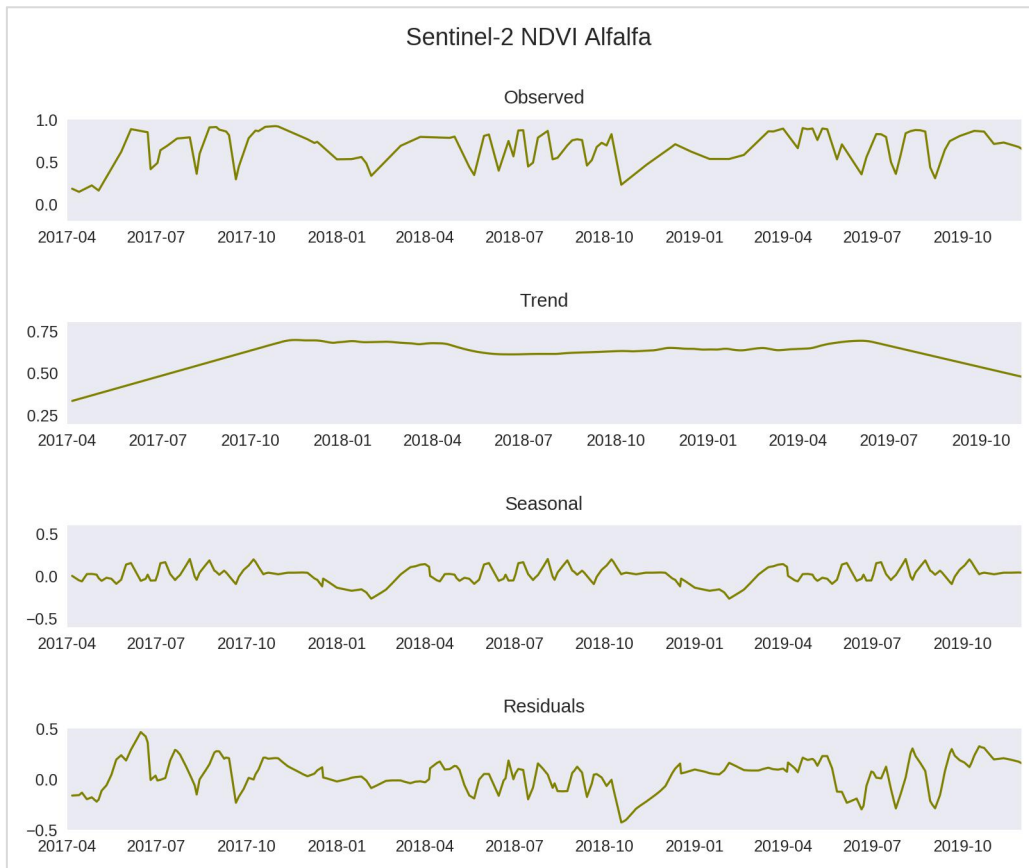
Σύνολο δεδομένων για τα έτη 2017, 2018 και 2019

Η καλλιέργεια μηδικής όπως φαίνεται στο διάγραμμα 57, παρουσιάζει άλλη συμπεριφορά από τις προηγούμενες που μελετήθηκαν. Η μηδική δεν έχει συγκεκριμένη περίοδο ανάπτυξης, αλλά αναπτύσσεται και μαζεύεται 4 έως 6 φορές ανά έτος. Αυτή η ικανότητα πολλαπλής συγκομιδής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους δημιουργεί την πορεία της καμπύλης στο διάγραμμα 56 που αφορά το σύνολο των δεδομένων. Επειδή η καλλιέργεια μηδικής δεν παρουσιάζει εποχικότητα, ο μέσος όρος ανά ημερομηνία προέκυψε από διαφορετική φάση του κάθε αγροτεμαχίου. Τα δεδομένα που απεικονίστηκαν στο διάγραμμα 56 αφορούσαν 236 αγροτεμάχια συνολικής έκτασης 3.07 τετραγωνικά χιλιόμετρα,



Διάγραμμα 57: δείκτης NDVI για το σύνολο δεδομένων μηδικής για τα έτη 2017, 2018, 2019 - κριτήριο SCL [4,7)

Για αποφυγή της προηγούμενης εικόνας, επιλέχθηκε να απεικονιστεί η πορεία ενός αγροτεμαχίου μηδικής ανά έτος. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 58 η μηδική αναπτύσσεται και μαζεύεται περίπου εντός 3 μηνών. Η υψηλότερη μέγιστη τιμή NDVI που παρατηρήθηκε κατά τα 3 έτη ήταν 0.91 και η χαμηλότερη ήταν 0.15. Και στα 3 έτη, παρατηρήθηκε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες χρειάστηκε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την ανάπτυξη και τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

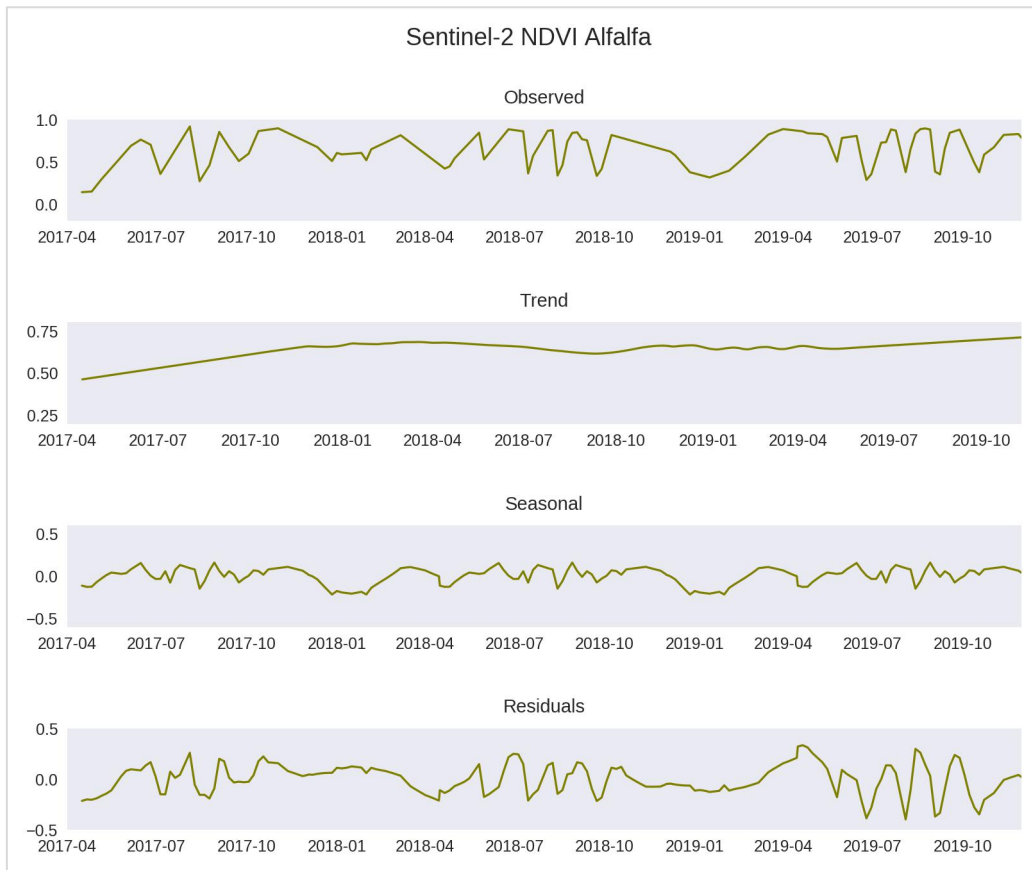


Διάγραμμα 58: δείκτης NDVI για ένα αγροτεμάχιο μηδικής ανά έτος, τα έτη 2017, 2018, 2019 - κριτήριο SCL [4,7)

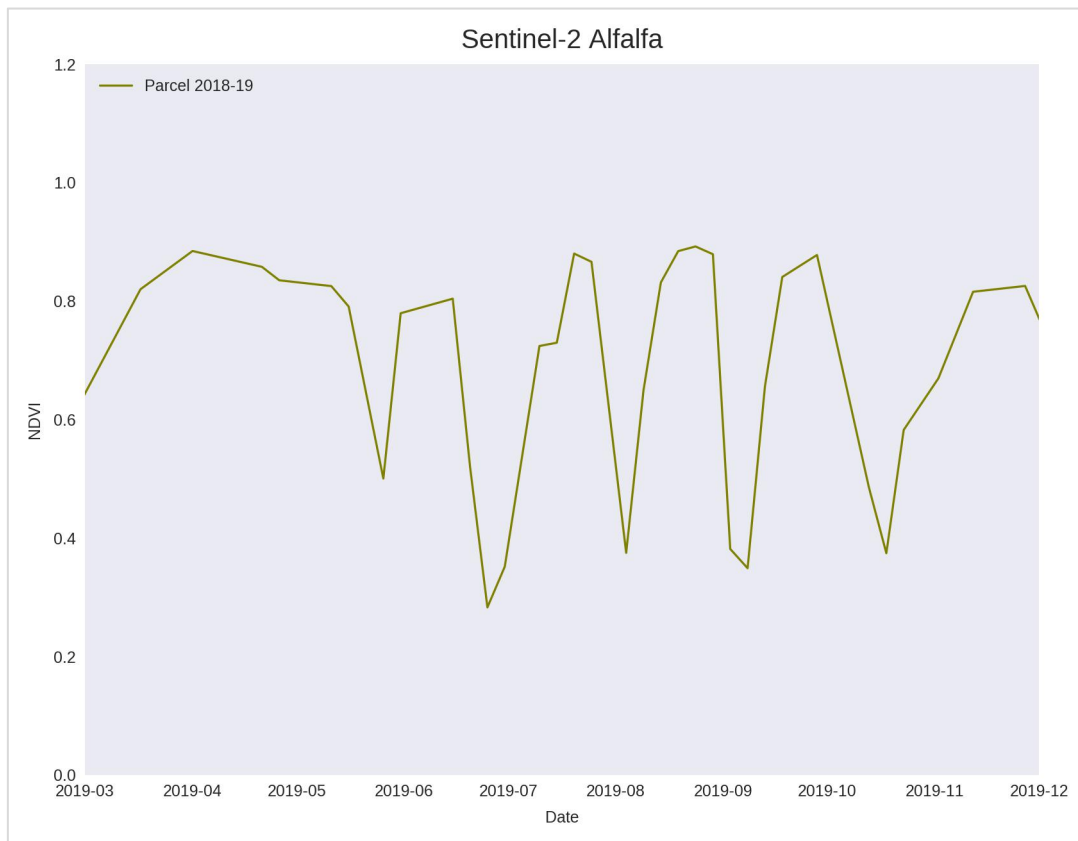
Στο διάγραμμα 59, παρουσιάστηκε η συμπεριφορά ενός αγροτεμαχίου που καλλιεργήθηκε με μηδική και στα 3 έτη παρατήρησης. Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στις 4 Αυγούστου του έτους 2017 και ήταν 0.92 . Γενικά οι μέγιστες τιμές NDVI κυμάνθηκαν από 0.15 έως 0.90 . Σε αυτό το διάγραμμα ήταν εμφανείς η κοιλιά που παρουσίασε η καλλιέργεια κάθε χειμερινή περίοδο.

Στο διάγραμμα 59 παρουσιάζεται συμπεριφορά της ίδιας καλλιέργειας εστιασμένη στην περίοδο του 2019. Φαίνεται ότι ενώ ο κύκλος της καλλιέργειας απαιτεί σχεδόν 15 ημέρες, κατά τους περισσότερους μήνες του έτους, τους χειμερινούς μήνες χρειάστηκε 3 με 4 μήνες.

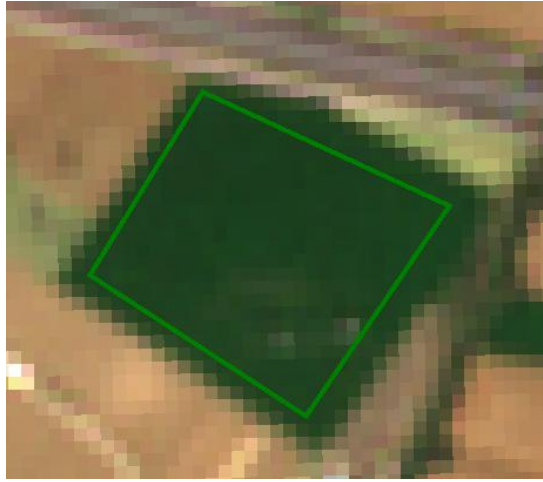
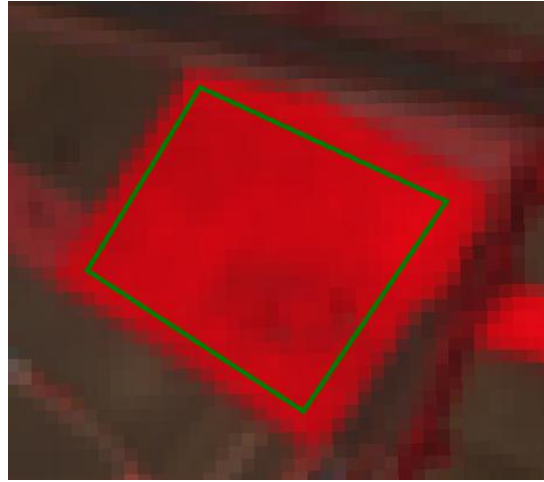
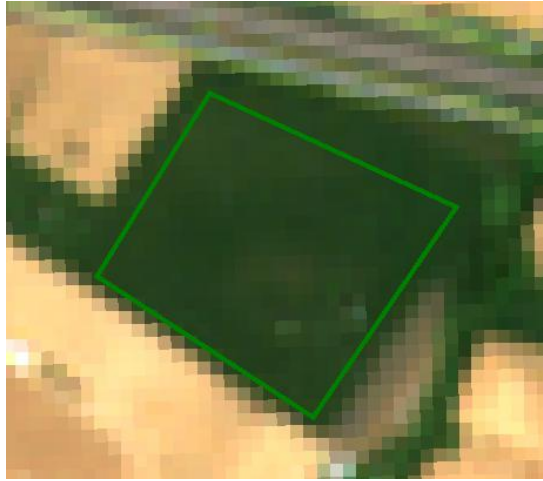
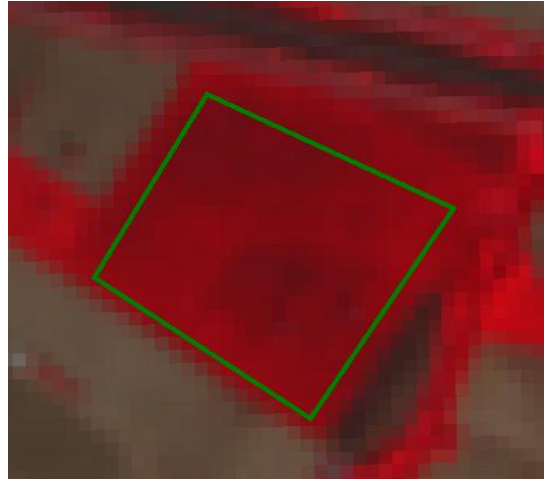
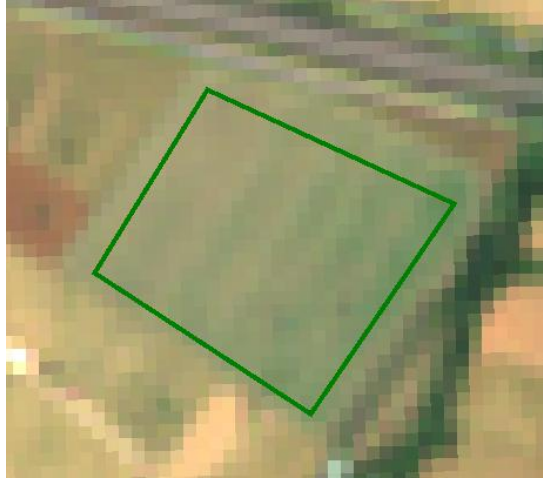
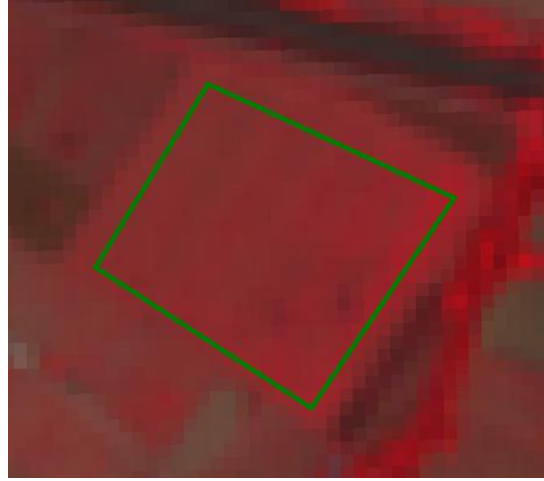
Στον πίνακα 10, απεικονίζεται η διαχρονική συμπεριφορά της καλλιέργειας μηδικής του διαγράμματος 60 από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο του 2019. Στην αριστερή στήλη οι εικόνες απεικονίζονται με το φυσικό έγχρωμο σύνθετο, ενώ στη δεξιά με το ψευδέχρωμο του δορυφόρου Sentinel-2, RGB-843. Η καλλιέργεια φαίνεται ότι έφτασε στα μέγιστα επίπεδα χλωροφύλλης , τους μήνες Απρίλιο-Μάιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο, αφού στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο απεικονίζεται έντονα πράσινη και στο ψευδέχρωμο έντονα κόκκινη αυτούς τους μήνες.

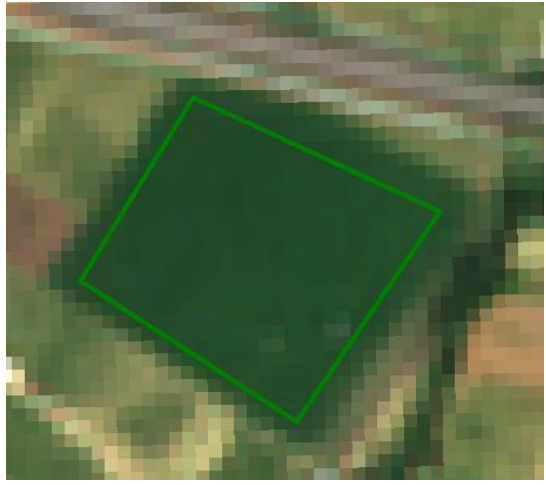
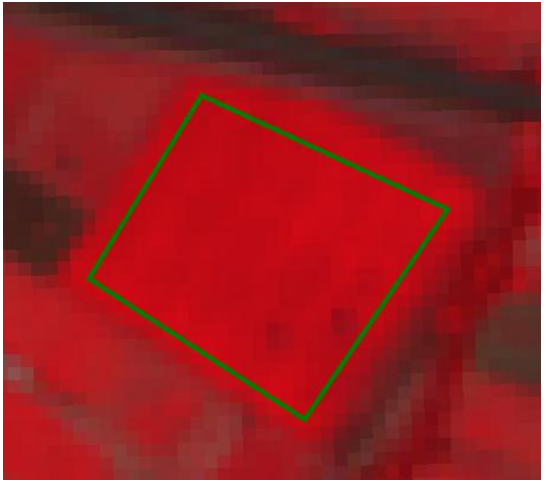

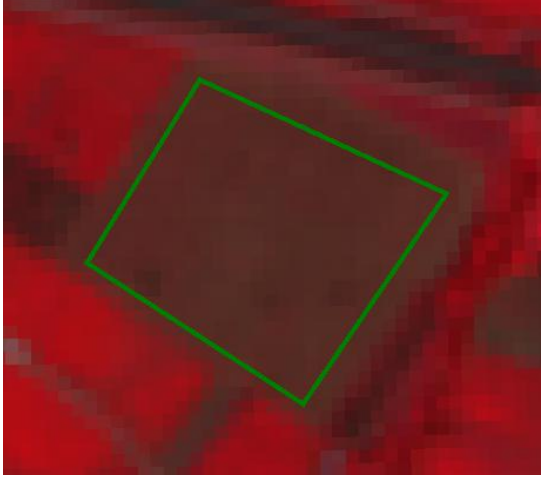

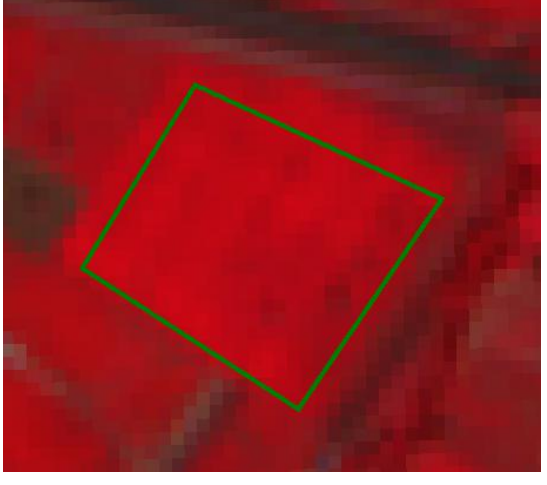


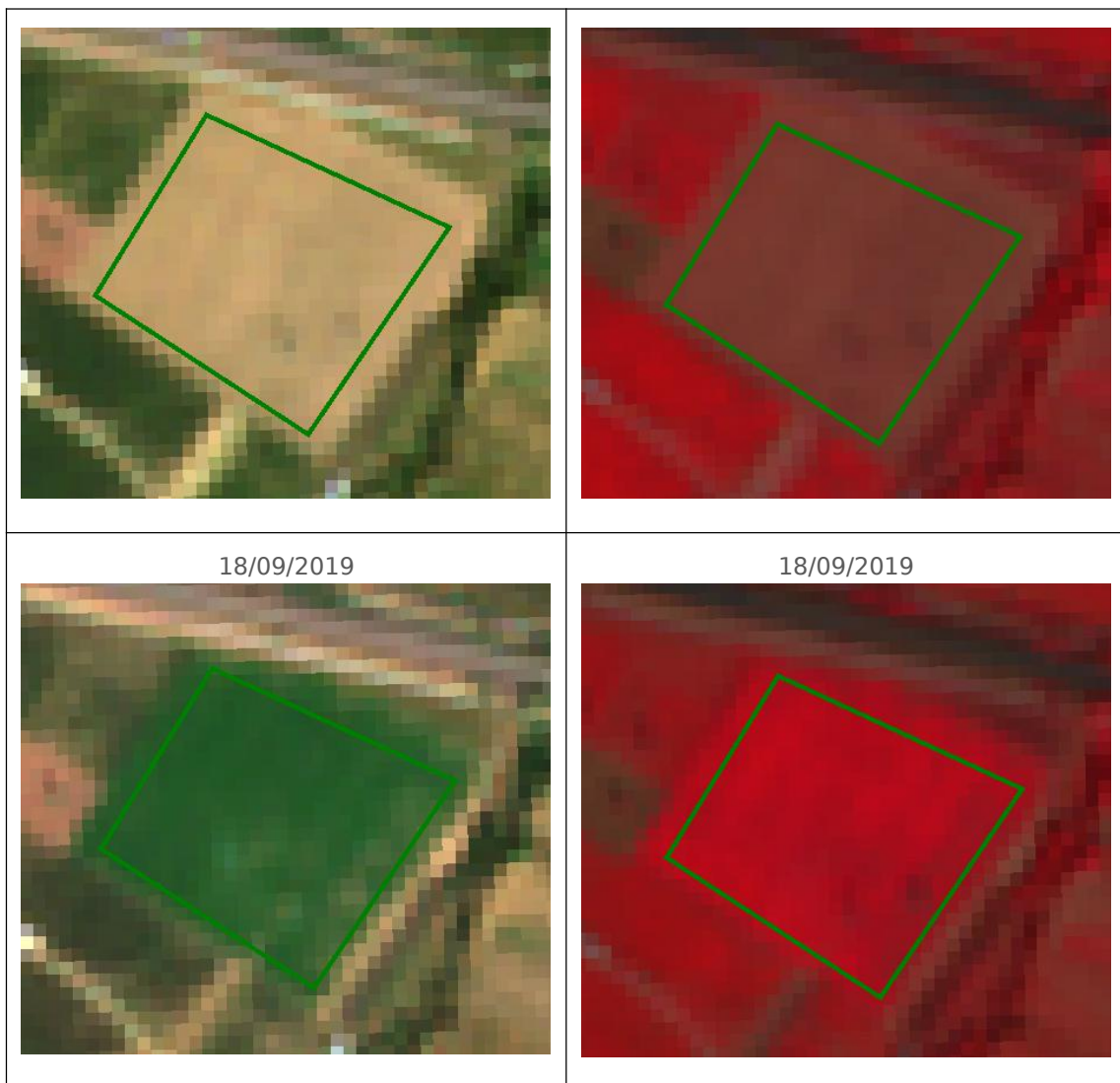
Διάγραμμα 59: δείκτης NDVI για ένα αγροτεμάχιο μηδικής κατά τα έτη 2017, 2018, 2019 - κριτήριο SCL [4,7)



Διάγραμμα 60: δείκτης NDVI για ένα αγροτεμάχιο μηδικής κατά το 2019 - κριτήριο SCL [4,7)

RGB-432, Sentinel-2	RGB-843, Sentinel-2
<p data-bbox="438 338 580 367">01/04/2019</p> 	<p data-bbox="1010 338 1152 367">01/04/2019</p> 
<p data-bbox="438 900 580 929">16/05/2019</p> 	<p data-bbox="1010 900 1152 929">16/05/2019</p> 
<p data-bbox="438 1462 580 1491">20/06/2019</p> 	<p data-bbox="1010 1462 1152 1491">20/06/2018</p> 

<p>20/07/2019</p> 	<p>20/07/2019</p> 
<p>04/08/2019</p> 	<p>04/08/2019</p> 
<p>24/08/2019</p> 	<p>24/08/2019</p> 
<p>03/09/2019</p>	<p>03/09/2019</p>



Πίνακας 10: Διαχρονική απεικόνιση καλλιέργειας μηδικής σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο, αριστερά και ψευδέγχρωμο RGB-843, δεξιά.

6 Συμπεράσματα και προτάσεις

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρατήρηση των διαγραμμάτων χρονοσειρών. Τα συμπεράσματα καταγράφονται ανά καλλιέργεια. Επίσης παρατίθενται κάποιες προτάσεις για μελλοντική μελέτη.

Καλλιέργεια βαμβακιού

- Παρατηρήθηκε εμφανής διαφορά στις παρατηρήσεις για το έτος 2017, οι οποίες συλλέχθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ. Είναι πιθανό να οφείλεται στις λάθος καταχωρημένες εγγραφές που παρουσιάστηκαν στην συγκεκριμένη καλλιέργεια.
- Στις δοκιμές που συμμετείχαν τα δεδομένα της περιοχής Έβρου, ο δείκτης NDVI ήταν αισθητά χαμηλότερος. Ήταν λογικό καθώς όπως και στο παραπάνω συμπέρασμα η συγκεκριμένη περιοχή παρουσίαζε μεγάλη ανομοιογένεια στις τιμές NDVI των γεωτεμαχίων βαμβακιού.
- Υπήρχε μεγαλύτερη αξιοπιστία στις παρατηρήσεις, όταν τα δεδομένα για διαφορετικά έτη προέκυπταν από εικόνες του ίδιου tile, επομένως και της ίδιας γεωγραφικής περιοχής.
- Οι τιμές του δείκτη NDVI της καλλιέργειας παρουσιάζουν αισθητή αύξηση από τα μέσα Ιουνίου έως τις αρχές Οκτωβρίου σε όλες τις περιοχές μελέτης, πλην κάποιων περιπτώσεων γεωτεμαχίων της περιοχής του Έβρου.
- Η κορύφωση της τιμής του δείκτη NDVI, έφτανε περίπου 0.75 κοντά στις 20 Αυγούστου όπου και ήταν αναμενόμενο με βάση τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας στην Ελλάδα.

Καλλιέργεια καλαμποκιού

- Η ανάπτυξη της καλλιέργειας, παρατηρήθηκε από τα μέσα Μαΐου έως το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου στο σύνολο των περιοχών που εξετάστηκαν.
- Στην περιοχή Έβρου, ο κύκλος της καλλιέργειας παρουσίασε μικρή καθυστέρηση. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στη διαφορά του κλίματος της περιοχής, σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές μελέτης.
- Οι υψηλότερες τιμές του δείκτη NDVI, παρατηρήθηκαν στα μέσα Ιουνίου και ήταν περίπου 0.80, όπου συμβαδίζει με το φαινολογικό κύκλο της καλλιέργειας στην Ελλάδα.
- Στην καλλιέργεια καλαμποκιού παρατηρήθηκε ότι διατηρείται για χρονικό διάστημα με μέγιστα επίπεδα χλωροφύλλης σε αντίθεση με άλλες καλλιέργειες που η μέγιστη τιμή είναι πολύ προσωρινή.

- Η πορεία του μέσου όρου του συνόλου των καλλιεργειών ήταν κοντά και με τις επιμέρους δοκιμές και στα 3 έτη παρατήρησης.

Καλλιέργεια ηλίανθου

- Ο κύκλος ανάπτυξης της καλλιέργειας ηλίανθου, παρατηρήθηκε μέσω του δείκτη NDVI γύρω στις 15 Μαΐου έως το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου.
- Οι ψηλότερες τιμές στον δείκτη NDVI, παρατηρούνταν προς το τέλος Ιουνίου και ήταν περίπου 0.70.
- Η περίοδος ωρίμανσης του φυτού είχε μεγαλύτερη διάρκεια παρά η περίοδος ανάπτυξης σύμφωνα με τα μοντέλα των χρονοσειρών NDVI.
- Κάποια γεωτεμάχια είχαν πολύ ψηλότερη τιμή δείκτη NDVI, σε σχέση με το μέσο όρο. Αυτό μπορεί να οφειλόταν σε διαφορετική ποικιλία στην καλλιέργεια ηλίανθου.
- Από την παρατήρηση των χρονοσειρών, φάνηκε ότι η καλλιέργεια ηλίανθου παρουσιάζει συστηματική συμπεριφορά.

Καλλιέργεια ρυζιού

- Παρατηρήθηκε χρονική διαφορά περίπου 20 ημερών, ανάμεσα στην ανάπτυξη των καλλιεργειών στην περιοχή Θεσσαλονίκης και στην περιοχή Έβρου.
- Στην περιοχή Έβρου, η ορατή ανάπτυξη παρατηρήθηκε μετά τις 10 Ιουνίου έως τις 20 Οκτωβρίου, ενώ στην περιοχή Θεσσαλονίκης η διαδικασία ξεκινούσε περίπου 20 ημέρες νωρίτερα.
- Η μέγιστη τιμή του δείκτη NDVI που παρατηρήθηκε ήταν περίπου 0.90 στις αρχές Αυγούστου και διατηρήθηκε για αρκετές ημέρες σε ψηλά επίπεδα.
- Συνολικά οι δοκιμές έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα.

Καλλιέργεια σιταριού

- Ο κύκλος της καλλιέργειας ξεκινά μεταξύ Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου που συμβαδίζει με τις ημερομηνίες σποράς στην Ελλάδα.
- Η καλλιέργεια χρειάζεται 3 έως 4 μήνες ώστε να φτάσει στο μέγιστο επίπεδο χλωροφύλλης και στη συνέχεια για την ολοκλήρωση της ωρίμανσης χρειάζεται περίπου 1 μήνα.
- Οι ψηλότερες τιμές δείκτη NDVI που παρατηρήθηκαν ήταν κοντά στο 0.65.
- Δεν προέκυψαν ασφαλή συμπεράσματα γιατί κατά τη συλλογή των δεδομένων ελέγχου υπήρξε σύγχυση ανάμεσα στις καλλιέργειες σιταριού και κριθαριού λόγω ομοιότητας. Πιο αναλυτικά, στα δεδομένα

Δράμας και Σερρών η επίσκεψη πραγματοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση της καλλιεργητικής χρονιάς και τα δεδομένα αυτά απέδωσαν υψηλότερες τιμές NDVI καθ' όλη την διάρκεια της σε σχέση με τον μέσο όρο.

Καλλιέργεια μηδικής

- Δεν παρουσίασε συγκεκριμένη συμπεριφορά στην ανάπτυξη, ως προς το χρόνο.
- Σε κάθε γεωτεμάχιο, η καλλιέργεια μπορεί να αναπτύσσεται για τουλάχιστον 3 χρόνια χωρίς να ξαναφυτευτεί.
- Αναλόγως με τη φροντίδα, το πότισμα και τη διάθεση του αγρότη ο αριθμός των κοπών μέσα στον χρόνο ποικίλει που καθιστά την μοντελοποίηση του NDVI αδύνατη.
- Μετά τις πρώτες 2 κοπές, το γεωτεμάχιο φαίνεται να αναπτύσσεται με μεγαλύτερους ρυθμούς.
- Η ψηλότερη τιμή στον δείκτη NDVI, έφτασε μέχρι 0.90.

Με βάση την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τις παρατηρήσεις που έγιναν στην παρούσα εργασία, προέκυψαν οι παρακάτω προτάσεις για μελλοντική μελέτη.

- Επανάληψη των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, αφού αφαιρεθούν τα χειρότερα πολύγωνα που προέκυψαν από κάθε δοκιμή, με στόχο την εξαγωγή χρονοσειρών που θα περιγράφουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την κάθε καλλιέργεια.
- Επέκταση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για να εξεταστούν περισσότεροι δείκτες, πέραν του NDVI.
- Συλλογή δεδομένων για τις αντίστοιχες καλλιέργειες σε όλη την Ελλάδα.
- Δοκιμές διαχρονικών δεδομένων που θα αναφέρονται στις ίδιες γεωγραφικές περιοχές.
- Δοκιμές για δεδομένα που να έχουν κοινά χαρακτηριστικά όπως εμβαδό, συγκεκριμένη ποικιλία καλλιέργειας, χρόνο σποράς ή άλλη πληροφορία που προκύπτει από τους αγρότες.
- Πραγματοποίηση επιπλέον διαδικασίας για εντοπισμό δορυφορικών παρατηρήσεων Sentinel-2 που θα είναι πιο καθαρές από νέφη, σκιές και νερό.
- Σύγκριση χρονοσειρών με χρονοσειρές που θα βασίζονται σε δορυφορικές παρατηρήσεις άλλων αποστολών.

- Πραγματοποίηση απομακρυσμένων υποθέσεων για το είδος των καλλιεργειών και μετέπειτα επιτόπου έλεγχος.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- D.P. Roy, L. Yan, Robust Landsat-based crop time series modelling, *Remote Sensing of Environment*, Volume 238, 2020, 110810, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.038>
- Zhuokun Pan, Jingfeng Huang, Qingbo Zhou, Limin Wang, Yongxiang Cheng, Hankui Zhang, George Alan Blackburn, Jing Yan, Jianhong Liu, Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 34, 2015, Pages 188-197, ISSN 0303-2434, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.011>
- W Verhoef, A van der Kamp, R Koelemeijer, *Climate Indicators from Time Series of NDVI images*, National Aerospace Laboratory NLR, Amsterdam, The Netherlands (2005)
- P. Jonsson and L. Eklundh, "Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, no. 8, pp. 1824-1832, Aug. 2002.
- Susan K. Maxwell, Kenneth M. Sylvester, Identification of "ever-cropped" land (1984-2010) using Landsat annual maximum NDVI image composites: Southwestern Kansas case study, *Remote Sensing of Environment*, Volume 121, 2012, Pages 186-195, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.022>
- Zhang Mingwei, Zhou Qingbo, Chen Zhongxin, Liu Jia, Zhou Yong, Cai Chongfa, Crop discrimination in Northern China with double cropping systems using Fourier analysis of time-series MODIS data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 10, Issue 4, 2008, Pages 476-485, ISSN 0303-2434, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.11.002>
- Toshihiro Sakamoto, Brian D. Wardlow, Anatoly A. Gitelson, Shashi B. Verma, Andrew E. Suyker, Timothy J. Arkebauer, A Two-Step Filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 114, Issue 10, 2010, Pages 2146-2159, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.019>
- P. Damrongkulkamjorn and P. Churueang, "Monthly energy forecasting using decomposition method with application of seasonal ARIMA," 2005 International Power Engineering Conference, Singapore, 2005, pp. 1-229.

- W. P. Cleveland and G. C. Tiao Source, Decomposition of Seasonal Time Series: A Model for the Census X-11, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 71, No. 355, Sep., 1976, pp.581-587
- Compton J. Tucker, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, Volume 8, Issue 2, 1979, Pages 127-150, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS*, vol. 1, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA, Washington, DC (1973), pp. 309-317
- A. Huete, C. Justice, W.V. Leeuwen, MODIS Vegetation Index (MOD13). Algorithm Theoretical Basis Document (1999)
- D.J. Watson, Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years
- *Ann. Botany*, 11 (1947), pp. 41-76
- Martínez, B. and Gilabert, M.A. (2009) Vegetation Dynamics from NDVI Time Series Analysis Using the Wavelet Transform. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1823-1842.
- Linglin Zeng, Brian D. Wardlow, Daxiang Xiang, Shun Hu, Deren Li, A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 237, 2020, 111511, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111511>.
- Douglas K. Bolton, Josh M. Gray, Eli K. Melaas, Minkyu Moon, Lars Eklundh, Mark A. Friedl, Continental-scale land surface phenology from harmonized Landsat 8 and Sentinel-2 imagery, *Remote Sensing of Environment*, Volume 240, 2020, 111685, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111685>.
- Jakubauskas, Mark & Legates, David & Kastens, Jude. (2002). Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. *Computers and Electronics in Agriculture*. 37. 127-139. 10.1016/S0168-1699(02)00116-3.
- Sakamoto, Toshihiro & Yokozawa, Masayuki & Toritani, Hitoshi & Shibayama, Michio & Ishitsuka, Naoki & Ohno, Hiroyuki. (2005). A crop phenology detection method using time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. 96. 366-374. 10.1016/j.rse.2005.03.008.
- W. Yang and S. Zhang, "Monitoring Vegetation Phenology Using MODIS Time-Series Data," 2012 2nd International Conference on Remote

Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, 2012, pp. 1-4.

- Jin Chen, Per. Jönsson, Masayuki Tamura, Zhihui Gu, Bunkei Matsushita, Lars Eklundh, A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter, *Remote Sensing of Environment*, Volume 91, Issues 3-4, 2004, Pages 332-344, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.014>.
- N. Viovy, O. Arino, A.S. Belward, The Best Index Slope Extraction (BISE): a method for reducing noise in NDVI time-series, *Int. J. Remote Sens.*, 13 (1992), pp. 1585-1590
- B.C. Reed, J.F. Brown, D. VanderZee, T.R. Loveland, J.W. Merchant, D.O. Ohlen, Measuring phenological variability from satellite imagery, *J. Veg. Sci.*, 5 (1994), pp. 703-714
- Y. Julien, J.A. Sobrino, Comparison of cloud-reconstruction methods for time series of composite NDVI data, *Remote Sens. Environ.*, 114 (2010), pp. 618-625
- A. Moody, D.M. Johnson, Land-surface phenologies from AVHRR using the discrete fourier transform, *Remote Sens. Environ.*, 75 (2001), pp. 305-323
- H. Wagenseil, C. Samimi, Assessing spatio-temporal variations in plant phenology using Fourier analysis on NDVI time series: results from a dry savannah environment in Namibia, *Int. J. Remote Sens.*, 27 (2006), pp. 3455-3471
- K.M. de Beurs, G.M. Henebry, Land surface phenology, climatic variation, and institutional change: analyzing agricultural land cover change in Kazakhstan, *Remote Sens. Environ.*, 89 (2004), pp. 497-509
- B.A. Bradley, R.W. Jacob, J.F. Hermance, J.F. Mustard, A curve fitting procedure to derive inter-annual phenologies from time series of noisy satellite NDVI data, *Remote Sens. Environ.*, 106 (2007), pp. 137-145
- Zhang, Peter & Qi, Min. (2005). Neural network forecasting for seasonal and trend time series. *European Journal of Operational Research*. 160. 501-514. [10.1016/j.ejor.2003.08.037](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.037).

