



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ
SENTINEL-2 ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ
ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΟΣ»**

ΜΠΟΛΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
"Εφαρμοσμένη Επιστήμη και Τεχνολογία στη Γεωπονία"**

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2020

ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. ΕΛΕΝΗ ΚΟΚΚΙΝΟΥ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

2. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΛΟΥΛΑΚΑΚΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

3. ΔΡΑΓΑΣΑΚΗ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ
ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΟ ΕΡΓΟ ΑΥΤΟ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΟΥ ΕΛΜΕΠΙΑ ΜΕ ΤΗΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ GEOSENSE

Στην οικογένεια μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε στο εργαστήριο Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου με την επιστημονική υποστήριξη της εταιρίας Geosense. Αυτή τη στιγμή που το έργο έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κ. Κόκκινου Ελένη για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε και για την κατανόηση που έδειξε στις δυσκολίες που αντιμετώπισα κατά την δημιουργία του, καθώς και την τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλη Πολύχρονο για την υποστήριξη του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	V
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	VI
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ	VIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	IX
ABSTRACT	XI
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....	1
1.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	1
1.1.2 ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	4
1.1.3 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	6
1.1.4 ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	7
1.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	17
1.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	17
1.2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	19
1.2.3 Η ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ.....	21
1.2.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	24
1.2.5 ΛΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	29
1.2.6 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΣΜΗΕΑ).....	31
1.2.7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	34
1.2.8 ERDAS IMAGINE	36
1.3 ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	40
2 ΜΕΘΟΔΟΙ	41
2.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	41
2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ NDVI ΓΙΑ ΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	45
2.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ NDVI ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΜΕΡΑΣ.....	53
2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ NDVI ΓΙΑ ΤΑ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (PIXELS)	56
2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ NDVI ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (ΠΟΛΥΓΩΝΑ)	65
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	73
3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	73
3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (ΠΟΛΥΓΩΝΑ).....	86
3.3 ΟΠΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	93
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	106

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....109

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Πίνακας 1: Οι συντομεύσεις που χρησιμοποιούνται μέσα στο κείμενο και στις Εικόνες / Σχήματα

Σύντμηση	Πλήρες όνομα
<i>DGPS</i>	<i>Διαφορικό Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού/Καθορισμού Θέσης</i>
<i>GIS</i>	<i>Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών</i>
<i>GPS</i>	<i>Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού/Καθορισμού Θέσης</i>
<i>NDVI</i>	<i>Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης</i>
<i>NIR</i>	<i>Μήκος κύματος στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος</i>
<i>R ή RED</i>	<i>Μήκος κύματος στο ερυθρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος</i>
<i>UAVs</i>	<i>ΣμηΕΑ</i>
<i>ΓΕ</i>	<i>Γεωργία Ακριβείας</i>
<i>ΣμηΕΑ</i>	<i>Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροχημάτων</i>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Γεωργία Ακριβείας ως ένα σύστημα διαχείρισης της χρονικής και χωρικής παραλλακτικότητας που παρουσιάζουν τα χωράφια, έχει στόχο την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργούμενων φυτών και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, με ορθολογικότερη χρήση των διαθέσιμων πόρων ώστε να μειωθεί το κόστος παραγωγής και να προστατευθεί το περιβάλλον. Η εφαρμογή της στηρίζεται σε ένα σύνολο τεχνολογικών μέσων, όπως είναι τα παγκόσμια συστήματα καθορισμού/εντοπισμού θέσης, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, τα συστήματα χαρτογράφησης απόδοσης, τα συστήματα μεταβλητών δόσεων, οι εδαφολογικές αναλύσεις, τα συστήματα χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και η τηλεπισκόπηση.

Η τηλεπισκόπηση βασίζεται στη δυνατότητα των αισθητήρων να καταγράφουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχονται τα αντικείμενα στο έδαφος και στη γεωργία χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της βλάστησης που υπάρχει σε αυτό. Οι πληροφορίες που συλλέγονται προέρχονται από πλατφόρμες που βρίσκονται στο έδαφος, στον αέρα ή στο διάστημα. Στην παρούσα εργασία συγκρίνονται δορυφορικά δεδομένα με αντίστοιχα που συγκεντρώθηκαν από αεροφωτογράφιση. Η πρώτη ομάδα δεδομένων προήλθε από το δορυφόρο sentinel-2, ο οποίος ανήκει στο πρόγραμμα Copernicus που αναπτύσσει ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος, ενώ η δεύτερη από αεροφωτογράφιση που πραγματοποιήθηκε με σύστημα μη επανδρωμένου αεροχήματος, το οποίο ήταν εφοδιασμένο με πολυφασματική κάμερα. Οι παρατηρήσεις διενεργήθηκαν σε πέντε διαφορετικά χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των δύο τεχνολογιών δεν ξεπερνούσε τις τέσσερις ημέρες. Η σύγκριση αφορούσε το δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI), που υπολογίστηκε για δεκαπέντε συγκεκριμένα εικονοστοιχεία (pixels) και τέσσερις συγκεκριμένες περιοχές. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έγινε μετατροπή της χωρικής ανάλυσης των αεροφωτογραφιών, ώστε να συμπίπτει με την αντίστοιχη των δορυφορικών εικόνων με σκοπό οι δύο τεχνολογίες να μελετηθούν στις πραγματικές συνθήκες εφαρμογής τους και να φανούν οι διαφορές της τεχνολογίας που διαθέτουν.

Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων έδειξαν ότι η τάση της μέσης τιμής του NDVI παρουσιάζει ομοιότητες μεταξύ των δύο τεχνολογιών τόσο για τα εικονοστοιχεία όσο και για τις περιοχές. Στις τέσσερις από τις πέντε παρατηρήσεις καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του NDVI κατά τη σύγκριση των εικονοστοιχείων, ενώ το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε μόνο για μια από τις τέσσερις περιοχές. Επίσης σε ότι αφορά τις περιοχές παρατηρήθηκε διαφορά στο εύρος των τιμών του δείκτη. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στην υψηλότερη χωρική ανάλυση της πολυφασματικής κάμερας του αεροχήματος. Ακόμα φάνηκε μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των μέσων τιμών του δείκτη για τις δύο τεχνολογίες, ενώ οπτικά η πολυφασματική κάμερα παρέχει περισσότερες λεπτομέρειες για την επιφάνεια του εδάφους. Συμπερασματικά μπορεί να ειπωθεί ότι και από τις δύο τεχνολογίες αντλούνται σημαντικές πληροφορίες για τη βλαστική κατάσταση των φυτών στο έδαφος και μπορούν να αξιοποιηθούν στη Γεωργία Ακριβείας. Η επιλογή ενός εκ των δύο εξαρτάται από το σκοπό της χρήσης τους, καθώς έχουν διαφορετική χωρική ανάλυση, διαφορετικό κόστος χρήσης και διαφορετικές απαιτήσεις κατά τη συλλογή των δεδομένων.

ABSTRACT

Precision Agriculture can be defined as a management system for the site-specific temporal and spatial variability of the fields in order to increase the yield of the crops and the quality of the products. Furthermore, it enhances the efficiency of agricultural inputs resulting to decrease the cost of production and to protect the environment. The implementation of Precision Agriculture is based on tools such as global positioning system, geographical information systems, yield monitoring systems, variable rate technology, soil analysis, soil conductivity monitoring systems and remote sensing.

Remote sensing is a technology which gathers information about the objects of the earth's surface using sensors that react in their reflectance caused by the electromagnetic radiation. Remote sensing is used to detect the vegetative condition of the plants. Data are collected by ground-based, air-based and satellite-based platforms. In this thesis, imagery which came by sentinel-2 satellite implemented by the European Space Agency for global land observation within the Copernicus Programme, was compared with imagery collected by an unmanned aerial vehicle that was equipped with multispectral camera. Surveys were executed on five different dates and with a difference between the sensing dates of the two platforms ranging from 1 to 4 days. The images were used to compute NDVI maps and the values of the index for fifteen different pixels (points) and four different areas (polygons). The UAV images were not resampled to match the satellite spatial analysis in order to have both technologies their initial standards showing up the discrepancies between their technology.

The results of the comparison depicted similarities on the trend of the NDVI mean values of the two platforms both for the pixels and the areas. Four out of five observations indicated statistical significance for the mean values of the index for the pixels' comparison and only for one out of four areas. Also, the study recorded difference in the range of the NDVI values in areas. The above differences can be explained by the spatial analysis discrepancy between the multispectral sensor of UAV and the satellite sensor. Another finding is the strong correlation which was detected between the NDVI means for both technologies, while from a visual point of view the

multispectral sensor gives access to site specific data of the ground. As a conclusion, both platforms provide important information for the vegetation of the Earth's surface and they are important tools which can be used in a Precision Agriculture System. The choice of the appropriate technology (UAV or satellite) depends on the use and the aim of the data collection as they have different spatial analysis, different cost and different requirements when they are implemented.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γεωργία Ακριβείας

1.1.1 Γενικά για τη Γεωργία Ακριβείας

Η γεωργία πριν την εκτεταμένη χρήση των γεωργικών μηχανημάτων ασκούνταν σε μικρά αγροκτήματα. Αυτό έδινε τη δυνατότητα στον παραγωγό να γνωρίζει τα χωράφια του και τις ιδιαιτερότητες τους και να εφαρμόζει τις κατάλληλες τεχνικές σε κάθε τμήμα τους, ανάλογα με την ανομοιομορφία που διαπίστωνε σε αυτά. Η πλήρης εκμηχάνιση των γεωργικών εργασιών δεν επιτρέπει στους αγρότες να προσαρμόσουν τις καλλιεργητικές φροντίδες στις ιδιαίτερες απαιτήσεις που παρουσιάζει κάθε σημείο των αγροτεμαχίων τους και να ικανοποιήσουν με αυτό τον τρόπο τις πραγματικές ανάγκες των καλλιεργειών τους, αν και γνωρίζουν την ανομοιομορφία που υπάρχει. Έτσι οι αποφάσεις και οι εργασίες τους βασίζονται στους μέσους όρους της παραγωγής που δίνουν τα χωράφια, στις ιδιότητες του εδάφους τους και στις απαιτήσεις της εκάστοτε καλλιέργειας (Γέμτος and Καβαλάρης, 2015).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε την μέτρηση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των παραγόντων που επηρεάζουν μια καλλιέργεια και σχετίζονται με την παραγωγή της, τις απαιτήσεις της και το έδαφος (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Η παραλλακτικότητα είναι το μέτρο της ανομοιομορφίας και των διαφορών που εμφανίζονται στη σύσταση και στη δομή των εδαφών, στη διαχείριση, στις ποικιλίες, στην παραγωγή, στις βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις και στην περιεκτικότητα των εδαφών σε νερό και θρεπτικά στο χώρο και στο χρόνο (Kitchen and Clay, 2018). Η χωρική παραλλακτικότητα είναι αυτή που αφορά τα μετρούμενα χαρακτηριστικά του είδους της καλλιέργειας, του εδάφους και του περιβάλλοντος σε σχέση με την απόσταση και το βάθος, δηλαδή το χώρο. Η χρονική παραλλακτικότητα αφορά την μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του είδους της καλλιέργειας, του εδάφους και του περιβάλλοντος σε σχέση με το χρόνο. Η παραλλακτικότητα μπορεί να αποτυπωθεί στην απόδοση των καλλιεργειών, στη γονιμότητα των εδαφών, στην υγρασία του εδάφους, στη σύσταση του εδάφους, στην ευρωστία των φυτών ή στην πίεση από τα έντομα (Shannon, et al., 2018). Ως Γεωργία Ακριβείας (ΓΑ) μπορούμε να ορίσουμε τη

διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας που παρατηρείται στα χωράφια, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης της καλλιέργειας, την ορθολογικότερη χρήση των πόρων και την μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τις καλλιεργητικές εργασίες. Στηρίζεται στην πληροφορική και σε ηλεκτρονικά συστήματα και βοηθά τον παραγωγό να πάρει τις κατάλληλες αποφάσεις διαχείρισης των αγρών του, επιτυγχάνοντας καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα είτε λόγω αύξησης της απόδοσης των καλλιεργειών του, είτε λόγω μείωσης των εισροών (Theuvsen and Raustian, 2017; Φουντάς και Γέμτος, 2015). Η Γεωργία Ακριβείας διακρίνεται από την παραδοσιακή μορφή καλλιέργειας στο ότι η διαχείριση είναι διαφορετική για κάθε τμήμα των χωραφιών και χρησιμοποιεί τεχνολογία που βελτιώνει την κερδοφορία του παραγωγού, μειώνοντας παράλληλα την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι η ΓΑ δεν αντικαθιστά το σημαντικό ρόλο του παραγωγού στη διαδικασία της λήψης των αποφάσεων που σχετίζονται με τη διαχείριση των χωραφιών. Ο στόχος της είναι να βοηθήσει στη λήψη των καταλληλότερων αποφάσεων διαχείρισης, ώστε να βελτιωθεί η παραγωγικότητα και να προστατευθεί το περιβάλλον (Shannon et al., 2018).

Το πρώτο βήμα για τον έλεγχο της παραλλακτικότητας και συνεπώς την εφαρμογή της ΓΑ, είναι η κατανόηση των βασικών αιτιών που την προκαλούν καθώς και το μέγεθος της. Αν η παραλλακτικότητα είναι μικρή, τότε τα αποτελέσματα της χρήσης της τεχνολογίας στην απόδοση των καλλιεργειών θα είναι επουσιώδη, ενώ αντίθετα αναμένονται θεαματικά αποτελέσματα αν υπάρχει μεγάλη ανομοιομορφία μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγικότητα. Επομένως βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της ΓΑ είναι ο προσδιορισμός της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας και η προσαρμογή των καλλιεργητικών εργασιών σε αυτήν (Kitchen and Clay, 2018).

Κάποιοι αναρωτιούνται γιατί η ΓΑ φαίνεται πολύπλοκη. Αυτό οφείλεται στο ότι πρέπει να δώσει λύσεις σε ένα πολύπλοκο σύστημα, όπως είναι αυτό της διαχείρισης ενός αγρού. Η πολυπλοκότητα του συστήματος οφείλεται στην αλληλεπίδραση των τριών παραγόντων, από την οποία εξαρτάται η απόδοση μιας καλλιέργειας και είναι το Γενετικό Υλικό, το Περιβάλλον και η Διαχείριση (Genetics x Environment x Management ή G x E x M) (Kitchen and Clay, 2018).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2014) τα οφέλη της ΓΑ σχετίζονται με

την αύξηση της παραγωγής, τον εξορθολογισμό των εισροών, τη βελτίωση της διαχείρισης και την αναβάθμιση της ποιότητας των καλλιεργητικών εργασιών (Beluhova-Uzunova and Dunchev, 2019). Πιο αναλυτικά τα οφέλη που προσφέρει η ΓΑ είναι τα εξής (Dwivedi, et al., 2017):

- **Αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών:** Η επιλογή των κατάλληλων ποικιλιών ή υβριδίων, η εφαρμογή των κατάλληλων τύπων και ποσοτήτων λιπασμάτων, η στοχευμένη χρήση των σωστών εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων και στις δόσεις που απαιτούνται, καθώς και η ορθολογική άρδευση, ικανοποιούν τις απαιτήσεις των φυτών για βέλτιστη ανάπτυξη, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης τους.
- **Αύξηση της αποδοτικότητας:** Η χρήση προηγμένων τεχνολογικών μέσων, στα οποία περιλαμβάνονται τα μηχανήματα και τα εργαλεία, βοηθούν τους παραγωγούς να αυξήσουν την αποδοτικότητα της εργασίας τους, των καλλιεργούμενων εκτάσεων και του χρόνου ενασχόλησης τους με τη δουλειά τους.
- **Μείωση του κόστους παραγωγής:** Η εφαρμογή μόνο της απαιτούμενης ποσότητας των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και στον κατάλληλο χρόνο, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της σπατάλης που παρατηρείται όταν η χρήση τους δεν είναι στοχευμένη και βασίζεται αποκλειστικά στον μέσο όρο των απαιτήσεων των καλλιεργειών. Επίσης σε συνδυασμό με την παράλληλη αύξηση της απόδοσης, η ΓΑ οδηγεί σε μείωση του κόστους παραγωγής για κάθε μονάδα του παραγόμενου προϊόντος.
- **Λήψη σωστότερων αποφάσεων για τη διαχείριση της καλλιέργειας:** Τα μηχανήματα και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται παρέχουν στους παραγωγούς ακριβείς πληροφορίες, γεγονός που τους οδηγεί στη λήψη ορθών αποφάσεων σχετικά με την κατεργασία του εδάφους, την σπορά, την εφαρμογή των λιπασμάτων και των αγροχημικών προϊόντων, την άρδευση και τις μετασυλλεκτικές εργασίες.
- **Μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης:** Η εφαρμογή των αγροχημικών προϊόντων στον κατάλληλο χρόνο και με το σωστό τρόπο, έχει ως άμεση συνέπεια την μείωση των υπολειμμάτων τους στο έδαφος και στα υπόγεια ύδατα.
- **Συγκέντρωση γνώσης και αξιοποίηση της κατά τις επόμενες καλλιεργητικές περιόδους:** Κάθε χρόνο συγκεντρώνονται δεδομένα για τα χωράφια και για τη διαχείρισή τους, τα οποία αποθηκεύονται σε ηλεκτρονική μορφή και είναι διαθέσιμα

για μελλοντική χρήση.

Τα προβλήματα που εμποδίζουν την υιοθέτηση της ΓΑ από τους παραγωγούς είναι το κόστος των τεχνολογικών μέσων που απαιτούνται για την εφαρμογή της, ο μικρός κλήρος που κατέχουν οι παραγωγοί σε πολλές περιοχές, η ανομοιομορφία που παρατηρείται στα καλλιεργητικά συστήματα μεταξύ των παραγωγών και των περιοχών και η έλλειψη ικανού αριθμού εξειδικευμένου προσωπικού που θα καθοδηγήσει τους παραγωγούς (Kumar, et al., 2017; Natikar, et al., 2016).

Η υιοθέτηση των πρακτικών της ΓΑ παρουσιάζει αυξητική τάση στις αναπτυγμένες χώρες του πλανήτη, με την μεγαλύτερη αποδοχή να παρατηρείται στις ΗΠΑ, ενώ ακολουθούν η Αυστραλία, ο Καναδάς και κάποιες από τις χώρες της Ευρώπης. Η ίδια τάση αποδοχής καταγράφεται την τελευταία δεκαετία και στις αναπτυσσόμενες χώρες, με κύριους εκφραστές την Αργεντινή, τη Βραζιλία, τη Νότια Αφρική και την Τουρκία (Say, et al., 2017).

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από τη ΓΑ μπορεί να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για να τεκμηριωθεί η συμμόρφωση των καλλιεργητικών τεχνικών των παραγωγών με τη σχετική για αυτούς νομοθεσία και τους κανόνες της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ). Άλλωστε η φιλοσοφία της ΓΑ συμβαδίζει με αυτήν της ΚΑΠ και βασίζεται στις ίδιες αρχές, όπως είναι η σωστή πληροφόρηση (έδαφος, προηγούμενη καλλιέργεια, προηγούμενη διαχείριση κ.α.), η σωστή παρατήρηση, η σωστή ανάλυση, η χρήση του κατάλληλου γενότυπου, η χρήση της κατάλληλης δόσης φυτοπροστατευτικών προϊόντων, η χρήση του κατάλληλου χημικού ή βιολογικού φυτοφάρμακου, η εφαρμογή στον κατάλληλο χρόνο και χώρο, η χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού και η αξιοποίηση των περιβαλλοντικών συνθηκών (De Baerdemaeker and Saeys, 2016).

1.1.2 Ζώνες διαχείρισης

Η βάση εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας είναι η δημιουργία ζωνών διαχείρισης στα αγροτεμάχια. Η ζωνοποίηση του αγρού επιτυγχάνεται με την αξιοποίηση πληροφοριών που συλλέγονται από διάφορα μέσα, όπως είναι οι χάρτες παραγωγής, οι εδαφολογικές αναλύσεις, οι εικόνες που λαμβάνονται από αεροπλάνα ή από μη επανδρωμένα αεροχήματα (UAVs ή αλλιώς drones) και από μηχανήματα που χαρτογραφούν τις ιδιότητες του αγρού με άμεσο τρόπο (El Nahry, et al., 2011; Φουντάς

και Γέμτος, 2015). Με αυτήν τη διαδικασία επιχειρείται ο προσδιορισμός της παραλλακτικότητας των αγροτεμαχίων, η χαρτογράφηση τους και ο χαρακτηρισμός τους, προκειμένου να επιτευχθεί η καταλληλότερη για αυτά διαχείριση (Webber, et al., 2019). Οι κυριότεροι παράγοντες στους οποίους βασίζεται η ανάπτυξη των ζωνών διαχείρισης είναι οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί για το αγροτεμάχιο, η διαδικασία αξιοποίησης των πληροφοριών αυτών και ο αριθμός των ζωνών που θα χωριστεί το χωράφι (El Nahry, et al., 2011). Οι ζώνες διαχείρισης θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από σταθερότητα στο χρόνο, ευκολία στην οριοθέτηση, συσχέτιση με την παραγωγή και χαμηλό κόστος δημιουργίας, ενώ ο αριθμός τους εξαρτάται από το μέγεθος και την παραλλακτικότητα του αγροτεμαχίου και τη δυνατότητα διαφοροποίησης των εισροών από την πλευρά του παραγωγού (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Ο στόχος της ζωνοποίησης είναι η εφαρμογή των μεταβλητών δόσεων κατά τις καλλιεργητικές επεμβάσεις. Οι εργασίες που μπορεί να γίνουν με μεταβαλλόμενες δόσεις είναι η λίπανση, οι ψεκασμοί με τα φυτοφάρμακα, η σπορά, και η άρδευση (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Επί παραδείγματι, στην περίπτωση που θέλει κάποιος να εφαρμόσει ζωνική λίπανση, μπορεί να συνδυάσει πληροφορίες από ελεύθερες δορυφορικές εικόνες, υπάρχοντες γεωλογικούς χάρτες, εικόνες που απεικονίζουν την αντανάκλαση της επιφάνειας του εδάφους και συλλέγονται με τηλεπισκόπηση ή άλλες διαθέσιμες πληροφορίες και να δημιουργήσει τις ζώνες διαχείρισης. Έπειτα θα πρέπει να γίνουν εδαφολογικές αναλύσεις για κάθε ζώνη, με σκοπό να διαγνωσθούν τα επίπεδα των θρεπτικών, ώστε ακολούθως να εκπονηθεί το πλάνο λίπανσης κάθε ζώνης το οποίο θα μεταβάλλει την ποσότητα του λιπάσματος που θα εφαρμόζεται σε κάθε μια από αυτές (Webber, et al., 2019).

Η τμηματοποίηση των χωραφιών και η διαχείριση των τμημάτων με διαφορετικό τρόπο δεν είναι κάτι καινούριο. Αυτό συμβαίνει από το ξεκίνημα της Γεωργίας και έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές στρατηγικές. Για παράδειγμα οι ιθαγενείς της Βόρειας Αμερικής έσπερναν φασόλια και κολοκύθια ανάμεσα στα φυτά του καλαμποκιού, προκειμένου να περιορίσουν τις εντομολογικές προσβολές ή την έλλειψη αζώτου, ενώ χρησιμοποιούσαν την αμειψισπορά για να αυξήσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών τους. Η εκμηχάνιση της γεωργίας που συντελέστηκε κατά τον 20ο αιώνα οδήγησε στην αύξηση του μεγέθους των καλλιεργούμενων εκτάσεων και στην αύξηση της παραγωγικότητας, με αποτέλεσμα να υπερκαλυφθούν τα οφέλη της κατά τμήμα

διαχείρισης των χωραφιών, που εν πολλοίς βασιζόταν στη χειρωνακτική εργασία. Στις μέρες μας η ανάπτυξη της τεχνολογίας επιτρέπει στους παραγωγούς να μετράνε, να αναλύουν και να διαχειρίζονται την παραλλακτικότητα των αγρών τους (Shannon, et al., 2018). Η διαχείριση της παραλλακτικότητας με σκοπό την αύξηση της κερδοφορίας του παραγωγού και της διατήρησης του περιβάλλοντος αποτελεί τη βάση της Γεωργίας Ακριβείας. Ο τρόπος και η ένταση της εφαρμογής της, δηλαδή αν αυτή θα βασίζεται σε τμηματοποίηση του αγρού, ο ορισμός της τμηματοποίησης και του μεγέθους των τμημάτων, εξαρτάται από τις ικανότητες και τις γνώσεις του διαχειριστή, την παραλλακτικότητα του αγρού, το κόστος των καλλιεργητικών τεχνικών που μπορεί να χρησιμοποιηθούν και τα προσδοκώμενα αποτελέσματα σχετικά με την απόδοση της καλλιέργειας και το εισόδημα του παραγωγού (Kitchen and Clay, 2018). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται μια νέα μορφή ταξινόμησης δεδομένων, η ανάλυση κατά συστάδες (cluster analysis), η οποία τα ομαδοποιεί σε δύο ή περισσότερες κλάσεις (ζώνες διαχείρισης) με βάση τους συνδυασμούς κάποιων μεταβλητών. Σκοπός είναι η μείωση της διάστασης των δεδομένων και στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της παραλλακτικότητας εντός της κλάσης και η μεγιστοποίηση της παραλλακτικότητας μεταξύ των κλάσεων (Φουντάς και Γέμτος, 2015).

1.1.3 Η διαδικασία της Γεωργίας Ακριβείας

Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κυκλικό σύστημα. Η εφαρμογή της μπορεί να χωριστεί σε στάδια, ήτοι η συλλογή των δεδομένων, η ανάλυση των δεδομένων, η λήψη των αποφάσεων διαχείρισης και τέλος η αξιολόγηση των αποφάσεων. Η διαδικασία αυτή θα επαναληφθεί και κάθε χρόνο οι νέες πληροφορίες που συλλέγονται αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων που υπάρχει, ώστε να αξιοποιηθούν τα επόμενα χρόνια. Όλα τα αποθηκευμένα χωρικά και χρονικά δεδομένα αξιοποιούνται για τη δημιουργία αλγορίθμων, τα οποία θα δημιουργήσουν τις εφαρμογές που χρησιμοποιεί η ΓΑ για την εκτίμηση, για την μελέτη και για την αντιμετώπιση της παραλλακτικότητας (Zude-Sasse, et al., 2016). Η ΓΑ περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνολογιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των δεδομένων στην απαιτούμενη ποσότητα και στον κατάλληλο χρόνο, για την ερμηνεία και την ανάλυση τους και την εφαρμογή των κατάλληλων τεχνικών στο σωστό τόπο και χρόνο (Dwivedi, et al., 2017).

Η συλλογή των δεδομένων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης, η οποία έχει την ικανότητα να παρέχει πληροφορίες για το έδαφος ενός αγρού, το περιβάλλον που βρίσκεται, καθώς και τις καλλιεργητικές πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί. Αυτές οι πληροφορίες, που μπορεί να αφορούν την τοπογραφία, την κλίση, τα αποστραγγιστικά συστήματα, τα όρια, τη χλωρίδα ή άλλα χαρακτηριστικά ενός χωραφιού, εισάγονται σε σύστημα GIS, προκειμένου να επιτευχθεί η χαρτογράφηση και η μελέτη της παραλλακτικότητας του. Επίσης εκτός των δεδομένων της τηλεπισκόπησης, στο GIS εισάγονται πληροφορίες που συγκεντρώνονται με τη βοήθεια εδαφολογικών αναλύσεων και αφορούν μετρήσεις των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως η περιεκτικότητα του σε νερό, η δομή και η σύσταση του, τα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων, το pH, η αλατότητα, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία κ.α. Ακόμα τα συστήματα χαρτογράφησης αξιοποιούν πληροφορίες που σχετίζονται με την απόδοση του χωραφιού και τις προσβολές από τους εχθρούς και τις ασθένειες. Η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων περιλαμβάνει διόρθωση και ταξινόμηση των ψηφιακών εικόνων που συλλέχθηκαν από τους δορυφόρους. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να εξαχθούν συμπεράσματα για εντομολογικές προσβολές, για τον τύπο του εδάφους, για τον τύπο της βλάστησης και για τις καταπονήσεις των φυτών (Adekunle, 2013).

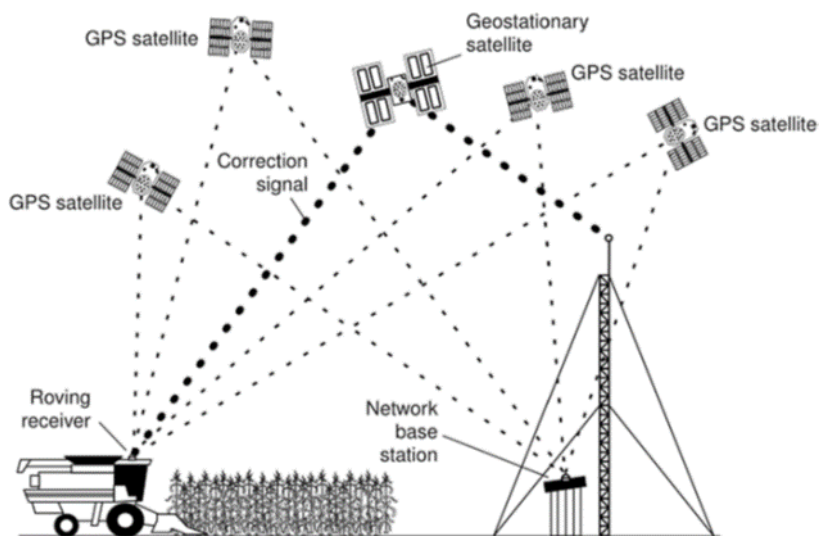
1.1.4 Οι τεχνολογίες της Γεωργίας Ακρίβειας

Η ΓΑ χρησιμοποιεί τεχνολογίες και εργαλεία που συλλέγουν πληροφορίες καταγράφοντας με ακρίβεια την υπάρχουσα κατάσταση του αγροτεμαχίου. Στη συνέχεια ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων και τελικά η εφαρμογή των εισροών, καλύπτοντας χωρικά και χρονικά τις ανάγκες κάθε σημείου του χωραφιού ανάλογα με την παραλλακτικότητά του. Στα μέσα που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνονται μηχανολογικός εξοπλισμός, λογισμικά και καλλιεργητικές τεχνικές (Singh, 2001). Οι τεχνολογίες και τα εργαλεία που αξιοποιούνται είναι τα Παγκόσμια Συστήματα Καθορισμού/Εντοπισμού Θέσης (GPS), τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), τα συστήματα χαρτογράφησης της απόδοσης (Yield Monitoring System), τα συστήματα μεταβλητών δόσεων (VRA ή VRT), οι εδαφολογικές αναλύσεις, τα συστήματα χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και η τηλεπισκόπηση (Kumar, et al., 2017; Natikar, et al., 2016; Reddy, 2017; Singh,

2001; Strickland, et al., 1999; Φουντάς και Γέμος, 2015). Επίσης πολύ σημαντικός θεωρείται ο ρόλος του παραγωγού στην εφαρμογή της ΓΑ, γεγονός που τον καθιστά αναπόσπαστο μέρος της. Συνεπώς η συνεχής εκπαίδευση του πάνω στις τεχνολογίες και η αδιάλειπτη ενημέρωση του για τις εξελίξεις, συνιστούν απαραίτητα συστατικά για την επιτυχία της. Παράλληλα πριν την επιλογή του προγράμματος της ΓΑ που θα του προταθεί, θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη η οικονομική και κοινωνική του κατάσταση (Kumar, et al., 2017; Natikar, et al., 2016).

Παγκόσμια Συστήματα Καθορισμού/Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS): Η ΓΑ σε όλες τις φάσεις της εφαρμογής της απαιτεί πληροφορίες θέσης. Το GPS είναι ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης και καθοδήγησης που βασίζεται σε δορυφόρους, οι οποίοι βοηθούν το χρήστη να καταγράψει πληροφορίες σχετικά με τη θέση (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, υψόμετρο) και με ακρίβεια 100 με 0,01 μέτρων. Είναι πολύ χρήσιμο για την ανάγνωση της χωρικής παραλλακτικότητας ενός αγροτεμαχίου, αφού επιτρέπει στον παραγωγό να εντοπίσει την ακριβή θέση των χαρακτηριστικών του, που σχετίζονται με τα όρια του, με τον τύπο του εδάφους, με την παρουσία εντόμων, με την ύπαρξη ζιζανίων, με λιμνάζοντα ύδατα κ.α. Αποτελείται από τρία τμήματα. Το πρώτο απαρτίζεται από 24 δορυφόρους που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη, σε απόσταση 20.200 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της και παρέχουν σήμα με 24ωρη κάλυψη. Οι δορυφόροι κινούνται σε κάθε μια από τις 6 τροχιές που υπάρχουν και ολοκληρώνουν μια τροχιά περίπου στις 12 ώρες. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει έναν κώδικα, ο οποίος αναφέρει ακριβώς τη θέση του δορυφόρου όταν αυτός στάλθηκε και την αντίστοιχη ώρα. Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από κέντρα ελέγχου στο έδαφος, που υπολογίζουν την τροχιά κάθε δορυφόρου και ενημερώνουν τα συστήματα πλοήγησης. Το τρίτο μέρος είναι ο δέκτης του σήματος που συνήθως βλέπει από τρεις έως οκτώ δορυφόρους κάθε στιγμή, προσδιορίζει τις θέσεις τους και μετά υπολογίζει την απόστασή τους από το δέκτη βασιζόμενος στη διαφορά χρόνου μεταξύ της μετάδοσης και της λήψης του σήματος. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου με πίνακα φωνητικής ή οπτικής καθοδήγησης, μια κεραία και ένα δέκτη GPS ή DGPS (Εικ. 1). Το DGPS (Differential Global Positioning System) είναι ένας τύπος GPS που διορθώνει το σφάλμα που υπάρχει, χρησιμοποιώντας σήμα που προέρχεται από επίγειους δέκτες. Επίσης υπάρχει μια συσκευή αποθήκευσης των πληροφοριών (π.χ. φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής) και ένα λογισμικό

επεξεργασίας των δεδομένων, με σκοπό τη δημιουργία και την απεικόνιση χαρτών. Το σύστημα επιτρέπει στον παραγωγό να προσδιορίσει μέσα σε ένα αγροτεμάχιο τοποθεσίες με συγκεκριμένες ανάγκες και να κατευθύνει ανάλογα τις εισροές. Με το GPS μπορεί να δημιουργήσει το περίγραμμα του αγρού οδηγώντας γύρω από αυτόν, να σημειώσει τις θέσεις όπου υπάρχουν ζιζάνια, να καταγράψει τις θέσεις από όπου λαμβάνονται δείγματα εδάφους για ανάλυση και συνεπώς να δημιουργήσει έναν εδαφολογικό χάρτη του αγρού. Επίσης μπορεί να καταγράψει την παραγωγή σε κάθε σημείο χρησιμοποιώντας παράλληλα ειδικούς αισθητήρες και άρα να χαρτογραφήσει την παραγωγή και να βοηθήσει στην πλοήγηση των μηχανημάτων κατά τις καλλιεργητικές εργασίες, ώστε να μην υπάρχουν κενά ή επικαλύψεις κατά την εκτέλεση τους. Ακόμα επιτρέπει την εκτέλεση εργασιών με μεγάλη ακρίβεια κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν αυτό είναι αναγκαίο και όταν επικρατούν αντίξοες καιρικές συνθήκες (βροχή, ισχυρός άνεμος, σκόνη κ.α.) (Ahmad and Mahdi, 2018; Kumar, et al., 2017; Natikar, et al., 2016; Strickland, et al., 1999; Φουντάς και Γέμτος, 2015).



Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση ενός DGPS (Ahmad and Mahdi, 2018)

Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information System, GIS): Η Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας ασχολείται με τη συλλογή, την επεξεργασία, την ανάλυση, την ερμηνεία και την παρουσίαση γεωχωρικών δεδομένων με σκοπό τη συστηματοποίηση της κατανόησης και αναπαράστασης του γεωγραφικού χώρου. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι λογισμικά που αποτελούν την τεχνολογική έκφραση αυτής της επιστήμης (Κάβουρας, κ.α., 2015). Η ΓΑ βασίζεται σε πληροφορίες που αφορούν τη χωρική και χρονική παραλλακτικότητα και τα Γεωγραφικά Συστήματα

Πληροφοριών (ΓΣΠ) αποτελούν απαραίτητο εργαλείο για την αξιοποίηση των πληροφοριών αυτών (Kumar, et al., 2017). Τα GIS θεωρούνται ως σύνολα υλικού, λογισμικού και λειτουργιών, τα οποία με την κατάλληλη χρήση εκμεταλλεύονται τη δυνατότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών για συλλογή, ανάλυση, διαχείριση, μοντελοποίηση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων. Με άλλα λόγια, σκοπός τους είναι η δημιουργία και η επεξεργασία μιας βάσης δεδομένων, τα οποία είναι προσανατολισμένα κατά χώρο ή γεωγραφικά. Τα GIS συμβάλλουν αποφασιστικά στη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με την επίλυση προβλημάτων σχεδιασμού και διαχείρισης. Μπορεί να θεωρηθούν ως συστήματα εξομοίωσης του πραγματικού χώρου (Χαλκιάς, 2011). Τα δεδομένα οργανώνονται σε επίπεδα πληροφοριών, καθένα από τα οποία περιέχει διαφορετικό είδος πληροφορίας. Τα επίπεδα αυτά μοιάζουν με διαφανείς σελίδες, που τοποθετείται η μια πάνω από την άλλη, με τέτοιον τρόπο ώστε τα χαρακτηριστικά των πληροφοριών να είναι εμφανή (Εικ. 2). Τα GIS αποτελούνται από τρία τμήματα, με το πρώτο να αφορά στη γεωγραφική παρουσίαση των δεδομένων υπό μορφή χαρτών, και συνεπώς στη γεωγραφική διαχείριση, στην αναζήτηση και στην ανάλυση. Το δεύτερο τμήμα αφορά στη βάση δεδομένων, η οποία έχει την μορφή πίνακα και περιέχει την περιγραφική πληροφορία του κάθε γεωγραφικού αντικειμένου, ενώ το τρίτο τμήμα αφορά στη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται (Ευελπίδου και Αντωνίου, 2015). Βασική λειτουργία ενός GIS που χρησιμοποιείται στη ΓΑ είναι η αποθήκευση πληροφοριών σε επίπεδα, οι οποίες σχετίζονται με την παραγωγή, τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους, το υψόμετρο, την κλίση, το είδος της καλλιέργειών, την παρουσία εχθρών ή παθογόνων κ.α. Τα δεδομένα εμφανίζονται στον πίνακα του GIS δίνοντας τη δυνατότητα για οπτική ερμηνεία και ανάλυση. Παράλληλα το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση υφιστάμενων ή εναλλακτικών γεωργικών πρακτικών ή τη δημιουργία και ανάλυση προγραμμάτων διαχείρισης του αγρού (Reddy, 2017; Shannon, et al., 2018). Συνεπώς είναι ένα σύστημα διαχείρισης πληροφοριών που σχετίζονται με το χωράφι, ένα εργαλείο καθοδήγησης καλλιεργητικών εργασιών και μια τράπεζα πληροφοριών για λήψη και εφαρμογή αποφάσεων (Bill, et al., 2012).

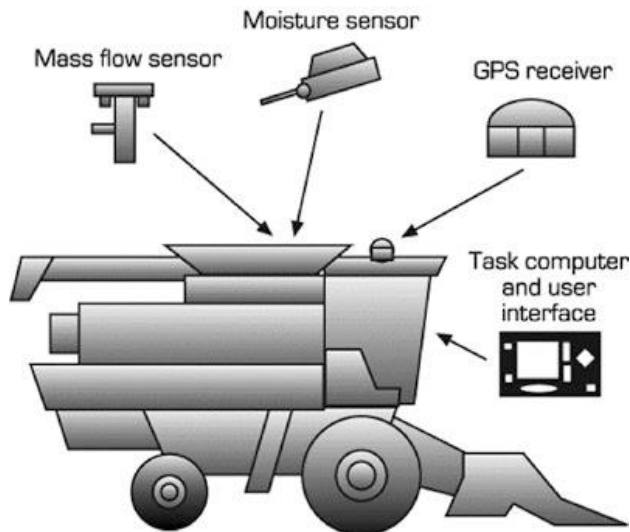


Εικόνα 2: Σύστημα GIS. Απεικονίζει και αναλύει δεδομένα σε επίπεδα στον ίδιο αγρό. Κάθε επίπεδο μπορεί να περιέχει πληροφορίες που αφορούν ένα από τα επόμενα (Χαλκιάς, 2011)

Συστήματα χαρτογράφησης απόδοσης (Yield Monitoring System) ή χαρτογράφηση παραγωγής (Production Mapping): Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τον υπολογισμό της

απόδοσης και παράλληλα προσδιορίζουν το σημείο του χωραφιού από όπου προήλθε η συγκομισθείσα ποσότητα (Fulton, et al., 2018). Η δημιουργία του χάρτη παραγωγής ενός αγρού αποτελεί τη βάση για την κατανόηση της παραλλακτικότητας της απόδοσης των καλλιεργούμενων φυτών, για τον εντοπισμό και την ανάλυση των παραγόντων που οδηγούν σε αυτήν την παραλλακτικότητα και για τη βελτίωση της διαχείρισης με σκοπό την αύξηση της κερδοφορίας (Zhang, et al., 2007). Το χωράφι διαιρείται σε ζώνες, καταγράφονται οι συντεταγμένες τους και μετριέται η παραγωγή για κάθε μία από αυτές, ενώ τα δεδομένα αποθηκεύονται σε αρχείο. Σκοπός της διαδικασίας είναι η δημιουργία ενός χάρτη παραγωγής, όπου απεικονίζεται η απόδοση κάθε ζώνης (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Η χαρτογράφηση αυτή επιτρέπει στον παραγωγό να αποτιμήσει τη διακύμανση της απόδοσης που παρατηρείται μέσα σε ένα χωράφι. Τα συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής αποτελούνται από διάφορα μέρη όπως είναι οι αισθητήρες, η συσκευή αποθήκευσης δεδομένων, το χειριστήριο και ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής που ελέγχει τη λειτουργία και τη σύνδεση των τμημάτων (Εικ. 3). Οι αισθητήρες μετρούν τη ροή του συγκομισθέντος προϊόντος, δηλαδή την μάζα ή τον όγκο του, την υγρασία του προϊόντος, καθώς και την επιφάνεια συγκομιδής (μετρώντας την ταχύτητα και το πλάτος της μηχανής συγκομιδής). Οι μετρήσεις των αισθητήρων αποθηκεύονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ώστε να διατίθενται για περαιτέρω επεξεργασία (Ahmad and Mahdi, 2018). Η σωστή χρήση των συστημάτων καταγραφής της απόδοσης δίνει τη δυνατότητα να αξιολογηθούν οι καλλιεργητικές εργασίες που έγιναν, όπως η σπορά, η καλλιέργεια του εδάφους, η λίπανση, η φυτοπροστασία και η άρδευση. Όμως κατά την εξαγωγή των συμπερασμάτων και δεδομένου ότι η απόδοση

μιας καλλιέργειας (Εικ. 4) επηρεάζεται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη δεδομένα που συλλέχθηκαν στη διάρκεια κάποιων ετών, συμπεριλαμβανομένων και περιόδων με ακραία καιρικά φαινόμενα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αποσαφηνιστεί αν οι μετρήσεις που καταγράφονται, οφείλονται στη διαχείριση ή στην επίδραση του καιρού (Shannon, et al., 2018)



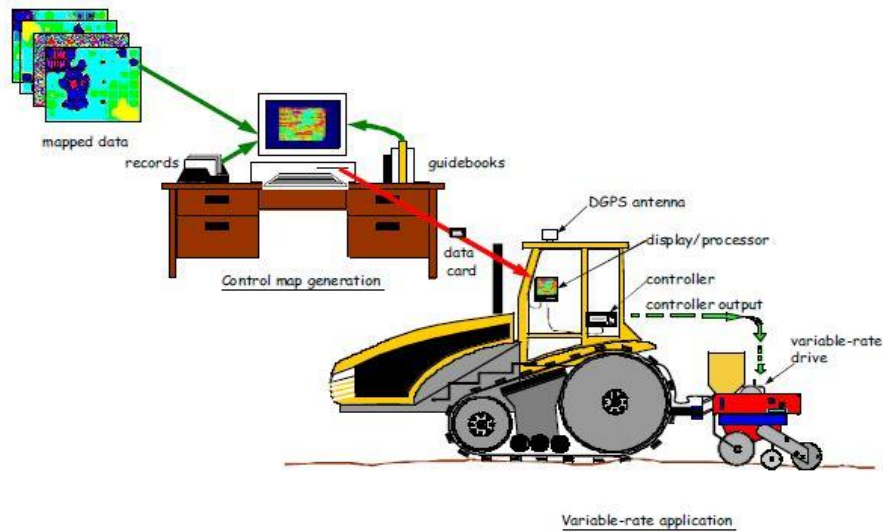
Εικόνα 3: Τμήματα ενός συστήματος χαρτογράφησης απόδοσης σπόρου (Reddy, 2017)



Εικόνα 4: Οθόνη απεικόνισης δεδομένων σε σύστημα χαρτογράφησης απόδοσης (Ahmad and Mahdi, 2018)

Συστήματα μεταβλητών δόσεων (Variate Rate Application ή Variable Rate Technology, VRA ή VRT): Η τεχνολογία μεταβλητών δόσεων αποτελεί βασικό εργαλείο της ΓΑ, το οποίο αξιοποιείται στη σπορά, στη λίπανση, στην άρδευση και στους ψεκασμούς, μειώνοντας το κόστος παραγωγής και την περιβαλλοντική επιβάρυνση από τις καλλιεργητικές εργασίες (Beluhova-Uzunova and Dunchev, 2019; Deng, 2017). Η γνώση της παραλλακτικότητας ενός αγρού επιτρέπει την εφαρμογή διαφορετικών

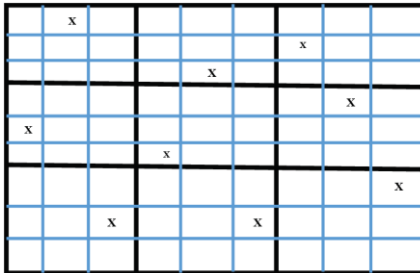
καλλιεργητικών εργασιών στα διάφορα σημεία του (Γέμτος και Καβαλάρης, 2015). Τα συστήματα μεταβλητών δόσεων τοποθετούνται στα αγροτικά μηχανήματα και μπορούν να αλλάζουν την ποσότητα των εισροών (π.χ. σπόρο, λίπασμα, νερό, φυτοφάρμακα) και το είδος τους (π.χ. τύπος λιπάσματος) στα διάφορα σημεία του χωραφιού και να τις προσαρμόζουν στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε σημείου (Ahmad and Mahdi, 2018; Balafoutis, et al., 2017). Υπάρχουν δύο τεχνολογίες εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις, με την πρώτη να βασίζεται στη χρήση χαρτών (map based) (Εικ. 5) και τη δεύτερη στη χρήση αισθητήρων (sensor based). Στην πρώτη περίπτωση η δόση της εισροής προσαρμόζεται στις πληροφορίες που λαμβάνονται από έναν ηλεκτρονικό χάρτη, ο οποίος ονομάζεται χάρτης εφαρμογής και περιλαμβάνει παλαιότερες μετρήσεις σχετικά με τον τύπο του εδάφους, τη σύσταση του εδάφους, την τοπογραφία του χωραφιού, την παραγωγή κ.α. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την πληροφορία για τη θέση που βρίσκεται το αγροτικό μηχάνημα στο χωράφι, την οποία λαμβάνει μέσω ενός δέκτη GPS και τη συνδυάζει με το χάρτη που περιέχει την επιθυμητή δόση εισροών για κάθε σημείο, με αποτέλεσμα να αλλάζει η ποσότητα των εισροών καθώς το αγροτικό μηχάνημα κινείται μέσα στο χωράφι. Η δεύτερη μέθοδος δεν χρησιμοποιεί GPS ή χάρτη, αλλά οι αισθητήρες μετρούν τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ή τις ιδιότητες του εδάφους κατά την κίνηση του αγροτικού μηχανήματος. Το σύστημα ελέγχου βασίζεται στη συνεχή ροή των πληροφοριών από τους αισθητήρες και μεταβάλλει τις εισροές ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας ή του εδάφους. Επειδή οι δύο μέθοδοι έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και περιορισμούς, έχουν αναπτυχθεί συστήματα που αξιοποιούν και τις δύο μεθόδους (Ahmad and Mahdi, 2018; Ess, et al., 2001; Grisso, et al., 2011; Radoglou-Grammatikis, et al., 2020; Φουντάς και Γέμτος, 2015).



Εικόνα 5: Απεικόνιση ενός συστήματος μεταβλητών δόσεων, που βασίζεται στη χρήση χάρτη (Ess, et al., 2001)

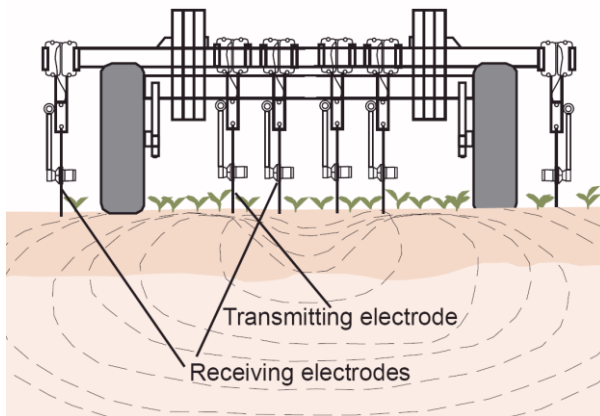
Εδαφολογικές αναλύσεις: Τα περισσότερα χωράφια χαρακτηρίζονται από ανομοιομορφία στην εδαφική σύσταση και στην περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία. Η δειγματοληψία και ανάλυση του εδάφους είναι ο μοναδικός τρόπος να καταγραφούν οι διαφορές και να προσαρμοστεί ανάλογα η λίπανση. Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι δειγματοληψίας, ήτοι η δειγματοληψία πλέγματος και η δειγματοληψία με βάση τον τύπο εδάφους. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, όπως η τυχαία δειγματοληψία, η τυχαία κατά συστάδες, η συστηματική, η δειγματοληψία με εναλλαγή διάταξης (ή τριγωνική ή ρόμβου) και η δειγματοληψία συστηματικού μη ευθυγραμμισμένου πλέγματος (Εικ. 6), με την τελευταία να χρησιμοποιείται περισσότερο στις μέρες μας, ιδιαίτερα όταν πρόκειται να εφαρμοστεί στη ΓΑ. Στη δειγματοληψία συστηματικού μη ευθυγραμμισμένου πλέγματος το χωράφι χωρίζεται σε τετράγωνα ή ορθογώνια, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ένα πλέγμα. Στη δειγματοληψία με βάση τον τύπο εδάφους το χωράφι χωρίζεται σε ζώνες διαχείρισης με κριτήρια τον τύπο εδάφους, την τοπογραφία ή την παραγωγικότητα. Όποια μέθοδος κι αν χρησιμοποιηθεί, είναι απαραίτητο να ληφθούν πέντε ή έξι δείγματα εδάφους από κάθε τετράγωνο ή κάθε ζώνη και αυτά να αναμιχθούν ώστε να προκύψει ένα για κάθε κελί ή ζώνη, το οποίο θα σταλεί για ανάλυση. Θα πρέπει να εξασφαλιστεί η ομοιομορφία της δειγματοληψίας και η κάλυψη όλης της εξεταζόμενης περιοχής. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων οδηγούν στη δημιουργία εδαφολογικών χαρτών. Η συλλογή εδαφολογικών δεδομένων και η δημιουργία εδαφολογικών χαρτών είναι μια

χρονοβόρα και ακριβή διαδικασία, η οποία όμως παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για το πρόγραμμα λίπανσης που πρέπει να εφαρμοστεί και για τις ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων που ενδέχεται να υπάρχουν και μειώνουν την απόδοση κάποιων καλλιεργειών (Ahmad and Mahdi, 2018; Franzen, 2018; Radoglou-Grammatikis, et al., 2020).

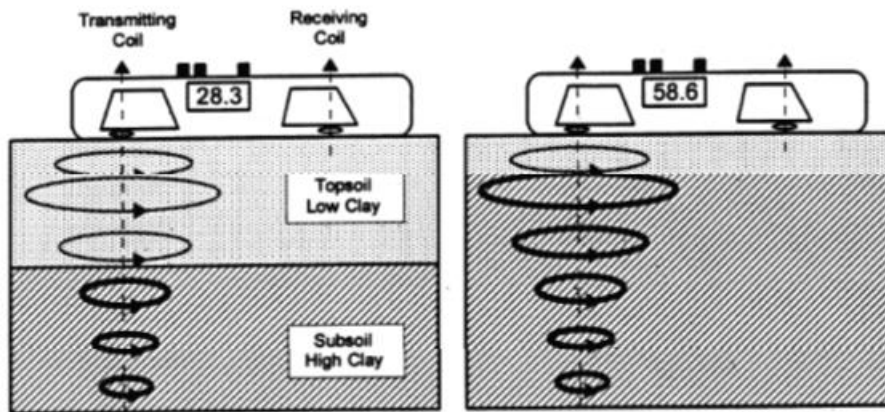


Εικόνα 6: Σχέδιο δειγματοληψίας συστηματικού μη ευθυγραμμισμένου πλέγματος (Franzen, 2018)

Συστήματα χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους: Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (EC) περιγράφει την ικανότητα του να μεταφέρει ένα ηλεκτρικό φορτίο (Wiatrak, et al., 2009). Η μέτρηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (ECa) θεωρείται η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο για την μελέτη της παραλλακτικότητας του, εξαιτίας της ευκολίας της, του χαμηλού κόστους εφαρμογής της και της αξιοπιστίας της (Corwin and Lesch, 2003; Φουντάς και Γέμτος, 2015). Στην ΓΑ η εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ομοιόμορφων ζωνών διαχείρισης. Αυτή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του εδάφους, η μηχανική σύσταση του, η συμπίεση του, η περιεκτικότητα του σε νερό, η αλατότητα του και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους γίνεται με δύο τρόπους, ήτοι με επαφή (Εικ. 7) και με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (Εικ. 8). Όταν χρησιμοποιείται ο πρώτος τρόπος, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο από ηλεκτρόδια που βρίσκονται στο γεωργικό ελκυστήρα, ενώ άλλα ηλεκτρόδια μετρούν την πτώση τάσης που προκύπτει ανάλογα με την αντίσταση του εδάφους. Με το δεύτερο τρόπο, ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες μετρούν την επίδραση του εδάφους σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, η οποία είναι ανάλογη της ικανότητας του να μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα (Grisso, et al., 2009; Franzen, 2018; Radoglou-Grammatikis et al., 2020).



Εικόνα 7: Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με επαφή (Grisso, et al., 2011)



Εικόνα 8: Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με ηλεκτρική επαγωγή (Grisso et al., 2011)

Τηλεπισκόπηση: Είναι η επιστήμη που προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης και εκτιμά τις γεωφυσικές ιδιότητες τους με τη βοήθεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Reddy, 2018). Στη ΓΑ αξιοποιεί ένα σύνολο τεχνολογιών που συλλέγουν πληροφορίες για τον αγρό χωρίς να βρίσκονται σε επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης (έδαφος ή φυτό), χρησιμοποιώντας την ανάκλαση του φωτός ή την εκπομπή του φωτός από το έδαφος ή τα φυτά (Zude-Sasse, et al., 2016). Οι πιο διαδεδομένες από αυτές τις τεχνολογίες αφορούν στη συγκέντρωση και στην επεξεργασία εικόνων που προέρχονται από δορυφόρους ή συστήματα μη επανδρωμένων αεροχημάτων (ΣμηΕΑ ή drones). Η ανακλώμενη ακτινοβολία από τα φυτά χρησιμοποιείται στη ΓΑ για να υπολογιστούν οι δείκτες βλάστησης, από τους οποίους βγαίνουν συμπεράσματα για διάφορα χαρακτηριστικά των φυτών, όπως η περιεκτικότητα των ιστών τους σε νερό, η θρεπτική τους κατάσταση κ.α. (Radoglou-Grammatikis, et al., 2020; Zude-Sasse, et al., 2016). Διαμορφώνονται από την

αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη φωτοσύνθεση των φυτών, με συνέπεια να δίνουν την εικόνα των βιοφυσικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με την υγεία των φυτών (Nagamani and Nethaji Mariappan, 2017). Οι δείκτες βλάστησης αξιοποιούν τη διαφορά της ανάκλασης φυτικών μερών σε δύο ή περισσότερες φασματικές περιοχές, εξαιτίας μιας φυσιολογικής κατάστασης στην οποία βρίσκονται και αυτό περιγράφεται με μια μαθηματική σχέση. Από τους 150 δείκτες βλάστησης που υπάρχουν, ο πιο δημοφιλής είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI), ο οποίος χρησιμοποιεί τη διαφορά της ανάκλασης του ερυθρού (R) και του κοντινού υπέρυθρου (NIR), μέσω της σχέσης $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. Ο δείκτης NDVI περιγράφει την ευρωστία των φυτών και παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με την απόδοση των καλλιεργειών και κάποιες φορές με την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων (Ferguson and Rundquist, 2018). Απεικονίζει την ύπαρξη ζωντανής πράσινης βλάστησης στο αντικείμενο παρατήρησης και παίρνει τιμές από 0 έως +1 (Balafoutis, et al., 2017).

1.2 Τηλεπισκόπηση στη Γεωργία Ακριβείας

1.2.1 Τι είναι η τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να οριστεί ως η επιστήμη, με την οποία γίνεται εφικτή η απόκτηση πληροφοριών για ένα αντικείμενο χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή με αυτό. Επιτρέπει την παρατήρηση των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από το διάστημα και από εκεί και πέρα υπάρχουν πολλές τεχνικές για την εξαγωγή πληροφοριών που θα αξιοποιηθούν στη γεωργία, στη δασολογία, στην υδρολογία ή αλλού (Reddy, 2018). Είναι μια σύγχρονη τεχνολογία, με την οποία λαμβάνονται πληροφορίες για ένα στόχο, προερχόμενες από την επεξεργασία δεδομένων σχετικών με το στόχο και τα οποία συλλέχθηκαν από απόσταση. Διαφέρει από την επιτόπια παρατήρηση ή μέτρηση στο ότι το όργανο που χρησιμοποιείται δεν εφάπτεται στο υπό εξέταση αντικείμενο ή δε βρίσκεται εντός αυτού (Παρχαρίδης, 2015). Η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης γίνεται ολοένα και πιο σημαντική για την μέτρηση και τη χαρτογράφηση της επιφάνειας της γης, διότι εκτός των άλλων, δίνει τη δυνατότητα της γρήγορης και επανειλημμένης απεικόνισης μεγάλων εκτάσεων. Οι εικόνες που προέρχονται από την εφαρμογή της παρέχουν μια αντικειμενική και μόνιμη βάση δεδομένων, η οποία αξιοποιείται από ένα μεγάλο εύρος χρηστών της γης (Ravelo and Abril, 2010). Η τηλεπισκόπηση διακρίνεται από τρία μέρη, τα οποία είναι (Παρχαρίδης,

2015):

- Ο στόχος, που μπορεί να είναι αντικείμενο ή φαινόμενο σε μια περιοχή.
- Η συλλογή δεδομένων, που πραγματοποιείται με τη βοήθεια των κατάλληλων τεχνολογικών μέσων.
- Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, που γίνεται από εξειδικευμένα λογισμικά.

Η λειτουργία της τηλεπισκόπησης βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και του στόχου (Ποϊραζίδης, κ.α., 2013) και πιο συγκεκριμένα στην μέτρηση της ενέργειας που μεταδίδεται από την επιφάνεια του στόχου στα διάφορα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Reddy, 2018). Τα στάδια της λειτουργίας της αποτελούνται από (Παρχαρίδης, 2015; Ποϊραζίδης, κ.α., 2013):

- Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή φωτισμού από μια πηγή ενέργειας (ήλιος ή αυτοεκπομπή) προς το στόχο που ενδιαφέρει.
- Μετάδοση της ενέργειας από την πηγή προς την επιφάνεια της γης και κατά συνέπεια στο στόχο. Αλληλεπίδραση της ενέργειας αυτής με την ατμόσφαιρα, καθώς και απορρόφηση και σκέδαση από την ανώτερη ατμόσφαιρα. Η αλληλεπίδραση υφίσταται και κατά την επιστροφή της ενέργειας από το στόχο προς την αισθητήρα.
- Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της γης και συνεπώς με το στόχο, ανάλογα με τις ιδιότητες του στόχου και της ακτινοβολίας. Αυτή περιλαμβάνει την ανάκλαση και την εκπομπή.
- Μετάδοση της ακτινοβολίας από την επιφάνεια στον απομακρυσμένο αισθητήρα, από τον οποίο αυτή συλλέγεται και καταγράφεται.
- Μετάδοση της καταγεγραμμένης ενέργειας σε ηλεκτρονική μορφή από τον αισθητήρα προς ένα σταθμό λήψης και επεξεργασίας. Εκεί οι πληροφορίες επεξεργάζονται και αποτυπώνονται ως έντυπη ή ψηφιακή εικόνα.
- Ερμηνεία και ανάλυση των εικόνων που ελήφθησαν στο προηγούμενο στάδιο με ψηφιακό, ηλεκτρονικό ή οπτικό τρόπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με το στόχο.
- Εφαρμογή των πληροφοριών του προηγούμενου σταδίου, με αποτέλεσμα την εξαγωγή νέων συμπερασμάτων ή/και τη λήψη αποφάσεων.

Τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης σε σχέση με άλλες μεθόδους συλλογής δεδομένων είναι τα εξής (Ravelo and Abril, 2010; Φουντάς και Γέμτος, 2015):

- Επιτρέπει τη λήψη εικόνων από πλεονεκτικότερο σημείο και με ευρύτερη γωνία, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο δεδομένα και από δυσπρόσιτα σημεία, από όπου η συλλογή δεδομένων είναι δύσκολη.
- Επιτρέπει τη συλλογή μεγάλου πλήθους πληροφοριών με μια μόνο λήψη.
- Επιτρέπει τη γρήγορη μελέτη των επιφανειών και τη ταχύτατη μετάδοση των πληροφοριών, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης ίδιων δεδομένων από διαφορετικές περιοχές.
- Επιτρέπει την επαναλαμβανόμενη λήψη δεδομένων από μια περιοχή, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να γίνει διαχρονική μελέτη των χαρακτηριστικών της.
- Επιτρέπει τη λήψη πληροφοριών σε πολλά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με στόχο την ανίχνευση ενδεχόμενων διαφορών που υπάρχουν σε βιοφυσικές ιδιότητες κάποιων αντικειμένων-στόχων και δεν είναι ορατές με το ανθρώπινο μάτι.

1.2.2 Τηλεπισκόπηση στη Γεωργία

Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στη ΓΑ είναι πολύ σημαντικός και γίνεται ολοένα και μεγαλύτερος. Είναι ένα εργαλείο με το οποίο πραγματοποιούνται επαναλαμβανόμενες και χωρίς χρονικούς περιορισμούς παρατηρήσεις, καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος επιφάνειας και οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με την φυσική κατάσταση των φυτών, καθώς και το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται, όπως είναι το έδαφος και οι καιρικές συνθήκες. Τα δεδομένα θα βοηθήσουν στην ορθολογική χρήση των πόρων που διαθέτει ο παραγωγός, την εκτίμηση της αναμενόμενης απόδοσης, την εκτίμηση των ζημιών από δυσμενείς καιρικές συνθήκες κ.α. (Goswami, et al., 2012).

Η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την υπολογισμό της έκτασης που καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες σε μια περιοχή και για την εκτίμηση της απόδοσης τους. Αυτό γίνεται εκτιμώντας την κάλυψη του εδάφους από τη φυλλική επιφάνεια των φυτών (Shanmugapriya, et al., 2019).

Η τηλεπισκόπηση δίνει τη δυνατότητα να συλλεχθούν φασματικά δεδομένα, τα

οποία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση βιοφυσικών δεικτών της υγείας των φυτών. Οι φυσιολογικές αλλαγές που συμβαίνουν στα φυτά εξαιτίας μιας καταπόνησης ενδέχεται να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά της φασματικής ανάκλασης ή εκπομπής τους, οδηγώντας στην ανίχνευση της καταπόνησης. Η παρακολούθηση της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών σε διάφορα στάδια είναι αναγκαία προκειμένου να αναγνωρισθούν πιθανές απώλειες στην παραγωγή, εξαιτίας κάποιου στρες (Migdall, et al., 2018; Shanmugapriya et al., 2019).

Το πιο σημαντικό πεδίο εφαρμογής της τηλεπισκόπησης αφορά στη διαχείριση των καλλιεργειών σε σχέση με την άρδευση και τη λίπανση. Η ανίχνευση της έλλειψης κάποιου θρεπτικού στοιχείου συμβάλλει στην έγκαιρη αντιμετώπιση του προβλήματος μέσω της ΓΑ, μειώνοντας έτσι το κόστος της καλλιέργειας και αυξάνοντας την αποδοτικότητα της λίπανσης. Επίσης ίδιο είναι το αποτέλεσμα και στην περίπτωση της υδατικής καταπόνησης μιας καλλιέργειας, ιδιαίτερα όταν υπάρχει η δυνατότητα της άρδευσης με σταγόνες. Έχει παρατηρηθεί ότι η φασματική ανάκλαση στο ορατό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη σε φυτά που βρίσκονται υπό υδατικό στρες (Shanmugapriya, et al., 2019). Μεγάλο μέρος της έρευνας που διεξάγεται στον αγροτικό τομέα αξιοποιεί την τηλεπισκόπηση προκειμένου να καθορίσει το χρόνο και την ποσότητα άρδευσης μιας καλλιέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται παρακολουθώντας την υδατική κατάσταση των φυτών μέσω του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής, η οποία γίνεται με τη συσχέτιση μετεωρολογικών παρατηρήσεων που λαμβάνονται από την επιφάνεια της γης και των τηλεπισκοπικών δεδομένων που συλλέγονται από την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία των φυτών (Pinter, et al., 2003).

Παράλληλα οι διαφορές που παρατηρούνται στη φασματική ανάκλαση μεταξύ των ζιζανίων και των καλλιεργούμενων φυτών, επιτρέπουν την αναγνώριση της ύπαρξης ζιζανίων στον αγρό, τη δημιουργία του σχετικού χάρτη και την εφαρμογή της κατάλληλης ζιζανιοκτονίας (Shanmugapriya, et al., 2019).

Επίσης μέσω της τηλεπισκόπησης είναι εφικτό να ανιχνευθεί και να καταγραφεί διαφοροποίηση στο χρωματισμό της φυλλικής επιφάνειας, χλώρωση ή αποφύλλωση των καλλιεργούμενων φυτών, που μπορεί να συσχετιστούν με πιθανή προσβολή από έντομα ή από ασθένειες (Shanmugapriya, et al., 2019). Οι μεθοδολογίες που υπάρχουν σε αυτόν τον τομέα επιδέχονται βελτίωσης, ώστε να επιτευχθεί ο έγκαιρος έλεγχος των προσβολών (Mani and Varghese, 2018).

Επιπροσθέτως η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της παραγωγής μιας καλλιέργειας αξιοποιώντας τη στατιστική και εμπειρική σύνδεση της απόδοσης με τους δείκτες βλάστησης (Shanmugarriya, et al., 2019). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά μαθηματικά μοντέλα που συσχετίζουν τις φασματικές αποκρίσεις των φυτών με τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του και κατά συνέπεια την τελική απόδοσή τους (Mani and Varghese, 2018).

Τέλος μπορεί να αναφερθεί ότι με την τηλεπισκόπηση είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί γρήγορα η αναγνώριση και η εκτίμηση έκτακτων προβλημάτων που ενδέχεται να παρουσιαστούν σε μια καλλιεργούμενη έκταση, όπως είναι οι πλημμύρες και η παρουσία λιμναζόντων υδάτων μετά από έντονη βροχόπτωση (Kingra, et al., 2016).

1.2.3 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το πρώτο στάδιο της τηλεπισκόπησης είναι η εκπομπή ενέργειας από μια πηγή προκειμένου να φωτιστεί ο στόχος. Η μετάδοση της ενέργειας γίνεται με επαφή, με μεταφορά και με ακτινοβολία, με την τελευταία να αποτελεί το μοναδικό μέσο που μπορεί να μεταδώσει ενέργεια από ένα σώμα στο άλλο χωρίς να μεσολαβήσει άλλος φορέας και διασχίζοντας εκατομμύρια χιλιόμετρα στο κενό διάστημα. Η τηλεπισκόπηση αξιοποιεί την μεταφορά ενέργειας μέσω της ακτινοβολίας από ένα σώμα προς το δέκτη (αισθητήρα). Η κυριότερη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος και η ενέργεια που παρέχει είναι γνωστή ως ηλεκτρομαγνητική. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκφράζεται ως μηχανική, χημική, ηλεκτρική και θερμική, ενώ είναι η βασική ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παράγει έργο και μετριέται σε joules (Παρχαρίδης, 2015; Περάκης, κ.α., 2015; Ποϊραζίδης, κ.α., 2013).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο (E) και ένα μαγνητικό πεδίο (M). Αυτά τα δύο πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους. Κάθε μόριο με θερμότητα πάνω από το απόλυτο μηδέν ταλαντώνεται (πάλλεται). Αυτή η ταλάντωση προκαλεί κύματα στο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο που περιβάλλει το μόριο, το οποίο έτσι λειτουργεί ως πηγή ακτινοβολίας. Αυτά τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός ($c = 3 \times 10^8$ m/s) σε κάποιο μέσο (ατμόσφαιρα, νερό, υλικά σώματα), εξαιτίας της περιοδικής διαταραχής που συμβαίνει ταυτόχρονα στο ηλεκτρικό και στο μαγνητικό πεδίο και χαρακτηρίζονται από το μήκος κύματος και

τη συχνότητα τους. Επομένως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απεικονίζεται από το μήκος κύματος (λ) που έχει σε κάποιο φάσμα και τη συχνότητα (ν). Το μήκος κύματος είναι το μήκος μίας περιόδου κύματος ή η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών των κυμάτων και μετριέται σε μονάδες μήκους (μέτρα, εκατοστά, νανόμετρα, μικρόμετρα κ.α.). Η συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό των περιόδων ενός κύματος που διέρχεται από σταθερό σημείο ανά μονάδα χρόνου και μετριέται σε hertz (Hz), που είναι ισοδύναμο με μία περίοδο (κύκλο) ανά δευτερόλεπτο. Η σχέση που συνδέει το μήκος κύματος και τη συχνότητα περιγράφεται από τον τύπο $c=\lambda*\nu$, από όπου διαπιστώνεται ότι το ένα μέγεθος είναι αντιστρόφως ανάλογο του άλλο. Συνεπώς όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος, τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα και όσο μεγαλύτερο το μήκος κύματος, τόσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα (Kitchin, 2013; Malainey, 2011; Reddy, 2018; Δαλέζιος, 2015; Παρχαρίδης, 2015; Περάκης, κ.α., 2015; Ποϊραζίδης, κ.α., 2013).

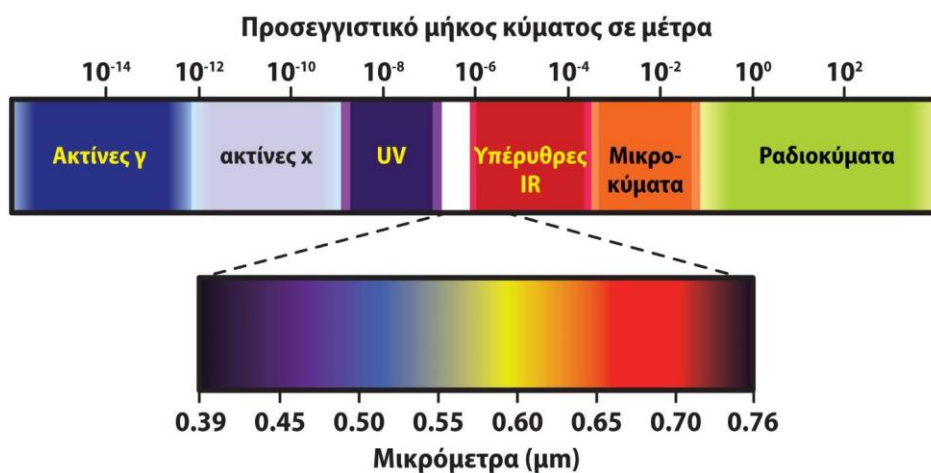
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιέχει όλα τα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, από τα μικρότερα (ακτίνες γ και ακτίνες X) μέχρι τα μεγαλύτερα (μικροκύματα και εκπεμπόμενα ραδιοκύματα) (Εικ. 9). Οι φασματικές περιοχές ή μπάντες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και τα αντίστοιχα μήκη κύματος καταγράφονται είναι τα εξής (Gomasca, 2009; Krapivin, et al., 2015; Περάκης, κ.α., 2015):

- Ακτίνες γ : $< 0,01$ nm
- Ακτίνες X: 0,01-10 nm
- Υπεριώδης ακτινοβολία (Ultra Violet, UV): 0,1-0,4 μ m
- Ορατό φως: 0,4-0,7 μ m
- Εγγύς υπέρυθρα (Near Infrared, NIR): 0,7-1,5 μ m
- Υπέρυθρα μικρά (Short Wavelength Infrared, SWIR): 1,5-3,0 μ m
- Υπέρυθρα μεσαία (Mid Wavelength Infrared, MWIR): 3,0-8,0 μ m
- Υπέρυθρα μεγάλα (Long Wavelength Infrared, LWIR): 15,0-1.000 μ m (1mm)
- Μικροκύματα: 1 mm-100 cm
- Ραδιοκύματα: >10 cm

Το φάσμα που μπορεί να δει ο άνθρωπος είναι το ορατό τμήμα. Το μεγαλύτερο ορατό μήκος κύματος είναι το ερυθρό και το μικρότερο το ιώδες. Τα κοινά μήκη

κύματος, τα οποία αντιλαμβανόμαστε ως ξεχωριστά χρώματα από το ορατό τμήμα του φάσματος, είναι τα εξής (Ποϊραζίδης, κ.α., 2013):

- Ιώδες : 0,4-0,446 μm
- Μπλε: 0,446-0,500 μm
- Πράσινο: 0,500-0,578 μm
- Κίτρινο: 0,578-0,592 μm
- Πορτοκαλί: 0,592-0,620 μm
- Ερυθρό: 0,620-0,7 μm



Εικόνα 9: Εύρος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Δαλέζιος, 2015)

Το μικρότερο μήκος κύματος που είναι πρακτικό για την τηλεπισκόπηση είναι το υπεριώδες. Το εγγύς υπέρυθρο (NIR) και το μικρό υπέρυθρο (SWIR) τμήμα της ακτινοβολίας είναι γνωστό ως ανακλώμενη περιοχή (Reflected Infrared) και χρησιμοποιείται για τους σκοπούς της τηλεπισκόπησης, κατά τρόπο όμοιο με την ακτινοβολία στο ορατό τμήμα. Τα μεσαία (MWIR) και μεγάλα (LWIR) υπέρυθρα μήκη κύματος είναι γνωστά ως θερμική περιοχή (Thermal Infrared) και είναι η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γη με την μορφή θερμότητας. Το τμήμα των μικροκυμάτων αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την τηλεπισκόπηση τα τελευταία χρόνια (Περάκης, κ.α., 2015; Ποϊραζίδης, κ.α., 2013). Στη θερμική τηλεανίχνευση, δηλαδή στον κλάδο της τηλεπισκόπησης που ασχολείται με την απόκτηση, επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων που αποκτώνται κυρίως από την περιοχή του θερμικού υπέρυθρου, μετράμε την ακτινοβολία που «εκπέμπεται» από την επιφάνεια του εξεταζόμενου στόχου.

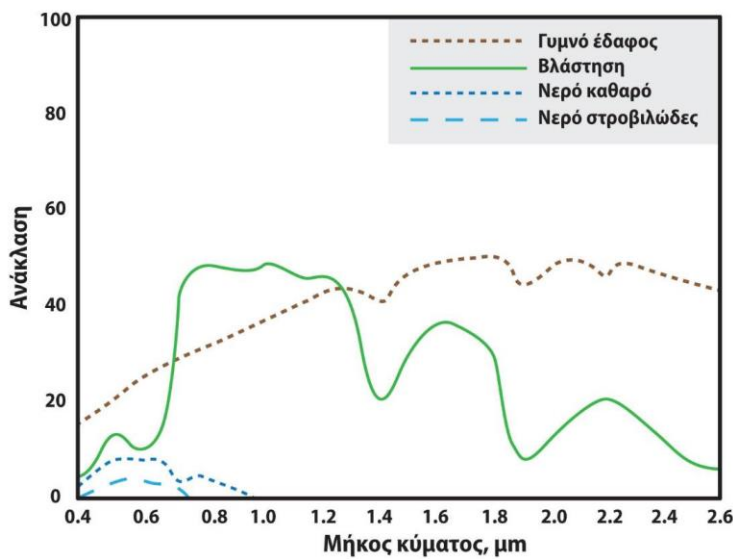
Αντίθετα στην οπτική τηλεανίχνευση, μετράμε την ακτινοβολία που «ανακλάται» από τον στόχο. Εδώ, θα πρέπει να τονιστεί ότι η θερμική ακτινοβολία δεν ανιχνεύεται από τη φωτογραφική μηχανή γιατί οι γυάλινοι φακοί της κάμερας απορροφούν την ακτινοβολία και θερμαίνονται, επομένως η ανίχνευση γίνεται μόνο από ειδικούς ανιχνευτές, που βρίσκονται προσαρτημένοι σε οπτικούς-μηχανικούς σαρωτές (Νικολακόπουλος, κ.α., 2015).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλοεπιδρά με διάφορους τρόπους με την ατμόσφαιρα και τα αντικείμενα. Οι αλληλεπιδράσεις που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στη γεωργία είναι οι παρακάτω (Rycroft, 2016; Sankaran and Ehsani, 2014):

- Απορρόφηση, κατά την οποία η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεσμεύεται από το αντικείμενο και επανεκπέμπεται (π.χ. φωτοσύνθεση).
- Μεταφορά, κατά την οποία τα αντικείμενα της επιτρέπουν να διέλθει μέσω του υλικού τους.
- Ανάκλαση, όταν η ακτινοβολία "αναπηδά" από το στόχο και γίνεται διάχυση της προς διάφορες κατευθύνσεις.
- Εκπομπή, όταν τα αντικείμενα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ως συνέπεια από την μετατροπή της ενέργειας σε άλλη μορφή (π.χ. φθορισμός).

1.2.4 Μετρήσεις στην τηλεπισκόπηση

Στην τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται κυρίως οι φασματικές κάμερες, διότι παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την αλληλεπίδραση που έχει ο στόχος με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η αλληλεπίδραση αυτή είναι διαφορετική για κάθε αντικείμενο, γεγονός που επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ των αντικειμένων (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Η ποσότητα της ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από τα αντικείμενα που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης και η φασματική κατανομή αυτής της ενέργειας, μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε τη φασματική απόκριση ή φασματική ταυτότητα των αντικειμένων (Εικ. 10). Άρα η φασματική υπογραφή είναι τα σήματα της ακτινοβολίας που συλλέγονται στα διάφορα μήκη κύματος. Αυτή χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των αντικειμένων, που πραγματοποιείται με μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν (Heege, 2013; Liang, et al., 2008; Παρχαρίδης 2015; Ποϊραζίδης, κ.α., 2013).



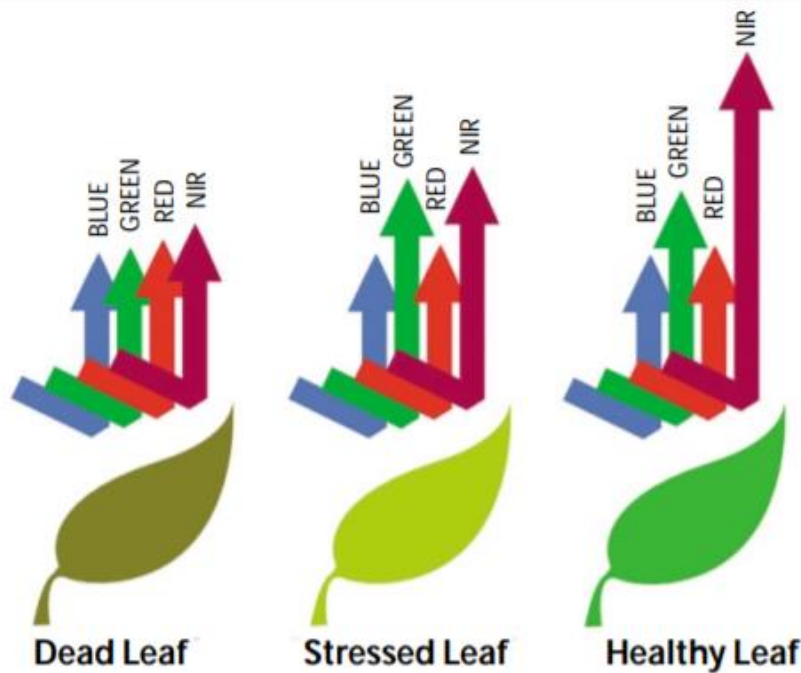
Εικόνα 10: Φασματικές υπογραφές εδάφους, βλάστησης και νερού (Δαλέζιος, 2015)

Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία βασίζεται στους δείκτες βλάστησης και στην υπέρυθη θερμομέτρηση. Οι φυσιολογικές και βιοχημικές ιδιότητες των φυτών, όπως η βιομάζα τους, η εξατμισοδιαπνοή τους και η περιεκτικότητα των ιστών τους σε νερό επηρεάζουν την αλληλεπίδραση τους με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο μαθηματικός συνδυασμός που δημιουργείται ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες φασματικές μπάντες παράγει τους παραπάνω δείκτες (Virnodkar, et al., 2020).

Η υπέρυθη θερμομέτρηση είναι η μέθοδος που ανιχνεύει τη θερμότητα η οποία εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, τη μετατρέπει σε θερμοκρασία και απεικονίζει την κατανομή της θερμοκρασίας ως «θερμογράφημα» (Ματίκας και Αγγέλης, 2015). Οι θερμικές υπέρυθρες εικόνες χρησιμοποιούνται στη μελέτη της εξατμισοδιαπνοής της βλάστησης και κατά συνέπεια παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της υδατικής κατάστασης των φυτών (Virnodkar, et al., 2020; Παρχαρίδης, 2015). Ο πιο συνηθισμένος δείκτης αυτής της μεθόδου είναι ο δείκτης υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας (CWSI) που σχετίζεται με τη θερμοκρασία των φύλλων, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται άμεσα από το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής (συντελεί στη ψύχρανση των φύλλων), που ελέγχεται από τον άνοιγμα ή κλείσιμο των στοματίων. Το κλείσιμο των στοματίων είναι συνέπεια υδατικής καταπόνησης, κατά την οποία περιορίζεται η εξατμισοδιαπνοή. Ο χαμηλός ρυθμός εξατμισοδιαπνοής μειώνει την ψύχρανση της φυλλικής επιφάνειας και άρα

αυξάνει τη θερμοκρασία της πάνω από τη θερμοκρασία του αέρα, λόγω της ακτινοβολίας που απορροφά. Η διαφορά της θερμοκρασίας της φυλλικής μάζας και της θερμοκρασίας του αέρα καταδεικνύει την υδατική καταπόνηση (Virnodkar, et al., 2020; Τσιρογιάννης, 2011). Ο τύπος που περιγράφει το δείκτη υδατικής καταπόνησης είναι ο εξής: $CSWI = (T_c - T_m) / (T_m - T_m)$, όπου T_c είναι η θερμοκρασία της κόμης της καλλιέργειας ($^{\circ}C$), T_m είναι η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να φτάσει η κόμη της καλλιέργειας ($^{\circ}C$) και T_M είναι η μέγιστη θερμοκρασία, που μπορεί να φτάσει η κόμη της καλλιέργειας ($^{\circ}C$) (Τσιρογιάννης, 2011).

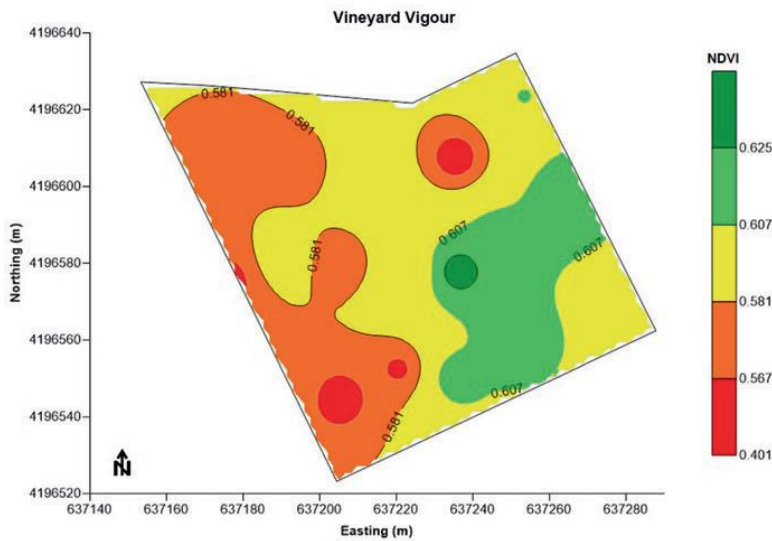
Η διαφορετική ανακλαστικότητα της πράσινης βλάστησης στο ορατό και στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επιτρέπει την μελέτη της επίγειας βλάστησης μέσω της τηλεπισκόπησης. Πιο αναλυτικά, η φασματική συμπεριφορά της φυτικής κάλυψης στο ορατό (0,4-0,7 μ m) και στο κοντινό υπέρυθρο (0,74-1,1 μ m, 1,3-2,5 μ m) προσφέρει τη δυνατότητα της εξ αποστάσεως παρακολούθησης των μεταβολών που συμβαίνουν στα φυτά κατά τα διάφορα στάδια της ανάπτυξης τους. Από το κοντινό υπέρυθρο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την πυκνότητα της χλωροφύλλης, με τον όγκο του φυλλώματος στη φυτική μάζα, καθώς και με την περιεκτικότητα των φύλλων σε νερό, που συνδέεται άμεσα με το ρυθμό διαπνοής και κατ' επέκταση, με την επίδρασή του στη φυσιολογική διεργασία της φωτοσύνθεσης. Από το ορατό τμήμα του φάσματος προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με το ρυθμό φωτοσύνθεσης (Δαλέζιος, 2015). Πιο συγκεκριμένα μελετάται και καταγράφεται η αντίδραση των χρωστικών των φύλλων στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Η αλληλεπίδραση ανάμεσα στα φύλλα και στο φως που πέφτει επάνω τους, αντικατοπτρίζεται από τη διαφορά στην ανάκλαση της ακτινοβολίας στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα και αποτελεί δείκτη της υγείας των φυτών (Εικ. 11). Το εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι μια περιοχή υψηλής ανάκλασης. Τα στρεσαρισμένα φύλλα έχουν μικρότερη ανάκλαση σε αυτό το τμήμα, λόγω του μικρότερου χώρου που υπάρχει μεταξύ των κυττάρων του σπογγώδους παρεγχύματος του μεσόφυλλου (Ray, 2016; Van Niel and McVicar, 2001).



Εικόνα 11: Απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα φύλλα, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση στην οποία βρίσκονται (Sylvester, 2018)

Ο πιο σημαντικός δείκτης βλάστησης που χρησιμοποιείται στη γεωργία είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), που περιγράφεται από τον τύπο $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ και όπου NIR είναι το μήκος κύματος στο εγγύς υπέρυθρο, ενώ RED είναι το μήκος κύματος στο ερυθρό (Heege and Thiessen, 2013; Φουντάς και Γέμτος, 2015). Οι πολυφασματικές και υπερφασματικές εικόνες που συλλέγονται από δορυφόρους και αέρια συστήματα παρατήρησης (επανδρωμένα ή μη επανδρωμένα αεροχήματα) αποτελούν βασικό στοιχείο στη δημιουργία NDVI χαρτών, μέσω των οποίων μπορεί κάποιος να ξεχωρίσει τη βλάστηση από το γυμνό έδαφος, να ανιχνεύσει τα καταπονημένα φυτά, να διακρίνει τις καλλιέργειες μεταξύ τους και να εκτιμήσει το στάδιο ανάπτυξης των φυτών (Sylvester, 2018). Ο NDVI παίρνει τιμές από -1 έως +1. Όταν η τιμή του βρίσκεται κοντά στο 0 συνεπάγεται μη ύπαρξη βλάστησης (γυμνό έδαφος), τιμή κοντά στο +1 (0,8-0,9) υποδεικνύει την μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα βλάστησης, ενώ τιμή κάτω του 0 συνεπάγεται ύπαρξη νερού, χιονιού, πάγου και νεφών. Την περίοδο της βλαστικής και αναπαραγωγικής ανάπτυξης (ανθοφορία, καρποφορία) η τιμή του NDVI αυξάνεται λόγω της έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Αντίθετα, μια βαθμιαία μείωση του NDVI υποδηλώνει καταπόνηση των φυτών από έλλειψη νερού ή υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες, που οδηγεί σε μείωση του ρυθμού

φωτοσύνθεσης (Εικ. 12) (Nandibewoor, et al., 2015; Δαλέζιος, 2015).



Εικόνα 12: Χάρτης NDVI (Balafoutis, et al., 2017)

Ενδεικτικά μερικοί ακόμα δείκτες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία είναι οι παρακάτω (Shanmugarriya, et al., 2019; Φουντάς και Γέμτος, 2015):

- Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς εδάφους (NDSI, Normal Difference Soil Index), $NDSI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χαρακτηριστικών στο έδαφος και όπου SWIR είναι το μήκος κύματος στα μικροκύματα.
- Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού (NDWI, Normal Difference Water Index), $NDWI = (RED - SWIR) / (RED + SWIR)$, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών σε νερό.
- Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης στο πράσινο (GNDVI, Green Normalized Difference Vegetation Index), $GNDVI = (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$, που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της απόδοσης σε καλλιέργεια καλαμποκιού και όπου GREEN είναι το μήκος κύματος στο πράσινο.
- Ο δείκτης χλωροφύλλης βλάστησης (CVI, Chlorophyll Vegetation Index), $CVI = (NIR / GREEN) \times (RED / GREEN)$.
- Ο δείκτης κανονικοποιημένης αναλογίας χρωστικής χλωροφύλλης (NPCRI, Normalised Pigment Chlorophyll Ratio Index), $NPCRI = (RED1 - BLUE1) / (RED2 + BLUE2)$, που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη.

1.2.5 Αισθητήρες

Στην τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται οι απομακρυσμένοι αισθητήρες (remote sensors), οι οποίοι περιλαμβάνουν τα όργανα που ανιχνεύουν και μετράνε εξ αποστάσεως την ανακλώμενη και εκπεμπόμενη ακτινοβολία, όπως επίσης και τα ακουστικά κύματα που ανακλώνται από αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από το νερό (π.χ. sonar). Οι απαραίτητες πληροφορίες συλλέγονται από διαφορετικές φασματικές περιοχές (multispectral ή multiband) είτε από διαφορετικούς αισθητήρες (πολυαισθητήρες ή multisensors), είτε από έναν αισθητήρα που λειτουργεί συγχρόνως σε διαφορετικές περιοχές (multispectral ή multiband) (Παρχαρίδης, 2015).

Οι αισθητήρες, δηλαδή τα συστήματα απεικόνισης της γήινης επιφάνειας, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους οπτικούς (optical) ή παθητικούς αισθητήρες, οι οποίοι λειτουργούν στην υπεριώδη, ορατή και υπέρυθη περιοχή του φάσματος και χρησιμοποιούν για απεικόνιση στοιχεία ανάκλασης και επανεκπομπής (Παρχαρίδης, 2015). Μετράνε την ενέργεια που βρίσκεται με φυσικό τρόπο στο χώρο, δηλαδή αυτή που προέρχεται από τον ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια είτε ανακλάται, όπως συμβαίνει στα ορατά μήκη κύματος, είτε απορροφάται και στη συνέχεια επανεκπέμπεται όπως γίνεται στα θερμικά υπέρυθρα μήκη κύματος. Καταγράφουν το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που προέρχεται από την ίδια περιοχή της γήινης επιφάνειας, την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διάφορα μήκη κύματος, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο τα διαφορετικά φασματικά κανάλια μιας πολυφασματικής δορυφορικής εικόνας. Είναι προφανές ότι οι παθητικοί αισθητήρες λειτουργούν μόνο όταν υπάρχει το φως της ημέρας (Ray, 2016; Reddy, 2018; Περάκης, κ.α., 2015).

Οι αισθητήρες της δεύτερης κατηγορίας λέγονται μικροκυματικοί (microwave) ή ενεργητικοί, λειτουργούν σε φασματική περιοχή με μήκος κύματος ίσο ή μεγαλύτερο του χιλιοστού και χρησιμοποιούν την ακτινοβολία που οι ίδιοι εκπέμπουν, δηλαδή διαθέτουν και πομπό και δέκτη (Παρχαρίδης, 2015). Οι ενεργητικοί αισθητήρες εκπέμπουν ακτινοβολία προς το στόχο που βρίσκεται υπό παρατήρηση, λειτουργούν δηλαδή ως πηγή ενέργειας, και μετράνε την ακτινοβολία που ανακλάται από το στόχο προς τον αισθητήρα. Πλεονεκτούν των παθητικών αισθητήρων στο ότι μπορούν να κάνουν μετρήσεις ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας, αφού δεν χρειάζονται πηγή φωτός και ανεξάρτητα από την εποχή, διότι μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα, τη

χαμηλή βροχή και το χιόνι. Ένα συνηθισμένο σύστημα ενεργητικών αισθητήρων είναι τα ραντάρ που λειτουργούν στο φάσμα των μικροκυμάτων (Ray, 2016; Reddy, 2018; Περάκης, κ.α., 2015).

Οι τύποι των αισθητήρων είναι τρεις, ήτοι οι κάμερες, οι σαρωτές και τα ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR). Οι δύο πρώτοι ανήκουν στα οπτικά συστήματα και είναι παθητικοί αισθητήρες, ενώ τα όργανα απεικόνισης του τρίτου τύπου ανήκουν στους ενεργητικούς αισθητήρες (Παρχαρίδης, 2015). Στους παθητικούς αισθητήρες περιλαμβάνονται το επιταχυνσιόμετρο, το ραδιόμετρο, οι φασματικές κάμερες, το φωτογραφικό ραδιόμετρο, το φασματόμετρο, το φασματοραδιόμετρο, το υπερφασματικό ραδιόμετρο και το ηχόμετρο, ενώ στους ενεργητικούς αισθητήρες τα Radar (Radio Detection and Ranging), τα σκεδασίμετρα (scatterometer), τα Lidar (Light Detection and Ranging) και τα Laser υψόμετρου (Περάκης, κ.α., 2015; Φουντάς και Γέμτος, 2015).

Οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη χρήση των εικόνων στην τηλεπισκόπηση, κατά την οποία χρησιμοποιούνται κανάλια στο ορατό, υπέρυθρο και μικροκυματικό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι η χωρική (spatial), η φασματική (spectral), η ραδιομετρική (radiometric) και η χρονική (temporal) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση. Η χωρική διακριτική ικανότητα θεωρείται η μικρότερη δυνατή επιφάνεια που μπορεί να διακρίνει ο συγκεκριμένος αισθητήρας στο έδαφος, δηλαδή αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί από αυτόν. Με άλλα λόγια είναι η γήινη έκταση που αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας του συγκεκριμένου αισθητήρα, όπου pixel ονομάζεται το στοιχειώδες κομμάτι της ψηφιακής εικόνας και που αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο μέγεθος της γήινης επιφάνειας. Αν ένας αισθητήρας έχει χωρική ανάλυση 20m, τότε στην αντίστοιχη εικόνα κάθε pixel αντιπροσωπεύει μια περιοχή της επιφάνειας που ισούται με 20x20m. Από τη χωρική ανάλυση εξαρτάται η ευδιάκριτη λεπτομέρεια μιας εικόνας. Η φασματική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των μηκών κύματος που μπορεί να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας, άρα στην ικανότητα του να καταγράψει την πληροφορία σε διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ουσιαστικά δείχνει τον αριθμό των φασματικών καναλιών από τα οποία αποτελείται η συγκεκριμένη δορυφορική εικόνα. Όσο πιο πολλές φασματικές περιοχές χρησιμοποιεί ο αισθητήρας, τόσο μεγαλύτερη είναι η

διακριτική ικανότητά του. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των διαφορετικών διαβαθμίσεων της έντασης της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας που μπορεί να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας και περιγράφει τη δυνατότητα του να διακρίνει τις μικρές διαφορές της ανιχνευόμενης ενέργειας. Καθορίζεται από την ευαισθησία του αισθητήρα να αποτυπώσει την ένταση της ανακλώμενης ενέργειας και αποδίδει την πραγματική πληροφορία που περιέχεται σε μια εικόνα. Η χρονική διακριτική ικανότητα περιγράφει τον χρόνο που απαιτείται για να καταγράψει ο αισθητήρας του δορυφόρου την ίδια περιοχή, άρα το χρόνο επαναδιέλευσης του δορυφόρου από την ίδια περιοχή (Δαλέζιος, 2015; Παρχαρίδης, 2015; Περάκης, κ.α., 2015).

1.2.6 Δορυφόροι και Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροχημάτων (ΣμηΕΑ)

Οι δορυφόροι και η φωτογράφιση από αεροσκάφη ήταν τα κύρια συστήματα συλλογής δεδομένων στην τηλεπισκόπηση. Ανάλογα με τη χωρική, φασματική, ραδιομετρική και χρονική διακριτική ικανότητα τους και το σκοπό συλλογής των δεδομένων, αυτά τα μέσα κάποιες φορές αποδείχθηκαν επαρκή και άλλες όχι. Εκτός αυτών, τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν τα μη επανδρωμένα αεροχήματα, τα οποία επίσης χρησιμοποιούνται με επιτυχία στον τομέα της τηλεπισκόπησης (Mesas-Carrascosa, et al., 2014).

Τα δορυφορικά συστήματα ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τα κριτήρια που επιλέγονται. Μια βασική κατηγοριοποίηση αφορά την κατάταξη των συστημάτων σε ενεργητικά και παθητικά, ανάλογα με τον τρόπο που λειτουργούν, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Τα ενεργά δορυφορικά συστήματα είναι τα ραντάρ καιρού και τα ραντάρ συνθετικού ανοίγματος, τα οποία λειτουργούν στην περιοχή μικροκυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα παθητικά δορυφορικά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους μετεωρολογικούς (meteorological) δορυφόρους και τους περιβαλλοντικούς (environmental) δορυφόρους ή δορυφόρους πόρων (resource satellites). Τα συστήματα των δύο αυτών κατηγοριών διαφέρουν ως προς τις χωρικές και χρονικές διακριτικές ικανότητες τους και κατά συνέπεια ως προς την αξιοποίησή τους, με τα μεν πρώτα να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την παρακολούθηση των καιρικών συστημάτων, ενώ τα δεύτερα να βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην ταξινόμηση των χρήσεων της γης (Δαλέζιος, 2015).

Οπτικά ή παθητικά δορυφορικά συστήματα που εφαρμόζονται στη γεωργία είναι οι δορυφόροι LANDSAT, TERRA, IKONOS, WorldView, QuickBird, Pleiades, SPOT, RapidEye, GeoEye-1. Εκτός της γεωργίας, αυτά χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση εδαφών, για την παρατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, καθώς και για την καταγραφή καιρικών φαινομένων. Ενεργά δορυφορικά συστήματα (Ραντάρ) είναι οι δορυφόροι ERS, Envisat, TerraSAR-X, Cosmo-Skymed, TanDEM-X, Radarsat-2, που συλλέγουν παρατηρήσεις από την επιφάνεια της γης και της θάλασσας, οι οποίες χρησιμεύουν στην προστασία του περιβάλλοντος και στην μελέτη καιρικών φαινομένων, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται και στο γεωργικό τομέα. Στα ενεργητικά δορυφορικά συστήματα ανήκουν οι υπερφασματικοί δορυφόροι Earth Observing-1 και Sentinel 1-6. Οι Sentinel είναι μια νέα γενιά δορυφόρων που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια του προγράμματος Copernicus που αναπτύσσει ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ΕΟΔ). Ο Sentinel-1 λαμβάνει εικόνες από την επιφάνεια της γης, ανεξάρτητα από την ώρα και τις καιρικές συνθήκες, με τη βοήθεια ενός προηγμένου οργάνου ραντάρ που διαθέτει, ενώ ο Sentinel-2 παρέχει οπτικές εικόνες υψηλής ανάλυσης. Σκοπός του Sentinel-3 είναι η συλλογή δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν από τις υπηρεσίες που σχετίζονται με τη θάλασσα και τη γη. Οι αποστολές των Sentinel-4 και Sentinel-5 αφορούν την παρακολούθηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας για την στήριξη των ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών πολιτικών. Ο Sentinel-6 θα αξιοποιηθεί για ζητήματα που αφορούν την κλιματική αλλαγή και την ωκεανογραφία, αφού θα είναι σε θέση να μετρά το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (Ünsalan and Boyer, 2011; Δαλέζιος, 2015; Παρχαρίδης, 2015).

Τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροχημάτων (ΣμηΕΑ, unmanned aerial vehicles, UAVs ή drones) θεωρούνται πολύ καλά μέσα συλλογής δεδομένων από απόσταση και τα τελευταία χρόνια κερδίζουν συνεχώς έδαφος στον τομέα της τηλεπισκόπησης και της γεωργίας ακριβείας, λόγω της ευελιξίας τους και του σχετικά χαμηλού κόστους χρήσης τους (Shafi, et al., 2019). Μη επανδρωμένα αεροχήματα είναι τα εναέρια μέσα που κινούνται χωρίς να βρίσκεται χειριστής μέσα σε αυτά (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Ο όρος συστήματα μη επανδρωμένων αεροχημάτων υποδηλώνει ένα σύστημα, που εκτός του ιπτάμενου μέσου, περιλαμβάνει επίσης έναν χειριστή που ελέγχει ασύρματα το όχημα μέσω ενός υπέργειου σταθμού ελέγχου, τους αισθητήρες συλλογής δεδομένων και το λογισμικό για την επεξεργασία των δεδομένων (Sylvester,

2018). Τα συστήματα αυτά, ανάλογα του τρόπου λειτουργίας τους διακρίνονται σε (Mukherjee, et al., 2019; Φουντάς και Γέμτος, 2015):

- Βιομιμητικά (biomimetic ή flapping UAVs), που μιμούνται την πτήση εντόμων και πτηνών.
- Blimp UAVs, που χρησιμοποιούν μπαλόνι με ήλιο για να ανυψωθούν.
- Αεροχήματα σταθερής πτέρυγας (fixed-wing UAVs), των οποίων η κατασκευή και πτήση μοιάζει με αυτή των αεροπλάνων.
- Ελικοφόρα (rotorcraft UAVs) ή πολυκόπτερα (multirotors UAVs), τα οποία φέρουν έλικες. Αυτά μπορεί να είναι ελικόπτερα, που μοιάζουν με τα γνωστά ελικόπτερα, ή να είναι τετρακόπτερα (quadcopters), εξακόπτερα (hexacopters) και οκτακόπτερα (octacopters), ανάλογα με τον αριθμό των ελίκων που διαθέτουν.

Από τα αεροχήματα των παραπάνω κατηγοριών, αυτά που χρησιμοποιούνται στο τομέα της γεωργικής παραγωγής είναι κυρίως τα πολυκόπτερα (Mukherjee, et al., 2019; Φουντάς και Γέμτος, 2015). Οι υπομονάδες που αποτελούν ένα ΣμηΕΑ περιλαμβάνουν ένα σταθμό χειρισμού, έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα σύστημα τροφοδοσίας και διανομής ενέργειας, αισθητήρες και επιπλέον έναν αυτόματο πιλότο που είναι εφοδιασμένος με αισθητήρες διαφορικής ατμοσφαιρικής πίεσης, μετρητές ταχύτητας και δέκτη σήματος GPS (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Ακόμα μπορεί να είναι εφοδιασμένα με ψηφιακή κάμερα για τη λήψη φωτογραφιών και με ψεκαστικά μηχανήματα για εφαρμογή φυτοφαρμάκων (Rokhmana, 2015; Yun, et al., 2017). Η πτήση ενός ΣμηΕΑ μπορεί να ελέγχεται απευθείας από τον χειριστή μέσω τηλεχειριστηρίου ή να είναι αυτόνομη, όταν ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια αισθητηρίων οργάνων που υπάρχουν μέσα σε αυτό, οπότε και ορίζονται προκαθορισμένες ρυθμίσεις ή πορεία πτήσης. Επίσης μπορεί να υπάρχει ταυτόχρονος έλεγχος πτήσης πολλών ΣμηΕΑ (Mukherjee, et al., 2019).

Σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, περίπου το 20% των ΣμηΕΑ αφορά τη γεωργική χρήση (Barbedo, 2019). Τα τελευταία χρόνια παρά το μεγάλο αριθμό των δορυφόρων και το συνεχώς αυξανόμενο εύρος παρατήρησης τους, πολλές φορές η χρονική, και κάποιες φορές η χωρική διακριτική ικανότητα τους κρίνονται ανεπαρκείς για εφαρμογές ακριβείας στη γεωργία, εξαιτίας της ανάγκης για άμεση πληροφόρηση και γρήγορη ερμηνεία παραμέτρων που επηρεάζουν τη λήψη μιας απόφασης. Επίσης τα

επανδρωμένα αεροχήματα, ενώ καλύπτουν τις απαιτήσεις της χρονικής και χωρικής διακριτικής ανάλυσης, μειονεκτούν σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια του προσωπικού, το επιχειρησιακό κόστος και την πολυπλοκότητα της λειτουργίας τους (Manfreda, et al., 2018). Αντίθετα τα ΣμηΕΑ προσφέρουν ευελιξία στο χειρισμό, δυνατότητα πολυγωνικής παρατήρησης και συνεπώς προσαρμοστικότητα στις απαιτήσεις μιας περιοχής, ενώ έχουν τη δυνατότητα να την καλύπτουν γρήγορα και επανειλημμένα, ικανοποιώντας έτσι τις ανάγκες για υψηλή χρονική και χωρική ανάλυση, χωρίς να υστερούν σε φασματική διακριτική ικανότητα (Maes and Steppe, 2019; Manfreda, et al., 2018; Tsouros, et al., 2019). Παράλληλα έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν τις δύσκολες πτυχές του εδάφους και για το χειρισμό τους δεν απαιτείται υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης (Norasma et al., 2019). Έχουν τη δυνατότητα να συλλέξουν πληροφορίες από μεγάλες εκτάσεις σε μικρό χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα μπορούν να συλλεχθούν δεδομένα για μια έκταση περίπου 3.500 στρεμμάτων με μια πτήση διάρκειας 40 λεπτών. Επίσης η τεχνολογία της φωτογραμμετρικής μεθόδου αποτύπωσης με drones έχει σχετικά χαμηλό κόστος, γεγονός που δίνει συνεχώς μεγαλύτερη ώθηση στη χρήση της. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης και συλλογής πληροφοριών ακόμα και για μικρής έκτασης αγροτεμάχια, γεγονός που είναι πολύ χρήσιμο σε χώρες των οποίων οι παραγωγοί έχουν μικρό και διασκορπισμένο κλήρο, όπως είναι η Ελλάδα (Πολύχρονος και Περδικάρης, 2016). Συγκριτικά με τους δορυφόρους υστερούν στο ότι η λειτουργία τους είναι δύσκολη όταν επικρατούν δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως είναι οι ισχυροί άνεμοι και οι έντονες βροχοπτώσεις, στο ότι η ποιότητα των δεδομένων εμπεριέχει κάποιες φορές το σφάλμα του χειριστή (Manfreda, et al., 2018) και στο ότι εξειδικεύονται για συγκεκριμένη χρήση, π.χ. ταξινόμηση διαφορετικών τύπων βλάστησης (Daponte, et al., 2018).

1.2.7 Επεξεργασία εικόνων

Τα σήματα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες καταγράφονται σε δύο μορφές. Σε αναλογική μορφή, όπου τα αναλογικά δεδομένα τυπώνονται σε φιλμ ή χαρτί (π.χ. αεροφωτογραφίες) και σε ψηφιακή μορφή, όπου τα ψηφιακά δεδομένα βρίσκονται σε δυαδική μορφή και υπόκεινται σε επεξεργασία από λογισμικά ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η ανάλυση των ψηφιακών δεδομένων προκειμένου να ληφθούν οι

απαραίτητες πληροφορίες, περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές και ονομάζεται επεξεργασία εικόνας (Παρχαρίδης, 2015). Πριν την επεξεργασία θα πρέπει να αναγνωριστεί ο στόχος της ανάλυσης, κάτι που πραγματοποιείται με την αξιοποίηση των βοηθητικών στοιχείων της εικόνας, όπως ο τόνος ή το χρώμα, το σχήμα, το ύψος, το μέγεθος, η σκιά, η υφή, ο συνδυασμός των προηγούμενων, η διάταξη, ο χρόνος και το μέρος (Δαλέζιος, 2015; Ποϊραζίδης, κ.α., 2013; Φουντάς και Γέμτος, 2015).

Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες (Δαλέζιος, 2015; Παρχαρίδης, 2015; Ποϊραζίδης, κ.α., 2013; Φουντάς και Γέμτος, 2015):

- Αποκατάσταση ή προεπεξεργασία της εικόνας: περιλαμβάνει τις ραδιομετρικές και τις γεωμετρικές διορθώσεις. Με τις ραδιομετρικές διορθώνονται τα δεδομένα, ώστε να απαλειφθούν στρεβλώσεις που οφείλονται σε ανωμαλία του αισθητήρα ή σε ατμοσφαιρικό θόρυβο, έτσι ώστε να αντιπροσωπεύεται με ακρίβεια η ανακλώμενη ή η εκπεμπόμενη ακτινοβολία, που μετριέται από τον αισθητήρα. Οι γεωμετρικές διορθώσεις αποσκοπούν στη διόρθωση παραμορφώσεων λόγω της διαφοράς γεωμετρίας μεταξύ του αισθητήρα και της γης, καθώς και στην μετατροπή του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας (χ, ψ), το οποίο έχει παραμορφώσεις, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (X, Y) χαρτογραφικής προβολής.
- Βελτίωση ή ενίσχυση της εικόνας: στοχεύει στη βελτίωση της εμφάνισης της και περιλαμβάνει την ενίσχυση της αντίθεσης, τη διόρθωση των παραμορφώσεων εξαιτίας των φακών ή τη χρήση φίλτρων για την επιλεκτική πληροφόρηση συγκεκριμένων χωρικών μοτίβων.
- Μετασχηματισμός της εικόνας: έχει παρόμοιες λειτουργίες με αυτές της βελτίωσης, με τη διαφορά ότι σε αυτή τη φάση πραγματοποιείται συνδυασμένη επεξεργασία των δεδομένων από πολλαπλές φασματικές περιοχές σε αντίθεση με την προηγούμενη, η οποία αφορά ένα κανάλι δεδομένων σε κάποια χρονική στιγμή. Οι βασικοί μετασχηματισμοί εικόνας εφαρμόζουν απλές αριθμητικές ενέργειες στα δεδομένα εικόνας, όπως είναι η αφαίρεση εικόνας που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστούν οι αλλαγές που έχουν επέλθει μεταξύ εικόνων που συλλέχτηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες, η διαίρεση εικόνας (φασματικός λόγος) που τονίζει τις ανεπαίσθητες διακυμάνσεις στις φασματικές αποκρίσεις των διαφόρων επιφανειακών καλύψεων ή η δημιουργία πολυπλοκότερων αναλογιών, όπως είναι οι δείκτες βλάστησης. Άλλος μετασχηματισμός είναι η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες, μια τεχνική μετατροπής

δεδομένων με υψηλό βαθμό συσχέτισης σε νέα δεδομένα μη συσχετισμένα.

- Ταξινόμηση και ανάλυση της εικόνας: σκοπεύει στην κατάταξη των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε ομοιογενείς ομάδες. Οι κοινές διαδικασίες ταξινόμησης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, την επιβλεπόμενη ταξινόμηση και την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Στην πρώτη περίπτωση ο αναλυτής εντοπίζει στην εικόνα ομοιογενή αντιπροσωπευτικά δείγματα των τύπων επιφανειακής κάλυψης (κλάσεις πληροφοριών) που τον ενδιαφέρουν, τα οποία αναφέρονται ως χώροι κατάρτισης (training areas) και εκπαιδεύει το λογισμικό στην αναγνώριση των φασματικών τιμών ή υπογραφών που σχετίζονται με τους χώρους κατάρτισης, με τη βοήθεια αλγόριθμων. Στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση το λογισμικό, με τη βοήθεια αλγόριθμου, ομαδοποιεί τυχαία εικονοστοιχεία με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά, δηλαδή με παραπλήσιες τιμές φωτεινότητας. Κατά την ανάλυση διακρίνονται τα φυσικά και ανθρωπογενή στοιχεία που είναι αποτυπωμένα στη δορυφορική εικόνα.

Η επεξεργασία απαιτεί εξειδικευμένα λογισμικά, τα οποία επιτρέπουν το χρήστη να επιλέξει τις ενέργειες του, μέσα από ένα μενού το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αν και είναι διαθέσιμα πολλά ικανά εμπορικά λογισμικά επεξεργασίας εικόνας, μερικά από τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα είναι τα εξής: ERDAS IMAGINE (Hexagon Geospatial), ENVI (Exelis VIS), IDRISI (Clark Labs), Geomatica (PCI Geomatics) κ.ά (Παρχαρίδης, 2015).

1.2.8 ERDAS IMAGINE

Το ERDAS IMAGINE είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται ευρέως στην τηλεπισκόπηση, σε όλο τον κόσμο (Hall, et al., 2004). Ενδεικτικά κάποιες από τις λειτουργίες είναι οι εξής (ERDAS, 2008; Hall, et al., 2004; Leica Geosystems Geospatial Imaging, 2006; Lupia, 2012):



Εικόνα 13: Αρχικό μενού του ERDAS IMAGINE (ERDAS, 2008)

Αρχικό μενού

- Viewer: ανοίγει το παράθυρο εμφάνισης των εικόνων όπου λαμβάνουν χώρα απλές διαδικασίες του προγράμματος.

- **Import:** γίνεται εισαγωγή δεδομένων τα οποία βρίσκονται σε μορφή (.img), ενώ περιέχει διαδικασίες για εξαγωγή δεδομένων σε διάφορες κοινώς χρησιμοποιούμενες μορφές γεωδεδομένων (π.χ. GeoTiff, DGN, GRID, Shapefile).
- **Data Prep:** εφαρμόζει κοινές διαδικασίες του προγράμματος, όπως να δημιουργεί νέες εικόνες, να κόβει εικόνες και να επανεπεξεργάζεται τα δεδομένα.
- **Composer:** χρησιμοποιείται για τη δημιουργία (σύνθεση) χαρτών.
- **Interpreter:** περιέχει λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων για πιο προχωρημένους, όπως ενίσχυση φασματικών και χωρικών πληροφοριών ή τη συνένωση (συγχώνευση) διαφόρων επιπέδων μιας εικόνας σε μία εικόνα.
- **Catalog:** οργανώνει τα δεδομένα και παρέχει απλές πληροφορίες για αυτά.
- **Classifier:** ταξινομεί τα εικονοστοιχεία (pixels), ανάλογα με τις τιμές τους, σε διαφορετικά φασματικά κανάλια (μπάντες).
- **Modeler:** επιτρέπει στο χρήστη να παράγει γραφικά μοντέλα για εξειδικευμένες εργασίες, που πιθανόν δεν είναι διαθέσιμες σε άλλο μενού.
- **Vector:** περιέχει μενού σχετικά με την επεξεργασία διανυσματικών δεδομένων (εικόνων που περιγράφονται γραφικά, δηλ. με μορφή shape ως σχήματα), όπως καθαρισμός και δόμηση διανυσματικών δεδομένων, μετατροπή σε ψηφιακή μορφή (πλέγμα ψηφίδων) κ.α.
- **Radar:** μενού με λειτουργίες που σχετίζονται με ραντάρ.
- **VirtualGIS:** ξεκινά το VGIS viewer – είναι η κύρια οθόνη για 3D απεικόνιση των δεδομένων, ενώ παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει βίντεο.
- **OrthoBASE:** περιέχει εργαλεία για το στήσιμο των παραμέτρων που απαιτούνται ώστε να αποτυπωθεί μια εικόνα σε μορφή στέρεο.
- **Stereo:** περιέχει εργαλεία για την απόδοση μιας εικόνας σε μορφή στέρεο, δηλαδή σε δύο αποτυπώσεις δίπλα η μια στην άλλη, μια για το δεξί μάτι και μια για το αριστερό. Επίσης επιτρέπει την ψηφιοποίηση δεδομένων σε μορφή 3D.

Viewer

Οπτικοποιεί ψηφιακά (raster) και σχηματικά (vector) δεδομένα σε 2D μορφή. Ανάλογα με την έκδοση υπάρχουν τύποι Viewer, π.χ. στην έκδοση Imagine 8.6, οι τύποι 'Classic Viewer' and Geospatial Light Table (GLT).

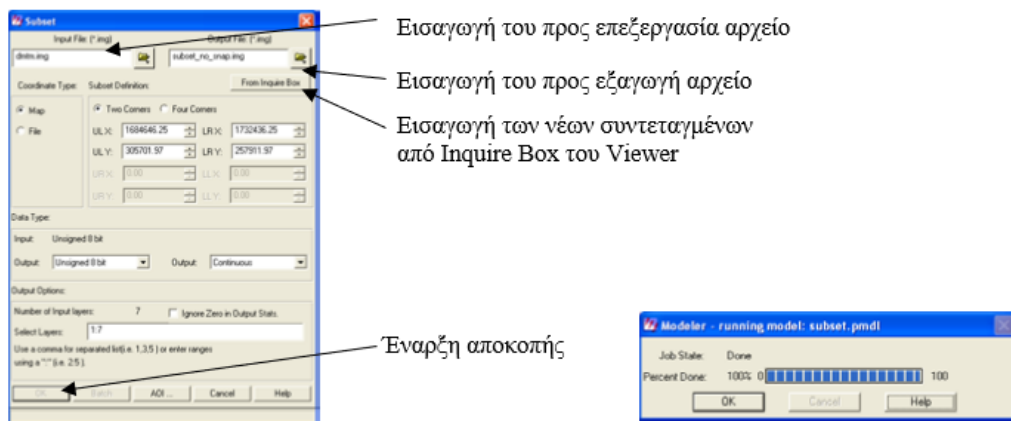
Επίσης για την εικόνα έχει τις εξής λειτουργίες: zoom (μεγέθυνση), roaming (μετακίνηση), rotation (περιστροφή), περιγραφή ιδιοτήτων.

Αλλαγή της εμφάνισης μιας εικόνας

- Contrast Stretching (Βελτίωση/Διεύρυνση της αντίθεσης): Μια πολυφασματική εικόνα συνήθως καταγράφεται σε μορφή 8bit. Ένα pixel παίρνει τιμές από 0-255 (82=256). Εντούτοις πολύ σπάνια μια πληροφορία που καταγράφεται καταλαμβάνει όλο αυτό το εύρος, συνεπώς συνήθως οι εικόνες είναι κάπως σκοτεινές ή φωτεινές. Για να λυθεί αυτό οι τιμές του pixel σε μια μπάντα πρέπει να απλωθούν, ώστε να καταλάβουν όλο το εύρος 0-255.
- Displaying different Bands: Η δορυφορική εικόνα έχει περισσότερες από 3 μπάντες (κανάλια). Η οθόνη του υπολογιστή απεικονίζει μόνο 3 μπάντες (κόκκινο, πράσινο, μπλε), άρα το πολύ 3 μπάντες μπορούν να απεικονιστούν κάθε φορά. Είναι όμως χρήσιμο να εμφανίζονται και άλλες μπάντες, αφού παρέχουν πληροφορίες από άλλα φάσματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Για παράδειγμα η πράσινη βλάστηση αντανακλά έντονα στην περιοχή που αντιστοιχεί στην μπάντα 4 του δορυφόρου Landsat's. Στην εφαρμογή μπορεί να επιλέξουμε να περιλαμβάνονται και άλλες μπάντες κατά την εμφάνιση των δεδομένων.
- Opening a Greyscale Image: Μπορεί να ανοίξει μια ασπρόμαυρη αεροφωτογραφία ή παγχρωματική (ασπρόμαυρη) δορυφορική εικόνα, οι οποίες απεικονίζονται ως διαβαθμίσεις του γκρι.
- Finding a Co-ordinate on the Image: Δίνει τη δυνατότητα να βρεθεί ένα σημείο/εικόνα πληκτρολογώντας τις συντεταγμένες του.
- Making Measurements: Το λειτουργικό IMAGINE επιτρέπει την αλλαγή των μονάδων μέτρησης (π.χ. μέτρα σε εκτάρια).

Αποκοπή μιας εικόνας

- Interpreter → Utilities → Subset

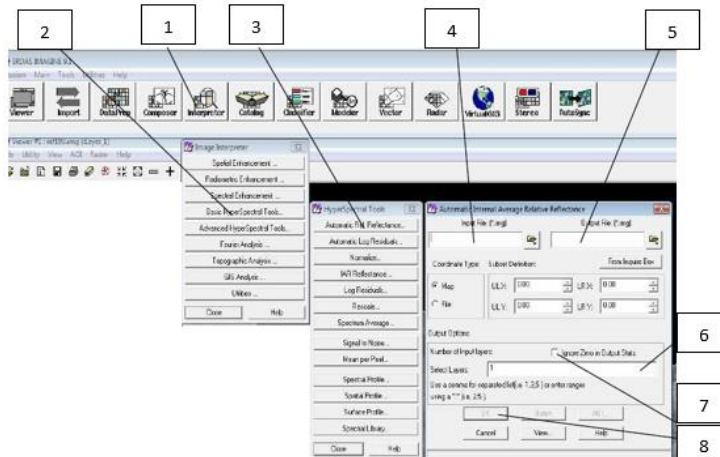


Εισαγωγή του προς επεξεργασία αρχείο
 Εισαγωγή του προς εξαγωγή αρχείο
 Εισαγωγή των νέων συντεταγμένων από Inquire Box του Viewer

Έναρξη αποκοπής

Εικόνα 14: Αποκοπή εικόνας στο ERDAS IMAGINE (ERDAS, 2008)

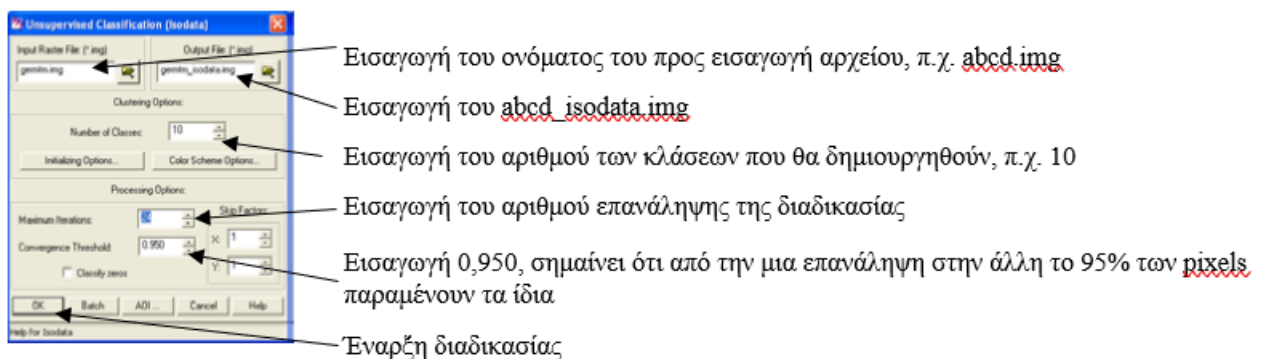
Ραδιομετρική διόρθωση για αλλαγή φωτεινότητας (αντίστροφη ή αντίθετη φωτεινότητα)



Εικόνα 15: Διαδικασία για τη βελτίωση της θολότητας (ως ραδιομετρικής διόρθωσης) στο ERDAS IMAGINE

Ταξινόμηση (μη επιβλεπόμενη)

- Data Preparation → Unsupervised Classification.

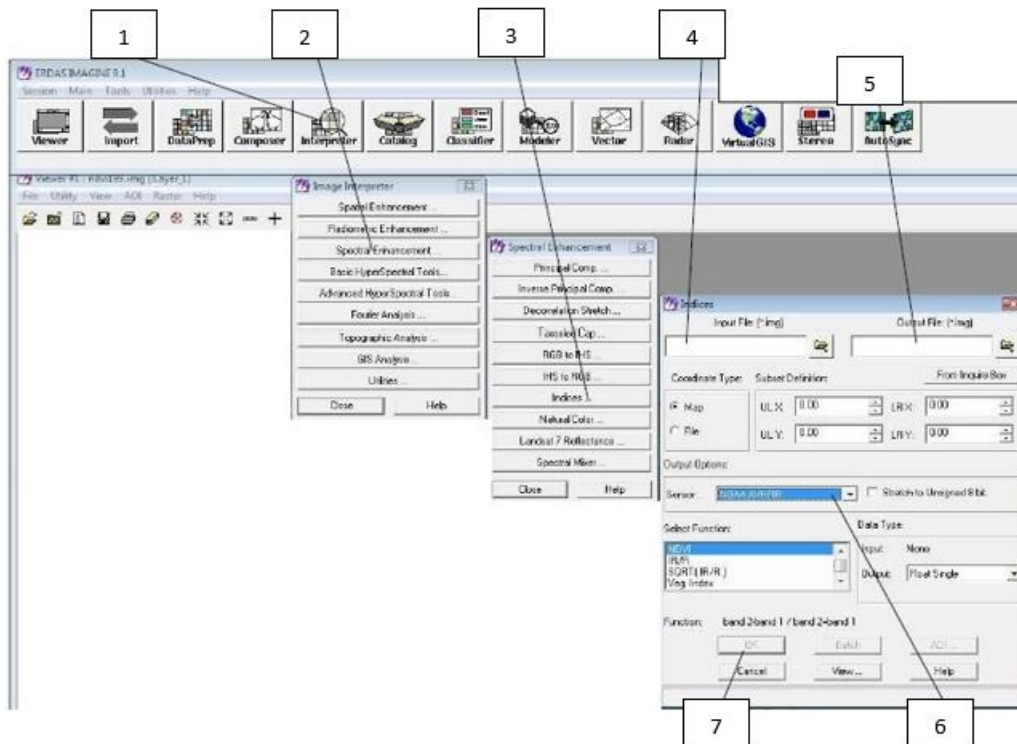


Εισαγωγή του ονόματος του προς εισαγωγή αρχείου, π.χ. abcd.img
 Εισαγωγή του abcd_isodata.img
 Εισαγωγή του αριθμού των κλάσεων που θα δημιουργηθούν, π.χ. 10
 Εισαγωγή του αριθμού επανάληψης της διαδικασίας
 Εισαγωγή 0,950, σημαίνει ότι από την μια επανάληψη στην άλλη το 95% των pixels παραμένουν τα ίδια
 Έναρξη διαδικασίας

Εικόνα 16: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο ERDAS IMAGINE (ERDAS, 2008)

Αυτόματος υπολογισμός του δείκτη NDVI

- Image Interpreter → Spectral Enhancement → Indices → NDVI.



Εικόνα 17: Υπολογισμός του δείκτη NDVI στο ERDAS IMAGINE

1.3 Σκοπός της Πτυχιακής Εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσει και να συγκρίνει τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που συλλέγονται μέσω δορυφόρου με τα αντίστοιχα που προέρχονται από εικόνες που λαμβάνονται από μη επανδρωμένο αερόχημα (UAV). Η σύγκριση αυτή, είναι πιθανό να βοηθήσει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη χρήση των δύο αυτών τεχνολογιών τηλεπισκόπησης στη Γεωργία Ακριβείας, τόσο σε ό,τι αφορά την ποιότητα των δεδομένων, όσο και σε ό,τι αφορά την οικονομικότητα κατά την αξιοποίησή τους.

2 ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Υλικά και μεθοδολογία

Η σύγκριση των τηλεπισκοπικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από το δορυφόρο Sentinel-2 και από μη επανδρωμένο αερόχημα (drone), αφορά δεδομένα που προέρχονται από το νομό Σερρών και συγκεκριμένα από την περιοχή Ηράκλειας. Η έκταση που καλύπτει η εξεταζόμενη περιοχή είναι περίπου 510 εκτάρια, στα οποία υπάρχουν διάφορες εαρινές καλλιέργειες, όπως βαμβάκι, καλαμπόκι, ηλιάνθος κλπ.

Ο δορυφόρος Sentinel-2, που τέθηκε σε τροχιά στις 23 Ιουνίου 2016, χαρακτηρίζεται από συχνή επαναδιέλευση και συνεπώς καταγράφει τη γήινη επιφάνεια με υψηλό ρυθμό επαναληψιμότητας. Παράλληλα είναι εξοπλισμένος με έναν υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικό σαρωτή, με δεκατρία φασματικά κανάλια (μπάντες), που βρίσκονται στο ορατό, στο εγγύς υπέρυθρο και στα μικρά υπέρυθρα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και με εύρος ανοίγματος 290 χιλιόμετρα (Περάκης, κ.α. 2015; Ali, et al., 2017; Escola, et al., 2017). Παρέχει πολυφασματικές εικόνες για την κάλυψη της επιφάνειας της γης, τη χρήση της γήινης επιφάνειας ή τις αλλαγές στη χρήση της. Επίσης χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση βιογεωφυσικών χαρακτηριστικών, όπως είναι οι δείκτες βλάστησης ή η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη ή νερό. Θεωρείται κατάλληλος για την καταγραφή των καλλιεργειών, την καταγραφή φυσικών καταστροφών και την χαρτογράφηση των κινδύνων (Fletcher, 2012).

Το drone που χρησιμοποιήθηκε είναι της Ελβετικής εταιρείας senseFly, μοντέλο eBee SQ και είναι εξοπλισμένο με πολυφασματική κάμερα Parrot Sequoia Plus (Εικ. 18 και Πιν. 1). Οι φωτογραφίες ελήφθησαν από ύψος περίπου 120 m και η χωρική ανάλυση τους σε αυτό το ύψος είναι 13 cm/pixel.



Εικόνα 18: Το αερόχημα eBee SQ και η πολυφασματική κάμερα Parrot Sequoia Plus

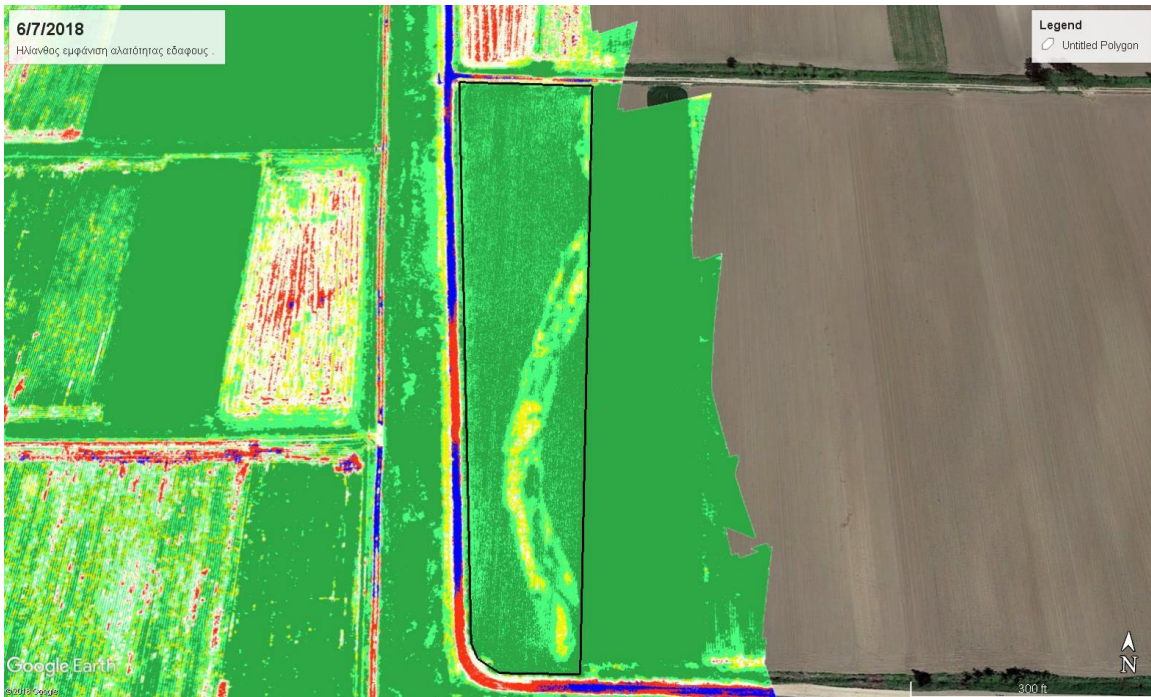
Πίνακας 2: Τεχνικές προδιαγραφές του αεροχήματος eBee SQ και της πολυφασματικής κάμερας Sequoia (Geosense, 2020)

Technical specifications	
Hardware	
Wingspan	110 cm (43.3 in)
Weight	1.1 kg (2.42 lb)
Motor	Low-noise, brushless, electric
Radio link range	3 km nominal (up to 8 km) / 1.86 mi (up to 4.97 mi)
Detachable wings	Yes
Sensor (supplied)	Parrot Sequoia
Software	
Flight planning and control software (supplied)	eMotion Ag
Image processing software (optional)	Pix4Dmapper Pro/Ag
Operation	
Automatic 3D flight planning	Yes
Cruise speed	40-110 km/h (11-30 m/s or 25-68 mph)
Wind resistance	Up to 45 km/h (12 m/s or 28 mph)
Maximum flight time	55 minutes
Automatic landing	Linear landing with ~ 5 m (16.4 ft) accuracy
Ground control points (GCPs)	Optional
Hand launch (no catapult required)	Yes
Results	

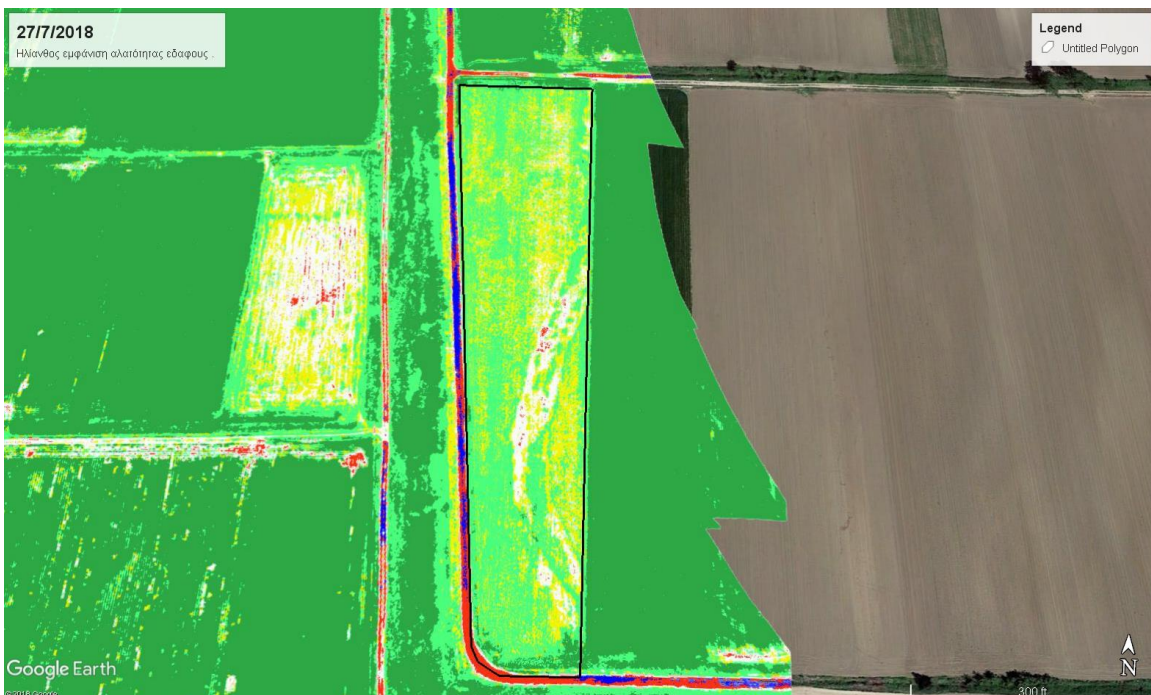
Nominal coverage at 120 m (400 ft)	200 ha (~ 500 ac)
GSD multispectral	12 cm/px (4.72 in/px)
GSD RGB	3.1 cm/px (1.22 in/px)
Maximum coverage at 2000 m (6.00 ft)	3,000 ha (~ 7,400 ac)
GSD multispectral	2 m/px (6.56 ft/px)
GSD RGB	55 cm/px (21.65 in/px)
Sequoia	
Main body	Sunshine sensor
Four 1.2 MP spectral cameras	4 spectral sensors (same filters as body)
Up to 1 fps	GPS
One 16 MP RGB camera w/rolling shutter	IMU and magnetometer
64 GB built-in storage	SD card
IMU and magnetometer	1 W
5W (~ 12 W peak)	35 g (1.2 oz)
72 g (2.5 oz)	

Στην εξεταζόμενη περιοχή συγκρίθηκαν οι τιμές του δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) για συγκεκριμένα εικονοστοιχεία (pixels) και για συγκεκριμένες περιοχές. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν τυχαία δεκαπέντε σημεία (που αντιστοιχούν στα εικονοστοιχεία που μελετήθηκαν) και με τυχαίο τρόπο σχηματίστηκαν τέσσερα πολύγωνα. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα συλλέχθηκαν σε πέντε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (8-12/6/2018, 3-6/7/2018, 27-28/7/2018, 31/8-1/9/2018, 1-3/10/2018) και η απόσταση των λήψεων μεταξύ του δορυφόρου και του ΣμηΕΑ δεν απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από 4 ημέρες (Εικ. 19, 20). Τα διαστήματα αυτά θα αναφέρονται ως παρατηρήσεις 1, 2, 3, 4, 5 αντίστοιχα. Αρχικά οριοθετήθηκε η περιοχή, συλλέχθηκαν τα δεδομένα από το δορυφόρο Sentinel-2 και υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI για την περιοχή, για τα επιλεγμένα σημεία και για τα

πολύγωνα. Ακολούθως υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI για τα ίδια σημεία στα δεδομένα που προέρχονται από τις αεροφωτογραφίες του drone. Η επεξεργασία των αεροφωτογραφιών πραγματοποιήθηκε από το λογισμικό Pix4D Fields. Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή QGIS.



Εικόνα 19: Αεροφωτογραφία κατά τη δεύτερη λήψη μετά την επεξεργασία



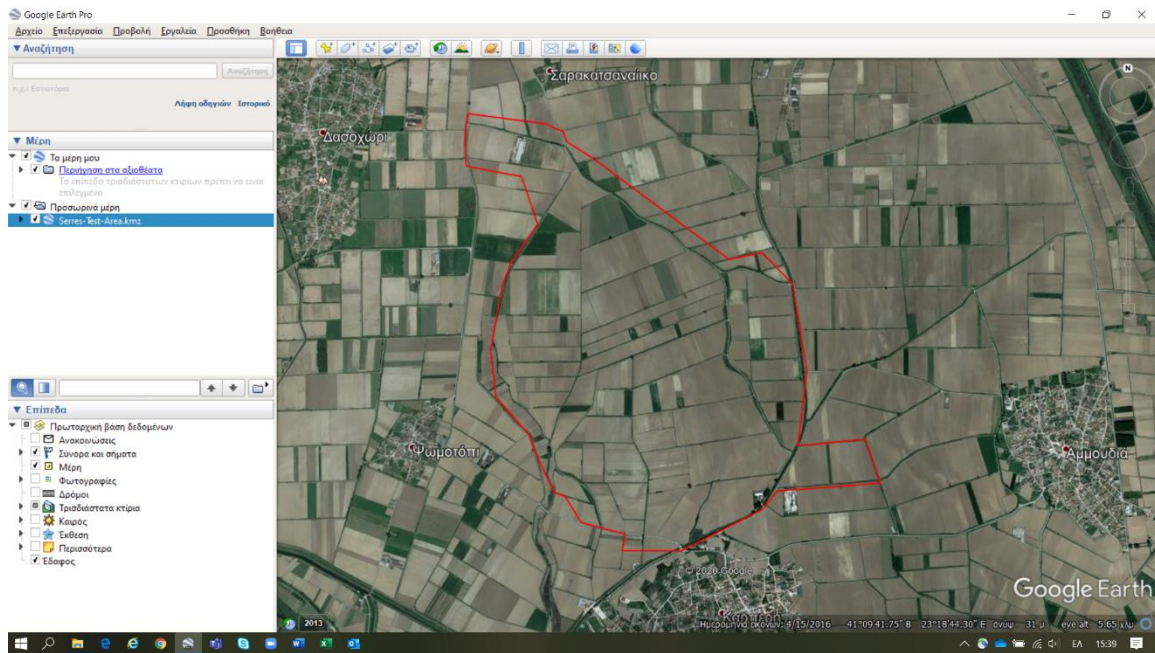
Εικόνα 20: Αεροφωτογραφία κατά την τρίτη λήψη μετά την επεξεργασία

Υπάρχουν δύο τρόποι σύγκρισης των δεδομένων. Ο πρώτος είναι να γίνει μετατροπή της χωρικής ανάλυσης των αεροφωτογραφιών του drone στην ανάλυση των εικόνων του δορυφόρου (resample), δηλαδή από τα 13 cm/pixel στα 10 m/pixel. Ο δεύτερος τρόπος είναι να επιχειρηθεί η σύγκριση διατηρώντας τις χωρικές αναλύσεις των δύο τεχνολογιών στην αρχική τους τιμή. Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε ο δεύτερος τρόπος, προκειμένου να αποτυπωθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι όποιες διαφορές προκύπτουν μεταξύ των δύο συστημάτων τηλεπισκόπησης, για να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα στις πραγματικές συνθήκες εφαρμογής τους και για την καταλληλότητα της χρήσης τους αναλόγως των συνθηκών.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με το στατιστικό πακέτο MINITAB και στις συγκρίσεις χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης διασπορών (ANOVA), αφού προηγουμένως ελέγχθηκαν και επιβεβαιώθηκαν οι προϋποθέσεις εφαρμογής της (μη συσχέτιση των σφαλμάτων, που ισοδυναμεί με ανεξαρτησία των σφαλμάτων αν τα σφάλματα έχουν κανονική κατανομή, κανονικότητα των σφαλμάτων, ομοσκεδαστικότητα των σφαλμάτων και απουσία αλληλεπίδρασης).

2.2 Δημιουργία του NDVI για τα δορυφορικά δεδομένα

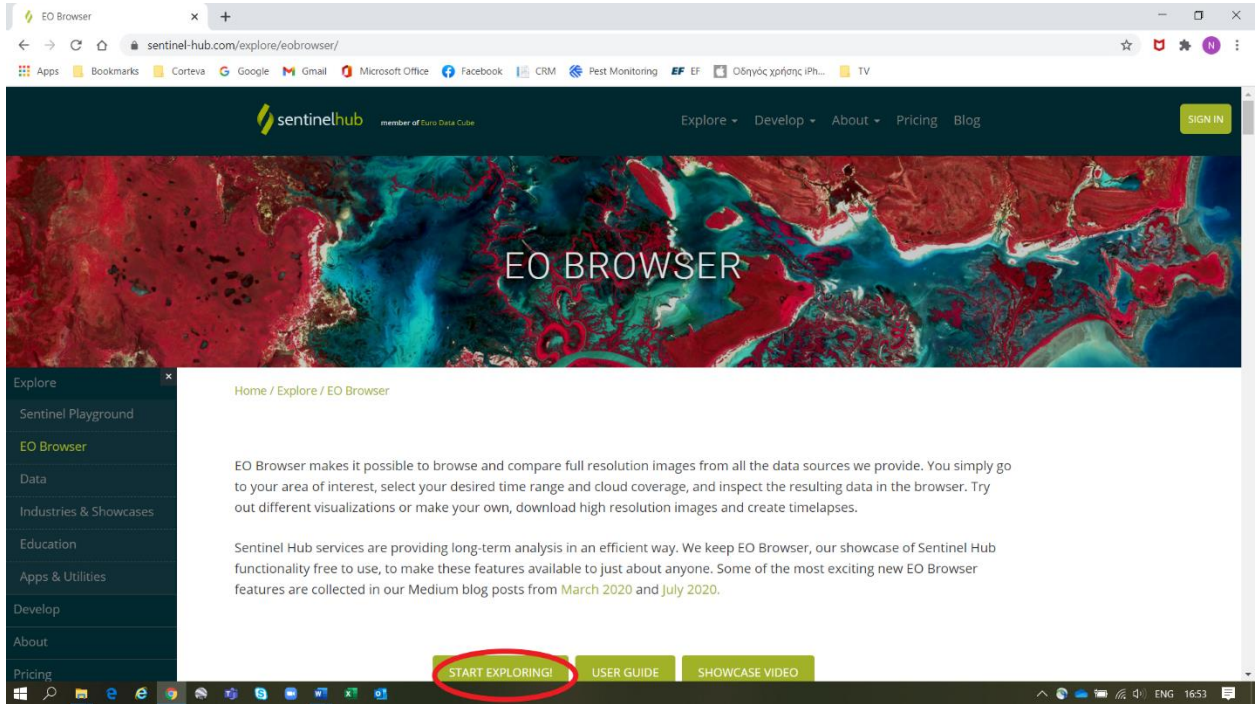
Τα όρια της εξεταζόμενης περιοχής ορίστηκαν στην εφαρμογή Google Earth και αποθηκεύτηκαν σε μορφή kml (Εικ. 21). Στην εφαρμογή Google Earth και από την μπάρα εργαλείων επιλέγεται το εργαλείο πολύγωνο. Οριοθετείται η περιοχή και αποθηκεύεται σε μορφή kml (επιλέγεται η περιοχή και με δεξί κλικ επιλέγεται αποθήκευση μέρους ως...).



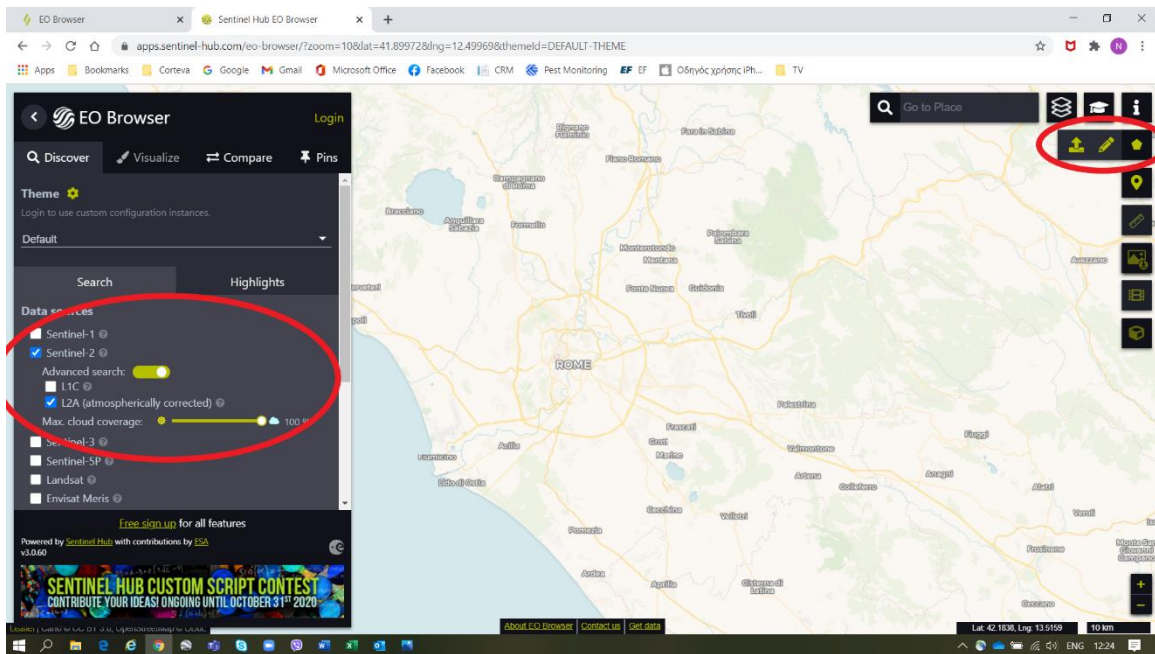
Εικόνα 21: Οριοθέτηση εξεταζόμενης περιοχής

Στην δωρεάν εφαρμογή του Sentinel (apps.sentinel-hub.com) «υποδεικνύεται» στο δορυφόρο ο τόπος και ο χρόνος για τον οποίο χρειάζονται τα δεδομένα, δηλαδή απαντώνται στα ερωτήματα που και πότε. Έτσι επιλέγεται ο Sentinel-2 και L2A και εισάγεται το αρχείο km1 της εξεταζόμενης περιοχής, ώστε να υποδείξω την περιοχή αναζήτησης του αρχείου δορυφόρου. Έπειτα εισάγεται η ημερομηνία για την οποία εξετάζονται τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης περιοχής. Στην ίδια εφαρμογή επιλέγεται το Visualization και ο δείκτης NDVI. Επίσης για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέγονται τα δύο φασματικά κανάλια (μπάντες) B04 (665 nm) και B08 (842 nm), δηλαδή το RED και το NEAR INFRARED και λαμβάνονται τρία αρχεία σε μορφή tiff (Εικ. 29), τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη. Η διαδικασία περιγράφεται στις εικόνες 22-29. Η χωρική ανάλυση του Sentinel-2 είναι 10 m, δηλαδή κάθε pixel της εικόνας έχει διαστάσεις 10x10m. Παρακάτω ακολουθεί μια πιο αναλυτική περιγραφή της δημιουργίας του δείκτη και του υπολογισμού των τιμών του για δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά το πρώτο χρονικό διάστημα που εξετάστηκε. Με την ίδια διαδικασία δημιουργούνται και υπολογίζονται οι δείκτες για τις υπόλοιπες ημερομηνίες.

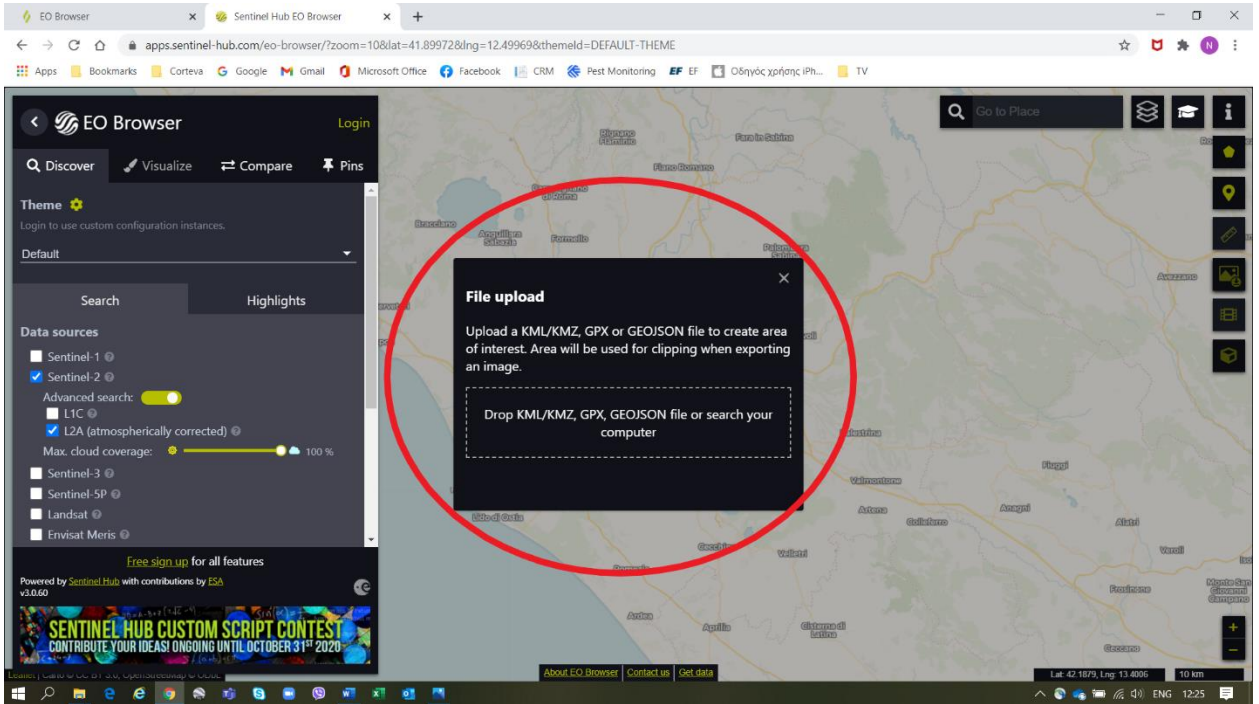
Σύγκριση τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel-2 & UAV



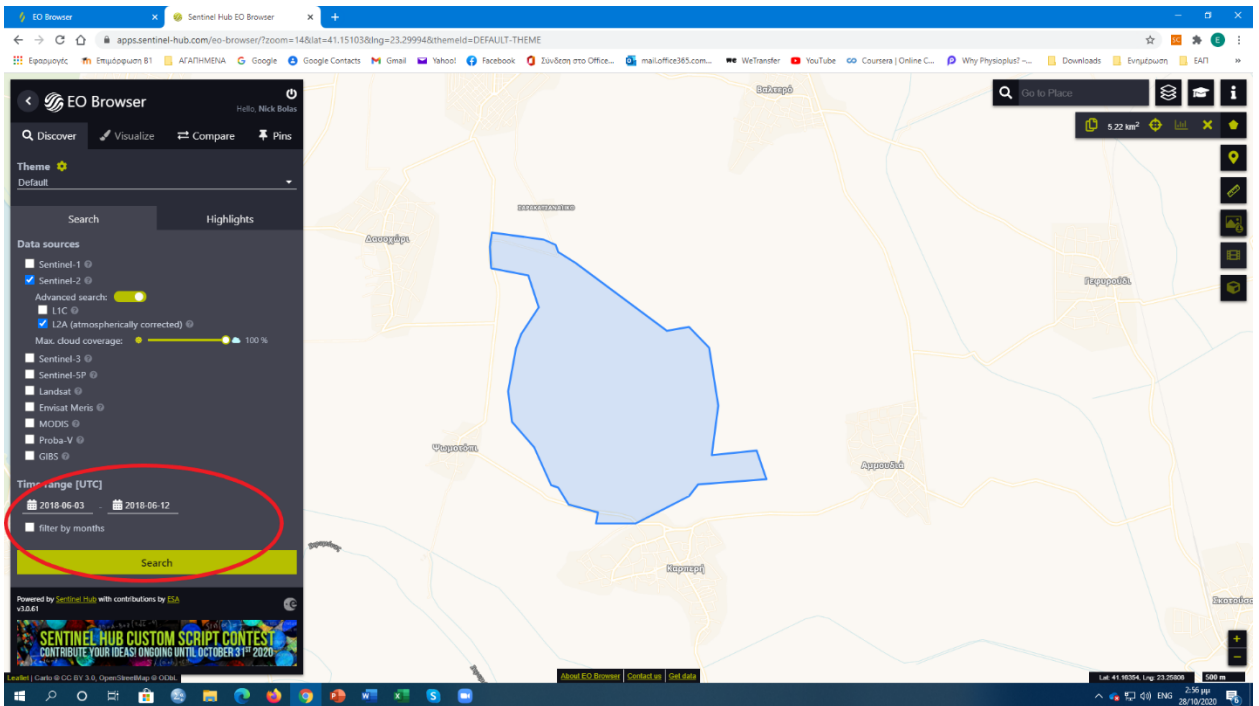
Εικόνα 22



Εικόνα 23

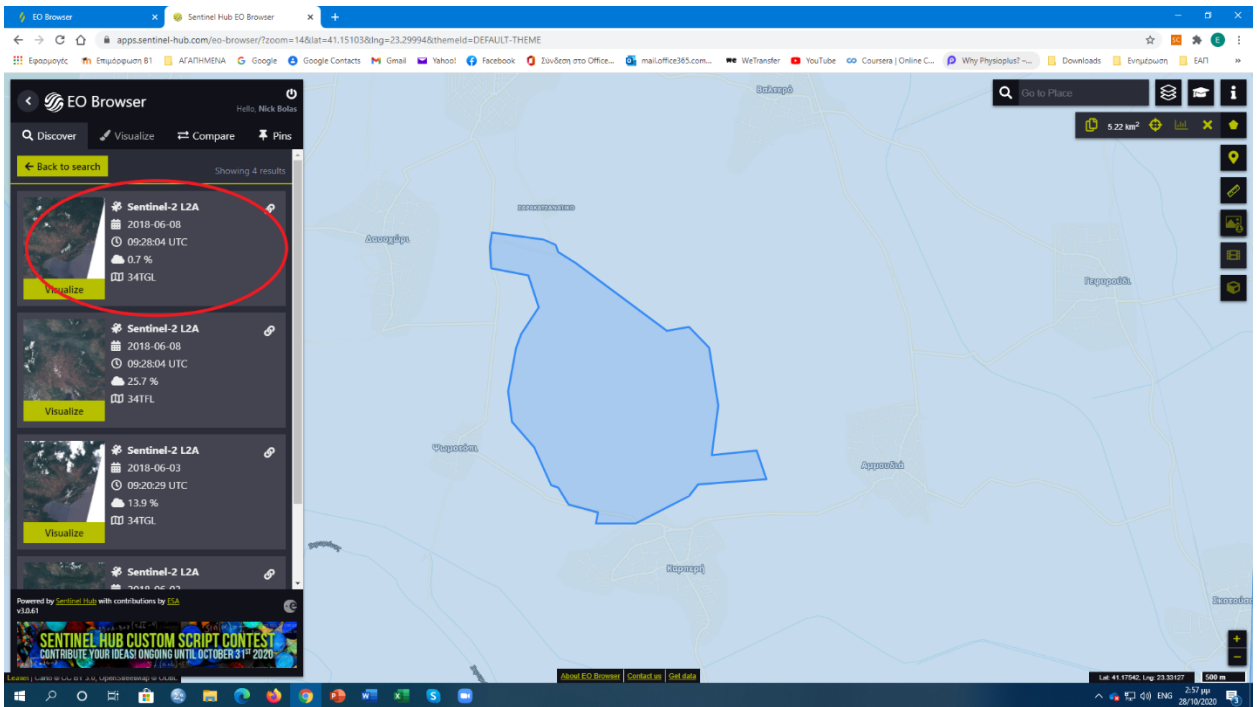


Εικόνα 24

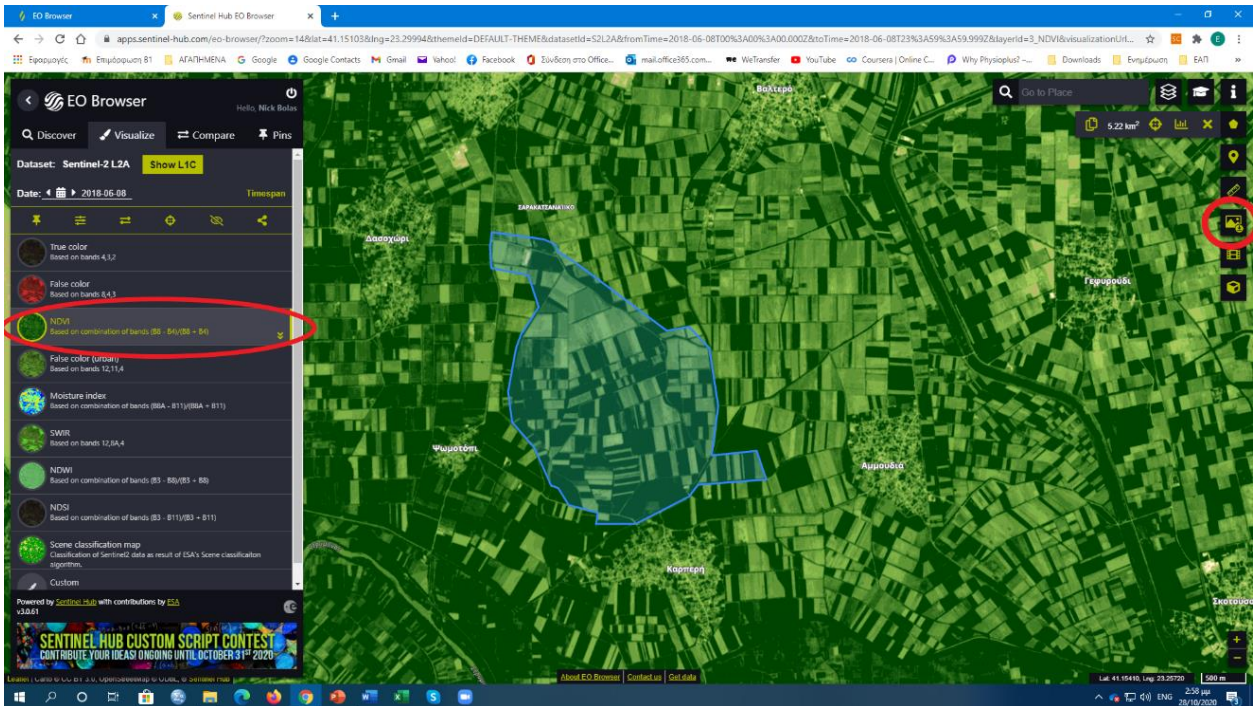


Εικόνα 25

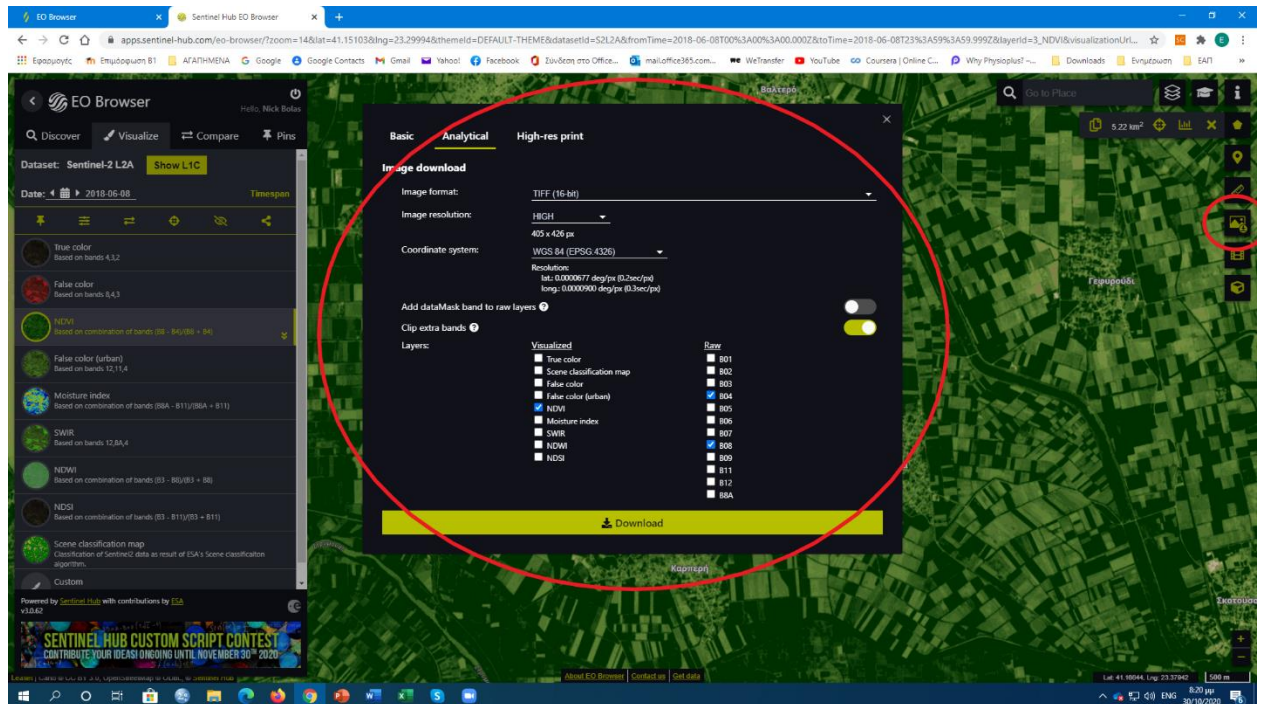
Σύγκριση τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel-2 & UAV



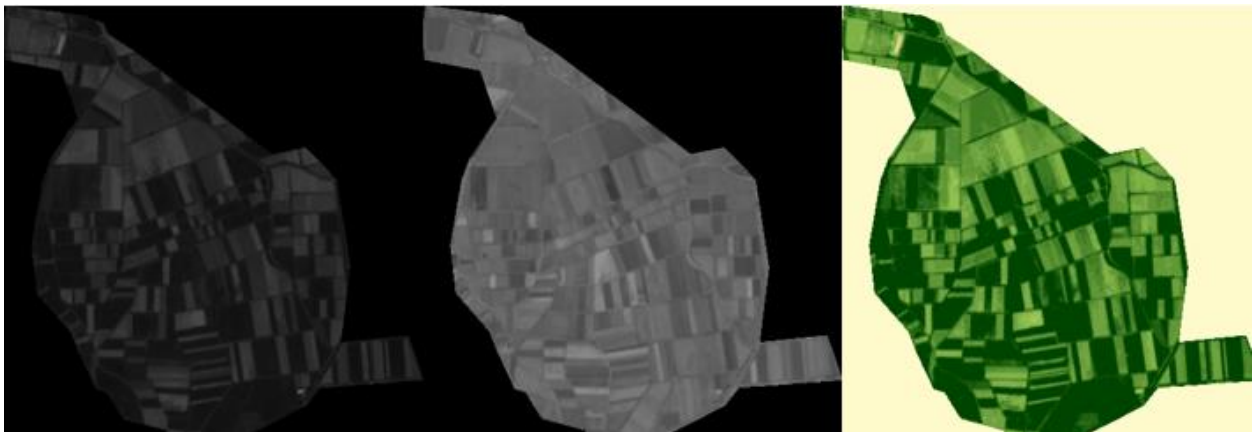
Εικόνα 26



Εικόνα 27



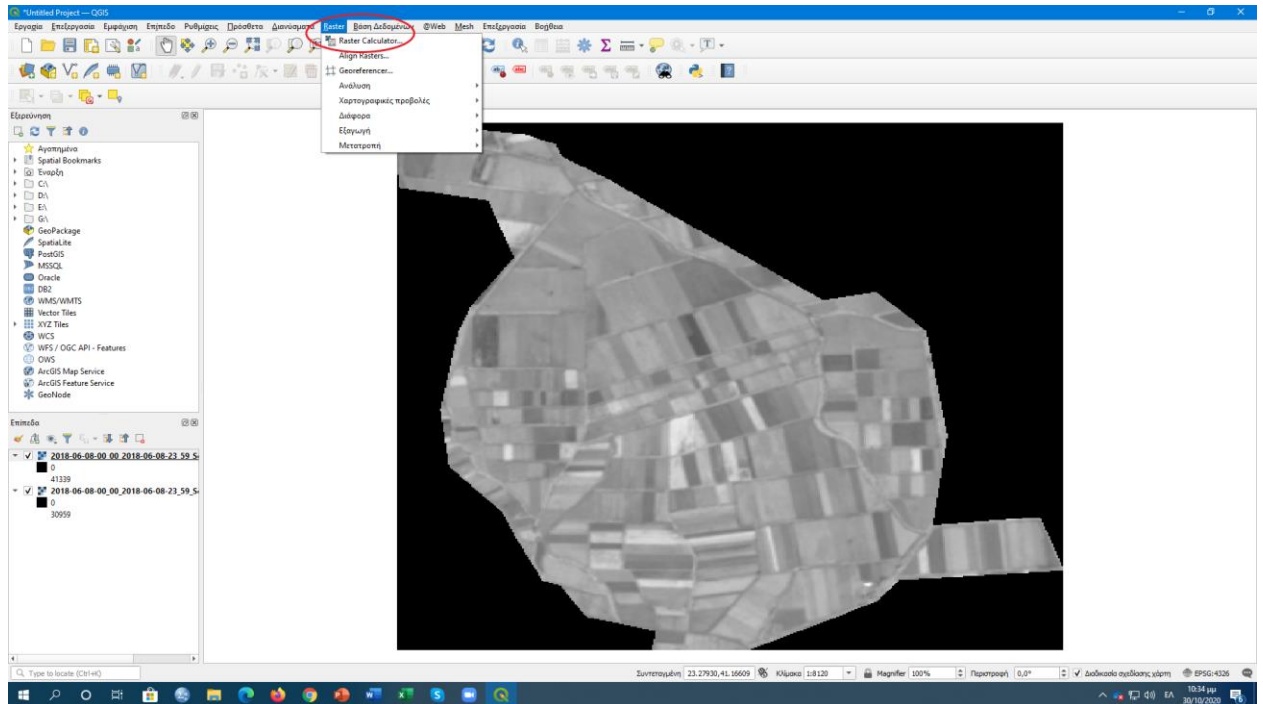
Εικόνα 28



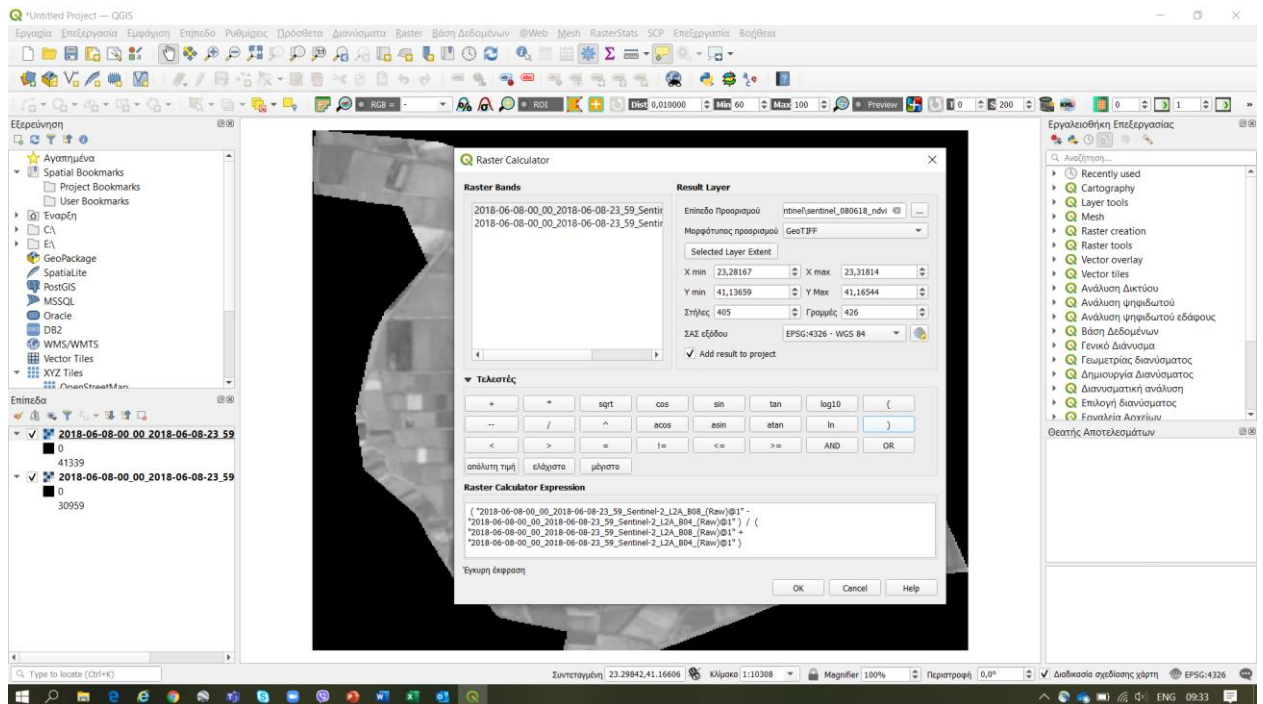
Εικόνα 29: Τα αρχεία tiff που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τιμών του NDVI. Από αριστερά προς τα δεξιά Sentinel-2_L2A_B04_(Raw), Sentinel-2_L2A_B08_(Raw) και Sentinel-2 L2A_NDVI

Προκειμένου να δημιουργηθεί το αρχείο του δείκτη NDVI και να υπολογιστούν οι τιμές του, χρησιμοποιείται η εφαρμογή QGIS. Εισάγονται τα δύο πρώτα αρχεία tiff της εικόνας 29. Προκύπτει η παρακάτω εικόνα 30 στην οποία επιλέγεται το Raster Calculator (Εικ. 31). Επιλέγεται το επίπεδο προορισμού για το αρχείο που θα προκύψει, το οποίο ονομάζεται ως sentinel_080618_ndvi και στο πλαίσιο εφαρμόζεται το τυπολόγιο παραγωγής του δείκτη NDVI, δηλαδή $(NIR-RED)/(NIR+RED)$. Προκύπτει το αρχείο NDVI σε μορφή tiff, το οποίο αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών NDVI των σημείων και των πολυγώνων για τη συγκεκριμένη

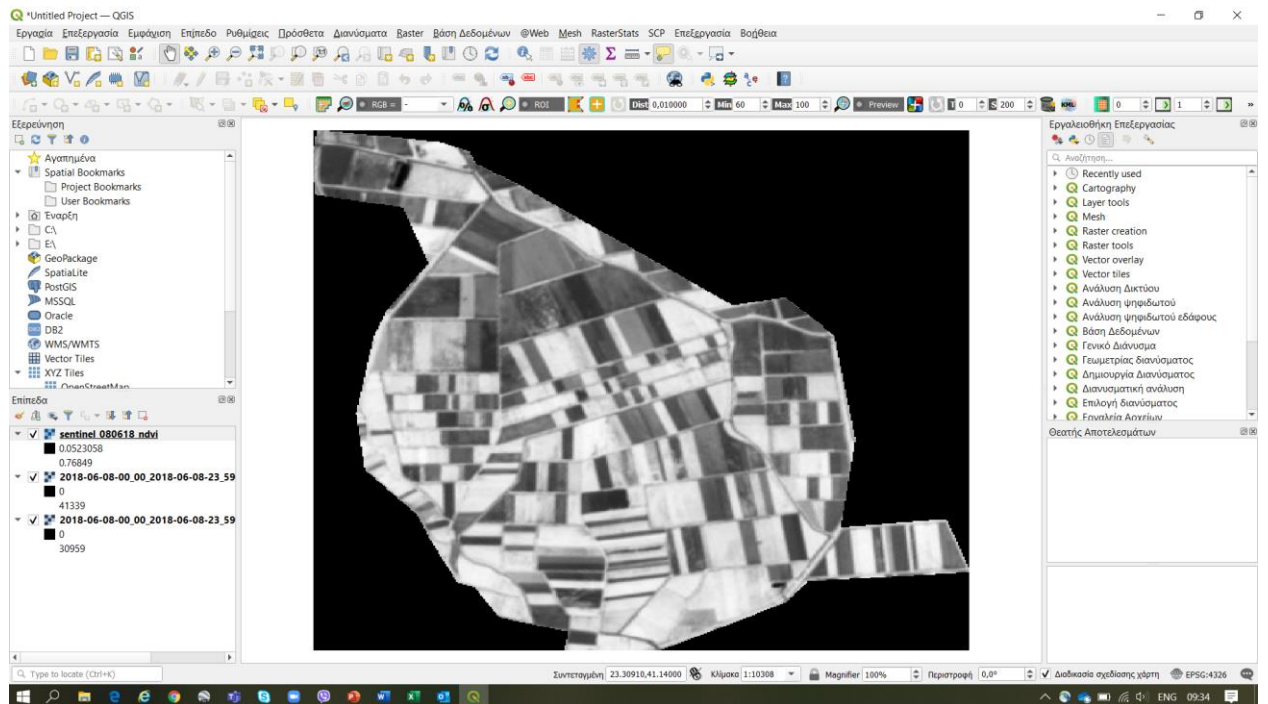
ημερομηνία. Παράλληλα από την εφαρμογή QGIS μπορεί να υπολογιστούν τα στατιστικά δεδομένα για τη εξεταζόμενη περιοχή, κάνοντας διπλό κλικ στο αρχείο sentinel_08062018.ndvi που δημιουργήθηκε (Εικ. 32), π.χ. το εύρος των τιμών του NDVI είναι 0,0523058-0,76849. Η διαδικασία περιγράφεται στις εικόνες 30-33.



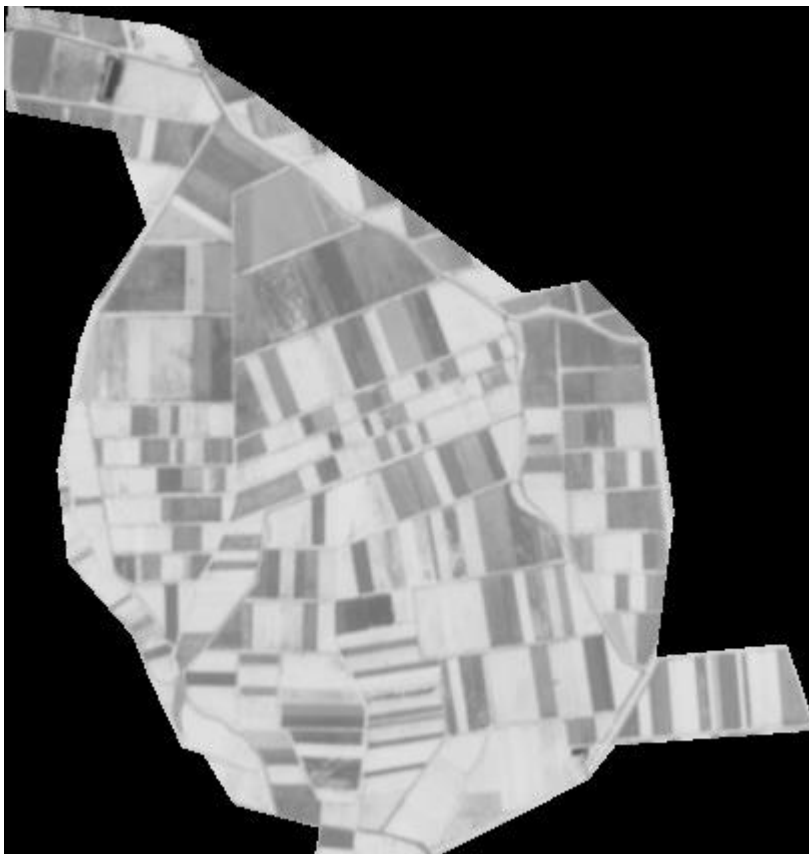
Εικόνα 30



Εικόνα 31



Εικόνα. 32



Εικόνα. 33

2.3 Δημιουργία του NDVI για τις εικόνες της πολυφασματικής κάμερας

Η επεξεργασία των εικόνων που ελήφθησαν από την κάμερα του αεροχήματος για τη δημιουργία του δείκτη NDVI έγινε με το λογισμικό της Pix4D Fields και η ακριβής επικόλληση τους για τη δημιουργία του αντίστοιχου αρχείου επιτεύχθηκε με το φωτογραμμετρικό λογισμικό του. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία της εταιρίας GeoSense. Το παραγόμενο αρχείο που είναι σε μορφή tiff χρησιμοποιείται στην εφαρμογή QGIS, στην οποία μόλις εισαχθεί φαίνεται το εύρος των τιμών NDVI που περιλαμβάνει. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στις εικόνες 34-40.



Εικόνα 34



Εικόνα 35



Εικόνα 36



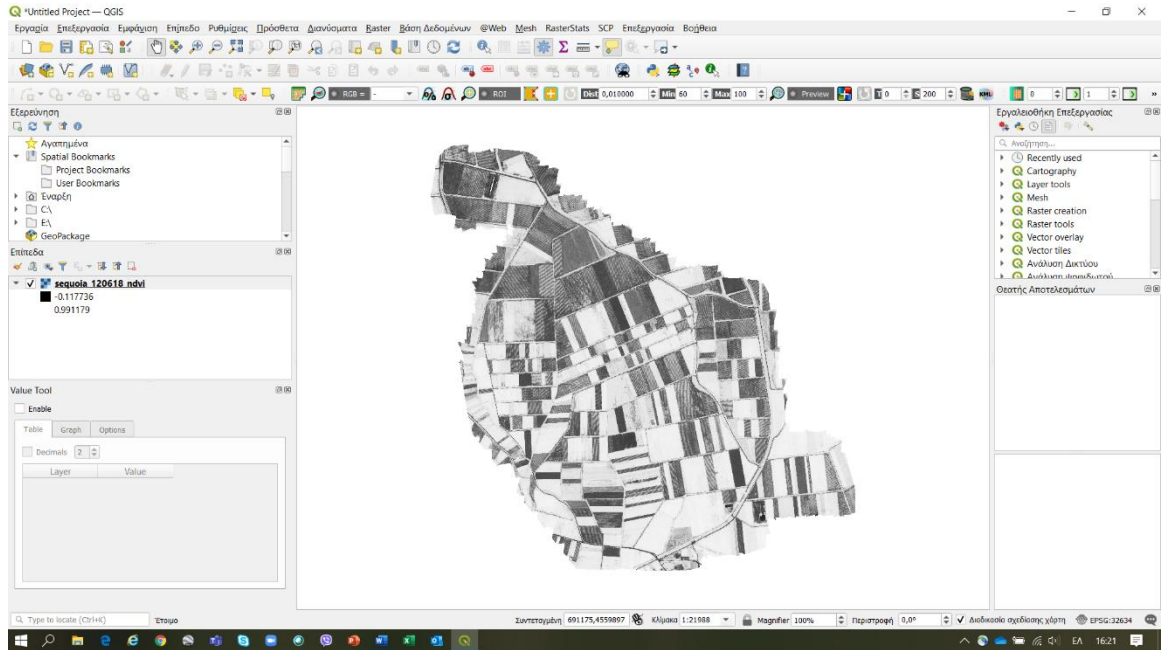
Εικόνα 37



Εικόνα 38



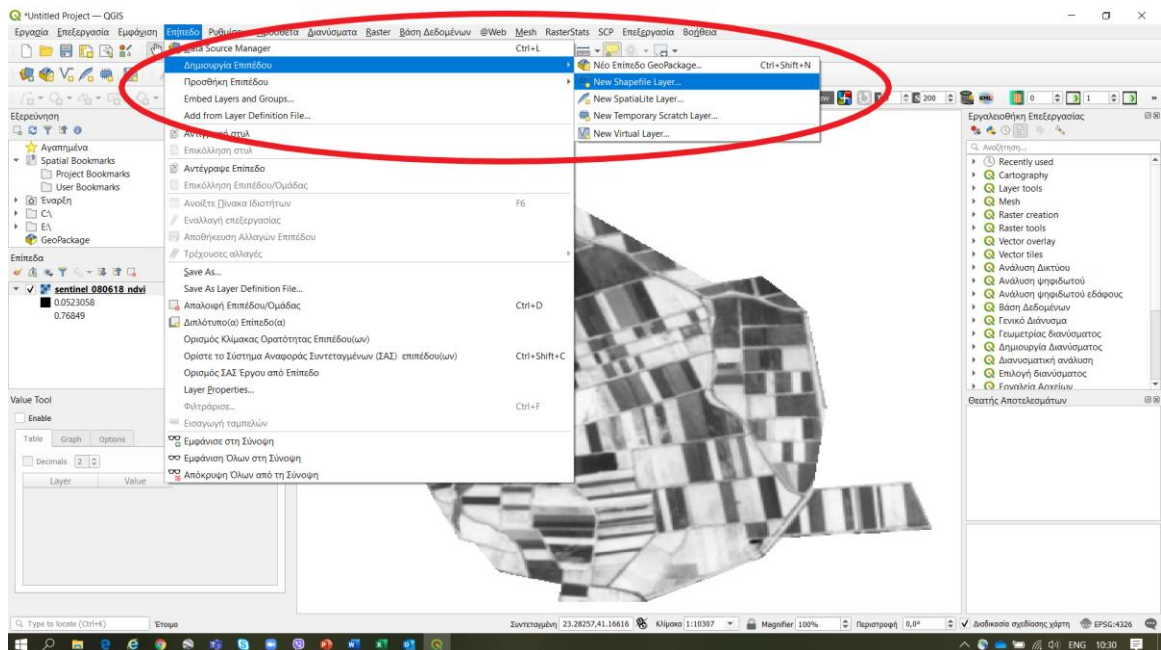
Εικόνα 39



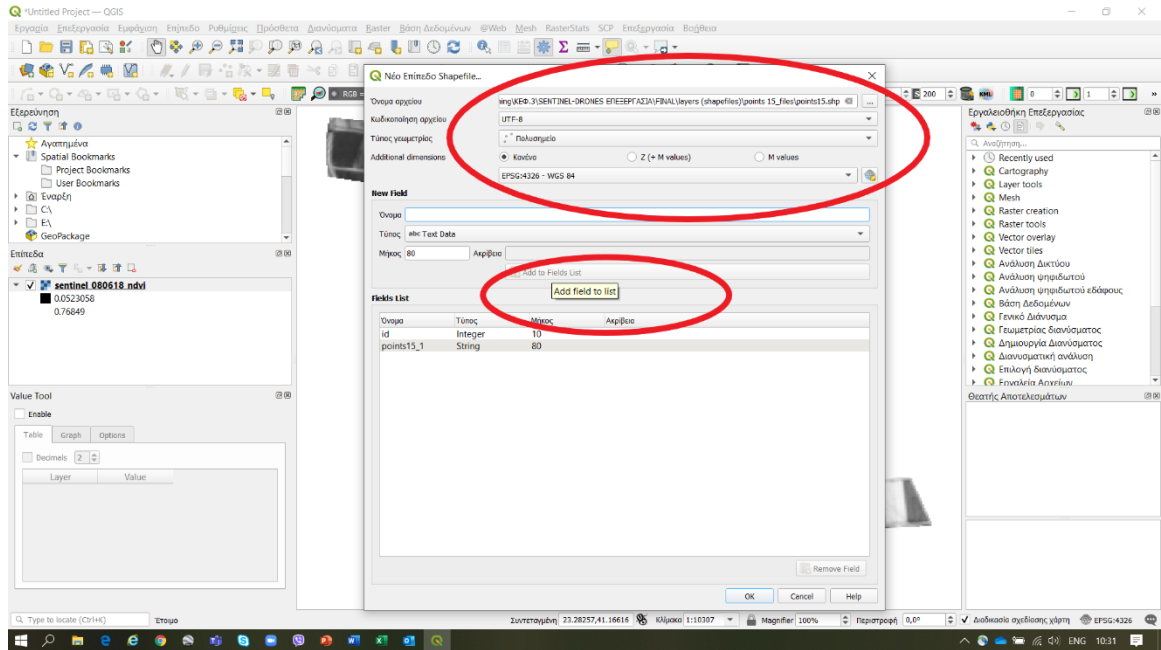
Εικόνα 40

2.4 Υπολογισμός των τιμών NDVI για τα εικονοστοιχεία (pixels)

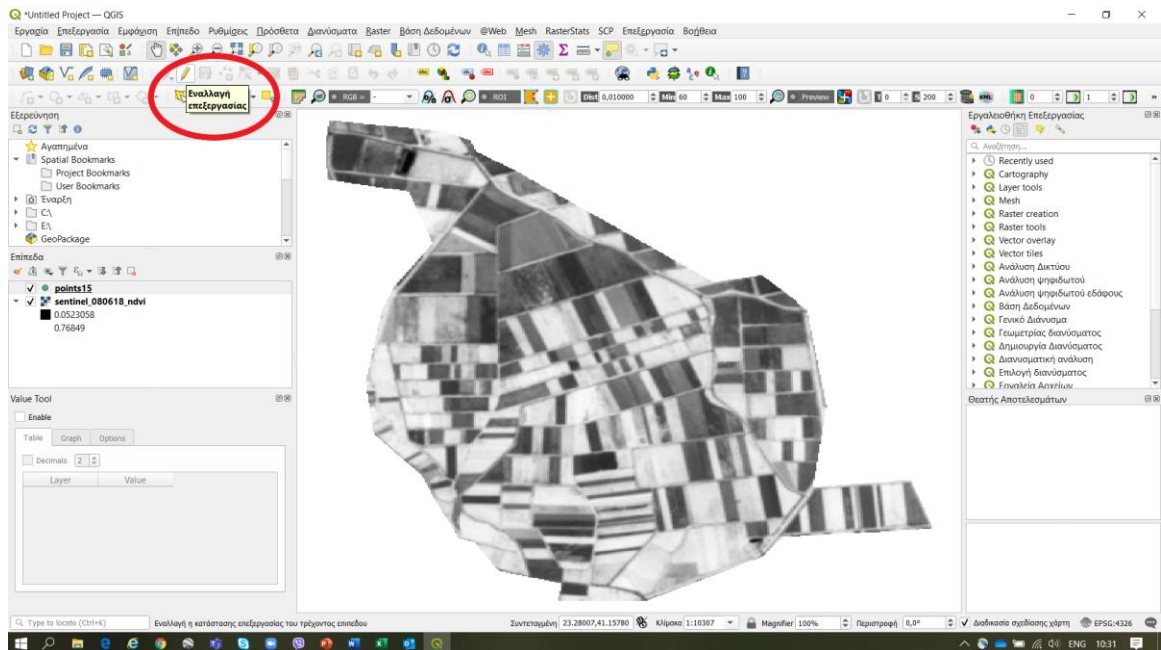
Προκειμένου να δημιουργηθούν τα 15 σημεία στην υπό εξέταση περιοχή, εισάγεται το αρχείο NDVI που δημιουργήθηκε από το Sentinel-2 στο QGIS και δημιουργούνται 15 επίπεδα (διανύσματα), όπως φαίνεται στις εικόνες 41-46.



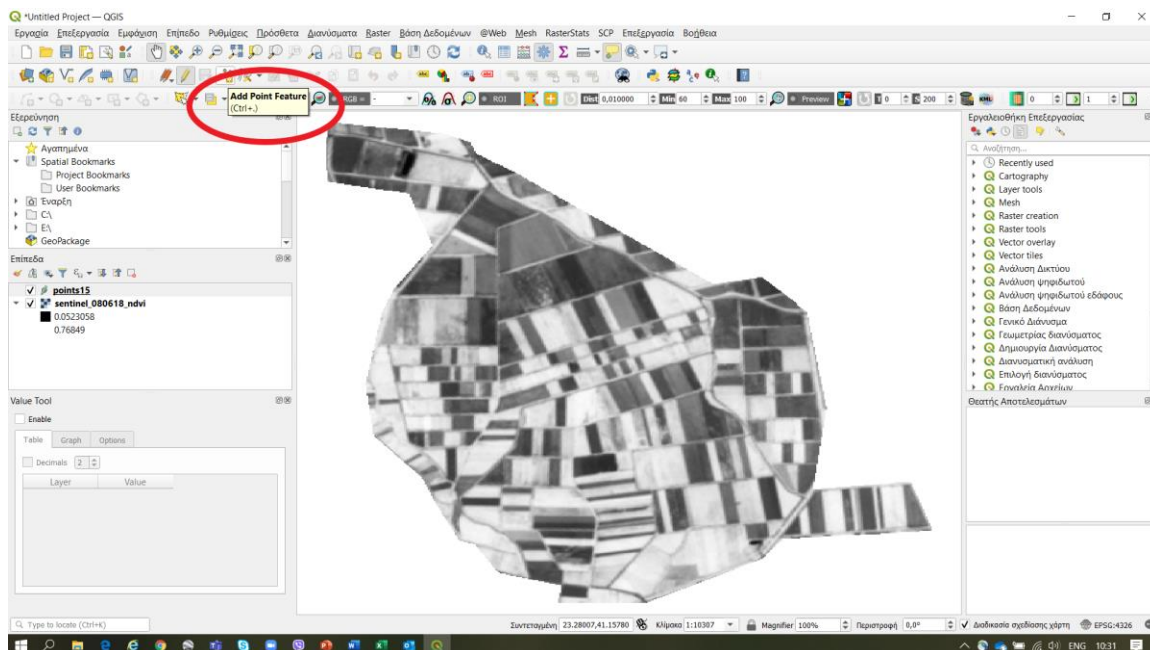
Εικόνα 41



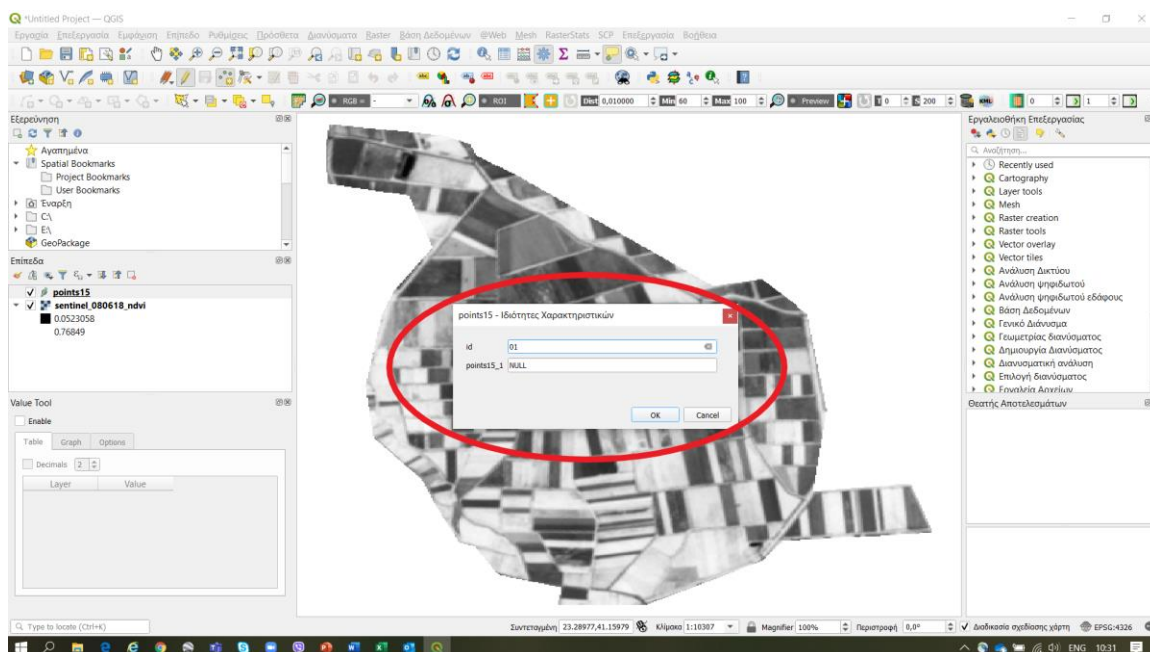
Εικόνα 42



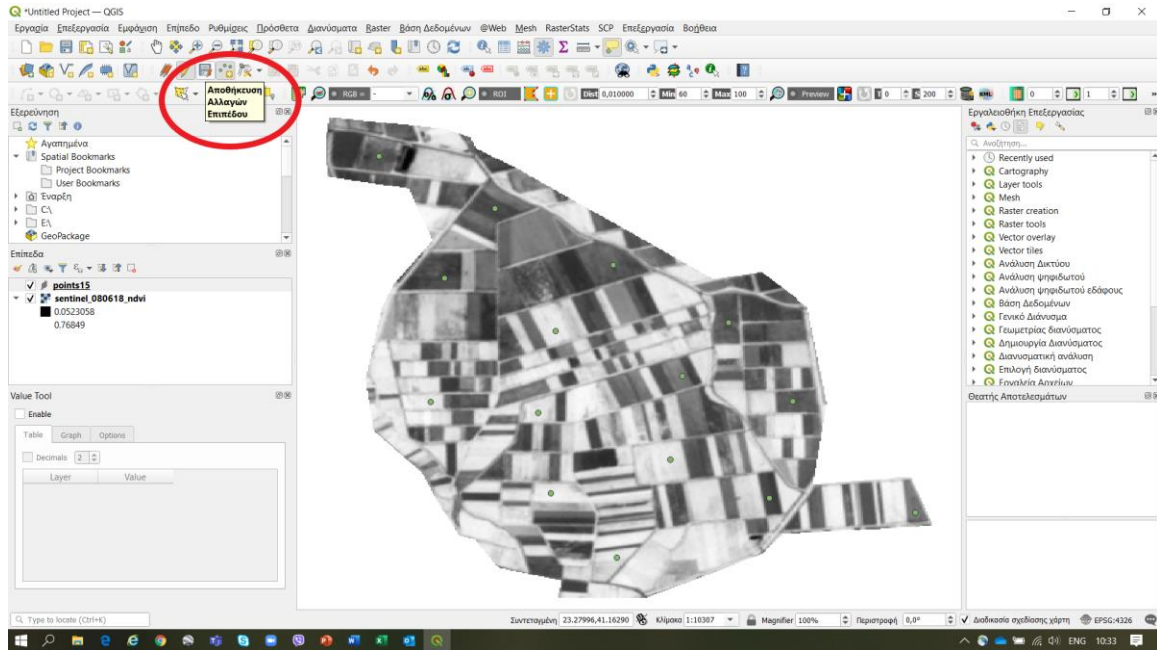
Εικόνα 43



Εικόνα 44

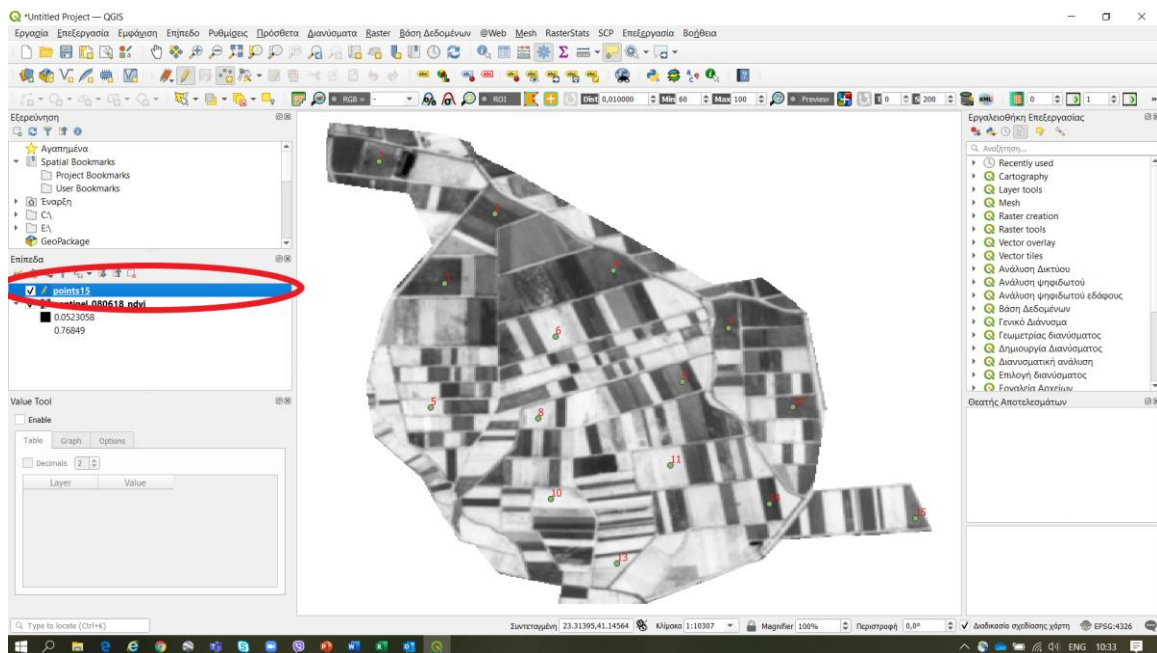


Εικόνα 45

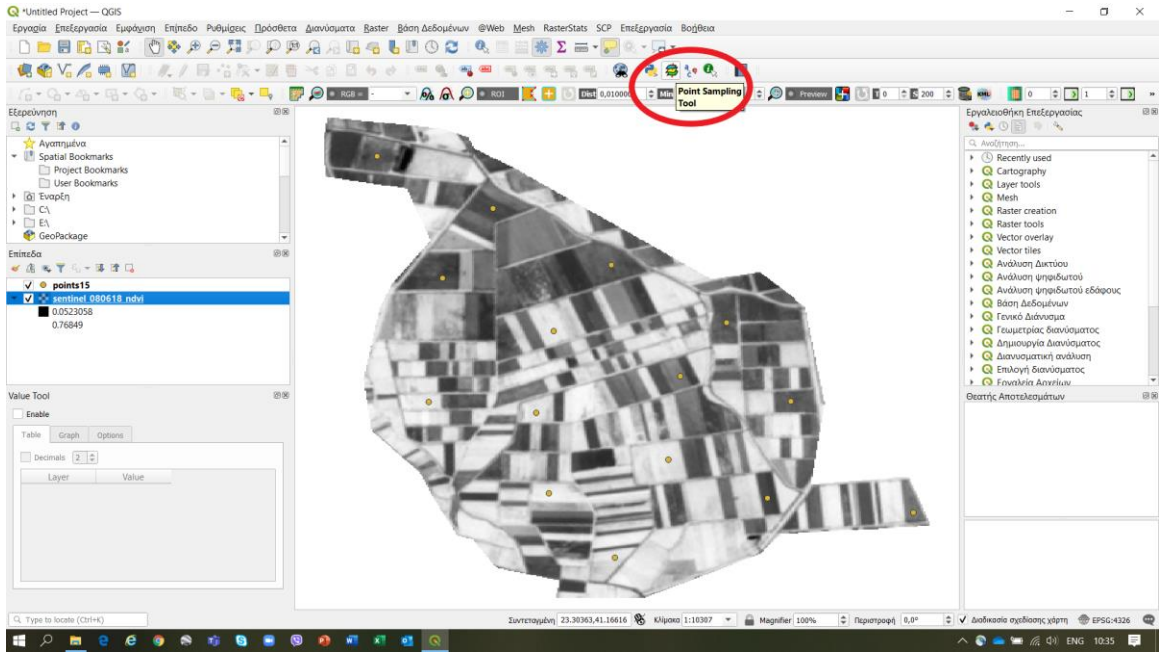


Εικόνα 46

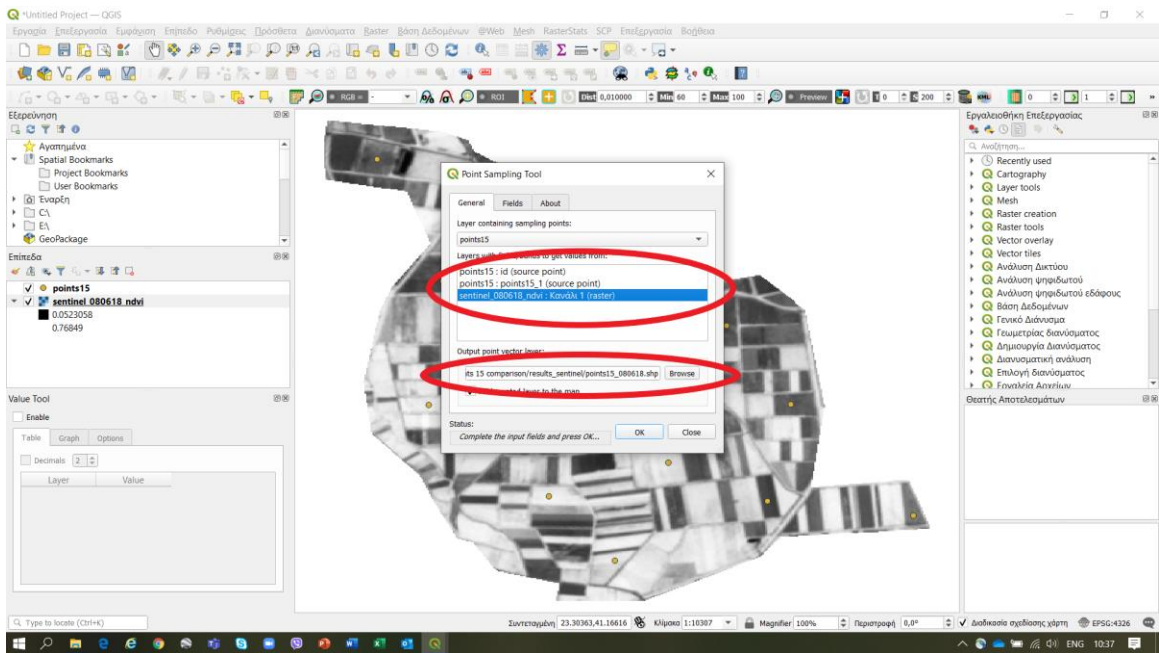
Αφού δημιουργηθεί το επίπεδο των 15 σημείων πρέπει να υπολογιστούν οι τιμές του NDVI που αντιστοιχεί στο καθένα. Αυτό γίνεται με τη διαδικασία που περιγράφεται στις εικόνες 47-52. Στο τέλος λαμβάνεται ένα αρχείο csv, το οποίο έχει τις τιμές του δείκτη NDVI για κάθε σημείο και για τη συγκεκριμένη ημερομηνία λήψης δεδομένων από το Sentinel-2. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις ημερομηνίες.



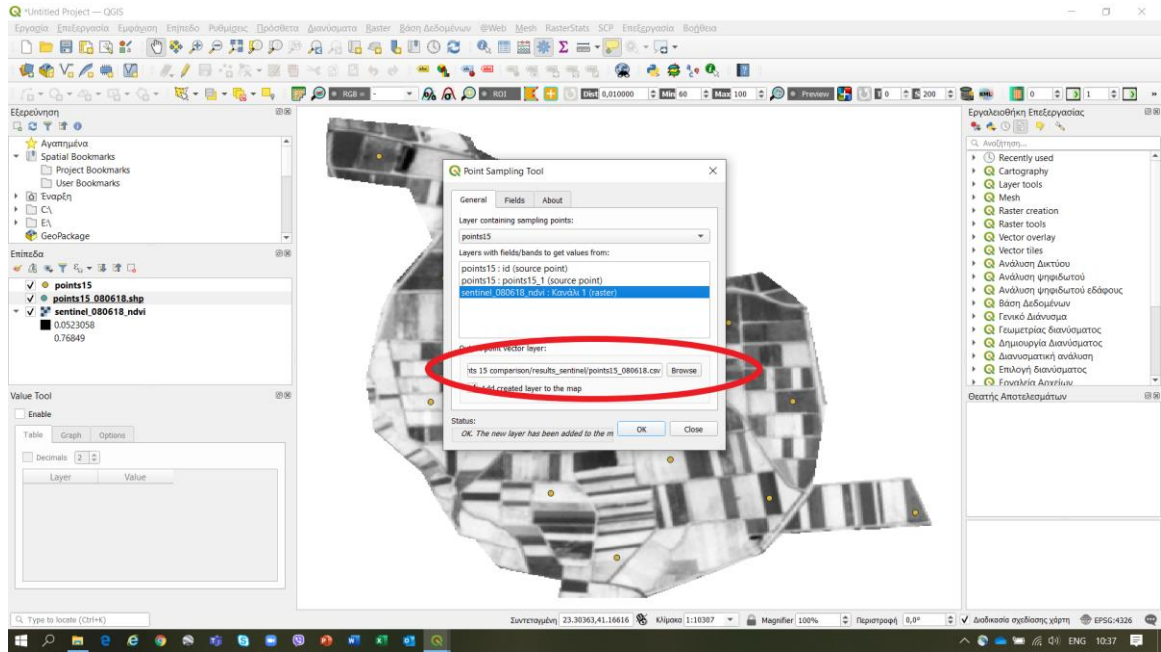
Εικόνα 47



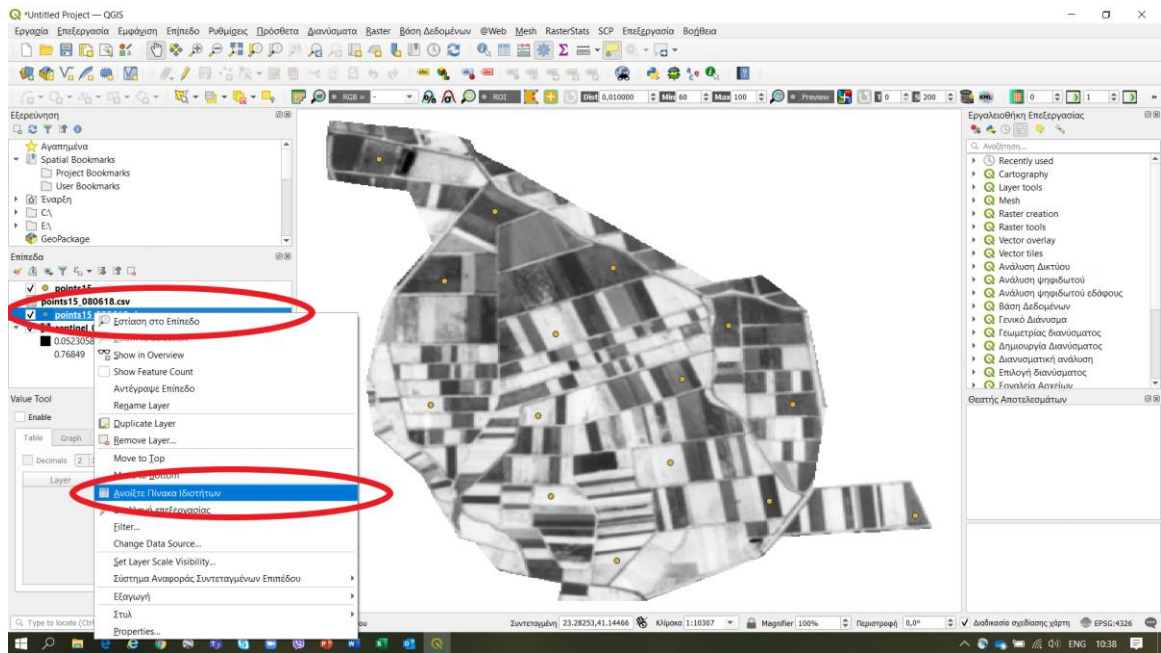
Εικόνα 48



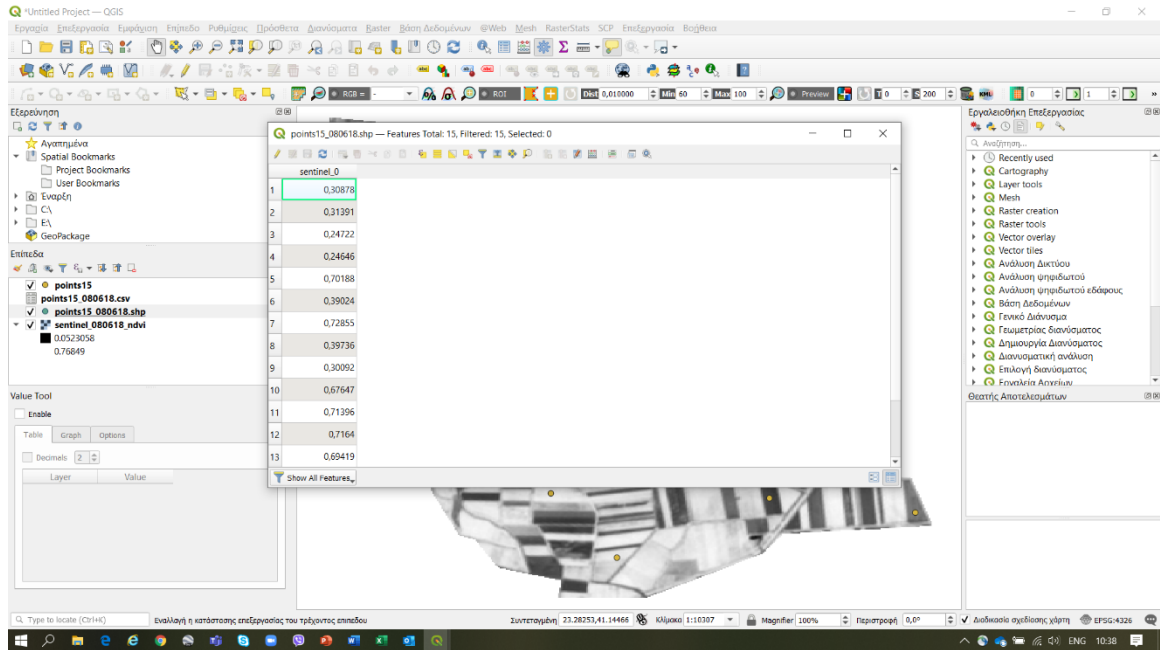
Εικόνα 49



Εικόνα 50

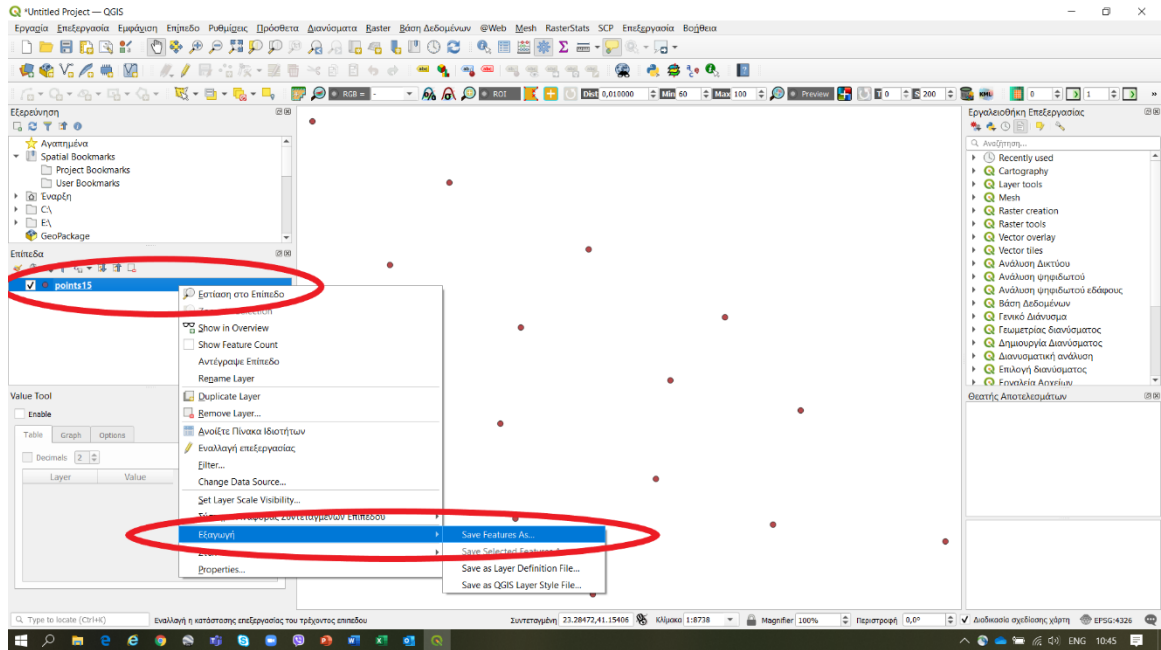


Εικόνα 51

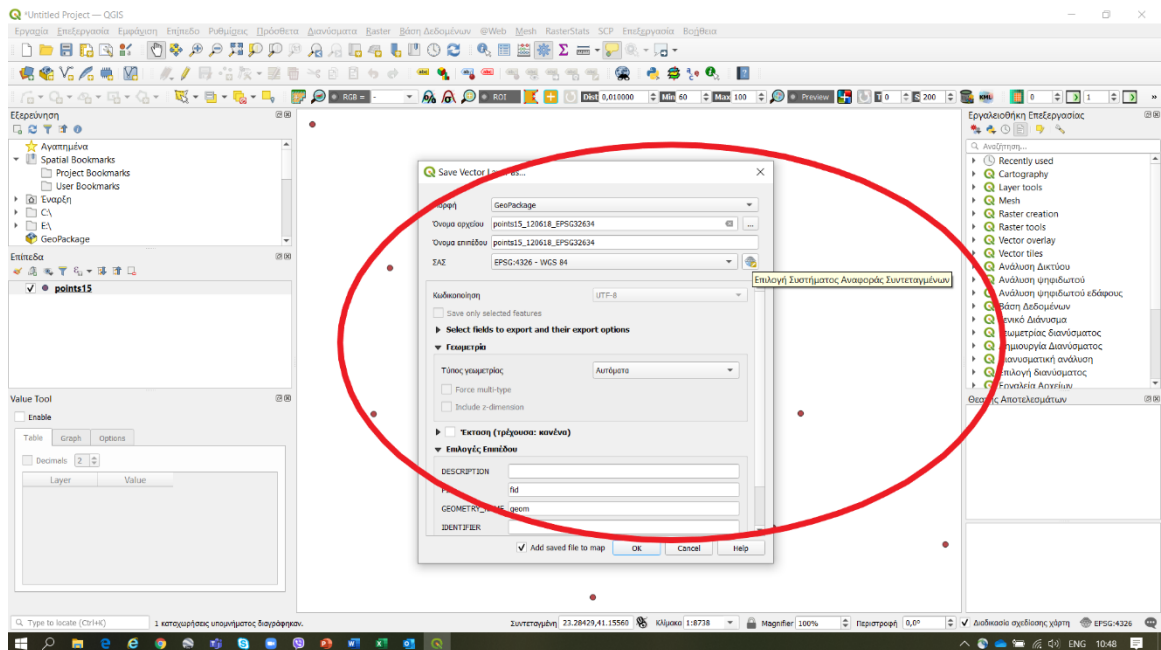


Εικόνα 52

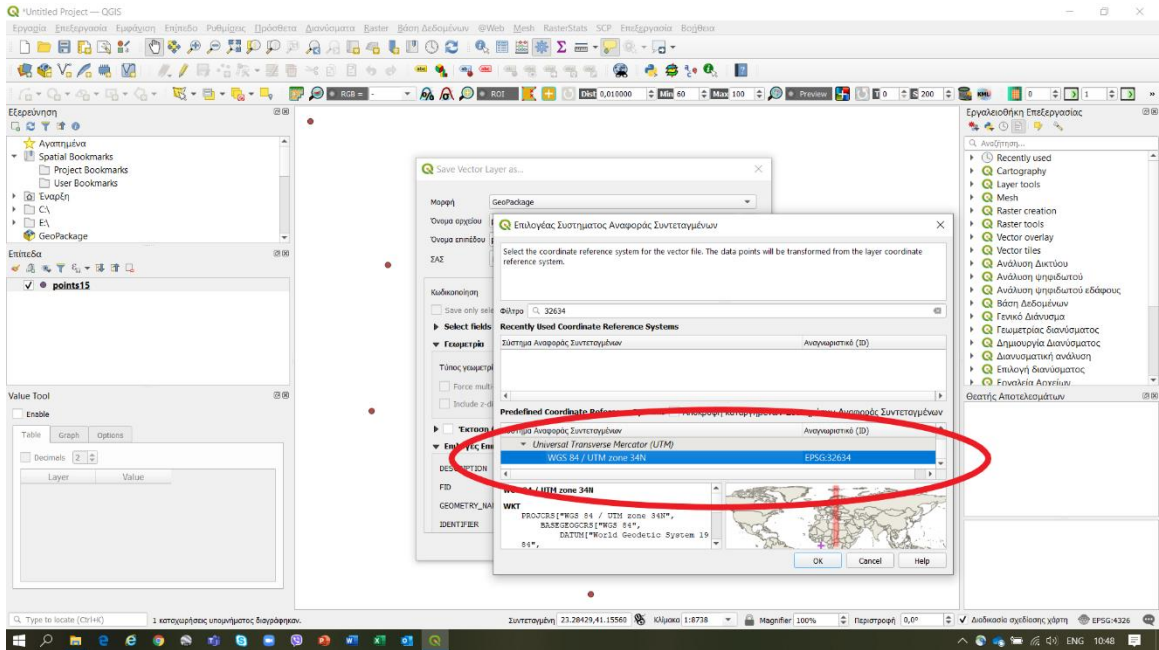
Η ίδια περίπου διαδικασία ακολουθείται για να υπολογιστούν οι τιμές του NDVI των ίδιων εικονοστοιχείων, όταν τα δεδομένα προέρχονται από την πολυφασματική κάμερα. Η διαφορά είναι ότι αρχικά γίνεται μια μετατροπή στο Σύστημα Αναφοράς Συντεταγμένων Προέλευσης (CRS) του επιπέδου των σημείων, από το EPSG4326 - WGS 84 στο WGS 84 UTM zone 34N, ώστε να προσαρμοστεί σε αυτό που βρίσκεται το επίπεδο των δεδομένων (αρχείο NDVI) που ελήφθησαν από την πολυφασματική κάμερα. Έτσι αρχικά εισάγεται στο QGIS το επίπεδο (αρχείο shapefile) των σημείων, γίνεται η μετατροπή και ακολουθεί η εισαγωγή του επιπέδου του NDVI της κάμερας για την ημερομηνία που εξετάζεται. Έπειτα ο υπολογισμός των τιμών του δείκτη NDVI γίνεται με τον ίδιο τρόπο που ακολουθήθηκε για τα δορυφορικά δεδομένα (Εικ. 53-57).



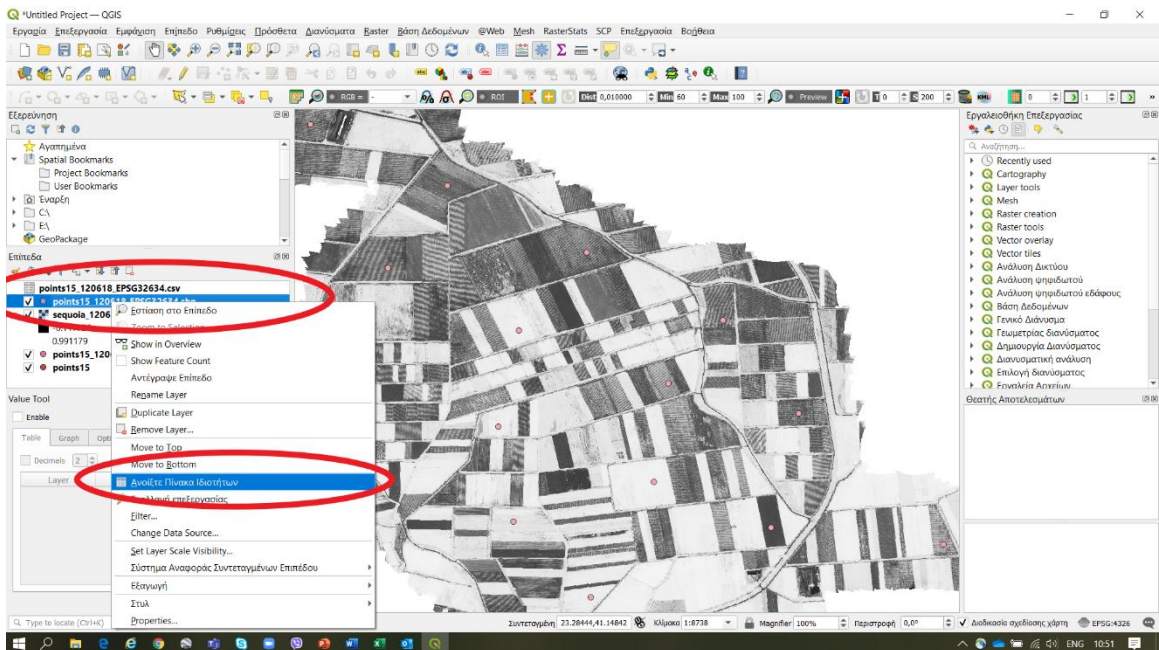
Εικόνα 53



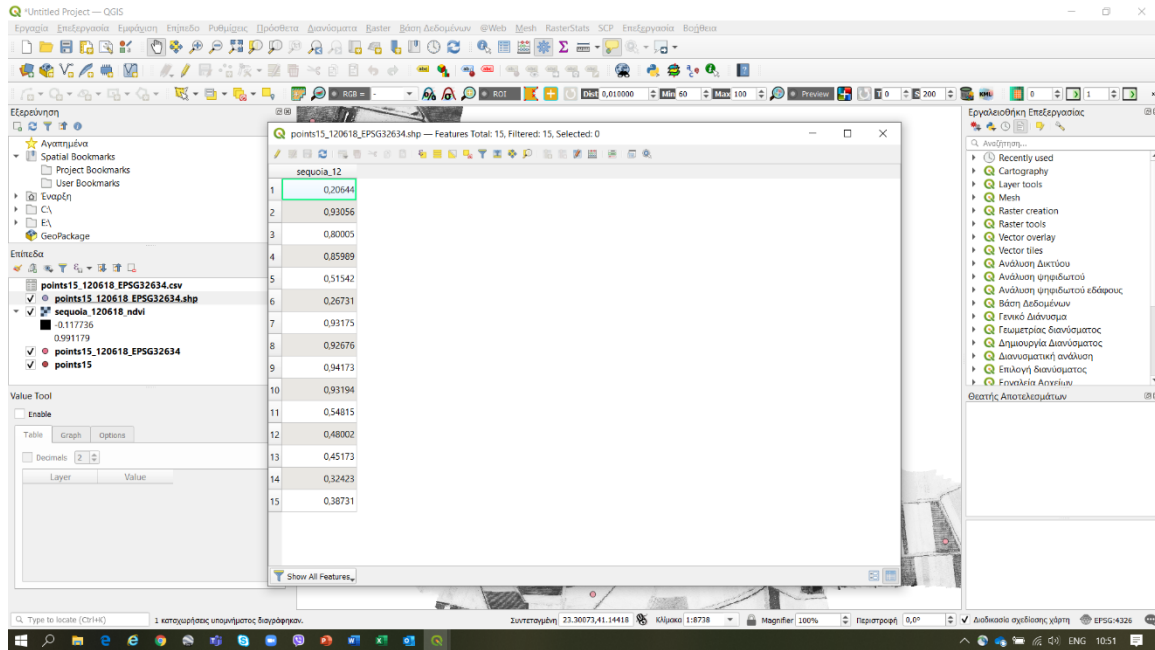
Εικόνα 54



Εικόνα 55



Εικόνα 56



Εικόνα 57

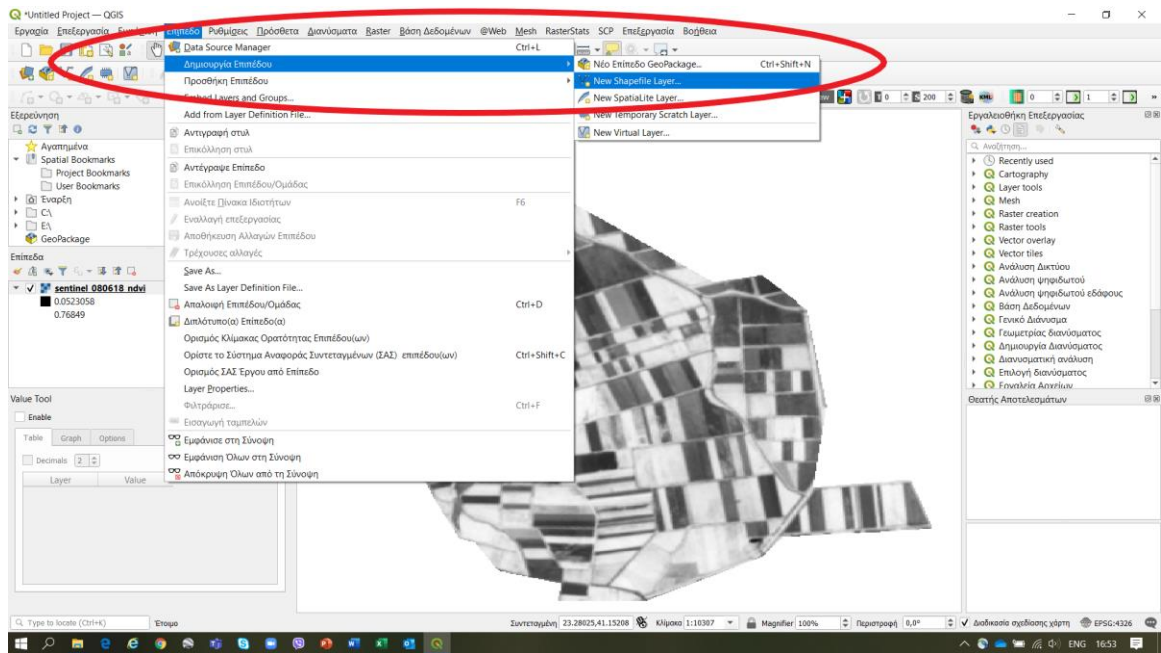
Οι τιμές του δείκτη NDVI για κάθε χρονική περίοδο που εξετάζεται και ανάλογα με την προέλευση των τηλεπισκοπικών δεδομένων, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 3.

Πίνακας 3: Τιμές NDVI των εικονοστοιχείων για τις πέντε ημερομηνίες παρατήρησης, όταν τα δεδομένα συλλέχθηκαν με δορυφόρο και πολυφασματική κάμερα

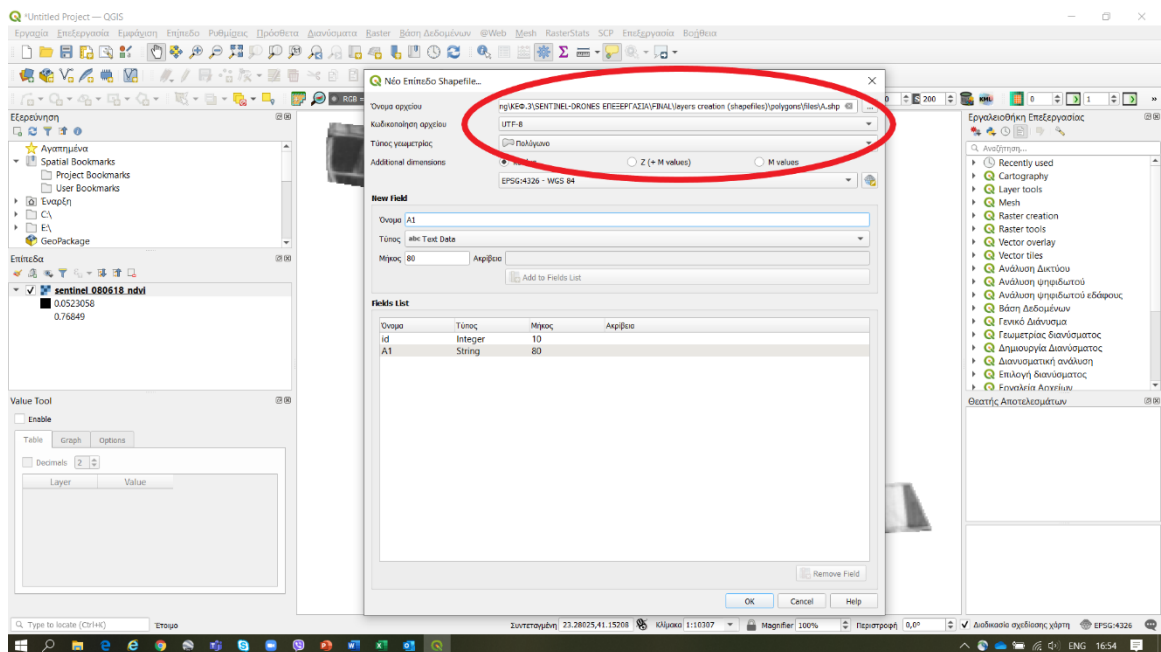
Παρατήρηση	1		2		3		4		5	
	sentinel	sequoia	sentinel	sequoia	sentinel	sequoia	sentinel	sequoia	sentinel	sequoia
A/A	0,30878	0,45173	0,77035	0,8728	0,85896	0,90208	0,79467	0,87877	0,49705	0,48634
1	0,25231	0,48002	0,64824	0,71208	0,86481	0,90465	0,82728	0,89512	0,50721	0,447
2	0,24722	0,38731	0,70826	0,82971	0,87684	0,86197	0,84717	0,88098	0,46924	0,46107
3	0,31391	0,32423	0,66333	0,83165	0,84006	0,80724	0,64111	0,83148	0,34081	0,31222
4	0,7164	0,94173	0,83557	0,90238	0,82301	0,86537	0,37613	0,43533	0,25952	0,22123
5	0,71396	0,92676	0,83349	0,91139	0,83356	0,88134	0,36238	0,38788	0,21086	0,22788
6	0,28583	0,54815	0,70521	0,80471	0,85147	0,89067	0,81502	0,8751	0,55524	0,51996
7	0,69419	0,93194	0,8237	0,89235	0,83424	0,87595	0,22414	0,25971	0,28267	0,31891
8	0,39736	0,51542	0,71945	0,85713	0,87891	0,91071	0,78413	0,87402	0,5481	0,48804
9	0,72855	0,85989	0,77669	0,81172	0,38167	0,34895	0,19581	0,19394	0,13616	0,16768
10	0,67647	0,93175	0,83293	0,91139	0,82726	0,88462	0,35944	0,41533	0,21148	0,23982
11	0,30092	0,26731	0,47523	0,61353	0,75925	0,87675	0,79089	0,8238	0,39836	0,44632
12	0,70188	0,93056	0,84293	0,89344	0,82767	0,85523	0,35015	0,36003	0,2318	0,27342
13	0,24646	0,20644	0,22868	0,33886	0,46538	0,53582	0,80488	0,8779	0,76006	0,61152
14	0,39024	0,80005	0,71392	0,89684	0,87108	0,90871	0,83271	0,86174	0,42353	0,42794

2.5 Υπολογισμός του NDVI για τις περιοχές (πολύγωνα)

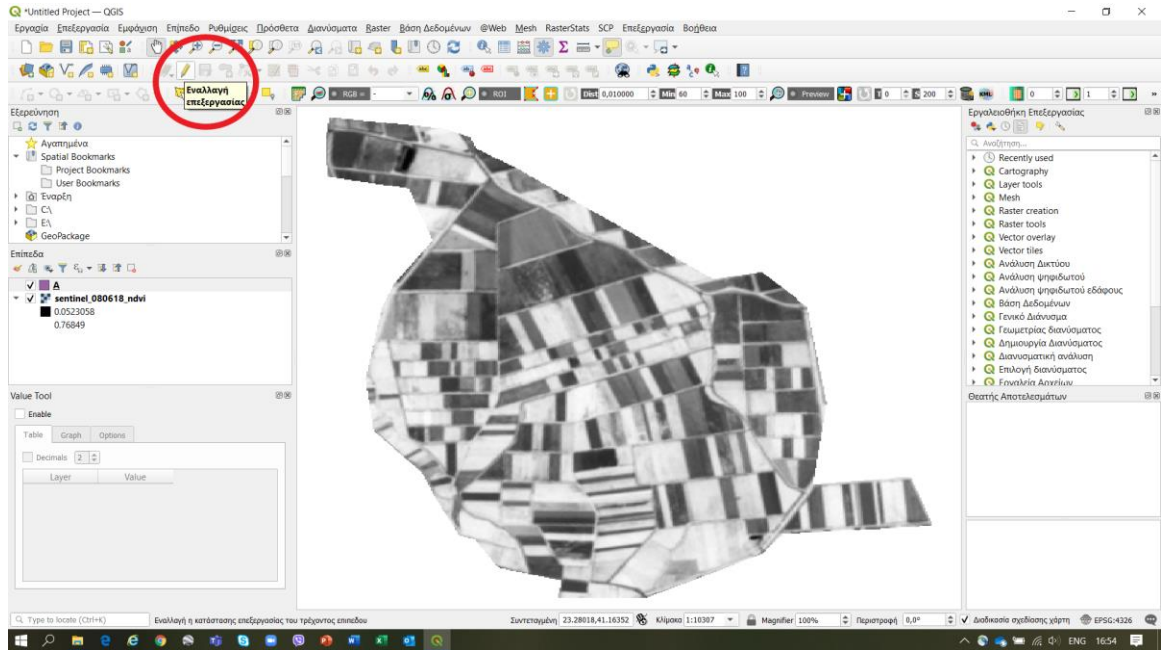
Η δημιουργία των πολυγώνων είναι ίδια με αυτήν των σημείων και φαίνεται στις εικόνες 58-63.



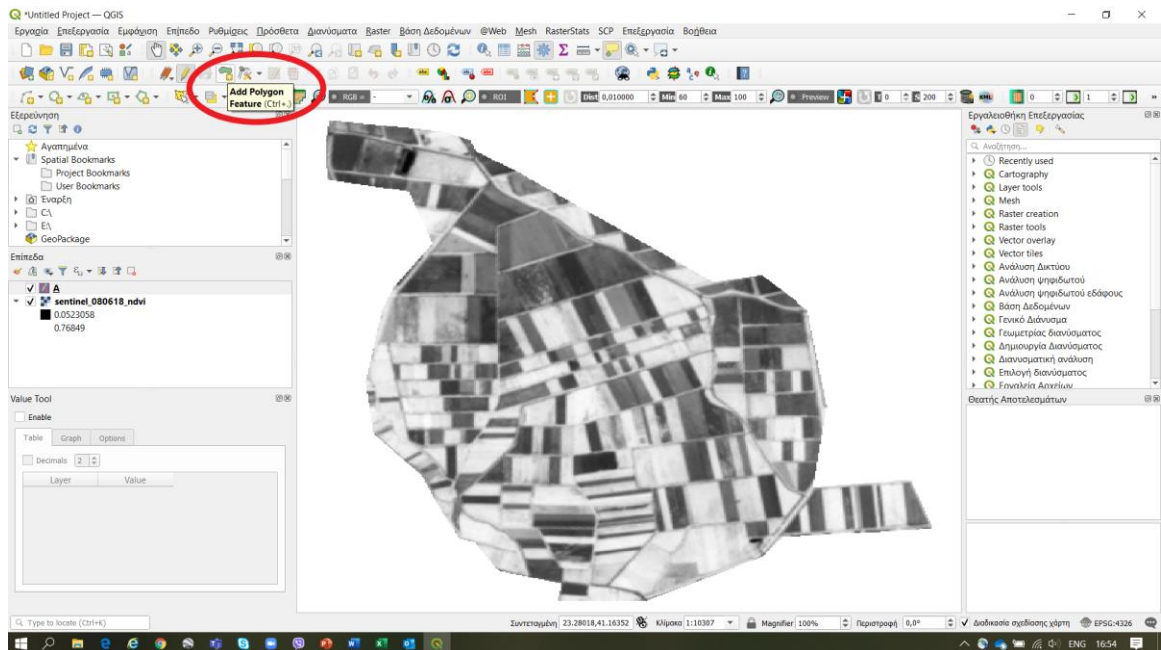
Εικόνα 58



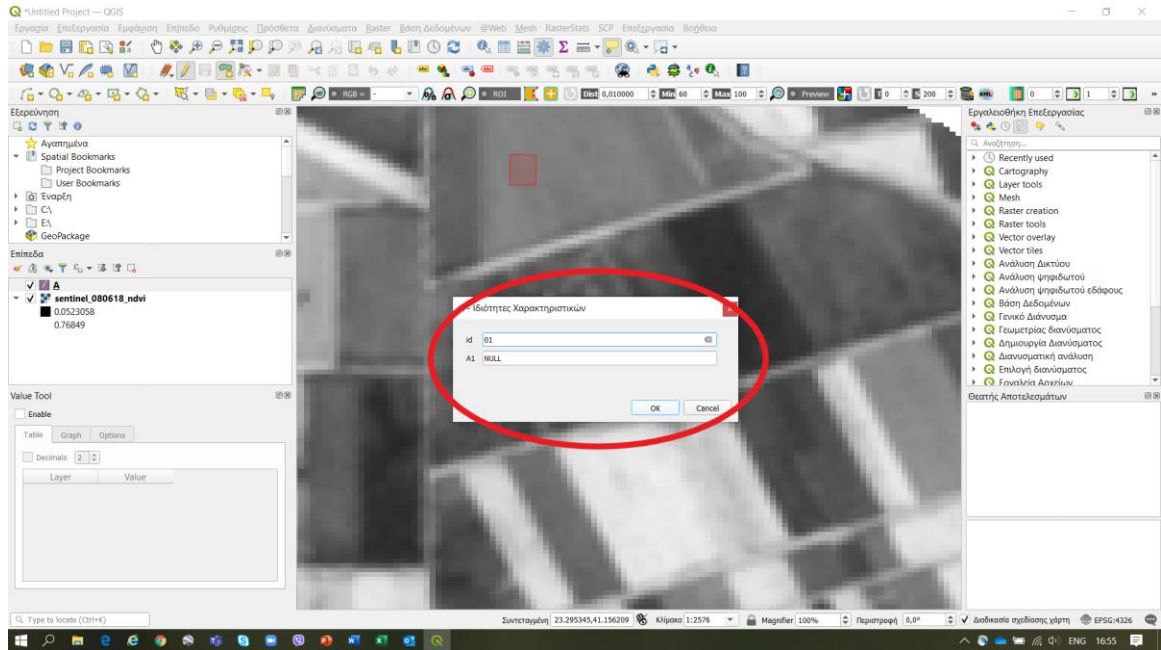
Εικόνα 59



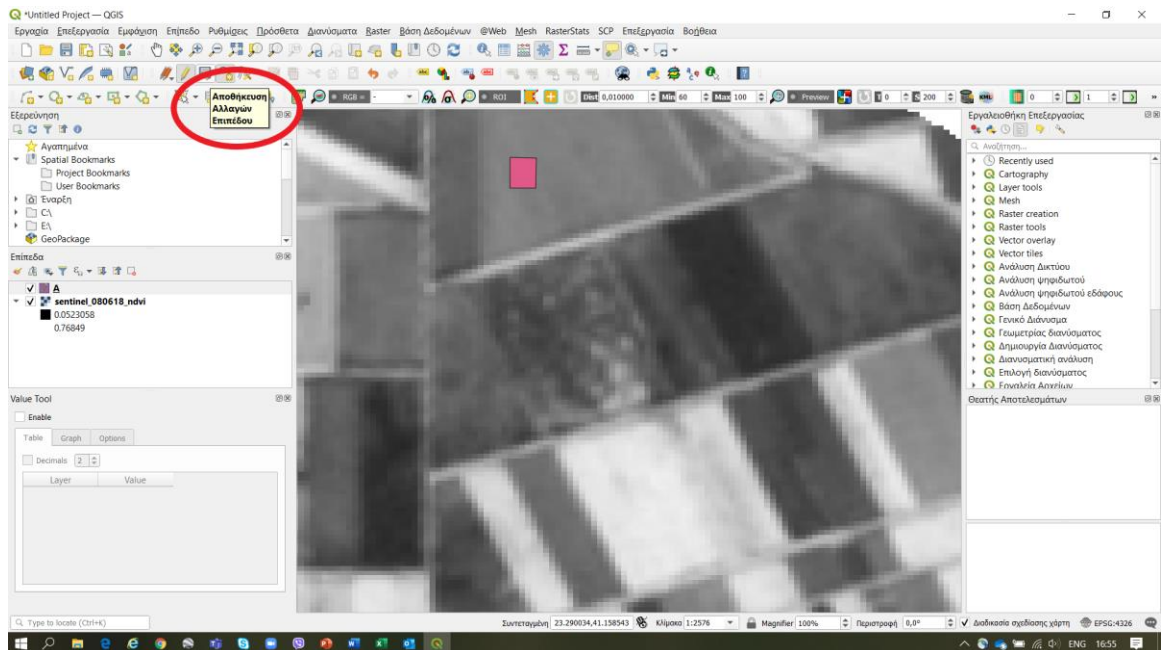
Εικόνα 60



Εικόνα 61



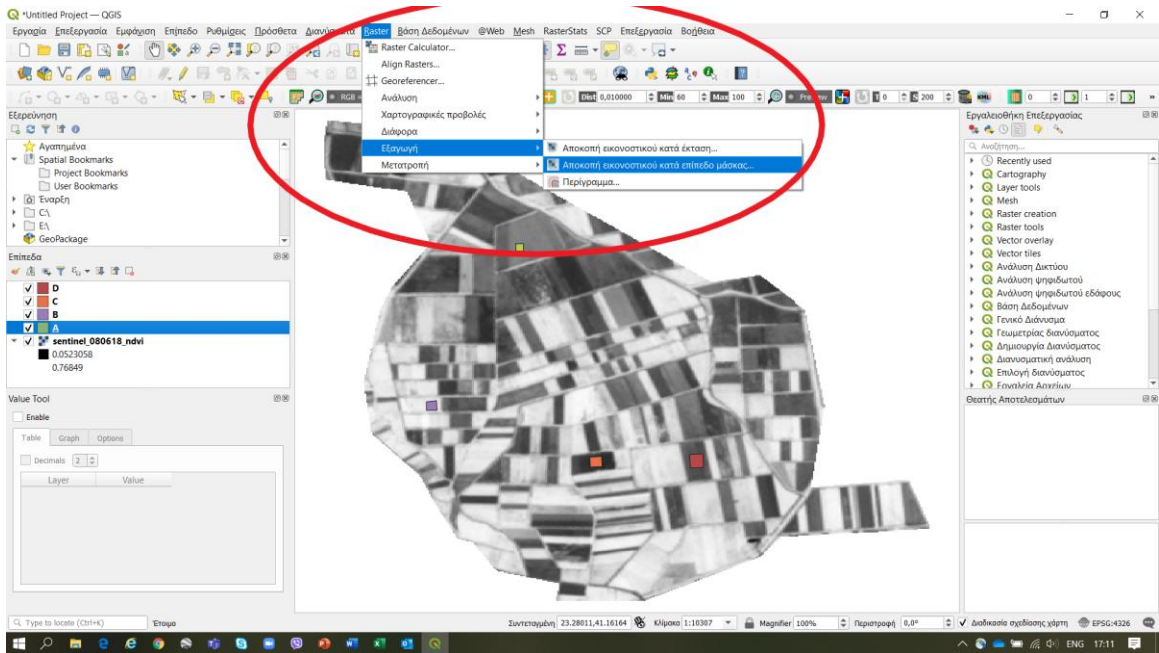
Εικόνα 62



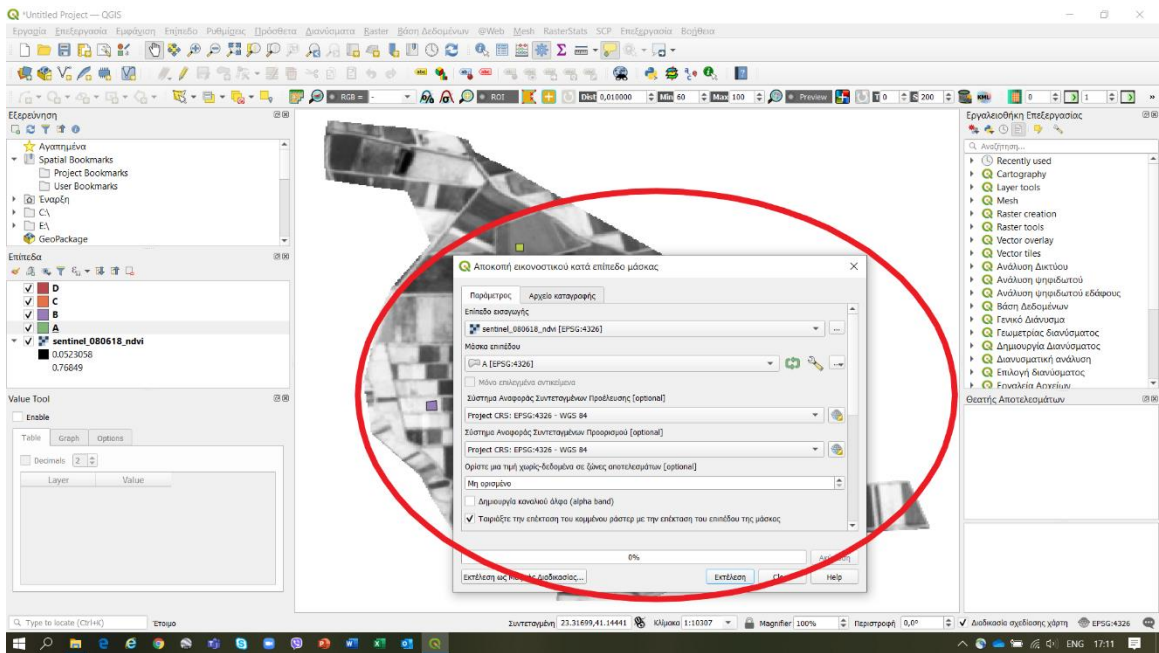
Εικόνα 63

Με αυτόν τρόπο δημιουργούνται τέσσερα τυχαία πολύγωνα διαφορετικών διαστάσεων το καθένα, των οποίων θα συγκριθούν οι μέσοι όροι των τιμών NDVI στις διαφορετικές ημερομηνίες. Ο τρόπος λήψης των στατιστικών στοιχείων των πολυγώνων για τα δορυφορικά δεδομένα περιγράφεται στις εικόνες 64-66.

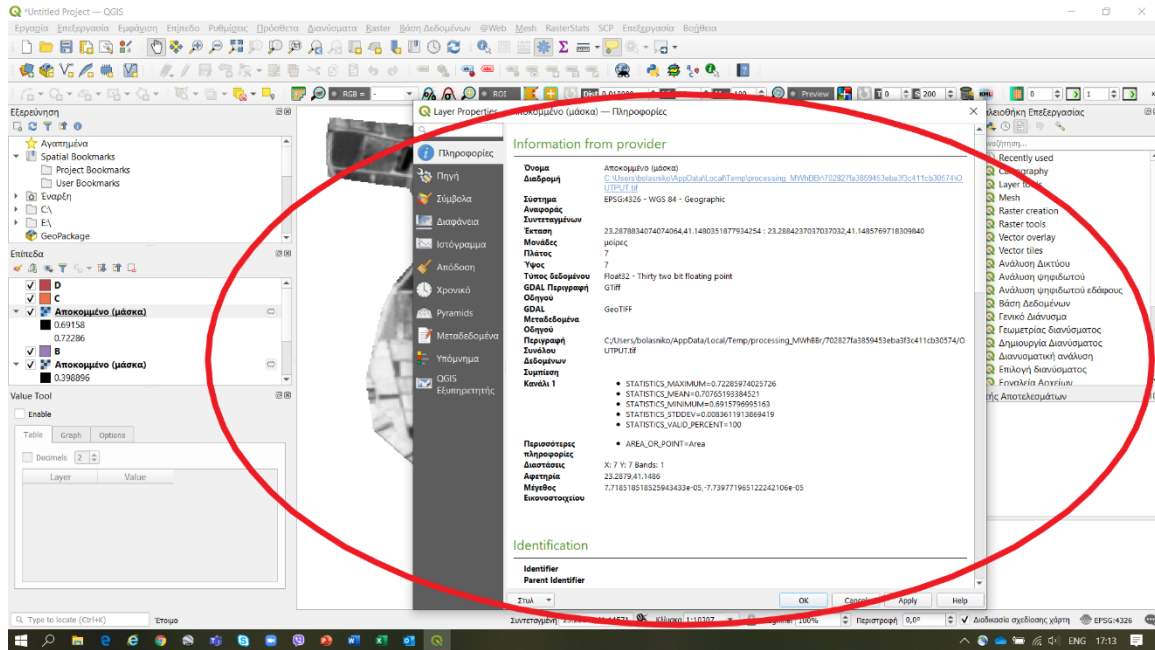
Σύγκριση τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel-2 & UAV



Εικόνα 64



Εικόνα 65



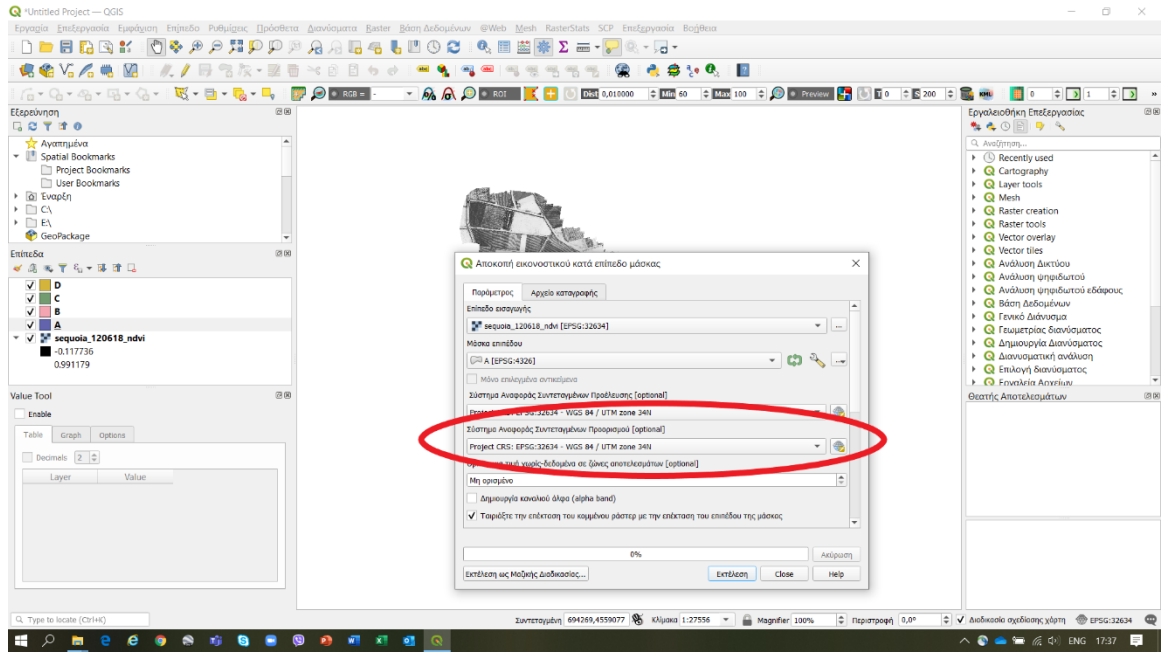
Εικόνα 66

Η έκταση των πολυγώνων που δημιουργήθηκαν και τα μεγέθη των αντίστοιχων εικονοστοιχείων καταγράφονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Τοπογραφικά στοιχεία των πολυγώνων που δημιουργήθηκαν (περιοχές που θα εξεταστούν)

Περιοχή	Έκταση	Μέγεθος Εικονοστοιχείων
A	23.2932863703703674,41.1576518544600916 : 23.2936465679012343,41.1580581924882623	7.203950617338251137e-05,- 8.126760563413882026e-05
B	23.2878834074074064,41.1480351877934254 : 23.2884237037037032,41.1485769718309840	7.718518518525943433e-05,- 7.739771965122242106e-05
C	23.2976987901234551,41.1446490375586862 : 23.2983291358024687,41.1452585446009351	7.879320987669302667e-05,- 7.618838028111696303e-05
D	23.3037320987654297,41.1445813145539887 : 23.3044524938271600,41.1453939906103230	8.00438957478080324e-05,- 8.126760563342827481e-05

Η λήψη των στατιστικών στοιχείων των πολυγώνων για τα δεδομένα από την πολυφασματική κάμερα γίνεται με τον ίδιο τρόπο, με τη διαφορά ότι επιλέγεται το Σύστημα Αναφοράς Συντεταγμένων που βρίσκεται το επίπεδο των δεδομένων της (Εικ. 67).



Εικόνα 67

Τα στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν για τα πολύγωνα από τα δύο μέσα παρατήρησης αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5: Στατιστικά στοιχεία των τεσσάρων περιοχών για δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες

Πολύγωνο	Μέσο λήψης	Παρατηρήσεις	MAX	MEAN	MIN	STDDEV	CV
A	sentinel	1	0,424764931	0,409668865	0,398896009	0,00590227	1,44%
	sentinel	2	0,842377245	0,838002589	0,83181119	0,002107325	0,25%
	sentinel	3	0,862135291	0,851049562	0,828952312	0,009149611	1,08%
	sentinel	4	0,703845322	0,690205042	0,657489479	0,009797661	1,42%
	sentinel	5	0,466080695	0,451860976	0,419669837	0,011385355	2,52%
	sequoia	1	0,739971459	0,386712345	0,267078608	0,039826689	10,30%
	sequoia	2	0,918028831	0,896014414	0,840995193	0,008689196	0,97%
	sequoia	3	0,920731068	0,888997866	0,685243845	0,019670044	2,21%
	sequoia	4	0,856916368	0,712623024	0,432811826	0,062304516	8,74%
	sequoia	5	0,776085019	0,579790769	0,353510261	0,065478958	11,29%
B	sentinel	1	0,72285974	0,707651934	0,6915797	0,008361191	1,18%
	sentinel	2	0,840008736	0,833387507	0,822145224	0,00401236	0,48%
	sentinel	3	0,843239069	0,827542223	0,805931032	0,007401045	0,89%
	sentinel	4	0,426836431	0,38117364	0,349979818	0,017986821	4,72%
	sentinel	5	0,292903215	0,24251502	0,214875594	0,018805529	7,75%
	sequoia	1	0,957545161	0,929184155	0,725212157	0,01313116	1,41%
	sequoia	2	0,931631625	0,898681251	0,770359695	0,011027217	1,23%
	sequoia	3	0,927700162	0,882190463	0,694832087	0,017135325	1,94%
	sequoia	4	0,731545687	0,445202932	0,280894756	0,045929647	10,32%
	sequoia	5	0,607119501	0,262282414	0,174537793	0,043217779	16,48%
C	sentinel	1	0,206350893	0,184016948	0,163822144	0,009934681	5,40%
	sentinel	2	0,579889655	0,377094243	0,176204428	0,095115443	25,22%
	sentinel	3	0,772020161	0,585997589	0,290901035	0,096564769	16,48%
	sentinel	4	0,492080986	0,41989237	0,315348059	0,049551697	11,80%
	sentinel	5	0,591126442	0,379471433	0,214191154	0,121058057	31,90%
	sequoia	1	0,802700639	0,185702369	0,121396981	0,056253917	30,29%
	sequoia	2	0,89239186	0,455740255	0,101822048	0,236436583	51,88%
	sequoia	3	0,902240813	0,694348733	0,130899876	0,191690991	27,61%
	sequoia	4	0,868877113	0,539666935	0,16559723	0,140022944	25,95%
	sequoia	5	0,85949403	0,472400034	0,164854422	0,180505956	38,21%
D	sentinel	1	0,290092528	0,270967551	0,248297825	0,010585632	3,91%
	sentinel	2	0,602515101	0,515073871	0,366025954	0,065445929	12,71%
	sentinel	3	0,869380832	0,835450653	0,770878434	0,026236285	3,14%
	sentinel	4	0,856839776	0,840226661	0,822994411	0,006889503	0,82%
	sentinel	5	0,72909236	0,596489981	0,524814963	0,055854803	9,36%
	sequoia	1	0,73825258	0,342425083	0,18140173	0,099854429	29,16%
	sequoia	2	0,903458595	0,691964177	0,192108214	0,150160703	21,70%
	sequoia	3	0,9346416	0,890634058	0,378713846	0,042593657	4,78%
	sequoia	4	0,927322805	0,883830221	0,603708208	0,013481126	1,53%
	sequoia	5	0,81042999	0,602571672	0,282279491	0,084460655	14,02%

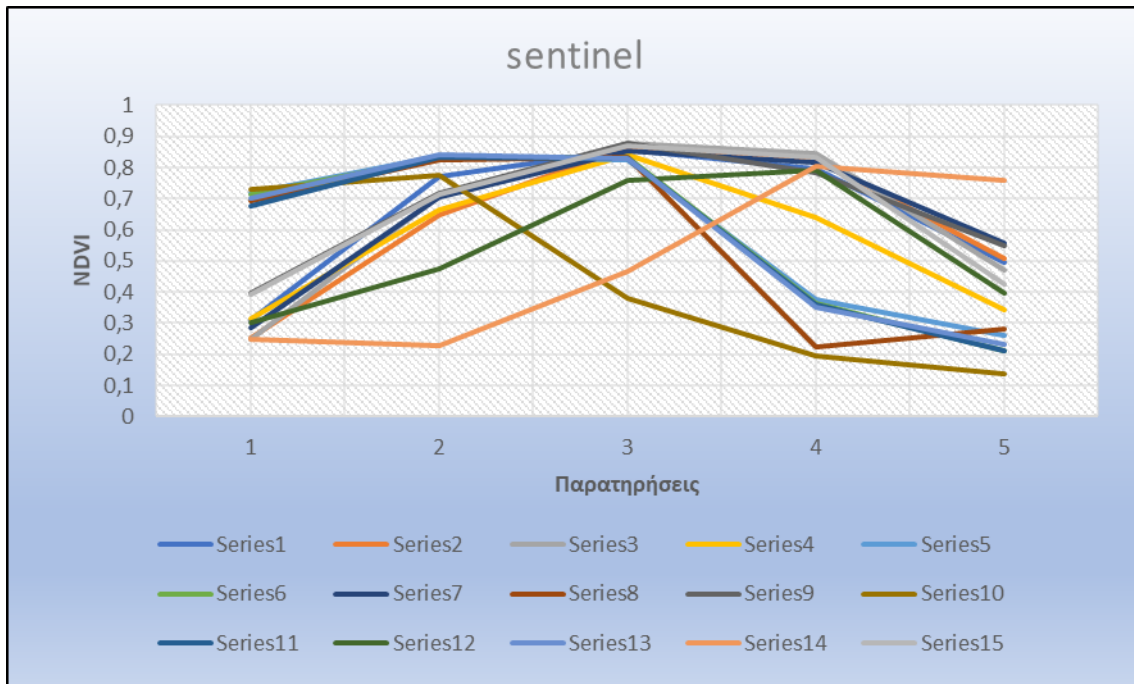
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μελέτη των αποτελεσμάτων για τα εικονοστοιχεία

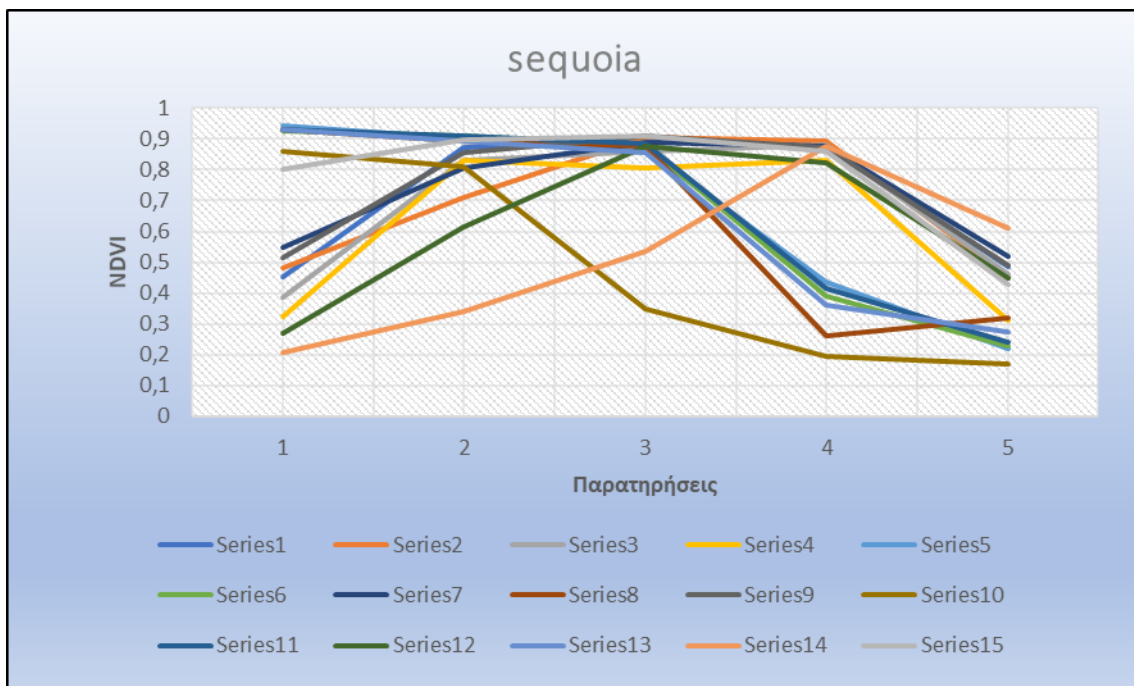
Προκειμένου να μελετηθούν οι τιμές του δείκτη NDVI στα 15 εικονοστοιχεία για τις δύο τεχνολογίες και να συγκριθούν μεταξύ τους χρησιμοποιήθηκαν το γράφημα γραμμής των τιμών του δείκτη βλάστησης για κάθε τεχνολογία ξεχωριστά σε σχέση με το χρόνο παρατήρησης, το γράφημα γραμμής των τιμών NDVI των δύο τεχνολογιών για κάθε ημερομηνία παρατήρησης ξεχωριστά, το διάγραμμα διασποράς των τιμών NDVI για τις δύο τεχνολογίες για κάθε παρατήρηση ξεχωριστά και συγκρίθηκαν οι μέσοι όροι των τιμών του δείκτη για κάθε τεχνολογία σε κάθε παρατήρηση. Στον πίνακα 6 κάποια βασικά μέτρα θέσης και μεταβλητότητας που περιγράφουν τις τιμές των δεδομένων ανά παρατήρηση και ανά μέσο συλλογής πληροφοριών.

Πίνακας 6: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τα εικονοστοιχεία, ανά παρατήρηση και ανά τεχνολογία

Descriptive Statistics: sentinel_1; sequoia_1; sentinel_2; ... _5; sequoia_5						
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
sentinel_1	0,465	0,0537	0,2079	0,2465	0,3902	0,7286
sequoia_1	0,6336	0,0716	0,2773	0,2064	0,5482	0,9417
sentinel_2	0,7052	0,0424	0,1642	0,2287	0,7195	0,8429
sequoia_2	0,8053	0,0395	0,1529	0,3389	0,8571	0,9114
sentinel_3	0,7863	0,039	0,151	0,3817	0,8342	0,8789
sequoia_3	0,8207	0,0412	0,1597	0,3489	0,8768	0,9107
sentinel_4	0,6004	0,0653	0,2531	0,1958	0,7841	0,8472
sequoia_4	0,6567	0,0704	0,2726	0,1939	0,8315	0,8951
sentinel_5	0,3888	0,044	0,1704	0,1362	0,3984	0,7601
sequoia_5	0,3766	0,0343	0,1327	0,1677	0,4279	0,6115



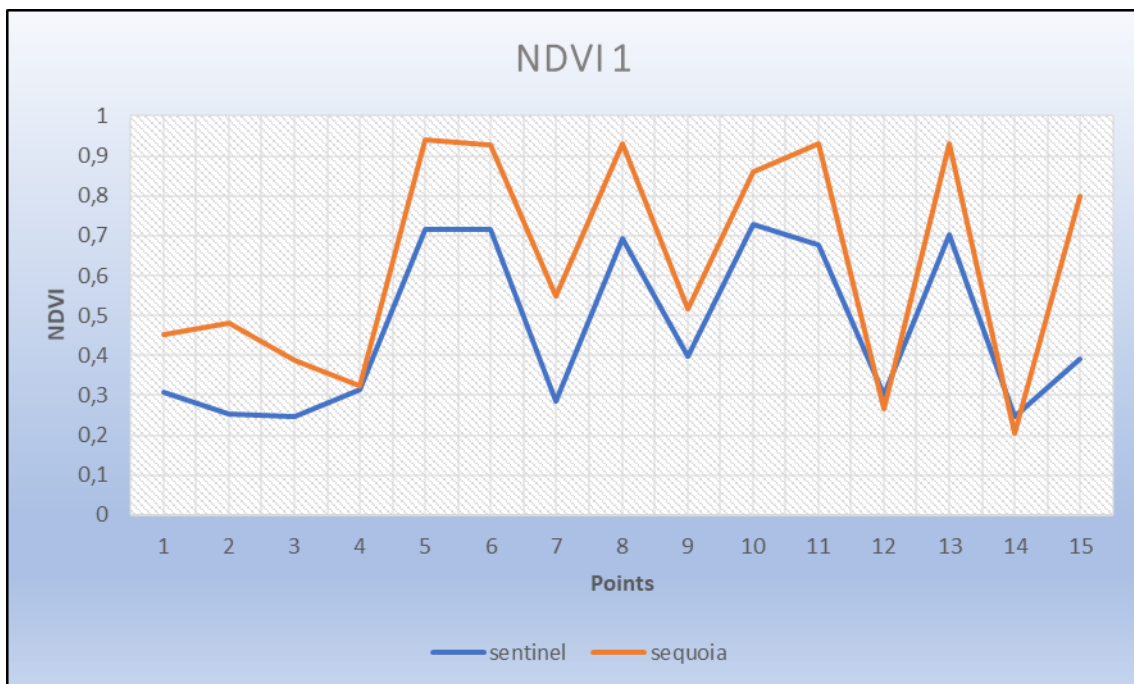
Εικόνα 68: Διάγραμμα γραμμής του NDVI των σημείων σε σχέση με τις παρατηρήσεις (sentinel)



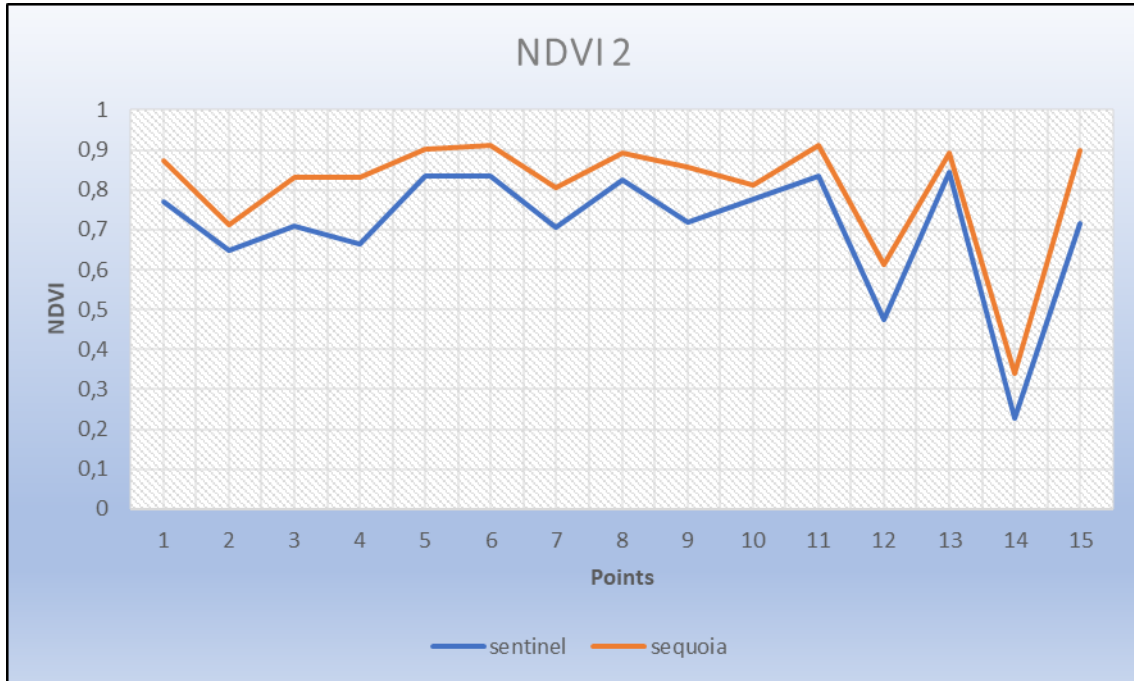
Εικόνα 69: Διάγραμμα γραμμής του NDVI των σημείων σε σχέση με τις παρατηρήσεις (sequoia)

Από τα δύο παραπάνω γραφήματα γραμμών (Εικ. 68, 69) κάθε τεχνολογίας σε σχέση με την ημερομηνία συλλογής των δεδομένων, προκύπτει ότι η τάση των τιμών

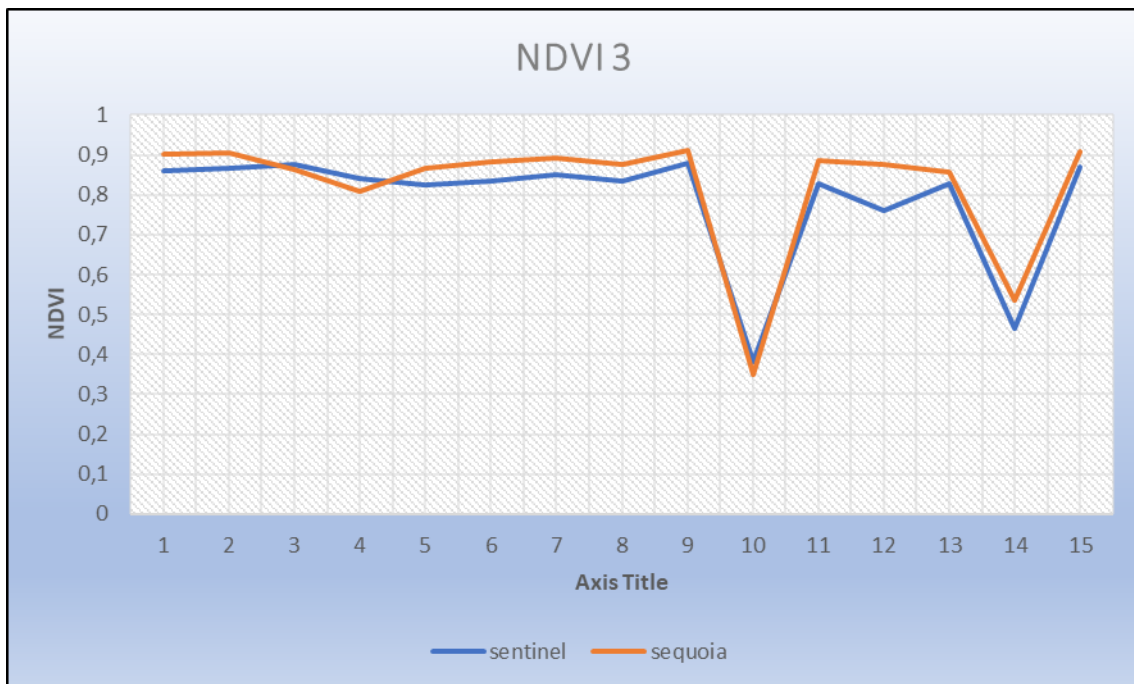
NDVI που υπολογίζεται από το δορυφορικά δεδομένα, είναι σχεδόν ταυτόσημη με αυτά που προκύπτουν από τις αεροφωτογραφίες. Στις δύο περιπτώσεις οι τιμές και κατά συνέπεια η γραμμή ακολουθούν την εποχή παρατήρησης, δεδομένου ότι η πρώτη ημερομηνία παρατήρησης αφορά το χρονικό διάστημα 8-12/6/2018, οπότε οι καλλιέργειες αρχίζουν το στάδιο της έντονης βλαστικής ανάπτυξης τους και οι τιμές αυξάνονται. Η γραμμή ανεβαίνει κάποια στιγμή σταθεροποιείται κατά τις επόμενες τρεις χρονικές περιόδους συλλογής δεδομένων (3-6/7/2018, 27-28/7/2018, 31/8-1/9/2018) και έχει πτωτική τάση κατά την τελευταία παρατήρηση, όπου οι καλλιέργειες έχουν περάσει στο στάδιο της ωριμότητας ή έχουν συγκομισθεί. Οι διαφορές στις τιμές μεταξύ των σημείων οφείλεται στην τυχαία επιλογή τους. Αυτό σημαίνει ότι τα εικονοστοιχεία αντιστοιχίζονται σε διαφορετικές καλλιέργειες, οι οποίες έχουν διαφορετικό βιολογικό κύκλο, αλλά και σε διαφορετικά χωράφια, στα οποία η ίδια καλλιέργεια μπορεί να βρίσκεται σε διαφορετικό βιολογικό στάδιο ή τα φυτά να έχουν διαφορετική υγεία, λόγω της χωρικής παραλλακτικότητας των εδαφών και της διαχείρισης τους από τους παραγωγούς.



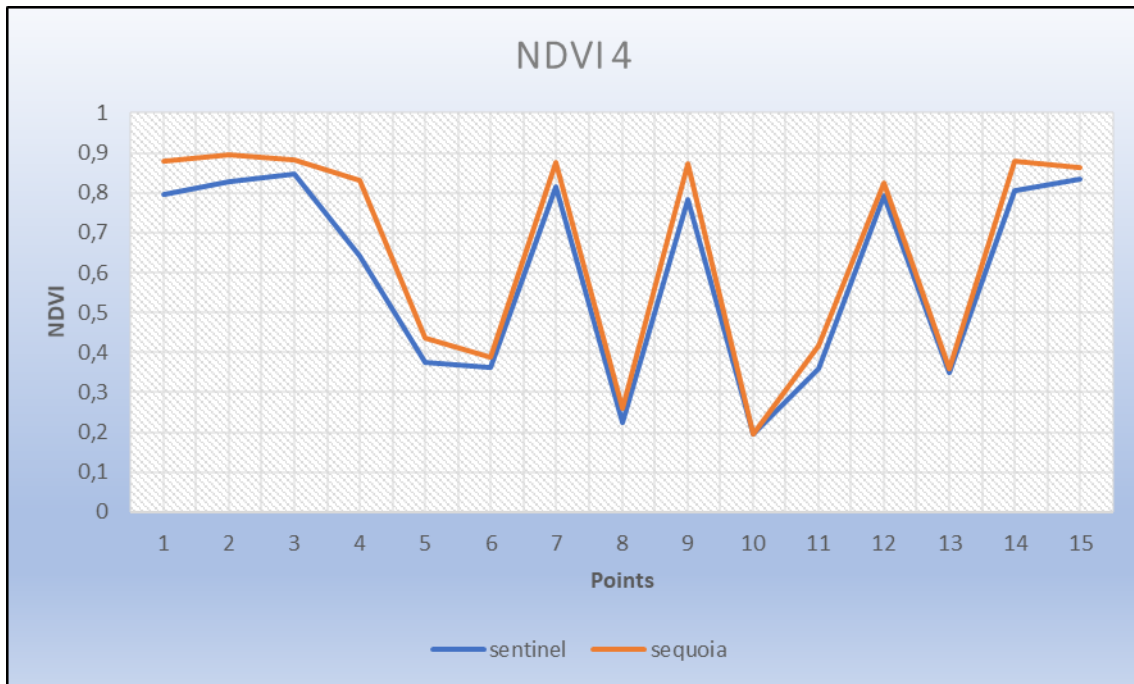
Εικόνα 70: Διάγραμμα γραμμής του NDVI για κάθε τεχνολογία στην πρώτη παρατήρηση



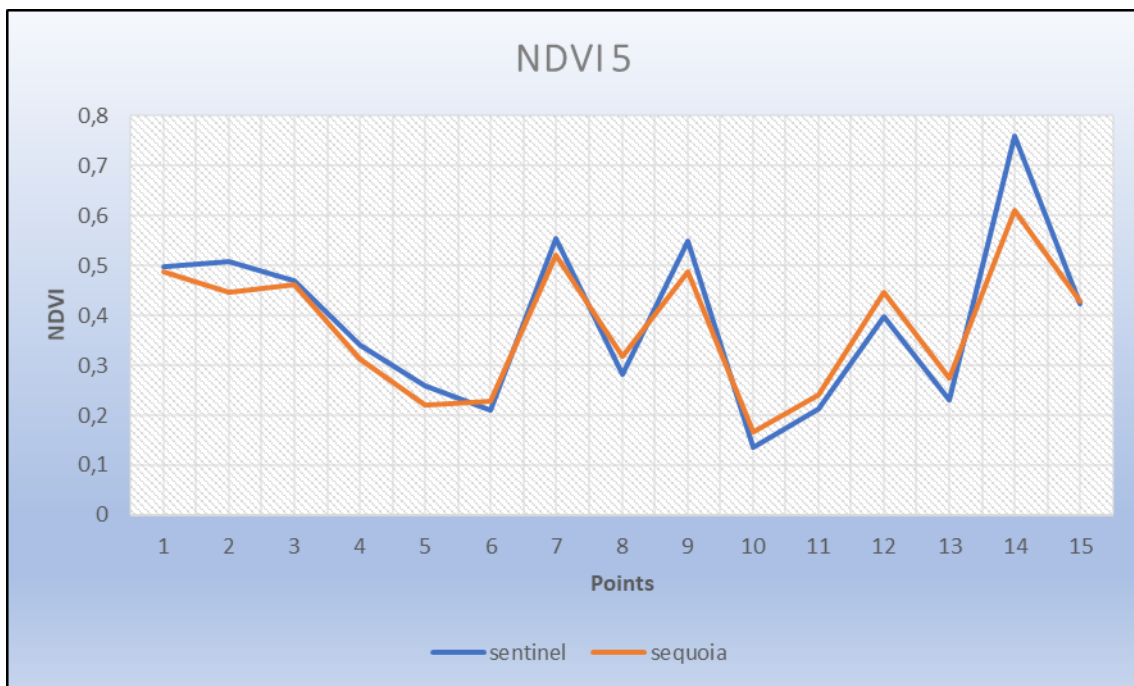
Εικόνα 71: Διάγραμμα γραμμής του NDVI για κάθε τεχνολογία στη δεύτερη παρατήρηση



Εικόνα 72: Διάγραμμα γραμμής του NDVI για κάθε τεχνολογία στην τρίτη παρατήρηση



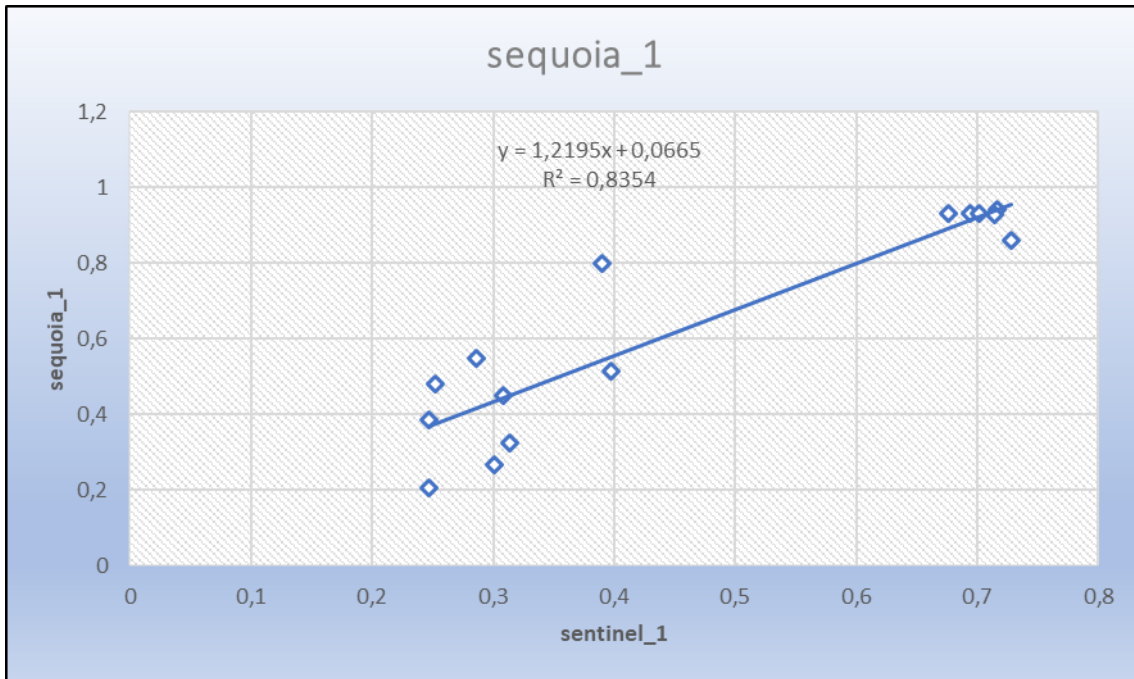
Εικόνα 73: Διάγραμμα γραμμής του NDVI για κάθε τεχνολογία στην τέταρτη παρατήρηση



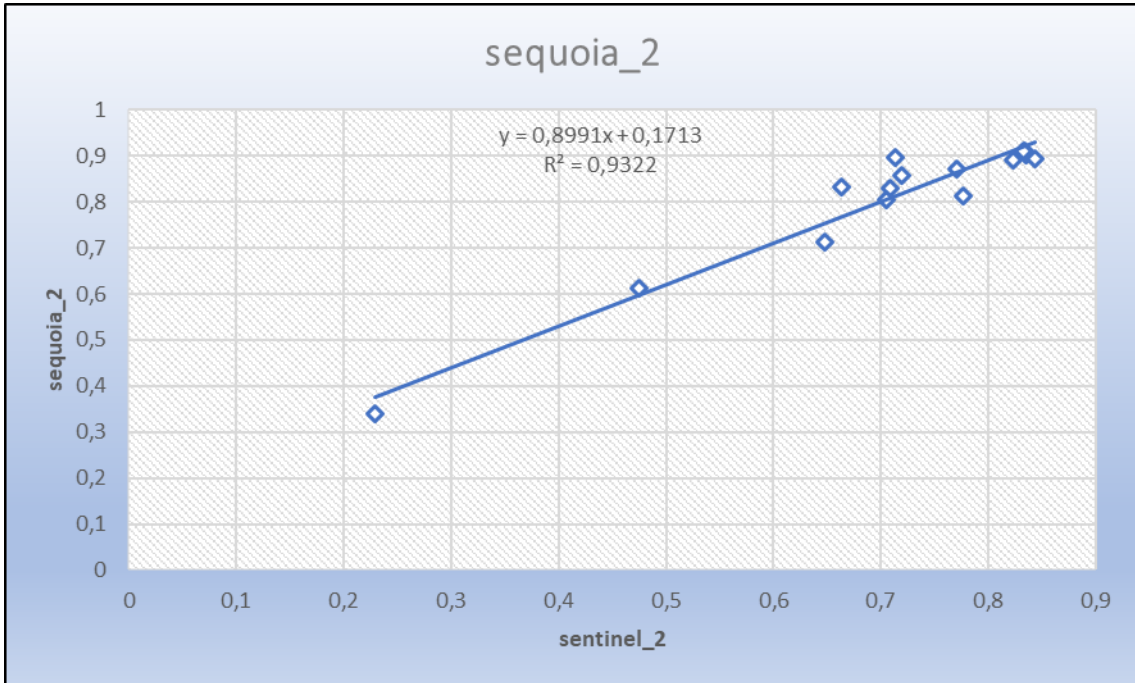
Εικόνα 74: Διάγραμμα γραμμής του NDVI για κάθε τεχνολογία στην πέμπτη παρατήρηση

Τα γραφήματα γραμμής των τιμών NDVI των δύο τεχνολογιών για κάθε ημερομηνία παρατήρησης ξεχωριστά, που απεικονίζονται στις εικόνες 70-74,

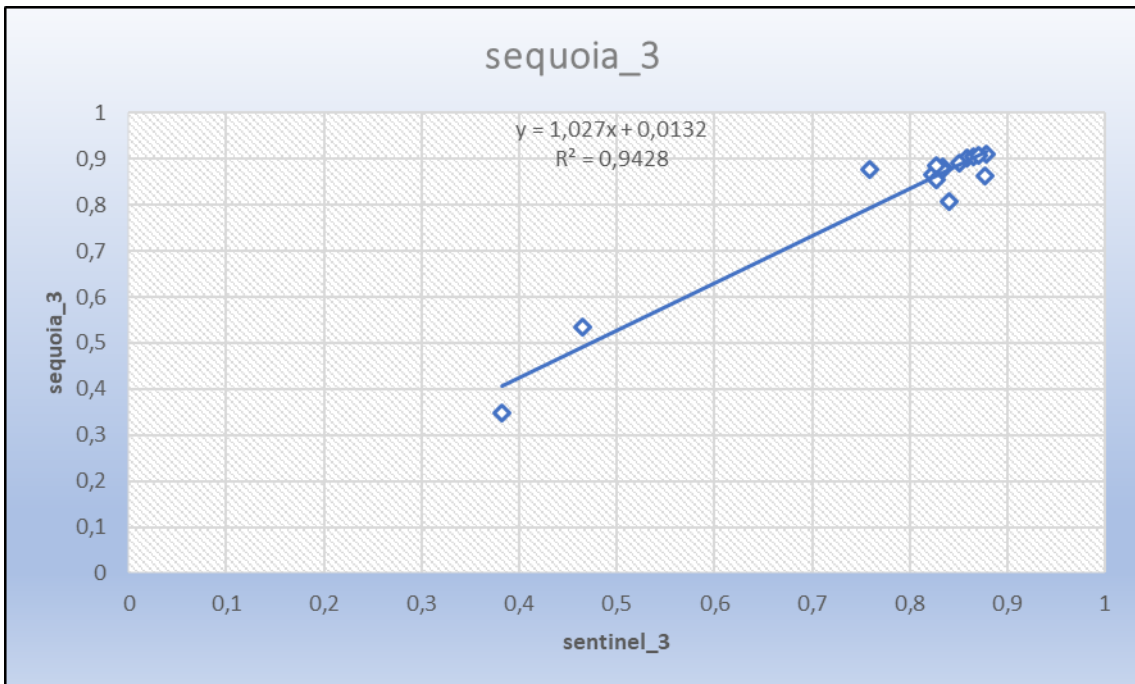
επιβεβαιώνουν τις ομοιότητες στην τάση των τιμών που προκύπτουν από τις δύο τεχνολογίες. Επίσης θα μπορούσε να σημειωθεί ότι στις δύο πρώτες ημερομηνίες, ενώ η τάση είναι όμοια, παρατηρείται μια απόσταση μεταξύ των γραμμών η οποία σταδιακά μειώνεται και εξαφανίζεται στις υπόλοιπες ημερομηνίες. Ίσως αυτό αποτελεί μια ένδειξη ότι όσο αυξάνεται το βιολογικό στάδιο των φυτών τόσο μειώνεται η διαφορά στην ανάκλαση τους.



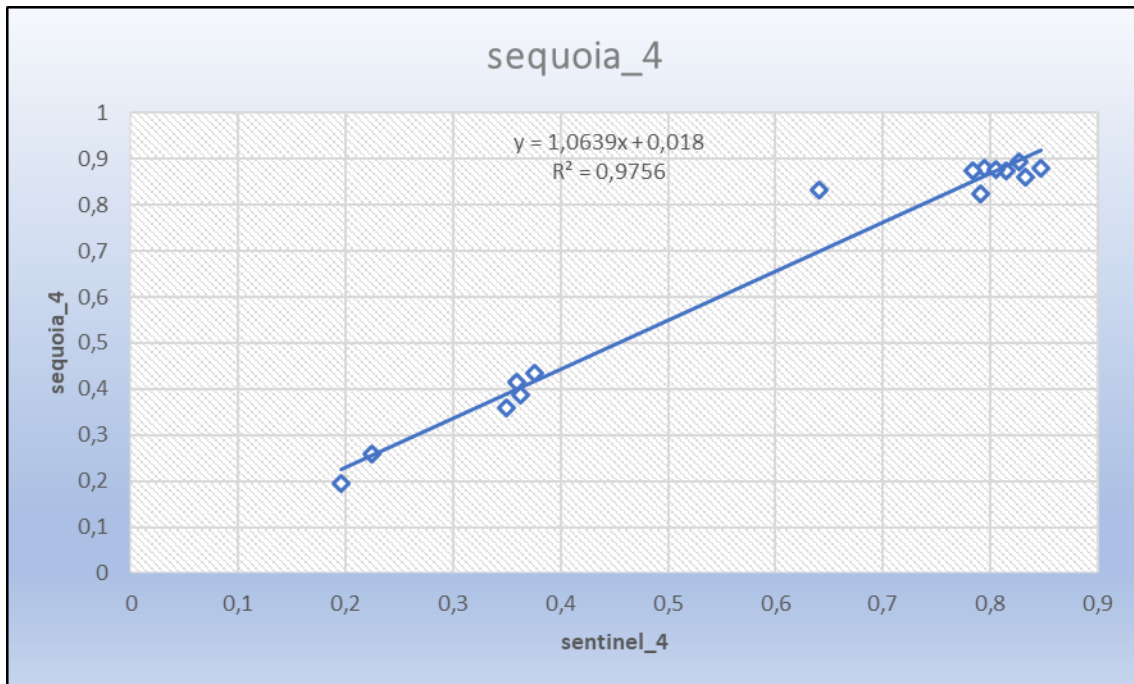
Εικόνα 75: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των σημείων για την πρώτη παρατήρηση



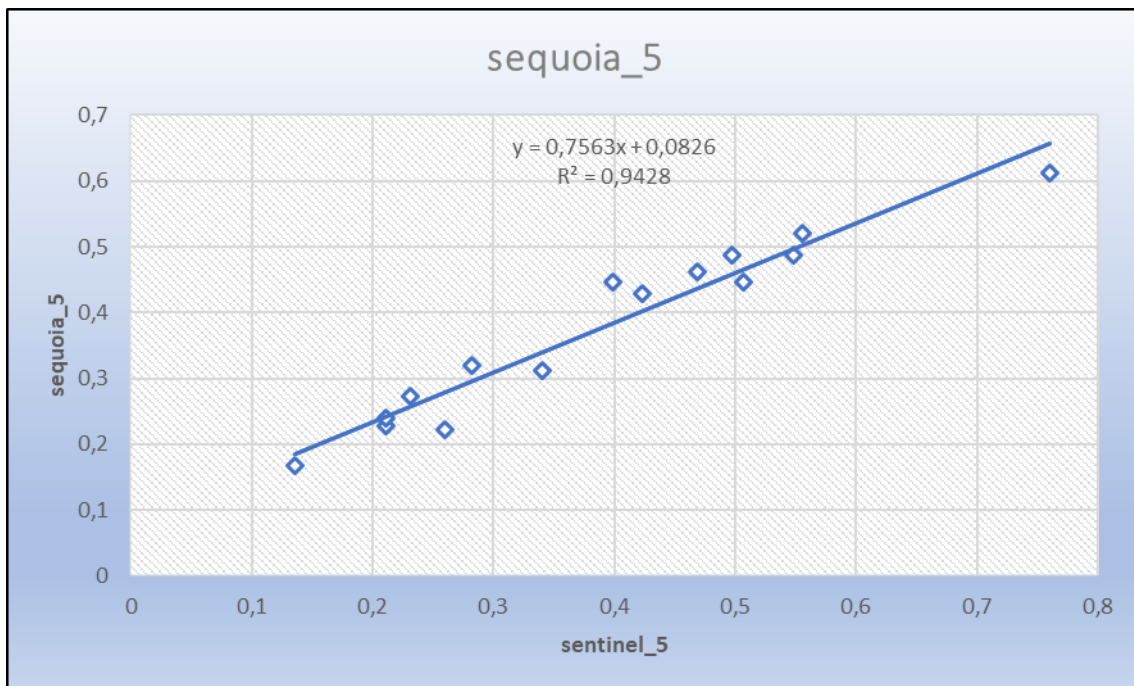
Εικόνα 76: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των σημείων για τη δεύτερη παρατήρηση



Εικόνα 77: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των σημείων για την τρίτη παρατήρηση



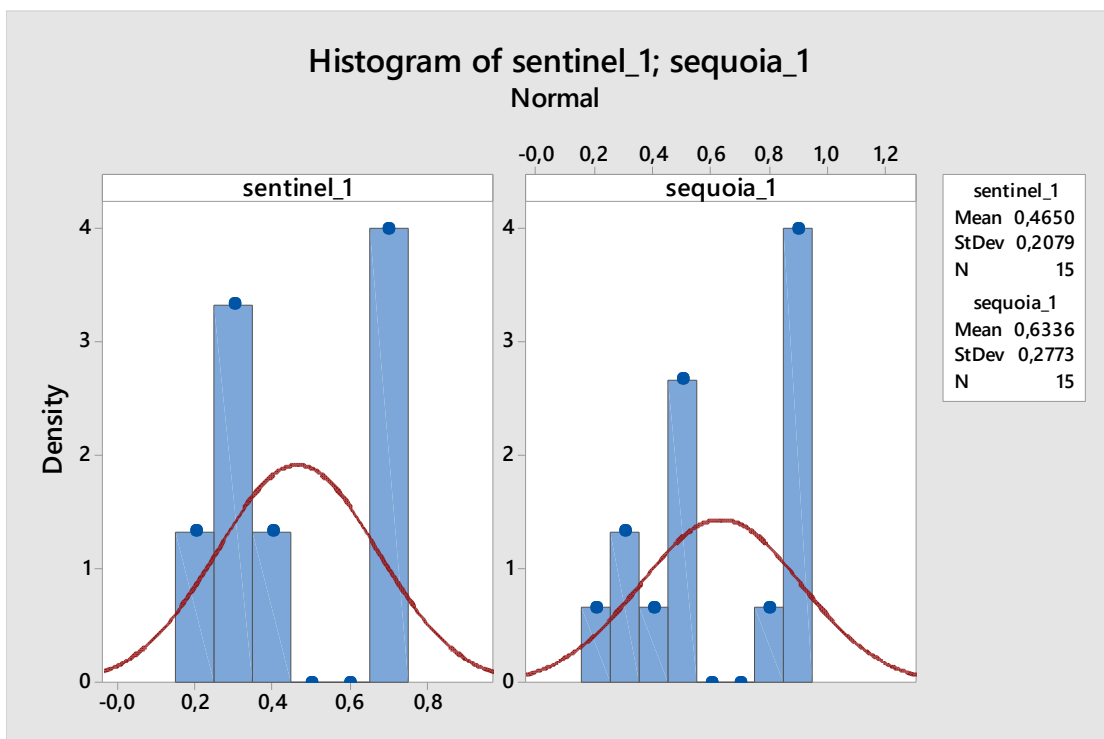
Εικόνα 78: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των σημείων για την τέταρτη παρατήρηση



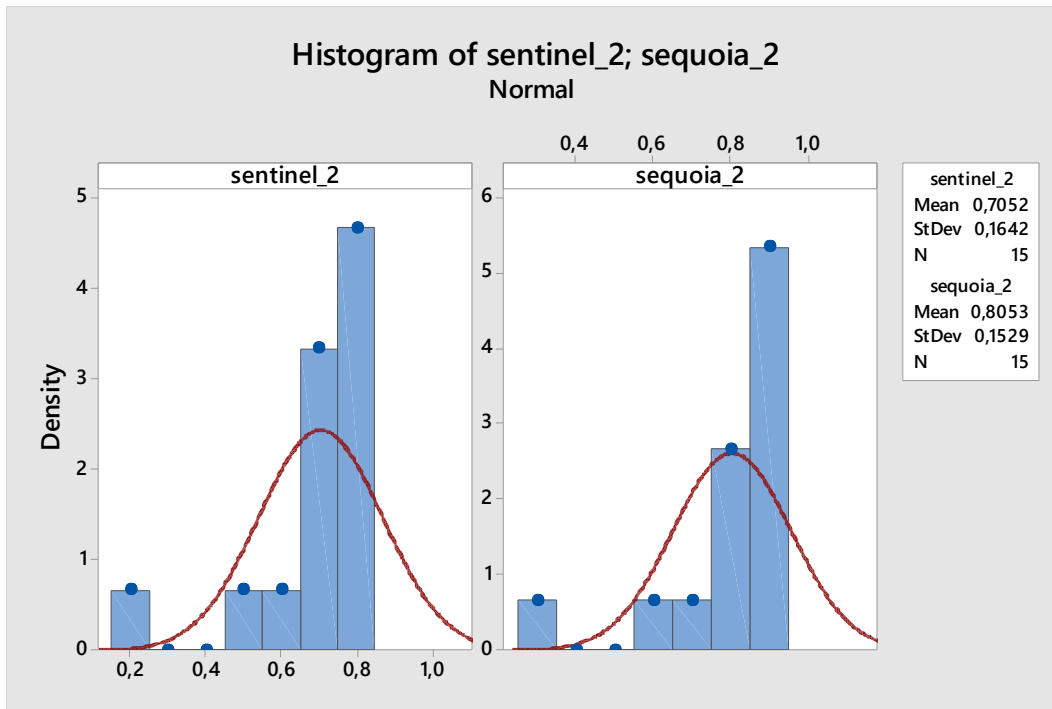
Εικόνα 79: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των σημείων για την πέμπτη παρατήρηση

Στα διαγράμματα διασποράς (Εικ. 75-79) των δύο τεχνολογιών για κάθε ημερομηνία προκύπτει αρκετά υψηλή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών τους, με το συντελεστή συσχέτισης να παίρνει τις τιμές 83,5%, 93,2%, 94,3%, 97,5% και 94,3%

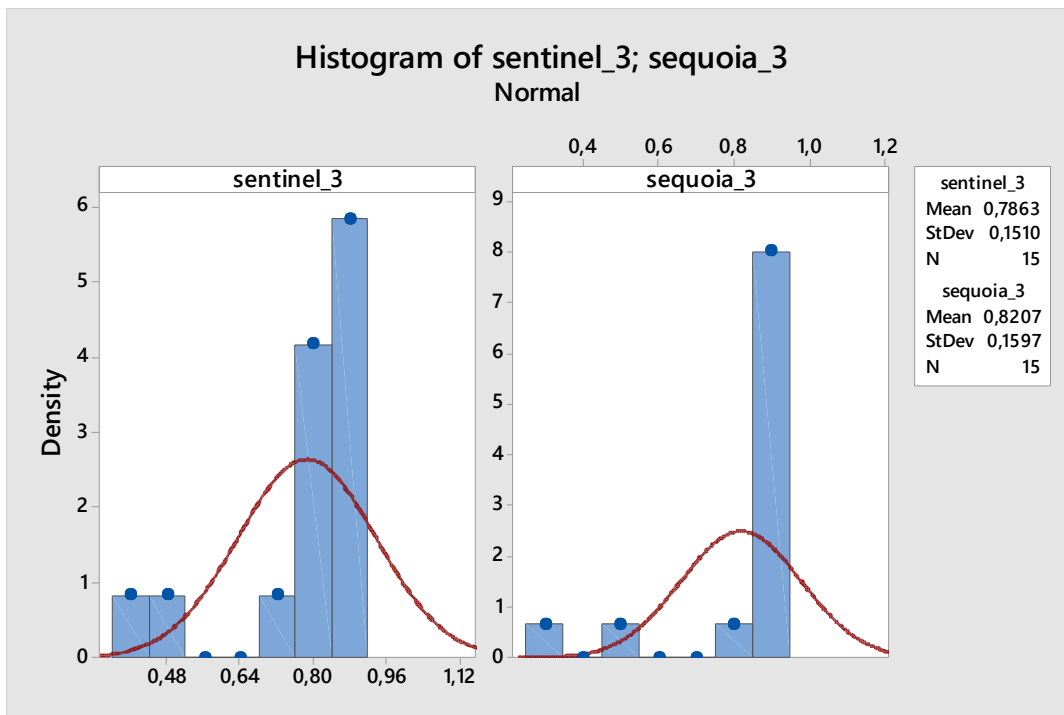
αντίστοιχα. Η μικρότερη εμφανίζεται κατά την πρώτη μέτρηση, γεγονός που ίσως σχετίζεται με το βιολογικό στάδιο των φυτών, όπου σε αυτή τη φάση κάποιες καλλιέργειες μπορεί να μην έχουν φτάσει στην πλήρη ανάπτυξη τους. Επίσης όπως φαίνεται από τα ιστογράμματα για κάθε ημερομηνία (Εικ. 80-84), υπάρχει διαφορά στο εύρος των τιμών, με μεγαλύτερο να παρουσιάζεται στα δεδομένα της πολυφασματικής κάμερας, γεγονός που οφείλεται στην υψηλότερη ανάλυση της, κάτι το οποίο της επιτρέπει να διακρίνει και να καταγράψει καλύτερα τις διαφορές στη βλαστική ανάπτυξη αλλά και τα κενά από βλάστηση στο έδαφος.



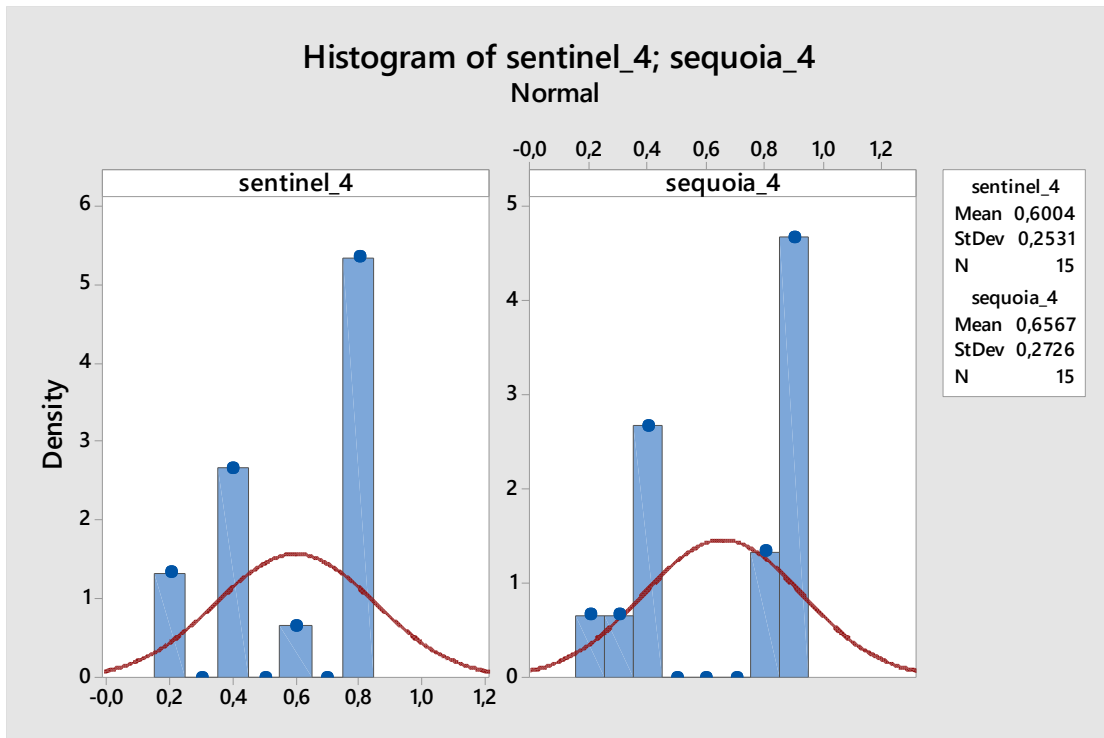
Εικόνα 80: Ιστόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για την πρώτη παρατήρηση



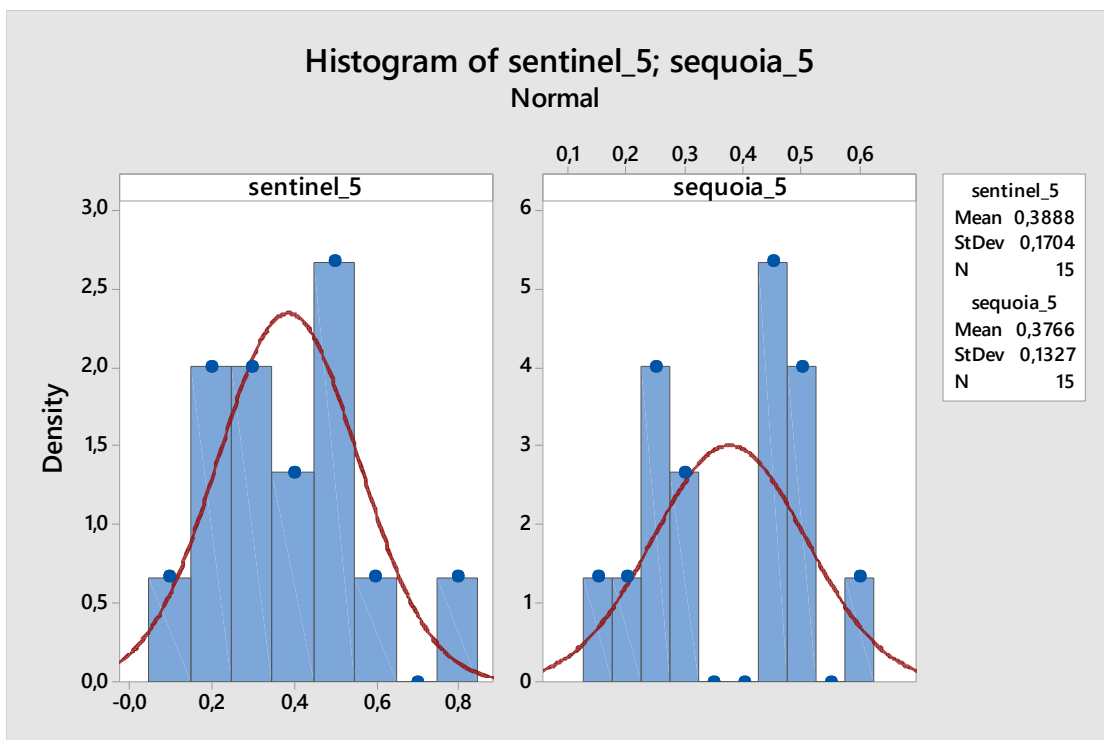
Εικόνα 81: Ιστόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για τη δεύτερη παρατήρηση



Εικόνα 82: Ιστόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για την τρίτη παρατήρηση



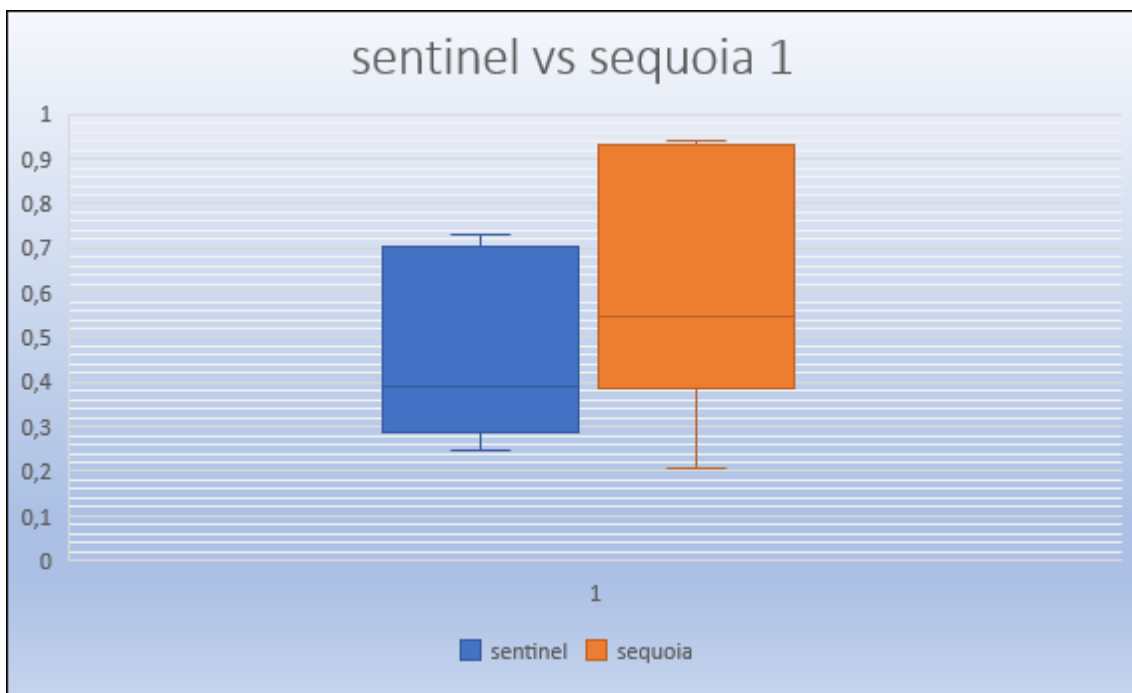
Εικόνα 83: Ιστόγραμμα τιμών του NDVI των σημείων για την τέταρτη παρατήρηση



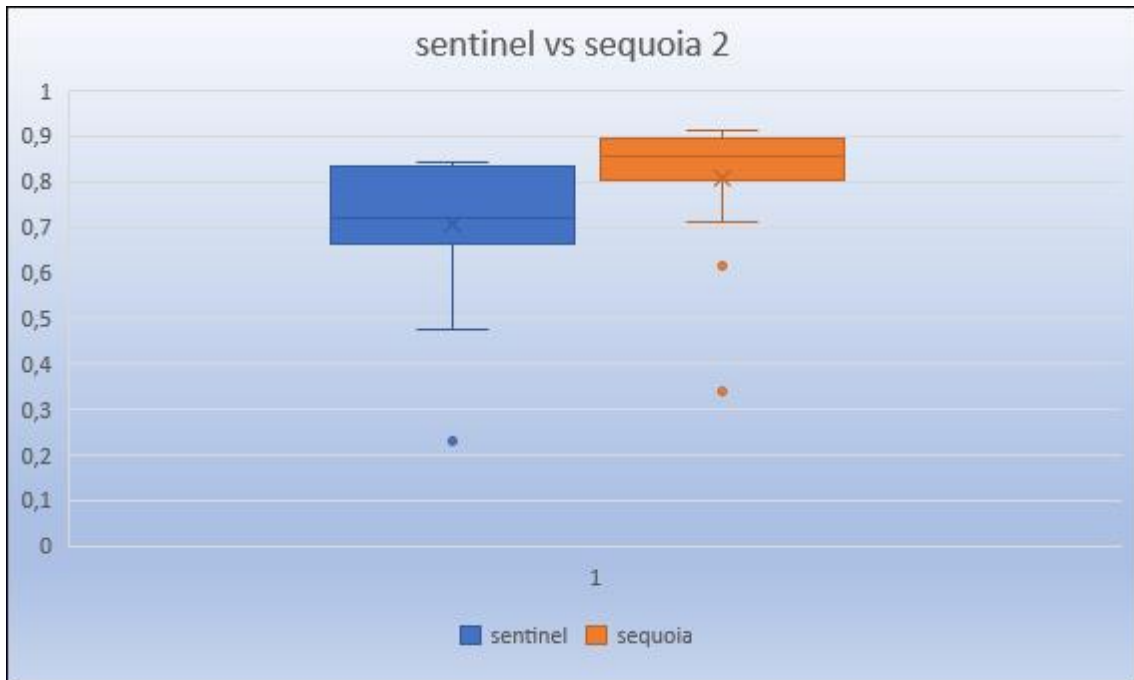
Εικόνα 84: Ιστόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για την πέμπτη παρατήρηση

Η σύγκριση των μέσων τιμών του NDVI των εικονοστοιχείων για την

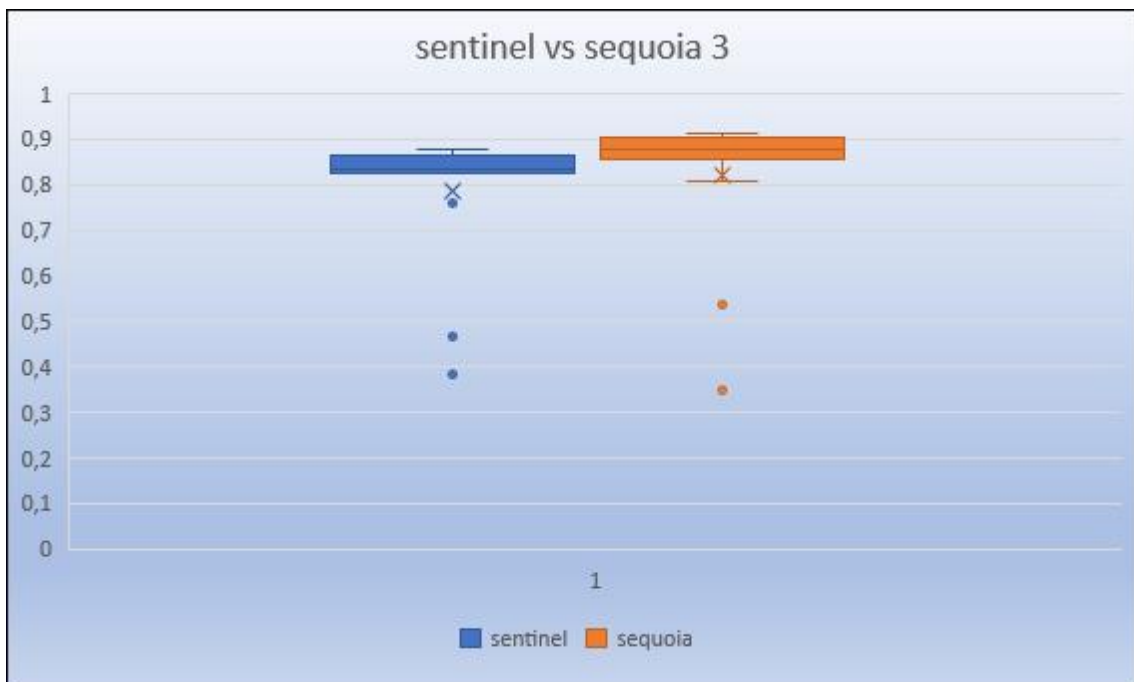
πολυφασματική κάμερα και το sentinel-2, πραγματοποιήθηκε με τη στατιστική μέθοδο ANOVA, τα αποτελέσματα της οποίας για κάθε περίπτωση παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα I της εργασίας. Αποδεικνύεται ότι υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών για τις τέσσερις πρώτες παρατηρήσεις. Στα θηκογράμματα των εικόνων 85-89, οι μέσες τιμές των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν στην πολυφασματική κάμερα φαίνεται να είναι μεγαλύτερες από αυτές που προέρχονται από τα δορυφορικά δεδομένα, για τις τέσσερις πρώτες ημερομηνίες. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τη διαφορά που υπάρχει στη χωρική ανάλυση μεταξύ των δύο τεχνολογιών, αφού όπως προαναφέρθηκε η τάση τους έχει αρκετές ομοιότητες. Αντίθετα στην πέμπτη μέτρηση οι μέσοι όροι των τιμών δε φαίνεται να έχουν στατιστική διαφορά, κάτι που ίσως να οφείλεται στην μεγάλη μείωση της φυτομάζας που συνήθως παρατηρείται στα χωράφια στις αρχές Οκτωβρίου και έτσι να αμβλύνονται οι διαφορές στην ανάκλαση.



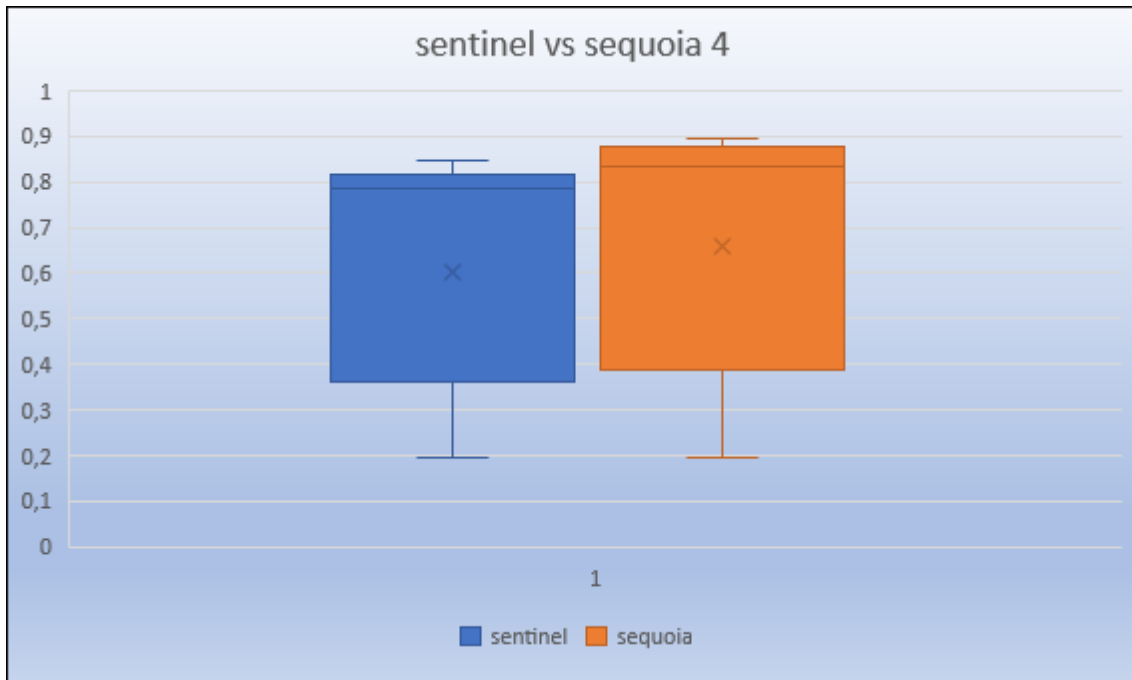
Εικόνα 85: Θηκόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για την πρώτη παρατήρηση



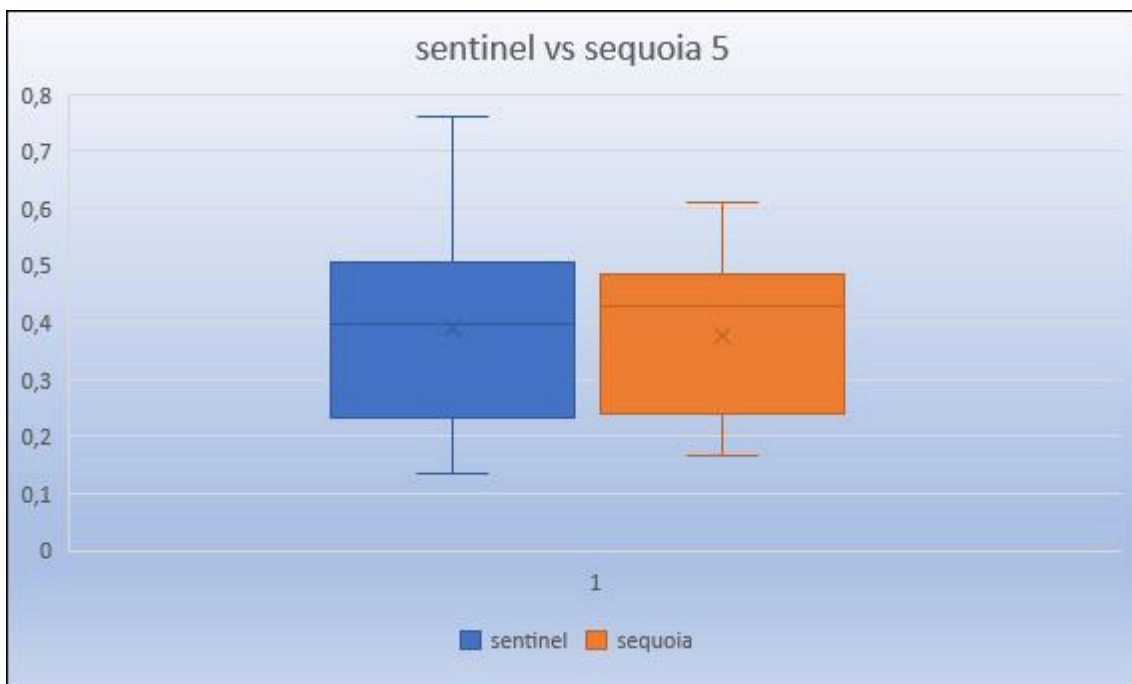
Εικόνα 86: Θηκόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για τη δεύτερη παρατήρηση



Εικόνα 87: Θηκόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για την τρίτη παρατήρηση



Εικόνα 88: Θηκόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για την τέταρτη παρατήρηση

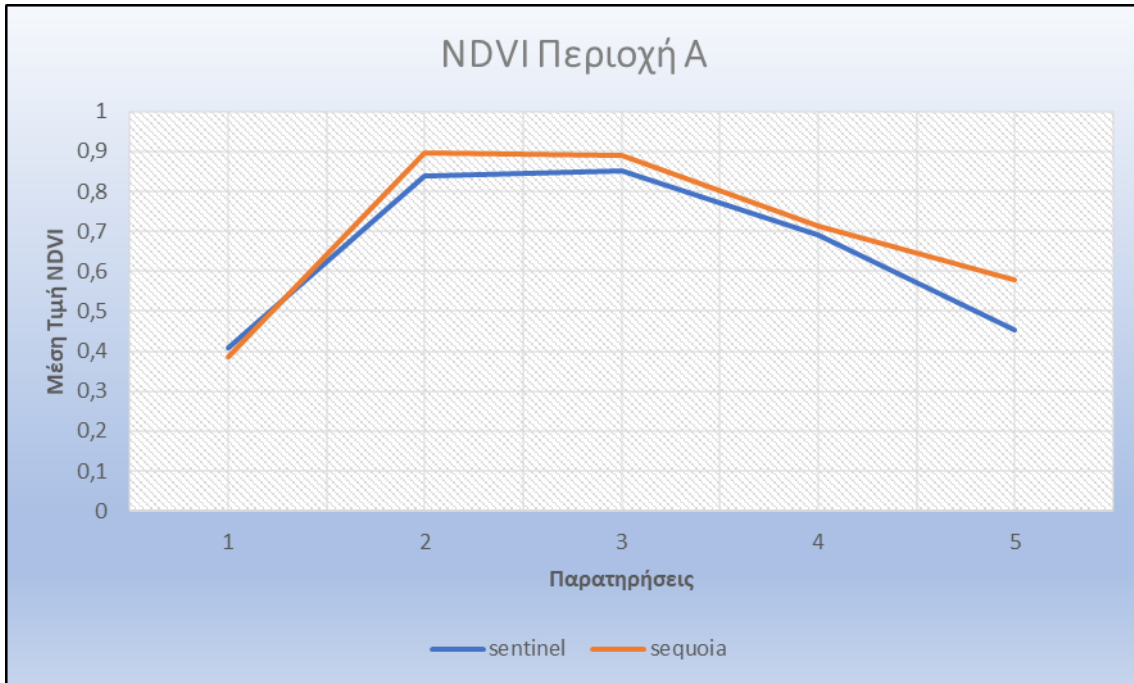


Εικόνα 89: Θηκόγραμμα τιμών NDVI των σημείων για την πέμπτη παρατήρηση

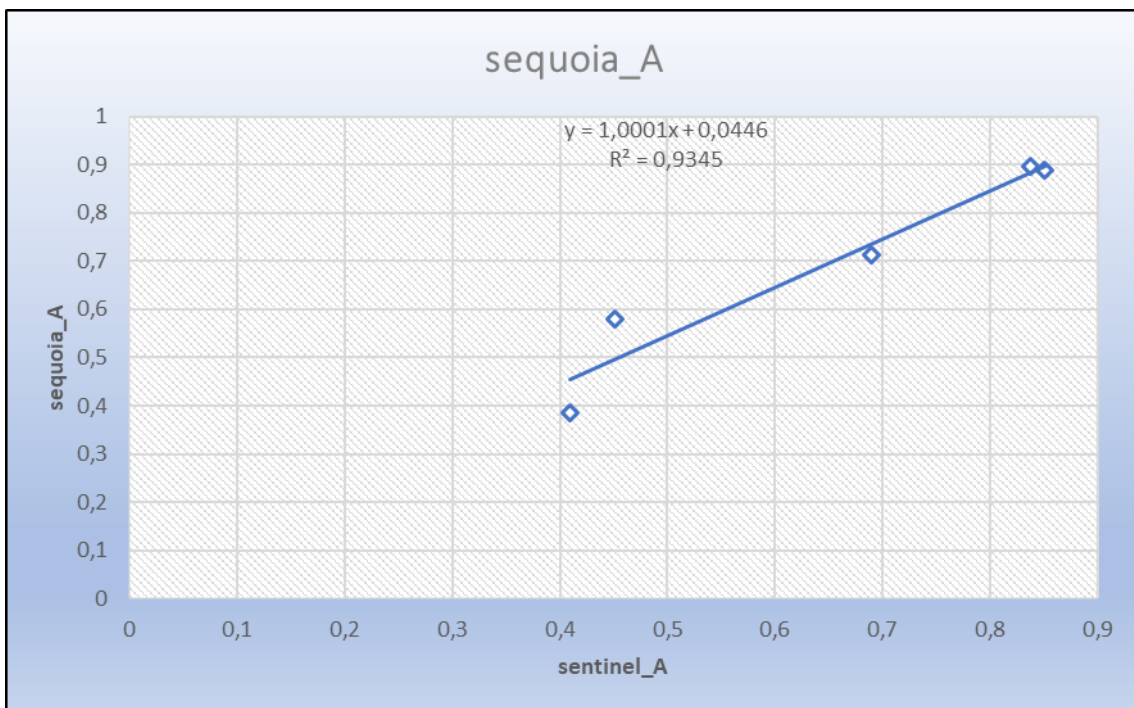
3.2 Μελέτη των αποτελεσμάτων για συγκεκριμένες περιοχές (πολύγωνα)

Η μελέτη των δεδομένων για συγκεκριμένες περιοχές για τις δύο τεχνολογίες

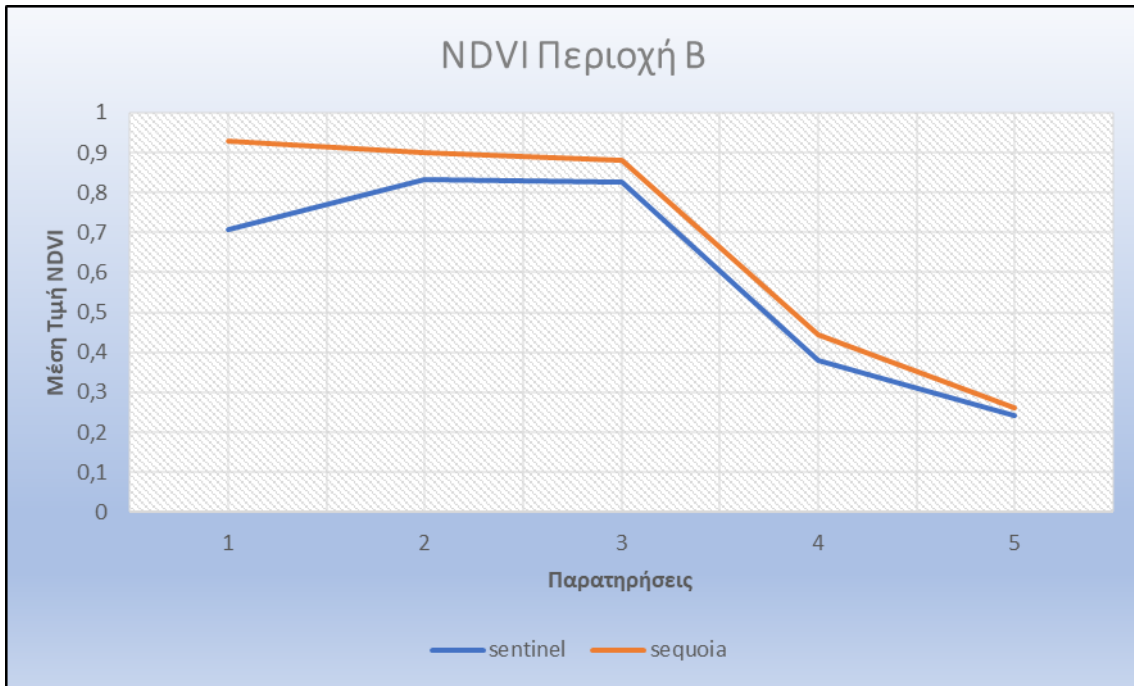
διενεργήθηκε μέσω συγκρίσεων των στατιστικών δεδομένων της κάθε περιοχής (A, B, C, D) ξεχωριστά με βάση τα χρονικά διαστήματα των παρατηρήσεων. Οι συγκρίσεις αυτές απεικονίζονται στα παρακάτω γραφήματα (Εικ. 90-97).



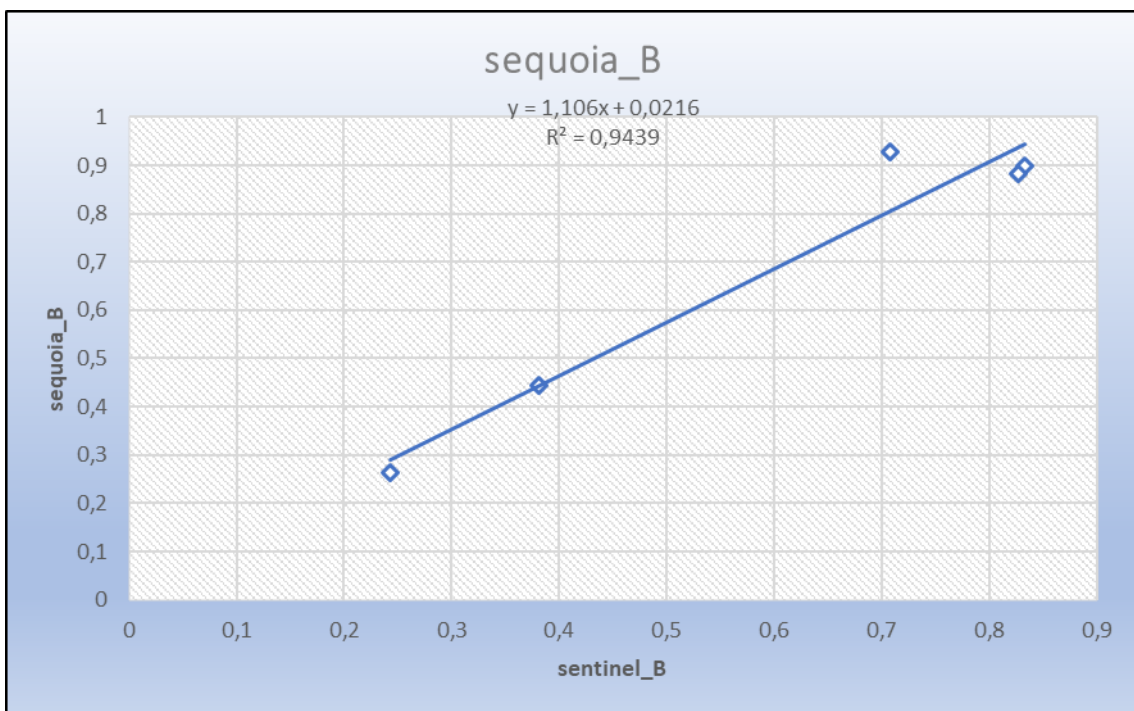
Εικόνα 90: Διάγραμμα γραμμής της μέσης τιμής του NDVI για την περιοχή A



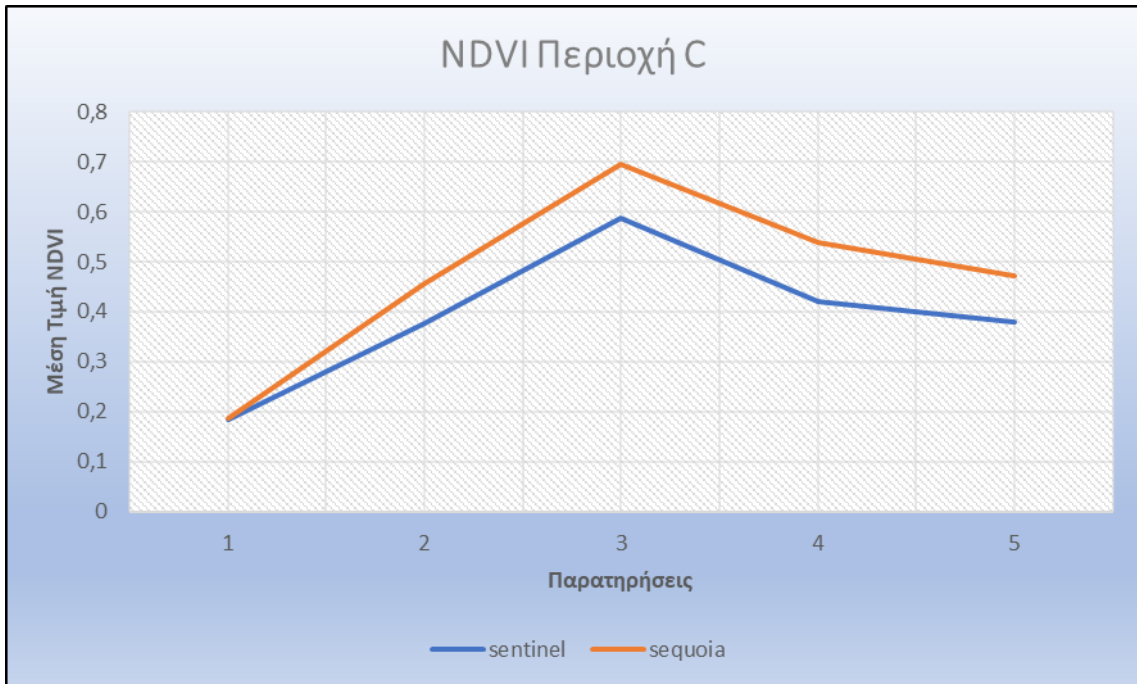
Εικόνα 91: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των δύο τεχνολογιών για την περιοχή A



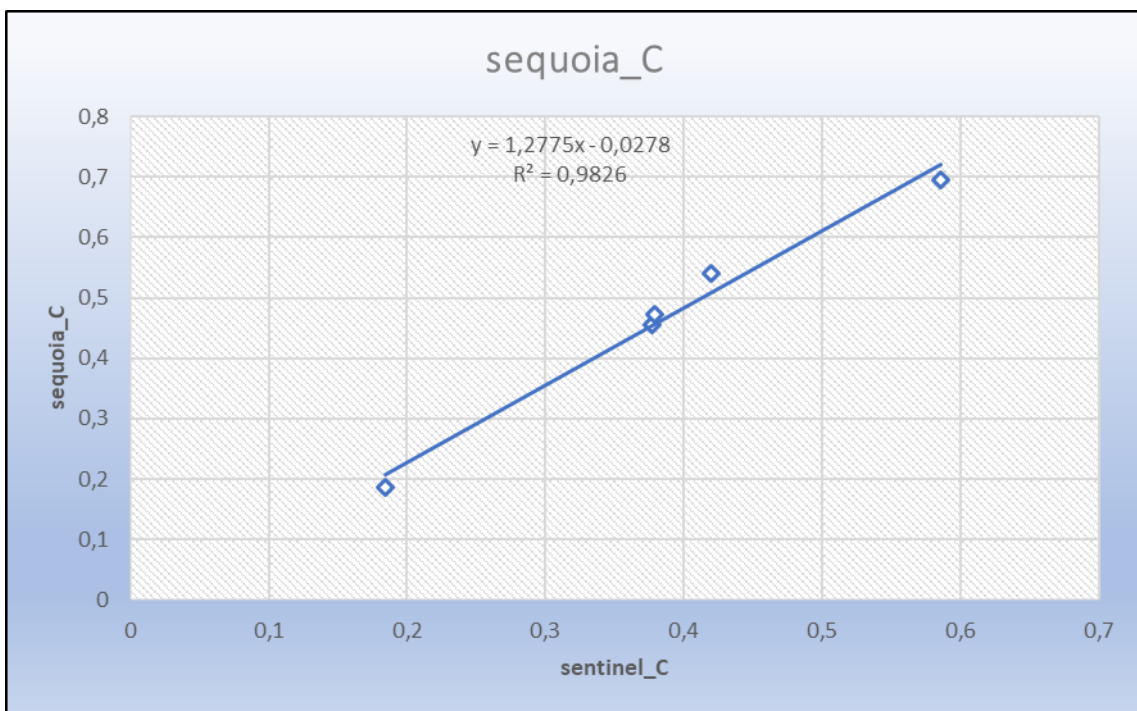
Εικόνα 92: Διάγραμμα γραμμής της μέσης τιμής του NDVI για την περιοχή Β



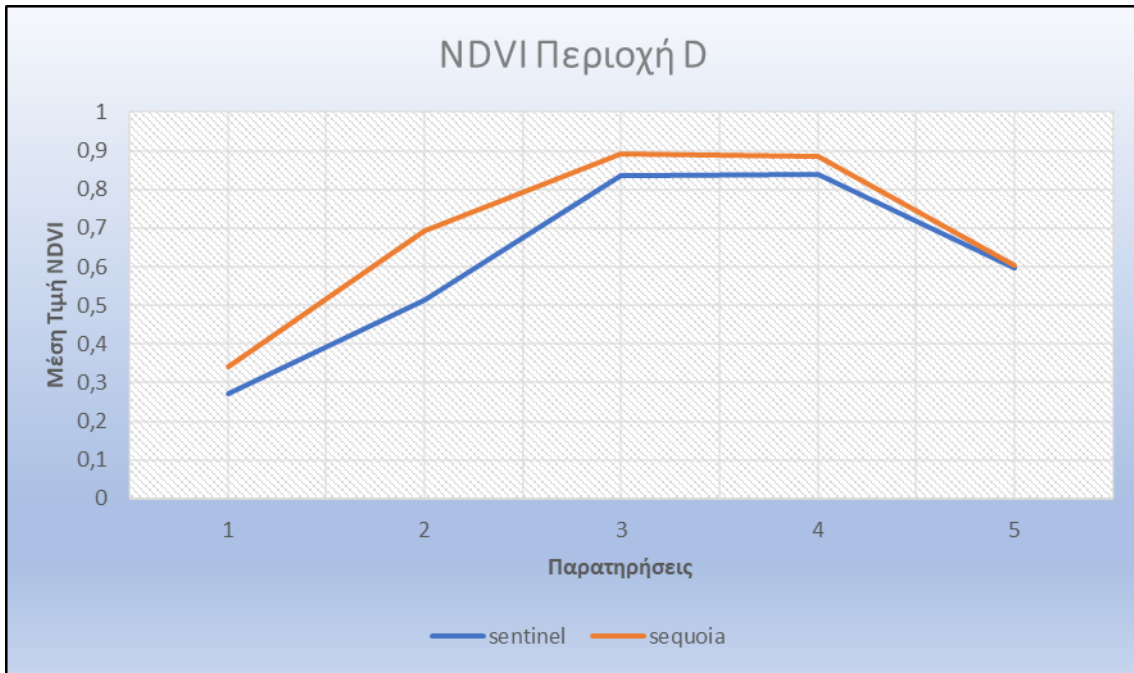
Εικόνα 93: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των δύο τεχνολογιών για την περιοχή Β



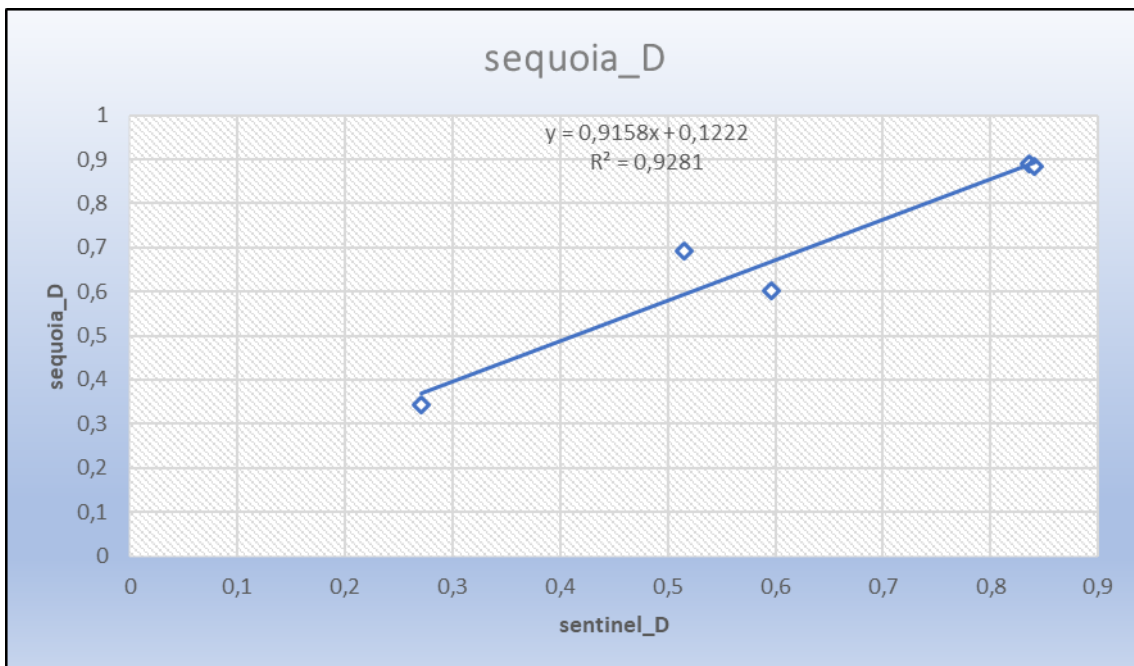
Εικόνα 94: Διάγραμμα γραμμής της μέσης τιμής του NDVI για την περιοχή C



Εικόνα 95: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των δύο τεχνολογιών για την περιοχή C



Εικόνα 96: Διάγραμμα γραμμής της μέσης τιμής του NDVI για την περιοχή D

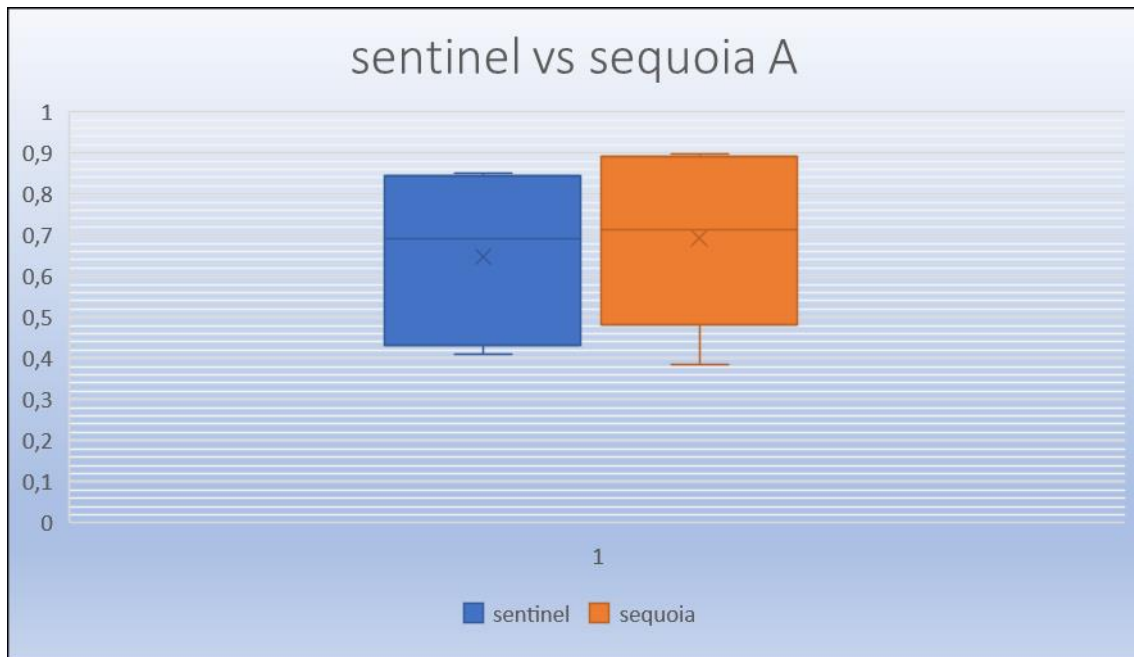


Εικόνα 97: Διάγραμμα διασποράς του NDVI των δύο τεχνολογιών για την περιοχή D

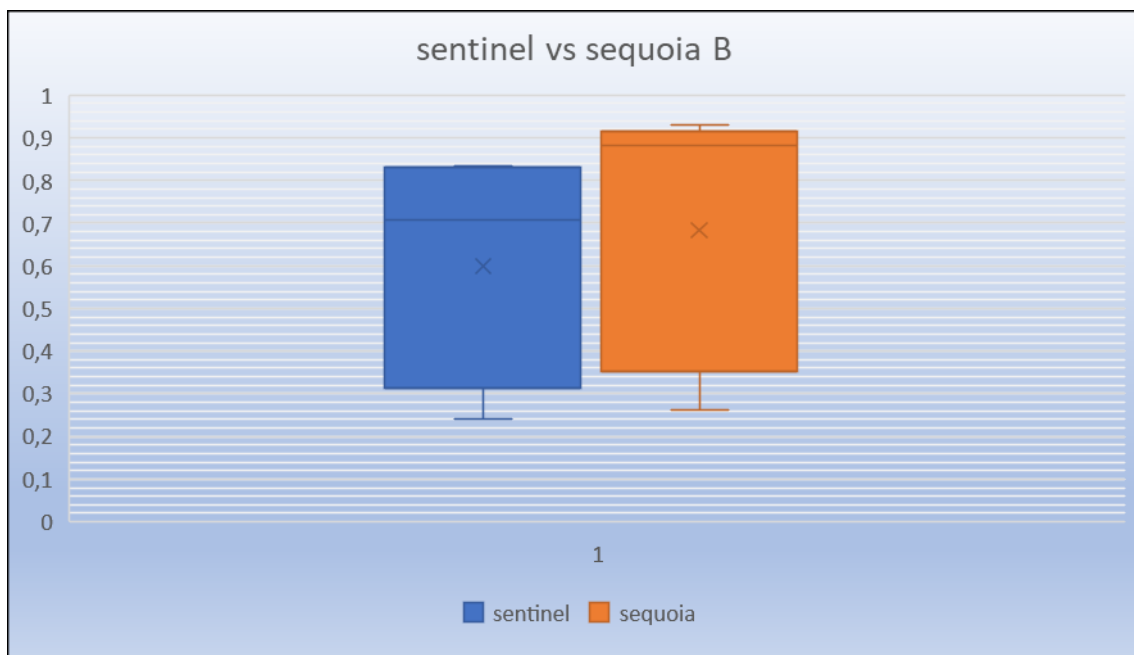
Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι και στις τέσσερις περιοχές η τάση της μέσης τιμής του NDVI είναι ουσιαστικά ίδια μεταξύ των δύο τεχνολογιών. Επίσης καταγράφεται υψηλή γραμμική συσχέτιση του NDVI μεταξύ των δεδομένων της πολυφασματικής κάμερας και του δορυφόρου, με το συντελεστή συσχέτισης να είναι

93,45%, 94,39%, 98,26% και 92,81% για τις μέσες τιμές μεταξύ των sentinel και sequoia.

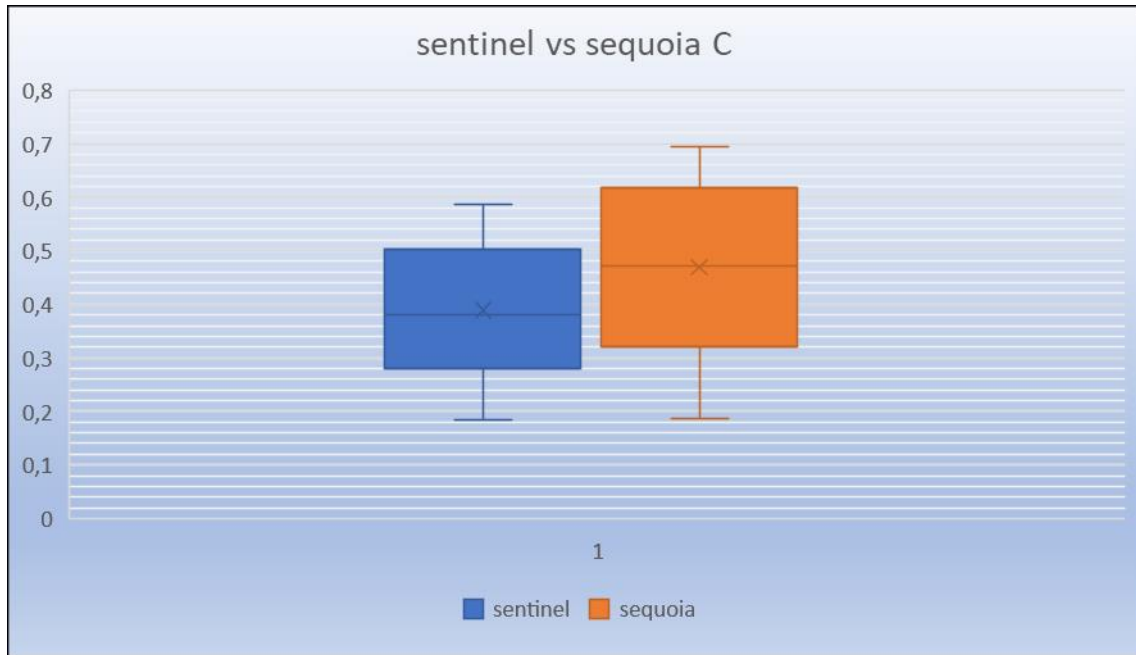
Η σύγκριση των μέσων τιμών του NDVI για κάθε περιοχή, πραγματοποιήθηκε με τη στατιστική μέθοδο ANOVA, τα αποτελέσματα της οποίας για κάθε περίπτωση παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα I της εργασίας. Η μέθοδος δείχνει ότι για τις δύο τεχνολογίες εμφανίζεται στατιστική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών του δείκτη μόνο για την περιοχή C και όχι για τις περιοχές A, B και D. Η διαφορά στην περιοχή C ίσως οφείλεται στην υψηλότερη χωρική παραλλακτικότητα που εμφανίζει (Πιν. 5), την οποία αναγνωρίζει η υψηλότερη χωρική ικανότητα της Sequoia. Στα θηκογράμματα των εικόνων 98-101, οι μέσες τιμές των πολυγώνων που αντιστοιχούν στην πολυφασματική κάμερα φαίνεται να είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές που προέρχονται από τα δορυφορικά δεδομένα, για τις τέσσερις ημερομηνίες, λαμβάνοντας όμως υπόψιν την έλλειψη στατιστικής διαφοράς μεταξύ τους (εκτός της τρίτης περιοχής). Ακόμα από τα ιστογράμματα για κάθε ημερομηνία παρατήρησης (παράρτημα II) και τον πίνακα 4, της παραγράφου 2.5, φαίνεται ότι το εύρος των τιμών του NDVI (max-min) για τις τέσσερις περιοχές είναι μεγαλύτερο όταν τα δεδομένα συλλέγονται με χρήση πολυφασματικής κάμερας. Στον ίδιο πίνακα καταγράφεται ότι για κάθε παρατήρηση ο συντελεστής μεταβλητότητας των δεδομένων της sequoia, ο οποίος σύμφωνα με τους Φουντά και Γέμτο (2015) αποτελεί μέτρο χωρικής παραλλακτικότητας των δεδομένων, είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του sentinel. Τα παραπάνω συμπεράσματα οφείλονται στην υψηλότερη χωρική ανάλυση που διαθέτει, που της επιτρέπει να διακρίνει και να καταγράψει καλύτερα τις διαφορές στη βλαστική ανάπτυξη αλλά και τα κενά από βλάστηση στο έδαφος.



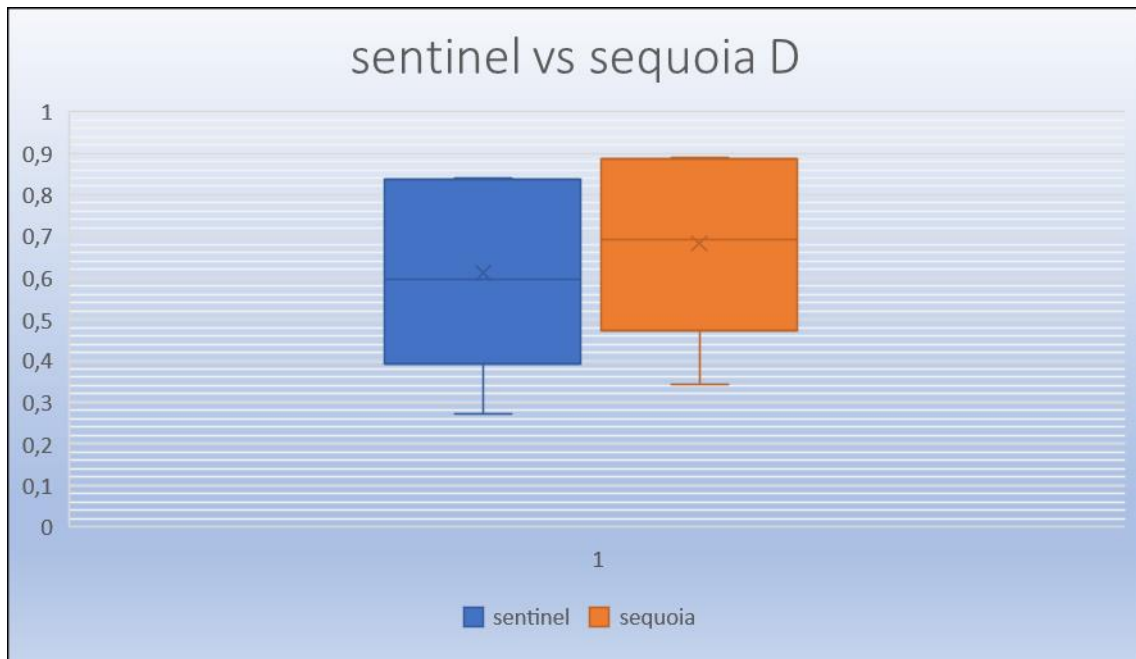
Εικόνα 98: Θηκόγραμμα των μέσων τιμών του NDVI για την περιοχή A



Εικόνα 99: Θηκόγραμμα των μέσων τιμών του NDVI για την περιοχή B



Εικόνα 100: Θηκόγραμμα των μέσων τιμών του NDVI για την περιοχή C

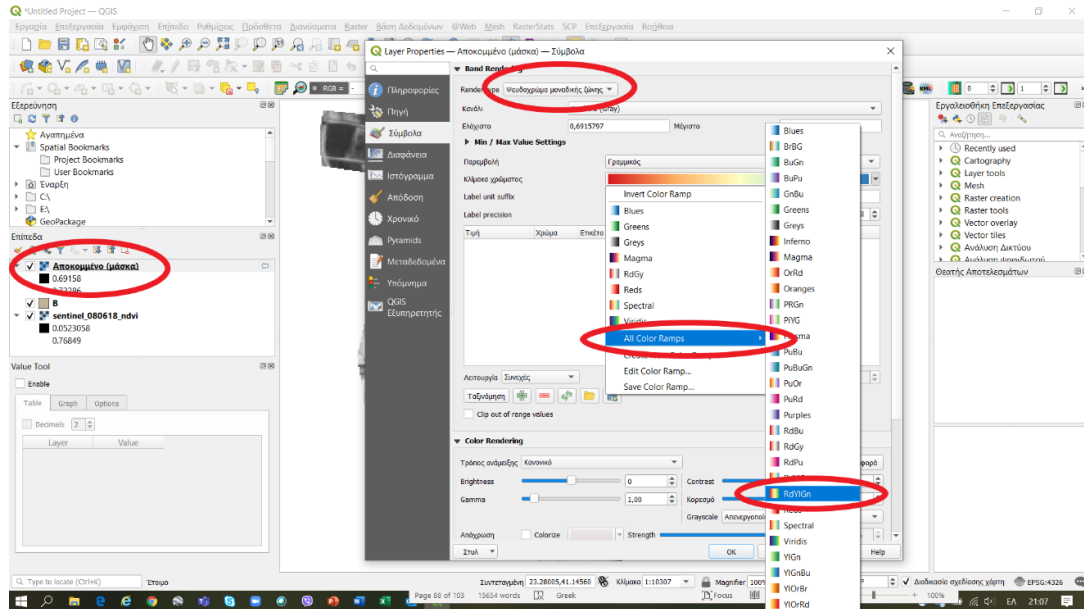


Εικόνα 101: Θηκόγραμμα των μέσων τιμών του NDVI για την περιοχή D

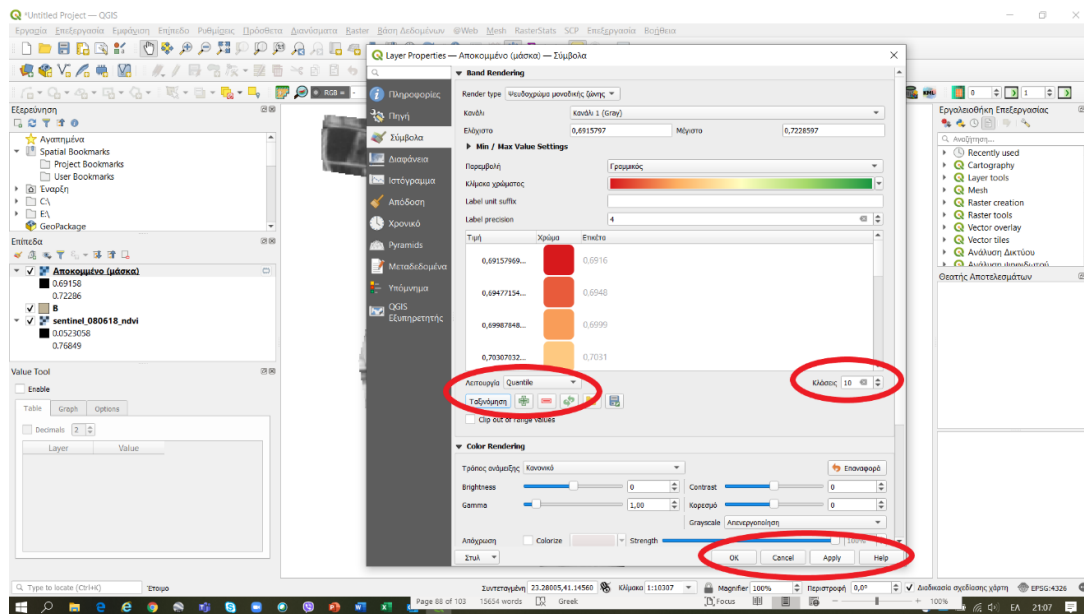
3.3 Οπτική σύγκριση των δεδομένων

Η απεικόνιση των δεδομένων με ψευδόχρωμα διευκολύνει την οπτική σύγκριση των δύο εξεταζόμενων τεχνολογιών. Για το λόγο αυτό θα καταγραφεί η αποτύπωση της περιοχής B με ψευδόχρωμα σε διάφορες κλίμακες. Στην εφαρμογή QGIS εισάγεται το

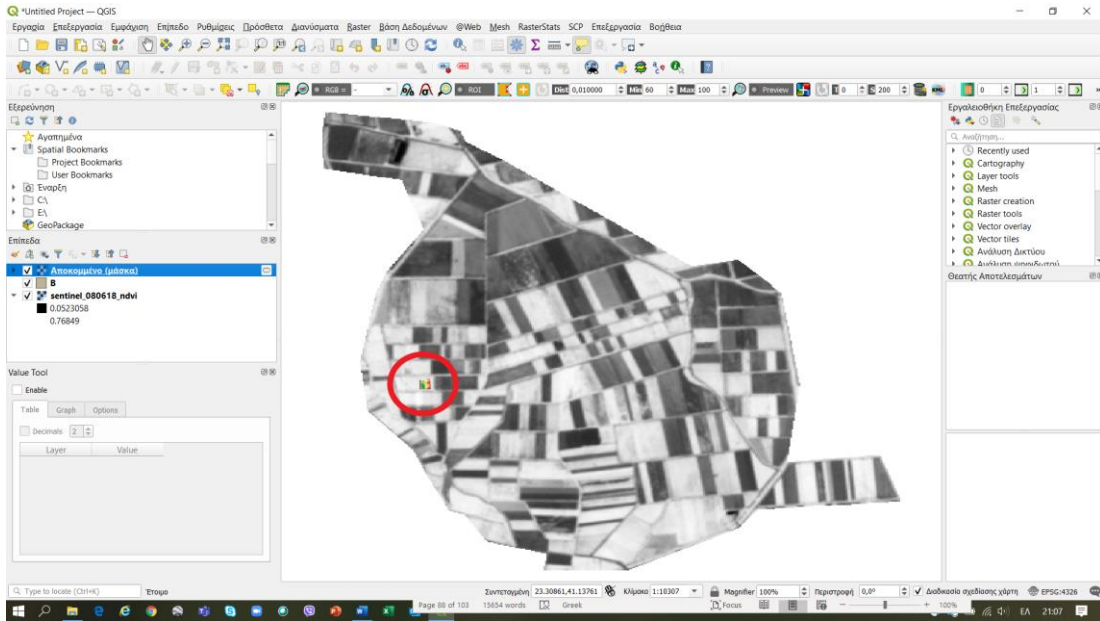
αρχείο NDVI για κάθε τεχνολογία και το επίπεδο της περιοχής (πολύγωνο B). Αποκόπτεται το επίπεδο του πολυγώνου (για το NDVI από την πολυφασματική κάμερα πρέπει να γίνει η μετατροπή του πολυγώνου στο κατάλληλο Επίπεδο Αναφοράς Συντεταγμένων) και ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία (Εικ. 102-107).



Εικόνα 102



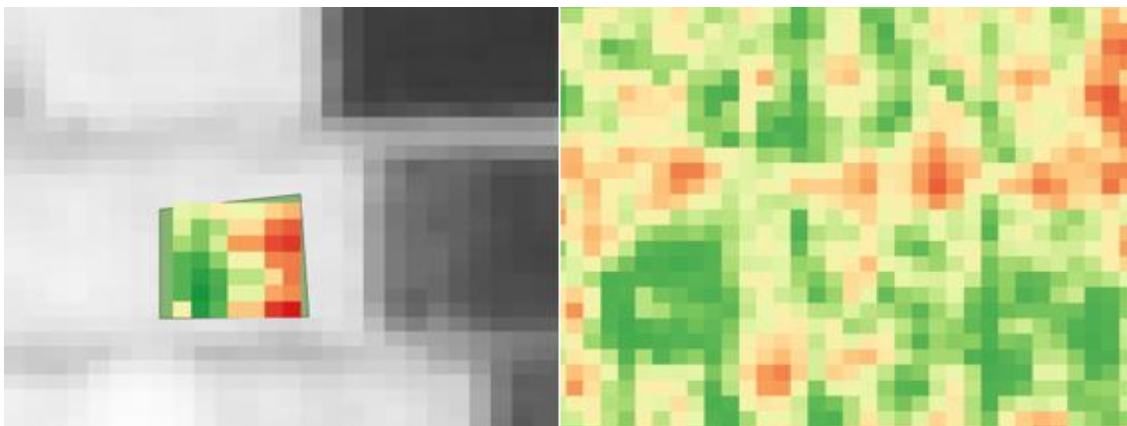
Εικόνα 103



Εικόνα 104



Εικόνα 105: Αποτύπωση της περιοχής B σε κλίμακα 1:1000 στα δεδομένα από δορυφόρο (αριστερά) και από πολυφασματική κάμερα (δεξιά)



Εικόνα 106: Αποτύπωση της περιοχής B από δορυφόρο σε κλίμακα 1:735 (αριστερά) και από πολυφασματική κάμερα σε κλίμακα 1:24 (δεξιά)

Η περιοχή Β σε ανάλυση 1:1000 από sentinel και sequoia απεικονίζεται στην εικόνα 105. Φαίνεται και στις δύο απεικονίσεις ότι σε γενικές γραμμές περιγράφεται η κατάσταση της περιοχής, δηλαδή η περισσότερη βλάστηση που υπάρχει στο αριστερό τμήμα της και η σταδιακή μείωση της προς το δεξιό της. Η υψηλότερη ανάλυση της sequoia της επιτρέπει να διακρίνει τα τμήματα που υπάρχει αραιότερη βλάστηση ακόμα και όταν βρίσκεται μέσα στην περιοχή της πυκνής βλάστησης, αλλά και να διαβαθμίζει την πυκνότητα της με μεγαλύτερη ακρίβεια. Στην εικόνα 106 αποτυπώνεται η ίδια περιοχή σε ανάλυση 1:735 από το δορυφόρο sentinel και σε ανάλυση 1:24 από την κάμερα sequoia. Εδώ φαίνεται το πόσο καλύτερα μπορεί να αναλυθεί η κατάσταση της περιοχής όταν τα δεδομένα συλλέγονται με πολυφασματική κάμερα και το πλεονέκτημα που παρέχει η χρήση των ΣμηΕΑ, όταν χρειάζεται η καταγραφή περισσότερων πληροφοριών και με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Γεωργία Ακριβείας έχει στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας των καλλιεργούμενων εκτάσεων, που σημαίνει την αύξηση της απόδοσης τους με παράλληλο εξορθολογισμό των αγροχημικών εισροών, ώστε να μειωθεί το κόστος παραγωγής αλλά και να προστατευθεί το περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χωρική και χρονική διαχείριση της παραλλακτικότητας των αγρών, μέσω της επεξεργασίας καθορισμένων πληροφοριών που συλλέγονται από διάφορες πηγές. Η ανάπτυξη σύγχρονων τεχνολογιών συλλογής δεδομένων σε συνδυασμό με την αξιοποίηση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη γεωργία, επέτρεψαν την ακριβή παρακολούθηση των μεταβολών των φυσικών διαθεσίμων στο χώρο και στο χρόνο και αξιοποιούνται ολοένα και περισσότερο κατά τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τις αγροτικές δραστηριότητες. Η τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα από τα κυριότερα εργαλεία της ΓΑ και η εξέλιξη της τεχνολογίας των αισθητήρων αυξάνει ολοένα και περισσότερο την αναγκαιότητα της εφαρμογής της και ευνοεί τη χρήση της. Έτσι η παρακολούθηση των καλλιεργειών διευκολύνεται από την ικανότητα των πολυφασματικών αισθητήρων να καταγράφουν την ανάκλαση των αντικειμένων σε διάφορα μήκη κύματος ακτινοβολίας, σε συνδυασμό με τις διακριτές φασματικές υπογραφές των διαφόρων εδαφών και ιδιαίτερα της επιφάνειας των φύλλων.

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν δορυφορικά δεδομένα με αντίστοιχα που προήλθαν από αεροφωτογράφιση από Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροχήματος, με σκοπό να συγκριθούν οι δύο αυτές τεχνολογίες κατά τη χρήση τους στη ΓΑ. Η μελέτη βασίστηκε στο δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) και συγκρίθηκαν οι τιμές του που προήλθαν τόσο από συγκεκριμένα σημεία (εικονοστοιχεία) μιας περιοχής, όσο και από συγκεκριμένες περιοχές (πολύγωνα). Προέκυψε ότι η τάση των τιμών του NDVI είναι παρόμοια για τα δεδομένα που προέρχονται από τα δύο μέσα, για όλες τις ημερομηνίες παρατήρησης, τόσο σε ότι αφορά την μελέτη των μεμονωμένων εικονοστοιχείων, όσο και των συγκεκριμένων περιοχών. Υπάρχουν διαφορές στις μέσες τιμές του δείκτη μεταξύ των δύο τεχνολογιών σε όλες τις ημερομηνίες, όταν συγκρίνονται συγκεκριμένα

σημεία μιας περιοχής, κάτι που αποδίδεται στην υψηλότερη χωρική ανάλυση της πολυφασματικής κάμερας του ΣμηΕΑ, τα δεδομένα της οποίας δίνουν μεγαλύτερη μέση τιμή NDVI. Αυτό δεν συμβαίνει μόνο στην τελευταία παρατήρηση, που διενεργήθηκε στα μέσα φθινοπώρου, ίσως διότι τότε μειώνεται η βλάστηση στο έδαφος και λιγοστεύουν οι λεπτομέρειες στις πληροφορίες. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο όταν η μέτρηση αφορά μια ευρύτερη περιοχή και χρησιμοποιείται η μέση τιμή του δείκτη για αυτήν. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι η υψηλότερη χωρική ικανότητα της Sequoia της δίνει το πλεονέκτημα σε σχέση με τον αισθητήρα του δορυφόρου, όταν πρόκειται να υπολογιστεί ο NDVI ενός συγκεκριμένου σημείου ή μιας μικρής περιοχής, αλλά αυτό σταδιακά παύει να υφίσταται όσο μεγαλώνει η περιοχή μελέτης, δεδομένου ότι αυξάνονται οι ακραίες τιμές του NDVI εντός αυτής και οι οποίες επηρεάζουν την μέση τιμή του. Επίσης στη διαφορά της χωρικής ανάλυσης των δύο μέσων αποδίδονται οι διαφορές στο εύρος των τιμών του δείκτη, καθώς και στο συντελεστή παραλλακτικότητας που παρατηρήθηκαν κατά την μελέτη των πολυγώνων. Η πολυφασματική κάμερα έδωσε δεδομένα με μεγαλύτερο εύρος τιμών και μεγαλύτερο συντελεστή παραλλακτικότητας. Επιπρόσθετα σε όλες τις περιπτώσεις καταγράφηκε αρκετά υψηλή συσχέτιση των τιμών του NDVI των δορυφορικών δεδομένων και των αεροφωτογραφιών.

Από τις συγκρίσεις συμπεραίνεται ότι σε γενικές γραμμές και οι δύο τεχνολογίες περιγράφουν την κατάσταση που υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους, τόσο σε ότι αφορά ύπαρξη φυτών, όσο και ως ένα βαθμό σε ότι αφορά την βλαστική κατάσταση αυτών. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται σχετικά με την εξέλιξη της βλάστησης είναι παρόμοιες, ενώ φαίνεται ότι η υψηλότερη χωρική ανάλυση της πολυφασματικής κάμερας επιτρέπει τη συγκέντρωση περισσότερων δεδομένων σε σχέση με το δορυφόρο και έτσι η μελέτη των χαρακτηριστικών της επιφάνειας του εδάφους είναι πληρέστερη.

Σημαντικό κριτήριο επιλογής ενός εκ των δύο τεχνολογιών αποτελεί το κόστος της χρήσης τους. Το κόστος αγοράς ενός αεροχήματος με μια αξιόλογη πολυφασματική κάμερα έχει μειωθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια, ενώ θα πρέπει να υπολογιστεί και η αγορά ή η συνδρομή ενός λογισμικού επεξεργασίας φωτογραφιών. Σε αυτά προστίθεται το κόστος απόκτησης άδεια χειριστή ή της συνεργασίας με κάποια εταιρία παροχής υπηρεσιών σχετικής με το αντικείμενο. Σε ότι αφορά τα δορυφορικά δεδομένα το κόστος απόκτησης τους αφορά τη συνδρομή στη σχετική πλατφόρμα. Παράλληλα

πρέπει να ληφθεί υπόψη η ευκολία εφαρμογής των τεχνολογιών και η δυνατότητα συλλογής του αναγκαίου όγκου πληροφοριών. Η πτήση αεροχήματος απαιτεί τη φυσική παρουσία του ερευνητή στο χωράφι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος και ο χρόνος συλλογής δεδομένων και να μειώνεται ο όγκος των πληροφοριών. Αντίθετα ο δορυφόρος παρέχει μεγαλύτερο όγκο δεδομένων τόσο εξαιτίας της επαναληψιμότητας διέλευσης του από μια περιοχή, όσο και από το εύρος της επιφάνειας που καλύπτει.

Συμπερασματικά από το επίπεδο ανάλυσης που γίνεται στη συγκεκριμένη εργασία μπορεί να ειπωθεί ότι και οι δύο τεχνολογίες μπορούν να αξιοποιηθούν κατά την εφαρμογή της ΓΑ σε ότι αφορά τον υπολογισμό του δείκτη NDVI. Η επιλογή της μίας ή της άλλης εξαρτάται από το σκοπό που προορίζεται να εξυπηρετήσει. Αν η ανάγκη απαιτεί την καταγραφή περισσότερων λεπτομερειών, όπως για παράδειγμα να οριοθετηθεί μια προβληματική περιοχή ενός αγρού ή να εντοπιστεί η προσβολή από έναν εχθρό σε συγκεκριμένο χώρο, τότε η χρήση πολυφασματικής κάμερας ίσως δίνει περισσότερα πλεονεκτήματα. Προκειμένου να συλλεχθούν στοιχεία για μια αρκετά μεγάλη περιοχή ή αν απαιτείται η λήψη δεδομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα και ο παρατηρητής να βρίσκεται σε απόσταση από την περιοχή, τότε ίσως ο δορυφόρος να κρίνεται ως καταλληλότερη επιλογή.

Η μελέτη και η σύγκριση των δύο μέσων θα πρέπει να είναι συνεχής, δεδομένου των εξελίξεων στον τεχνολογικό τομέα, να καλύπτει μεγαλύτερο βάθος (ραδιομετρική ανάλυση) και περισσότερους τομείς (περισσότερους δείκτες).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ANOVA: ndvi_1 versus sensor; points (εικονοστοιχεία)

Factor Information

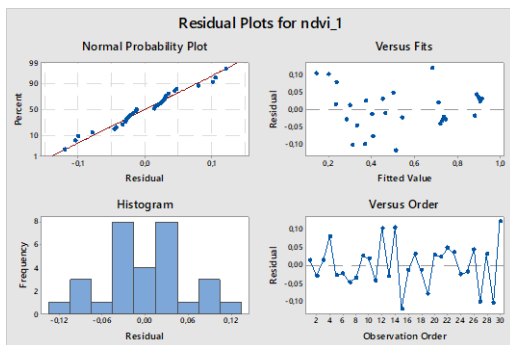
Factor	Type	Levels	Values
sensor	Fixed	2	sentinel; sequoia
points	Fixed	15	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15

Analysis of Variance for ndvi_1

Source	DF	SS	MS	F	P
sensor	1	0,2132	0,213163	28,92	0,000
points	14	1,5785	0,112747	15,29	0,000
Error	14	0,1032	0,007372		
Total	29	1,8948			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,0858598	94,55%	88,72%



ANOVA: ndvi_2 versus sensor; points (εικονοστοιχεία)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
sensor	Fixed	2	sentinel; sequoia
points	Fixed	15	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15

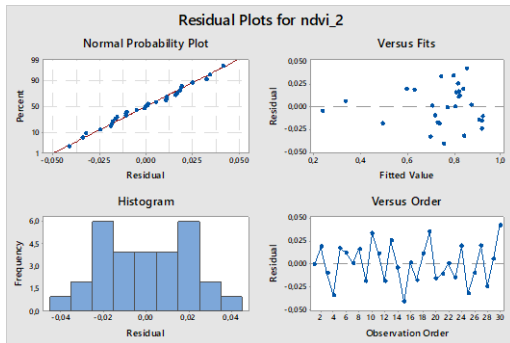
Analysis of Variance for ndvi_2

Source	DF	SS	MS	F	P
sensor	1	0,07520	0,075200	80,94	0,000
points	14	0,69164	0,049403	53,17	0,000
Error	14	0,01301	0,000929		
Total	29	0,77985			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj)

0,0304809 98,33% 96,55%



ANOVA: ndvi_3 versus sensor; points (εικονοστοιχεία)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
sensor	Fixed	2	sentinel; sequoia
points	Fixed	15	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15

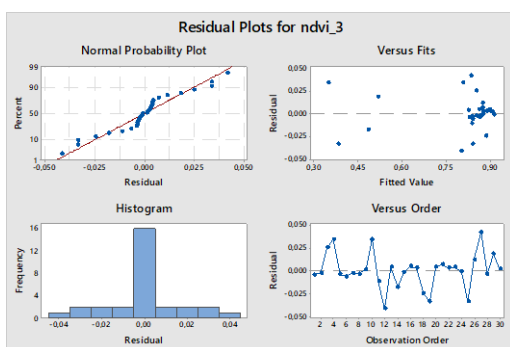
Analysis of Variance for ndvi_3

Source	DF	SS	MS	F	P
sensor	1	0,008871	0,008871	12,02	0,004
points	14	0,666070	0,047576	64,44	0,000
Error	14	0,010336	0,000738		
Total	29	0,685277			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj)

0,0271709 98,49% 96,88%



ANOVA: ndvi_4 versus sensor; points (εικονοστοιχεία)

Factor Information

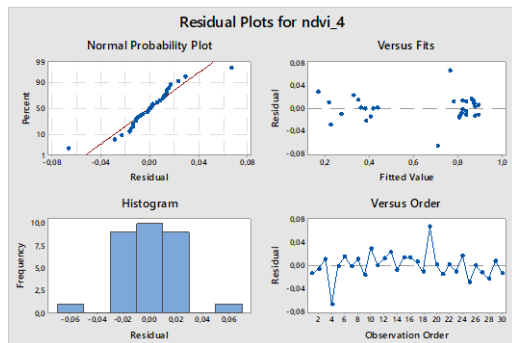
Factor	Type	Levels	Values
sensor	Fixed	2	sentinel; sequoia
points	Fixed	15	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15

Analysis of Variance for ndvi_4

Source	DF	SS	MS	F	P
sensor	1	0,02381	0,023813	22,97	0,000
points	14	1,92216	0,137297	132,45	0,000
Error	14	0,01451	0,001037		
Total	29	1,96049			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,0321963	99,26%	98,47%



ANOVA: ndvi_5 versus sensor; points (εικονοστοιχεία)

Factor Information

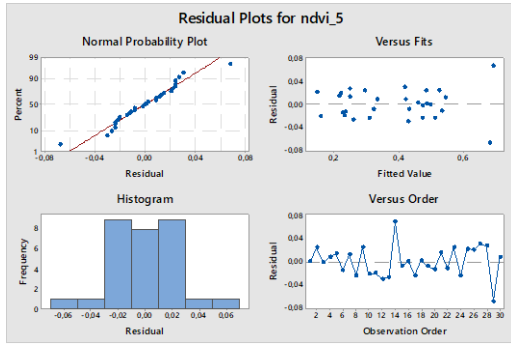
Factor	Type	Levels	Values
sensor	Fixed	2	sentinel; sequoia
points	Fixed	15	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15

Analysis of Variance for ndvi_5

Source	DF	SS	MS	F	P
sensor	1	0,001113	0,001113	0,82	0,382
points	14	0,633687	0,045263	33,15	0,000
Error	14	0,019116	0,001365		
Total	29	0,653916			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,0369515	97,08%	93,94%



ANOVA: NDVI_MEAN περιοχή A versus Μέσο λήψης; Παρατηρήσεις

Factor Information

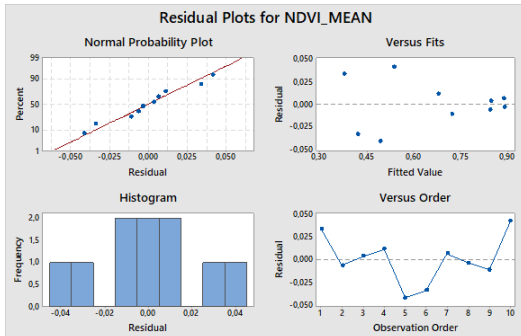
Factor	Type	Levels	Values
Μέσο λήψης	Fixed	2	sentinel; sequoia
Παρατηρήσεις	Fixed	5	1; 2; 3; 4; 5

Analysis of Variance for NDVI_MEAN

Source	DF	SS	MS	F	P
Μέσο λήψης	1	0,004989	0,004989	3,26	0,145
Παρατηρήσεις	4	0,354915	0,088729	58,07	0,001
Error	4	0,006112	0,001528		
Total	9	0,366015			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,0390894	98,33%	96,24%



ANOVA: NDVI_MEAN versus περιοχή B Μέσο λήψης; Παρατηρήσεις

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Μέσο λήψης	Fixed	2	sentinel; sequoia
Παρατηρήσεις	Fixed	5	1; 2; 3; 4; 5

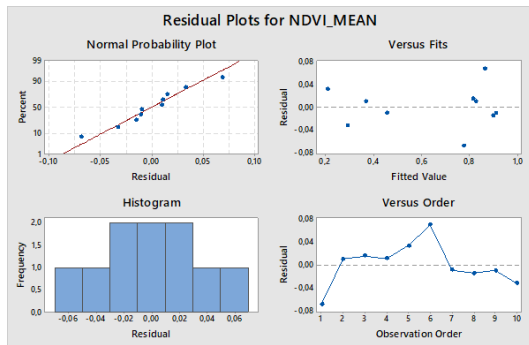
Analysis of Variance for NDVI_MEAN

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

Μέσο λήψης	1	0,01809	0,018086	5,87	0,073
Παρατηρήσεις	4	0,66153	0,165383	53,68	0,001
Error	4	0,01232	0,003081		
Total	9	0,69194			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,055504	98,22%	95,99%



ANOVA: NDVI_MEAN versus περιοχή C Μέσο λήψης; Παρατηρήσεις

Factor Information

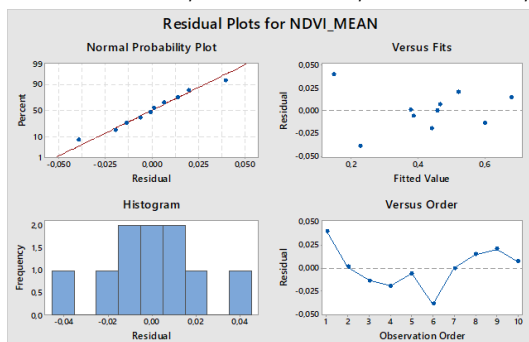
Factor	Type	Levels	Values
Μέσο λήψης	Fixed	2	sentinel; sequoia
Παρατηρήσεις	Fixed	5	1; 2; 3; 4; 5

Analysis of Variance for NDVI_MEAN

Source	DF	SS	MS	F	P
Μέσο λήψης	1	0,016111	0,016111	14,84	0,018
Παρατηρήσεις	4	0,213888	0,053472	49,24	0,001
Error	4	0,004344	0,001086		
Total	9	0,234343			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,032954	98,15%	95,83%



ANOVA: NDVI_MEAN περιοχή D versus Μέσο λήψης; Παρατηρήσεις

Factor Information

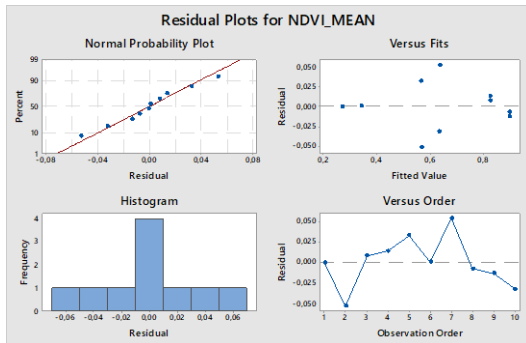
Factor	Type	Levels	Values
Μέσο λήψης	Fixed	2	sentinel; sequoia
Παρατηρήσεις	Fixed	5	1; 2; 3; 4; 5

Analysis of Variance for NDVI_MEAN

Source	DF	SS	MS	F	P
Μέσο λήψης	1	0,012476	0,012476	6,08	0,069
Παρατηρήσεις	4	0,425724	0,106431	51,83	0,001
Error	4	0,008214	0,002053		
Total	9	0,446414			

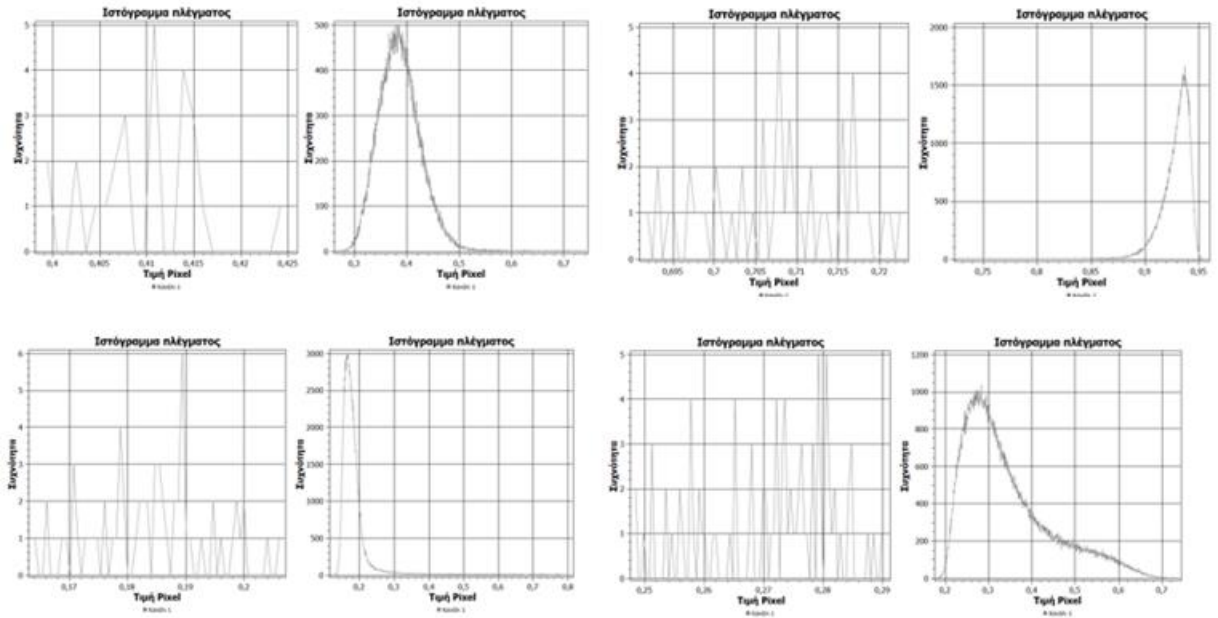
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,045315	98,16%	95,86%

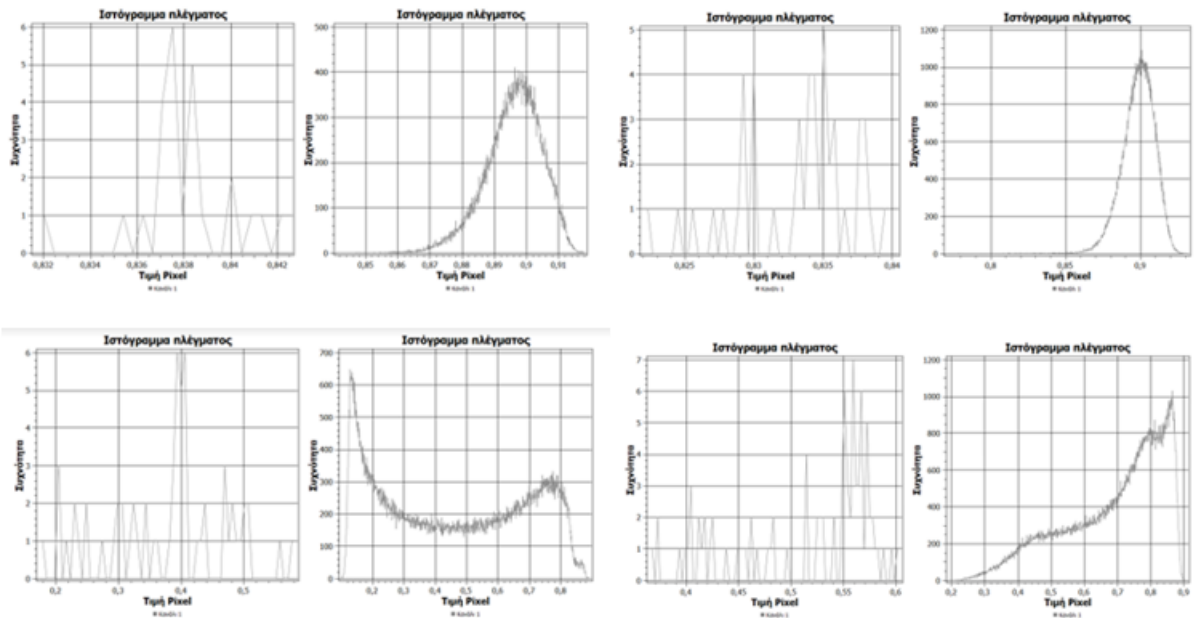


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ .

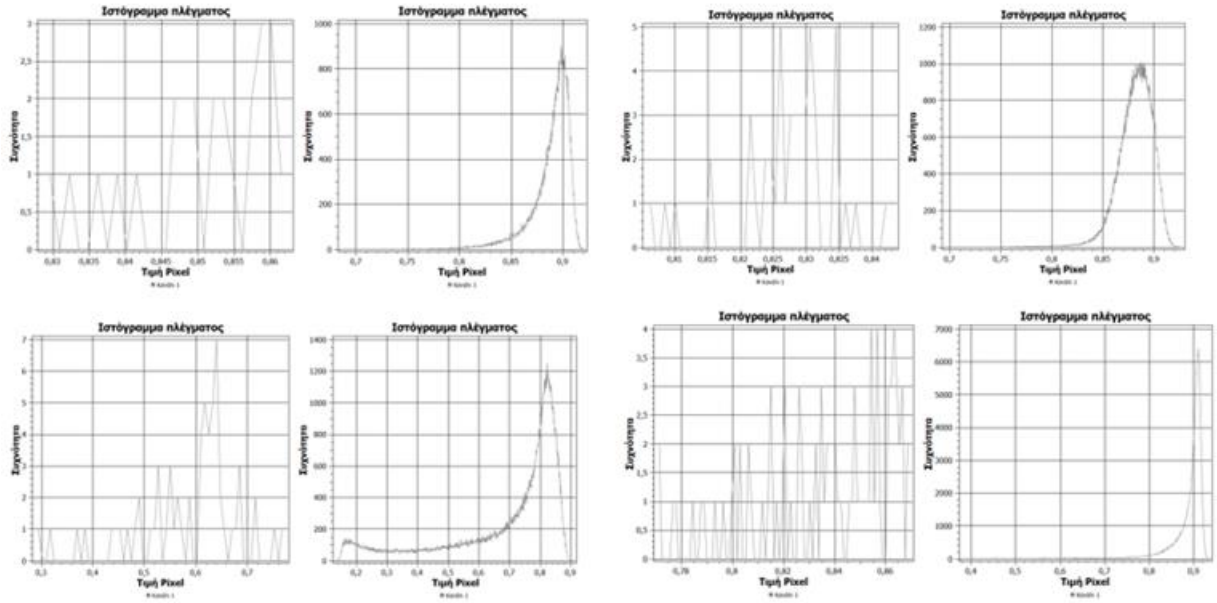
Πίνακας 7: Τα ιστογράμματα της παρατήρησης 1. Από αριστερά προς τα δεξιά, οι περιοχές A (S-2 και sequoia), B (S-2 και sequoia), C (S-2 και sequoia), D (S-2 και sequoia)



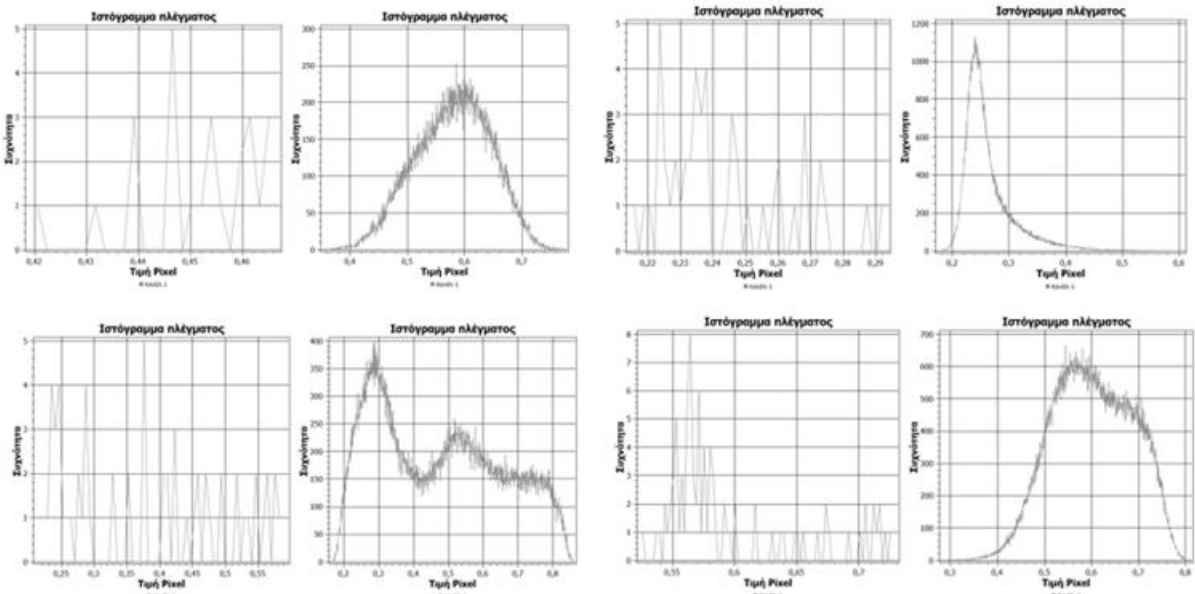
Πίνακας 8: Τα ιστογράμματα της παρατήρησης 2. Από αριστερά προς τα δεξιά οι περιοχές A (S-2 και sequoia), B (S-2 και sequoia), C (S-2 και sequoia), D (S-2 και sequoia)



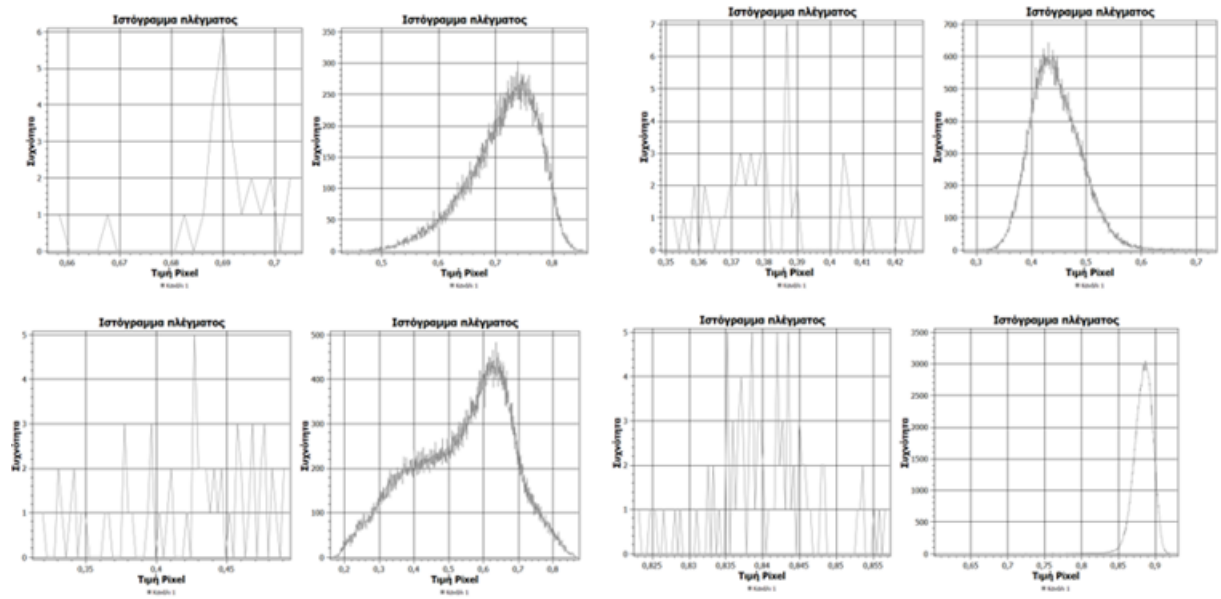
Πίνακας 9: Τα ιστογράμματα της παρατήρησης 3. Από αριστερά προς τα δεξιά οι περιοχές A (S-2 και sequoia), B (S-2 και sequoia), C (S-2 και sequoia), D (S-2 και sequoia)



Πίνακας 10: Τα ιστογράμματα της παρατήρησης 4. Από αριστερά προς τα δεξιά οι περιοχές A (S-2 και sequoia), B (S-2 και sequoia), C (S-2 και sequoia), D (S-2 και sequoia)



Πίνακας 11: Τα ιστογράμματα της παρατήρησης 5. Από αριστερά προς τα δεξιά οι περιοχές A (S-2 και sequoia), B (S-2 και sequoia), C (S-2 και sentinel), D (S-2 και sentinel)



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adekunle, I. O., 2013. Precision Agriculture: Applicability and Opportunities for Nigerian Agriculture. *Middle East Journal of Scientific Research*, 13 (9) pp. 1230-1237. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2013.13.9.1004
- Ahmad, L. and Mahdi, S. S., 2018. Satellite Farming. Switzerland.: Springer International Publishing. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03448-1>
- Ali, H. A., Delparte, D. and Griffel, L. M., 2017. Utilizing Sentinel-2 Satellite Imagery for Precision Agriculture over Potato Fields in Lebanon. *Pecora 20 - Observing a Changing Earth; Science for Decisions— Monitoring, Assessment, and Projection*, November 2017. Available from: https://www.researchgate.net/publication/336115946_UTILIZING_SENTINEL_-_2_SATELLITE_IMAGERY_FOR_PRECISION_AGRICULTURE_OVER_POTATO_FIELDS_IN_LEBANON (accessed June 2020)
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto, I., Gomez-Barbero, M., Barnes, A. and Eory, V., 2017. Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. *Sustainability*, 9 (8) p. 1339. doi:10.3390/su9081339
- Balafoutis, A. T., Beck, B., Fountas, S., Tsiropoulos, Z., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto-Embodas, I., Gómez-Barbero, M. and Pedersen, S. M., 2017. Smart Farming Technologies - Description, Taxonomy and Economic Impact. In: S. M. Pedersen and K. M. Lind (eds), *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. Cham: Springer, pp. 21-78. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5_2
- Barbedo, J. G., 2019. A Review on the Use of Unmanned Aerial Vehicles and Imaging Sensors for Monitoring and Assessing Plant Stresses. *Drones*, 3 (40). doi:10.3390/drones3020040
- Beluhova-Uzunova, R. P. and Dunchev, D. M., 2019. Precision Farming – Concepts and Perspectives. *Problems of Agricultural Economics*, 360 (3) pp. 142-155. doi: 10.30858/zer/112132
- Bill, R., Nash, E. and Grenzdörffer, G., 2012. GIS in Agriculture. In: W. Kresse and D.

- M. Danko (eds), *Springer Handbook of Geographic Information*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, pp. 795-819.
- Corwin, D. L. and Lesch, S. M., 2003. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. *Agronomy Journal*, 95 (3) pp. 455–471.
- Daponte, P., De Vito, L., Glielmo, L., Iannelli, L., Liuzza, D., Picariello, F. and Silano, G., 2018. A review on the use of drones for precision agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 275. doi:10.1088/1755-1315/275/1/012022
- De Baerdemaeker, J. and Saeys, W., 2016. Good Agricultural Practices, Quality, Traceability, and Precision Agriculture. In: Q. Zhang (ed), *Precision Agriculture Technology for Crop Farming*. Boca Raton: CRC Press, Inc., pp. 279-298.
- Deng, W., 2017. Variable-rate Technology: A Critical Element in Precision Water-saving Irrigation. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 6 (2) p. 1000e28. doi: 10.4172/2168-9768.1000e128
- Dwivedi, A., Naresh, R. K., Kumar, R., Yadav, S. and Kumar, R., 2017. Precision Agriculture. In: E. Ahmad (ed), *Agri-Horti Technological Innovations*. Dhanbad: Parmar Publishers & Distributors, pp.83-105.
- El Nahry, A. H., Ali, R. R. and El Baroudy, A. A., 2011. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Agricultural Water Management*, 98 (4) pp. 517-531. doi: 10.1016/j.agwat.2010.09.012
- ERDAS, 2008. *ERDAS IMAGINE Advantage Tour Guides*. s.l: ERDAS, Inc.
- Escola, A. Badia, N., Arno, J. and Martinez-Casanovas, 2017. Using Sentinel-2 images to implement Precision Agriculture techniques in large arable fields: First results of a case study. *Advances in Animal Biosciences*, 8 (2) pp. 377-382. doi: <https://doi.org/10.1017/S2040470017000784>
- Ess, D. R., Morgan, M. T. and Parsons, S. D., 2001. *Implementing Site-Specific Management: Map- Versus Sensor-Based Variable Rate Application*. West Lafayette: Purdue University. Available from: <https://mdc.itap.purdue.edu/item.asp?itemID=14363> (accessed May 2020)

- Ferguson, R. and Rundquist, D., 2018. Remote Sensing for Site-Specific Crop Management. In: D. K. Shannon, D. E. Clay and N. R. Kitchen (eds), *Precision Agriculture Basics*. Madison (WI): ASA, CSSA, SSSA, pp. 104-118. doi:10.2134/precisionagbasics.2016.009
- Fletcher, K., 2012. Sentinel-2. ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. Noordwijk: ESA Communications.
- Franzen, D. W., 2018. Soil Variability and Fertility Management. In: D. K. Shannon, D. E. Clay and N. R. Kitchen (eds), *Precision Agriculture Basics*. Madison (WI): ASA, CSSA, SSSA, pp. 79-92. doi:10.2134/precisionagbasics.2016.0091
- Fulton, J., Hawkins, E., Taylor, R. and Franzen, A., 2018. Yield Monitoring and Mapping. In: D. K. Shannon, D. E. Clay and N. R. Kitchen (eds), *Precision Agriculture Basics*. Madison (WI): ASA, CSSA, SSSA, pp. 63-77. doi: 10.2134/precisionagbasics.2016.0089
- Geosense, 2020. Available from: <http://www.geosense.gr/ebec-sq/> (accessed September 2020)
- Gomasca, M. A., 2009. *Basics of Geomatics*. Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-9014-1
- Goswami, S. B., Matin, S., Saxena, A. and Bairagi, G. D., 2012. A Review: The application of Remote Sensing, GIS and GPS in Precision Agriculture. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Research*, 2 (1) pp. 50-54.
- Grisso, R., Alley, M., Holshouser, D. and Thomason, W., 2009. *Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity*. Virginia: Virginia Cooperative Extension Publication.
- Grisso, R., Alley, M., Thomason, W., Holshouser, D. and Robertson, G. T., 2011. Precision farming tools: Variable-rate application. *Precision, Geospatial, and Sensor Technologies*, pp. 442-505.
- Hall, M., Bateson, L. and Jordan, C., 2004. *ERDAS Imagine 8.5 and 8.6 Training Manual*. Nottingham: NERC.
- Heege, H. J., 2013. Sensing by Electromagnetic Radiation. In: H. J. Heege (ed), *Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods*:

- Applications and Results*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 15-33. doi: 10.1007/978-94-007-6760-7_3
- Heege, H. J. and Thiessen, E., 2013. Sensing of Crop Properties. In: H. Heege (ed), *Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results*. Dordrecht: Springer, pp. 103-141. doi: 10.1007/978-94-007-6760-7_6
- Kingra, P. K., Majumder, D. and Singh, S. P., 2016. Application of Remote Sensing and Gis in Agriculture and Natural Resource Management Under Changing Climatic Conditions. *Agricultural Research Journal*, 53 (3) pp. 295-302. doi: 10.5958/2395-146X.2016.00058.2
- Kitchen, N. R. and Clay, S. A., 2018. “Understanding and Identifying Variability”. In: D. K. Shannon, D. E. Clay and N. R. Kitchen (eds), *Precision Agriculture Basics*. Madison (WI): ASA, CSSA, SSSA, pp. 13-24. doi:10.2134/precisionagbasics.2016.0033
- Kitchin, C. R., 2013. Electromagnetic Radiation. In: C. R. Kitchin (ed), *Telescopes and Techniques. Undergraduate Lecture Notes in Physics*. New York: Springer, pp. 145-149. doi: 10.1007/978-1-4614-4891-4_7
- Krapivin, V. F., Varotsos, C. A. and Soldatov, V. Y., 2015. *New Ecoinformatics Tools in Environmental Science*. Cham: Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13978-4>
- Kumar, S., Karaliya, S. K. and Chaudhary, S., 2017. Precision Farming Technologies towards Enhancing Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Cropping System. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (3) pp. 142-151. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.016>
- Leica Geosystems Geospatial Imaging, 2006. *ERDAS IMAGINE Tour Guides*. s.l: s.n.
- Liang, S., Schaepman, M. and Kneubühler, M., 2008. Remote sensing signatures: Measurements, modelling and applications. In: Z. Li, J. Chen and E. Baltsavias (eds), *Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. London: Taylor and Francis Group, pp. 127-143. doi: 10.5167/uzh-8087
- Lupia, F., 2012. *ERDAS IMAGINE 9.2: An Overview of the Main Features and Tools*. s.l: s.n.

- Maes, W. H. and Steppe, K., 2019. Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. *Trends in Plant Science*, 24 (2) pp. 152-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.007>
- Malainey, M. E., 2011. Electromagnetic Radiation. In: M. E. Malainey (ed), *A Consumer's Guide to Archaeological Science. Manuals in Archaeological Method, Theory and Technique*. New York: Springer, pp. 23-26. doi: [10.1007/978-1-4419-5704-7_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5704-7_2)
- Manfreda, S., McCabe, M. E., Miller, P. E., Lucas, R., Madrigal, V. P., Mallinis, G., Dor, E. .B., Helman, D., Estes, L., Ciraolo, G., Mullerova, J., Tauro, F., de Lima, M. I., de Lima, J. I. M. P., Maltese, A., Frances, F., Caylor, K., Kohv, M., Perks, M., Ruiz-Perez, G., Su, Z., Vico, G. and Toth, B., 2018. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sensing*, 10 (4). doi:[10.3390/rs10040641](https://doi.org/10.3390/rs10040641)
- Mani, J. K. and Varghese, A. O., 2018. Remote Sensing and GIS in Agriculture and Forest Resource Monitoring. In: G. P. Reddy and S. K. Singh (eds), *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management, Geotechnologies and the Environment, vol. 21*. Cham: Springer, pp. 377-400. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-78711-4_19
- Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-Garcia, M. D., de Larriva, J. E. M., de la Orden, M. S. and Porras, A. P-F., 2014. Validation of measurements of land plot area using UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33 pp. 270–279. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.009>
- Migdall, S., Brüggemann, L. and Bach, H., 2018. Earth Observation in Agriculture. In: C. Brünner, G. Königsberger, H. Mayer and A. Rinner (eds), *Satellite-Based Earth Observation*. Cham: Springer, pp. 85-93. doi: [10.1007/978-3-319-74805-4_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74805-4_9)
- Mukherjee, A., Misra, S. and Raghuwanshi, N. S., 2019. A survey of unmanned aerial sensing solutions in precision agriculture. *Journal of Network and Computer Applications*, 148. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.102461>
- Nagamani, K. and Nethaji Mariappan, V. E., 2017. Remote Sensing, GIS and Crop Simulation Models – A Review. *International Journal of Current Research in*

Biosciences and Plant Biology, 4 (8) pp. 80-92. doi:
<https://doi.org/10.20546/ijcrbp.2017.408.011>

Nandibewoor, A., Hebbal, S. B. and Hegadi, R., 2015. Remote Monitoring of Maize Crop through Satellite Multispectral Imagery. *Procedia Computer Science*, 45 pp. 344-353.

Natkar, P. K., Balikai, R. A. and Anusha, C., 2016. Pest Management Strategies in Precision Farming. *Journal of Experimental Zoology*, 19 (1) pp. 1-8.

Norasma, C. Y. N., Fadzilah, M. A., Roslin, N. A., Zanariah, Z. W. N., Tarmidi, Z. and Candra, S., 2019. Unmanned Aerial Vehicle Applications in Agriculture. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 506. doi:10.1088/1757-899X/506/1/012063

Pinter, P. J., Hatfield, J. L., Schepers, J. S., Barnes, E. M., Moran, M. S., Daughtry, C., S., T. and Upchurch, D. R., 2003. Remote Sensing for Crop Management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69 (6) p. 647-664.

Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T. and Moscholios, I., 2020. A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, 172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>

Ravelo, A. C. and Abril, E. G., 2010. Remote Sensing. In: K. Stigter (ed), *Applied Agrometeorology*. Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1013-1024. doi: 10.1007/978-3-540-74698-0_119

Ray, A. S., 2016. Remote Sensing in Agriculture. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1 (3) pp. 362-367.

Reddy, G., 2018. Satellite Remote Sensing Sensors: Principles and Applications. In: G. Reddy and S. Singh (eds), *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management*. Cham: Springer, pp. 21-43. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-78711-4_2

Reddy, P. P., 2017. *Agro-ecological Approaches to Pest Management for Sustainable Agriculture*. Singapore: Springer Singapore. doi: 10.1007/978-981-10-4325-3_19

Rokhmana, C. A., 2015. The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 24 pp. 245-253.

- Rycroft, M. J., 2016. Electromagnetic Radiation Principles and Concepts as Applied to Space Remote Sensing. In: J. Pelton, S. Madry and S. Camacho-Lara (eds), *Handbook of Satellite Applications*. New York: Springer, pp. 1-15. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23386-4_38
- Sankaran, S. and Ehsani, R., 2014. Introduction to the Electromagnetic Spectrum. In: A. Manickavasagan and H. Jayasuriya (eds), *Imaging with Electromagnetic Spectrum*. Heidelberg: Springer, pp. 1-15. doi: 10.1007/978-3-642-54888-8_1
- Say, S. M., Keskin, M., Sehri, M. and Sekerli, Y. E., 2017. Adoption of Precision Agriculture Technologies in Developed and Developing Countries. *Berlin, International Science and Technology Conference*, August 16-18, 2017. Available from: https://www.researchgate.net/publication/320908156_Adoption_of_Precision_Agriculture_Technologies_in_Developed_and_Developing_Countries (accessed May 2020)
- Shafi, U., Mumtaz, R., García-Nieto, J., Hassan, S. A., Zaidi, S. A. R. and Iqbal, N., 2019. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. *Sensors*, 19 (17) p. 3796. doi:10.3390/s19173796
- Shanmugapriya, P., Rathika, S., Ramesh, T. and Janaki, P., 2019. Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8 (1) pp. 2270-2283. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.238>
- Shannon, D. K., Clay, D. E. and Sudduth, K. A., 2018. An Introduction to Precision Agriculture. In: D. K. Shannon, D. E. Clay and N. R. Kitchen (eds), *Precision Agriculture Basics*. Madison (WI): ASA, CSSA and SSSA, pp. 1-12. doi:10.2134/precisionagbasics.2016.0084
- Singh, A. K., 2001. *Precision Farming*. New Delhi: I.A.R.I.
- Strickland, R. M., Ess, D. R. and Parsons, S. D., 1999. Precision Farming and Precision Pest Management: The Power of New Crop Production Technologies. *Journal of Nematology*, 30 (4) pp. 431-435.
- Sylvester, G., 2018. *E-agriculture in Action: Drones for Agriculture*. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union.

- Theuvsen, L. and Paustian, M., 2017. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture*, 18 pp. 701-716. doi: 10.1007/s11119-016-9482-5
- Tsouros, D. C., Bibi, S. and Sarigiannidis, P. G., 2019. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information*, 10 (11) p. 349. doi:10.3390/info10110349
- Ünsalan, C. and Boyer, K. L., 2011. Remote Sensing Satellites and Airborne Sensors. In: C. Ünsalan and K. L. Boyer (eds), *Multispectral Satellite Image Understanding. Advances in Computer Vision and Pattern Recognition*. London: Springer, pp. 7-15. doi: 10.1007/978-0-85729-667-2_2
- Van Niel, T. G. and McVicar, T. R., 2001. *Remote Sensing of Rice-Based Irrigated Agriculture: A Review*. Sydney: Cooperative Research Centre for Sustainable Rice Production.
- Virnodkar, S. S., Pachghare, V. K., Patil, V. C. and Jha, S. K., 2020. Remote sensing and machine learning for crop water stress determination in various crops: a critical review. *Precision Agriculture*, 21 pp. 1121-1155. doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09711-9>
- Webber, H., Heyd, V., Horton, M., Bell, M., Matthews, W. and Chadburh, A., 2019. Precision farming and archaeology. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11 pp. 727-734. doi: <https://doi.org/10.1007/s12520-017-0564-8>
- Wiatrak, P., Khalilian, A., Mueller, J. and Henderson, W., 2009. Applications of Soil Electrical Conductivity in Production Agriculture. *Better Crops*, 93 (2) pp. 16-17.
- Yun, G., Mazur, M. and Pederii, Y., 2017. Role of Unmanned Aerial Vehicles in Precision Farming. *Proceedings of the National Aviation University*, 10 pp. 106-112. doi: 10.18372/2306-1472.70.11430
- Zhang, M., Li, M. Z., Liu, g. and Wang, M. H., 2007. Yield Mapping in Precision Farming. In: D. Li (ed), *Computer and Computing Technologies In Agriculture, Volume II. CCTA 2007. The International Federation for Information Processing, vol 259*. Boston: Springer, pp. 1407-1410.
- Zude-Sasse, M., Fountas, S., Gemtos, T. A. and Abu-Khalaf, N., 2016. Applications of precision agriculture in horticultural crops. *European Journal of Horticultural*

Science, 81 (2) pp. 78-90. doi: <http://dx.doi.org/10.17660/eJHS.2016/81.2.2>

Γέμτος, Θ. και Καβαλάρης, Χ., 2015. *Μηχανήματα Καλλιεργητικών Φροντίδων*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Δαλέζιος, Ν. Ρ., 2015. *Αγρομετεωρολογία. Ανάλυση και Προσομοίωση*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Ευελπίδου, Ν. και Αντωνίου, Β., 2015. *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κόκλα, Μ., Κονταξάκη, Σ., Πανόπουλος, Γ. και Τομαή, Ε., 2015. *Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας. Ολοκληρωμένη Προσέγγιση και Ειδικά Θέματα*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Ματίκας, Θ. και Αγγέλης, Δ., 2015. *Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Νικολακόπουλος, Κ. Γ., Λαμπράκης, Ν. Ι. και Κατσάνου, Κ. Ν., 2015. *Υδρολογία με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και δεδομένων Τηλεπισκόπησης*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Παρχαρίδης, Ι., 2015. *Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Θεωρία και εφαρμογές*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Περάκης, Κ. Γ., Φαρασλής, Ι. Ν. και Μωυσιάδης, Α. Κ., 2015. *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Ποϊραζίδης, Κ., Βούλγαρης, Μ. Δ., Κεφαλάς, Γ. και Λορίλια, Ρ. Σ., 2013. *Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης*. s.l.: ΑΤΕΙ Ιονίων Νήσων. Τμήμα Τεχνολογία Περιβάλλοντος και Οικολογίας.

Πολύχρονος, Β. και Περδικάρης, Α., 2016. Χρήση μη επανδρωμένων αεροχημάτων στη γεωργία. Γεωργία – Κτηνοτροφία, Τόμος 7/2016, pp. 20-22.

Τσιρογιάννης, Ι. Λ., 2011. *Προσδιορισμός δεικτών θερμικής και υδατικής καταπόνησης καλλιεργειών για τη διαχείριση του μικροκλίματος και της άρδευσης στο θερμοκήπιο*. Διδακτορική διατριβή. Ν. Ιωνία Μαγνησίας: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών.

Φουντάς, Σ. και Γέμτος, Θ., 2015. *Γεωργία Ακριβείας*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.

Χαλκιάς, Χ., 2011. *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*. Καλλιθέα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.