

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων για αποτύπωση των επιπτώσεων  
και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας από την εφαρμογή  
Βέλτιστων Καλλιεργητικών Πρακτικών σε πιλοτικό αγρό σίτου»**

*Κούκου Σοφία*

Επιβλέπων καθηγητής: *Κυπαρίσσης Άρης*

Ιανουάριος 2023

Βόλος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων για αποτύπωση των επιπτώσεων και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας από την εφαρμογή Βέλτιστων Καλλιεργητικών Πρακτικών σε πιλοτικό αγρό σίτου»

**Κούκου Σοφία**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

**Άρης Κυπαρίσσης** (επιβλέπων) Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

**Χρήστος Καβαλάρης** (μέλος) Ε.ΔΙ.Π., Διδάκτωρ Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

**Κυριάκος Γιαννούλης** (μέλος) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

## **Ευχαριστίες**

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Άρη Κυπαρίσση, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, την καθοδήγηση και την βοήθειά του στην διάρκεια των πειραμάτων και της συγγραφής της εργασίας αυτής. Η βοήθειά του ήταν ανεκτίμητη για την πραγμάτωση αυτής της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Καβαλάρη και τον κ. Κυριάκο Γιαννούλη για τις διορθώσεις και τον χρόνο που διέθεσαν στην μελέτη της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και όσους ήταν κοντά μου σε αυτό το ταξίδι, για την βοήθεια και την υποστήριξη που μου προσέφεραν.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract .....	2
1. Εισαγωγή.....	3
1.1. Σιτάρι.....	3
1.1.1. Γενικά.....	3
1.1.2. Οικολογικές απαιτήσεις .....	3
1.1.3. Στάδια ανάπτυξης.....	4
1.1.4. Κλίμακα Zadoks .....	5
1.1.5. FAO .....	5
1.1.5.1. Καλλιεργούμενη έκταση .....	5
1.1.5.2. Απόδοση .....	6
1.1.5.3. Παραγόμενο προϊόν .....	7
1.2. Γεωργία Ακριβείας.....	8
1.3. Ακατεργασία.....	9
1.4. Τηλεπισκόπηση .....	11
1.4.1. Δορυφόροι Sentinel-2 .....	12
1.4.2. Τηλεπισκόπηση και βλάστηση .....	13
1.4.3. Δείκτες Βλάστησης .....	14
1.4.4. Μη επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα – Drones (Unmanned Aerial Vehicles – UAV) 16	
1.5. Σκοπός .....	17
2. Υλικά και Μέθοδοι .....	18
2.1. Πειραματικός Αγρός.....	18
2.2. Δορυφορικά Δεδομένα .....	20
2.3. Τηλεπισκόπηση με drone.....	23
2.3.1. Εξαγωγή δεδομένων .....	23
2.3.2. Επεξεργασία εικόνων από UAVs .....	24
2.4. Συγκομιδή και μέτρηση παραγωγής.....	25
2.5. Μετεωρολογικά Δεδομένα .....	26
3. Αποτελέσματα.....	27
3.1. Δορυφορικά Δεδομένα .....	27
3.2. Δεδομένα drone .....	29
3.3. Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων με δεδομένα του Parrot .....	30
3.4. Απόδοση της παραγωγής.....	31
3.5. Δείκτες βλάστησης – Απόδοση .....	32

3.5.1. Sentinel.....	32
3.5.2. Parrot.....	33
4. Συζήτηση .....	35
5. Συμπεράσματα .....	38
6. Βιβλιογραφία.....	39

## Περίληψη

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η αξιολόγηση τηλεπισκοπικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από εικόνες, τόσο από τους δορυφόρους Sentinel-2 της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA) όσο και από drones, για την απεικόνιση και την αξιολόγηση Βέλτιστων Γεωργικών Πρακτικών σύμφωνα με τα δεδομένα της παραγωγής όπου καταγράφηκαν κατά την συγκομιδή με μία μηχανή συλλογής εξοπλισμένη με σύστημα χαρτογράφησης. Η μελέτη έλαβε χώρα σε πιλοτικό αγρό σίτου με 8 αγροτεμάχια στα οποία εφαρμόστηκαν διαφορετικές μεταχειρίσεις, οι οποίες περιελάμβαναν άρδευση ή μη, προηγούμενη καλλιέργεια κουκί ή βαμβάκι, συμβατική μέθοδο σποράς ή ακατεργασία και σταθερή ή μεταβλητή λίπανση. Αποτυπώθηκε η εποχική διακύμανση των δεικτών βλάστησης NDVI, NDRE, NDWI, SAVI, EVI από τα δορυφορικά δεδομένα και των δεικτών NDVI, NDRE από τα δεδομένα του drone – Parrot αντίστοιχα. Η πορεία του αγρού αποτυπώνεται ικανοποιητικά για όλο το διάστημα Νοεμβρίου – Ιουνίου και συμφωνεί με τα πρότυπα της καλλιέργειας, για όλους τους δείκτες βλάστησης. Για τον μήνα Απρίλιο δεν αξιοποιήθηκε καμία δορυφορική εικόνα καθώς ήταν καλυμμένες με σύννεφα. Την μέγιστη απόδοση την εμφάνισαν τα αγροτεμάχια στα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος της ακατεργασίας. Κάνοντας συσχέτιση της τελικής παραγωγής με την πορεία των δεικτών βλάστησης, διαπιστώθηκε ότι την καλύτερη συσχέτιση την είχε ο δείκτης NDWI με  $R=0.530$  στις 23 Μαΐου και ο NDRE με  $R=0.522$  στις 13 Μαΐου για τα δορυφορικά δεδομένα. Αντίστοιχα για τα δεδομένα του drone, ο NDVI έχει  $R=0.402$  και ο NDRE  $R=0.426$  για τις 22 Μαΐου. Συγκρίνοντας τα δεδομένα των drones με τα δορυφορικά, διαπιστώθηκε αδυναμία καλής αποτύπωσης του δείκτη βλάστησης NDRE από το drone Parrot, ωστόσο για τον δείκτη NDVI η συσχέτιση ήταν πολύ καλή. Επομένως η χρήση των drones μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με τους δορυφόρους για την καλύτερη αποτύπωση της διακύμανσης της παραγωγής.

**Λέξεις κλειδιά:** Σκληρό σιτάρι, Sentinel-2, μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (drone), απόδοση, δείκτης βλάστησης, ακατεργασία.

## **Abstract**

The aim of this study is to evaluate remote sensed data from the European Space Agency (ESA) Sentinel-2 satellites and Unmanned Aerial Vehicle for the evaluation of Best Agricultural Practices by comparing them with production data recorded at harvest. The study was carried out in a wheat field divided into 8 plots in which different treatments were applied, concerning irrigation, previous cultivation with bean or cotton, conventional sowing method or no-tillage and stable or variable fertilization. The seasonal variation of vegetation indices NDVI, NDRE, NDWI, SAVI, EVI from satellite data and NDVI, NDRE from drone – Parrot data respectively were captured. The field performance is satisfactorily captured for the entire period of November - June and is in agreement with the crop standards for all vegetation indices. During April, no satellite imagery was utilized due to cloud cover. The maximum yield was obtained in the plots where the no-tillage method was applied. By comparing the final yield with the vegetation indices, the best correlation was found for NDWI with  $R=0.530$  on 23 May and NDRE with  $R=0.522$  on 13 May for the satellite data. Similarly for the drone data, NDVI showed an  $R=0.402$  and NDRE  $R=0.426$  for May 22. Comparing the drone data with the satellite data, it was found that the Parrot drone did not capture the NDRE vegetation index accurately, however for the NDVI the correlation was very good. Therefore, the use of drones can be used to complement the satellites to better capture the production variability.

**Keywords:** Durum wheat, Sentinel-2, Unmanned Aerial Vehicle (drone), yield, vegetation index, no-tillage.



## **1. Εισαγωγή**

### **1.1. Σιτάρι**

#### **1.1.1. Γενικά**

Το σιτάρι αποτελεί μία από τις πιο ευρέως διαδεδομένες καλλιέργειες στον κόσμο. Η επιτυχία του σιταριού ως καλλιέργειας οφείλεται κυρίως στο ότι είναι προσαρμοσμένη σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων, στο ότι ο σπόρος του αποθηκεύεται, μεταφέρεται εύκολα και μπορεί να μεταποιηθεί σε μεγάλη ποικιλία τροφίμων. Δύο κύρια είδη αποτελούν σχεδόν το σύνολο του παραγόμενου σιταριού στον κόσμο, το μαλακό και το σκληρό σιτάρι. Το σιτάρι ανήκει στην Οικογένεια των Αγρωστωδών – Poaceae (παλαιότερη κατάταξη: Gramineae) και στο γένος *Triticum* το οποίο περιλαμβάνει 3 κύριες ομάδες χρωμοσωμάτων, τις A, B, D. Τα είδη διακρίνονται, ανάλογα με τον αριθμό των ομάδων, σε διπλοειδή AA ( $2n=14$ ), τετραπλοειδή AABB ( $2n=28$ ) και σε εξαπλοειδή AABBDD ( $2n=42$ ). Επιπλέον υπάρχει και μία τέταρτη ομάδα χρωμοσωμάτων η G (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Η συντριπτική πλειονότητα είναι το αλλοεξαπλοειδές ( $2n = 42 = AABBDD$ ), κοινό σιτάρι *Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum* από το οποίο παρασκευάζεται κυρίως ψωμί και το *Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (σκληρό σιτάρι) από το οποίο παράγεται το σιμιγδάλι, που παρασκευάζονται τα μακαρόνια και είναι σημαντικό, παρά το γεγονός ότι είναι δευτερεύον σαν καλλιέργεια. Το σκληρό σιτάρι είναι το αλλοτετραπλοειδές ( $2n = 28 = AABB$ ). Η παγκόσμια παραγωγή σκληρού σίτου είναι περιορισμένη, καθώς το εύρος προσαρμογής της καλλιέργειας είναι καθορισμένο και έχει συγκεκριμένα προϊόντα που παράγονται από αυτό (Morris et al., 2011).

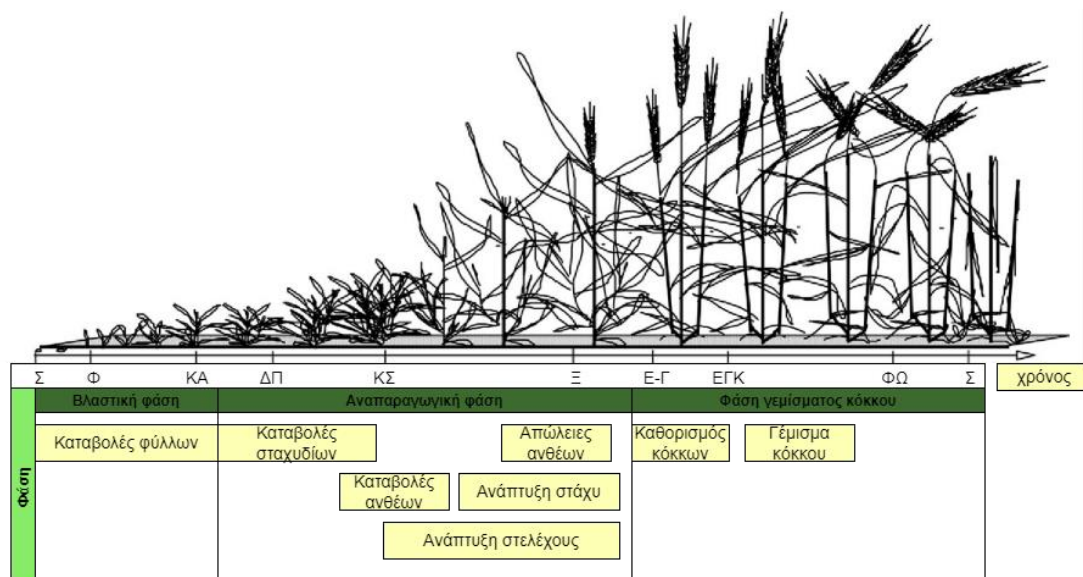
#### **1.1.2. Οικολογικές απαιτήσεις**

Η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία το σιτάρι μπορεί να βλαστήσει και να αναπτυχθεί, είναι μεταξύ 3°C και 4°C, αλλά το άριστο εύρος θερμοκρασίας για το φύτεμα είναι μεταξύ 20°C και 35°C. Για τη βέλτιστη απόδοση του σιταριού, χρειάζονται μεταξύ 250 mm και 1000 mm ετήσια βροχόπτωση, ωστόσο εξ ίσου σημαντική είναι και η κατανομή των βροχοπτώσεων μέσα στο έτος. Η σπορά του σιταριού στην Ελλάδα γίνεται το φθινόπωρο (Οκτώβρη για τις ορεινές περιοχές και Νοέμβριο για τις πεδινές). Το σκληρό σιτάρι προσαρμόζεται καλύτερα σε ξηροθερμικές συνθήκες, γι' αυτό καλλιεργείται αρκετά στις Μεσογειακές χώρες. (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Ωστόσο η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών και ξηρασίας την περίοδο του

γεμίσματος του κόκκου έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του βάρους των κόκκων, ενώ η επικράτηση βροχοπτώσεων την περίοδο που γίνεται η επιμήκυνση του στελέχους του φυτού, δηλαδή την περίοδο που αναπτύσσεται η καλλιέργεια, έχει θετική επίδραση στην απόδοση της καλλιέργειας (Cossani et al., 2009).

### 1.1.3. Στάδια ανάπτυξης

Το σιτάρι αναπτύσσεται σε τρία στάδια: το στάδιο της βλάστησης, το στάδιο της αναπαραγωγής και το στάδιο της πλήρωσης των κόκκων. Το βλαστικό στάδιο διαρκεί από τη σπορά του σιταριού μέχρι την έναρξη των ανθικών καταβολών. Το αναπαραγωγικό στάδιο διαρκεί από την έναρξη των ανθικών καταβολών μέχρι και την ολοκλήρωση της ανθοφορίας. Το στάδιο της πλήρωσης των κόκκων διαρκεί από την άνθηση έως την ωρίμανση. Η διαμόρφωση των αριθμών των κόκκων γίνεται πριν από την άνθηση ενώ ο καθορισμός του βάρους των κόκκων γίνεται μετά. Στην Εικόνα 1 φαίνεται η απεικόνιση των σταδίων ανάπτυξης του σιταριού. Η κάθε φάση, η διάρκειά της και ο αριθμός των καταβολών που σχηματίζονται, καθορίζεται από την αλληλεπίδραση του γενοτύπου και του περιβάλλοντος (Παπακόστα-Τασοπούλου, 2012). Το σιτάρι στην περιοχή της Θεσσαλίας συνήθως ανθοφορεί στο διάστημα 10 – 30 Απριλίου, η συγκομιδή του γίνεται 15 Ιουνίου – 15 Ιουλίου και η μέση απόδοση της καλλιέργειας κυμαίνεται στα 300 kg/στρέμμα.



Εικόνα 1. Απεικόνιση των σταδίων ανάπτυξης του σιταριού: σπορά (Σ), φύτευση (Φ), καταβολές ανθέων (ΚΑ), διπλή πτυχή στο ακραίο μερίστωμα (ΔΠ), καταβολές τελευταίου σταχυδίου των στάχων (ΚΣ), έκπτυξη στάχου (Ξ), επικονίαση - γονιμοποίηση (Ε-Γ), έναρξη περιόδου

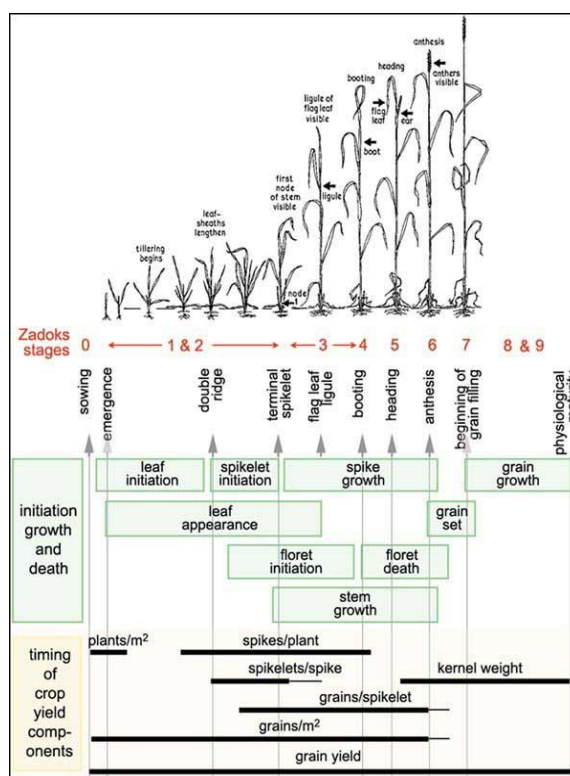
γεμίσματος του κόκκου (ΕΓΚ), φυσιολογική ωρίμανση (ΦΩ) και συγκομιδή (Σ) (Slafer et al., 2015).

### 1.1.4. Κλίμακα Zadoks

Η κλίμακα ανάπτυξης Zadoks είναι μια κλίμακα ανάπτυξης (0-99), η οποία αναγνωρίζεται διεθνώς για την έρευνα, τη συμβουλευτική εργασία και την πρακτική των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, ιδίως για το χρόνο εφαρμογής χημικών ουσιών και λιπασμάτων. Η κλίμακα ανάπτυξης του Zadoks βασίζεται σε δέκα κύρια στάδια ανάπτυξης (Εικόνα 2), τα οποία φαίνονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1: Κλίμακα Zadoks (Zadoks et al., 1974).**

Zadoks growth scale	
0	Βλάστηση
1	Ανάπτυξη
2	Αδέλφωμα
3	Επιμήκυνση στελέχους
4	Διόγκωση κολεού
5	Ξεστάχασμα
6	Άνθηση
7	Γαλακτώδης καρπός
8	Στάδιο ζύμης
9	Ωρίμανση



**Εικόνα 2: Κλίμακα Zadoks**  
([www.fao.org/3/x8234e/x8234e05.htm](http://www.fao.org/3/x8234e/x8234e05.htm)).

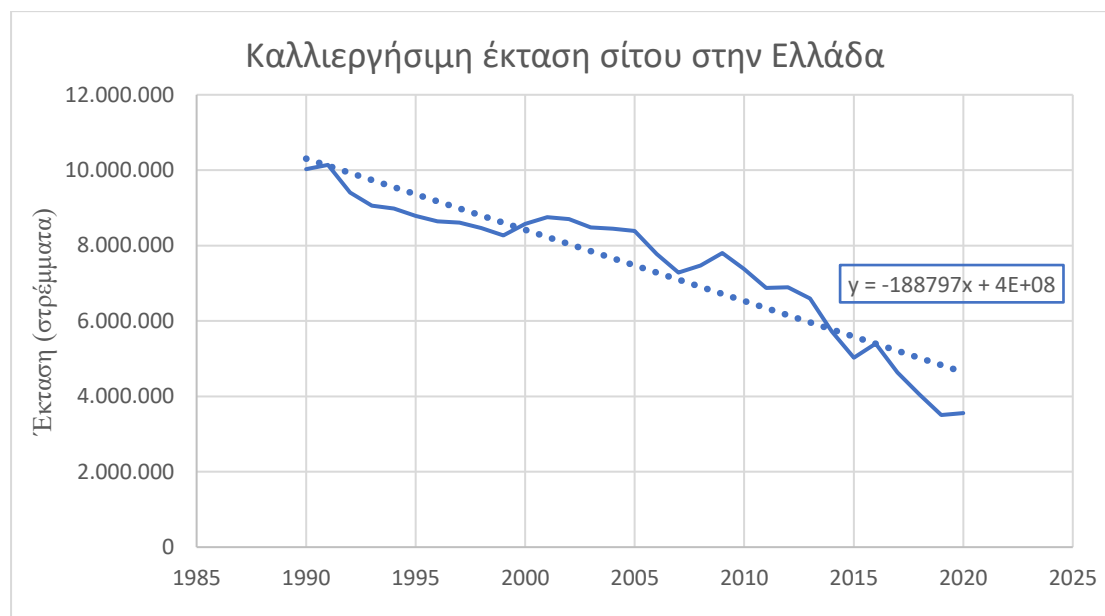
Κάθε πρωτογενές στάδιο ανάπτυξης χωρίζεται σε 10 δευτερογενή στάδια, επεκτείνοντας την κλίμακα από το 00 έως το 99 (Zadoks et al., 1974).

### 1.1.5. FAO

#### 1.1.5.1. Καλλιεργούμενη έκταση

Οι κυριότερες περιοχές που καλλιεργείται το σιτάρι, έχουν εύκρατο κλίμα και συγκεκριμένα βρίσκονται μεταξύ 30° και 60° Β.Π. και μεταξύ 25° και 40° Ν.Π. Σύμφωνα με τη Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture

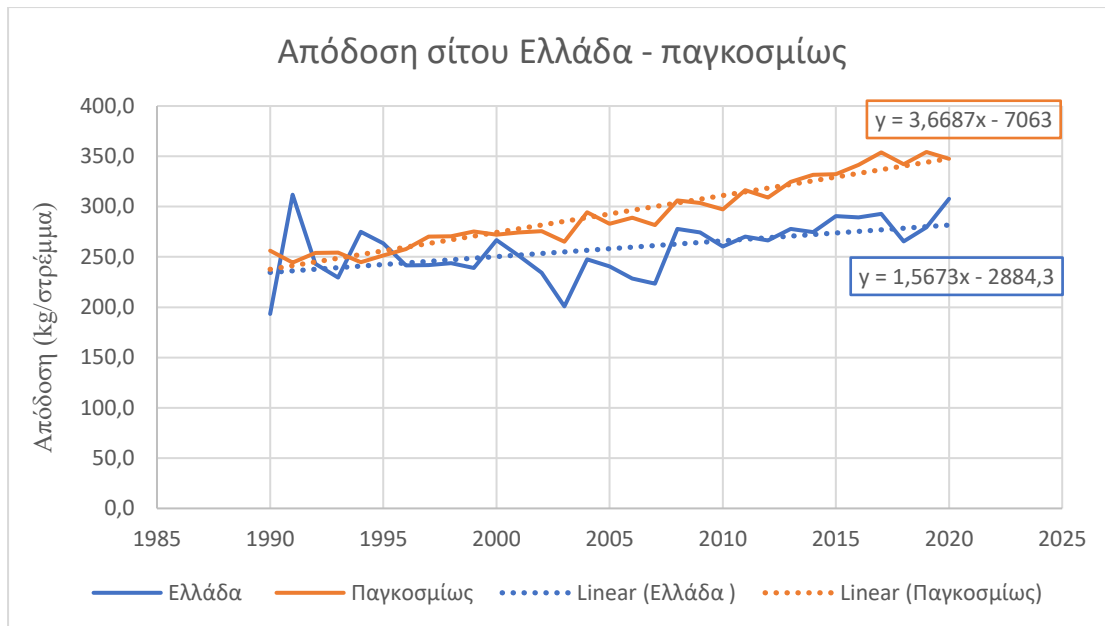
Organization – FAO) η καλλιεργήσιμη έκταση σίτου στην Ελλάδα παρουσιάζει πτωτική τάση ήδη από το 1990 μέχρι και σήμερα (2020) και με ρυθμό μείωσης περίπου 188.800 στρέμματα ανά έτος όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3. Το 2020 η καλλιεργήσιμη έκτασή του στην Ελλάδα ανερχόταν στα 3.558.800 στρέμματα ενώ παγκοσμίως στα 2.190.068.930 στρέμματα.



Εικόνα 3: Καλλιεργήσιμη έκταση σίτου στην Ελλάδα για το διάστημα 1990 - 2020 (Πηγή: FAOSTAT, 2022).

### 1.1.5.2. Απόδοση

Η απόδοση του σίτου τόσο στην Ελλάδα όσο και σε παγκόσμια κλίμακα παρουσιάζει, σε βάθος χρόνου αυξανόμενη πορεία. Συγκεκριμένα κατά μέσο όρο αυξάνεται με ρυθμό 1,57 kg/στρέμμα τον χρόνο στην Ελλάδα και 3,67 kg/στρέμμα τον χρόνο παγκοσμίως. Το 2020 η μέση απόδοση της καλλιέργειας στην Ελλάδα ήταν 307,7 kg/στρέμμα και παγκοσμίως 347,44 kg/στρέμμα. Η εξέλιξη σε βάθος χρόνου είναι πιο ομαλή σε παγκόσμια απ' ότι σε τοπική κλίμακα που παρατηρούνται πιο έντονες διακυμάνσεις (Εικόνα 4).



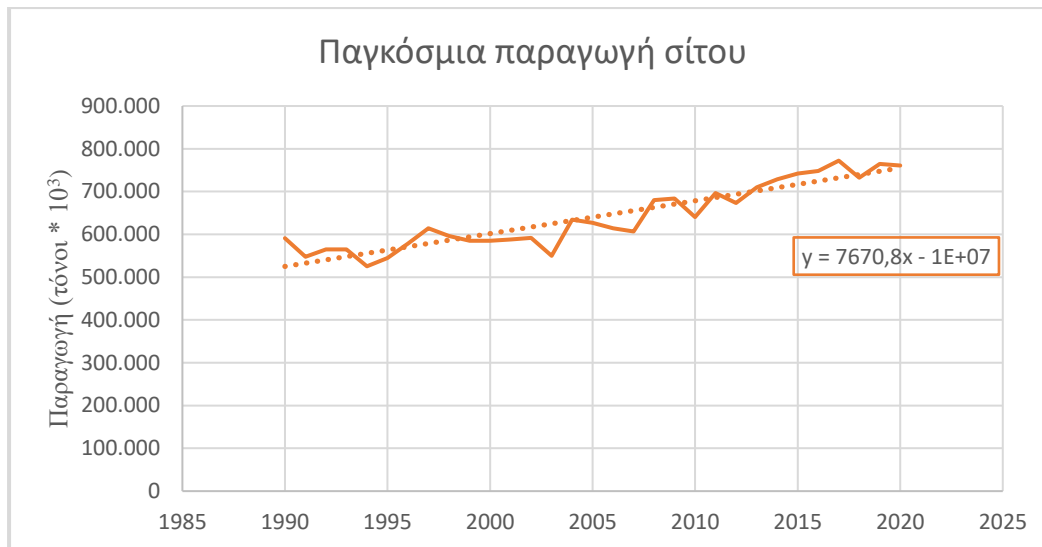
**Εικόνα 4:** Εποχική διακύμανση της απόδοσης του σίτου στην Ελλάδα (μπλε γραμμή) και παγκοσμίως (πορτοκαλί γραμμή) για το διάστημα 1990 - 2020 (Πηγή: FAOSTATS, 2022).

### 1.1.5.3. Παραγόμενο προϊόν

Το συνολικό παραγόμενο προϊόν στην Ελλάδα παρουσιάζει και αυτό πτωτική τάση με ρυθμό 39.354 τόνους ανά έτος ενώ αντίθετα παγκοσμίως υπάρχει αυξητική τάση. Σύμφωνα με το FAO το 2020 η Ελλάδα παρήγαγε συνολικά 1.095.150 τόνους (Εικόνα 5) σίτου ενώ παγκοσμίως παράχθηκαν 760.925.831 τόνοι (Εικόνα 6). Τέλος στην Εικόνα 7 απεικονίζονται οι 10 πρώτες χώρες σε καλλιέργεια σίτου στον κόσμο, με την Κίνα, την Ινδία και την Ρωσία να καταλαμβάνουν τις τρεις πρώτες θέσεις. Ακολουθούν οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Γαλλία, το Πακιστάν, η Ουκρανία, η Γερμανία και η Τουρκία.



**Εικόνα 5:** Παραγωγή σίτου στην Ελλάδα (κιλοτόνοι) για το διάστημα 1990 - 2020 (Πηγή: FAOSTAS, 2022).



**Εικόνα 6:** Παγκόσμια παραγωγή σίτου (κιλότονοι) για το διάστημα 1990 - 2020. (Πηγή: FAOSTATS, 2022).



**Εικόνα 7:** Παγκόσμια παραγωγή σίτου παγκοσμίως (κιλότονοι). Οι 10 πρώτες χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή (Πηγή: FAOSTAT, 2022).

## 1.2. Γεωργία Ακριβείας

Ο άνθρωπος τα αρχαία χρόνια χρησιμοποιούσε την μυϊκή του δύναμη και διάφορα εργαλεία για την πραγματοποίηση των εργασιών. Με την πάροδο του χρόνου ξεκίνησε η εξημέρωση των ζώων και η πρόοδος του πολιτισμού που είχε ως αποτέλεσμα την υποβοήθηση της μυϊκής δύναμης του ανθρώπου από αυτή των ζώων. Το 1830 κατασκευάζεται ο πρώτος κινητήρας εσωτερικής καύσης όπου χρησιμοποιήθηκε και στους γεωργικούς ελκυστήρες. Ωστόσο, οι πρώτοι ελκυστήρες με κινητήρες Diesel

εμφανίστηκαν περίπου 100 χρόνια αργότερα, όπου και η εκμηχάνιση (ή μηχανοποίηση) της γεωργίας παρουσίασε μεγάλη αύξηση. Παράλληλα εξελίσσονται και όλα τα γεωργικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία του εδάφους, τις καλλιεργητικές πρακτικές, την άρδευση κ.ά. Σήμερα έχει σημειωθεί ραγδαία πρόοδος στον γεωργικό τομέα, όπου τα σύγχρονα γεωργικά μηχανήματα καλούνται να ανταποκριθούν σε νέες προκλήσεις, όπως την αύξηση της παραγωγικότητας, την προστασία του περιβάλλοντος, την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος αλλά και την προστασία του ίδιου του χειριστή (Κ. Α. Τσατσαρέλης, 2011). Ωστόσο, πριν από την εκμηχάνιση της γεωργίας, ο γεωργός είχε τον έλεγχο του αγρού, γνώριζε την παραλλακτικότητά του, και είχε την δυνατότητα εφαρμογής διαφορετικών καλλιεργητικών τεχνικών ανάλογες με αυτές των αναγκών. Με την εκμηχάνιση της γεωργίας ο παραγωγός χάνει αυτή την δυνατότητα και εφαρμόζει πρακτικές με βάση τα χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας και τους μέσους όρους της παραγωγής και των ιδιοτήτων του εδάφους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα σε κάποια σημεία να χρησιμοποιούνται περισσότερες εισροές από τις αναγκαίες και σε άλλα σημεία λιγότερες. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για ανακάλυψη νέων συστημάτων όπου θα έχουν ως προϋπόθεση την επίγνωση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας (Fountas et al., 2016). Μία τέτοια νέα μέθοδος είναι η Γεωργία Ακριβείας όπου είναι η προσαρμογή του τρόπου εφαρμογής των πόρων (σπόρος, νερό άρδευσης, λιπάσματα – φυτοφάρμακα) (Τεχνολογία Διαφοροποιούμενης Δόσης) και των γεωπονικών πρακτικών στις απαιτήσεις του εδάφους και της κάθε καλλιέργειας, όπως αυτές ποικίλλουν στο χώρο και στο χρόνο μέσα σε έναν αγρό (Whelan & Mcbratney, 2000). Οι τεχνικές που εφαρμόζονται στην Γεωργία Ακριβείας συσχετίζονται με όλα τα στάδια της παραγωγής, από την σπορά έως και την συγκομιδή και περιλαμβάνουν τα GIS (Geographic Information Systems – Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) και το GPS (Global Positioning System – Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης), την χαρτογράφηση της παραγωγής, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιδιοτήτων του εδάφους και την Τεχνολογία Διαφοροποιημένης Δόσης (Fountas et al., 2016).

### **1.3. Ακατεργασία**

Η ακατεργασία (Zero-Tillage ή No-Tillage) είναι μία διαδικασία στην οποία πραγματοποιείται απευθείας σπορά. Συγκεκριμένα πραγματοποιείται σπορά σε έδαφος που δεν έχει υποστεί κατεργασία. Ανοίγεται ένα στενό αυλάκι με μικρό πλάτος και βάθος, τόσο ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη κάλυψη του σπόρου. Ως εκ τούτου, τα

υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους, προστατεύοντας από την διάβρωση, προσθέτοντας παράλληλα και οργανική ουσία. Αν και το όνομα αναφέρεται σε μία μόνο πρακτική, η ακατεργασία είναι στην πραγματικότητα ένα πλήρες σύστημα διαχείρισης της γεωργικής εκμετάλλευσης που περιλαμβάνει συγκεκριμένες πρακτικές για τη φύτευση, τη διαχείριση των υπολειμμάτων των φυτών, την καταπολέμηση των ζιζανίων και των παρασίτων, τη συγκομιδή και την αμειψισπορά. Η πρακτική αυτή είναι αειφορική μόνο εάν ακολουθεί τρεις αρχές. Την ελαχιστοποίηση της διατάραξης του εδάφους, την κάλυψη του εδάφους με τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας και την εναλλαγή των καλλιεργειών. Καθώς το έδαφος δεν διαταράσσεται και παραμένει καλυμμένο, η θερμοκρασία του εδάφους και οι απώλειες νερού μειώνονται και η βιολογική δραστηριότητα ενισχύεται σημαντικά. Η αμειψισπορά βοηθάει στον κύκλο ζωής των παρασίτων και των ασθενειών και στον καλύτερο έλεγχο των ζιζανίων, μειώνοντας την χρήση χημικών. Τα οφέλη της πρακτικής αυτής είναι ο βελτιωμένος έλεγχος της διάβρωσης, λόγω της παραμονής των φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος, τα βελτιωμένα εδάφη, ο μειωμένος χρόνος εναλλαγής μεταξύ των καλλιεργειών, που επιτρέπει την φύτευση της καλλιέργειας στις βέλτιστες ημερομηνίες, η ευελιξία στο χρονοδιάγραμμα των εργασιών, η βελτιωμένη κίνηση των θρεπτικών στοιχείων, η καλύτερη διαχείριση της εδαφικής υγρασίας και η ευκολότερη καταπολέμηση των ζιζανίων και των παρασίτων.

Η ακατεργασία είναι πολύ ευαίσθητη στις οικολογικές συνθήκες και απαιτεί προσαρμογή στις τοπικές περιστάσεις, καθώς επηρεάζεται από πολλούς φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Έχει πολλά οικονομικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής καλλιέργειας. Έχει μειωμένο κόστος, απαιτούνται λιγότερα εργαλεία και μικρότερη ισχύς του ελκυστήρα, ενώ παράλληλα επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής του γεωργικού εξοπλισμού. Παράλληλα, μειώνει τις απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό και τον απαιτούμενο χρόνο εργασίας. Μερικές φορές επίσης παρατηρείται αύξηση της απόδοσης. Παρόλο που το μεταβλητό κόστος μπορεί να αυξηθεί κατά τα πρώτα έτη εφαρμογής, μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και παραμένει σταθερό (Ekboir, 2003).



#### 1.4. Τηλεπισκόπηση

Ως τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση ορίζεται η λήψη και καταγραφή πληροφοριών που αφορούν ιδιότητες ενός αντικειμένου, φαινομένου ή υλικού, από συσκευές καταγραφής που δεν βρίσκονται σε επαφή με τον αντικείμενο παρακολούθησης. Σε περιβαλλοντικό πλαίσιο, η τηλεπισκόπηση αναφέρεται συνήθως σε τεχνολογίες καταγραφής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από περιοχές ή αντικείμενα που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς ή την ατμόσφαιρα (Khorram et al., 2012). Η καταγραφή των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί με αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, συμβατικές φωτογραφίες, εικόνες από ραντάρ, μετρήσεις πεδίου βαρύτητας της γης κ.ά.

Η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει τους στόχους που αποτελούν τα αντικείμενα, τα φαινόμενα ή τις περιοχές που μελετώνται, τους τρόπους συλλογής των δεδομένων και την ανάλυση και την ερμηνεία των δεδομένων αυτών.

Τα δορυφορικά συστήματα περιλαμβάνουν αισθητήρες οι οποίοι ανιχνεύουν και καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από το κάθε αντικείμενο σε διάφορες φασματικές περιοχές και με αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται πληροφορία σχετικά με τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του υπό μελέτη αντικειμένου και της ατμόσφαιρας. Με την ακτινοβολία που φτάνει στους δορυφορικούς αισθητήρες και με την βοήθεια της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, είναι δυνατή η μελέτη των χαρακτηριστικών των επιφανειών που εξετάζονται, με βάση την ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από αυτές. Η φασματική απόκριση είναι η κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από μία επιφάνεια σε σχέση με το μήκος κύματος  $\lambda$  και η φασματική υπογραφή είναι η μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης μιας επιφάνειας σε σχέση με το μήκος κύματος  $\lambda$ . Κάθε επιφάνεια και κάθε υλικό έχει διαφορετική φασματική υπογραφή. Μέσω αυτής της ιδιότητας εξάγονται πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες, το σχήμα, το μέγεθος και τον διαχωρισμό των υπό μελέτη αντικειμένων (Καρτάλης & Φείδας, 2013).

Υπάρχουν δύο τεχνικές επεξεργασίας εικόνων που αναλύουν τα δεδομένα που εξάγονται από τους αισθητήρες τηλεπισκόπησης, η αναλογική (οπτική) επεξεργασία εικόνων και η ψηφιακή επεξεργασία εικόνων. Οι δύο αυτές τεχνικές έχουν ως στόχο να εντοπίζουν και να αναγνωρίζουν σημαντικά φαινόμενα που καταγράφηκαν στην εικόνα και στην συνέχεια να εξάγουν πληροφορίες, οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω μετρήσεων, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν στην επίλυση διάφορων προβλημάτων.

Ένας τύπος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων είναι και η ραδιομετρική διόρθωση όπου αφαιρούνται θόρυβοι ή σφάλματα που οφείλονται στους ίδιους τους αισθητήρες (John R. Jensen, 2015).

#### **1.4.1. Δορυφόροι Sentinel-2**

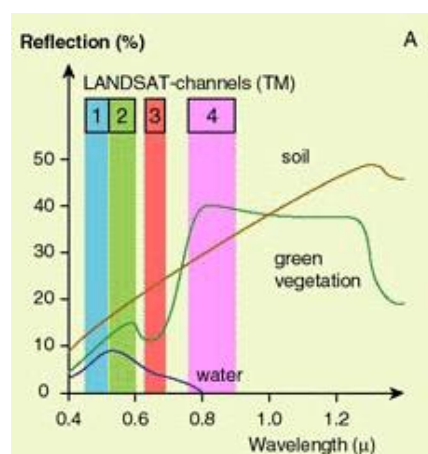
Οι δορυφόροι Sentinel-2 είναι μία ευρωπαϊκή αποστολή πολυφασματικής απεικόνισης ευρείας εμβέλειας και υψηλής χωρικής ανάλυσης. Είναι προϊόντα συνεργασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Διαστήματος (European Space Agency – ESA) και μίας κοινοπραξίας 60 εταιρειών με επικεφαλής την Airbus Defense και υποστηρίζονται από το Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών (Centre National d' tubes Spatiales -CNES) της Γαλλίας και το Γερμανικό Κέντρο Διαστημικής DLR, για την βελτιστοποίηση της παρακολούθησης των καλύψεων της γήινης επιφάνειας. Ουσιαστικά οι δορυφόροι Sentinel-2 είναι δύο όμοιοι δορυφόροι οι οποίοι κινούνται σε πολική τροχιά με γωνιακή απόκλιση μεταξύ τους 180°. Ο δορυφόρος Sentinel-2A εκτοξεύθηκε στις 23 Ιουνίου του 2015 ενώ ο Sentinel-2B στις 7 Μαρτίου του 2017, όπου οι φασματικές τους ζώνες φαίνονται στον Πίνακα 2. Και οι δύο δορυφόροι εκτοξεύθηκαν μέσω ενός πυραύλου Vega από τον Ευρωπαϊκό Διαστημικό Σταθμό που βρίσκεται κοντά στο Κούρου στην Γαλλική Γουινέα. Τα επόμενα χρόνια αναμένεται να προστεθούν και οι δορυφόροι 2C και 2D. Οι δορυφόροι Sentinel-2 έχουν συχνότητα επανάληψης 5 ημέρες. Κάθε δορυφόρος έχει ένα πολυφασματικό όργανο – MSI (Multi Spectral Instrument) το οποίο συλλέγει δεδομένα σε 13 φασματικά κανάλια, από τα οποία 4 έχουν χωρική ανάλυση 10m, 6 κανάλια έχουν 20m και τα υπόλοιπα 3 έχουν 60m, τα οποία συμβάλλουν στις τρέχουσες πολυφασματικές παρατηρήσεις και ωφελούν τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές του Copernicus, όπως η διαχείριση της γης, η γεωργία και η δασοκομία, ο έλεγχος καταστροφών, οι επιχειρήσεις ανθρωπιστικής βοήθειας, η χαρτογράφηση κινδύνων και οι ανησυχίες για την ασφάλεια (ESA, 2022).

Πίνακας 2: Φασματικές ζώνες για τους δορυφόρους Sentinel -2

Sentinel-2 Bands	Sentinel-2A (Central wavelength nm)	Sentinel-2B (Central wavelength nm)
Band 1 – Coastal aerosol	442.7	442.2
Band 2 – Blue	492.4	492.1
Band 3 – Green	559.8	559.0
Band 4 – Red	664.6	664.9
Band 5 – Vegetation red edge	704.1	703.8
Band 6 – Vegetation red edge	740.5	739.1
Band 7 – Vegetation red edge	782.8	779.7
Band 8 – NIR	832.8	832.9
Band 8A – Narrow NIR	864.7	864.0
Band 9 – Water vapour	945.1	943.2
Band 10 – SWIR – Cirrus	1373.5	1376.9
Band 11 – SWIR	1613.7	1610.4
Band 12 – SWIR	2202.4	2185.7

#### 1.4.2. Τηλεπισκόπηση και βλάστηση

Τα τηλεσκοπικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρακτηρίσουν την ανάπτυξη και την υγεία της βλάστησης, για τον εντοπισμό των ορίων οικοτόπων, για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση των καλλιεργειών, για την εκτίμηση της παραγωγής κ.ά. (Khorram et al., 2012). Για παράδειγμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 8, είναι



Εικόνα 8: Φασματικές υπογραφές (νερό, έδαφος, βλάστηση) (Πηγή: ESA)

χαρακτηριστική η φασματική υπογραφή του νερού η οποία βρίσκεται στα όρια του ορατού φάσματος και παρουσιάζει μέγιστη ανακλαστικότητα στο μπλε-πράσινο. Επιπλέον παρατηρείται και η φασματική υπογραφή της βλάστησης η οποία παρουσιάζει υψηλή ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο, μεγαλύτερη από αυτή του εδάφους και χαμηλή ανακλαστικότητα στο ορατό κόκκινο. (Καρτάλης & Φεΐδας, 2013)

### 1.4.3. Δείκτες Βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης, συνδυάζουν ψηφιακές τιμές από τα φασματικά κανάλια, χρησιμοποιώντας αριθμητικές πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός), ώστε να δημιουργηθεί μια μοναδική τιμή για κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας (Καρτάλης & Φείδας, 2013).

Οι πρώτοι δείκτες αναπτύχθηκαν με τη χρήση μη επεξεργασμένων δορυφορικών ψηφιακών αριθμών, χωρίς να πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση σε ανακλάσεις και αισθητήρες και χωρίς ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Οι Pearson και Miller (1972) είναι πρωτοπόροι στην ιστορία των Δεικτών Βλάστησης. Ανέπτυξαν τους πρώτους, δύο δείκτες με τη μορφή αναλογιών: τον "Ratio Vegetation Index" (RVI) και τον "Vegetation Index Number" (VIN), για την εκτίμηση και την παρακολούθηση της φυτοκάλυψης. Όπου  $RVI = R/NIR$  και ο  $VIN = NIR/R$ , με R να είναι η μέση ανάκλαση στο κόκκινο κανάλι και NIR η μέση ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο κανάλι (Bannari et al., 1995).

- Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης – NDVI (Normalized Differential Vegetation Index)

Ο δείκτης NDVI δίνει την δυνατότητα να γίνεται έλεγχος των εποχιακών και ετήσιων μεταβολών στην βλαστική ανάπτυξη (Jensen, 2015). Προκύπτει από την εξίσωση (1) όπου NIR και Red είναι οι ποσότητες του εγγύς υπέρυθρου και κόκκινου φωτός αντίστοιχα, που ανακλώνται από τη βλάστηση και που συλλαμβάνονται από τον αισθητήρα του δορυφόρου. Ο τύπος βασίζεται στο γεγονός ότι η χλωροφύλλη απορροφά το Red ενώ η δομή του μεσοφύλλου των φύλλων σκεδάζει το NIR. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως +1 όπου οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε απουσία βλάστησης. Ο NDVI παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη χωρική και χρονική κατανομή των πληθυσμών βλάστησης, τη βιομάζα της βλάστησης, τις ροές CO<sub>2</sub>, την ποιότητα της βλάστησης και την έκταση της εδαφικής υποβάθμισης. Ο NDVI έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των προβλέψεων και για την εκτίμηση των επιπτώσεων διαταραχών όπως η ξηρασία, η πυρκαγιά, οι πλημμύρες και ο παγετός (Pettorelli et al., 2005).

$$NDVI = \frac{RNIR - Rred}{RNIR + Rred} (1)$$

- Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού – NDWI (Normalized Difference Water Index)

Ο NDWI προκύπτει από την εξίσωση (2) και χρησιμοποιεί το κανάλι του εγγύς υπέρυθρου (NIR) και του υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος (SWIR). Ο NDWI συσχετίζεται με την περιεκτικότητα του νερού της βλάστησης και παρουσιάζει ευαισθησία στις αλλαγές της βιομάζας και της υδατικής καταπόνησης (Jensen, 2015).

$$NDWI = \frac{RNIR - RSWIR}{RNIR + RSWIR} (2)$$

- Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)

Για την ελαχιστοποίηση των επιρροών της φωτεινότητας του εδάφους στους φασματικούς δείκτες βλάστησης, αναπτύχθηκε ο SAVI οποίος μπορεί σχεδόν να εξαλείψει τις επιρροές του εδάφους που παρουσιάζονται στον NDVI. Αυτό πραγματοποιείται με την σταθερά L (εξίσωση 3). Όπου, NIR και RED είναι η ανάκλαση στις αντίστοιχες φασματικές ζώνες (Huete, 1988).

$$SAVI = \frac{RNIR - Rred}{RNIR + Rred + L} * (1 + L) (3)$$

- Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης – EVI (Enhanced Vegetation Index)

Ο δείκτης EVI (4) είναι ένα τροποποιημένος δείκτης NDVI όπου περιλαμβάνει μία μεταβλητή L για την προσαρμογή του εδάφους και δύο συντελεστές, τον C1 και C2 όπου περιγράφουν την χρήση του μπλε καναλιού ώστε να διορθωθεί το κόκκινο κανάλι από την ατμοσφαιρική σκέδαση που υφίσταται από τα αερολύματα. Το G αποτελεί έναν παράγοντα κέρδους και παίρνει τιμή 2,5. Οι συντελεστές L, C1 και C2 παίρνουν εμπειρικά τις εξής τιμές: 1, 6 και 7,5 αντίστοιχα (Jensen, 2015).

$$EVI = G * \frac{RNIR - Rred}{RNIR + C1Rred - C2Rblue + L} (4)$$

- Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής - NDRE (Normalized Difference of Red Edge)

Ο δείκτης NDRE χρησιμοποιεί τις τιμές ανάκλασης στο κόκκινο άκρο (RE – Red Edge) και του εγγύς υπέρυθρου (NIR) μήκους κύματος (5), για την ποσοτικοποίηση της πυκνότητας και των συνθηκών της βλάστησης, όπως η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Λόγω της διαφορικής ανάκλασης του φωτός που παρατηρείται στα διαφορετικά μήκη κύματος από τα φυτά, δείκτες βλάστησης όπως ο NDRE χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της αύξησης και της ανάπτυξης των καλλιεργειών και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στις αλλαγές τους (Thompson et al., 2019).

$$NDRE = \frac{RNIR - Rre}{RNIR + Rre} \quad (5)$$

#### **1.4.4. Μη επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα – Drones (Unmanned Aerial Vehicles – UAV)**

Ως Μη Επανδρωμένο Εναέριο Όχημα (Unmanned Aerial Vehicles – UAV), ευρέως γνωστό σαν drone ή τηλεκατευθυνόμενο σύστημα αεροσκάφους (Remotely Piloted Aircraft System – RPAS), είναι ένα αερόχημα χωρίς ανθρώπινο πιλότο. Σήμερα η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχει επεκταθεί μαζικά στον αστικό και εμπορικό τομέα. Παρέχουν μια ευέλικτη και ευπροσάρμοστη βάση που θα μπορούσε να εξοπλιστεί με κάθε είδους αισθητήρες για τον χαρακτηρισμό ενός στόχου σε πραγματικό χρόνο, τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα. Δεδομένου ότι τα οχήματα λειτουργούν σε χαμηλό υψόμετρο, δεν εμποδίζονται από σύννεφα και ως εκ τούτου παραμένουν διαθέσιμα ανά πάσα στιγμή για επιτήρηση. Επιπλέον, η ευελιξία τους στο ύψος πτήσης, επιτρέπει να προσαρμόζεται η χωρική ανάλυση των εικόνων. Ένα UAV περιλαμβάνει μια ιπτάμενη πλατφόρμα, το σύστημα πλοήγησης και μερικούς αισθητήρες για την επίτευξη του στόχου της αποστολής που είναι η απόκτηση και η μεταφορά δεδομένων (Asadzadeh et al., 2022). Λόγω του χαμηλού ύψους πτήσης, τα UAV μπορούν εύκολα να αποκτήσουν πολύ λεπτομερείς πληροφορίες των παρατηρούμενων αντικειμένων, γεγονός που επιτρέπει την ακριβή ανάλυση για μια ευρύτερη περιοχή. Η αυξημένη χωρική ανάλυση μπορεί να μην επιφέρει πάντοτε το ίδιο επίπεδο βελτίωσης, όσον αφορά την ερμηνεία των δεδομένων, καθώς οι λεπτομέρειες των αντικειμένων μπορεί να αυξήσουν την πολυπλοκότητα της υφής, που

συχνά οδηγεί σε σφάλματα ταξινόμησης. Τα δεδομένα των UAV υπόσχονται να εξυπηρετήσουν τυπικές πρακτικές ανάλυσης δεδομένων, όπως η ταξινόμηση της κάλυψης της γης, η ανίχνευση αντικειμένων και η ανίχνευση αλλαγών. Ως επί το πλείστον τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη διαθέτουν κάμερες RGB, ωστόσο υπάρχει ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως πολυφασματικές ή υπερφασματικές κάμερες, κάμερες μικρού/μεσαίου μήκους κύματος (π.χ. θερμικές) και ελαφρού βάρους LiDAR (light detection and ranging) (Yao et al., 2019). Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα έχουν την ικανότητα να φέρουν ωφέλιμα φορτία, όπως ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και έχουν την δυνατότητα χρήσης ασύρματης τεχνολογίας για την μετάδοση της εικόνων σε πραγματικό χρόνο ή αποθήκευσης των εικόνων σε καταγραφείς δεδομένων (Jensen, 2015).

### **1.5. Σκοπός**

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η σύγκριση τηλεπισκοπικών εικόνων, τόσο από τους δορυφόρους Sentinel-2 της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA) όσο και από τα UAV, για την απεικόνιση και την αξιολόγηση Βέλτιστων Γεωργικών Πρακτικών σύμφωνα με τα δεδομένα της παραγωγής, όπου καταγράφηκαν κατά την συγκομιδή με μία μηχανή συλλογής εξοπλισμένη με σύστημα χαρτογράφησης. Ο πιλοτικός αγρός περιλάμβανε 8 διαφορετικές μεταχειρίσεις από τις οποίες δημιουργήθηκαν χρονοσειρές δεικτών βλάστησης, τόσο από τις δορυφορικές εικόνες όσο και από τις εικόνες των drones, για να αποτυπωθεί η εξέλιξη της καλλιέργειας. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των δεικτών (NDVI και NDRE) που εξήχθησαν από το drone και από τους δορυφόρους Sentinel-2, ενώ παράλληλα αξιολογήθηκαν και όλοι οι δείκτες με την τελική παραγωγή.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1. Πειραματικός Αγρός

Η μελέτη έλαβε χώρα σε πειραματικό αγρό στην περιοχή του Κιλελέρ στην Λάρισα (Θεσσαλία, 39.509362°N, 22.649143°E) στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου Νοέμβριος 2020 – Ιούνιος 2021. Ο αγρός καταλάμβανε συνολική έκταση 93,8 στρέμματα και χωρίστηκε σε 8 αγροτεμάχια όπου εφαρμόστηκαν οι πρακτικές του Πίνακα 3 και 4.

**Πίνακας 3: Στοιχεία των καλλιεργητικών πρακτικών που εφαρμόστηκαν στα 8 αγροτεμάχια του πιλοτικού αγρού.**

Code	Αριθμός pixels	Έκταση (στρ)	Δυνατότητα άρδευσης	Αμειψισπορά	Μέθοδος σποράς	Σύστημα λήψης αποφάσεων
CTb	78	16.3	ναι	Κουκί	Συμβατική	Παραγωγός
NTb_dF	31	7.4	ναι	Κουκί	Απευθείας	Granoduro
NTc_dF	17	11.9	ναι	Βάμβακι	Απευθείας	Granoduro
CTc	70	23.6	ναι	Βάμβακι	Συμβατική	Παραγωγός
NTc	55	11.4	ναι	Βάμβακι	Απευθείας	Granoduro
NTb	148	6.0	ναι	Κουκί	Απευθείας	Granoduro
dNTb	34	7.7	όχι	Κουκί	Απευθείας	Παραγωγός
dNTb_dF	49	9.4	όχι	Κουκί	Απευθείας	Granoduro

Στα τεμάχια CTb, CTc και dNTb η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 12/11/2020 με τα εργαλεία που διέθεται ο παραγωγός ενώ στα τεμάχια NTb\_dF, NTc\_dF, NTc, NTb και dNTb\_df η σπορά έγινε στις 6/11/2020 με ειδική σπαρτική μηχανή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που διαχειρίστηκε το πρόγραμμα MISKO. Συγκεκριμένα ο παραγωγός στο τεμάχιο CTb που είχε ως προηγούμενη καλλιέργεια το κουκί, πραγματοποίησε προετοιμασία του εδάφους με δισκοσβάρνα και σπορά με συμβατική μηχανή σιτηρών.



Στο τεμάχιο CTc που είχε ως προηγούμενη καλλιέργεια το βαμβάκι, η σπορά πραγματοποιήθηκε στα πεταχτά, μέσα στην βαμβακιά, αφαιρώντας τους σωλήνες μεταφοράς σπόρου από την σπαρτική και ύστερα εφάρμοσε ελαφρύ καλλιεργητή για την ενσωμάτωση του σπόρου στο έδαφος. Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε είναι η Π-Greco. Το πρόγραμμα MISKO χρησιμοποίησε ποσότητα σπόρου 20 kg/στρ ενώ ο παραγωγός χρησιμοποίησε 24 kg/στρ. Στα τεμάχια που είχαν σαν προηγούμενη καλλιέργεια το κουκί και έγινε απευθείας σπορά (NTb, dNTb, dNTb\_dF), προηγήθηκε ζιζανιοκτονία με εφαρμογή roundup με δόση 500 ml/στρ. Η ζιζανιοκτονία ολοκληρώθηκε στις 02/04/2020 με την εφαρμογή Biathlon σε όλα τα τεμάχια. Η οριοθέτηση του χωραφιού και των μεταχειρίσεων έγινε μέσω GPS (Garmin, eTrex) και μέσω του λογισμικού QGIS αποτυπώθηκαν σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

**Πίνακας 4: Στοιχεία της λίπανσης που εφαρμόστηκαν στα 8 αγροτεμάχια του πιλοτικού αγρού.**

Code	Τρόπος λίπανσης	1η Δόση	1η Δόση	2η Δόση	2η Δόση	Συνολική Δόση N (kg/στρ)
		λιπάσματος Ουρία 46-0-0 10/2/21 (kg/στρ)	N (kg/στρ)	λιπάσματος Νιτρική αμμωνία 33.5-0-0 12/3/21 (kg/στρ)	N (kg/στρ)	
CTb	Σταθερή	26	12.0	0	0.0	12.0
NTb_dF	Μεταβλητή	9.8	4.5	22,5	7.5	12.0
NTc_dF	Μεταβλητή	26.3	12.1	9	3.0	15.1
CTc	Σταθερή	26	12.0	0	0.0	12.0
NTc	Σταθερή	26.3	12.1	9	0.0	12.1
NTb	Σταθερή	9.8	4.5	22,5	7.5	12.0
dNTb	Σταθερή	26	12.0	0	0.0	12.0
dNTb_dF	Μεταβλητή	5	2.3	12	4.0	6.3

## 2.2. Δορυφορικά Δεδομένα

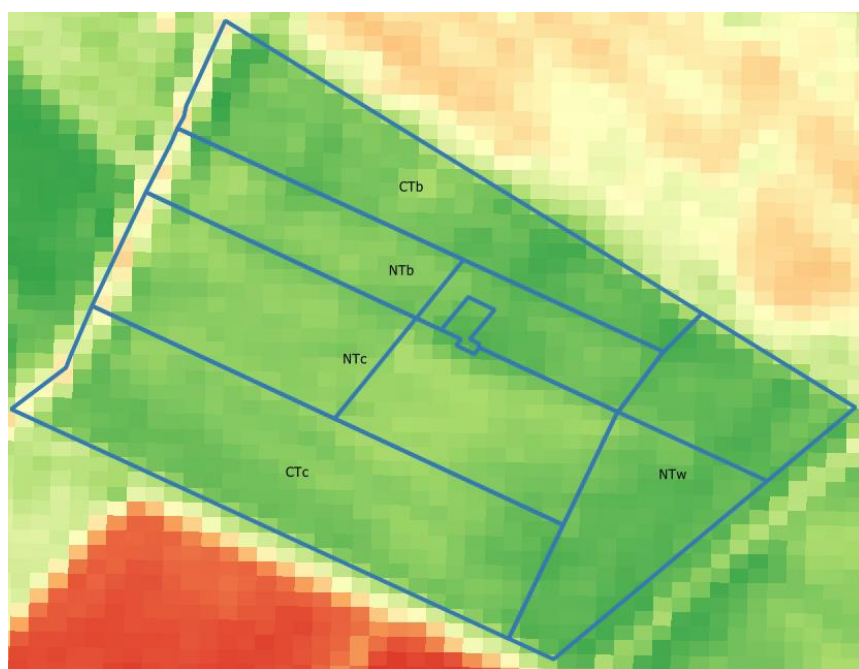
Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 25 δορυφορικές εικόνες των Sentinel-2 (Α και Β) οι οποίες κάλυπταν όλα τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, από την σπορά έως την συγκομιδή, δηλαδή από τον Οκτώβριο του 2020 έως τον Ιούνιο του 2021. Ήταν ραδιομετρικά, γεωγραφικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες (Επίπεδο 2Α) και αφορούσαν την ανακλαστικότητα στην επιφάνεια της Γης. Η συχνότητα λήψης των δορυφορικών εικόνων είναι 1 εικόνα κάθε 5 ημέρες, οι οποίες λήφθηκαν από το Copernicus Open Access Hub της ESA δωρεάν. Για να χρησιμοποιηθεί η δορυφορική εικόνα στο συγκεκριμένο πείραμα, θα έπρεπε να είναι καθαρή από σύννεφα, χιόνι και σκιάσεις. Λόγω κακοκαιρίας, δεν υπήρχαν διαθέσιμες εικόνες τον Απρίλιο του 2021. Τέλος χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό ανοιχτού κώδικα SNAP-ESA Application Platform για την επεξεργασία των εικόνων και την εξαγωγή των δεδομένων από τους δορυφόρους για τα εικονοστοιχεία του υπό μελέτη αγρού (Εικόνα 9).



**Εικόνα 9:** Εικόνα του πειραματικού αγρού από το Google Satellite οριοθετημένη και διαχωρισμένη στις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Για την εξαγωγή των δορυφορικών δεδομένων δημιουργήθηκαν Vector Layers ώστε να γίνει οριοθέτηση του αγρού συνολικά, αλλά και των επιμέρους μεταχειρίσεων. Για κάθε μεταχείριση δημιουργήθηκε ξεχωριστό Vector Layer ώστε να απορριφθούν τα περιφερειακά εικονοστοιχεία (τα pixel που βρίσκονταν στα όρια του χωραφιού και των

μεταχειρίσεων) ώστε τα δεδομένα να είναι πιο σαφή. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία χρονοσειρών, για την καλλιεργητική περίοδο Νοέμβριος 2020 – Ιούνιος 2021 για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά, των εξής δεικτών βλάστησης: NDVI, NDRE, NDWI, EVI, SAVI σύμφωνα με τις σχέσεις του Πίνακα 5 με βάση τα φασματικά κανάλια που απεικονίζονται στον Πίνακα 6. Ενδεικτικά στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται μία εικόνα του δείκτη NDVI από τα δορυφορικά δεδομένα.



Εικόνα 10: Ενδεικτική εικόνα του δείκτη βλάστησης NDVI από τα δορυφορικά δεδομένα.

Πίνακας 5: Δείκτες βλάστησης με βάση την ανακλαστικότητα στα κεντρικά μήκη κύματος (α) και με βάση τα φασματικά κανάλια (β).

Δείκτης Βλάστησης	Υπολογισμός με βάση την ανακλαστικότητα στα κεντρικά μήκη κύματος (α)	Υπολογισμός με βάση τα φασματικά κανάλια (β)
NDVI	$\frac{R842 - R665}{R842 + R665}$	$\frac{B8 - B4}{B8 + B4}$
NDRE	$\frac{R842 - R705}{R842 + R750}$	$\frac{B8 - B5}{B8 + B5}$
NDWI	$\frac{R842 - R2190}{R842 + R2190}$	$\frac{B8 - B12}{B8 + B12}$

<b>EVI</b>	$2.5 \frac{R842 - R665}{R842 + (6 * R665) - (7.5 * R490) + 1}$	$2.5 \frac{B8 - B4}{B8 + (6 * B4) - (7.5 * B2) + 1}$
<b>SAVI</b>	$\frac{R842 - R665}{R842 + R665 + 0.5} (1 + 0.5)$	$\frac{B8 - B4}{B8 + B4 + 0.5} (1 + 0.5)$

**Πίνακας 6: Φασματικά χαρακτηριστικά των καναλιών του Sentinel-2.**

<b>Κανάλι</b>	<b>Κεντρικό μήκος κύματος, nm</b>	<b>Ελάχιστο μήκος κύματος, nm</b>	<b>Μέγιστο μήκος κύματος, nm</b>	<b>Χωρική ανάλυση, m</b>
<b>B1</b>	443	433	453	60
<b>B2</b>	490	457.5	522.5	10
<b>B3</b>	560	542.5	577.5	10
<b>B4</b>	665	650	680	10
<b>B5</b>	705	697.5	712.5	20
<b>B6</b>	740	732.5	747.5	20
<b>B7</b>	783	773	793	20
<b>B8</b>	842	784.5	899.5	10
<b>B9</b>	945	935	955	60
<b>B10</b>	1380	1360	1390	60
<b>B11</b>	1610	1565	1655	20
<b>B12</b>	2190	2100	2280	20
<b>B8A</b>	865	855	875	20

## 2.3. Τηλεπισκόπηση με drone

### 2.3.1. Εξαγωγή δεδομένων

Για την λήψη εικόνων τηλεπισκόπησης από τον αγρό, καθ' όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, χρησιμοποιήθηκε ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, το Parrot Bluegrass (Εικόνα 11) με μία πολυφασματική κάμερα Sequoia που περιλάμβανε 4 φασματικά κανάλια στα 550 nm, 660 nm, 735 nm και 790 nm (Πίνακας 7). Οι εικόνες από την πολυφασματική κάμερα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών NDVI και NDRE. Για την παρακολούθηση της καλλιέργειας λήφθηκαν συνολικά 17 πολυφασματικές εικόνες. Το drone Parrot Bluegrass πραγματοποιούσε σάρωση του αγρού από ύψος περίπου 65 m με αλληλοεπικάλυψη των φωτογραφιών 80%. Ως επίγεια σημεία γεωαναφοράς (GCP – Ground Control Points) χρησιμοποιήθηκαν ευδιάκριτα σημεία του αγρού από τα οποία λήφθηκε η θέση τους με GPS ώστε να γίνει ακριβής χωροθέτηση των εικόνων για το Parrot Bluegrass. Οι πολυφασματικές εικόνες από το Parrot Bluegrass φορτώθηκαν στο λογισμικό QGIS για την εκτίμηση των δεικτών βλάστησης NDVI και NDRE.

**Πίνακας 7: Κανάλια και μήκη κύματος (nm) της πολυφασματικής κάμερας Sequoia του Parrot Bluegrass (www.parrot.com)**

Κανάλι	Χρώμα	Μήκος κύματος (nm)
B1	Green	550
B2	Red	660
B3	RED Edge	735
B4	Nir NEAR infrared	790



**Εικόνα 11: DJI Phantom 4 Pro, Parrot Bluegrass.**

### 2.3.2. Επεξεργασία εικόνων από UAVs

Για την επεξεργασία των εικόνων και εξαγωγή δεδομένων από το UAV, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό QGIS μέσω του οποίου υπολογίστηκαν οι δείκτες βλάστησης NDVI και NDRE. Ενδεικτικά, στην Εικόνα 12, παρουσιάζεται μία εικόνα του δείκτη NDVI από τα δεδομένα του drone. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν Vector Layers ώστε να γίνει η εξαγωγή των δεδομένων. Επιπλέον υπολογίστηκαν και οι χρονοσειρές των δεικτών αυτών και έγινε και συσχέτιση με την τελική παραγωγή. Επομένως για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εξισώσεις, σύμφωνα και με τα κανάλια του Parrot – Bluegrass.

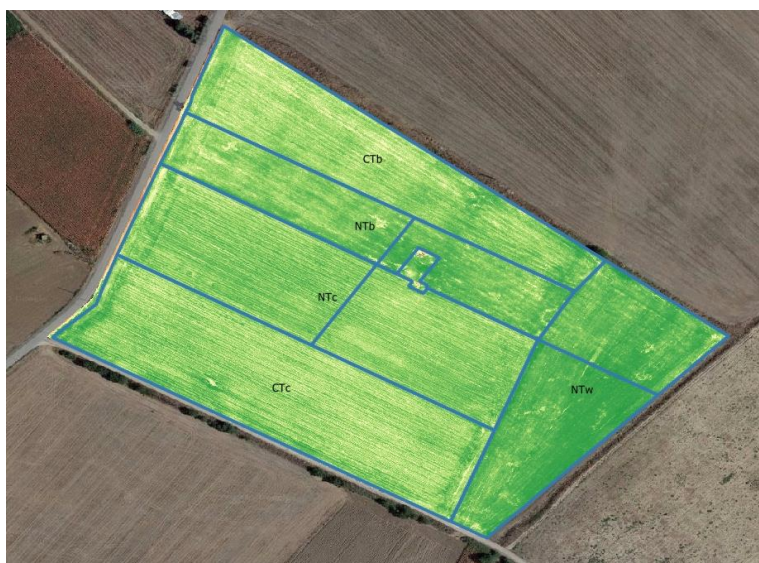
Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation – NDVI)

$$NDVI = \frac{B4 - B2}{B4 + B2}$$

Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής (Normalized Difference of Red Edge – NDRE)

$$NDRE = \frac{B4 - B3}{B4 + B3}$$

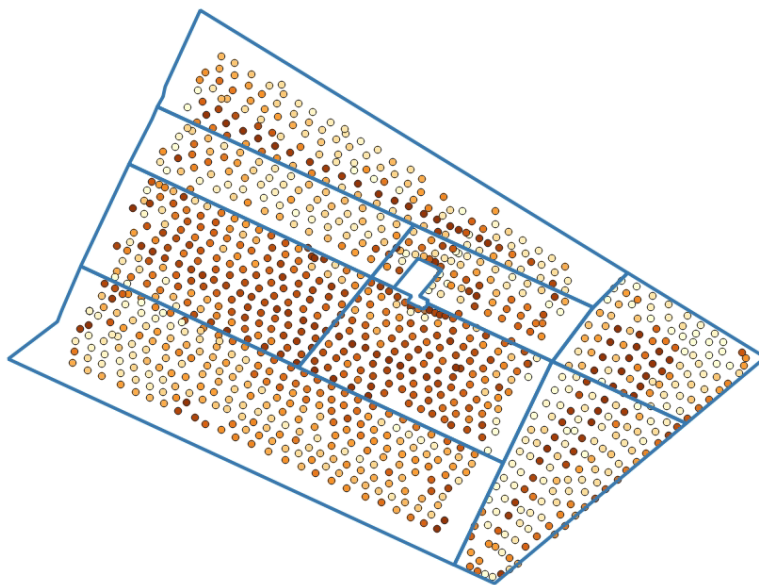
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επαναδειγματοληψία (resampling) των εικόνων, από το Parrot στην χωρική ανάλυση που έχουν οι δορυφορικές εικόνες (10\*10 m), και χρονικό interpolation των δεδομένων του drone στις ημερομηνίες που υπήρχαν δορυφορικές εικόνες, ώστε οι συγκρίσεις να γίνονται για τις ίδιες ημέρες.



Εικόνα 12: Ενδεικτική εικόνα του δείκτη NDVI από τα δεδομένα του Parrot.

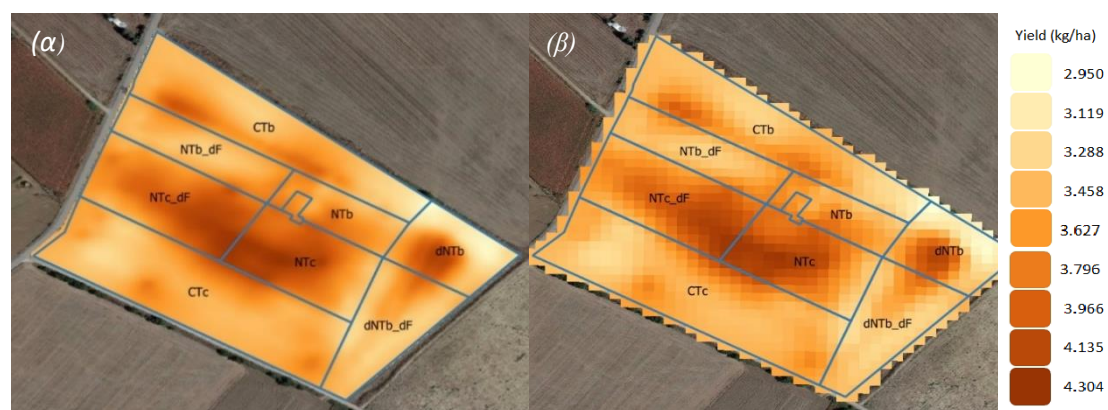
## 2.4. Συγκομιδή και μέτρηση παραγωγής

Η συγκομιδή του αγρού, πραγματοποιήθηκε με την θεριζοαλωνιστική μηχανή Class Lexion 6800, η οποία διαθέτει ένα αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής. Τα δεδομένα παρέχονται από την εταιρεία, με την μορφή ενός χάρτη παραγωγής με χωρική ανάλυση περίπου 8 \* 8 m (Εικόνα 13). Ύστερα υποβλήθηκε σε επεξεργασία για να αφαιρεθούν τα σημεία στα περιθώρια των τεμαχίων και τα σφάλματα που προκύπτουν από την υστέρηση του αισθητήρα στα σημεία εισόδου και εξόδου της



μηχανής. Τέλος έγινε επαναδειγματοληψία (resampling) του χάρτη παραγωγής 8 \* 8 m στην χωρική ανάλυση των εικονοστοιχείων των δορυφορικών εικόνων (10 \* 10m) (Εικόνα 14), ώστε να γίνει η σύγκριση μεταξύ τους.

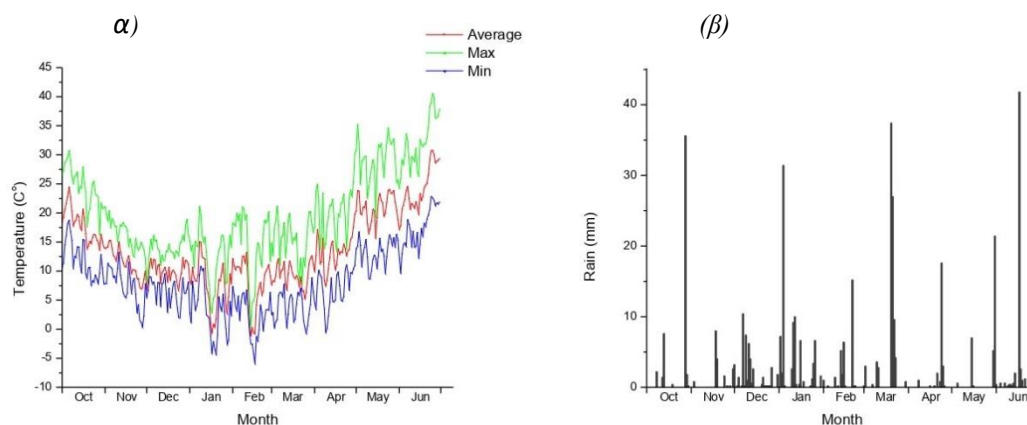
Εικόνα 13: Αρχικά δεδομένα παραγωγής που συλλέχθηκαν με την θεριζοαλωνιστική μηχανή Class Lexion 6800, αφαιρώντας τα σημεία στα περιθώρια των αγροτεμαχίων



Εικόνα 14: Χάρτης παραγωγής της καλλιέργειας (α) και χάρτης παραγωγής μετά από resampling στα 10m (β)

## 2.5. Μετεωρολογικά Δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από το δίκτυο του meteo.gr του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, από τον μετεωρολογικό σταθμό της Χάλκης στην Λάρισα, για την θερμοκρασία (°C) (μέγιστη, ελάχιστη και μέση ημερήσια) και την συνολική ημερήσια βροχόπτωση (mm) (Εικόνα 15). Συνολικά η βροχόπτωση για όλη την καλλιεργητική περίοδο Νοεμβρίου – Ιουνίου ανέρχεται στα 375 mm.



**Εικόνα 15: Διακύμανση της θερμοκρασίας (α) και της βροχόπτωσης (β), από τον Οκτώβριο του 2020 έως τον Ιούνιο του 2021, από τον μετεωρολογικό σταθμό της Χάλκης στην Λάρισα.**



### 3. Αποτελέσματα

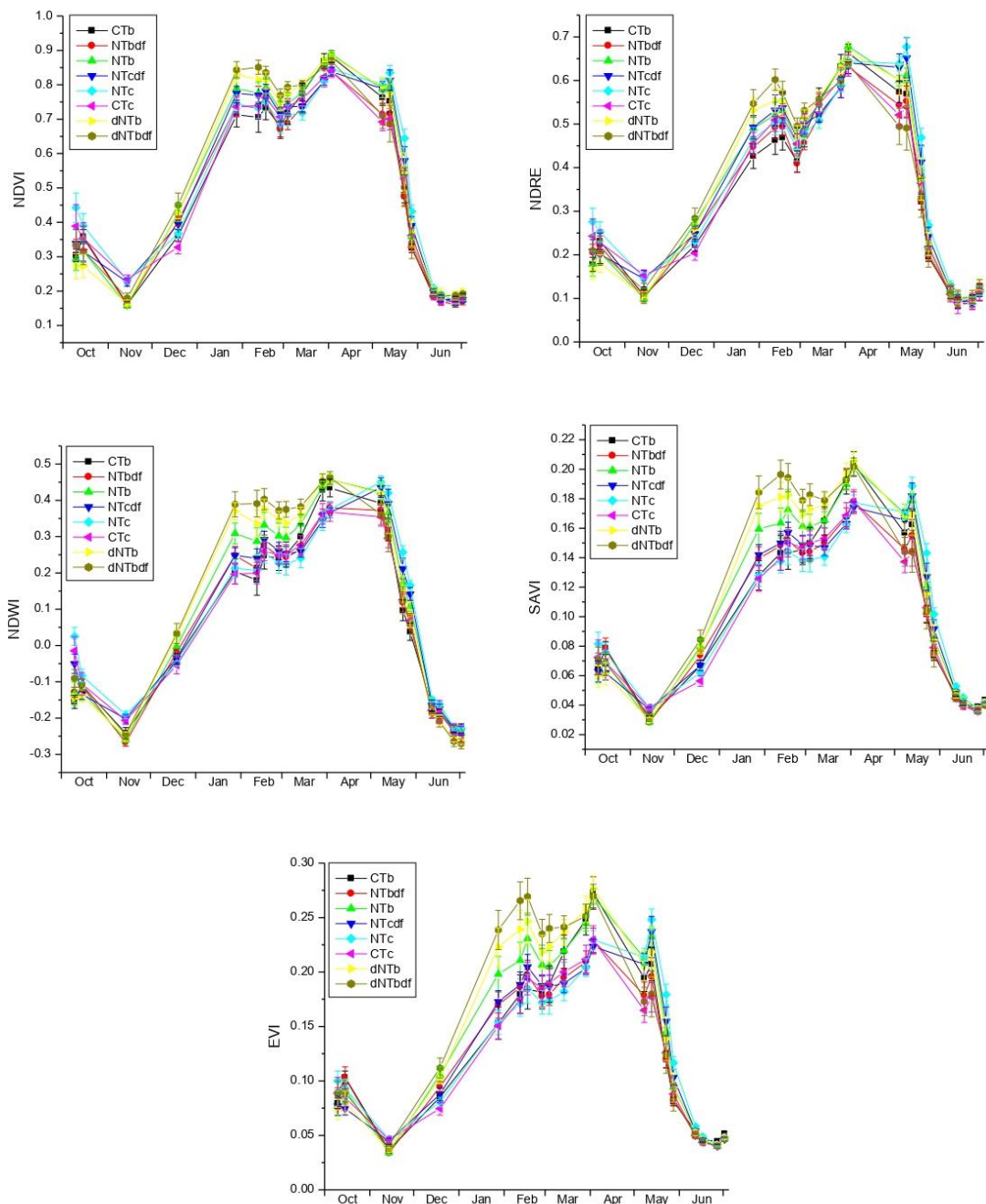
#### 3.1. Δορυφορικά Δεδομένα

Χρησιμοποιήθηκαν 25 δορυφορικές εικόνες για το διάστημα 10/10/2020 - 02/07/2021 (Πίνακας 8). Η λήψη των εικόνων πραγματοποιούνταν κάθε 5 ημέρες. Στην Εικόνα 16 φαίνονται οι χρονοσειρές των δεικτών βλάστησης NDVI, NDRE, NDWI, SAVI και EVI. Για όλες τις χρονοσειρές των δεικτών βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ημερομηνίες από την αρχή της καλλιεργητικής περιόδου έως την συγκομιδή και εξήχθησαν δεδομένα για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά. Οι εποχικές διακυμάνσεις των δεικτών βλάστησης συμβαδίζουν με την πορεία της καλλιέργειας, όπου έχουμε χαμηλές τιμές τον μήνα Νοέμβριο, καθώς η σπορά πραγματοποιήθηκε στις αρχές Νοεμβρίου. Από τον Νοέμβριο και μετά παρατηρείται σταδιακή αύξηση των δεικτών καθώς η καλλιέργεια αναπτύσσεται, μέχρι τέλη Ιανουαρίου. Στο διάστημα από τον Φεβρουάριο μέχρι αρχές Μαΐου, οι δείκτες κυμαίνονται σε σταθερές τιμές, με μέγιστο να παρουσιάζουν στα τέλη Μαρτίου. Στο διάστημα Μαΐου – Ιουνίου παρατηρείται σταδιακή πτώση των δεικτών, μιας και η καλλιέργεια εκείνη την περίοδο βρίσκεται στο στάδιο γεμίσματος του κόκκου όπου παρατηρείται απώλεια χλωροφυλλών, επομένως του πράσινου χρώματος των φυτών. Τον μήνα Απρίλιο, λόγω συννεφιάς δεν κατέστη δυνατή η λήψη δορυφορικών δεδομένων, επηρεάζοντας τα αποτελέσματα, μιας και εκείνη την περίοδο πραγματοποιείται η άνθηση, ωστόσο παρατηρείται καλύτερη ανάπτυξη των αγροτεμαχίων NTc και NTc\_df από τις αρχές Μαΐου και μετά. Στο διάστημα μεταξύ Δεκεμβρίου – τέλη Μαρτίου, τους υψηλότερους δείκτες βλάστησης τις παρουσιάζουν τα τεμάχια dNTb\_df, dNTb και NTb.

**Πίνακας 8: Ημερομηνίες των δορυφορικών εικόνων και των εικόνων από το Parrot Bluegrass, καθώς και οι κοινές τελικές ημερομηνίες μετά από Interpolation μερικών δεδομένων του Parrot, στις ημερομηνίες του Sentinel - 2.**

Ημέρες Sentinel - 2	Ημέρες drone Parrot	Τελικές ημερομηνίες που χρησιμοποιήθηκαν
10/10/2020		
15/10/2020		
14/11/2020		
	16/12/2020	
	18/12/2020	
19/12/2020		<b>19/12/2020</b>

3/1/2021		<b>3/1/2021</b>
	7/1/2021	
18/1/2021		
28/1/2021	28/1/2021	<b>28/1/2021</b>
	11/2/2021	
12/2/2021		<b>12/2/2021</b>
17/2/2021		<b>17/2/2021</b>
	22/2/2021	
27/2/2021		<b>27/2/2021</b>
	3/3/2021	
4/3/2021		<b>4/3/2021</b>
14/3/2021		<b>14/3/2021</b>
	18/3/2021	
	26/3/2021	
29/3/2021		<b>29/3/2021</b>
3/4/2021		<b>3/4/2021</b>
	9/4/2021	
	15/4/2021	
	21/4/2021	
	26/4/2021	
	4/5/2021	
8/5/2021		<b>8/5/2021</b>
	11/5/2021	
13/5/2021		<b>13/5/2021</b>
	22/5/2021	
23/5/2021		<b>23/5/2021</b>
	25/5/2021	
28/5/2021		
2/6/2021		
7/6/2021		
12/6/2021		
17/6/2021		
22/6/2021		
27/6/2021		
2/7/2021		

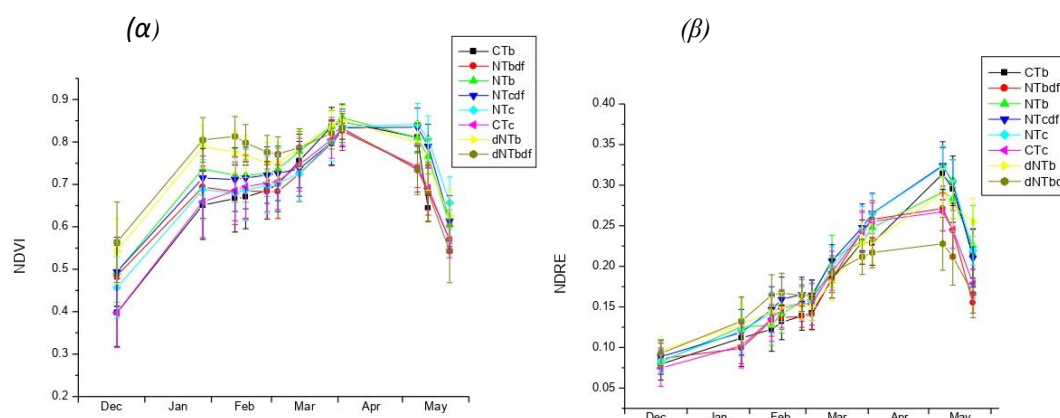


**Εικόνα 16:** Χρονοσειρές των δεικτών βλάστησης NDVI, NDRE, NDWI, SAVI και EVI από δεδομένα του Sentinel-2 για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις του αγρού.

### 3.2. Δεδομένα drone

Το σύνολο των εικόνων που ελήφθησαν από το Parrot ήταν 17 για το διάστημα 16/12/2020 – 25/5/2021 (Πίνακας 9). Εξήχθησαν και οι χρονοσειρές από τα δεδομένα του drone (Parrot) για τους δείκτες NDVI και NDRE (Εικόνα 17). Αντίστοιχα, όπως και στα δορυφορικά δεδομένα, παρατηρούνται χαμηλές τιμές των δεικτών των

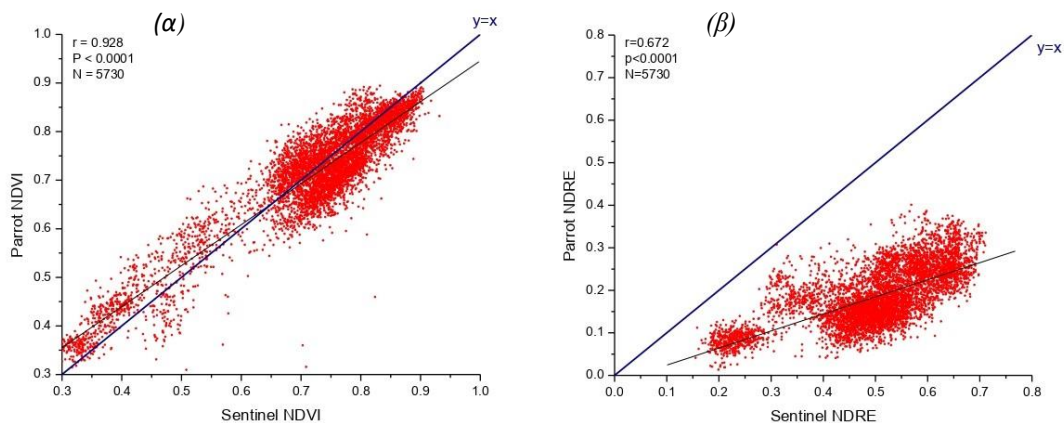
Δεκέμβριο, με την μέγιστη τιμή την άνοιξη και συγκεκριμένα μέγιστο για τον NDVI αρχές Απριλίου ενώ για τον NDRE αρχές Μαΐου. Σε γενικές γραμμές η εποχική διακύμανση των δεικτών βλάστησης συμβαδίζουν με τα πρότυπα της καλλιέργειας του σιταριού. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 17, οι μεταχειρίσεις NTc και NTc\_df παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές των δεικτών βλάστησης από τον Μάρτιο και μετά, ενώ για τους μήνες Δεκέμβριο έως και τέλος Μαρτίου, καλύτερη ανάπτυξη παρουσιάζουν τα αγροτεμάχια dNTb\_df, dNTb και NTb όπως συμβαίνει και με τα δορυφορικά δεδομένα.



**Εικόνα 17:** Χρονοσειρές των δεικτών βλάστησης NDVI και NDRE από δεδομένα του Parrot για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις του αγρού.

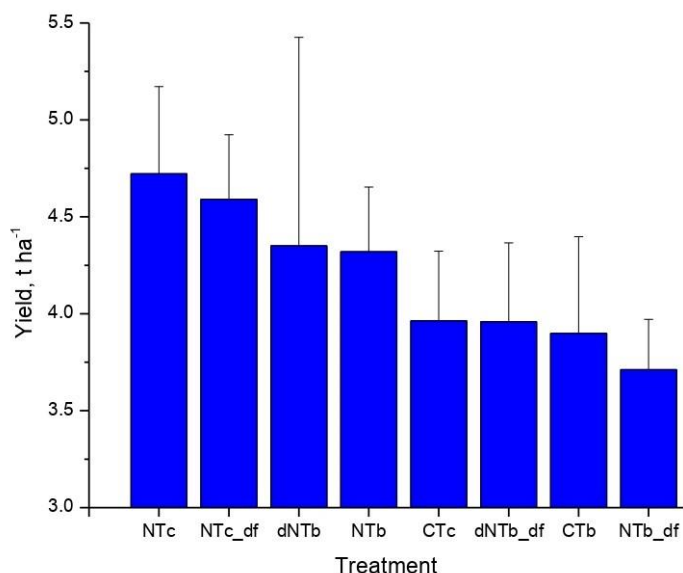
### 3.3. Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων με δεδομένα του Parrot

Στην Εικόνα 18, παρουσιάζεται η σύγκριση όλων των εικονοστοιχείων των δορυφορικών εικόνων και των εικόνων που ελήφθησαν από το drone – Parrot με την πολυφασματική κάμερα Sequoia, στις κοινές ημερομηνίες που δημιουργήθηκαν με Interpolation (Πίνακας 9). Συνολικά έγινε σύγκριση 5730 εικονοστοιχείων των δεικτών βλάστησης NDVI και NDRE. Συγκεκριμένα παρατηρείται ικανοποιητική συσχέτιση του δείκτη NDVI με  $R=0.928$ . Αντιθέτως, τα σημεία του δείκτη NDRE ( $R=0.672$ ), αποκλίνουν πολύ από την γραμμή 1:1. Οι τιμές του δείκτη από τα δεδομένα του drone είναι πιο χαμηλές από αυτές των δορυφορικών δεδομένων, που ίσως οφείλεται σε αδυναμία του drone.



**Εικόνα 18: Pixel - pixel σύγκριση των δεικτών NDVI (α) και NDRE (β) που δημιουργήθηκαν από τα δορυφορικά δεδομένα (Sentinel) και από τα δεδομένα του drone (Parrot).**

### 3.4. Απόδοση της παραγωγής



**Εικόνα 19: Απόδοση και τυπική απόκλιση της παραγωγής σε t/ha για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά.**

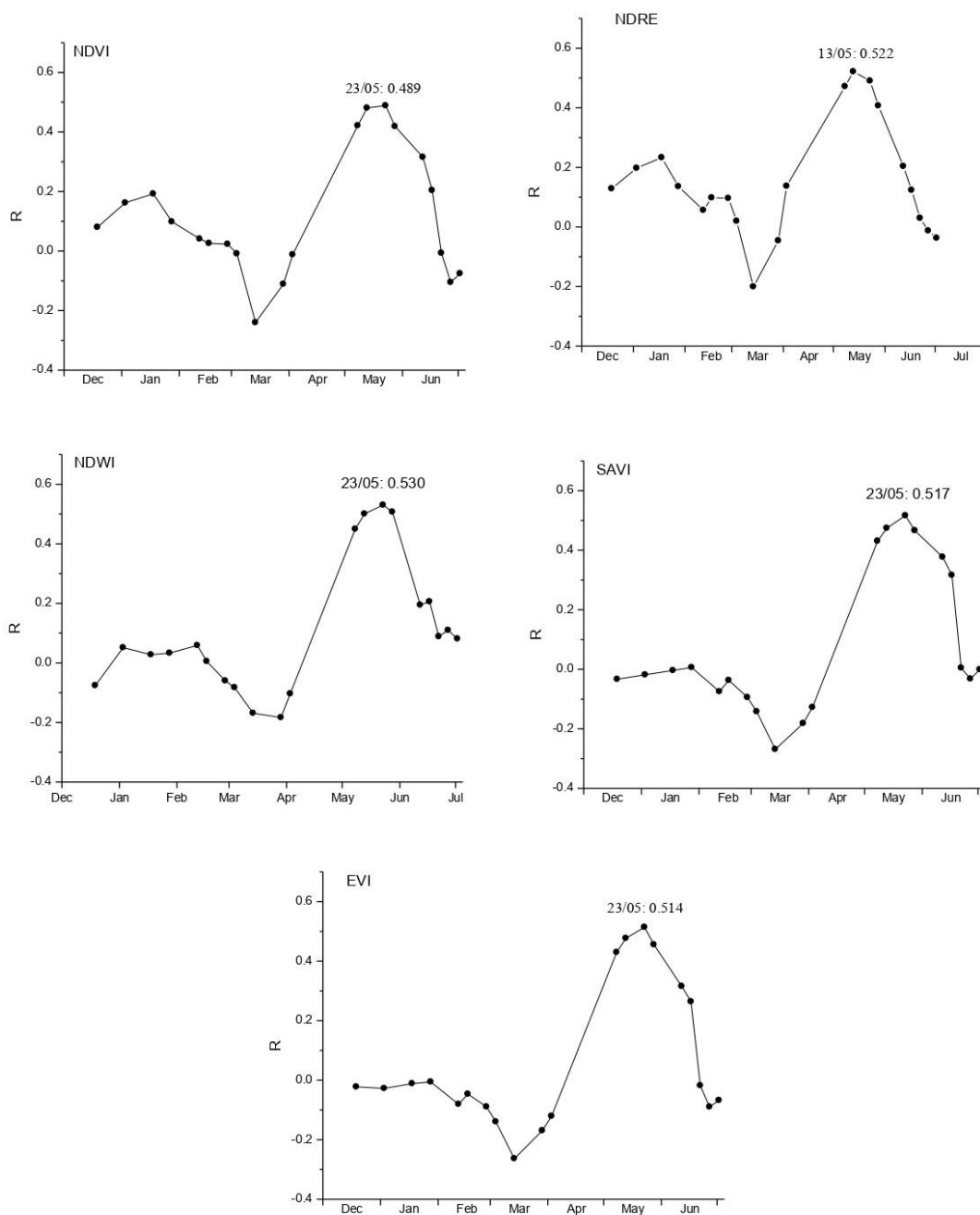
Στην Εικόνα 19 φαίνεται η μέση τιμή της τελικής απόδοσης της παραγωγής από τα δεδομένα της θεριζοαλωνιστικής μηχανής, για την κάθε μεταχείριση ξεχωριστά. Την μεγαλύτερη απόδοση την έχουν τα αγροτεμάχια NTc και NTc\_df ανεξαρτήτως των υπόλοιπων εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, μεγαλύτερη

απόδοση παρουσιάζεται στα αγροτεμάχια που εφαρμόστηκε το σύστημα της απευθείας σποράς και είχαν ως προηγούμενη καλλιέργεια το βαμβάκι.

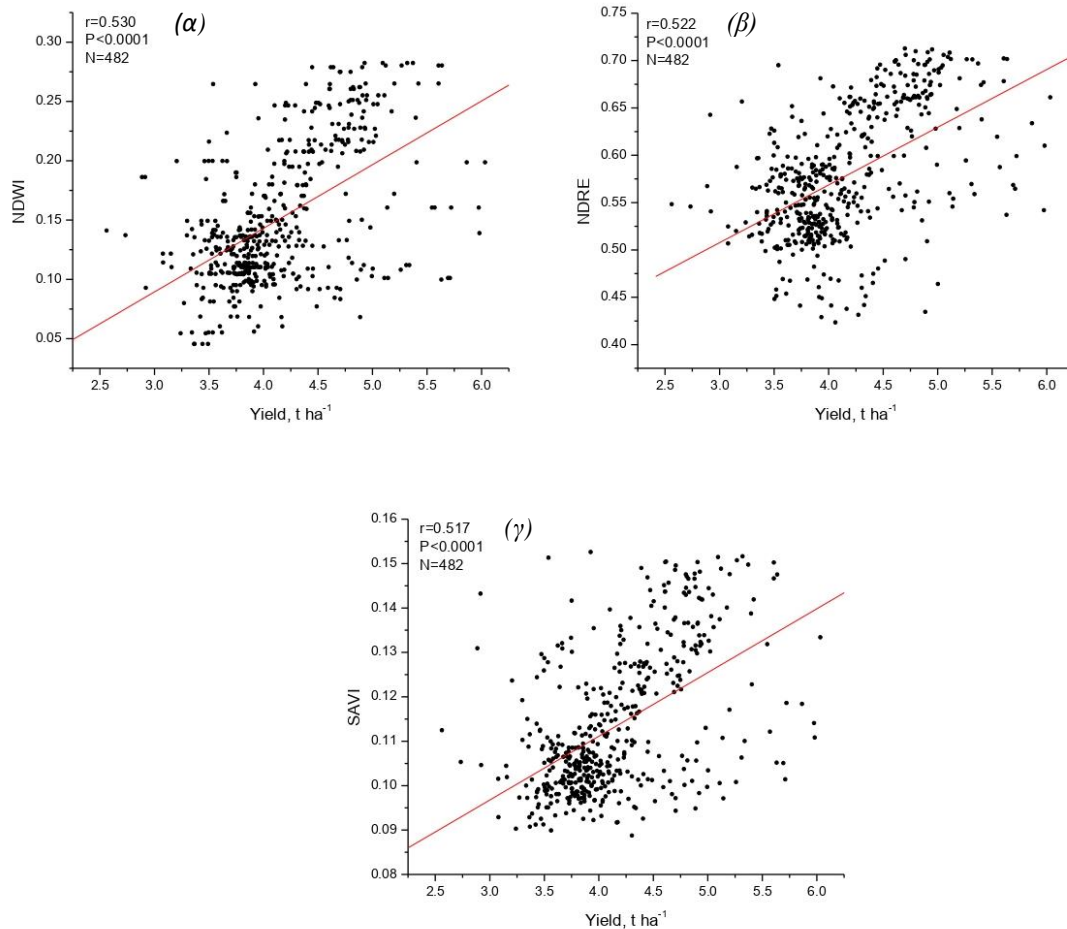
### 3.5. Δείκτες βλάστησης – Απόδοση

#### 3.5.1. Sentinel

Στην Εικόνα 20 απεικονίζεται η εποχιακή πορεία των συντελεστών συσχέτισης R μεταξύ των δεικτών βλάστησης από τα δορυφορικά δεδομένα και τελικής παραγωγής. Συγκεκριμένα από τους δείκτες του Sentinel-2 καλύτερη συσχέτιση παρουσιάζουν οι NDWI με  $R=0.530$  στις 23 Μαΐου, NDRE με  $R=0.522$  στις 13 Μαΐου και SAVI με  $R=0.517$  στις 23 Μαΐου (Εικόνα 21).



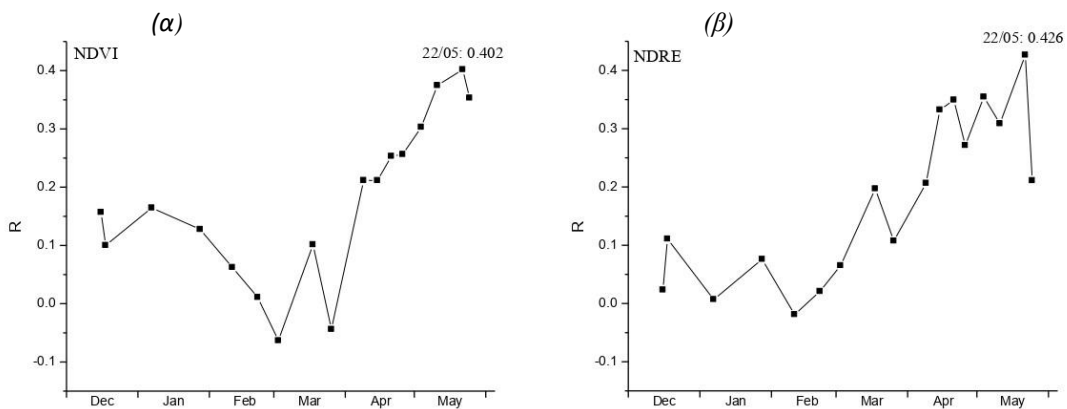
Εικόνα 20: Εποχική διακύμανση του συντελεστή συσχέτισης R των δεικτών βλάστησης από τα δορυφορικών δεδομένων, με την τελική απόδοση της παραγωγής



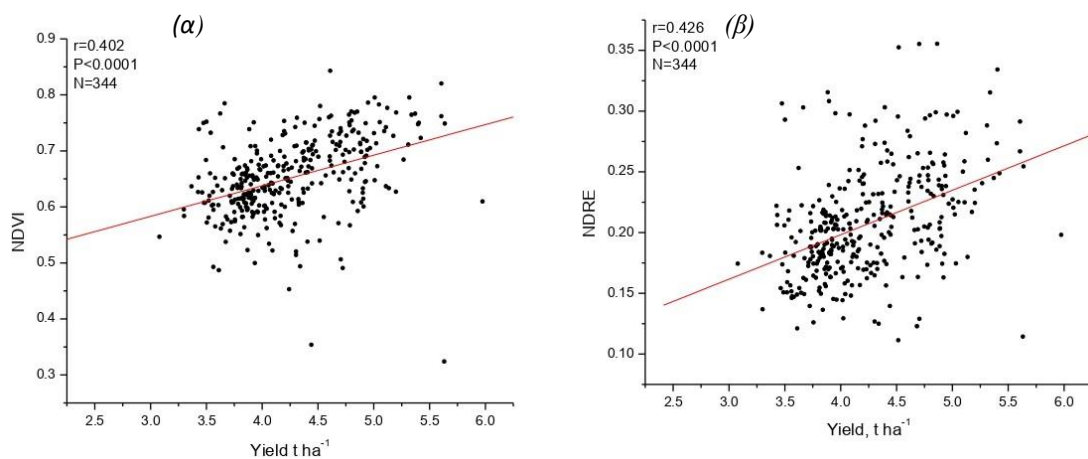
**Εικόνα 21:** Συσχέτιση των δεικτών βλάστησης NDWI (α), NDRE (β) και SAVI (γ) των δορυφορικών δεδομένων με την τελική απόδοση της παραγωγής για τις 23 Μαΐου (α) και (γ) και για τις 13 Μαΐου (β).

### 3.5.2. Parrot

Αντίστοιχα στην Εικόνα 22 παρατηρούνται οι εποχικές διακυμάνσεις των συσχετίσεων των δεικτών βλάστησης, NDVI και NDRE, από το drone Parrot Bluegrass, που συλλέχθηκαν με την πολυφασματική κάμερα Sequoia, με τις τιμές της απόδοσης. Παρουσιάζουν παρόμοιες συσχετίσεις με αυτές των δορυφορικών, δηλαδή παρατηρείται μέγιστη συσχέτιση στα μέσα Μαΐου. Συγκεκριμένα και για τους δύο δείκτες στις 22 Μαΐου η συσχέτιση με την τελική παραγωγή είναι  $R=0.402$  για τον NDVI το  $R=0.426$  και για τον NDRE (Εικόνα 15).



**Εικόνα 22: Συσχέτιση των δεικτών βλάστησης NDVI (α) και NDRE (β) των δεδομένων από το drone με την τελική απόδοση της παραγωγής για τις 22 Μαΐου.**



**Εικόνα 23: Εποχική διακύμανση του συντελεστή συσχέτισης R των δεικτών βλάστησης NDVI (α) και NDRE (β) από το drone, με την τελική απόδοση της παραγωγής.**



#### 4. Συζήτηση

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση βέλτιστων καλλιεργητικών πρακτικών που εφαρμόστηκαν σε πιλοτικό αγρό σίτου, με ταυτόχρονη παρακολούθηση της πορείας της καλλιέργειας με τηλεπισκοπικά μέσα. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τους δορυφόρους Sentinel-2 και το UAV, χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία χρονοσειρών δεικτών βλάστησης. Στη συνέχεια μετρήθηκε η απόδοση του κάθε αγροτεμαχίου ξεχωριστά μέσω της θεριζοαλωνιστικής μηχανής που έγινε η συγκομιδή και περιέχει ένα αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής. Ο πειραματικός αγρός περιλάμβανε 8 αγροτεμάχια στα οποία εφαρμόστηκαν διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές στο καθένα. Συγκεκριμένα οι μεταχειρίσεις διακρίνονταν σε αρδευόμενες ή μη, σε προηγούμενη καλλιέργεια κουκί ή βαμβάκι, σε συμβατική μέθοδο σποράς ή ακατεργασία και σε αγροτεμάχια που εφαρμόστηκε σταθερή ή μεταβλητή λίπανση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, την μεγαλύτερη τελική απόδοση την είχαν οι μεταχειρίσεις στις οποίες έγινε εφαρμογή της ακατεργασίας με προηγούμενη καλλιέργεια βαμβάκι ανεξαρτήτως των υπόλοιπων εφαρμογών (NTc και NTc\_df). Οι αμέσως επόμενες, με την μεγαλύτερη απόδοση, ήταν η dNTb και NTb\_df στις οποίες εφαρμόστηκε ακατεργασία και είχαν ως προηγούμενη καλλιέργεια του κουκί. Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις είχαν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Ωστόσο σύμφωνα με τους De Vita et al., 2007 η καλύτερη ποιότητα του σκληρού σιταριού σε πολλές μεσογειακές περιοχές, δεν συνδέεται με ανάλογο τρόπο με την απόδοση της καλλιέργειας, αλλά αντιστρόφως ανάλογα.

Για την παρακολούθηση της πορείας της καλλιέργειας υπολογίστηκαν από τα δορυφορικά δεδομένα οι δείκτες NDVI, NDRE, NDWI, SAVI και EVI. Παράλληλα υπολογίστηκαν και οι αντίστοιχοι δείκτες βλάστησης, NDVI και NDRE, από την πολυφασματική κάμερα Sequoia του Parrot που περιλάμβανε 4 φασματικά κανάλια. Η εξέλιξη της βλάστησης αποτυπώθηκε ικανοποιητικά και σύμφωνα με τα πρότυπα της καλλιέργειας, για όλους τους δείκτες βλάστησης, τόσο των δορυφορικών δεδομένων όσο και των δεδομένων από το drone – Parrot σύμφωνα και με παλαιότερες μελέτες (Μεγγούδη, 2020). Συγκεκριμένα, οι τιμές των δεικτών είναι χαμηλές τον Νοέμβριο και αυξάνονται σταδιακά, καθώς η καλλιέργεια αναπτύσσεται. Πράγματι, οι δείκτες των δορυφορικών δεδομένων έχουν τις μέγιστες τιμές στο διάστημα μεταξύ τέλη Μαρτίου - αρχές Μαΐου με τιμές να κυμαίνονται κοντά στο 0,8 για τον NDVI, στο 0,6

για τον NDRE, στο 0,4 για τον NDWI, στο 0,18 για τον SAVI και στο 0,25 για τον EVI. Ωστόσο, τον Απρίλιο που πραγματοποιείται η ανθοφορία του σιταριού, και αποτελεί κρίσιμη περίοδο για την καλλιέργεια, συλλέχθηκε μόνο μία δορυφορική εικόνα στις αρχές του μήνα, καθώς οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν κατάλληλες για την εξαγωγή δεδομένων (συννεφιά). Αυτό επηρεάζει τα δεδομένα και δεν μπορεί να γίνει άριστη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, καθώς οι μέγιστες τιμές σχεδόν σε όλους τους δείκτες εμφανίζονται τον Απρίλιο (Cavalariis et al., 2021), (Μεγγούδη, 2020). Αντίστοιχα το ίδιο μοτίβο στις χρονοσειρές, παρατηρείται και στους δείκτες NDVI και NDRE του Parrot, με τις μέγιστες τιμές να κυμαίνονται κοντά στο 0,8 και 0,3 αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους Aparicio et al. (2002), και τους Cossani et al. (2009) στα μεσογειακά περιβάλλοντα, η τελική απόδοση της καλλιέργειας του σίτου, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την μεταφορά των αφομοιωμένων ουσιών από τα φύλλα και τους βλαστούς προς τους κόκκους του σιταριού. Επομένως όσο υψηλότεροι είναι οι δείκτες βλάστησης κοντά στην ανθοφορία (20 ημέρες πριν και 10 ημέρες μετά την άνθηση), τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απόδοση της καλλιέργειας. Επιπλέον η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών και ξηρασίας την περίοδο γεμίσματος του κόκκου, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του βάρους του, ενώ η επικράτηση βροχοπτώσεων την περίοδο της επιμήκυνσης του στελέχους, δηλαδή την περίοδο που παρατηρείται μεγαλύτερη ανάπτυξη της καλλιέργειας, έχει θετική επίδραση στην απόδοση. Το διάστημα Μαΐου – Ιουνίου παρατηρείται σταδιακή πτώση των δεικτών, καθώς η καλλιέργεια αρχίζει και χάνει το πράσινο χρώμα της καθώς μειώνονται οι χλωροφύλλες και πραγματοποιείται το γέμισμα του κόκκου (ωρίμανση του σπόρου).

Παρατηρώντας τις τιμές των δεικτών βλάστησης του Parrot φαίνεται ότι ο δείκτης NDRE είναι υποεκτιμημένος. Πράγματι στην σύγκριση των δύο δεικτών που πραγματοποιήθηκε για όλα τα εικονοστοιχεία (5.730) για όλες τις κοινές ημερομηνίες του UAV – Parrot και του Sentinel-2, οι τιμές του δείκτη NDRE αποκλίνουν πολύ από την γραμμή 1:1. Συγκεκριμένα αποτυπώνονται σε χαμηλότερες τιμές. Παράλληλα δεν έχουν καλή συσχέτιση με τις τιμές του ίδιου δείκτη από τα δορυφορικά δεδομένα με  $R=0.672$ . Ωστόσο ο δείκτης NDVI παρουσιάζει ικανοποιητική συσχέτιση, με  $R=0.928$  και τα σημεία του δείκτη συγκλίνουν πολύ προς την γραμμή 1:1. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι ίσως ευθύνεται το κανάλι 3 (Red – Edge, 735 nm) της πολυφασματικής

κάμερας Sequoia του Parrot που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη NDRE.

Συγκρίνοντας τους δείκτες βλάστησης των δορυφορικών δεδομένων με την τελική παραγωγή, οι συσχετίσεις, εμφανίζουν μέγιστο τον Μάιο και συγκεκριμένα στις 13 και 23 Μαΐου. Την μεγαλύτερη συσχέτιση την παρουσιάζει το δείκτης NDWI στις 23 Μαΐου με  $R=0.530$ . Παρόμοιες μελέτες, όπως των Bao et al. (2008), συμπεραίνουν ότι την μεγαλύτερη συσχέτιση κατά τη διάρκεια της παραγωγής, την παρουσιάζει ο δείκτης NDWI, σε σύγκριση με άλλους δείκτες. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι είναι ο βέλτιστος δείκτης για την εκτίμηση της απόδοσης του σιταριού και συγκεκριμένα στο στάδιο της πλήρωσης του κόκκου ((Bao et al., 2008; Chandel et al., 2019). Στην συνέχεια την αμέσως επόμενη καλύτερη συσχέτιση την παρουσιάζει ο NDRE στις 13 Μαΐου με  $R=0.522$  και ο SAVI με  $R=0.517$  στις 23 Μαΐου. Από την άλλη, οι συσχετίσεις των δεδομένων από το Parrot είναι χαμηλότερες, με τον NDVI και τον NDRE να παρουσιάζουν μέγιστο  $R=0.402$  και  $R=0.426$  αντίστοιχα.

Σύμφωνα με την μελέτη του Bonfil (2017), οι εποχικές διακυμάνσεις του NDVI και του NDRE δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους, ωστόσο ο NDRE παρέχει καλύτερο διαχωρισμό των διαφορετικών μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Πράγματι όπως φαίνεται και στις χρονοσειρές των δεικτών βλάστησης, στον NDRE τόσο από τα δορυφορικά δεδομένα, όσο και από τα δεδομένα του Parrot, ο διαχωρισμός των αγροτεμαχίων την περίοδο που παρουσιάζουν μέγιστο οι δείκτες, είναι πιο ευκρινής, με τις μεταχειρίσεις NTc και NTc\_df να ξεχωρίζουν (Εικόνα 16 και Εικόνα 17). Επομένως ο NDRE διακρίνει πιο εύκολα τις μεταχειρίσεις μεταξύ τους. Από την άλλη σύμφωνα με τους Hassan et al. (2019), η συσχέτιση του NDVI με την απόδοση του σπόρου ήταν καλύτερη σε σύγκριση με τον NDRE. Σύμφωνα με τους Sagan et al. (2019) λόγω διαφορών στις χωρικές και φασματικές αναλύσεις, υπάρχουν αποκλίσεις στους δείκτες που εξήχθησαν από τα UAV και από τους δορυφόρους, το οποίο μπορεί να οφείλεται στην επίδραση του εδάφους και στην επίδραση της ατμόσφαιρας.

## 5. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, κρίνοντας από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, την μεγαλύτερη απόδοση της καλλιέργειας την έδωσαν τα αγροτεμάχια στα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος της ακατεργασίας ανεξαρτήτως των υπόλοιπων μεταχειρίσεων, με μικρή διαφορά να υπερτερούν τα αγροτεμάχια στα οποία είχαν ως προηγούμενη καλλιέργεια το βαμβάκι αντί για κουκί. Παράλληλα τόσο τα δορυφορικά δεδομένα, όσο και τα δεδομένα από τα UAVs, αποδίδουν ικανοποιητικά των πορεία της καλλιέργειας, με τα δορυφορικά δεδομένα να είναι ελαφρώς καλύτερα. Ακόμη οι δείκτες βλάστησης που εξήχθησαν από τα δεδομένα του Sentinel-2 παρουσιάζουν μεγαλύτερη συσχέτιση με την τελική απόδοση της καλλιέργειας και συγκεκριμένα οι δείκτες NDWI, NDRE και SAVI (με  $R=0.530$ ,  $R=0.522$  και  $R=0.517$  αντίστοιχα) έναντι των δεικτών από το Parrot με  $R=0.402$  για τον NDVI και  $R=0.426$  για τον NDRE. Ωστόσο, καθώς η συσχέτιση του NDVI μεταξύ των δεδομένων από το UAV - Parrot και από τους δορυφόρους Sentinel-2 ήταν αρκετά καλή, τα drones θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά με τα δορυφορικά δεδομένα για ημέρες στις οποίες δεν είναι δυνατή η καταγραφή εικόνων (π.χ. λόγω συννεφιάς), είτε στο διάστημα μεταξύ των ημερών που οι δορυφόροι δεν συλλέγουν δεδομένα, έτσι ώστε να σχηματίζεται μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την πορεία της καλλιέργειας.

## 6. Βιβλιογραφία

### Ελληνική

- Γεωργικοί ελκυστήρες—Γεωπονικά βιβλία—Εκδόσεις έμβρυο.
- Καρτάλης, Κ., & Φείδας, Χ. (2013). Αρχές και εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Β. Γκιούδας Εκδοτική.
- Μεγγούδη, Σ. (2020, Μάιος). Μετρήσεις αναπτυξιακών παραμέτρων και υδατικής κατάστασης σε καλλιέργεια σίτου για την ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel-2. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλία
- Παπακώστα-Τασοπούλου, Δ. (2012). Ειδική Γεωργία: Σιτηρά και ψυχανθή. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη, 760
- Τσατσαρέλης Α. Κωνσταντίνος (2011). Γεωργικοί ελκυστήρες – Εκδόσεις Γιαχούδη Ι.Κ.Ε.), 628

### Ξενόγλωσση

- Aparicio, N., Villegas, D., Araus, J. L., Casadesús, J., & Royo, C. (2002). Relationship between Growth Traits and Spectral Vegetation Indices in Durum Wheat. *Crop Science*, 42(5), 1547–1555. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1547>
- Asadzadeh, S., Oliveira, W. J. de, & Souza Filho, C. R. de. (2022). UAV-based remote sensing for the petroleum industry and environmental monitoring: State-of-the-art and perspectives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109633. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109633>
- Bao, Y., Liu, L., & Wang, J. (2008). Estimating Biophysical and Biochemical Parameters and Yield of Winter Wheat Based on Landsat TM Images. *IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, II-789-II-792. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2008.4779112>
- Bonfil, D. J. (2017). Wheat phenomics in the field by RapidScan: NDVI vs. NDRE. *Israel Journal of Plant Sciences*, 64(3–4), 41–54. <https://doi.org/10.1080/07929978.2016.1249135>
- Cavalaris, C., Megoudi, S., Maxouri, M., Anatolitis, K., Sifakis, M., Levizou, E., & Kyriarissis, A. (2021). Modeling of Durum Wheat Yield Based on Sentinel-2 Imagery. *Agronomy*, 11(8), Art. 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081486>

- Chandel, N., Tiwari, P., Singh, K., Jat, D., Gaikwad, B., Tripathi, H., & Golhani, K. (2019). Yield Prediction in Wheat (*Triticum aestivum* L.) using Spectral Reflectance Indices. *Current Science*, 116, 272–278. <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i2/272-278>
- Cossani, C. M., Slafer, G. A., & Savin, R. (2009). Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Research*, 112(2), 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.003>
- De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., & Pisante, M. (2007a). No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 92(1), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.012>
- Ekboir, J. M. (2003). Research and technology policies in innovation systems: Zero tillage in Brazil. *Research Policy*, 32(4), 573–586. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00058-6)
- Exploring the use of Sentinel-2 datasets and environmental variables to model wheat crop yield in smallholder arid and semi-arid farming systems | Elsevier Enhanced Reader. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161716>
- Fountas, S., Gemtos, T., Φουντάς, Σ., & Γέμτος, Θ. (2016). Γεωργία ακριβείας. <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/2670>
- Hassan, M. A., Yang, M., Rasheed, A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., Xiao, Y., & He, Z. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 282, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.10.022>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Islam, M., Haque, S., Akter, N., & Karim, M. (2014). Leaf chlorophyll dynamics in wheat based on SPAD meter reading and its relationship with grain yield. *Scientia Agriculturae*, 4, 13–18. <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2014.4.1.1318>
- Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991). Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11(3), 185–200. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80004-2)
- John R. Jensen. (2015). Τηλεσκοπήση Περιβάλλοντος-Μια προοπτική για τα φυσικά διαθέσιμα: John R. Jensen.

- Khorram, S., Koch, F. H., Wiele, C. F. van der, & Nelson, S. A. C. (2012). Remote Sensing. Springer Science & Business Media.
- Morris, C. F., Simeone, M. C., King, G. E., & Lafiandra, D. (2011). Transfer of Soft Kernel Texture from *Triticum aestivum* to Durum Wheat, *Triticum turgidum* ssp. Durum. *Crop Science*, 51(1), 114–122. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.05.0306>
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. Chr. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Qader, S. H., Utazi, C. E., Priyatikanto, R., Najmaddin, P., Hama-Ali, E. O., Khwarahm, N. R., Tatem, A. J., & Dash, J. (2023). Exploring the use of Sentinel-2 datasets and environmental variables to model wheat crop yield in smallholder arid and semi-arid farming systems. *Science of The Total Environment*, 869, 161716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161716>
- Sagan, V., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Maimaitiyiming, M., Erkbol, H., Hartling, S., Peterson, K. T., Peterson, J., Burken, J., & Fritschi, F. (2019). UAV/SATELLITE MULTISCALE DATA FUSION FOR CROP MONITORING AND EARLY STRESS DETECTION. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W13, 715–722. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-715-2019>
- Slafer, G. A., Kantolic, A. G., Appendino, M. L., Tranquilli, G., Miralles, D. J., & Savin, R. (2015). Genetic and environmental effects on crop development determining adaptation and yield. *Στο Crop Physiology* (σσ. 285–319). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417104-6.00012-1>
- Thompson, C. N., Guo, W., Sharma, B., & Ritchie, G. L. (2019). Using Normalized Difference Red Edge Index to Assess Maturity in Cotton. *Crop Science*, 59(5), 2167–2177. <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.04.0227>
- Whelan, B., & Mcbratney, A. (2000). The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. *Precision Agriculture*, 2, 265–279. <https://doi.org/10.1023/A:1011838806489>

- Yao, H., Qin, R., & Chen, X. (2019a). Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications—A Review. *Remote Sensing*, 11(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/rs11121443>
- Yao, H., Qin, R., & Chen, X. (2019b). Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications—A Review. *Remote Sensing*, 11(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/rs11121443>
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

### **Ιστοσελίδες**

- DJI - Phantom 4 Pro V2.0, 2022. DJI Official. <https://www.dji.com/gr/phantom-4-pro-v2>. (Πρόσβαση 10 Σεπτεμβρίου 2022)
- ESA – European Space Agency, Sentinel – Copernicus 2022. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> και <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel2/overview?inheritRedirect=true>.
- ESA - Eduspace—Spectral signatures. (2009, Νοέμβριος 26). European Space Agency. [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_EN/SEMPNQ3Z2OF\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/SEMPNQ3Z2OF_0.html)
- FAOSTAT, 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#home> (Πρόσβαση στις 10 Σεπτεμβρίου 2022)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO - Section 2: Describing the growth of your crop as stages. During which stages is yield determined. <https://www.fao.org/3/x8234e/x8234e05.htm> (Πρόσβαση στις 5 Ιανουαρίου 2023)
- IDB - Index DataBase. <https://www.indexdatabase.de/> (Πρόσβαση στις 20 Οκτωβρίου 2022)
- Meteo, 2022. <https://www.meteo.gr>. (Πρόσβαση στις 20 Οκτωβρίου 2022)
- Open Access Hub. <https://scihub.copernicus.eu>
- Zadoks growth scale. Ανακτήθηκε 29 Ιανουάριος 2023, από <https://www.agric.wa.gov.au/grains/zadoks-growth-scale?page=0%2C0>