

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



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΕΝΑΕΡΙΑ  
ΟΧΗΜΑΤΑ

Crop yield estimation in cotton using remote sensed data from Unmanned Aerial  
Vehicles.

Σαριδάκη Ελένη

Επιβλέπων καθηγητής: Κυπαρίσσης Άρης

Μάιος 2022

Βόλος



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ

ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ  
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΕΝΑΕΡΙΑ  
ΟΧΗΜΑΤΑ

Crop yield estimation in cotton using remote sensed data from Unmanned Aerial  
Vehicles.

Σαριδάκη Ελένη

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

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

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

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

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κυπαρίσση, για την καθοδήγηση, την κατανόηση και την υπομονή που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αλλά και συγγραφής της παρούσας εργασίας. Η συνεισφορά του ήταν τεράστια, καθώς με έφερε σε επαφή με έναν καινούριο κόσμο πληροφοριών και διεύρυνε την σκέψη μου αναφορικά με τον τρόπο προσέγγισης και αντιμετώπισης επερχόμενων ζητημάτων.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Καβαλάρη για την πολύτιμη συνεισφορά του στην διεκπεραίωση της εργασίας, καθώς μου εμπιστεύθηκε πληθώρα δεδομένων για την περάτωση της πτυχιακής. Επίσης, δεν θα μπορούσα να μην αναφέρω την τεράστια συμβολή του στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων που με πολύ υπομονή αφιέρωσε χρόνο για να με κατατοπίσει.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιαννούλη, για τις εποικοδομητικές υποδείξεις και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ως μέλος της τριμελούς επιτροπής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την απέραντη ευγνωμοσύνη που νιώθω προς την οικογένεια μου, το αγόρι μου και τους φίλους μου, για τη στήριξη και κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

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

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ABSTRACT.....	VIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	IX
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Βαμβάκι.....	1
1.1.1. Προέλευση Βαμβακιού.....	1
1.1.2. Χαρακτηριστικά Ταξινόμησης Βαμβακιού.....	1
1.1.3. Καλλιεργούμενες Εκτάσεις και Αποδόσεις Βαμβακιού.....	2
1.1.4. Καλλιέργεια Βαμβακιού.....	3
1.1.5. Συνθήκες Ανάπτυξης και Οικολογικές Απαιτήσεις.....	5
1.1.6. Χαρακτηριστικά Ποιότητας Βαμβακιού.....	6
1.2. Γεωργία Ακριβείας.....	7
1.3. Τηλεπισκόπηση.....	9
1.3.1. Τηλεπισκόπηση με Δορυφορικά Μέσα.....	9
1.3.2. Τηλεπισκόπηση με χρήση UAV.....	10
1.3.3. Η Βλάστηση στην Τηλεπισκόπηση.....	11
1.4. Δείκτες Βλάστησης.....	13
1.4.1. NDVI.....	14
1.4.2. VARI.....	15
1.4.3. NDRE.....	16
1.5. CFI.....	17
1.6. Εκτίμηση Απόδοσης Καλλιεργειών.....	18
1.7. Σκοπός.....	19
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	20
2.1. Πειραματικός Αγρός και Καλλιεργητικές Πρακτικές.....	20
2.2. Δεδομένα από UAV και Εξοπλισμός.....	26
2.2.1. Οριοθέτηση πειραματικού αγρού, συγκομιδή και μέτρηση απόδοσης παραγωγής.....	26
2.2.2. Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (ή UAV).....	29
2.2.3. Λήψεις Εναέριων Φωτογραφιών από τα drone στο Πεδίο.....	30
2.2.4. Επεξεργασία εικόνων από UAV.....	32
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	38
3.1. Μετρήσεις τελικής παραγωγής.....	38
3.2. Χρονοσειρές Δεικτών Βλάστησης.....	40
3.2.1. Χρονοσειρές NDVI.....	40
3.2.2. Χρονοσειρές NDRE.....	41

3.2.3. Χρονοσειρές VARI.....	42
3.3. Δείκτης Ινών Βαμβακιού, CFI .....	43
3.4. Συσχετίσεις.....	44
3.4.1. Συσχετίσεις NDVI με τελική παραγωγή .....	44
3.4.2. Συσχετίσεις NDRE με τελική παραγωγή .....	46
3.4.3. Συσχετίσεις VARI με τελική παραγωγή.....	47
3.4.4. Συσχετίσεις CFI με τελική παραγωγή .....	49
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	52
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	56

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to examine the use of remote sensed data from Unmanned Aerial Vehicles for the estimation of cotton yield. Measurements were performed in three different experimental fields, in one of which the cultivation technique was no tillage and on the other two conventional tillage. During the growing season, two different drones with multispectral cameras were used and aerial images were taken for crop monitoring. At the end of the growing period, harvest was carried out manually and the final crop production was measured. The retrieved remote sensed data were used to calculate vegetation indices, for which their corresponding timeseries were created. In their majority, the indices recorded the growing pattern of the crop properly. Subsequently, indices for several dates across the growing period were correlated with the final yield with satisfactory results. More precisely, NDVI showed a correlation with  $R^2=0.857$  for the no tillage field and VARI  $R^2=0.777$  in one of the two conventional tillage fields. Additionally, the Cotton Fiber Index (CFI), estimated after appropriate image processing, showed a correlation with  $R^2=0.998$  with final yield for the no tillage field, based on the Random Forest Classification method. The results of this study indicate the suitability of remote sensed data acquired with Unmanned Aerial Vehicles for cotton yield monitoring.

**Key words:** Remote sensing, cotton, crop yield estimation, Unmanned Aerial Vehicles.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να διαπιστωθεί εάν η χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων αρκεί για την ανάκτηση τηλεπισκοπικών δεδομένων, ώστε να εκτιμηθεί η παραγωγικότητα σε καλλιέργεια βαμβακιού. Το πείραμα αυτό έλαβε χώρα σε τρεις διαφορετικούς πειραματικούς αγρούς στον ένα εκ των οποίων είχε εφαρμοστεί η τεχνική της ακαλλιέργειας και στους άλλους δύο συμβατική καλλιέργεια. Για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικά drone και πραγματοποιήθηκαν λήψεις εναέριων φωτογραφιών καθ'όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Στο τέλος της περιόδου αυτής, πραγματοποιήθηκε συγκομιδή με το χέρι και μετρήθηκε η τελική παραγωγή. Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης που ανακτήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό δεικτών βλάστησης για τους οποίους και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες χρονοσειρές. Στην πλειοψηφία τους, οι δείκτες αποτύπωσαν ικανοποιητικά την αναπτυξιακή πορεία της καλλιέργειας. Στην συνέχεια, τα δεδομένα των δεικτών συσχετίστηκαν με την τελική παραγωγή όπου και έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, ο δείκτης NDVI έδωσε  $R^2=0.857$  για το χωράφι της ακαλλιέργειας και ο δείκτης VARI έδωσε  $R^2=0.777$  σε ένα από τα δύο χωράφια συμβατικής καλλιέργειας. Ακολούθησε ο υπολογισμός του δείκτη CFI, ο οποίος έδωσε  $R^2=0.998$  για το χωράφι της ακαλλιέργειας με βάση τη μέθοδο ταξινόμησης Random Forest. Τα σύνολο των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εργασία δείχνουν ότι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα είναι κατάλληλα για την παρακολούθηση καλλιέργειας βαμβακιού.

**Λέξεις κλειδιά:** Τηλεπισκόπηση, βαμβάκι, εκτίμηση απόδοσης παραγωγής, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα.

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1. Βαμβάκι**

#### **1.1.1. Προέλευση Βαμβακιού**

Το βαμβάκι είναι μια προϊστορική καλλιέργεια με προέλευση τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές (Brubaker et al., 1999). Μέχρι τώρα δεν υπάρχουν ξεκάθαρες ενδείξεις για την ακριβή ηλικία του βαμβακιού. Επιστήμονες που έκαναν αναζήτηση σε σπήλαια του Μεξικό εντόπισαν κάψες βάμβακος και κομμάτια από βαμβακερό ύφασμα ηλικίας τουλάχιστον 7.000 ετών. Ο Ηρόδοτος κάνει αναφορά σε βαμβάκι Ινδίας τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. Με την είσοδο του Μεγάλου Αλεξάνδρου στην Ινδία υιοθετήθηκε από τα στρατεύματα του η ένδυση με βαμβακερά ρούχα καθότι παρουσίαζαν περισσότερη άνεση από τα μάλλινα που φορούσαν τότε. Από την μουσουλμανική κατάκτηση της Ισπανίας τον 8<sup>ο</sup> αιώνα διαδόθηκε η χρήση του βαμβακιού και στα υπόλοιπα τμήματα της Ευρώπης. Κατά τον Μεσαίωνα το βαμβάκι αποτέλεσε ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό (Dey et al., 2019). Μία πρώτη αναφορά του βαμβακιού με το όνομα Βύσσοι γίνεται στην Ελλάδα το 174 μ.Χ. από τον Πausανία. Πιο συγκεκριμένα αναφέρει για καλλιέργεια της Βύσσου στον νομό Ηλείας. Το προϊόν και το φυτό που κατέχει το σύγχρονο όνομα «Βάμβαξ» βρέθηκε εντός της νομοθεσίας του Ιουστινιανού για πρώτη φορά τον 6<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Η πλήρης διάδοση του βαμβακιού σε ολόκληρη την Ελλάδα έγινε τον 10<sup>ο</sup> αιώνα (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2013).

#### **1.1.2. Χαρακτηριστικά Ταξινόμησης Βαμβακιού**

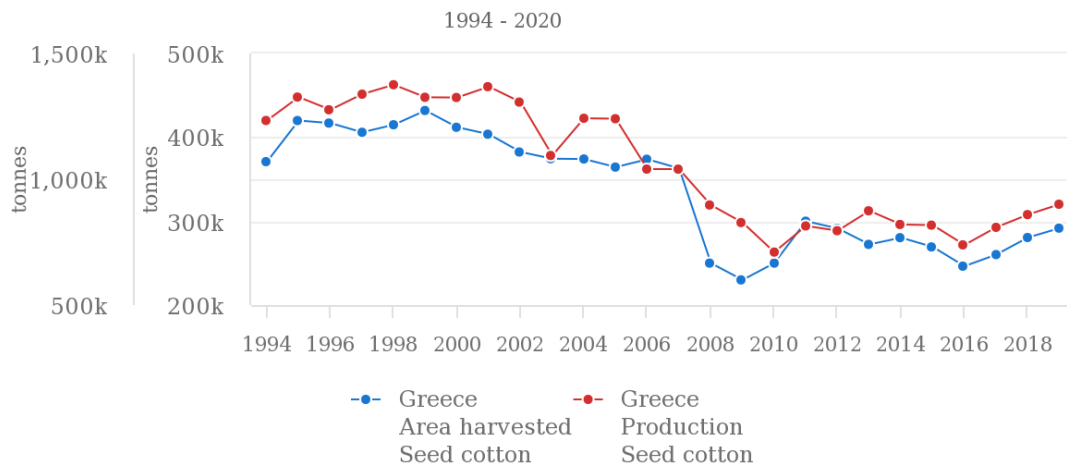
Όσον αφορά την ταξινόμηση, το βαμβάκι ανήκει στην οικογένεια των μαλαχοειδών ή μαλαχίδων, Malvaceae και είναι του γένους *Gossypium*. Η ταξινόμηση του βαμβακιού έχει μελετηθεί εκτενώς καθότι τα καλλιεργούμενα είδη του γένους έχουν κατά καιρούς κριθεί εξέχουσας οικονομικής σημασίας. Το *Gossypium* αποτελείται από 49 είδη. Αυτά μπορεί να είναι είτε διπλοειδή (AA) με  $2n=2x=26$  χρωμοσώματα είτε τετραπλοειδή (AADD) – αλληλοπολυπλοειδή με  $2n=4x=52$  χρωμοσώματα. Για το σύνολο της παγκόσμιας παραγωγής βαμβακιού γίνεται χρήση μόνο τεσσάρων ειδών. Τα τέσσερα αυτά είδη είναι τα *G. arboreum*, *G. herbaceum* και τα *G. hirsutum*, *G. barbadense*. Το σύνολο των διπλοειδών ειδών, που είναι και τα πιο πολυπληθή έχουν βρεθεί κυρίως σε Αυστραλία, Ασία, Αφρική και Μεξικό. Εδώ ανήκουν τα

*G. herbaceum* και *G. arboreum* τα οποία εξημερώθηκαν και καλλιεργήθηκαν από τον άνθρωπο κατά το παρελθόν σε μεγάλες εκτάσεις. Το σύνολο των τετραπλοειδών ειδών φαίνεται να προέρχεται από το Νέο Κόσμο και πιο συγκεκριμένα από τη Βραζιλία, το Περού, το Μεξικό, τα νησιά Γκαλαπάγκος και τη Χαβάη. Εδώ ανήκουν τα *G. barbadense* και *G. hirsutum* και αποτελούν τα πιο διαδεδομένα είδη βάμβακος που καλλιεργούνται σήμερα (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2013). Αξίζει λοιπόν να σημειωθεί ότι τα τέσσερα προαναφερθέντα είδη αξιοποιούνται για να καλύψουν ολόκληρη την παραγωγή βάμβακος σε παγκόσμιο επίπεδο. Συγκεκριμένα το *Gossypium hirsutum* καλύπτει ένα ποσοστό άνω του 90% της παραγωγής. Το *Gossypium barbadense* χρησιμοποιείται σε ποσοστό 3-4%, ενώ το *Gossypium herbaceum* με το *Gossypium arboretum* συναποτελούν το 2% της παραγωγής (Core, 2018).

### **1.1.3. Καλλιεργούμενες Εκτάσεις και Αποδόσεις Βαμβακιού**

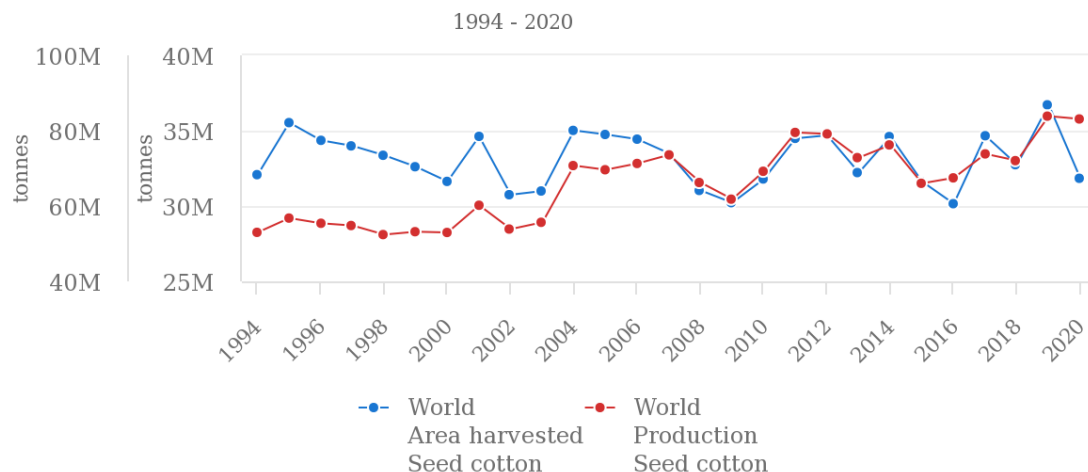
Η καλλιέργεια του βαμβακιού είναι εξέχουσας οικονομικής σημασίας καθώς το προϊόν που προκύπτει από αυτή έχει τεράστια μεταποιητική ικανότητα. Τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ για το έτος 2019 δείχνουν το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων βαμβακιού (ξηρικού και αρδευόμενου) στην Ελλάδα να ανέρχεται στα 2.917.079 στρέμματα και η συνολική παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στους 900.746 τόνους. (ΕΛΣΤΑΤ, 2019). Στο Σχήμα 1.1 περιγράφεται η πορεία της καλλιέργειας σύσπορου βαμβακιού από το 1994 μέχρι και το 2019 στον ελλαδικό χώρο. Η μπλέ γραμμή παρουσιάζει τις καλλιεργούμενες εκτάσεις σε εκτάρια (1 εκτάριο ισούται με 10 στρέμματα) και η κόκκινη γραμμή δείχνει την παραγωγή σε τόνους. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή και οι εκτάσεις σύσπορου βαμβακιού δίνονται στο Σχήμα 1.2. Συγκεκριμένα η FAOSTAT (FAOSTAT, 2020.) αναφέρει ότι για το έτος 2020, το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων σύσπορου βαμβακιού ανέρχονταν στα 31.840.226 εκτάρια και η παραγωγή στους 83.112.924 τόνους. Πρώτη θέση στην παραγωγή βαμβακιού κατέχει η Ασία με ποσοστό 66.5%, ακολουθεί η Αμερική με 22,8% , η Αφρική με 6,6%, η Αυστραλία με 2,2% και τέλος η Ευρώπη με 1,9%.

## Production/Yield quantities of Seed cotton in Greece



**Σχήμα 1.1.** Πορεία καλλιέργειας σύσπορου βαμβακιού στην Ελλάδα από το 1994 έως το 2020. Καλλιεργούμενες εκτάσεις σε εκτάρια και παραγωγή σε τόνους (FAOSTAT, 2022).

## Production/Yield quantities of Seed cotton in World + (Total)



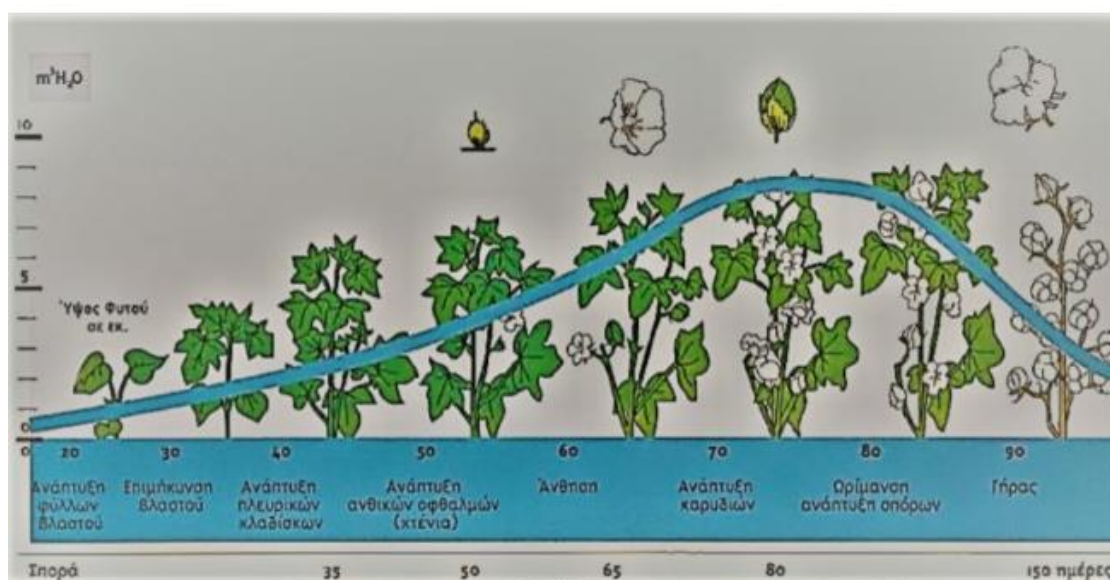
**Σχήμα 1.2.** Πορεία καλλιέργειας σύσπορου βαμβακιού σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1994 έως το 2020. Καλλιεργούμενες εκτάσεις σε εκτάρια και παραγωγή σε τόνους (FAOSTAT, 2022).

### 1.1.4. Καλλιέργεια Βαμβακιού

Η καλλιέργεια του βαμβακιού είναι από τη φύση της πολυετής. Για λόγους όμως παραγωγής και ομοιομορφίας στις αποδόσεις της, αντιμετωπίζεται ως ετήσια. Η καλλιέργεια ξεκινάει συνήθως με την σπορά του βαμβακόσπορου την άνοιξη και ολοκληρώνεται με την συγκομιδή του τελικού προϊόντος το φθινόπωρο. Στο Σχήμα 1.3 (Πασχώνης, 2018) περιγράφονται τα στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού.

Πέντε είναι τα στάδια τα οποία απαρτίζουν τον βιολογικό κύκλο του βαμβακιού:

1. Το στάδιο του φυτρώματος. Διαρκεί 8 με 10 ημέρες, με ημέρα 0 αυτή της σποράς και ολοκληρώνεται με την εμφάνιση κοτυληδόνων πάνω από το έδαφος.
2. Το στάδιο πρώτης ανάπτυξης. Έχει διάρκεια 30 με 35 ημέρες, και αποτελεί την περίοδο από το φύτευμα έως την εμφάνιση των χτενιών.
3. Το στάδιο της προ άνθησης. Διαρκεί 20 με 25 μέρες και αποτελεί το διάστημα ανάμεσα στα πρώτα χτένια και στην εμφάνιση των πρώτων λουλουδιών.
4. Το στάδιο ανθοφορίας-καρποφορίας. Η εμφάνιση των πρώτων λουλουδιών γίνεται 20 με 25 ημέρες μετά την εμφάνιση των πρώτων χτενιών.
5. Και τέλος, το στάδιο της ωρίμανσης που περιλαμβάνει το διάστημα από την άνθηση έως και την ωρίμανση και άνοιγμα του καρυδιού.



Σχήμα 1.3. Σχηματική αναπαράσταση εποχικής ανάπτυξης βαμβακιού (Πασχώνης, 2018).

Η ιδιότητα του βαμβακιού να λειτουργεί ως ετήσια καλλιέργεια για τον παραγωγό επιτυγχάνεται με χημικά μέσα. Συγκεκριμένα, γίνεται μέσω της αποφύλλωσης της καλλιέργειας η οποία με τη σειρά της σταματά την ανάπτυξη και προάγει την επιτάχυνση της ωρίμανσης του βαμβακόφυτου. Με την αποφύλλωση, μειώνεται η έκθεση της παραγωγής στις αντίξοες φθινοπωρινές συνθήκες που μπορούν να προκαλέσουν σάπισμα των καρυδιών και συγκομίζεται εν τέλει, υψηλότερης ποιότητας βαμβάκι απουσία ξένων υλών. Η αποφύλλωση της καλλιέργειας βαμβακιού αποτελεί μια βασική εργασία. Αναποφύλωτα βαμβάκια, διαθέτουν

μεγάλο ποσοστό πράσινων φύλλων, γεγονός που μειώνει την ποιότητα στο σύσπορο βαμβάκι και αυξάνει την υγρασία εντός της καλλιέργειας. Με σκοπό να είναι επιτυχής η αποφύλλωση, συνιστάται τα φύλλα να έχουν ωριμάσει, όχι όμως να έχει διακοπεί η λειτουργική τους δραστηριότητα καθώς είναι επιθυμητή για την δράση του αποφυλλωτικού. Όταν τα πρώτα καρύδια έχουν ανοίξει σε ποσοστό 40-50%, τότε κρίνεται κατάλληλη η περίοδος για αποφύλλωση (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2013).

#### **1.1.5. Συνθήκες Ανάπτυξης και Οικολογικές Απαιτήσεις**

Η καλλιέργεια του βαμβακιού εντοπίζεται κυρίως σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές σε μία ζώνη που εκτείνεται προς βορρά μέχρι 45° ΒΠ και προς νότο 32° ΝΠ. Αρκετοί είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την προσαρμοστικότητα του βαμβακιού σε μια περιοχή. Οι βασικότεροι αυτών είναι η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, η διάρκεια της βλαστικής περιόδου, το πως κατανέμεται η βροχόπτωση, ποια η δυνατότητα άρδευσης και τι συνθήκες επικρατούν κατά την ωρίμανση και συγκομιδή.

Με σκοπό να επιτευχθεί ικανοποιητική παραγωγή, το βαμβάκι έχει απαίτηση για μια βλαστική περίοδο της τάξεως των 170-200 ημερών τουλάχιστον, παράλληλα με επικράτηση σχετικά υψηλών θερμοκρασιών. Έχει παρατηρηθεί να συσχετίζεται θετικά το μήκος της βλαστικής περιόδου και η απόδοση. Στην Ελλάδα η βλαστική περίοδος είναι περιορισμένη, συνεπώς κάθε τι που θα μπορούσε να αυξήσει τη διάρκεια αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Γενετικά, από άποψη ποικιλιών δεν ενδείκνυται να γίνει παρέμβαση, καθώς γενετική προωμότητα δίνει κοντή ίνα. Μόνο με τη χρήση κατάλληλων καλλιεργητικών τεχνικών μπορεί να επιτευχθεί πρωίμηση και ταυτόχρονα αύξηση αποδόσεων και καλύτερη ποιότητα. Στον ελλαδικό χώρο, επικρατεί μια ποικιλομορφία στο κλίμα λόγω εδαφικού ανάγλυφου και γεωγραφικής θέσης. Αυτή η ποικιλομορφία εμφανίζει αρκετά μεγάλες διαφορές με την πάροδο των ετών. Τα πιο κρίσιμα στάδια στον βιολογικό κύκλο του βαμβακιού που είναι η σπορά, το φύτεμα και η ωρίμανση, συνήθως συμπίπτουν με ασταθείς καιρικές συνθήκες της άνοιξης και του φθινοπώρου. Την μεγαλύτερη σημασία κατέχει ο καιρός με το άνοιγμα των καρυδιών, καθότι από κει κυρίως καθορίζεται το πόσο κατάλληλη είναι η περιοχή για την καλλιέργεια ή μη, του βαμβακιού. Καθ' όλη την ανάπτυξή του το βαμβάκι έχει μεγάλες απαιτήσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Ως κατώτερη θερμοκρασία φυτρώματος και πρώτης ανάπτυξης έχει βρεθεί να είναι 14-15 °C, η βέλτιστη θερμοκρασία για τα επόμενα αναπτυξιακά στάδια είναι 28-30 °C

και η ανώτατη ανέρχεται στους 38-39 °C. Για μη αρδευόμενη καλλιέργεια βαμβακιού, η ετήσια βροχόπτωση πρέπει να είναι τουλάχιστον 450-500 mm εκ των οποίων τα 150-200 mm θα πρέπει να πέσουν κατά την ανάπτυξη του βαμβακιού. Σε περιπτώσεις μικρότερης βροχόπτωσης συνιστάται άρδευση για συμπλήρωση του απαιτούμενου νερού. Για να είναι ορθή η κατανομή της βροχόπτωσης είναι επιθυμητό να υπάρχει το απαραίτητο ύψος βροχής στην ανάπτυξη και συνθήκες ξηρασίας κατά την περίοδο συγκομιδής. Άλλωστε, οι μεγαλύτερες ανάγκες του βαμβακιού σε νερό επικρατούν όταν έχει ήδη επέλθει ο σχηματισμός αρκετών καρυδιών. Τότε γίνεται και η ανάπτυξη σπόρου και ινών.

Βροχερή άνοιξη καθυστερεί τη σπορά, δυσκολεύει το φύτεμα, οδηγεί σε σάπισμα σπόρου και απώλειες φυταρίων λόγω πρόκλησης ασθενειών της ρίζας και οδηγούν τελικά σε οψίμιση της ωρίμανσης. Στη συγκομιδή, η βροχή φέρει αρκετές δυσκολίες ώστε να ωριμάσουν, να ανοίξουν τα καρύδια και να συλλεχθεί το βαμβάκι, υποβαθμίζοντας έτσι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Το βαμβάκι έχει τη δυνατότητα να καλλιεργείται σε ποικίλα εδάφη, με καταλληλότερα να είναι αυτά της μέσης μηχανικής συστάσεως, τα οποία έχουν πλούσιο περιεχόμενο σε οργανική ουσία και παρουσιάζουν μέση γονιμότητα. Πρέπει να έχουν αρκετό βάθος τα εδάφη αυτά ώστε να αναπτυχθεί ανεμπόδιστα το ριζικό σύστημα καθότι πρόκειται για βαθύρριζο φυτό. Υγρά και συνεκτικά εδάφη με κακή στράγγιση είναι απαγορευτικά, καθώς και τα αμμώδη και πολύ άγονα με κακή υδατοϊκανότητα, όπως και τα όξινα ή αλατούχα. Μη επιθυμητά κρίνονται επίσης και τα πολύ γόνιμα εδάφη, γιατί η βλαστική ανάπτυξη καταλήγει να υπερτερεί έναντι της καρποφορίας (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2013).

#### **1.1.6. Χαρακτηριστικά Ποιότητας Βαμβακιού**

Τα κύρια προϊόντα που προκύπτουν από την καλλιέργεια βαμβακιού είναι ο σπόρος και οι ίνες, με την αξία των ινών να υπερτερεί έναντι αυτής των σπόρων. Έτσι η βελτιωτική διαδικασία ωθεί όλο και περισσότερο προς την αυξημένη απόδοση ινών με ταυτόχρονη καλύτερη ποιότητα (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2013). Το σύνολο των πρακτικών για την διαχείριση και διαθεσιμότητα νερού, ιδιαίτερα κατά την ανθοφορία, έχει βρεθεί να επιδρούν στις ιδιότητες που έχουν οι ίνες του βαμβακιού (Darawsheh, 2010). Διαφορετικά αντιλαμβάνεται τις ποιοτικές ίνες ένας καλλιεργητής και διαφορετικά ένας μεταποιητής βαμβακιού. Όπως έχει αναφερθεί, ίνες με ιδανικά χαρακτηριστικά θεωρούνται αυτές που έχουν χρώμα λευκό του

χιονιού, ισχύ αντίστοιχη του χάλυβα, και ομορφιά αντίστοιχη του μεταξιού και του μαλλιού. Τέτοιου είδους προδιαγραφές είναι αρκετά δύσκολο να ενσωματωθούν σε ολοκληρωμένο πρόγραμμα παραγωγής ή να αποτελέσουν κριτήρια ώστε να τεθούν ποσοτικοί στόχοι για τους παραγωγούς (Bradow & Davidonis, 2000). Ο τρόπος μεταχείρισης των ινών καθορίζει την ποιότητά τους. Συγκεκριμένα, το χνούδι βαμβακιού που έχει συλλεχθεί και εκκοκκιστεί με το χέρι διαφέρει και είναι ανώτερο ποιοτικά σε σύγκριση με εκείνο που έχει συλλεχθεί μηχανικά και έχει εκκοκκιστεί με χρήση εξοπλισμού μεγάλης κλίμακας (Sassenrath, 2008).

## **1.2. Γεωργία Ακριβείας**

Η Γεωργία Ακριβείας (ΓΑ) αποτελεί την επιστήμη βάση της οποίας βελτιώνονται οι αποδόσεις των καλλιεργειών και υποβοηθούνται οι διαχειριστικές αποφάσεις μέσω της χρήσης υψηλής τεχνολογίας αισθητήρων και εργαλείων ανάλυσης. Πρόκειται για μια τεχνική που υιοθετείται σιγά σιγά ανά τον κόσμο και έχει ως κύριους στόχους να αυξήσει την παραγωγή, μειώνοντας τις ώρες εργασίας και κάνοντας πιο αποτελεσματική τη διαχείριση χρήσης του νερού και των λιπασμάτων. Για να διασφαλιστεί η βέλτιστη χρήση των γεωργικών εισροών, των αποδόσεων και της ποιότητας των καλλιεργειών, χρησιμοποιείται μεγάλος όγκος πληροφοριών και δεδομένων (Singh et al., 2020). Αυτού του είδους η προσέγγιση απαιτεί δεδομένα πραγματικού χρόνου, αναφορικά με την κατάσταση της καλλιέργειας, του εδάφους και της ατμόσφαιρας, μαζί με άλλες σχετικές πληροφορίες όπως καιρικές προβλέψεις, εργατικό κόστος και διαθεσιμότητα σε εξοπλισμό. Λογισμικά ανάλυσης προγνώσεων, αξιοποιούν να ανακτηθέντα δεδομένα ώστε να παρέχουν στους αγρότες την κατάλληλη καθοδήγηση για τις ορθές εναλλαγές καλλιεργειών, τις βέλτιστες περιόδους για σπορά και συγκομιδή αλλά και διαχείριση του εδάφους. Οι δορυφόροι και τα drone δίνουν στους αγρότες τη δυνατότητα να έχουν μια ακριβή εικόνα των φυτών τους σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από τις εικόνες των παραπάνω μέσων, μπορούν να υποστούν επεξεργασία και μαζί με άλλα δεδομένα, να συμβάλλουν σε στοχευμένες επεμβάσεις στον αγρό. Η ΓΑ λοιπόν, δίνει τη δυνατότητα να διακριθούν ποιες περιοχές του αγρού υστερούν, ποιες υπερτερούν και που αξίζει ο γεωργός να παρέμβει ώστε να έχει μεγαλύτερη τελική απόδοση παραγωγής (Wigmore, 2016).





**Σχήμα 1.4. Κύκλος Γεωργίας Ακριβείας (Abdullahi & Sheriff, 2017).**

Στο Σχήμα 1.4 περιγράφονται τα στάδια που περιλαμβάνει ο κύκλος της Γεωργίας Ακριβείας. Συγκεκριμένα, η διαδικασία αρχίζει με την ανάκτηση δεδομένων από μέσα τηλεπισκόπησης (drone, δορυφόροι). Η λήψη των εικόνων πραγματοποιείται από τη σπορά έως τη συγκομιδή της καλλιέργειας. Μέσω GPS οι εικόνες υπόκεινται σε γαιωδεσία και έπειτα εισάγονται σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS). Το σύστημα αυτό χρησιμεύει στην δημιουργία χαρτών παραγωγής. Εκεί επίσης, δύναται να περαστεί αλγόριθμος για εντοπισμό διαφόρων καταπονήσεων. Από κεί και έπειτα, με τον παραπάνω εντοπισμό και την ανάλυση των δεδομένων, προτείνεται σχέδιο ρύθμισης που περιλαμβάνει στοχευμένες επεμβάσεις. Στη συνέχεια συστήνονται οι τεχνολογίες μεταβλητού ρυθμού (VRT) όπου προσφέρουν μεγαλύτερο βαθμό ακρίβειας στην ΓΑ. Οι νέες αυτές τεχνολογίες απαντώνται σε σύγχρονης μορφής τρακτέρ τα οποία συλλέγουν πληροφορίες από τον αγρό. Η χρήση τους ενδείκνυται κυρίως για μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Με την επιπρόσθετη εισαγωγή δεδομένων, οι VRT είναι σε θέση να υπολογίσουν επακριβώς τις κατάλληλες ποσότητες χημικών εισροών που απαιτούν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις. Ο κύκλος αυτός, έχει ως τελικό αποτέλεσμα την υγιή βλάστηση και την ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγής χωρίς περιττές δαπάνες εισροών (Singh et al., 2020).

### **1.3. Τηλεπισκόπηση**

Η τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (remote sensing), αφορά έναν όρο που περιγράφει τη διαδικασία απόκτησης δεδομένων από μια περιοχή, ένα αντικείμενο ή ένα φαινόμενο ενδιαφέροντος, χρησιμοποιώντας ανιχνευτικές συσκευές, που δεν έρχονται σε επαφή με το υπό παρατήρηση αντικείμενο. Εικόνες που έχουν ληφθεί μέσω ραντάρ, δορυφόρο ή και ακόμα αεροφωτογραφίες, αποτελούν τύπους εξ αποστάσεως καταγραφής δεδομένων. Ο κύριος όγκος δεδομένων προέρχονταν έως και σήμερα από δορυφορικούς ανιχνευτές. Αναφέρεται ότι η πρώτη πρακτική εφαρμογή της τηλεπισκόπησης χρονολογείται το 1929 και με κύριο σκοπό να χαρτογραφηθούν τα εδάφη βάσει χρώματος (Φουντάς & Γέμος, 2015). Ο όρος τηλεπισκόπηση ενός περιβάλλοντος χώρου, σημαίνει επίσης ανάκτηση συνόλου από πληροφορίες για μια επιφάνεια γης, μετρώντας από απόσταση και αποτυπώνοντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την οποία ανακλά ή εκπέμπει η επιφάνεια της γης και η ατμόσφαιρα. Τελικά, γίνεται εξαγωγή της επιθυμητής πληροφορίας έπειτα από συσχέτιση των συνολικών μετρήσεων με την κατανομή και την φύση των υλικών που φέρει η επιφάνεια της γης. Πρέπει να σημειωθεί λοιπόν πως οι παράμετροι που συνιστούν την τηλεπισκόπηση είναι τρεις και είναι ο *στόχος* ή το υπό μελέτη αντικείμενο, η *τεχνική συλλογής* των δεδομένων με όργανα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τους στόχους, και η *ερμηνεία και ανάλυση* των εξαγόμενων δεδομένων (Καρτάλης & Φείδας, 2013).

#### **1.3.1. Τηλεπισκόπηση με Δορυφορικά Μέσα**

Τα τελευταία χρόνια, η τηλεπισκόπηση ως τεχνολογικό μέσο έχει αρχίσει να αναπτύσσεται ραγδαία με ευρεία εφαρμογή στην παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής. Μέχρι τώρα, έχει βρεθεί να υπάρχει μεγάλη ακρίβεια στη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης η οποία έχει αυξητική τάση. Αρκετοί είναι οι μελετητές που κάνουν χρήση δορυφορικών δεδομένων ώστε να εκτιμηθούν οι αποδόσεις σε καλλιέργειες ρυζιού, καλαμποκιού, σιταριού και λοιπών καλλιεργειών. Ωστόσο, αν και τα δεδομένα που προσφέρει η δορυφορική τηλεπισκόπηση είναι πολύτιμα καθώς καταλαμβάνουν μεγάλη κλίμακα κάλυψης, η χωρική τους ανάλυση συνεχίζει να απασχολεί σε διάφορες εφαρμογές που αφορούν τη γεωργία ακριβείας. Ενώ οι παλαιότεροι δορυφόροι μπορούσαν να παρέχουν ακριβή δεδομένα σε επίπεδο νομών και άνω, παρουσίαζαν αδυναμίες όταν επρόκειτο για την μελέτη αλλαγών σε αποδόσεις καλλιέργειας μικρότερης κλίμακας, όπως μια μεμονωμένη γεωργική

εκμετάλλευση. Επιπλέον, στην δορυφορική τηλεπισκόπηση παρουσιάζεται μια άμεση εξάρτηση ποιότητας εικόνας και μετεωρολογικών συνθηκών, πράγμα που σημαίνει ότι μια απλή συννεφιά μπορεί πολύ εύκολα να εμποδίσει τον δορυφόρο από το να αποκομίσει την επιθυμητή λήψη. Το παραπάνω, συνδυαστικά με την έλλειψη ευελιξίας στο χρόνο επανεπισκεψιμότητας της περιοχής στόχου από τον δορυφόρο, καθιστούν δύσκολη την έγκαιρη απόκτηση πληροφοριών κατά τα επιθυμητά στάδια του κύκλου ανάπτυξης των καλλιεργειών (Xu et al., 2021).

### **1.3.2. Τηλεπισκόπηση με χρήση UAV**

Ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV-Unmanned Aerial Vehicle), το οποίο είναι κοινώς γνωστό ως drone ή ως σύστημα τηλεκατευθυνόμενου αεροσκάφους (remotely piloted aircraft system, RPAS), αποτελεί μια μορφή αεροσκάφους χωρίς ανθρώπινο χειριστή εντός του. Στις μέρες μας, η χρήση drone έχει επεκταθεί σε μαζικό επίπεδο στον εμπορικό και αστικό τομέα και η τεχνολογία αυτή έχει βρει το δρόμο της σε κάθε βιομηχανία, από την γεωργία και την αρχαιολογία έως την τοπογραφία και την βιομηχανία ενέργειας. Τα drone έχουν την ικανότητα να φέρουν αισθητήρες, γεγονός που διευρύνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των εργασιών, επεκτείνει τα όρια της αντίληψης που παρέχουν οι παραδοσιακές τεχνικές παρακολούθησης και δίνει τη δυνατότητα παραγωγής νέων γνώσεων. Τα δορυφορικά μέσα τηλεπισκόπησης, επιβάλλουν αρκετούς περιορισμούς σε χωρικό και φασματικό επίπεδο, όπως και στην χρονική ευκρίνεια των ανακτημένων δεδομένων. Ως εκ τούτου, καθίστανται ακατάλληλα για επαναλαμβανόμενες λήψεις σε τακτά χρονικά διαστήματα, γεγονός που δυσχεραίνει την εκτενή παρακολούθηση των υπό εξέταση περιοχών στόχων. Την λύση έρχονται να δώσουν τα UAV, τα οποία είναι ικανά να καλύψουν το κενό στην παροχή γεωχωρικών δεδομένων και να οδηγήσουν την προσέγγιση της τηλεπισκόπησης στο επόμενο επίπεδο. Με τη σμίκρυνση των αισθητήρων και τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των συστημάτων πλοήγησης, τα drone έχουν μετατραπεί σε ένα ισχυρό και αξιόπιστο μέσο ανάκτηση δεδομένων ακόμη και σε επαγγελματικό επίπεδο. Τα drone παρέχουν μια ποικιλόμορφη και ευέλικτη πλατφόρμα που μπορεί να εξοπλιστεί με κάθε είδους αισθητήρες (ενεργητικούς ή παθητικούς), ώστε να μπορούν να χαρακτηρίσουν ένα στόχο σε πραγματικό χρόνο, ημέρα και νύχτα. Δεδομένου ότι τα οχήματα αυτά διενεργούν το έργο τους σε χαμηλά υψόμετρα, δεν εμποδίζονται από σύννεφα και ως εκ τούτου παραμένουν διαθέσιμα και έτοιμα για παρακολούθηση ανά πάσα στιγμή. Επιπλέον, η

ευελιξία που παρέχει η επιλογή του ύψους πτήσης δίνει τη δυνατότητα επιλεγμένης προσαρμογής της χωρικής ανάλυσης των εικόνων (Asadzadeh et al., 2022). Τα τελευταία χρόνια, η χρήση UAV στην τηλεπισκόπηση έχει καταφέρει να πετύχει υψηλά ποσοστά ακρίβειας σε περιπτώσεις ανίχνευσης βιομάζας καλλιεργειών, στην ανίχνευση ζιζανίων, στην πρόβλεψη της ποιότητας, στην καταπολέμηση εντόμων, στην ανίχνευση δείκτη επιφάνειας φύλλων καθώς και σε πολλές άλλες πρακτικές. Όμοια με τις υφιστάμενες μεθόδους λήψης τηλεπισκοπικών δεδομένων για την εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών, ο υπολογισμός δεικτών βλάστησης με χρήση εικόνων που έχουν ανακτηθεί από UAV φαίνεται να αποκτά σπουδαία δυναμική. Η υψηλή χωρική ανάλυση που διαθέτουν οι εικόνες από UAV και η ικανότητα για πολλαπλές επισκέψεις, καταστούν δυνατό να μπορεί να δημιουργηθεί μια μεγάλη και λεπτομερής βάση δεδομένων. Είναι προφανές ότι η χαρτογράφηση επιφανειών με τέτοιου είδους μέσα, παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι των τροχιακών και άλλων εναέριων μεθόδων ανάκτησης πληροφοριών (Osco et al., 2021).

### **1.3.3. Η Βλάστηση στην Τηλεπισκόπηση**

Οι ανιχνευτές από τα μέσα τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται καταγράφουν πρώτα και κύρια την ακτινοβολία που αλληλεπιδρά με τη βλάστηση. Στις περισσότερες περιπτώσεις που αφορούν καταγραφές ξηράς, οι εικόνες που λαμβάνονται εστιάζουν κύρια στη βλάστηση και όχι τόσο την επιφάνεια του εδάφους. Κάνοντας μια ενδελεχή εξέταση της βλάστησης με μέσα τηλεπισκόπησης, μπορεί να γίνει εντοπισμός και ταξινόμηση διαφόρων καλλιεργειών, καθίσταται δυνατό να ανιχνευθούν ασθένειες, καθώς και να γίνει μια πιθανή εκτίμηση της παραγωγής. Τέτοιου είδους πληροφορίες τις δίνει η βλάστηση μέσω της ανακλαστικότητας της. Το σχήμα των φύλλων, το είδος του εδάφους, το φυτό ως προς τη φυσιολογία και μορφολογία, το σύνολο των καιρικών συνθηκών καθώς και η ηλιακή γωνία, αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα της βλάστησης. Είναι γνωστό πως η κύρια πηγή ενέργειας στο σύστημα γη-ατμόσφαιρα, είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι αισθητήρες που φέρουν τα UAV καταγράφουν την ηλιακή ακτινοβολία η οποία ανακλάται από μια γήινη επιφάνεια ή που εκπέμπεται από αυτή. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαιρείται σε περιοχές ανάλογα με το μήκος κύματος. Η ορατή περιοχή του φάσματος υποδιαιρείται σε ιώδες-μπλε 0.4-0.5  $\mu\text{m}$ , πράσινο 0.5-0.6  $\mu\text{m}$  και κόκκινο 0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ,

τα οποία αποτελούν και τα τρία βασικότερα χρώματα. Όπως προαναφέρθηκε, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βρεθεί να αλληλοεπιδρά με το φύλλωμα των φυτών. Η φωτοσύνθεση είναι μια διαδικασία απαραίτητη που διενεργείται με στόχο να επιτευχθεί η θρέψη των φυτών. Τα φυτά, για τον σκοπό αυτό, αξιοποιούν ενέργεια που προέρχεται από συγκεκριμένα μήκη κύματος από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η χλωροφύλλη των φύλλων είναι αυτή που απορροφά ενέργεια ώστε να επιτευχθεί η φωτοσύνθεση. Όμως, τα μόρια της διενεργούν επιλεκτική απορρόφηση του 70-90% από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στις περιοχές του κόκκινου και του μπλε. Αντίθετα, στην περιοχή του πράσινου παρατηρείται μικρή απορρόφηση και μεγάλη ανάκλαση γεγονός που προσδίδει στη βλάστηση το γνωστό πράσινο χρώμα (η ανάκλαση είναι υπεύθυνη για το χρώμα που θα αντιληφθεί το ανθρώπινο μάτι στο ορατό φάσμα). Όσον αφορά την ανάκλαση του εγγύς υπέρυθρου καθορίζεται από τον σπογγώδη ιστό του φύλλου καθώς το ανώτερο τμήμα της επιδερμίδας του είναι σχεδόν διαφανές σε αυτή την ακτινοβολία. Ως άμεσο αποτέλεσμα είναι η έντονη σκέδαση της ακτινοβολίας αυτής, τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω σε ποσοστό 60% με ένα μικρό μόνο ποσοστό της ακτινοβολίας αυτής να απορροφάται στο εσωτερικό του φύλλου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο με την μετακίνηση από το ορατό τμήμα στο εγγύς υπέρυθρο η ανακλαστικότητα που έχει η υγιής βλάστηση εμφανίζει απότομη αύξηση. Αυτό αποτελεί και ένα από τα χαρακτηριστικά που αξιοποιούνται σημαντικά ώστε να μελετηθεί η βλάστηση και να διαχωριστεί από το γυμνό έδαφος. Επίσης, δεδομένου ότι στο εγγύς υπέρυθρο επικρατεί πιο έντονη διαφοροποίηση ως προς την ανακλαστικότητα που έχουν τα διάφορα είδη βλάστησης, γίνεται αξιοποίηση των διαφοροποιήσεων αυτών ώστε να διακριθούν οι τύποι βλάστησης (Καρτάλης & Φείδας, 2013). Στο κομμάτι της τηλεπισκόπησης, ιδιαίτερα κατά την χρήση UAV αξιοποιούνται φασματικές κάμερες. Αυτού του είδους οι κάμερες δίνουν τη δυνατότητα να καταγραφούν πληροφορίες που έχουν ως βάση την αλληλεπίδραση του εξεταζόμενου στόχου με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το γεγονός ότι κάθε αντικείμενο-στόχος παρουσιάζει διαφορετική αλληλεπίδραση με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, επιτυγχάνει ευκολότερα την διαφοροποίηση του έναντι των υπολοίπων. Η διαφοροποίηση αυτή που παρέχει πληροφορίες αναφορικά με το σύνολο των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και της μορφής του στόχου χαρακτηρίζεται με τον όρο φασματική υπογραφή. Πιο συγκεκριμένα, η φασματική υπογραφή περιγράφει την

επίδραση που έχει ένα τυχαίο ηλεκτρομαγνητικό μήκος κύματος με ένα υλικό στο συγκεκριμένο τμήμα που κατέχει στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

#### **1.4. Δείκτες Βλάστησης**

Οι Δείκτες Βλάστησης (ΔΒ) αποτελούν έναν αλγεβρικό συνδυασμό καναλιών τα οποία ευρίσκονται εντός του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Είναι σχεδιασμένοι να ενισχύουν τις ιδιότητες της βλάστησης, και καθιστούν δυνατή την χωρική και χρονική σύγκριση μεταξύ των δομικών διακυμάνσεων αυτής και της επίγειας φωτοσυνθετικής δραστηριότητας (Huete et al., 2002). Ο συνδυασμός των φασματικών τιμών των καναλιών, δίνει μία και μοναδική τιμή για τα εικονοστοιχεία της κάθε εικόνας. Η μοναδική αυτή τιμή έπειτα δείχνει το επίπεδο και την ποσότητα της υγιούς βλάστησης που επικρατεί σε αυτό το εικονοστοιχείο. Έχει τεκμηριωθεί μεταξύ επιστημών πως, η ενέργεια που ανακλάται στο κόκκινο και στο εγγύς υπέρυθρο κομμάτι του φάσματος ή στον συνδυασμό τους, συνδέεται άρρηκτα με παράγοντες όπως η παραγωγικότητα, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, το ποσοστό κάλυψης, η βιομάζα κ.ά. Στις περιοχές αυτές, η βλάστηση εμφανίζει αντίστροφη φασματική απόκριση με αυτή που μπορεί να έχει μια γυμνή από βλάστηση επιφάνεια. Μια πιθανή εμφάνιση ασθένειας, γήρανσης ή και ξήρανσης της βλάστησης μειώνουν την αντίστροφη αυτή μεταβολή. Πέραν της θετικής συσχέτισης που παρουσιάζουν οι δείκτες βλάστησης με τις συνιστώσες των εκάστοτε οικοσυστημάτων, επικρατεί μια τάση από μεριάς δεικτών να ελαχιστοποιούν το πως επιδρούν σε αυτούς οι διάφοροι εξωτερικοί παράγοντες. Μολονότι οι δείκτες αυτοί έχουν την ικανότητα να ελαχιστοποιούν τις επιδράσεις των εξωτερικών παραγόντων, όπως η διεύθυνση του ηλίου, η κλίση κ.ά., παρουσιάζουν μια ευαισθησία στις νεφώσεις, στα διάφορα χαρακτηριστικά των εδαφών και στην τοπογραφία. Στις ορεινές περιοχές για παράδειγμα, οι τοπογραφικές συνθήκες επιβάλλουν τη διόρθωση των δεδομένων ραδιομετρικά προτού γίνει χρήση των δεικτών (Καρτάλης & Φείδας, 2013). Οι δείκτες βλάστησης, έχουν ως κύριο ρόλο την ποσοτικοποίηση παραμέτρων της βλάστησης οι οποίες σχετίζονται με την λειτουργικότητα ή και τη βιομάζα, με βασικά παραδείγματα τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI), την περιεκτικότητα σε φωτοσυνθετικές χρωστικές (καροτενοειδή και χλωροφύλλες), την πράσινη βιομάζα, το ποσοστό φυτοκάλυψης, την ικανότητα φωτοσύνθεσης αλλά και την φωτοσυνθετικά ενεργή απορροφούμενη ακτινοβολία (Absorbed Photosynthetically Active Radiation, APAR). Με σκοπό να υπάρξει η βέλτιστη

αποτελεσματικότητα κατά τη χρήση τους, οι δείκτες βλάστησης είναι απαραίτητο να καλύπτουν ένα σύνολο προϋποθέσεων. Αρχικά, θα πρέπει να παρουσιάζουν τη μέγιστη δυνατή ευαισθησία με κάποια από τις βιοφυσικές παραμέτρους της εξεταζόμενης βλάστησης, κατά προτίμηση με τρόπο γραμμικό. Έπειτα, απαιτείται να μπορούν να συμβάλλουν στην κανονικοποίηση των επιδράσεων από τυχόν εξωγενείς παράγοντες όπως η ατμόσφαιρα, η γωνία του αισθητήρα και η γωνία του ηλίου, με σκοπό να μπορεί να καταστεί δυνατό να υπάρξει σύγκριση στο χωροχρόνο. Και τέλος, θα πρέπει να μπορούν να παρεμβαίνουν κανονικοποιώντας το σύνολο των επιδράσεων από τους ενδογενείς παράγοντες, όπως τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, το υπόβαθρο, την κόμη του φυτού, τα μέρη που δεν φωτοσυνθέτουν και το έδαφος.

Η ταξινόμηση των δεικτών βλάστησης γίνεται σε δυο επιμέρους κατηγορίες. Στην (α) κατηγορία, ανήκουν οι δείκτες που προκύπτουν μέσω αριθμητικών πράξεων μεταξύ των ραδιομετρικών τιμών στα διάφορα φασματικά κανάλια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι πιο γνωστοί δείκτες που περιλαμβάνονται στην κατηγορία αυτή είναι οι RATIO, NDVI, SAVI, EVI, RVI. Στην (β) κατηγορία ανήκουν οι δείκτες που καταμετρούν την ραδιομετρική απόσταση από τη γραμμή του εδάφους και χαρακτηρίζονται ως distance-based. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει δείκτες που υπολογίζουν ποσοστιαία την βλάστηση σε επίπεδο pixel, και βασίζονται στη διαφορά της τιμής ανάκλασης κάθε pixel συγκριτικά με την αντίστοιχη τιμή ανάκλασης που προέρχεται από γυμνό έδαφος. Σε αυτή την περίπτωση, βασική είναι η γνώση της εδαφικής γραμμής (soil line). Με την αύξηση της βλάστησης και την κάλυψη του εδάφους, τα pixel που αναφέρονται στην βλάστηση παρουσιάζουν αύξηση της κατακόρυφης απόστασής τους από την εδαφική γραμμή. Για τους δείκτες που ανήκουν στην (β) κατηγορία, απαραίτητη είναι η γνώση της κλίσης και του σημείου τομής από την αντίστοιχη γραμμή του εδάφους για την εκάστοτε εξεταζόμενη εικόνα. (Περάκης & Φαρασλής, 2015).

#### **1.4.1. NDVI**

Η πρώτη επίσημη αναφορά χρήσης του NDVI (Normalized Difference Vegetation Index ή Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς) ήταν το 1974 (Rouse et al., 1974) και είχε ως στόχο να διαχωρίσει τη βλάστηση από το έδαφος, κάνοντας χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat MSS. Είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης σε παγκόσμιο επίπεδο. Ως κύριο πλεονέκτημά του, αποτελεί η ικανότητά του να ελαχιστοποιεί τις τοπογραφικές επιδράσεις. Λόγω των

κανονικοποιημένων του τιμών, παραμένει επίσης αναλλοίωτος από την επίδραση διαφόρων συνθηκών. Η διακύμανση των τιμών του περιλαμβάνει ένα εύρος από -1 έως και +1, με τις αρνητικές τιμές να αναπαριστούν εκτάσεις καλυμμένης γης από νερό ή άλλες ανθρωπογενείς κατασκευές κ.ά. Τιμές από 0 έως 0,2 αφορούν γυμνό έδαφος, ενώ τιμές > 0,2 δείχνουν την παρουσία βλάστησης λόγω χλωροφύλλης, όπου όσο πιο κοντά στο +1 οι τιμές, τόσο πιο πυκνή ή υγιής η βλάστηση που καταγράφεται. Τα κύρια μειονεκτήματα του δείκτη αυτού είναι ότι, σε περίπτωση έντονης βλάστησης, μπορεί να παρουσιάσει έντονο κορεσμό (saturation), ενώ σε μικρότερης έντασης βλάστηση, μπορεί να υπάρξει υπερεκτίμηση του, λόγω εδαφικής ανακλαστικότητας. Όσον αφορά τις συνθήκες της ατμόσφαιρας, για παράδειγμα τα σύννεφα, θα μπορούσαν να επιδράσουν στις εκτιμώμενες τιμές του NDVI (Περάκης & Φαρασλής, 2015). Παρόλα' αυτά, ο συγκεκριμένος δείκτης έχει ευρεία εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η εκτίμηση της βιομάζας, στην παρατήρηση διαφόρων μεταβολών της βλάστησης στο χωροχρόνο, στον προσδιορισμό της διάρκειας της αναπτυξιακής περιόδου και της περιόδου ξηρασίας, καθώς και στον εντοπισμό περιοχών με έντονο οικολογικό ενδιαφέρον. Δύναται επίσης, να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση αποδόσεων των καλλιεργειών (Καρτάλης & Φεΐδας, 2013).

Η εξίσωση του είναι η ακόλουθη:

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

όπου NIR, =η τιμή ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο και RED, =η τιμή της ανακλαστικότητας στην ορατή κόκκινη περιοχή του φάσματος.

#### **1.4.2. VARI**

Ο δείκτης VARI (Visible Atmospherically Resistant Index ή Δείκτης μη ευαίσθητος στις ατμοσφαιρικές επιπτώσεις) αναφέρεται για πρώτη φορά το 2002 και δημιουργήθηκε από τους Gitelson et al. (Gitelson et al., 2002). Ο VARI προκύπτει από RGB ή έγχρωμες εικόνες. Λειτουργεί με ολόκληρο το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και αξιοποιεί τα κανάλια του κόκκινου, πράσινου και μπλε. Η εξειδικευμένη λειτουργία του, είναι η ενίσχυση έντασης της βλάστησης υπό ισχυρές ατμοσφαιρικές επιδράσεις, εξομαλύνοντας παράλληλα τις διακυμάνσεις του φωτισμού. Ο VARI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους ακόλουθους δορυφορικούς αισθητήρες: Sentinel-2, IKONOS, Geo-Eye-1, Landsat-8, Pleiades-1 και Quickbird.



Ουσιαστικά, ο VARI σχεδιάστηκε και δοκιμάστηκε για να λειτουργεί με δεδομένα RGB και όχι κοντινού υπέρυθρου. Κύριος στόχος είναι η μέτρηση του πόσο «πράσινη» είναι μια εικόνα.

Η εξίσωση που περιγράφει τον VARI είναι η εξής:

$$\text{VARI} = \frac{\text{GREEN} - \text{RED}}{\text{GREEN} + \text{RED} - \text{BLUE}}$$

όπου GREEN η τιμή της ανακλαστικότητας στο πράσινο, RED στο κόκκινο και BLUE στο μπλε κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο παραπάνω δείκτης αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια μετρήσεων καλαμποκιού και σόγιας στις Μεσοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ποσοστού της βλάστησης όταν υπάρχει ελάχιστη επίδραση εξωγενών παραγόντων (π.χ. συννεφιά), πράγμα που εξυπηρετείται με τη χρήση drone σε χαμηλά υψόμετρα για παρακολούθηση καλλιεργειών (Gitelson et al., 2002). Χάρη στην χαμηλή ευαισθησία του δείκτη στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, το δυνητικό σφάλμα κατά τη χρήση του VARI για την παρακολούθηση της βλάστησης σε συνθήκες διαφορετικής ατμοσφαιρικής πυκνότητας είναι μικρότερο του 10%. Η χρήση του μπλε καναλιού στην παραπάνω εξίσωση, καθιστά δυνατή την ελαχιστοποίηση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Επιπλέον, η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση αλλαγών λόγω συσσώρευσης βιομάζας, καθώς παρουσιάζει ευαισθησία στην συγκέντρωση χλωροφύλλης των φύλλων. Άλλες χρήσεις της είναι για τον υπολογισμό του δείκτη δυναμικού πυρκαγιάς, για τον υπολογισμό του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) καθώς και για οποιαδήποτε άλλη χρήση που περιλαμβάνει εικόνες στο ορατό φάσμα ή εικόνες RGB (Eng et al., 2019).

### 1.4.3. NDRE

Η χρήση του δείκτη βλάστησης NDRE (Normalized Difference of Red Edge ή Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Κόκκινης Αιχμής) (Gitelson et al., 1996) αποτελεί μία μέθοδο καταμέτρησης της ποσότητας χλωροφύλλης που περιλαμβάνεται στα φυτά. Η καλύτερη περίοδος για την εφαρμογή του NDRE είναι από τα μέσα έως τα τέλη της καλλιεργητικής περιόδου, τότε που τα φυτά είναι έτοιμα και ώριμα για τη συγκομιδή. Στο στάδιο εκείνο, οι υπόλοιποι δείκτες θα ήταν λιγότερο αποτελεσματικοί στη χρήση. Ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύεται από μια συγκεκριμένη τιμή που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό ζώνης εγγύς

υπέρυθρου (NIR-Near-InfraRed) και της περιοχής Red Edge μεταξύ ορατού κόκκινου και NIR. Η ειδοποιός διαφορά NDVI και NDRE οφείλεται στο ότι κατά την ανάπτυξη του NDRE η κόκκινη περιοχή του φάσματος που χρησιμοποιεί ο NDVI, αντικαθίσταται από την φασματική ζώνη κόκκινης αιχμής (Red Edge). Η ακτινοβολία της κόκκινης αιχμής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που χρησιμοποιεί ο δείκτης NDRE δίνει τη δυνατότητα διείσδυσης βαθύτερα στο φύλλο, σε σχέση με την ακτινοβολία του κόκκινου που χρησιμοποιεί ο NDVI (eos.com/ndvi).

Η εξίσωση που περιγράφει τον NDRE δίνεται ακολούθως:

$$\text{NDRE} = \frac{\text{NIR} - \text{Red Edge}}{\text{NIR} + \text{Red Edge}}$$

Ο άνωθεν συνδυασμός φασματικών καναλιών, καθιστά τον NDRE εξαιρετικά ευαίσθητο στα μήκη κύματος του φωτός που ανακλώνται από τη χλωροφύλλη των φυτών. Αυτός ο δείκτης βλάστησης μπορεί, ενδεχομένως, να εφαρμοστεί ώστε να διαπιστωθεί εάν ένα αναπτυσσόμενο φυτό είναι υγιές ή όχι. Χαμηλή ποσότητα χλωροφύλλης μπορεί να επισημάνει τις προβληματικές καλλιέργειες έναντι των φυσιολογικά αναπτυσσόμενων καλλιεργειών. Τέτοιες καλλιέργειες, μπορεί να περιλαμβάνουν φυτά μολυσμένα με παράσιτα, άρρωστα φυτά, φυτά με ανεπάρκεια θρεπτικών συστατικών ή ακόμα και φυτά που έχουν υποστεί βλάβη. Ο NDRE λοιπόν, είναι ο κατάλληλος δείκτης για να υποδείξει τέτοιου είδους προβλήματα ώστε να γίνει περαιτέρω διερεύνηση της αιτίας που προκαλεί χαμηλή περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Το εύρος τιμών που παίρνει ο δείκτης κυμαίνεται από -1 έως +1, όπως ακριβώς και στην περίπτωση του NDVI.

### 1.5. CFI

Ο CFI (Cotton Fiber Index ή Δείκτης Ινών Βαμβακιού) είναι διαφορετικής φύσεως από τους προαναφερθέντες δείκτες βλάστησης. Πρόκειται για έναν δείκτη που εξυπηρετεί τον προσδιορισμό των ανοιχτών καψών βαμβακιού σε σχέση με την υπόλοιπη καλλιεργούμενη έκταση και είναι το αποτέλεσμα χρήσης τηλεσκοπικών μέσων. Ο CFI προκύπτει από την επεξεργασία με κατάλληλα μέσα, RGB φωτογραφιών.

Η εξίσωση του περιγράφεται ακολούθως:

$$\text{CFI} = \frac{\text{αριθμός pixel που αντιστοιχούν σε βαμβάκι}}{\text{συνολικός αριθμός pixel της περιοχής ενδιαφέροντος}}$$

Για να υπολογιστεί αυτός ο δείκτης είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των ανοιχτών καψών από τα υπόλοιπα στοιχεία της εικόνας, όπως νεκροί βλαστοί και κλάδοι βαμβακιού, έδαφος και λοιπά φύλλα πεσμένα από την αποφύλλωση. Η διάκριση των επιμέρους στοιχείων δίνεται στην Εικόνα 1.1.



**Εικόνα 1.1.** Τυπική απεικόνιση αγρού βαμβακιού μετά την αποφύλλωση, όπου είναι διακριτές οι ανοιχτές κάψες βαμβακιού και τα υπόλοιπα στοιχεία της καλλιέργειας (Huang et al., 2016).

### **1.6. Εκτίμηση Απόδοσης Καλλιεργειών.**

Η εκτίμηση απόδοσης καλλιεργειών διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη σύγχρονη γεωργία και κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει αποτελέσει σπουδαίο ερευνητικό αντικείμενο. Οι πλειοψηφία των ερευνών έχει επικεντρωθεί μέχρι τώρα γύρω από την ανάκτηση δεδομένων από εικόνες τηλεπισκόπησης. Ωστόσο, η διαδικασία ανάπτυξης μιας καλλιέργειας είναι πολυσύνθετη και καθορίζεται από πληθώρα παραγόντων (Qiao et al., 2021). Συνεπώς η παρακολούθηση πολλαπλών παραμέτρων ευνοεί τις ευστοχότερες προβλέψεις πάνω σε μια καλλιέργεια. Ένα ακριβές μοντέλο πρόβλεψης απόδοσης καλλιέργειας μπορεί να βοηθήσει τους αγρότες να πάρουν αποφάσεις αναφορικά με το τι και το πότε να καλλιεργήσουν, πότε να παρέμβουν και πότε να αφήσουν την καλλιέργεια στη φυσική της ροή. Γενικά, υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για αυτή τη διαδικασία (van Klompenburg et al., 2020). Στο παρελθόν, η εκτιμήσεις γινόταν εμπειρικά από τον ίδιο τον γεωργό για τις καλλιέργειες των δικών του πάντα χωραφιών. Η μετάβαση από εμπειρικό τρόπο προσέγγισης της καλλιέργειας σε επιστημονικά τεκμηριωμένο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ζήτημα που αναμένεται να επιλυθεί με την πάροδο των ετών (Manjula & Djodiltachoumy, 2017). Η παρακολούθηση της πορείας ανάπτυξης, λοιπόν, και η ακριβής εκτίμηση απόδοσης αποτελούν στοιχεία εξέχουσας σημασίας για τη βελτίωση της διαχείρισης του αγρού αλλά και της παραγωγής των

καλλιιεργειών (Feng et al., 2020). Ο τρόπος με τον οποίο η βλάστηση αλληλοεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης της κατάστασης μιας καλλιέργειας. Πολύ συχνά, γίνεται χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) ώστε να εξαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα από εικόνες τηλεπισκόπησης για να σχηματιστούν οι αντίστοιχοι χάρτες παραγωγής. Εκτός από την τελική απόδοση της καλλιέργειας, σε GIS μπορούν να αποθηκευτούν πληροφορίες εναλλακτικού περιεχομένου όπως η οριοθέτηση και καταγραφή χωραφιών, το ποιος είναι ο ιδιοκτήτης στο κάθε χωράφι, το είδος που καλλιεργείται, οι εδαφικές ιδιότητες του καθενός, αλλά και καταγεγραμμένα ιστορικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα ένα ενδεικτικό ιστορικό επιθέσεων από έντομα ή και το ποιες γεωργικές πρακτικές έχουν ήδη εφαρμοστεί. Οριοθετώντας τα χωράφια και κάνοντας μια άμεση καταγραφή αυτών, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του συνόλου της επιφάνειας και έτσι καθίσταται δυνατό να εκτιμηθεί το σύνολο της παραγωγής στο συγκεκριμένο χωράφι. Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος, με σκοπό να καθοριστούν οι χρηματοδοτήσεις της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής - Κ.Α.Π. (seos-project.eu).

### **1.7. Σκοπός**

Κύριος σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να διαπιστωθεί εάν η καταγραφή τηλεπισκοπικών δεδομένων μέσω μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της παραγωγικότητας σε καλλιέργεια βαμβακιού. Για το στόχο αυτό, πραγματοποιήθηκαν λήψεις εικόνων με δύο διαφορετικές κάμερες (μια RGB και μια πολυφασματική) μέσω drone, σε τρεις διαφορετικούς πειραματικούς αγρούς, όπου στον έναν είχε εφαρμοστεί ακαλλιέργεια και στους άλλους δύο συμβατική μέθοδος κατεργασίας. Με το πέρας της αναπτυξιακής περιόδου, πραγματοποιήθηκε συγκομιδή και μέτρηση της τελικής παραγωγής βαμβακιού με το χέρι. Σαν πρώτο σκέλος, η εργασία αυτή περιλαμβάνει την εξαγωγή δεικτών βλάστησης από τις εικόνες των δύο καμερών και την δημιουργία των αντίστοιχων χρονοσειρών τους, ώστε να αποτυπωθεί η πορεία της καλλιέργειας. Στο δεύτερο σκέλος, ακολουθεί η συσχέτιση των δεικτών βλάστησης αλλά και του δείκτη ινών βαμβακιού με την τελική παραγωγή, ώστε να διαπιστωθεί η ευστοχία των τηλεσκοπικών μέσων για την παρακολούθηση της απόδοσης των καλλιιεργειών.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Πειραματικός Αγρός και Καλλιεργητικές Πρακτικές

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, έγινε λήψη δεδομένων από τρεις διαφορετικούς πειραματικούς αγρούς. Και οι τρεις ευρίσκονταν στην περιοχή του Ριζόμυλου, του Νομού Μαγνησίας με τους δύο πρώτους να έχουν ακριβή τοποθεσία 39.439732° N, 22.759816° E και τον τρίτο 39°24'58.54"N, 22°46'58.12"E. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου Απρίλιος 2020 – Οκτώβριος 2020. Ο πρώτος αγρός είχε συνολική έκταση 16 στρέμματα με προηγούμενη καλλιέργεια βαμβάκι της ποικιλίας alfalfa. Ο δεύτερος καταλάμβανε έκταση 35 στρεμμάτων, με προηγούμενες καλλιέργειες το σιτάρι στα 2/3 του και το βαμβάκι στο 1/3 του. Και ο τρίτος αγρός είχε συνολική έκταση 18 στρέμματα και το πείραμα έλαβε χώρα στα 3,6 στρέμματα αυτού. Και εδώ η καλλιέργεια της προηγούμενης χρονιάς ήταν επίσης βαμβάκι.

Ο 1<sup>ος</sup> πειραματικός αγρός (Field 1) είχε χωριστεί σε δύο επιμέρους τμήματα. Τα δύο τμήματα είχαν δεχθεί διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές βιώσιμης μορφής όπως περιγράφονται ακολούθως: (α) ακαλλιέργεια ή αλλιώς No tillage (NT) και (β) άροση κατά λωρίδες ή αλλιώς strip tillage (ST). Ο όρος ακαλλιέργεια ή πιο ορθά



Εικόνα 2.1. Οριοθέτηση και αποτύπωση των Field 1 και Field 2.

ακατεργασία περιλαμβάνει την απευθείας σπορά του σπόρου της επιθυμητής καλλιέργειας χωρίς καμία παρέμβαση στο έδαφος. Πιο συγκεκριμένα, ο παραγωγός ανοίγει απλά μικρά αυλάκια, τοποθετεί τον σπόρο και στη συνέχεια τον καλύπτει με υπολείμματα από την προηγούμενη καλλιέργεια. Αντίθετα, η άροση κατά λωρίδες περιλαμβάνει προετοιμασία του εδάφους σε λωρίδες πλάτους 25 cm σε απόσταση 95 cm όπως ακριβώς και οι σειρές βαμβακιού.

Ο 2<sup>ος</sup> πειραματικός αγρός (Field 2) περιλάμβανε συμβατικό τρόπο καλλιέργειας ή αλλιώς Conventional tillage (CT), είχε δεχθεί δηλαδή παραδοσιακές πρακτικές όσον αφορά την καλλιέργεια του βαμβακιού, όπως το όργωμα, το πέραςμα με οδοντωτό καλλιεργητή και την χρήση μηχανοκίνητης σβάρνας. Το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο, λόγω της προηγούμενης του ιδιότητας να περιλαμβάνει δύο διαφορετικές καλλιέργειες, χωρίστηκε και αυτό σε δύο τμήματα. (α ') Το CT(c), το οποίο προέκυψε έπειτα από αμειψισπορά βαμβακιού, και (β ') το CT(w), το οποίο προήλθε μετά την αμειψισπορά χειμερινού σίτου. Η οριοθέτηση και η αποτύπωση των δύο πρώτων χωραφιών δίνεται στην Εικόνα 2.1.

Όσον αφορά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό αγρό (Agrology), αξιοποιήθηκε τμήμα αυτού για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία. Εδώ, ο αγρός οργώθηκε και περάστηκε με καλλιεργητή τον Νοέμβριο του 2019. Η προετοιμασία της σποροκλίνης πραγματοποιήθηκε με μηχανοκίνητη σβάρνα στις 14/04/2020. Η σπορά έγινε με σπартική μηχανή ακριβείας στις 21/04/2020 με 95 cm απόσταση ανά σειρά και πυκνότητα 22 σπόρους ανά m σειράς. Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Fidel (GreenCo.). Η οριοθέτηση του συγκεκριμένου πειραματικού αγρού ήταν διαφορετικής φύσεως και πραγματοποιήθηκε βάσει αναγκών ενός άλλου πειράματος. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2, ο συγκεκριμένος αγρός έχει δεχθεί τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις διαφυλλικού ψεκασμού (treatments) με μάρτυρα για σύγκριση δεδομένων. Το πειραματικό σχέδιο αποτελούσε ένα πλήρως τυχαιοποιημένο μπλοκ τεσσάρων επαναλήψεων από κάθε μεταχείριση και το εκάστοτε πειραματικό plot είχε 10 m μήκος και 9.5 m. Ο συνολικός αριθμός των plot στο χωράφι αυτό είναι 20.



**Εικόνα 2.2. Οριοθέτηση και αποτύπωση του χωραφιού Agrolology.**

Η ημερομηνία σποράς για τις δύο πρώτες μεταχειρίσεις ήταν 24 Απριλίου του 2020 και έγινε χρήση της ποικιλίας βαμβακιού Elsa. Για τις μεταχειρίσεις CT(w), CT(c) και ST έγινε σπορά 22 σπόρων ανά m σειράς, ενώ για την μεταχείριση NT χρησιμοποιήθηκαν 21 σπόροι ανά m σειράς. Το αρχικό πλάνο περιλάμβανε τη χρήση μεγαλύτερου πληθυσμού σπόρων στην μεταχείριση NT, ώστε να αντισταθμιστούν τυχόν απώλειες κατά τη εκβλάστηση. Ωστόσο, λόγω εσφαλμένων υπολογισμών κατά τη ρύθμιση της σπαρτικής μηχανής, έγινε σπορά μικρότερου αριθμού σπόρων. Παρόλα' αυτά, αποφασίστηκε να συνεχιστεί το πείραμα κρατώντας τον υπάρχον πληθυσμό σπόρων καθώς δεν διέφεραν δραματικά από τον αντίστοιχο αριθμό στη CT μεταχείριση. Για τη σπορά στη NT μεταχείριση, χρησιμοποιήθηκε ειδική σπαρτική μηχανή ακατεργασίας, η Monosem NX-5 του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το βάθος σποράς έφτανε τα 3 cm. Η σπορά τόσο στο χωράφι με άροση κατά λωρίδες όσο και στα χωράφια με συμβατική καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε από σπαρτική μηχανή του ίδιου του αγρότη, την Gaspardo MTR. Σε αυτά τα χωράφια η σπορά έγινε στα 4 cm βάθος. Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών ήταν στα 0,95 m και στις δύο μηχανές. Ο κάθε πειραματικός αγρός ήταν στην ιδιοκτησία διαφορετικών φυσικών προσώπων. Με σκοπό να ολοκληρωθεί το πείραμα, οι αγρότες συμφώνησαν να συνεργαστούν

ακολουθώντας ένα κοινό σχέδιο καλλιέργειας. Κατά τ'άλλα, οι υπόλοιπες καλλιεργητικές πρακτικές παρέμειναν περίπου οι ίδιες.

Οι κύριες διαφορές στις καλλιεργητικές φροντίδες είναι τρεις και περιγράφονται ακολούθως:

- 1) Αναφορικά με τη λίπανση, στα χωράφια NT και ST δεν εφαρμόστηκε βασικό λίπασμα, ενώ στα χωράφια CT(c) και CT(w) εφαρμόστηκε.
- 2) Στο κομμάτι της άρδευσης, στα CT(c) και CT(w) πραγματοποιήθηκαν δύο επιπλέον ποτίσματα στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ενώ στα NT και ST εφαρμόζονταν μεγαλύτερη ποσότητα νερού σε κάθε πότισμα. Βέβαια, η συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε και στα 4 χωράφια ήταν παραπλήσια.
- 3) Στη χρήση ρυθμιστή ανάπτυξης. Εδώ ο δεύτερος αγρότης έκανε δύο φορές εφαρμογή σε αντίθεση με τον πρώτο που έκανε μια μοναδική εφαρμογή.

Οι καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόστηκαν στα δύο πρώτα χωράφια (Field 1 & Field 2) περιγράφονται στον Πίνακα 2.1, ενώ οι πρακτικές που εφαρμόστηκαν στο τρίτο χωράφι (Agrology) περιγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.2.



**Πίνακας 2.1. Καλλιεργητικές εργασίες που εφαρμόστηκαν στους πειραματικούς αγρούς Field 1 & Field 2.**

Ημερομηνία	Εργασίες	Εισροές	Μονάδες	Δόση ανά στρέμμα	
				NT & ST	CTc & CTw
10/04/2020	Ψεκασμός	Glyphosate (ζιζανιοκτόνο)	lt	0,941	
16/04/2020	Λίπανση	Λίπασμα 20-10-0	kg		30,0
24/04/2020	Ψεκασμός	Axion Combi Metolachlor (ζιζανιοκτόνα)	lt	0,706	0,706
24/04/2020	Σπορά	Σπόρος βαμβακιού ποικιλίας Elsa	kg	2,0	2,1
29/04/2020	Άρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	30,0	30,0
10/05/2020	Άρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>		
23/05/2020	Ψεκασμός	Select (ζιζανιοκτόνο)	lt	0,176	0,176
		Lancoil (πρόσθετο)	lt	0,176	0,176
13/06/2020	Ψεκασμός	Proteus (εντομοκτόνο)	lt	0,059	0,059
24/06/2020	Λίπανση	Νιτρικό αμμόνιο	kg	4,706	3,529
25/06/2020	Άρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	30,0	30,0
02/07/2020	Ψεκασμός	glyphosate	lt	0,294	
06/07/2020	Ψεκασμός	Pix (ρυθμιστής ανάπτυξης)	lt		0,059
10/07/2020	Στάγδην άρδευση- Υδρολίπανση	Νερό, Νιτρικό αμμόνιο	m <sup>3</sup> kg	60,0 4,706	48,0 3,529
15/07/2020	Στάγδην άρδευση- Υδρολίπανση	Νερό Ουρία	m <sup>3</sup> kg	60,0 4,706	48,0 3,529
16- 18/07/2020	Ψεκασμός	Εντομοκτόνο Jerdez 12-48-8 (διαφυλ. λίπανση) Lancoil	kg kg lt	0,012 0,588 0,176	0,015 0,588 0,176
18/07/2020	Ψεκασμός	Pix (ρυθμιστής ανάπτυξης)	lt	0,118	
21- 22/07/2020	Στάγδην άρδευση- Υδρολίπανση	Νερό Ουρία	m <sup>3</sup> kg	60,0 4,706	48,0 3,529
28-29/7/2020	Στάγδην άρδευση- Υδρολίπανση	Νερό Ουρία	m <sup>3</sup> kg	60,0 4,706	48,0 3,529
04/08/2020	Ψεκασμός	Proteus & Pix	lt	0,206	0,206 0,088
05/08/2020	Στάγδην άρδευση- Υδρολίπανση	Νερό Ουρία	m <sup>3</sup> kg	60,0 4,706	48,0 3,529
12- 13/08/2020	Στάγδην άρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	60,0	48,0
19/08/2020	Στάγδην άρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>		30,0
26/08/2020	Στάγδην άρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>		30,0

**Πίνακας 2.2. Καλλιεργητικές εργασίες που εφαρμόστηκαν στον πειραματικό αγρό Agrology.**

Ημερομηνία	Εργασίες	Εισροές	Μονάδες	Δόση ανά στρέμμα
13/04/2020	Λίπανση	Λίπασμα 20-10-0	kg	30
20/04/2020	Ψεκασμός	Axion Combi Metolachlor (ζιζανιοκτόνα)	lt lt	0,06 0,07
23/05/2020	Ψεκασμός	Select (ζιζανιοκτόνο)	lt	0,17
13/06/2020	Ψεκασμός	Proteus (εντομοκτόνο)	lt	0,06
22/06/2020	Λίπανση	Νιτρικό Αμμώνιο 33,5-0-0	kg	3,5
29/06/2020	Αρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	48
06/07/2020	Ψεκασμός	Pix (ρυθμιστής ανάπτυξης)	lt	0,06
08/07/2020	Λίπανση	Ουρία 46-0-0	kg	3,5
	Αρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	48
14/07/2020	Ψεκασμός	Jerdez (εντομοκτόνο)	Kg	0,015
	Διαφυλλική λίπανση	12-48-8 (θρέψη)	kg	0,59
15/07/2020	Λίπανση	Ουρία 46-0-0	kg	3,5
	Αρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	48
22/07/2020	Λίπανση	Ουρία 46-0-0	kg	3,5
28/07/2020	Λίπανση	Ουρία 46-0-0	kg	3,5
04/08/2020	Ψεκασμός	Proteus (εντομοκτόνο)	lt	0,2
	Λίπανση	Ουρία 46-0-0	kg	3,5
	Ψεκασμός	Pix (ρυθμιστής ανάπτυξης)	lt	0,09
05/08/2020	Αρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	48
12/08/2020	Αρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	48
19/08/2020	Αρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	32
26/08/2020	Αρδευση	Νερό	m <sup>3</sup>	32

## 2.2. Δεδομένα από UAV και Εξοπλισμός

### 2.2.1. Οριοθέτηση πειραματικού αγρού, συγκομιδή και μέτρηση απόδοσης παραγωγής.

Η μέτρηση της απόδοσης παραγωγής πραγματοποιήθηκε κατόπιν χειρωνακτικής συγκομιδής του βαμβακιού σε προκαθορισμένα βάσει GPS, σημεία στον αγρό, τα οποία φαίνονται για το χωράφι Agrolology (Εικόνες 2.3 και 2.4). Τα σημεία έχουν



οριοθετηθεί από δύο παρακείμενες γραμμές μήκους τριών μέτρων η κάθε μία και σχηματίζουν ένα παραλληλόγραμμο εντός του οποίου έγινε η μελέτη και η συγκομιδή βαμβακιού. Με μία μεγέθυνση της Εικόνας 2.3, προκύπτει η Εικόνα 2.4, όπου είναι πιο διακριτό το κόκκινο περίγραμμα μέσω του οποίου γίνεται η οριοθέτηση του εκάστοτε σημείου.

**Εικόνα 2.3. Προκαθορισμένα βάσει GPS σημεία του αγρού με κόκκινο περίγραμμα στο χωράφι Agrolology, απ' όπου και έγινε η συγκομιδή του βαμβακιού.**



Εικόνα 2.4. Μεγέθυνση Εικόνας 2.3 και εστίαση σε ένα συγκεκριμένο σημείο με κόκκινο περίγραμμα.

Αντίστοιχα για τους πειραματικούς αγρούς Field 1 & Field 2, τα προκαθορισμένα βάσει GPS σημεία, με τις μεγεθύνσεις τους και τα περιγράμματά τους, δίνονται στις Εικόνες 2.5 και 2.6. Στον αγρό Field 2, τα σημεία συγκομιδής είναι 8 και το περίγραμμά τους δίνεται με κόκκινο χρώμα (Εικόνα 2.5) και στον αγρό Field 1 τα σημεία είναι 11 και το περίγραμμά τους δίνεται με κίτρινο χρώμα (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.5. Αριστερά διακρίνονται τα προκαθορισμένα σημεία με κόκκινο στο χωράφι Field 2 και δεξιά μεγέθυνση στο πειραματικό plot 5.



**Εικόνα 2.6.** Προκαθορισμένα σημεία με κίτρινο στο χωράφι Field 1 (αριστερά) και μεγέθυνση στα πειραματικά plot 4 και 5 (δεξιά).

Αναφορικά με τα Field 1 & 2, είχε ζητηθεί από τους γεωργούς να ζυγίσουν ξεχωριστά την παραγωγή της κάθε μεταχείρισης πριν γίνει η διανομή του βαμβακιού στη βιομηχανία. Η συγκομιδή με το χέρι έγινε μια φορά στις 21/09/2020 ώστε να μαζευτούν όλες οι κάψες (ανοιχτές και κλειστές) στις σημαδεμένες περιοχές που συγκομίστηκαν. Ακολούθησε μηχανική συγκομιδή η οποία και ολοκληρώθηκε σε δύο χέρια. Το πρώτο πραγματοποιήθηκε στις 23/09/2020 και το δεύτερο 25 ημέρες αργότερα. Το σύνολο των κλειστών καψών διαχωρίστηκαν και παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου ώστε να ανοίξουν με φυσικό τρόπο. Με το άνοιγμά τους, το βαμβάκι και ο σπόρος απομακρύνθηκαν με το χέρι και ζυγίστηκαν. Η τοποθεσία των σημείων όπου πραγματοποιήθηκε η οριοθέτηση έγινε βάσει χαρτών NDVI και επιλέχθηκαν περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά βλάστησης, ώστε να παρακολουθηθεί η χωρική παραλλακτικότητα του αγρού. Στο χωράφι Agrolology, η συλλογή δειγμάτων από την καλλιέργεια για προσδιορισμό της παραγωγής πραγματοποιήθηκε στις 03/10/2020 χειρωνακτικά εντός των προκαθορισμένων σειρών δειγματοληψίας. Ο υπόλοιπος αγρός συγκομίστηκε μηχανικά και εδώ σε δύο χέρια. Το πρώτο ήταν στις 07/10/2020 και το δεύτερο 20 ημέρες αργότερα με συμβατική δίσειρη βαμβακοσυλλεκτική μηχανή. Έγινε επιλογή μιας κεντρικής λωρίδας μήκους 6 μέτρων, εντός των οριοθετημένων περιοχών κάθε σημείου για τον σκοπό αυτό. Και εδώ συγκομίστηκαν τόσο οι ανοιχτές όσο και οι κλειστές κάψες. Ακολούθησε ζύγισμα του βάμβακος και του σπόρου των ανοιχτών καψών όσο ήταν

ακόμα φρέσκιες. Το σύνολο των κλειστών καψών διαχωρίστηκαν και παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου ώστε να ανοίξουν με φυσικό τρόπο. Με το άνοιγμά τους, το βαμβάκι και ο σπόρος απομακρύνθηκαν με το χέρι και ζυγίστηκαν.

### 2.2.2. Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (ή UAV)

Με σκοπό να ανακτηθούν εικόνες τηλεπισκόπησης κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, έγινε χρήση δυο διαφορετικών μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων. Το πρώτο ήταν το DJI Phantom P4 με τον δικό του RGB CMOS



αισθητήρα. Οι έγχρωμες εικόνες που προκύπτουν από αυτό το drone χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία για τον υπολογισμό CFI αλλά και του VARI. Το συγκεκριμένο drone έχει βάρος 1380 g., η κάμερα που φέρει έχει 20 Megapixel και η αυτονομία χρόνου πτήσης ανέρχεται στα 28 λεπτά.

**Εικόνα 2.7. DJI Phantom P4, drone με RGB CMOS αισθητήρα.**

Το δεύτερο ήταν το Parrot Bluegrass το οποίο περιλαμβάνει έναν πολυφασματικό αισθητήρα Sequoia. Οι εικόνες που προκύπτουν από τον πολυφασματικό αισθητήρα της κάμερας αυτής, χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία για τον υπολογισμό του NDVI και του NDRE. Το drone αυτό, έχει διαστάσεις 50x44x12 cm,

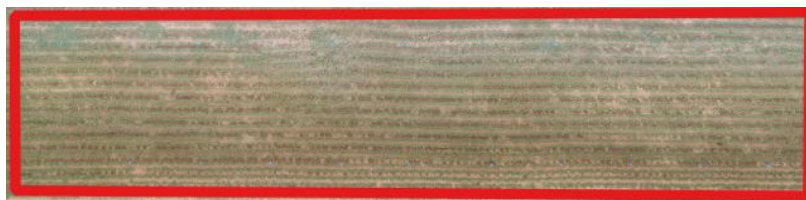


ζυγίζει 1850 g, η κάμερα που φέρει έχει 16 Megapixel και ο χρόνος αυτονομίας πτήσης είναι τα 25 λεπτά.

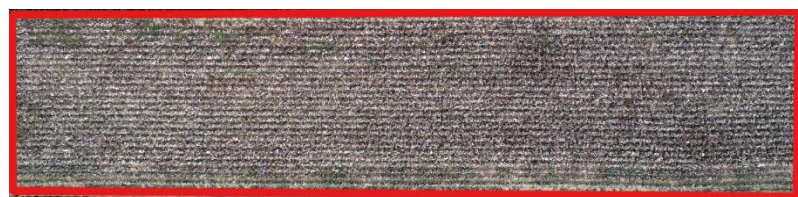
**Εικόνα 2.8. Parrot Bluegrass drone με πολυφασματικό αισθητήρα Sequoia.**

### 2.2.3. Λήψεις Εναέριων Φωτογραφιών από τα drone στο Πεδίο

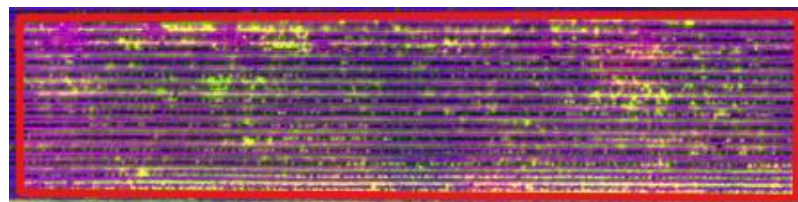
Καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης πραγματοποιούνταν συχνά πτήσεις με drone, ώστε να γίνει παρακολούθηση της καλλιέργειας μέσω της λήψης εναέριων εικόνων. Οι λήψεις αεροφωτογραφιών ολόκληρου του πειραματικού αγρού για την παρακολούθηση της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκαν στα 250 m. Η Εικόνα 2.9 αποτελεί αεροφωτογραφία που λήφθηκε από την RGB κάμερα του drone DJI Phantom για το χωράφι Agrology, στις 09/07 πριν την εμφάνιση καψών και η Εικόνα 2.10 αφορά τις 02 /10 ακριβώς πριν την έναρξη συγκομιδής του βαμβακιού με το χέρι. Στις Εικόνες 2.11 και 2.12 φαίνονται ενδεικτικά οι λήψεις της κάμερας του Parrot Bluegrass για τις ημερομηνίες 09/07 και 04/10 αντίστοιχα για το ίδιο χωράφι.



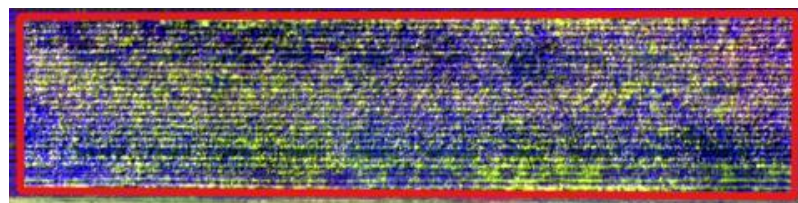
**Εικόνα 2.9. RGB εικόνα του χωραφιού Agrology στις 09/07/2020.**



**Εικόνα 2.10. RGB εικόνα του χωραφιού Agrology στις 02/10/2020.**



**Εικόνα 2.11. Εικόνα Χωραφιού Agrology στις 09/07/2020 από πολυφασματικά κανάλια της κάμερας του Parrot Bluegrass.**



**Εικόνα 2.12. Εικόνα του χωραφιού Agrology στις 04/10/2020 από πολυφασματικά κανάλια της κάμερας του Parrot Bluegrass.**

**Πίνακας 2.3. Πρόγραμμα πτήσεων των Parrot Bluegrass και DJI Phantom για τα χωράφια Agrology, Field 1 & Field 2.**

<b>Χωράφι</b>	<b>Ημερομηνία</b>	<b>Drone</b>	
Agrology	09/07	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Agrology	21/07	-	DJI Phantom
Agrology	02/08	-	DJI Phantom
Agrology	12/08	-	DJI Phantom
Agrology	31/08	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Agrology	23/09	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Agrology	02/10	-	DJI Phantom
Agrology	04/10	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Agrology	07/10	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
<b>Χωράφι</b>	<b>Ημερομηνία</b>	<b>Drone</b>	
Field 1 & 2	07/07	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Field 1 & 2	21/07	Parrot Bluegrass	-
Field 1 & 2	02/08	Parrot Bluegrass	-
Field 1 & 2	12/08	Parrot Bluegrass	-
Field 1 & 2	18/08	Parrot Bluegrass	-
Field 1 & 2	31/08	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Field 1 & 2	02/09	-	DJI Phantom
Field 1 & 2	17/09	-	DJI Phantom
Field 1 & 2	23/09	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Field 1 & 2	06/10	Parrot Bluegrass	DJI Phantom
Field 2	07/10	Parrot Bluegrass	DJI Phantom



## 2.2.4. Επεξεργασία εικόνων από UAV.

### 2.2.4.1. Υπολογισμός Δεικτών Βλάστησης Μέσω QGIS.

Το σύνολο των εικόνων που ανακτήθηκαν από τις πτήσεις των DJI Phantom P4 και Parrot Bluegrass αξιοποιήθηκαν με σκοπό να πραγματοποιηθεί η τρέχουσα πτυχιακή εργασία. Αναφορικά με το πρώτο σκέλος, οι εικόνες περάστηκαν στο QGIS ώστε να γίνει σωστή γεωδαισία και να αποτυπωθούν σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Ακολούθησε οριοθέτηση του χωραφιού και των υπό εξέταση περιοχών μέσω GPS. Έπειτα, υπολογίστηκαν οι δείκτες βλάστησης NDVI, NDRE και VARI. Με σκοπό να εξαχθούν τα κατάλληλα pixel για κάθε μεταχείριση και κάθε περιοχή εξέτασης, περάστηκαν στο QGIS vector αρχεία με σαφή όρια για κάθε περιοχή και μεταχείριση και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν μάσκες για κάθε μια από αυτές. Οι μάσκες διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να παραλείπουν τα περιφερειακά σημεία των παραπάνω ώστε τα όρια τους να μην επηρεάζονται από τις δίπλα περιοχές που δυνητικά θα μπορούσαν να αλλοιώσουν το τελικό αποτέλεσμα. Οι μάσκες αυτές αξιοποιήθηκαν τόσο για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης όσο και για τον προσδιορισμό του CFI. Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό των δεικτών χρησιμοποιήθηκαν ώστε να κατασκευαστούν οι χρονοσειρές τους, αλλά και για να γίνουν οι συσχετίσεις με την τελική παραγωγή. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.2.2, οι εικόνες του DJI Phantom δίνουν τον δείκτη βλάστησης VARI και CFI. Οι εικόνες του Parrot Bluegrass δίνουν τον NDVI και τον NDRE. Το band setting της κάθε κάμερας που απαρτίζουν τα άνωθεν drone περιγράφεται στους Πίνακες 2.4 και 2.5.

**Πίνακας 2.4. Band setting πολυφασματικού αισθητήρα Sequoia του Parrot Bluegrass.**

Κανάλι	Χρώμα	Μήκος Κύματος, nm	Εύρος καναλιού, nm
B1	Green	550	40
B2	Red	660	40
B3	Red-Edge	735	10
B4	near InfraRed (NIR)	790	40

**Πίνακας 2.5. Band setting RGB CMOS αισθητήρα του DJI Phantom.**

Κανάλι	Χρώμα
B1	Red
B2	Green
B3	Blue

Όλοι οι δείκτες (πλην του CFI) υπολογίστηκαν μέσω του QGIS και ο υπολογισμός τους έγινε μέσω των καναλιών που υφίστανται στην κάθε κάμερα. Συνεπώς, προέκυψαν οι ακόλουθες εξισώσεις για τον εκάστοτε δείκτη βάσει των Πινάκων 2.4 και 2.5.

#### **Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς- Normalized Difference Vegetation ή NDVI**

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

#### **Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής- Normalized Difference of Red Edge ή NDRE**

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

#### **Δείκτης μη ευαίσθητος στις ατμοσφαιρικές επιπτώσεις- Visible Atmospherically Resistant Index ή VARI**

$$VARI = \frac{B2 - B1}{B2 + B1 - B3}$$

#### **2.2.4.2. Υπολογισμός Δείκτη Ινών Βαμβακιού- Cotton Fiber Index ή CFI**

Αναφορικά με το δεύτερο σκέλος της εργασίας, όπως προαναφέρθηκε, ο CFI αποτελεί το μέσο για τον προσδιορισμό του βαμβακιού στην τηλεπισκοπική παρακολούθηση. Για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου δείκτη έγινε λήψη RGB φωτογραφιών με υψηλότερη ανάλυση, δηλαδή κατά τη διάρκεια της λήψης το DJI Phantom drone βρισκόταν στα 15 m από την επιφάνεια του εδάφους. Οι λήψεις σε όλα τα χωράφια πραγματοποιήθηκαν στις 02/10/2020 ώστε να αποτυπωθούν με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι ανοιχτές κάψες του βαμβακιού. Η οριοθέτηση των επιλεγμένων σημείων έγινε με χρήση μάσκας βάση γεωδαισίας της εκάστοτε εικόνας. Η εξίσωση του δείκτη περιγράφεται ακολούθως:

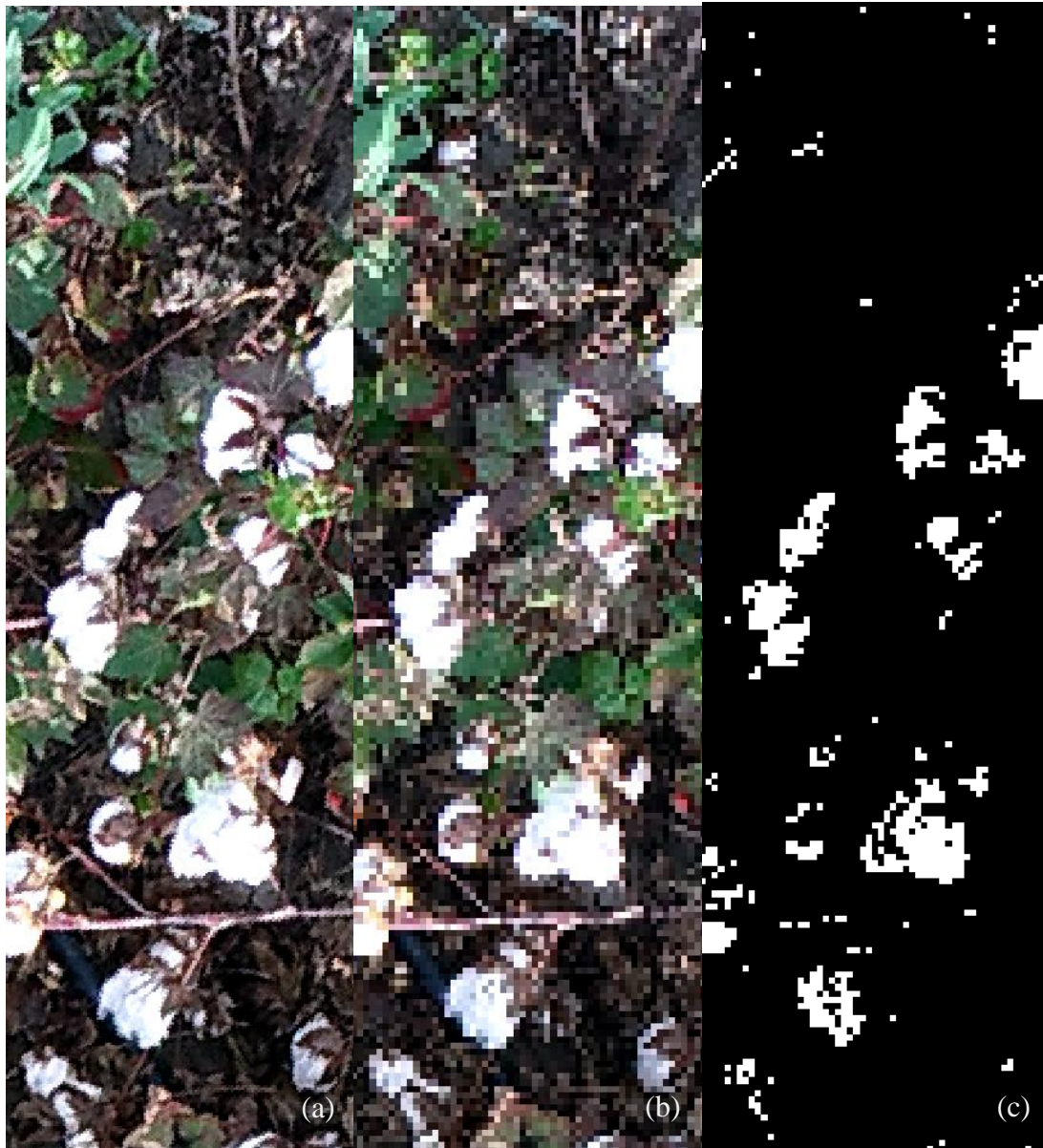
$$CFI = \frac{\text{αριθμός pixel που αντιστοιχούν σε βαμβάκι}}{\text{συνολικός αριθμός pixel της περιοχής ενδιαφέροντος}}$$

Ο υπολογισμός των pixel για την συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε τόσο με ημιαυτόνομες όσο και με χειροκίνητες τεχνικές. Και στις δύο περιπτώσεις, ήταν απαραίτητος ο διαχωρισμός των ανοιχτών καψών από τα υπόλοιπα στοιχεία της

εικόνας όπως νεκροί βλαστοί και κλάδοι βαμβακιού, έδαφος και λοιπά φύλλα πεσμένα από την αποφύλλωση. Ακολουθεί η περιγραφή των διαδικασιών για τις δυο μεθόδους που αξιοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία.

#### **A) Ο ημιαυτόνομος τρόπος περιλαμβάνει συνδυασμό χρήσης SNAP και QGIS.**

Αρχικά, οι εικόνες εισήχθησαν στο QGIS με σκοπό να γίνει reprojection και έπειτα στο SNAP όπου και πραγματοποιήθηκε ο ημιαυτόνομος διαχωρισμός των επιθυμητών στοιχείων. Με τον όρο reprojection, περιγράφεται η διαδικασία κατά την οποία δύναται να μεταβληθεί η ανάλυση μιας εικόνας (τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω) με ομοιόμορφη κατανομή των νέων pixel. Εδώ, μέσω του reprojection μεταβλήθηκε το μέγεθος των pixel από 3.168 mm σε 5.003 mm και είχε ως κύριο στόχο να έχει η νέα εικόνα την κατάλληλη ανάλυση ώστε να προχωρήσει και να είναι πιο εύστοχη η ταξινόμηση. Η νέα εικόνα, εισήχθη στο SNAP και ακολούθησε εποπτευόμενη ταξινόμηση (supervised classification) με τη χρήση Random Forest Classifier. Η Random Forest αποτελεί μια μέθοδο ταξινόμησης που λειτουργεί κατασκευάζοντας πληθώρα διακλαδιζόμενων αποφάσεων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ταξινόμησης. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί ουσιαστικά ένα φίλτρο κατευθυνόμενης ταξινόμησης. Βάσει αυτού του φίλτρου, ταξινομήθηκε το σύνολο των εικόνων. Εδώ, το λευκό χρώμα έχει αποδοθεί στις ανοιχτές κάψες του βαμβακιού και το μαύρο τα υπόλοιπα στοιχεία που βρίσκονται στο χωράφι. Μετά την ταξινόμηση, ακολούθησε εκ νέου ανάλυση των εικόνων στο QGIS ώστε να γίνει μεν η εξαγωγή των δεδομένων, αλλά βάση πάντα των μασκών οριοθέτησης των επιθυμητών περιοχών. Η διαδοχή των σταδίων επεξεργασίας εικόνας δίνεται στην Εικόνα 2.13 όπου, το (a) αποτελεί μια εστιασμένη περιοχή από το plot 1 του χωραφιού Field 2 που έχει ληφθεί από την RGB κάμερα του DJI Phantom. Το (b) αποτελεί την ίδια περιοχή έπειτα από reprojection και το (c) δείχνει την εικόνα του reprojection έπειτα από Random Forest ταξινόμηση.



Εικόνα 2.13. Εστιασμένη περιοχή αεροφωτογραφίας του plot 1 από το χωράφι Field 2 όπως ακριβώς προκύπτει από τη λήψη στα 15 m (μέγεθος pixel 3.168 mm) (a), έπειτα από reprojection (μέγεθος pixel 5.003 mm) (b) και (b) μετά από ταξινόμηση με Random Forest Classifier (c). Τα λευκά pixel αποτελούν τις ανοιχτές κάψες βαμβακιού, ενώ τα μαύρα pixel οποιοδήποτε άλλο στοιχείο ενρίζεται στο πειραματικό plot.

## B) Συνδυασμός χρήσης ImageJ και QGIS.

Η διαδικασία αρχίζει με πρώτο βήμα την περικοπή των RGB εικόνων στο QGIS σύμφωνα με τις ήδη υπάρχουσες μάσκες καθορισμού των ορίων του εκάστοτε plot. Μετά την περικοπή τους, οι εικόνες εισήχθησαν στο ImageJ. Το ImageJ ως πρόγραμμα έχει αρκετά εργαλεία επεξεργασίας εικόνων. Στην προκειμένη περίπτωση

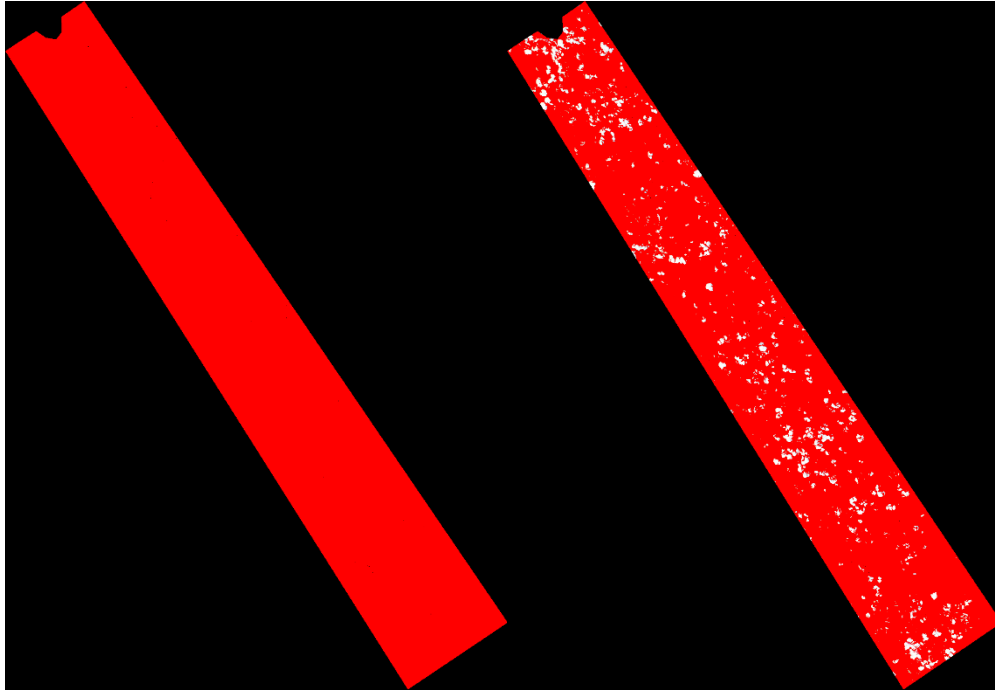


**Εικόνα 2.14.** Plot 1 του Field 2 αμέσως μετά την περικοπή με εφαρμογή μάσκας.

έγινε χρήση του εργαλείου Threshold Color και βάσει αυτού διαχωρίστηκαν και καταμετρήθηκαν τα εικονοστοιχεία των ανοιχτών καψών βαμβακιού και τα υπόλοιπα στοιχεία του χωραφιού. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή και ως τμηματοποίηση και διαχωρίζει τα εικονοστοιχεία με γνώμονα κάποιες συγκεκριμένες τιμές εντάσεων. Μολονότι η συγκεκριμένη ακολουθία αποτελεί έναν αρκετά εύχρηστο και γρήγορο τρόπο καταμέτρησης, πρέπει να τονισθεί ότι η ταξινόμηση της κάθε εικόνας βρίσκεται στην

ευχέρεια και στην κρίση του χρήστη. Η Εικόνα 2.14 αποτελεί αεροφωτογραφία από το plot 1 του χωραφιού Field 2 έπειτα από εφαρμογή μάσκας. Η Εικόνα 2.15 δείχνει το ίδιο plot, στο οποίο έχει σηματοδευτεί το σύνολο των pixel για την καταμέτρησή τους. Και τέλος, η Εικόνα 2.16 προκύπτει έπειτα από επεξεργασία μέσω Threshold Color της Εικόνας 2.15 ώστε με λευκό να αποδίδονται οι λευκές κάψες του βαμβακιού και με κόκκινο τα υπόλοιπα στοιχεία του αγρού. Μερικές εντολές του προγράμματος μπορούν πολύ εύκολα να μετρήσουν pixel εικόνας που με το χέρι θα ήταν αδύνατο να υπολογιστούν. Υπό ιδανικές συνθήκες, οι τιμές έντασης των εικονοστοιχείων με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, θα αποτελούσαν ένα μοναδικό υποσύνολο της εικόνας και η διάκρισή τους από τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία θα ήταν εύκολη. Στην πράξη όμως, αυτό συμβαίνει σπάνια και έγκειται στο γεγονός ότι υπάρχει περίπτωση ένα μη επιθυμητό εξ όψεως pixel να βρίσκεται εντός του προκαθορισμένου εύρους τιμών εικονοστοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση, το pixel αυτό θα συνυπολογιστεί με τα υπόλοιπα επιθυμητά. Το ίδιο συμβαίνει και με την ταξινόμηση Random Forest, με τη διαφορά ότι το εύρος τιμών των επιθυμητών εικονοστοιχείων καθορίζεται μια φορά,

με την έναρξη της διαδικασίας και ακολουθεί αυτόματος μηχανισμός ταξινόμησης όλων των εικόνων, ενώ στην περίπτωση του Threshold Color το εύρος τιμών πρέπει να το επαναπροσδιορίζει ο χρήστης σε κάθε εικόνα βάσει της δικής του αντίληψης και κρίσης.



Εικόνα 2.15. Plot 1 του Field 2 έπειτα από Εικόνα 2.16. Εικόνα 2.15 έπειτα από  
σήμανση μέσω Threshold color για σήμανση όλων των pixel του plot  
καταμέτρηση όλων των pixel του plot. εξαιρουμένων αυτών που αντιστοιχούν στις  
λευκές ανοιχτές κάψες

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1. Μετρήσεις τελικής παραγωγής

Αναλυτικά για κάθε πειραματικό αγρό προέκυψαν οι Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3 για τα Field 1, Field 2 και Agrology χωράφια αντίστοιχα. Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε με το χέρι και συγκομίστηκαν ανοιχτές κάψες (καρύδια) και κλειστές κάψες βαμβακιού. Οι κλειστές κάψες παρέμειναν σε κατάλληλη θερμοκρασία ώστε να ανοίξουν με φυσικό τρόπο. Οι κάψες καταμετρήθηκαν και ως πρώτο χέρι (1<sup>st</sup> hand) αποδίδονται οι εξ αρχής ανοιχτές κάψες, ενώ ως δεύτερο (2<sup>nd</sup> hand) οι κλειστές κάψες οι οποίες άνοιξαν μετά τη συγκομιδή. Στο σύνολο (Total), δίδεται το άθροισμα των χεριών. Η παραγωγή εκφράστηκε σε απόδοση (yield) υπολογισμένη σε τόνους ανά εκτάριο και σε καρύδια (bolls) ανά μέτρο γραμμής βαμβακιού.

Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα παραγωγής από το χωράφι Field 1.

Αριθμός plot	Yield, t ha <sup>-1</sup>			Bolls/m		
	1 <sup>st</sup> hand	2 <sup>nd</sup> hand	Total	1 <sup>st</sup> hand	2 <sup>nd</sup> hand	Total
1	2.14	0.83	2.97	27	30.3	57.3
2	2.83	0.23	3.06	43	9.7	52.7
3	3.94	0.11	4.05	55	5	60
4	4.66	0.23	4.89	57	9.7	66.7
5	2.99	0.2	3.19	43.3	8	51.3
6	3.35	0.17	3.52	57	8.8	65.8
7	3.5	0.19	3.69	50	7.3	57.3
8	3.01	0.06	3.07	54.3	3.2	57.5
10	3.91	0.62	4.53	60.3	23.7	84
11	3.76	0.17	3.93	63.3	7.5	70.8

Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα παραγωγής από το χωράφι Field 2.

Αριθμός plot	Yield, t ha <sup>-1</sup>			Bolls/m		
	1 <sup>st</sup> hand	2 <sup>nd</sup> hand	Total	1 <sup>st</sup> hand	2 <sup>nd</sup> hand	Total
1	4.33	0.22	4.55	65	9.3	74.3
2	4.06	0.18	4.24	53.3	5.7	59
3	3.99	0.04	4.03	45.3	3.2	48.5
4	4.45	0.1	4.55	58.7	3.7	62.3
5	4.02	0.1	4.12	47.7	5.3	53
6	4.19	0.33	4.52	62	12	74
7	4.25	0.19	4.44	56.3	8.7	65
8	4.27	0.15	4.42	74.3	6.5	80.8

**Πίνακας 3.3 Αποτελέσματα παραγωγής από το χωράφι Agrology.**

Αριθμός plot	Yield t ha <sup>-1</sup>			Bolls /m		
	1 <sup>st</sup> hand	2 <sup>nd</sup> hand	Total	1 <sup>st</sup> hand	2 <sup>nd</sup> hand	Total
1	4.65	0.62	5.27	79.3	18.7	98
2	4.44	0.32	4.76	94.3	10	104.3
3	4.81	0.25	5.06	77.7	6.7	84.3
4	4.98	0.21	5.19	70.7	5	75.7
5	5.02	0.06	5.08	87	1.7	88.7
6	4.58	0.11	4.69	73	1.3	74.3
7	5.13	0.15	5.28	76.3	3.7	80
8	4.76	0.11	4.87	85.7	2.7	88.3
9	4.7	0.19	4.89	77	3.3	80.3
10	3.94	0.29	4.23	72.3	6.7	79
11	4.48	0.29	4.77	61.7	8.3	70
12	4.79	0.04	4.83	67.7	1	68.7
13	4.37	0.08	4.45	65	2.3	67.3
14	3.74	0.19	3.93	54	6.7	60.7
15	4.82	0.06	4.88	71	1.7	72.7
16	5.24	0.05	5.29	89	1.3	90.3
17	5.08	0.04	5.12	76.3	1	77.3
18	3.55	0.27	3.82	56.3	8.3	64.7
19	4.88	0.09	4.97	74	2.7	76.7
20	4.55	0.15	4.7	75.7	4	79.7

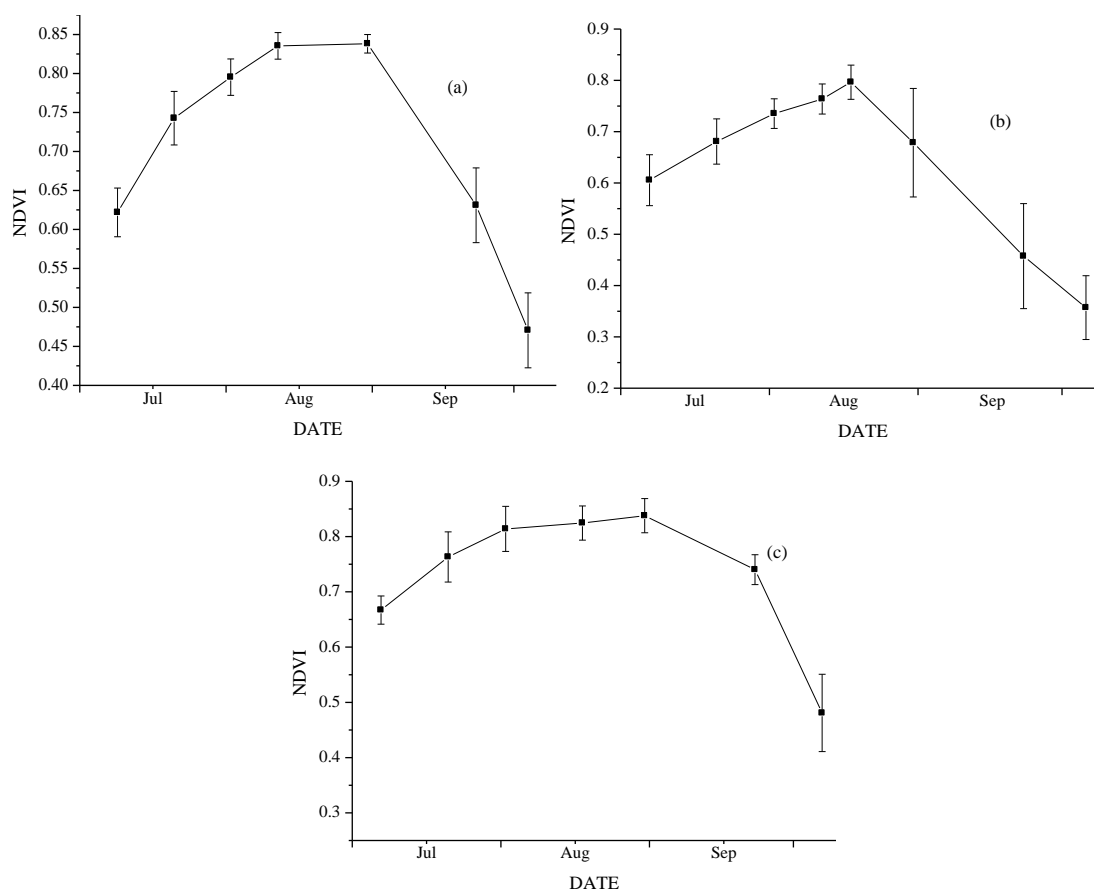


## 3.2. Χρονοσειρές Δεικτών Βλάστησης

Όπως προαναφέρθηκε, βασικός στόχος της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι να διαπιστωθεί εάν η χρήση drone ενδείκνυται ώστε να παρουσιαστεί ικανοποιητικά η πορεία της καλλιέργειας βαμβακιού. Έτσι, από τους δείκτες βλάστησης που υπολογίστηκαν, δημιουργήθηκαν χρονοσειρές για την εκάστοτε μεταχείριση. Για τη δημιουργία των χρονοσειρών έγινε χρήση του προγράμματος excel.

### 3.2.1. Χρονοσειρές NDVI

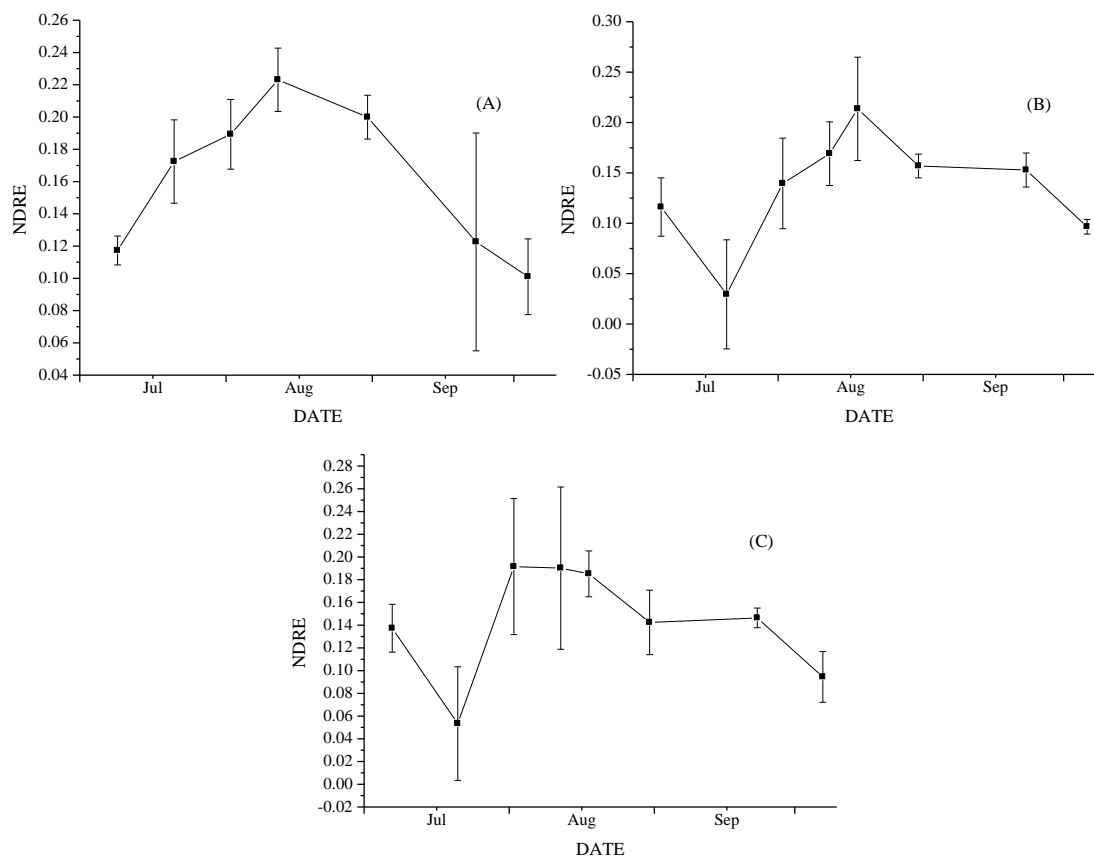
Οι χρονοσειρές του NDVI για τα τρία εξεταζόμενα χωράφια, αποτυπώνουν ικανοποιητικά το εποχικό πρότυπο της καλλιέργειας, όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 3.1.



**Σχήμα 3.1. Χρονοσειρές NDVI από το drone Parrot Bluegrass για τις μεταχειρίσεις Agrology (a), Field 1 (b) και Field 2 (c). Τα σημεία αφορούν τις μέσες τιμές ανά μεταχείριση και οι μπάρες σφαλμάτων το  $\pm$  SD.**

### 3.2.2. Χρονοσειρές NDRE

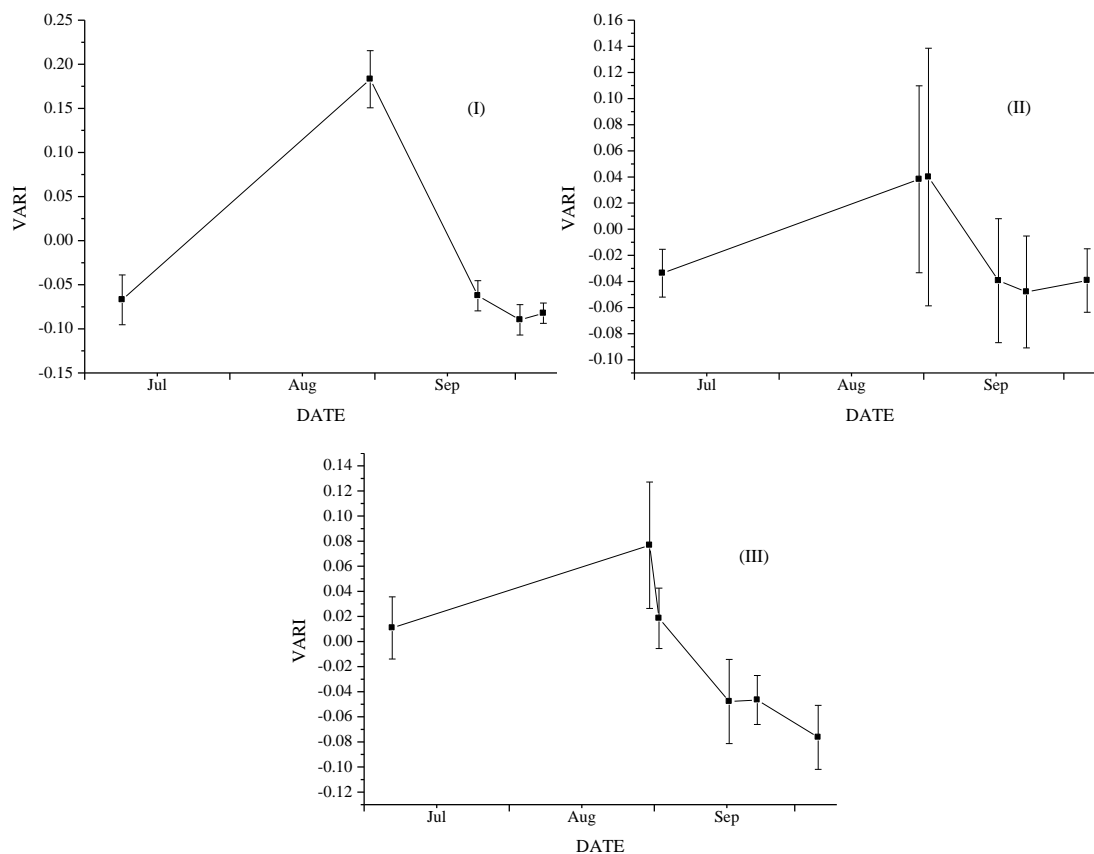
Οι χρονοσειρές του NDRE αδυνατούν να αποτυπώσουν ικανοποιητικά το εποχικό πρότυπο της καλλιέργειας, γεγονός που πιθανολογείται να οφείλεται σε τεχνικό ζήτημα, συγκεκριμένα σε πολυφασματικό κανάλι της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε.



**Σχήμα 3.2.** Χρονοσειρές NDRE από το drone Parrot Bluegrass για τις μεταχειρίσεις Agrolology (A), Field 1 (B) και Field 2 (C). Τα σημεία φέρουν τις μέσες τιμές ανά μεταχείριση και οι μπάρες σφαλμάτων το  $\pm$  SD.

### 3.2.3. Χρονοσειρές VARI

Ο δείκτης VARI, παρά τον μικρό αριθμό παρατηρήσεων ανά χωράφι, αποτυπώνει ικανοποιητικά το εποχικό πρότυπο της καλλιέργειας. Ο δείκτης αυτός, προκύπτει από χρήση UAV που φέρει συμβατική RGB κάμερα, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι δεν απαιτείται εξειδικευμένη κάμερα για την παρακολούθηση καλλιέργειας βαμβακιού.



**Σχήμα 3.3.** Χρονοσειρές VARI από το drone DJI Phantom για τις μεταχειρίσεις Agrology (I), Field 1 (II) και Field 2 (III). Τα σημεία φορούν τις μέσες τιμές ανά μεταχείριση και οι μπάρες σφαλμάτων το  $\pm$  SD.

### 3.3. Δείκτης Ινών Βαμβακιού, CFI

Κατά τον υπολογισμό του εν λόγω δείκτη, προέκυψαν οι ακόλουθοι Πίνακες 3.4 και 3.5 με αποτελέσματα, οι οποίοι στη συνέχεια συσχετίστηκαν με την τελική παραγωγή. Οι πίνακες αυτοί περιγράφουν την έκταση σε pixel που καταλαμβάνουν οι ανοιχτές κάψες βαμβακιού σε σχέση με την υπόλοιπη έκταση του εξεταζόμενου τμήματος αγρού.

**Πίνακας 3.4. Αποτελέσματα εξαγωγής CFI με τις μεθόδους Random Forest Classification και Threshold Color για τα χωράφια Agrology, Field 1 και Field 2 ανά plot.**

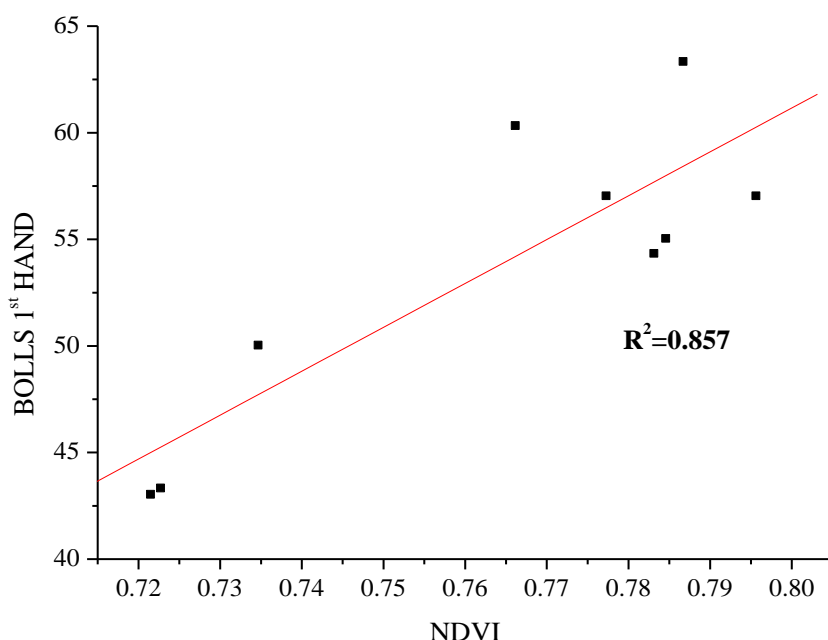
Random Forest Classification			Αριθμός Plot	Threshold Color		
Agrology	CFI			Agrology	CFI	
	Field 1	Field 2		Field 1	Field 2	
0.150	-	0.101	<b>1</b>	0.121	-	0.114
0.145	-	0.132	<b>2</b>	0.152	-	0.117
0.136	-	0.102	<b>3</b>	0.092	-	0.099
0.108	-	0.124	<b>4</b>	0.102	-	0.124
0.096	-	-	<b>5</b>	0.081	-	-
0.112	-	0.107	<b>6</b>	0.127	-	0.108
0.097	0.115	0.112	<b>7</b>	0.113	0.063	0.056
0.099	0.106	0.121	<b>8</b>	0.138	0.063	0.094
0.093	-	-	<b>9</b>	0.101	-	-
0.093	0.154	-	<b>10</b>	0.097	0.080	-
0.101	0.112	-	<b>11</b>	0.135	0.061	-
0.110	-	-	<b>12</b>	0.132	-	-
0.110	-	-	<b>13</b>	0.120	-	-
0.118	-	-	<b>14</b>	0.094	-	-
0.130	-	-	<b>15</b>	0.106	-	-
0.109	-	-	<b>16</b>	0.087	-	-
0.104	-	-	<b>17</b>	0.093	-	-
0.100	-	-	<b>18</b>	0.091	-	-
0.093	-	-	<b>19</b>	0.093	-	-
0.093	-	-	<b>20</b>	0.076	-	-

### 3.4. Συσχετίσεις

Με σκοπό να αναδειχθεί το πόσο συσχετίζονται τα υπό εξέταση δεδομένα, έγινε χρήση του συντελεστή συσχέτισης Pearson ο οποίος υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος excel. Ο συντελεστής αυτός, αποτελεί μέτρο ισχύος μιας γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο ανεξάρτητων μεταβλητών  $x$  και  $y$  και συμβολίζεται με το  $R^2$ . Οι τιμές του κυμαίνονται από  $-1$  έως και  $+1$ , με την τιμή  $0$  να καταδεικνύει την απουσία συσχέτισης μεταξύ των 2 μεταβλητών. Τιμές μεγαλύτερες του μηδενός δείχνουν θετική συσχέτιση, πράγμα που σημαίνει πως με την αύξηση της τιμής της μιας μεταβλητής, αυξάνεται και η τιμή της άλλης μεταβλητής. Αντίθετα, τιμές μικρότερες από μηδέν, υποδηλώνουν αρνητική συσχέτιση. Εδώ, με την αύξηση της τιμής της μίας μεταβλητής, παρατηρείται μείωση στην τιμή της άλλης μεταβλητής.

#### 3.4.1. Συσχετίσεις NDVI με τελική παραγωγή

Γενικά, τιμές  $R^2$  μεγαλύτερες του  $0,6$  υποδηλώνουν καλή συσχέτιση μεταξύ δυο υπό εξέταση μεταβλητών. Στον Πίνακα 3.5, στις ημερομηνίες 21/07, 02/08, 12/08 και 18/08 του χωραφιού Field 1, διακρίνεται μια διαδοχή καλών συσχετίσεων, με την βέλτιστη να εμφανίζεται στις 12/08 στην τιμή  $R^2=0.857$  (Σχήμα 3.4). Εδώ, ο NDVI συσχετίζεται καλά με τον αριθμό των καψών του πρώτου χεριού συγκομιδής.



Σχήμα 3.4. Συσχέτιση μεταξύ πρώτου χεριού συγκομιδής καψών βαμβακιού και NDVI για την ημερομηνία 12/08 στο χωράφι Field 1, όπου έχει επιτευχθεί η καλύτερη συσχέτιση  $R^2=0.857$ .

Για το σύνολο των χωραfiών, η μεγαλύτερη τιμή συσχέτισης παρατηρείται κατά μέσο όρο στις 31/08 όπου  $R^2 = 0.746$  και είναι αρκετά ικανοποιητική.

Πίνακας 3.5. Αποτελέσματα συσχετίσεων συντελεστή Pearson R<sup>2</sup> μεταξύ NDVI και τελικής παραγωγής για τα χωράφια Agrolology, Field 1 και Field 2 ανά ημερομηνία. Η τελική παραγωγή Yield 1, Yield 2 και Yield Total, με την οποία έγινε η συσχέτιση, αφορά το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> χέρι συγκομιδής και το άθροισμα αυτών αντίστοιχα και είναι εκφρασμένα σε t ha<sup>-1</sup>. Όμοια Bolls 1, Bolls 2 και Bolls Total αφορούν το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και σύνολο της συγκομιδής που αντιστοιχούν σε ακριβή αριθμό καψών βαμβακιού ανά μέτρο σειράς. Με bold έχουν σημειωθεί οι καλύτερες τιμές συσχετίσεων.

Χωράφι	Ημερομηνία	Yield 1	Yield 2	Yield Total	Bolls 1	Bolls 2	Bolls Total
Agrolology	09-07-20	0.023	0.135	0.070	0.434	0.126	0.456
	21-07-20	0.226	0.327	0.351	<b>0.613</b>	0.270	<b>0.679</b>
	02-08-20	0.223	0.316	0.345	<b>0.608</b>	0.284	<b>0.680</b>
	12-08-20	0.021	0.300	0.122	0.235	0.347	0.355
	31-08-20	-0.200	0.243	-0.134	-0.062	0.291	0.056
	23-09-20	-0.512	0.277	-0.458	-0.260	0.256	-0.143
	04-10-20	-0.274	0.189	-0.231	-0.011	0.220	0.076
	07-10-20	0.094	0.194	0.165	0.305	0.079	0.315
Field 1	07-07-20	0.551	-0.445	0.387	0.481	-0.441	0.079
	21-07-20	0.287	-0.002	0.259	<b>0.753</b>	0.048	0.545
	02-08-20	0.596	-0.317	0.460	<b>0.781</b>	-0.272	0.382
	12-08-20	<b>0.665</b>	-0.125	0.570	<b>0.857</b>	-0.083	0.541
	18-08-20	<b>0.705</b>	-0.084	<b>0.616</b>	<b>0.765</b>	-0.098	0.470
	31-08-20	<b>0.622</b>	0.541	<b>0.696</b>	0.326	0.506	0.513
	23-09-20	0.453	<b>0.739</b>	0.593	0.424	<b>0.722</b>	<b>0.703</b>
	06-10-20	0.537	<b>0.740</b>	<b>0.668</b>	0.620	<b>0.740</b>	<b>0.848</b>
Field 2	07-07-20	<b>0.659</b>	<b>0.628</b>	<b>0.799</b>	<b>0.690</b>	0.597	<b>0.741</b>
	21-07-20	<b>0.739</b>	-0.029	0.575	0.564	-0.151	0.434
	02-08-20	0.557	0.002	0.444	0.251	-0.021	0.205
	12-08-20	0.137	-0.016	0.102	0.240	-0.110	0.172
	18-08-20	0.383	<b>0.773</b>	<b>0.643</b>	0.502	<b>0.750</b>	<b>0.625</b>
	31-08-20	0.072	0.156	0.126	-0.163	-0.058	-0.155
	23-09-20	-0.405	0.305	-0.189	-0.070	0.225	0.003
	07-10-20	0.150	<b>0.649</b>	0.404	-0.136	0.587	0.042
Σύνολο	07-07-20	0.252	-0.102	0.233	0.210	-0.092	0.178
	21-07-20	0.505	0.025	0.516	0.564	-0.099	0.532
	02-08-20	0.579	-0.072	0.570	0.519	-0.193	0.453
	12-08-20	<b>0.670</b>	-0.065	<b>0.663</b>	<b>0.616</b>	-0.248	0.531
	18-08-20	<b>0.717</b>	-0.022	<b>0.681</b>	0.589	-0.082	0.430
	31-08-20	<b>0.712</b>	0.122	<b>0.746</b>	<b>0.604</b>	-0.119	0.566
	23-09-20	0.499	0.229	0.555	0.550	-0.015	0.550
	06-10-20	0.551	0.163	0.595	0.598	-0.020	0.608
07-10-20	0.519	0.219	0.573	0.650	-0.041	0.640	

### 3.4.2. Συσχετίσεις NDRE με τελική παραγωγή

Βάσει των ιδιοτήτων του, ο δείκτης αναμένεται να παρουσιάσει παραπλήσιες τιμές συσχετίσεων με τελική παραγωγή, με τον NDVI.

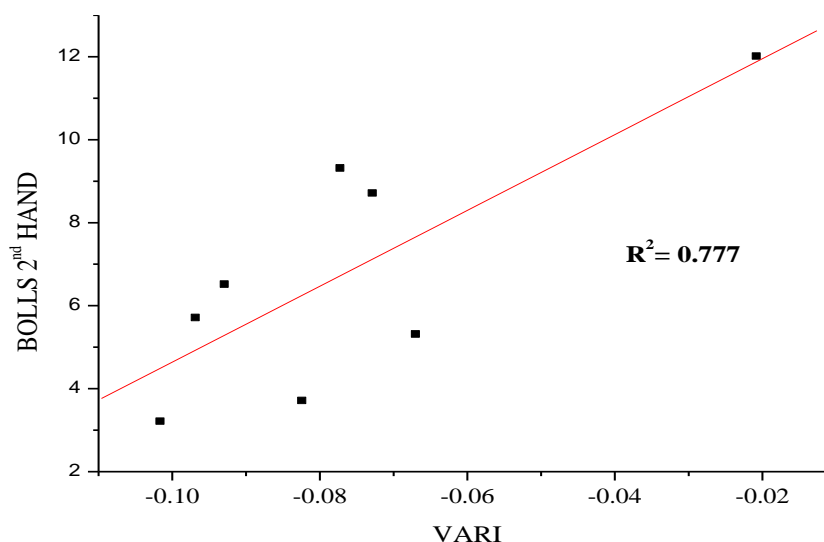
Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα συσχετίσεων συντελεστή Pearson  $R^2$  μεταξύ NDRE και τελικής παραγωγής για τα χωράφια Agrology, Field 1 και Field 2 ανά ημερομηνία. Η τελική παραγωγή Yield 1, Yield 2 και Yield Total, με την οποία έγινε η συσχέτιση, αφορά το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> χέρι συγκομιδής και το άθροισμα αυτών αντίστοιχα και είναι εκφρασμένα σε  $t\ ha^{-1}$ . Όμοια Bolls 1, Bolls 2 και Bolls Total αφορούν το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και σύνολο της συγκομιδής που αντιστοιχούν σε ακριβή αριθμό καψών βαμβακιού ανά μέτρο σειράς. Με bold έχουν σημειωθεί οι καλύτερες τιμές συσχετίσεων.

Χωράφι	Ημερομηνία	Yield 1	Yield 2	Yield Total	Bolls 1	Bolls 2	Bolls Total
Agrology	09-07-20	0.021	0.341	0.136	0.491	0.256	0.560
	21-07-20	0.173	0.242	0.267	0.441	0.196	0.489
	02-08-20	0.373	0.120	0.440	0.408	0.032	0.395
	12-08-20	0.070	<b>-0.643</b>	-0.138	-0.344	-0.544	-0.534
	31-08-20	0.112	-0.245	0.039	0.025	-0.277	-0.084
	23-09-20	-0.464	0.317	-0.394	-0.113	0.270	0.000
	04-10-20	-0.223	0.024	-0.232	-0.234	0.121	-0.173
	07-10-20	-0.014	0.018	-0.009	0.098	0.068	0.118
Field 1	07-07-20	0.402	-0.428	0.258	0.626	-0.407	0.198
	21-07-20	0.097	<b>-0.752</b>	-0.098	0.450	<b>-0.728</b>	-0.106
	02-08-20	-0.057	<b>-0.662</b>	-0.216	0.046	<b>-0.614</b>	-0.319
	12-08-20	0.003	<b>-0.857</b>	-0.209	0.187	<b>-0.819</b>	-0.338
	18-08-20	-0.055	-0.163	-0.090	-0.142	-0.200	-0.211
	31-08-20	-0.013	0.357	0.076	-0.002	0.401	0.227
	23-09-20	0.118	0.177	0.150	0.301	0.108	0.268
	06-10-20	-0.171	0.154	-0.117	0.158	0.250	0.252
Field 2	07-07-20	-0.022	<b>0.734</b>	0.304	0.289	<b>0.680</b>	0.427
	21-07-20	0.483	-0.407	0.206	0.330	-0.515	0.138
	02-08-20	0.078	-0.378	-0.104	-0.187	-0.201	-0.212
	12-08-20	-0.190	-0.409	-0.331	-0.083	-0.354	-0.164
	18-08-20	0.427	0.030	0.353	0.091	0.117	0.107
	31-08-20	0.575	0.288	0.584	0.180	0.250	0.217
	23-09-20	-0.283	0.529	0.007	-0.058	0.459	0.075
	07-10-20	-0.396	0.328	-0.172	-0.257	0.290	-0.137
Σύνολο	07-07-20	0.115	-0.022	0.112	0.123	-0.006	0.122
	21-07-20	<b>0.628</b>	-0.194	0.593	<b>0.750</b>	-0.465	0.588
	02-08-20	0.395	-0.294	0.336	0.308	-0.376	0.174
	12-08-20	0.369	-0.456	0.275	0.309	-0.547	0.115
	18-08-20	-0.227	-0.041	-0.227	-0.144	-0.044	-0.135
	31-08-20	0.500	-0.012	0.503	0.593	-0.242	0.510
	23-09-20	-0.406	0.275	-0.351	-0.244	0.287	-0.142
	06-10-20	-0.054	0.022	-0.050	-0.060	0.069	-0.035
	07-10-20	0.485	0.091	0.510	0.422	-0.068	0.401

Στην περίπτωση συσχέτισης του δείκτη NDRE με την τελική παραγωγή, παρουσιάζονται πιο διάσπαρτες τιμές καλών συσχετίσεων (Πίνακας 3.6). Εκεί που ο NDVI παρουσίαζε στις 12/08 με το πρώτο χέρι συγκομιδής καψών βαμβακιού, μέγιστη τιμή  $R^2=0.857$ , εδώ η ίδια συσχέτιση με τον NDRE δίνει  $R^2=0.187$ . Επίσης, από τις συσχετίσεις έχει προκύψει ένα πλήθος αρνητικών τιμών  $R^2$  οι οποίες εξ ιδιότητας του NDRE να εμφανίζει παρόμοια αντίδραση με τον NDVI, δεν δικαιολογούνται. Δεδομένου αυτών, συνδυαστικά με το γεγονός ότι οι χρονοσειρές των δύο αυτών δεικτών δεν εμφανίζουν την ομοιομορφία που θα έπρεπε, οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι, πιθανώς να υπήρξε τεχνικό πρόβλημα και ιδίως στο κανάλι του Red Edge του πολυφασματικού αισθητήρα της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε.

### 3.4.3. Συσχετίσεις VARI με τελική παραγωγή

Ο δείκτης VARI εμφανίζει ικανοποιητικές τιμές συσχετίσεων (Πίνακας 3.7), με την βέλτιστη να είναι  $R^2 = 0,777$  στις 06/10 μεταξύ VARI και δεύτερου χεριού συγκομισμένων καψών βαμβακιού.



Σχήμα 3.5. Συσχέτιση μεταξύ VARI και 2<sup>ου</sup> χεριού συγκομισμένων καψών βαμβακιού για την ημερομηνία 06/010 στο χωράφι Field 2, όπου έχει επιτευχθεί η καλύτερη συσχέτιση.



Πίνακας 3.7. Αποτελέσματα συσχετίσεων συντελεστή Pearson R<sup>2</sup> μεταξύ VARI και τελικής παραγωγής για τα χωράφια Agrolology, Field 1 και Field 2 ανά ημερομηνία. Η τελική παραγωγή Yield 1, Yield 2 και Yield Total, με την οποία έγινε η συσχέτιση, αφορά το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> χέρι συγκομιδής και το άθροισμα αυτών αντίστοιχα και είναι εκφρασμένα σε t ha<sup>-1</sup>. Όμοια Bolls 1, Bolls 2 και Bolls Total αφορούν και εδώ το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και σύνολο της συγκομιδής που αντιστοιχούν σε ακριβή αριθμό καψών βαμβακιού ανά μέτρο σειράς. Με bold έχουν σημειωθεί οι καλύτερες τιμές συσχετίσεων.

Χωράφι	Ημερομηνία	Yield 1	Yield 2	Yield Total	Bolls 1	Bolls 2	Bolls Total
Agrolology	09-07-20	-0.166	-0.343	-0.292	-0.410	-0.214	-0.467
	31-08-20	-0.565	<b>0.734</b>	-0.364	-0.106	<b>0.662</b>	0.158
	23-09-20	0.146	0.114	0.195	<b>0.674</b>	0.039	0.648
	02-10-20	0.166	0.296	0.276	0.399	0.265	0.478
	07-10-20	0.099	0.096	0.138	0.333	-0.009	0.309
Field 1	07-07-20	-0.023	-0.442	-0.130	0.064	-0.365	-0.165
	31-08-20	0.488	<b>0.682</b>	<b>0.610</b>	0.175	<b>0.631</b>	0.480
	02-09-20	0.419	<b>0.731</b>	0.559	0.304	<b>0.703</b>	<b>0.610</b>
	17-09-20	0.247	<b>0.639</b>	0.382	0.349	<b>0.624</b>	0.596
	23-09-20	0.203	<b>0.640</b>	0.342	0.263	<b>0.627</b>	0.538
	06-10-20	-0.119	0.167	-0.066	0.344	0.131	0.311
Field 2	07-07-20	0.503	-0.534	0.166	0.328	-0.534	0.132
	31-08-20	0.282	-0.194	0.139	-0.225	-0.398	-0.299
	02-09-20	-0.113	0.313	0.047	-0.247	0.190	-0.157
	17-09-20	-0.348	0.033	-0.262	-0.421	0.011	-0.351
	23-09-20	0.097	<b>0.691</b>	0.380	0.182	0.569	0.307
	06-10-20	0.115	<b>0.761</b>	0.425	0.152	<b>0.777</b>	0.337
Σύνολο	07-07-20	-0.325	-0.246	-0.382	-0.534	0.011	-0.534
	31-08-20	0.569	0.239	<b>0.627</b>	0.565	-0.052	0.550
	02-09-20	0.209	<b>0.674</b>	0.357	0.096	<b>0.647</b>	0.372
	17-09-20	0.053	0.490	0.164	-0.028	0.481	0.198
	23-09-20	-0.067	0.397	0.019	0.046	0.440	0.205
	06-10-20	-0.490	0.314	-0.428	-0.304	0.461	-0.140
	07-10-20	-0.382	0.242	-0.333	-0.167	0.381	-0.031

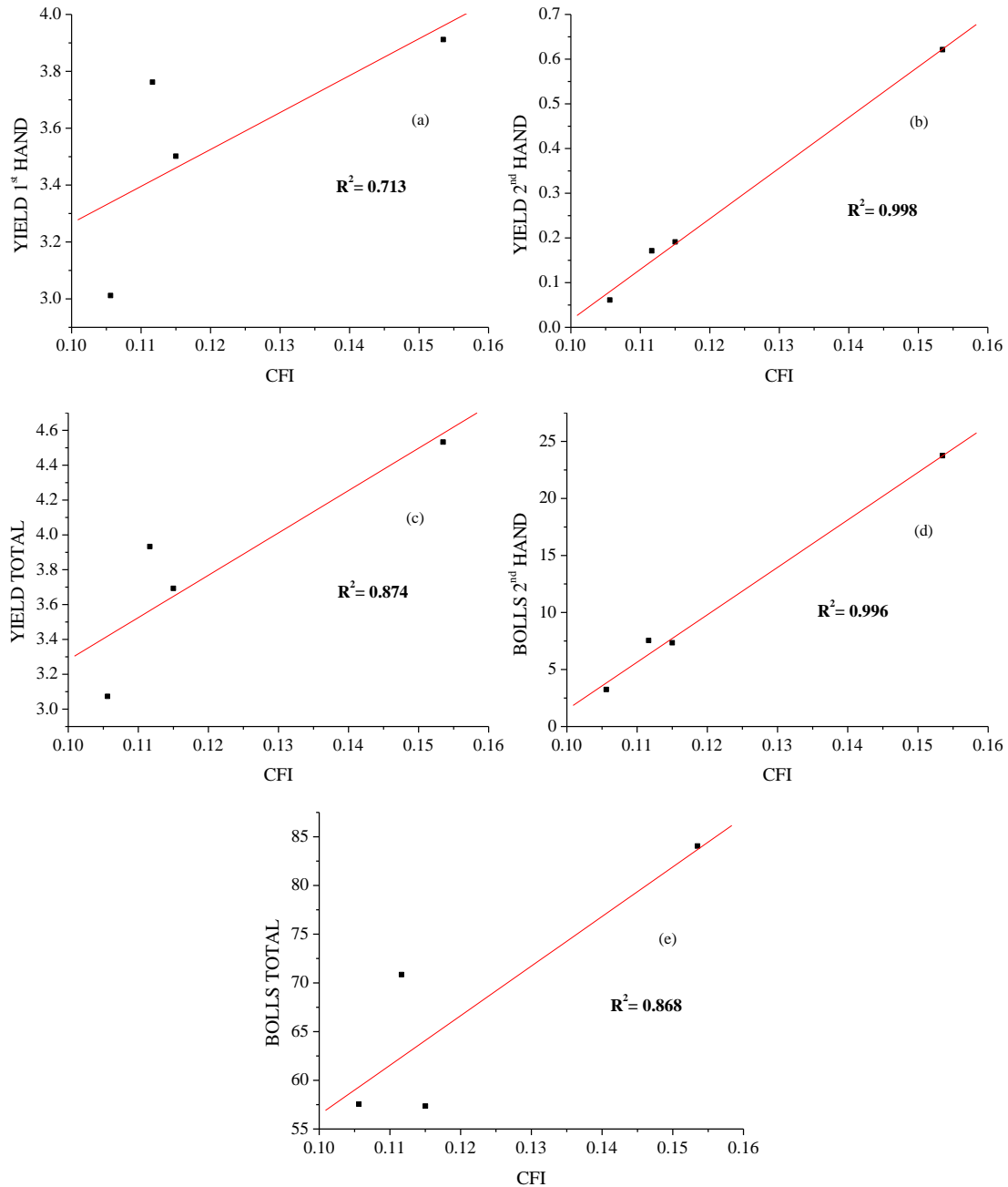
### 3.4.4. Συσχετίσεις CFI με τελική παραγωγή

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.8, τις καλύτερες τιμές συσχέτισης τις δίνει η μέθοδος ταξινόμησης Random Forest. Κατά την δημιουργία συσχετίσεων μεταξύ του CFI και της τελικής παραγωγής, μόνο το Field 1 (χωράφι ακαλλιέργειας) παρουσιάζει συσχετίσεις οι οποίες είναι πέρα για πέραν ικανοποιητικές για την πλειοψηφία των αποτελεσμάτων. Αυτό είναι πολύ πιθανό ότι οφείλεται στη μεγαλύτερη διακύμανση της παραγωγής στο συγκεκριμένο χωράφι, καθώς παρουσιάζεται ένα ικανοποιητικό εύρος τιμών απ' όπου και μπορεί να αποδοθεί η συσχέτιση. Αντίθετα, στα χωράφια Field 2 και Agrology, η διακύμανση της παραγωγής είναι πολύ μικρότερη γι' αυτό και δεν υπάρχει ικανοποιητικό εύρος τιμών το οποίο θα μπορούσε να αναδείξει πιθανή συσχέτιση. Τόσο με τη μια μέθοδο όσο και με την άλλη, τις καλύτερες τιμές συσχέτισης τις παρουσιάζει ο CFI με το 2<sup>ο</sup> χέρι απόδοσης και αριθμού καψών, γεγονός που εκ πρώτης όψεως δεν είναι και πολύ φυσιολογικό. Αναλογιζόμενοι ότι το 2<sup>ο</sup> χέρι (που αποτελεί τον αριθμό των κλειστών καψών οι οποίες συγκομίστηκαν και αφέθηκαν να ανοίξουν φυσιολογικά σε ειδικό χώρο) παρουσιάζει εξαιρετικές συσχετίσεις με τον CFI (δείκτης ο οποίος εξ ορισμού αποτελεί το ποσοστό των ανοιχτών καψών που προέκυψε από τις εικόνες drone), οδηγούμαστε στην εξής απορία: Πώς λοιπόν γίνεται να υπάρχει εξαιρετική συσχέτιση με το 2<sup>ο</sup> χέρι και όχι με το 1<sup>ο</sup>, όπως φυσιολογικά θα αναμένονταν να υπάρχει? Η απάντηση έγκειται στο γεγονός ότι η υποτυπώδης συσχέτιση που παρουσιάζεται στο 1<sup>ο</sup> χέρι και των δύο μεθόδων, πιθανώς να υποδηλώνει ότι πρόκειται για σημείο του αγρού με υψηλή παραγωγικότητα, το οποίο και επιβεβαιώνεται καθώς οι συσχετίσεις στο 2<sup>ο</sup> χέρι είναι εξαιρετικές.

**Πίνακας 3.8. Αποτελέσματα συσχετίσεων συντελεστή Pearson ( $R^2$ ) μεταξύ CFI και τελικής παραγωγής για τα χωράφια Agrology, Field 1 και Field 2 από τις μεθόδους ταξινόμησης Random Forest Classification και Threshold color για την ημερομηνία 02/10/2020. Η τελική παραγωγή Yield 1, Yield 2 και Yield Total, με την οποία έγινε η συσχέτιση, αφορά το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> χέρι συγκομιδής και το άθροισμα αυτών αντίστοιχα και είναι εκφρασμένα σε  $t\ ha^{-1}$ . Όμοια Bolls 1, Bolls 2 και Bolls Total αφορούν και εδώ το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και σύνολο της συγκομιδής που αντιστοιχούν σε ακριβή αριθμό καψών βαμβακιού ανά μέτρο σειράς. Με bold έχουν σημειωθεί οι καλύτερες τιμές συσχετίσεων.**

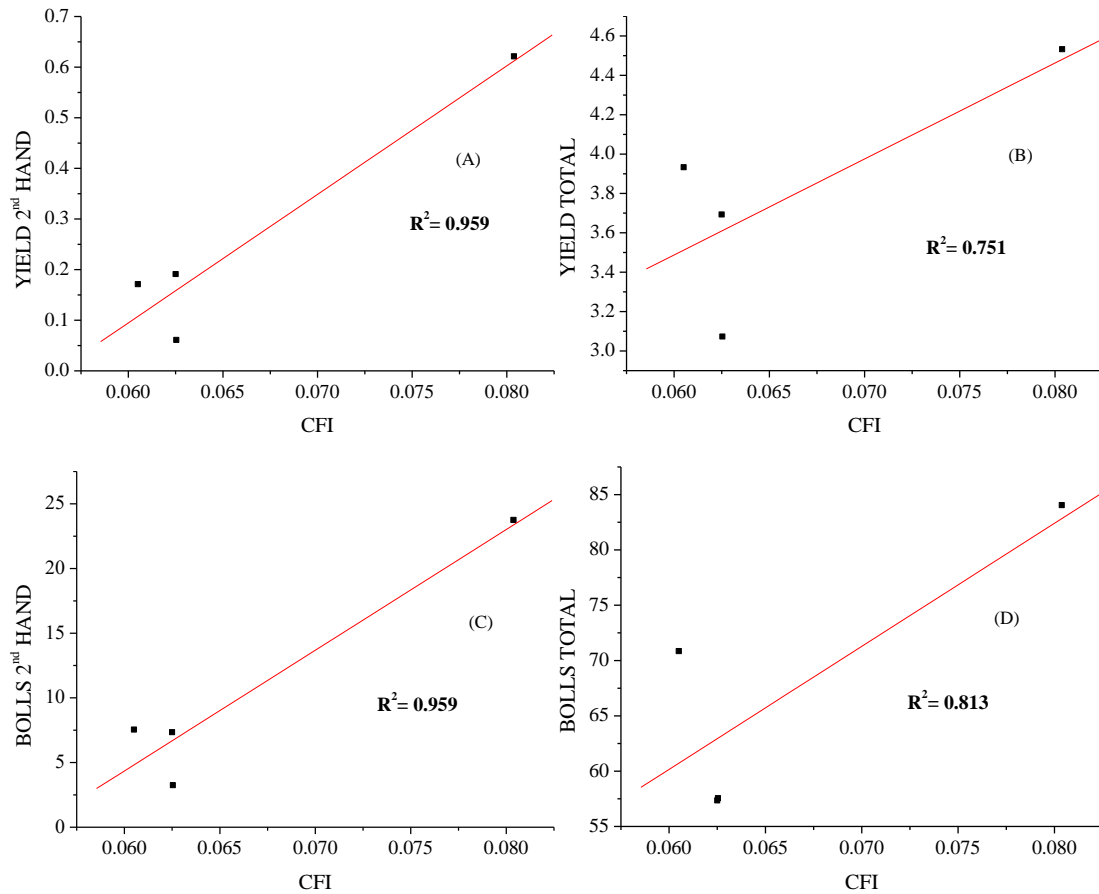
Μέθοδος Ταξινόμησης	Χωράφι	Yield 1	Yield 2	Yield Total	Bolls 1	Bolls 2	Bolls Total
Random Forest Classification	Agrology	-0.016	0.512	0.152	0.193	0.572	0.404
	Field 1	<b>0.713</b>	<b>0.998</b>	<b>0.874</b>	0.339	<b>0.996</b>	0.868
	Field 2	0.120	-0.136	0.033	0.105	-0.365	-0.019
	Σύνολο	-0.101	0.571	0.054	0.007	<b>0.606</b>	0.254
Threshold Color	Agrology	-0.029	0.238	0.048	0.118	0.236	0.202
	Field 1	0.551	<b>0.959</b>	<b>0.751</b>	0.280	<b>0.959</b>	<b>0.813</b>
	Field 2	0.123	-0.021	0.090	0.030	-0.230	-0.043
	Σύνολο	-0.027	0.187	0.024	0.083	0.122	0.130

Οι εξαιρετικές αυτές συσχετίσεις όμως, προέκυψαν μόνο από 4 plot του πειραματικού αγρού Field 1, καθώς είχε προηγηθεί συγκομιδή των υπόλοιπων plot προτού γίνει η λήψη των αεροφωτογραφιών λόγω ελλιπούς συνεννόησης. Αυτός ο μικρός αριθμός μεταχειρίσεων μπορεί μεν να δώσει έγκυρα αποτελέσματα, τα οποία όμως δεν είναι ασφαλή καθώς εντείνεται η πιθανότητα σφάλματος. Συνεπώς, εάν υπήρχε μεγαλύτερο αριθμός παρατηρήσεων όπως οι αρχικές 10, η εκτίμηση θα ήταν πιο ασφαλής και έγκυρη ταυτόχρονα.



**Σχήμα 3.12.** Συσχετίσεις μεταξύ CFI και Yield 1<sup>st</sup> Hand (a), Yield 2<sup>nd</sup> Hand (b), Yield Total (c), Bolles 2<sup>nd</sup> Hand (d) και Bolles Total (e), όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές συσχετίσεων για τη μέθοδο του Random Forest classification.

Το Σχήμα 3.12 αποδίδει τις συσχετίσεις του CFI με Yield 1 (a), Yield 2 (b), Yield Total (c), Bolls 2 (d), Bolls Total (e) με τη μέθοδο του Random Forest classification και το Σχήμα 3.13 αποδίδει τις συσχετίσεις μεταξύ CFI και Yield 2 (A), Yield Total (B), Bolls 2 (C) και Bolls Total (D) με τη μέθοδο Threshold Color, όπου και παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές. Οι γραμμικές σχέσεις είναι διακριτές, όμως δεν παύει να εκλείπει η ύπαρξη ικανοποιητικού πλήθους μεταχειρίσεων.



**Σχήμα 3.13.** Συσχετίσεις μεταξύ CFI και Yield 2<sup>nd</sup> Hand (A), Yield Total (B), Bolls 2<sup>nd</sup> Hand (C) και Bolls Total (D), όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές συσχετίσεων για τη μέθοδο του Threshold color.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Βασικός στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν να διαπιστωθεί εάν με τη χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων μπορεί να εκτιμηθεί η παραγωγικότητα καλλιέργειας βαμβακιού. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εικόνες των UAV, χρησιμοποιήθηκαν ώστε να δημιουργηθούν χρονοσειρές για τρεις διαφορετικούς δείκτες βλάστησης, εκ των οποίων μόνο ο NDVI και ο VARI παρουσίασαν καλή αποτύπωση του εποχικού προτύπου της καλλιέργειας σε αντίθεση με τον NDRE του οποίου η χρονοσειρά δεν προέκυψε όπως αναμένονταν. Παράλληλα, υπολογίστηκε ο δείκτης ινών βαμβακιού με δύο διαφορετικές μεθόδους ταξινόμησης. Η μία ήταν μέσω Random Forest Classification και η άλλη μέσω Threshold Color. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των δεικτών συσχετίστηκαν με την τελική παραγωγή της καλλιέργειας. Το Field 1, το οποίο παρουσίαζε εξ αρχής τη μεγαλύτερη διακύμανση παραγωγής, ήταν το ίδιο χωράφι που παρουσίασε στο τέλος τις καλύτερες συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών NDVI και CFI με την τελική παραγωγή. Συγκεκριμένα, για το χωράφι αυτό προέκυψε συσχέτιση  $R^2=0.857$  μεταξύ NDVI και 1<sup>ου</sup> χεριού συγκομισμένων βαμβακόκαψων και  $R^2=0.998$  μεταξύ CFI και 2<sup>ου</sup> χεριού απόδοσης παραγωγής με τη μέθοδο Random Forest και  $R^2=0.959$  με τη μέθοδο Threshold Color. Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους, προκύπτει ότι τις καλύτερες συσχετίσεις τις δίνει η ταξινόμηση με τη μέθοδο Random Forest. Αντίστοιχες μελέτες (Xu et al., 2021) έχουν παρουσιάσει  $R^2=0.829$  για τον NDVI και  $R^2=0.771$  για τον αντίστοιχο CFI, σε συσχετίσεις με την τελική παραγωγή. Τα χωράφια Agrology και Field 2 τα οποία ακολουθούσαν συμβατικό τρόπο καλλιέργειας, παρουσίαζαν καλές συσχετίσεις στους δείκτες βλάστησης NDVI και VARI αλλά οι συσχετίσεις αυτές δεν ήταν της ίδιας έντασης με εκείνες του χωραφιού της ακαλλιέργειας. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η συσχέτιση τελικής παραγωγής και VARI όπου το Field 2 παρουσίασε  $R^2=0.777$ , τιμή η οποία υπερβαίνει την συσχέτιση  $R^2=0.769$  μεταξύ VARI και τελικής παραγωγής αντίστοιχης εργασίας (Xu et al., 2021). Η μέγιστη τιμή συσχέτισης του NDVI για το χωράφι Agrology ήταν  $R^2=0.680$  και για το χωράφι Field 2 ήταν  $R^2=0.799$ . Ο VARI στο Agrology παρουσίασε συσχέτιση  $R^2=0.734$  και στο Field 1  $R^2=0.731$ . Αναφορικά με τον δείκτη ινών βαμβακιού, στα χωράφια Agrology και Field 2, δεν παρουσιάστηκε συσχέτιση με καμία εκ των δύο μεθόδων, γεγονός που αποδόθηκε στην απουσία ικανοποιητικού εύρους τιμών στην απόδοση της τελικής παραγωγής τους. Βέβαια, αυτό δεν αποτελεί τεκμηριωμένο κριτήριο ώστε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η συμβατική καλλιέργεια υστερεί σε σχέση με την

ακαλλιέργεια. Μπορεί το χωράφι της ακαλλιέργειας να έδωσε συσχέτιση  $R^2=0.998$  μεταξύ CFI και 2<sup>ου</sup> χεριού της απόδοσης παραγωγής, όμως η εκτίμηση αυτή είναι επισφαλής καθότι στηρίζεται σε πλήθος τεσσάρων μόνο μεταχειρίσεων. Παρόλα' αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή  $R^2=0.998$  για συσχέτιση CFI με τελική παραγωγή υπερβαίνει κατά πολύ ακόμα και τα αποτελέσματα της εργασίας που βασίστηκε αυτή η πτυχιακή για την μεθοδολογία εξαγωγής του δείκτη CFI. Συγκεκριμένα, ο CFI προέκυψε στην εργασία εκείνη κάνοντας χρήση Λαπλασιανού φίλτρου και υπολογίστηκε συσχέτιση  $R^2=0.90$  (Feng et al., 2020) με την τελική παραγωγή. Το μέγιστο της συσχέτισης που επιτεύχθηκε ήταν  $R^2=0.94$  συνδυάζοντας 2 παράγοντες μελέτης, τον CFI και το ύψος φυτού. Και άλλη εργασία όπου έγινε χρήση Λαπλασιανού φίλτρου για την εξαγωγή του CFI, σε συσχετίσεις με την τελική παραγωγή απέδωσε  $R^2=0.83$  (Huang et al., 2016). Θα μπορούσε δυνητικά να υπονοηθεί ότι η ταξινόμηση Random Forest υπερτερεί έναντι του Λαπλασιανού φίλτρου καθότι δίνει καλύτερες συσχετίσεις.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, οι χρονοσειρές του NDVI και του VARI που προέκυψαν από μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα απέδωσαν ικανοποιητικά το εποχικό πρότυπο της καλλιέργειας βαμβακιού. Επιπροσθέτως, υπήρξαν συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών που εξετάστηκαν με την τελική παραγωγή. Συνεπώς, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα κρίνονται κατάλληλα για την καταγραφή δεδομένων ώστε να εκτιμηθεί η παραγωγικότητα σε καλλιέργεια βαμβακιού. Το ικανοποιητικό εποχικό πρότυπο που παρουσίασε ο VARI καθώς και οι καλές τιμές συσχετίσεων που παρείχε, απέδειξαν ότι δεν απαιτείται εξειδικευμένη κάμερα, όπως στην περίπτωση του NDVI, για την παρακολούθηση της πορείας μιας καλλιέργειας. Μολονότι υπήρξαν κάποια τεχνικά ζητήματα κατά τη διενέργεια του πειράματος, στο τέλος προέκυψαν ικανοποιητικά αποτελέσματα για την εργασία. Η συσχέτιση NDVI με πρώτο χέρι συγκομισμένων καψών έδωσε τιμή  $R^2=0,857$  και η συσχέτιση μεταξύ CFI και 2<sup>ου</sup> χεριού απόδοσης (Yield 2) έδωσε  $R^2=0.998$ , τιμή που προσεγγίζει την απόλυτη συσχέτιση. Το γεγονός ότι ο CFI έδωσε αυτή την υψηλή τιμή συσχέτισης με το 2<sup>ο</sup> χέρι απόδοσης και όχι με το 1<sup>ο</sup> όπως θα αναμένονταν από τον ορισμό του δείκτη (ανοιχτές κάψες βαμβακιού), ενώ ταυτόχρονα υπήρχε συσχέτιση με το 1<sup>ο</sup> χέρι απόδοσης, είναι ένδειξη υψηλής παραγωγικότητας σε εκείνο το κομμάτι του αγρού. Και οι δύο αυτές τιμές προήλθαν από το Field 1, χωράφι ακαλλιέργειας. Ιδανικά, για να διαπιστωθεί η εγκυρότητα των μεθόδων, θα πρέπει να εμφανίζονται υψηλές συσχετίσεις σε πληθώρα χωραφιών, με διαφορετική διακύμανση της παραγωγής στο καθένα. Απαιτούνται λοιπόν, για αυτό το σκοπό μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων αγρού. Ιδανική θα ήταν η ύπαρξη βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής η οποία, με την συγκομιδή θα έκανε απευθείας χαρτογράφηση της παραγωγής. Τέτοιου είδους μηχανές συλλογής, απαντώνται στη χώρα μας μόνο για σιτηρά και όχι για βαμβάκι. Εάν υπήρχαν τέτοιου είδους δεδομένα θα υπήρχε και πιο σαφής εικόνα για τις μικρότερες τιμές συσχετίσεων που επικρατούν στα χωράφια της συμβατικής καλλιέργειας τόσο κατά τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης όσο και του δείκτη ινών βαμβακιού. Εναλλακτικά, προκειμένου να ανακτηθούν περισσότερα στοιχεία για την παραγωγή προτείνεται η πραγματοποίηση μεγαλύτερου πλήθους συγκομιδών. Το πείραμα θα μπορούσε να επαναληφθεί με μεγαλύτερο αριθμό πειραματικών plot και να διαπιστωθεί η εγκυρότητά του σε συνθήκες ευνοϊκές, απουσία τεχνικών ζητημάτων τα οποία παρεμποδίζουν δυνητικά την ομαλή ροή του.

Μελλοντικά, η εργασία αυτή θα μπορούσε να αυτοματοποιηθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό κάνοντας χρήση προγραμματισμού, ώστε οι δείκτες να εξάγονται αυτόματα έπειτα από την απλή ενσωμάτωση των ανακτηθέντων εικόνων. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να γίνει χρήση κώδικα ο οποίος θα καθόριζε βήμα-βήμα τις μεθοδολογίες και τις εντολές, με αποτέλεσμα η όλη διαδικασία εξαγωγής και επεξεργασίας δεδομένων να πραγματοποιούνταν με το πάτημα ενός κουμπιού. Με αυτό τον τρόπο, η εκτίμηση των αποδόσεων θα μπορούσε να απλοποιηθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε ο καθένας να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει τέτοιου είδους μελέτη, χωρίς εξειδικευμένη γνώση των διαδικασιών που αναφέρονται σε όλη την έκταση της εργασίας. Τα άνωθεν, συνδυαστικά με την ευελιξία χρήσης που παρουσιάζουν τα UAV και τα έγκυρα αποτελέσματα που παρέχουν, θα μπορούσαν να αποτελέσουν το απόλυτο εργαλείο στο κομμάτι της εκτίμησης παραγωγής και της ολοκληρωμένης παρακολούθησης των καλλιεργειών.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΕΛΣΤΑΤ. (2019.). Ανακτήθηκε 18 Μάιος 2022, από Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα (Οριστικά Αποτελέσματα)
- Καρτάλης, Κ., & Φείδας, Χ. (2013). *Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης (ΤΖΙΟΛΑΣ)*.
- Παπακώστα - Τασοπούλου, Δέσποινα. (2013). *Βιομηχανικά φυτά*. Σύγχρονη Παιδεία.
- Πασχώνης, Κ. (2018, Μάιος 9). Βαμβάκι: Εγχειρίδιο Καλλιέργειας. *agrorama.gr*.  
<https://www.agrorama.gr/bambaki-odigos-kalliergeias/>
- Περάκης, Κ., & Φαρασλής, Ι. (2015). Μετασηματισμοί πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων. Στο *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Φουντάς, Σ., & Γέμτος, Θ. (2015). *Γεωργία ακριβείας*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Abdullahi, H. S., & Sheriff, R. E. (2017). *Case Study to Investigate the Adoption of Precision Agriculture in Nigeria Using Simple Analysis to Determine Variability on a Maize Plantation*. 15.
- 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>
- Bradow, J. M., & Davidonis, G. H. (2000). *Quantitation of Fiber Quality and the Cotton Production-Processing Interface: A Physiologist's Perspective*. 4(1), 31.
- Brubaker, C. L., Paterson, A. H., & Wendel, J. F. (1999). Comparative genetic mapping of allotetraploid cotton and its diploid progenitors. *Genome*, 42(2), 184–203. <https://doi.org/10.1139/g98-118>

- Cope, R. B. (2018). Cottonseed Toxicity. Στο *Veterinary Toxicology* (σσ. 967–980). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811410-0.00068-4>
- Darawsheh, M. K. (2010). *Cotton fiber quality parameters response to cultivation system as influenced by limited and normal irrigation*. 5.
- Dey, P. K., FazlulHaque, A. K. M., Hossain, I., Das, C., TanvirHasan, S., & Bhuiyan, S. (2019). *Design a Process Model to Produce Comb Yarn and Assess Performance of Comb Yarn*. 13.
- Eng, L. S., Ismail, R., Hashim, W., & Baharum, A. (2019). The Use of VARI, GLI, and VIgreen Formulas in Detecting Vegetation In aerial Images. *International Journal of Technology*, 10(7), 1385. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i7.3275>
- FAOSTAT. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 18 Μάιος 2022, από <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Feng, A., Zhou, J., Vories, E. D., Sudduth, K. A., & Zhang, M. (2020). Yield estimation in cotton using UAV-based multi-sensor imagery. *Biosystems Engineering*, 193, 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.014>
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–298. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76–87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)

- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 18(12), 2691–2697. <https://doi.org/10.1080/014311697217558>
- Huang, Y., Brand, H. J., Thomson, S. J., Furukawa, T., & Ebelhar, M. W. (2016). Cotton Yield Estimation Using Very High-Resolution Digital Images Acquired with a Low-Cost Small Unmanned Aerial Vehicle. *Transactions of the ASABE*, 59(6), 1563–1574. <https://doi.org/10.13031/trans.59.11831>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- ImageJ Thresholding*. (2010). 3.
- Manjula, E., & Djodiltachoumy, S. (2017). *A Model for Prediction of Crop Yield*. 6(4), 8.
- NDVI: Normalized Difference Vegetation Index For Agriculture*. (2021, Σεπτέμβριος 20). <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/>
- Osco, L. P., Marcato Junior, J., Marques Ramos, A. P., de Castro Jorge, L. A., Fatholahi, S. N., de Andrade Silva, J., Matsubara, E. T., Pistori, H., Gonçalves, W. N., & Li, J. (2021). A review on deep learning in UAV remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102, 102456. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102456>
- Qiao, M., He, X., Cheng, X., Li, P., Luo, H., Zhang, L., & Tian, Z. (2021). Crop yield prediction from multi-spectral, multi-temporal remotely sensed imagery using recurrent 3D convolutional neural networks. *International Journal of Applied*

- Earth Observation and Geoinformation*, 102, 102436.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102436>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974, Ιανουάριος 1).  
*Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*.  
<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
- Sassenrath, G. F. (2008). DEVELOPING ACCURATE SPATIAL MAPS OF  
COTTON FIBER QUALITY PARAMETERS. *Conference on Applied  
Statistics in Agriculture*. <https://doi.org/10.4148/2475-7772.1103>
- Singh, P., Pandey, P. C., Petropoulos, G. P., Pavlides, A., Srivastava, P. K., Koutsias,  
N., Deng, K. A. K., & Bao, Y. (2020). Hyperspectral remote sensing in  
precision agriculture: Present status, challenges, and future trends. Στο  
*Hyperspectral Remote Sensing* (σσ. 121–146). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102894-0.00009-7>
- van Klompenburg, T., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using  
machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics  
in Agriculture*, 177, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>
- Viña, A., Gitelson, A. A., Rundquist, D. C., Keydan, G., Leavitt, B., & Schepers, J.  
(2004). Monitoring Maize ( *Zea mays* L.) Phenology with Remote Sensing.  
*Agronomy Journal*, 96(4), 1139–1147.  
<https://doi.org/10.2134/agronj2004.1139>
- Wigmore, I. (2016). *What is precision agriculture? - Definition from WhatIs.com*.  
WhatIs.Com. [https://www.techtarget.com/whatis/definition/precision-  
agriculture-precision-farming](https://www.techtarget.com/whatis/definition/precision-agriculture-precision-farming)
- Xu, W., Chen, P., Zhan, Y., Chen, S., Zhang, L., & Lan, Y. (2021). Cotton yield  
estimation model based on machine learning using time series UAV remote

sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102511. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102511>