



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ, ΣΤΗ
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Χρήση καινοτόμων τεχνολογιών για την αξιολόγηση συνδυασμένου
συστήματος λίπανσης και εδαφοκατεργασίας
σε καλλιέργεια ατρακτυλίδας (*Carthamus tinctorius* L.)

Γεώργιος Γ. Παπαδόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής:
Δημήτριος Μπιλάλης, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2021**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Χρήση καινοτόμων τεχνολογιών για την αξιολόγηση συνδυασμένου
συστήματος λίπανσης και εδαφοκατεργασίας
σε καλλιέργεια ατρακτυλίδας (*Carthamus tinctorius* L.)

“Use of innovative technologies for the evaluation of a combined
fertilization and tillage system in *Carthamus Tinctorius* cultivation”

Γεώργιος Γ. Παπαδόπουλος

Εξεταστική επιτροπή:

Δημήτριος Μπιλάλης, Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)

Ηλίας Τραυλός, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Σπυρίδων Φουντάς, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Χρήση καινοτόμων τεχνολογιών για την αξιολόγηση συνδυασμένου συστήματος λίπανσης και εδαφοκατεργασίας σε καλλιέργεια ατρακτυλίδας (*Carthamus tinctorius* L.)

*ΠΜΣ Καινοτόμες Εφαρμογές στην Αειφορική Γεωργία, στη Βελτίωση Φυτών και στην Αγρομετεωρολογία
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Φυτικής Παραγωγής*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο την αξιολόγηση συνδυασμένου συστήματος λίπανσης και εδαφοκατεργασίας στη καλλιέργεια της ατρακτυλίδας με τη χρήση νέων τεχνολογιών μέσω του δείκτη NDVI. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από τον Δεκέμβριο του 2020 έως τον Μάιο του 2021.

Ο πειραματικός αγρός χωρίστηκε σε 24 τμήματα όπου στα μισά είχε εφαρμοστεί συμβατική κατεργασία εδάφους πριν τη φύτευση ενώ στα άλλα μισά δεν είχε εφαρμοστεί καμία κατεργασία εδάφους. Ταυτόχρονα ακολούθησαν και τρεις επεμβάσεις με συνδυασμούς ουρίας: 1. Ουρία (42-0-0), 2. Ουρία με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης (NI) και 3. Μάρτυρας (χωρίς προσθήκη λιπάσματος). Για τον προσδιορισμό του δείκτη NDVI συλλέχθηκαν δεδομένα ανάκλασης της καλλιέργειας στο κόκκινο και στο εγγύς υπέρυθρο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με δυο μεθόδους τηλεπισκόπησης: μια πολυφασματική κάμερα (Parrot Sequoia) προσαρτημένη Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος (ΣμηΕα) και έναν επίγειο αισθητήρα εδάφους (Green Seeker). Στη συνέχεια, τα δεδομένα επεξεργάστηκαν στο σύστημα GIS (ArcMap).

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων, υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά, εφαρμόστηκε γεωστατιστική ανάλυση και μελετήθηκε η συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων ανάκλασης από τους δύο αισθητήρες. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson (r) που χρησιμοποιήθηκε ήταν αρκετά υψηλός μεταξύ των δύο μεθόδων καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων εκτός της τελευταίας όπου το φυτό βρισκόταν στο

στάδιο συγκομιδής. Αυτό μας δείχνει ότι και οι δύο αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη επίβλεψη καλλιεργειών.

Ο υπολογισμός των μέσων τιμών κάθε τμήματος παρατήρησης βασίστηκε στον δείκτη NDVI, καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο. Με βάση τις μέσες τιμές του δείκτη NDVI, παρατηρήθηκε ότι οι καλύτερες εξ αυτών σημειώθηκαν στα τμήματα που εφαρμόστηκε συνδυασμός συμβατικής κατεργασίας εδάφους με λίπανση ουρίας και παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης, και συνδυασμός μη κατεργασίας εδάφους με λίπανση ουρίας. Από τους παραπάνω δύο συνδυασμούς η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε από το συνδυασμό μη κατεργασίας εδάφους και ουρίας. Περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα κρίνεται σημαντική, καθώς δεν υπάρχουν ακόμα παρόμοιες μελέτες πάνω στην καλλιέργεια της ατρακτυλίδας.

Επιστημονική Περιοχή: Φυτική Παραγωγή

Λέξεις κλειδιά: Ατρακτυλίδα, Δείκτης NDVI, Γεωργία Ακριβείας, Ουρία, Παρεμποδιστής νιτροποίησης, Παρεμποδιστής ουρεάσης.

Use of innovative technologies for the evaluation of a combined fertilization and tillage system in *Carthamus tinctorius*.

*MSc Innovative Applications in Sustainable Agriculture, in Plant Improvement
and in Agrometeorology
Department of Crop Faculty
Laboratory of Crop Faculty*

ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate a combined fertilization and tillage system in the cultivation of *Carthamus tinctorius* L. using new technologies through the NDVI index. The experiment took place in the experimental field of the Agricultural University of Athens from December 2020 to May 2021. The field was divided into 24 plots. Half of them were treated with conventional soil tillage, while the other half had no soil treatment. At the same time, three fertilization treatments were applied with the following combinations of urea: 1. Urea (42-0-0), 2. Urea with nitrification inhibitor (NI) and 3. Control (without fertilizer). To determine the NDVI index, crop reflectance data in the red and near-infrared electromagnetic spectra were collected by two remote sensing methods: a multispectral camera (Parrot Sequoia) attached to a UAV and a ground-based sensor (Green Seeker). The data were then processed in the GIS system (ArcMap).

For the statistical analysis of the data, the descriptive statistics were calculated, geostatistical analysis was applied and the correlation between the reflection data from the two sensors was studied. The Pearson linear correlation coefficient (r) was quite high between the two methods throughout the measurements except for the last one where the plant was in the harvest stage. This shows us that both sensors can be used to monitor crops. The calculation of the mean values of each observation plot was based on the NDVI index, throughout the growing season.

Based on the mean values of the NDVI index, it was observed that the best of them were recorded in the plots treated: 1) with conventional soil treatment with urea and nitrification inhibitor fertilization, and 2) without soil treatment and urea fertilization. From the above two combinations, the

highest value was noted by the combination without soil tillage and urea. Further research on this topic is considered important, as there are no similar studies on *Carthamus tinctorius* L. yet.

Scientific Area: Crop Faculty

Keywords: *Carthamus tinctorius* L; NDVI Index; Precision Agriculture; Urea; nitrification inhibitor; urease inhibitor.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Μπιλάλη για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και τους κκ. Σπυρίδωνα Φουντά και Ηλία Τραυλό για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή μου.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του κ. Σπυρίδωνα Φουντά, καθώς και τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του κ. Δημήτριου Μπιλάλη, για την υποστήριξη που μου παρείχαν, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, την καθοδήγηση στην έρευνα αυτής και για τις γνώσεις που αποκόμισα και τον τρόπο σκέψης που μου καλλιέργησαν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την αγάπη και τη στήριξη που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και την ενθάρρυνση που μου έδιναν ήδη από το ξεκίνημα τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<i>Περίληψη</i>	3
<i>Abstract</i>	5
<i>Ευχαριστίες</i>	7
<i>Πίνακας Περιεχομένων</i>	8
<i>Ευρετήριο Εικόνων</i>	10
<i>Ευρετήριο Χαρτών NDVI</i>	10
<i>Ευρετήριο Πινάκων</i>	11
<i>Ευρετήριο Γραφημάτων</i>	11
1 Εισαγωγή-Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	12
1.1 Καλλιέργεια της Ατρακτυλίδας	12
1.1.1 Εισαγωγικές Πληροφορίες	12
1.1.2 Παγκόσμια σημασία της καλλιέργειας	12
1.1.3 Χρήσεις της καλλιέργειας	13
1.1.4 Βοτανικά χαρακτηριστικά της Ατρακτυλίδας	15
1.1.5 Οικολογικές απαιτήσεις της Ατρακτυλίδας	16
1.2 Συστήματα εδαφοκατεργασίας	18
1.2.1 Συμβατική εδαφοκατεργασία με άροτρο και φρέζα	18
1.2.2 Ακατέργαστο Έδαφος	18
1.3 Λίπανση	19
1.3.1 Το άζωτο στα φυτά	19
1.3.2 Ουρία	20
1.3.3 Λιπάσματα νέας γενιάς	21
1.3.4 Παρεμποδιστές	21
1.4 Γεωργία Ακριβείας	25
1.5 Νέες Τεχνολογίες	28
1.6 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)	32
1.6.1 Απεικόνιση δεδομένων σε GIS	33
1.6.2 GIS και Γεωργία Ακριβείας	35
1.7 Τηλεπισκόπηση	36
1.7.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	38
1.7.2 Φασματική υπογραφή της βλάστησης	40

1.7.3	<i>Δείκτης βλάστησης - Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)</i>	42
1.7.4	<i>Τηλεπισκόπηση στη Γεωργία Ακριβείας</i>	45
1.7.5	<i>Αισθητήρες Τηλεπισκόπησης</i>	47
2	<i>Σκοπός της διπλωματικής εργασίας</i>	50
3	<i>Υλικά και μέθοδοι</i>	51
3.1	<i>Πειραματικό Σχέδιο Καλλιέργειας Ατρακτυλίδας</i>	51
3.2	<i>Αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν</i>	54
3.2.1	<i>Μη επανδρωμένο αεροσκάφος/ ΣμηΕΑ</i>	55
3.2.1.1	<i>Δημιουργία τελικών εικόνων από ΣμηΕΑ</i>	56
3.2.2	<i>Επίγειος Αισθητήρας</i>	57
3.3	<i>Ανάλυση δεδομένων</i>	58
3.3.1	<i>NDVI από Μη επανδρωμένο αεροσκάφος/ ΣμηΕΑ</i>	58
3.3.2	<i>NDVI από επίγειο αισθητήρα</i>	62
3.4	<i>Στατιστική ανάλυση δεδομένων</i>	65
4	<i>Αποτελέσματα</i>	67
4.1	<i>Τιμές NDVI</i>	67
4.1.1	<i>Χάρτες NDVI από ΣμηΕΑ</i>	67
4.1.2	<i>Μετρήσεις NDVI</i>	73
4.2	<i>Στατιστική Ανάλυση</i>	74
4.3	<i>- Συσχέτιση NDVI ανάμεσα σε Green Seeker και ΣμηΕΑ</i>	75
4.4	<i>Σύγκριση συνδυασμένου συστήματος Εδαφοκατεργασίας και Αίπανσης</i>	75
5	<i>Συμπεράσματα – Συζήτηση</i>	83
6	<i>Βιβλιογραφία</i>	85

<i>Ευρετήριο Εικόνων</i>	
<i>Εικόνα 1-----23-</i>	<i>Εικόνα17-----56</i>
<i>Εικόνα2-----24</i>	<i>Εικόνα18-----57</i>
<i>Εικόνα 3-----24</i>	<i>Εικόνα19-----58</i>
<i>Εικόνα 4-----26</i>	<i>Εικόνα20-----59</i>
<i>Εικόνα 5-----34</i>	<i>Εικόνα21-----59</i>
<i>Εικόνα 6-----35</i>	<i>Εικόνα22-----60</i>
<i>Εικόνα 7-----36</i>	<i>Εικόνα23-----60</i>
<i>Εικόνα 8-----39</i>	<i>Εικόνα24-----61</i>
<i>Εικόνα 9-----41</i>	<i>Εικόνα25-----62</i>
<i>Εικόνα 10-----42</i>	<i>Εικόνα26-----62</i>
<i>Εικόνα 11-----44</i>	<i>Εικόνα27-----63</i>
<i>Εικόνα 12-----50</i>	<i>Εικόνα28-----64</i>
<i>Εικόνα 13-----52</i>	<i>Εικόνα29-----64</i>
<i>Εικόνα 14-----53</i>	<i>Εικόνα30-----65</i>
<i>Εικόνα 15-----54</i>	<i>Εικόνα31-----65</i>
<i>Εικόνα 16-----55</i>	

<i>Ευρετήριο χαρτών NDVI</i>	
<i>Χάρτης 1-----68</i>	
<i>Χάρτης 2-----69</i>	
<i>Χάρτης 3-----70</i>	
<i>Χάρτης 4-----71</i>	
<i>Χάρτης 5-----72</i>	

<i>Ευρετήριο Πινάκων</i>	
<i>Πίνακας 1</i> -----	<i>73</i>
<i>Πίνακας 2</i> -----	<i>74</i>
<i>Πίνακας 3</i> -----	<i>74</i>
<i>Πίνακας 4</i> -----	<i>75</i>
<i>Πίνακας 5</i> -----	<i>78</i>
<i>Πίνακας 6</i> -----	<i>81</i>
<i>Πίνακας 7</i> -----	<i>81</i>

<i>Ευρετήριο Γραφημάτων</i>	
<i>Γράφημα 1</i> -----	<i>75</i>
<i>Γράφημα 2</i> -----	<i>76</i>
<i>Γράφημα 3</i> -----	<i>77</i>
<i>Γράφημα 4</i> -----	<i>78</i>
<i>Γράφημα 5</i> -----	<i>79</i>
<i>Γράφημα 6</i> -----	<i>80</i>

1 Εισαγωγή-Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

1.1 Καλλιέργεια της Ατρακτυλίδας

1.1.1 Εισαγωγικές πληροφορίες

Η ατρακτυλίδα (*Carthamus tinctorius* L.) είναι ένα φυτό το οποίο χρησιμοποιούμε κυρίως για το λάδι του. Το φυτό έχει την ικανότητα να απορροφά νερό από κατώτερα στρώματα του εδάφους και αυτό το πετυχαίνει μέσα από τη μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα που του προσφέρει το ριζικό του σύστημα. Έτσι η ατρακτυλίδα μπορεί να απορροφήσει νερό και θρεπτικά στοιχεία από μεγαλύτερο όγκο εδάφους συγκριτικά με τις υπόλοιπες καλλιέργειες. (Materechera κ.ά., 1993; Meyer και Barrs, 1991). Σύμφωνα με τους Erie και French (1969) σε έρευνα που έκαναν στην ατρακτυλίδα, διαπίστωσαν ότι κατάφερε να απορροφήσει νερό σε μεγαλύτερο από 180cm βάθος. Μέσα από αυτή την έρευνα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το φυτό έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει μία εναλλακτική καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών κυρίως σε περιοχές με ξηρικό κλίμα. Η ατρακτυλίδα θα μπορούσε να αποτελέσει μια πλούσια σε πρωτεΐνες τροφή για ζώα, να αυξήσει την παραγωγή φυτικού λαδιού και να συμβάλει στην παραγωγή βιοντίζελ. Σε ότι αφορά την έκπλυση αζώτου, η ατρακτυλίδα, θα μπορούσε να συμβάλει αρκετά στην μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων δικτύων (Bassil κ.ά., 2002).

1.1.2 Παγκόσμια σημασία της καλλιέργειας

Η ατρακτυλίδα καλλιεργούνταν σε περιοχές από την Μεσόγειο μέχρι τον Ειρηνικό ωκεανό συγκεκριμένα από το 20ο νότιο έως το 40ο βόρειο γεωγραφικό πλάτος κάτι που οφειλόταν στα ιδιαίτερα θερμά και ξηρά κλίματα των περιοχών αυτών. Καλλιεργούνταν και χρησιμοποιούταν κυρίως για τη παραγωγή χρωστικής ουσίας από βόρειες περιοχές η Alsace της Γαλλίας καθώς και η νότια Γερμανία (Weiss, 1971). Η αρακτυλίδα, σήμερα, καλλιεργείται για το λάδι της σε περιοχές με θερμά κλίματα χωρίς υψηλή εδαφική υγρασία οι οποίες μπορούν να της εξασφαλίσουν αγρονομικά πλεονεκτήματα (Dajue και Mundel, 1996).

Σύμφωνα με τον Gyulai (1996), η καλλιέργεια της ατρακτυλίδα συναντάται σήμερα σε περισσότερες από 60 χώρες και η παγκόσμια παραγωγή της υπολογίζεται περίπου στους 800.000 τόνους από την οποία η μισή παράγεται στην Ινδία. Η υπόλοιπη μισή ποσότητα παράγεται από διάφορες περιοχές όπως οι ΗΠΑ με τις νότιες πόλεις του Καναδά οι οποίες παράγουν περίπου 180.000 τόνους το χρόνο, η Αυστραλία (10.000-20.000 τόνοι/έτος), η Αργεντινή (10.000 τόνοι/έτος) και το Μεξικό (80.000-100.000 τόνοι/έτος). Από τις τρεις τελευταίες περιοχές η εξαγωγή γίνεται κυρίως στην Ιαπωνία, την Ευρώπη και τις ΗΠΑ (Gyulai, 1996). Η ατρακτυλίδα καλλιεργείται στην Κίνα κυρίως για τα ανθικά μέρη της και όχι για το λάδι της σε εκτάσεις περίπου 350.000-400.000 στρέμματα εκ των οποίων τα δύο τρίτα εντοπίζονται στην περιοχή της Xinjiang η οποία είναι αυτόνομη. Το λάδι της ατρακτυλίδας έχει αρχίσει σταδιακά να ανεβάζει τα ποσοστά χρήσεις του άρα και ζήτησής του γεγονός που ενισχύει την επέκταση της καλλιέργεια σε νέες περιοχές (Dajue και Mundel, 1996) καθώς και σε χώρες όπως η Τουρκία, το Ιράν, η Αιθιοπία και η Ιταλία και η Ισπανία (Kaffka κ.ά., 2000).

Η ατρακτυλίδα στη χώρα μας είναι μία νέα καλλιέργεια η οποία έκανε τα πρώτα της βήματα σε περιοχές της Αττικής και της Βοιωτίας σε εκτάσεις 20.000 στρεμμάτων τη δεκαετία του 1960. Λόγω των χαμηλών τιμών, η καλλιέργεια εγκαταλείφθηκε σύντομα από τους αγρότες αλλά στη χώρα μας συναντώνται εκτάσεις οι οποίες ακόμα και σήμερα θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την καλλιέργεια του φυτού με η χωρίς άρδευση γεγονός που υποστηρίζεται και βιβλιογραφικά από τον Αμπατζόγλου(1979) και τους Φασούλα και Σενλόγλου (1979).

1.1.3 Χρήσεις της καλλιέργειας

Η ατρακτυλίδα έχει πολλές χρήσεις κατά την επεξεργασία της είτε για το εδώδιμο λάδι της, είτε για τον σπόρο της πριν και μετά την εξαγωγή του ελαίου, αλλά και κάποιες φορές για το ίδιο το φυτό ως βοσκήσιμη ύλη ή για τα άνθη και τα φύλλα του.

Τα βασικά προϊόντα που χρησιμοποιούμε μέσα από την επεξεργασία της ατρακτυλίδας αφορούν κυρίως το φυτικό λάδι της καθώς και ένα μικρό

μέρος του σπόρου το οποίο είναι είτε για βιομηχανική χρήση είτε για εκτροφή πτηνών. Σύμφωνα με τον Peterson (1996), ο σπόρος της ατρακτυλίδας χρησιμοποιείται ως τροφή για άγρια και ήμερα πουλιά καθώς και για άλλα κατοικίδια ζώα και έχει περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες περίπου 16 με 18%. Κατά την επεξεργασία του σπόρου για την εξαγωγή του λαδιού απομένει ο πλακούντας ο οποίος έχει περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη περίπου 22με 24%. Σύμφωνα με τους Bottger et al (2002) ο πλακούντας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτροφή αγελάδων ενώ σύμφωνα με τους Dixon et al (2003) για εκτροφή προβάτων και σύμφωνα με τους Raj και Kothandaraman (1981) και εκτροφή χοίρων και πουλερικών. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σπόρου σε φυτικές ίνες αρκετές η χρήση του για σίτιση πουλερικών και χοίρων περιορίζεται σημαντικά σε αντίθεση με τη σίτιση αγελάδων όπου φαίνεται να είναι μία πολύ καλή πηγή λίπους (Stegman, 1992). Σέ έρευνα του Smith (1966) αλλά και του Wichman (1996) η διατροφική αξία της ατρακτυλίδας έχει παρόμοιες αποδόσεις με τη βρώμη και τη μηδίκη και μπορεί να αποθηκευτεί σαν σανό και να βοσκηθεί.

Ακόμη μία χρήση της ατρακτυλίδας αφορά τις αντιμικροβιακές, τις αντιδιαβητικές, τις αντιφλεγμονώδης, τις αντιοξειδωτικές και τις αντιπηκτικές ιδιότητες της. Σε έρευνα των Dajue και Mundel (1996), το φυτό έχει φαρμακευτικές ιδιότητες οι οποίες αντιμετωπίζουν ασθένειες του ήπατος, του μυοκαρδίου αλλά και την οστεοπόρωση. Σύμφωνα με τον Weiss (1983), σε περιοχές του Αφγανιστάν και της Ινδίας, οι γυναίκες βράζουν τα φύλλα του φυτού κάνοντας με τον τρόπο αυτό τσάι το οποίο αποτρέπει την αποβολή κατά την κύηση και βελτιώνει τη γονιμότητα, ενώ στο Πακιστάν και την Ινδία τα μέρη του φυτού πωλούνται από βοτανολόγους. Και χρησιμοποιούνται σαν τονωτικό τσάι καθώς και για τη θεραπεία ασθενειών (Weiss, 1971). Οι φαρμακευτικές ιδιότητες της ατρακτυλίδας τονίζονται σε αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές και αναφέρονται σε εκχυλίσματα τα οποία βοηθούν στην καταπολέμηση των καρδιακών αρρυθμιών, της χοληστερίνης, της υπέρτασης, αλλά και στην καλή κυκλοφορία του αίματος. Επιπλέον αντιμετωπίζουν ασθένειες του λάρυγγα, μολύνσεις των αυτιών, τη μυωπία, τον καταρράκτη, τη λευχαιμία και σε διάφορες άλλες αλλεργίες.

Ο Dajue (1993) αναφέρει ότι από τα άνθη της ατρακτυλίδας εξάγεται η καρθαμίνη, μία χρωστική ουσία με την οποία βάφονται τρόφιμα και ποτά ενώ παρασκευάζονται και καλλυντικά κάτι το οποίο με την ευρεία διάδοση των συνθετικών χρωμάτων έχει πλέον σταματήσει (Dajue και Mundel, 1996). Σε έρευνα του Nigaraj (1993) αναφέρεται η δημιουργία νέων ποικιλιών και υβριδίων με διαφορετική αναλογία λιπαρών οξέων, υψηλή περιεκτικότητα σε λάδι, υψηλή περιεκτικότητα σε λινελαϊκό οξύ (74-78%) και υψηλή αναλογία ελαϊκού οξέος (67%). Το λάδι της ατρακτυλίδας, λόγω της υψηλής αναλογίας πολυακόρεστων/ακόρεστων λιπαρών οξέων και μονοακόρεστων/ακόρεστων λιπαρών οξέων σε σύγκριση με τα υπόλοιπα λάδια, έχει αναφερθεί σε πολλές έρευνες που σχετίζονται με τη διατροφή και τη δίαιτα γεγονός που έχει αυξήσει τη ζήτηση του. Η κατανάλωση λαδιού με πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, έχει αποδειχθεί, σύμφωνα με τον Smith (1996), ότι μειώνει την περιεκτικότητα σε κακή χοληστερόλη (LDL), ενώ ταυτόχρονα δεν επηρεάζει την περιεκτικότητα σε καλή χοληστερόλη (HDL).

Οι Dajue και Mundel (1996) τονίζουν σε έρευνα τους ότι οι βιομηχανικές χρήσεις της ατρακτυλίδας και ιδιαίτερα του λαδιού της, έχουν την δυνατότητα να επεκταθούν περαιτέρω καθώς το φυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και στην παραγωγή βιοντίζελ.

1.1.4 Βοτανικά χαρακτηριστικά της Ατρακτυλίδας

Η λατινική ονομασία της ατρακτυλίδας είναι *Carthamus tinctorius* L. και υπάγεται στην οικογένεια *Compositae*. Το φυτό είναι ετήσιο, ποώδες και ορθοστέλεχο ενώ έχει ύψος που κυμαίνεται από 50 έως 200 cm με κλαδιά έως την κορυφή του εκεί όπου συναντάται και το άνθος του. Μετά το φύτευμα η καλλιέργεια αν έχει σπαρθεί το φθινόπωρο διατηρεί το στάδιο της ροζέτας ενώ αν έχει σπαρθεί το καλοκαίρι το στάδιο αυτό διαρκεί μόλις λίγες εβδομάδες. Στο συγκεκριμένο στάδιο, η ατρακτυλίδα παρουσιάζει αντοχή στο κρύο ενώ φαίνεται ευαίσθητη σε προσβολές από ζιζάνια (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984). Μετά το στάδιο της ροζέτας, το στέλεχος επιμηκύνεται γρήγορα και κάθε βλαστός καταλήγει σε ταξιανθία κεφάλιο η οποία περιβάλλεται από βράκτια φύλλα με αγκάθια (Dajue και Mundel, 1996). Σε ότι αφορά το ριζικό σύστημα του φυτού είναι βαθύ και πλούσιο με την

κεντρική του ρίζα να είναι πασσαλώδης σχήματος και να μπορεί να φτάσει σε βάθος τα 2 με 3 m, σύμφωνα πάντα με έρευνα των Dajue και Mundel (1996), γεγονός που το κάνει ιδιαίτερα ανθεκτικό σε ξηρά κλίματα.

Τα φύλλα της ατρακτυλίδας έχουν μέγεθος το οποίο κυμαίνεται σε μήκος από 10 έως 15 cm και σε πλάτος από 2,5 έως 5 cm. Τα φύλλα που βρίσκονται στην κορυφή του φυτού αναπτύσσονται, κατά το στάδιο του σχηματισμού ανθοφόρων οφθαλμών, αγκάθια κάτι που συνήθως δεν γίνεται στα κατώτερα φύλλα. Σε έρευνα των Dajue και Mundel (1996) αναφέρονται διάφορες ποικιλίες που έχουν αναπτυχθεί στις οποίες έχει επιτευχθεί η εξάλειψη των αγκαθιών από τα φύλλα γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για συγκομιδή με το χέρι.

Οι ανθοκεφαλές της ατρακτυλίδας έχουν σχήμα σφαιρικό διαμέτρου 1,5 έως 4 cm και αναπτύσσονται στις κορυφές των κλαδιών. Η ανθοφορία του φυτού συνολικά διαρκεί συνήθως 4 εβδομάδες και κάθε ανθοκεφαλή ανθίζει για τουλάχιστον μία εβδομάδα με τα εξωτερικά ανθίδια να κάνουν πρώτα την εμφάνισή τους. Οι Dajue και Mundel (1996) αναφέρουν ότι το χρώμα των ανθέων είναι συνήθως κίτρινο ή πορτοκαλί ενώ μπορεί να πλησιάσει σε αποχρώσεις το κόκκινο και το λευκό. Το φυτό είναι αυτογονιμοποιούμενο και το ποσοστό σταυρογονιμοποίησης δεν ξεπερνά το 10% ενώ ο Knowles (1969) αναφέρει πως οι μέλισσες μαζί με άλλα έντομα μπορούν να αυξήσουν το ποσοστό αυτό.

Σε ότι αφορά τον σπόρο, είναι αχαίνιο με τέσσερις πλευρές και σκληρό περικάρπιο, λείος και χρώματος λευκού ή κίτρινου. Σε κάθε ανθοκεφαλή βρίσκονται περίπου 20 με 30 σπόροι οι οποίοι ωριμάζουν μέσα σε 4 εβδομάδες από την άνθηση. Το βάρος 1000 σπόρων είναι περίπου 35 με 40 gr ενώ η απόδοση τους σε λάδι κυμαίνεται από 25 έως 40% σύμφωνα με τους Dajue και Mundel (1996).

1.1.5 Οικολογικές απαιτήσεις της Ατρακτυλίδας

Θερμοκρασία

Οι Mundel et al (1992) σε ερευνά τους αναφέρουν ότι η καλλιέργεια της ατρακτυλίδας είναι ικανή να αντέξει στο στάδιο της ροζέτας θερμοκρασίες έως και -7°C ενώ στο αμέσως επόμενο στάδιο της άνθησης

τέτοιες θερμοκρασίες μπορεί να είναι καταστροφικές. Επιπλέον στη ίδια έρευνα αναφέρεται ότι θερμοκρασίες άνω των 32°C είναι εξίσου ακατάλληλες για την καλλιέργεια. Οι σπόροι αρχίζουν να κάνουν την εμφάνιση τους σε θερμοκρασίες μεταξύ 2 με 5° C.

Υγρασία

Οι απαιτήσεις της ατρακτυλίδας σε υγρασία δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από αυτές των υπολοίπων φυτών. Το βασικό της πλεονέκτημα βρίσκεται στο ριζικό της σύστημα το οποίο όντας πλούσιο και βαθύ δίνει στο φυτό την δυνατότητα να αντλήσει υγρασία από μεγαλύτερο εδαφικό βάθος. Για τον παραπάνω λόγο η καλλιέργεια θα μπορούσε να είναι και ξηρική αλλά σε εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη. Σε αντίθετη περίπτωση δύο αρδεύσεις τουλάχιστον κρίνονται απαραίτητες ώστε να μπορέσει η καλλιέργεια να αυξήσει το βαθμό απόδοσής της. Με βάση την έρευνα των Φασούλα και Φωτιάδη (1984) οι μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό διαπιστώθηκαν κατά την περίοδο της άνθησης ενώ σε άλλη έρευνα των Mundel et al (1995) οι υψηλές τιμές της εδαφικής και ατμοσφαιρικής υγρασίας σε συνδυασμό με θερμοκρασίες υψηλότερες των 20 °C φάνηκαν να είναι ανεπιθύμητες για το φυτό.

Έδαφος

Η ατρακτυλίδα για να μπορέσει να αναπτυχθεί κανονικά είναι πολύ σημαντικό να μη βρίσκεται σε όξινα εδάφη και με μεγάλη κατάκλυση διότι οι συνθήκες αυτές δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος της. Για μια ικανοποιητική ανάπτυξη του φυτού απαιτούνται εδάφη με ουδέτερο pH, καλή γονιμότητα και αρκετό βάθος. Η καλλιέργεια παρουσιάζει μία ορισμένη αντοχή στα άλατα, όμως σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές αλάτων στο έδαφος, έχουμε απώλειες στο βάρος των σπόρων και αυτό κατ' επέκταση μας μειώνει την απόδοση της καλλιέργειας σε λάδι και την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Στο παραπάνω συμπέρασμα κατέληξαν και οι έρευνες των Φασούλα και Φωτιάδη(1984) ενώ λίγο αργότερα παρατήρησε το ίδιο και ο Irving (1988). Σε συνέχεια της έρευνας των πρώτων παρατηρήθηκε ότι οι μεγάλες ποσότητες αζώτου προκαλούν μικρή καρποφορία διότι αυξάνουν τη βλαστητική ανάπτυξη. Ταυτόχρονα όμως, τέτοιες ποσότητες, μπορούν να

μειώσουν τη περιεκτικότητα λαδιού στον σπόρο ενώ αυξάνουν την απόδοση σε σπόρο με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη απόδοση λαδιού ανά μονάδα επιφάνειας.

1.2 Συστήματα εδαφοκατεργασίας

1.2.1 Συμβατική εδαφοκατεργασία με άροτρο και φρέζα

Η συμβατική άροση στοχεύει στην αναστροφή και ανάδευση ενός βαθύτερου στρώματος εδάφους με σκοπό την ενσωμάτωση και την καταστροφή υπολειμμάτων φυτών καθώς και την έκθεση των παρασίτων του εδάφους στον ήλιο για έλεγχο (Santos et al, 2015). Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται με στόχο να επιτευχθεί η απομάκρυνση των υπολειμμάτων προηγούμενης καλλιέργειας που προϋπήρχε στον αγρό, και πραγματοποιείται και κατά την διάρκεια ξηρών περιόδων για να σπάσουν τα συμπιεσμένα στρώματα (Santos et al, 2015). Με ένα σβάρνο ή ένα άροτρο από καλούπι, το έδαφος ανατρέπεται, θάβοντας τα υπολείμματα λαχανικών σε μέσο βάθος 15-30 cm. Μαζί με το πρώτο άροτρο και σπαρακτικό, εφαρμόζουμε λιπάσματα ασβεστίου και φωσφόρου αλλά και φυτοφάρμακα. Μετά από αυτά τα βήματα, ακολουθεί το σπάσιμο του ομοιώματος και η ισοπέδωση του εδάφους με σβάρνα. Αυτό γίνεται και για την ολοκλήρωση της εφαρμογής λιπασμάτων ασβεστίου και φωσφορικού άλατος (Santos et al, 2015).

1.2.2 Ακατέργαστο Έδαφος

Η μηδενική άροση είναι μια γεωργική τεχνική που εφαρμόζεται στην καλλιέργεια βοσκοτόπων και καλλιεργειών χωρίς να διαταράσσεται το έδαφος. Η τεχνική αυτή μειώνει την ποσότητα της διάβρωσης του εδάφους που προκαλεί η άροση σε ορισμένα εδάφη, ειδικά σε αμμώδη, ξηρά και επικλινή εδάφη. Άλλα πιθανά οφέλη περιλαμβάνουν αύξηση της ποσότητας νερού που διεισδύει στο έδαφος, κατακράτηση οργανικής ύλης από το έδαφος και ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών (Spears, 2018 - [σύνδεσμος](#))

Περιορισμένα συστήματα άροσης, ιδίως εκείνα με μηδενική, είναι ευρέως διαδεδομένα τα τελευταία χρόνια. Η πρακτική μη καλλιέργειας γης πραγματοποιείται παγκοσμίως για τον έλεγχο της διάβρωσης και τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους. Από οικονομικής άποψης, η χρήση

ελάχιστων πρακτικών άρωσης και μη καλλιέργειας παρέχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας (σε σύγκριση με τη συμβατική άρωση) στη χρήση καυσίμων στο αγρόκτημα και στη λειτουργία μηχανών (Zenter et al., 2004), (Bilalis et al, 2010). Σε έρευνα των Alvarez και Steinbach (2009) παρατηρήθηκε ότι η συνολική σταθερότητα και ο ρυθμός διείσδυσης του νερού ήταν υψηλότεροι σε εδάφη που υπόκεινται σε περιορισμένα συστήματα καλλιέργειας από ό,τι σε συστήματα καλλιέργειας που έχουν υποστεί άρωση (Alvarez and Steinbach, 2009), (Bilalis et al, 2010).

1.3 Λίπανση

1.3.1 Το άζωτο στα φυτά

Σύμφωνα με τους Mengel et al (2001) το άζωτο είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση καθώς υπάρχει στην ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη λιθόσφαιρα και είναι το βασικό στοιχείο για τη σύνθεση πολλών οργανικών ενώσεων όπως αυτές των ενζύμων και των αμινοξέων. Το άζωτο όμως συναντάται και στη χλωροφύλλη όπως και στα νουκλεϊκά οξέα γεγονός που δείχνει την άμεση επιρροή του στην ανάπτυξη αλλά και κατ' επέκταση στην παραγωγικότητα των φυτών. Όσον αφορά την ανάπτυξη, το άζωτο δεν βοηθάει μόνο το φύλλωμα του φυτού, υποστηρίζει ταυτόχρονα και την αύξηση του ριζικού συστήματος το οποίο είναι απαραίτητο για την επιβίωση του φυτού. Όσο πιο πράσινα είναι τα φύλλα των φυτών τόσο λιγότερη είναι η έλλειψη αζώτου μιας και το άζωτο προσδίδει στα φύλλα ένα πιο έντονο πράσινο χρώμα. Το άζωτο προσλαμβάνεται από τα φυτά μέσα από το έδαφος με τη μορφή αμμωνιακών (NH_4^+) και νιτρικών (NO_3^-) ιόντων. Έτσι οδηγούμαστε σε ακόμα ένα παράγοντα οποίος επηρεάζεται από το άζωτο και αυτός σχετίζεται με την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων διότι η πρόσληψη αμμωνιακών δημιουργεί ένα όξινο pH στη ριζόσφαιρα του φυτού με αποτέλεσμα η διαθεσιμότητα των πρώτων να μειώνεται αρκετά.

Η έλλειψη και η υπερέαρκεια αζώτου έχουν επιπτώσεις στη μορφολογία και στη φυσιολογία των φυτών και οδηγούν σε τροφопενία και τοξικότητα αντίστοιχα. Τα συμπτώματα της τροφопενίας φαίνονται στα φυτά από τη χαλάρωση, το κιτρίνισμα των φύλλων αλλά και συνολικά μέσα από την άσχημη ανάπτυξη του φυτού. Από την άλλη τα συμπτώματα της

τοξικότητας του αζώτου φαίνονται μέσα από την υπέρμετρη ανάπτυξη της βιομάζας του φυτού με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή.

Σε έρευνα των Sinclair και de Wit (1975) τονίζεται ότι η ανάγκες αζώτου διαφέρουν μεταξύ των καλλιεργειών και εξαρτώνται από τις εκάστοτε απαιτήσεις τους ενώ οι Tao και Rogers (2019) υποστηρίζουν ότι η επίτευξη της σωστής ποσότητας αζώτου φαίνεται αρκετά δύσκολη καθώς υπάρχουν συνεχώς απώλειες στο περιβάλλον αλλά το έδαφος μπορεί να παρέχει στο φυτό άζωτο είτε μέσω της ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας, είτε μέσω του υπολειμματικού ανόργανου αζώτου στο έδαφος. Σε παρόμοιο συμπέρασμα με την έρευνα των πρώτων κατέληξαν και οι Delogu et al (1998) οι οποίοι αναφέρουν ότι ο ρυθμός πρόσληψης και κατανομής του αζώτου καθορίζεται άμεσα από την προσφορά, τη ζήτησή αλλά και από το αναπτυξιακό στάδιο στο οποίο βρίσκονται τα φυτά. Η ανάγκη του ανθρώπου για πιο εντατική γεωργία έχει επηρεάσει κατά πολύ τον κύκλο του αζώτου με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται ασυνέχειες και απώλειες του αζώτου στο έδαφος.

1.3.2 Ουρία

Ένα από τα πιο διαδεδομένα λιπάσματα παγκοσμίως με βάση το άζωτο είναι η ουρία η οποία αποτελεί και το 55% των αζωτούχων λιπασμάτων. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους. Ο πρώτος αφορά την υψηλή περιεκτικότητα της ουρίας σε άζωτο ενώ ο δεύτερος έχει να κάνει με το χαμηλό κόστος σε συνδυασμό με εύκολη εφαρμογή και αποθήκευση κάτι το οποίο υποστηρίζεται από τους Glibert et al.(2006). Οι Karydogianni et al. (2020) υποστηρίζουν μέσα από έρευνα τους ότι τα λιπάσματα με βάση την ουρία οδηγούν σε απώλειες αζώτου κυρίως λόγω της εξάτμισης της αμμωνίας ενώ οι Firestone και Davidson(1989) συμπληρώνουν ότι η εξάτμιση αυτή γίνεται και μέσα από τη νιτροποίηση και απονιτροποίηση που γίνεται στο έδαφος. Σε μελέτες των Bowden et al., (2004), των Craine et al. (2007) αλλά και των Ramirez et al., (2012) οι οποίοι εξέτασαν την επίδραση των αζωτούχων λιπασμάτων στους μικροοργανισμούς, ανακάλυψαν ότι η εφαρμογή τέτοιων λιπασμάτων μειώνει το ρυθμό αναπνοής με αποτέλεσμα να μειώνει τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους.

1.3.3 Λιπάσματα νέας γενιάς

Τα λιπάσματα νέας γενιάς έχουν να κάνουν με λιπάσματα τα οποία χρησιμοποιούν μια νέα τεχνική, τους παρεμποδιστές, οι οποίοι βοηθούν στην σταδιακή έκλυση των στοιχείων που έχουν να προσφέρουν στη καλλιέργεια. Έτσι επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερη δέσμευση και αξιοποίησή τους από το φυτό ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι απώλειες προς το περιβάλλον. Σύμφωνα με τον Delgado (2002) παρά τις μεγάλες ποσότητες των λιπασμάτων που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες τα ποσοστά αποτελεσματικότητάς τους είναι πολύ χαμηλά γύρω στο 30 με 50% γεγονός που οφείλεται στις απώλειες του αζώτου στο περιβάλλον.

Οι Tao και Rogers (2019) αναφέρουν ότι οι απρόβλεπτες καιρικές συνθήκες οι οποίες λαμβάνουν χώρα συνήθως μετά την εφαρμογή λιπασμάτων ενισχύουν σημαντικά τις απώλειες αυτές. Για να επιτευχθεί η εισχώρηση της ουρίας σε βάθος στο οποίο μέσα από την πτητικότητα θα επέλθει μείωση της απώλειας του αζώτου είναι απαραίτητο να υπάρξει εντός 48 ωρών βροχόπτωση τουλάχιστον 12,7 χιλιοστών(Jones et al, 2013) Επιπλέον οι υψηλότερες θερμοκρασίες εδάφους έχουν συσχετιστεί με την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας η οποία με τη σειρά της ενισχύει τον ρυθμό απελευθέρωσης αζώτου. Για να μειωθούν οι απώλειες αζώτου είναι απαραίτητη η συσχέτιση του διαθέσιμου αζώτου με την κατάλληλη περίοδο ζήτησης του από τα φυτά.

Μέσα από δύο μελέτες αναφέρεται ότι η έκλυση του αζώτου μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος παρουσιάστηκε από τους Monaghan et al. (2008) και αφορούσε τη μείωση του αζώτου που προέρχεται από την κτηνοτροφία, μέσα από τη σωστή διαχείριση της διατροφής των ζώων. Ο δεύτερος παρουσιάστηκε από τους Di και Cameron (2002) και αφορούσε τη μείωση του ρυθμού απελευθέρωσης νιτρικού αζώτου στο περιβάλλον με τη χρήση παρεμποδιστών.

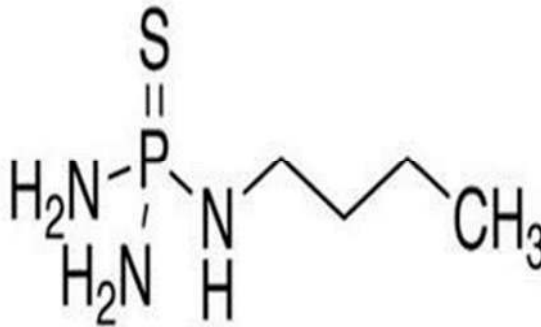
1.3.4 Παρεμποδιστές

Οι δύο ευρέως διαδεδομένοι παρεμποδιστές που χρησιμοποιούνται στα περισσότερα λιπάσματα αζώτου είναι ο παρεμποδιστής νιτροποίησης και ο παρεμποδιστής ουρεάσης. Ο πρώτος είναι βασισμένος στη δικυανδιαμίδα και καθυστερεί την μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικό. Ο δεύτερος βασίζεται στο θειοφωσφορικό τριαμίδιο και καθυστερεί την μετατροπή της ουρίας σε αμμωνιακή πληροφορίες που αντλήθηκαν από τους Li et al (2020).

Οι παρεμποδιστές ουρεάσης, σύμφωνα με τους Keshavarz Afshar et al. (2018) και τους Dawar et al. (2011), καθυστερούν τη μετατροπή της ουρίας σε αμμώνιο και έτσι οι συγκεντρώσεις ουρίας στο έδαφος είναι μειωμένες όπως και η πιθανότητα πτητικότητας της αμμωνίας. Σε έρευνες των Engel et al., (2011), των Soares et al.(2012), αλλά και των Turner et al. (2010), έχει βρεθεί ότι η ουρία με επικάλυψη παρεμποδιστή ουρεάσης μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αμμωνίας. Οι Manunza et al., (1999) η επικάλυψη με παρεμποδιστή ουρεάσης συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην αναστολή της υδρόλυσης της ουρίας κλειδώνοντας τις θέσεις δέσμευσης του ενζύμου της ουρεάσης και εμποδίζοντας το να αντιδράσει με την ουρία. Φαίνεται γενικά ότι με τους παρεμποδιστές ουρεάσης καθίσταται δυνατός ο έλεγχος της απελευθέρωσης του αζώτου στο έδαφος και έτσι πετυχαίνετε ο καλύτερος συγχρονισμός προσφοράς και ζήτησης στην καλλιέργεια με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών αζώτου(Turner et al., 2010) και (Soares et al., 2012).

Οι Sanz-Cobena et al. (2008) αναφέρουν ότι κατά την εφαρμογή ουρίας η συνολική εκπομπή αμμωνίας ήταν 10.1% ενώ με την προσθήκη του παρεμποδιστή ουρεάσης στην ουρία ήταν 5,9%. Οι συνολικές απώλειες αμμωνίας από την ουρία ήταν 11-25% του εφαρμοσμένου αζώτου μέσα σε μία περίοδο δύο εβδομάδων, ενώ από τον συνδυασμό με παρεμποδιστή, ουρίας-ουρεάσης, ήταν μόνο 0-6% (Li et al., 2015).Στις περισσότερες έρευνες αναφέρεται ότι οι παρεμποδιστές ουρεάσης είναι αποτελεσματικοί για περίπου 14 μέρες υπάρχουν όμως άλλες έρευνες οι οποίες τις αντικρούουν όπως αυτή των Havlin et al (2005) που αναφέρουν αποτελεσματικότητα 3 μηνών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των παρεμποδιστών ουρεάσης που

αναφέρεται και από τον Grant (2004) αφορά τη μείωση των αρνητικών επιδράσεων της ουρέας στον σπόρο.



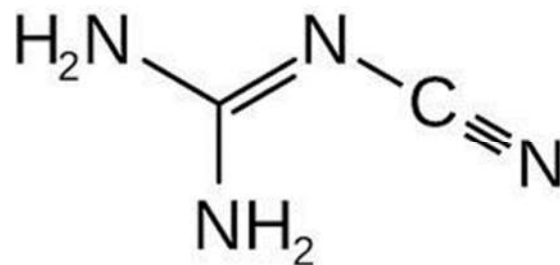
Εικόνα 1: Χημική ένωση του παρεμποδιστή ουρεάσης.

Από την άλλη πλευρά, οι παρεμποδιστές νιτροποίησης χρησιμοποιούνται για την αύξηση της αποδοτικότητας του αζώτου στα καλλιεργητικά συστήματα. Σε έρευνες των Majumdar et al. (2000), των Malla et al.(2005), και των Sun et al. (2015) φάνηκε ότι μπορούν να επιβραδύνουν την οξείδωση της αμμωνίας σε υδροξυλάση, η οποία στη συνέχεια οξειδώνεται σε διοξείδιο του αζώτου και νιτρικά ανιόντα μειώνοντας έτσι άμεσα τη νιτροποίηση, και έμμεσα την απονιτροποίηση. Επιπλέον σε άλλη έρευνα των Alonso-Ayuso et al. (2016) αναφέρεται ότι οι παρεμποδιστές νιτροποίησης επιβραδύνουν προσωρινά τη διαδικασία νιτροποίησης, όπου τα βακτήρια του εδάφους μετατρέπουν το αμμώνιο σε διοξείδιο του αζώτου με αποτέλεσμα το λίπασμα να παραμένει στη μορφή του αμμωνίου. Τελικά όταν τα λιπάσματα αναμειγνύονται με παρεμποδιστές νιτροποίησης βελτιώνεται ο συγχρονισμός μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησής του αζώτου και έτσι βελτιώνεται η αποδοτικότητά του έχοντας ταυτόχρονα ελάχιστες απώλειες νιτρικών (Ladha et al., 2005).

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Ma et al. (2015) βρέθηκε ότι η προσθήκη παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης ενισχύει τη διαθεσιμότητα των αμμωνιακών ιόντων για τους μικροοργανισμούς και έτσι αυξάνει την ακινητοποίηση του αζώτου. Από την άλλη πλευρά σε πείραμα του Juma και του Paul το 1983 παρατηρήθηκε μετά τη χρήση λιπάσματος με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης το ίδιο φαινόμενο. Συγκριτικά με τα συμβατικά λιπάσματα, η έκπλυση νιτρικών μειώθηκε κατά 27% από τα νέα λιπάσματα με

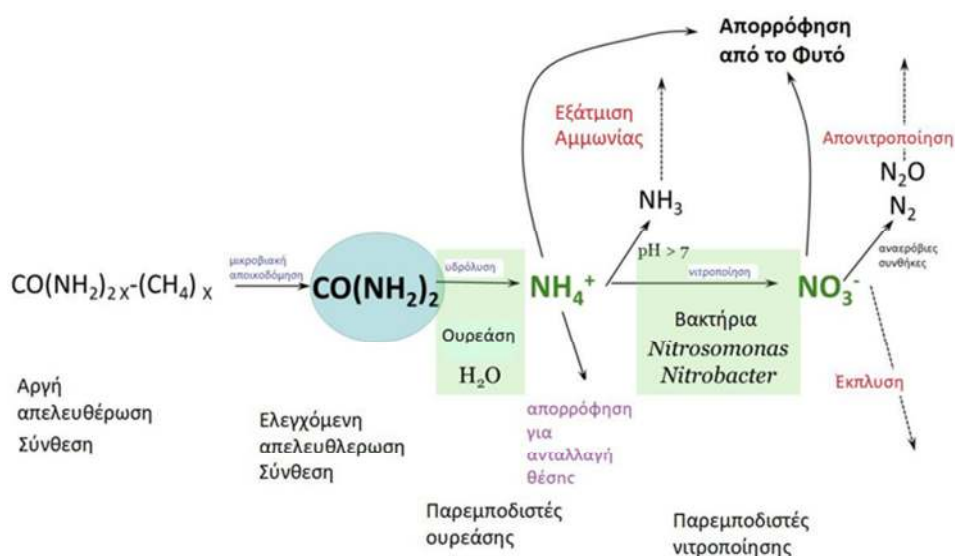
παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης αποτέλεσμα που έδωσε η έρευνα των Quemada et al. (2013).

Στους παρεμποδιστές νιτροποίησης, χρησιμοποιούνται δύο παρόμοια δραστικά συστατικά η νιτραπυρίνη και το δικυανδιαμίδιο με την αποτελεσματικότητα του δευτέρου να διαρκεί έως και τρεις μήνες (Havlin et al. 2005), (Malzer et al. 1989), (Sawyer 1985). Σύμφωνα με τους Akiyama et al.(2009), και τους Wang et al.(2015) ο συνδυασμός των παρεμποδιστών ουρεάσης και νιτροποίησης, φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικός στην εκπομπή αερίων του αζώτου αλλά και στην αύξηση της απόδοσης των καλλιέργειών.



Εικόνα 2: Χημική ένωση του παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα λιπάσματα με παρεμποδιστές αποτελούν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση σε αντίθεση με τα συμβατικά και αυτό φαίνεται μέσα από την επίτευξη των μειωμένων εφαρμογών και της αυξημένης παραγωγικότητας τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας του αζώτου στις καλλιέργειες (Quemada et al., 2013).



Εικόνα 3: Διαδρομές απώλειας αζώτου και επιλογές διαχείρισης για τη μείωση του κινδύνου απώλειας Ν (Πηγή: <https://cropwatch.unl.edu/>).

1.4 Γεωργία Ακριβείας

Στις ανεπτυγμένες χώρες, από τη βιομηχανική επανάσταση και έπειτα, ξεκίνησε η χρήση μεγάλων μηχανών καθώς και αυξημένων ποσοτήτων αγροχημικών και λιπασμάτων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της χειρωνακτικής εργασίας, η οποία αντικαταστάθηκε από μηχανήματα, δίνοντας τη δυνατότητα να επιτευχθεί αύξηση στη παραγωγικότητα της γης ενώ ταυτόχρονα να επιτευχθούν οικονομίες κλίμακας. Με αυτά τα δεδομένα λοιπόν οι αγρότες κλήθηκαν να διαχειριστούν μεγαλύτερες εκτάσεις γης, κάτι το οποίο δυσκόλεψε κατά πολύ την επίβλεψη τους και την παρατήρηση της παραλλακτικότητας τους (Zhang et al., 2002). Οι οικονομίες κλίμακας προϋπέθεταν τη εκμηχάνιση και την ομοιόμορφη διαχείριση των αγροκτημάτων, για κερδοσκοπικούς λόγους, κάτι το οποίο επέφερε αρνητικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η μείωση της γονιμότητας του εδάφους, η αύξηση της αλατότητας του εδάφους, η διάβρωση του εδάφους, η επιδείνωση του περιβάλλοντος, οι κίνδυνοι για την υγεία, η μειωμένη αειφορία των γεωργικών γαιών, η μείωση της βιοποικιλότητας και η ρύπανση των φυσικών πόρων (Liaghat and Balasundram, 2010). Όλα τα παραπάνω κρίνανε απαραίτητη την δημιουργία οικονομικά αποδοτικότερων, αειφόρων και ασφαλών μεθόδων καλλιέργειας. Αυτό οδήγησε τους επιστήμονες να αναζητήσουν λύσεις μέσω νέων μεθόδων και τεχνολογιών. Η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στη γεωργία έδωσε τη δυνατότητα να μετρηθεί η χωρική και η χρονική παραλλακτικότητα αρχικά των παραμέτρων των φυτών και μετέπειτα του εδάφους και αυτό με τη σειρά του βοήθησε την ανάπτυξης των πρώτων συστημάτων στη Γεωργία Ακριβείας. Ως Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε «τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών, προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την μη ορθολογική χρήση των εισροών (Φουντάς και Γεμτός, 2015)».

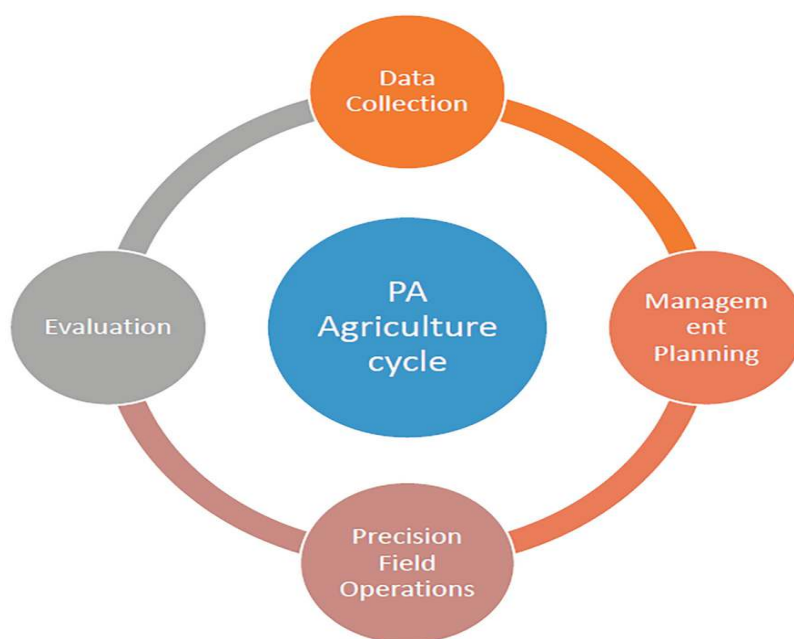
Η Γεωργία Ακριβείας θεωρείται μία από τις δέκα πιο σημαντικές επαναστάσεις στη γεωργία σύμφωνα με τους Crookston 2006 και Mulla, 2013

ενώ οι πρώτες εφαρμογές ξεκίνησαν στο τέλος του 1980 και η εισαγωγή των πρώτων εμπορικών προϊόντων και υπηρεσιών στην αγορά έγινε το 1990.

Κάθε σύστημα Γεωργίας Ακριβείας περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια:

1. Συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με τη μεταβλητότητα
2. Επεξεργασία και ανάλυση πληροφοριών για την αξιολόγηση της σημασίας της μεταβλητότητας
3. Εφαρμογή αλλαγής στη διαχείριση των εισροών.

Η διαχείριση αυτή είναι μια κυκλική διαδικασία που χαρακτηρίζεται σαν ένα σύστημα που γίνεται πιο έξυπνο κάθε χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι καθένα από τα τρία αυτά βήματα απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα, που μπορεί να κυμαίνεται από μήνες έως χρόνια, ώστε να δημιουργηθεί συλλογικά μια σταθερή και λειτουργική δομή διαχείρισης (Εικόνα X) (Liaghat and Balasundram, 2010).



Εικόνα 4: Κύκλος των δεδομένων στη Γεωργία Ακριβείας

Πηγή: [SpringerLink](#)

Για να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε Γεωργία Ακριβείας και κατ' επέκταση μεταβλητές δόσεις εισροών (Variable Rate Application) απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση τη χωρικής παραλλακτικότητας. Η χωρική παραλλακτικότητα είναι η διαφορά που συναντούμε στα μετρούμενα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και του εδάφους στον χώρο. Παραλλακτικότητα υπάρχει σε όλους τους αγρούς και μπορεί να παρατηρηθεί στη γονιμότητα του εδάφους, στην υγρασία, στο ποσοστό οργανικής ουσίας, στη μηχανική σύσταση του εδάφους, στην τοπογραφία, στην απόδοση της καλλιέργειας, στο ύψος, στην ανάπτυξη και στην ευρωστία των φυτών, στους πληθυσμούς εχθρών και ασθενειών και στους αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης. Η παραλλακτικότητα εκτός από χωρική μπορεί να είναι και χρονική. Μερικές εδαφικές ιδιότητες μπορεί να είναι σταθερές στο χρόνο ή και να μεταβάλλονται ελάχιστα από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη. Τέτοια παραδείγματα μεταβολών παρατηρούμε στην οργανική ουσία, στη μηχανική σύσταση του εδάφους αλλά και στον πληθυσμό των ζιζανίων, ο οποίος αλλάζει σημαντικά καθ' όλη τη καλλιεργητική περίοδο.

Οι εφαρμογές εισροών μέσα στη καλλιέργεια μπορούν να εφαρμοστούν χωρίζοντας τον αγρό σε μικρότερες ζώνες διαχείρισης που είναι πιο ομοιογενείς. Με άλλα λόγια, η ζώνη διαχείρισης είναι ένα επιμέρους τμήμα του αγρού που έχει κοινά χαρακτηριστικά και όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία (Kitchen et al., 2005; Φουντάς και Γεμτός, 2015). Για την Γεωργία Ακριβείας ζώνες διαχείρισης των αγροτεμαχίων αποτελούν το θεμελιώδη λίθο για την εφαρμογή της και για να γίνει κάτι τέτοιο δυνατό χρησιμοποιούνται αρκετές πληροφορίες που συγκεντρώνονται με διάφορα μέσα. Μια από αυτές είναι η χαρτογράφηση της παραγωγής, που μπορεί να υποδείξει κάποιες επιδράσεις των εισροών, όπως των λιπασμάτων, των σπόρων, των φυτοφαρμάκων και των καλλιεργητικών πρακτικών. Επίσης, χρησιμοποιούνται αναλύσεις των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, αεροφωτογραφίες (αεροπλάνα, δορυφόρους και ΣμηΕΑ) και διάφορα μηχανήματα τα οποία έχουν την ικανότητα να προσφέρουν μία χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του αγρού, όπως αισθητήρες μέτρησης της αγωγιμότητας του εδάφους. Η δημιουργία τέτοιων ζωνών διαχείρισης μας δίνει τη δυνατότητα να επέμβουμε στη καλλιέργεια με την τεχνική των μεταβαλλόμενων δόσεων. Η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων είναι και ο

απώτερος σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας, έτσι ώστε να λαμβάνει ακριβώς ότι χρειάζεται κάθε τμήμα του αγρού ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες του.

Οι τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας στην αγροτική παραγωγή επιδρούν θετικά στην κερδοφορία των αγροτών και στη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Σχετικά με την επίτευξη της οικονομίας, τέτοιου είδους συστήματα διαχείρισης των καλλιεργειών επιτρέπουν την αύξηση των αποδόσεων χρησιμοποιώντας ίδιες ή και ακόμα λιγότερες εισροές, αλλά και την διατήρηση των ίδιων αποδόσεων με λιγότερες εισροές. Ένα ακόμα θετικό στην εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας, αφορά στη δυνατότητα του παραγωγού να κάνει οικονομικές αναλύσεις βάσει της παραλλακτικότητας της παραγωγής του και να προβλέψει πιθανά επενδυτικά ρίσκα. Επιπλέον, μέρη του χωραφίου που παράγουν κάτω από το ελάχιστο κέρδος, μπορούν να μην διαχειριστούν για γεωργικούς σκοπούς. Πέρα από την κερδοφορία, μετριάζεται, σε μεγάλο ποσοστό, η περιβαλλοντική ρύπανση, όπως η μόλυνση των υπόγειων υδάτων και η διάβρωση του εδάφους, που προκύπτουν από την χρήση αγροτικών μηχανημάτων και την υπερβολική εφαρμογή αζώτου, φωσφόρου και άλλων αγροχημικών σκευασμάτων.

Η Γεωργία Ακριβείας έχει αρκετά θετικά αποτελέσματα, όπως προαναφέρθηκε, αλλά κάποιες φορές η εφαρμογή της δεν είναι τόσο συμφέρουσα. Πρώτον, η παραλλακτικότητα ενός αγρού δεν καθιστά απαραίτητα την εφαρμογή μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας ως πανάκεια. Σύμφωνα με έρευνα των Φουντά και Γεμτό (2015) θα πρέπει αρχικά να μετρηθεί το μέγεθος της παραλλακτικότητας, να βρεθούν οι αιτίες που την προκαλούν και τέλος να βρεθεί ένας τρόπος για να γίνει διαχείριση της. Επίσης, άλλος ένας περιοριστικός παράγοντας είναι η σχετικά τεράστια αρχική επένδυση. Τα μηχανήματα και τα εργαλεία της Γεωργίας Ακριβείας είναι πιο ακριβά από αυτά της συμβατικής καλλιέργειας. Έτσι, λόγω του υψηλού αρχικού κόστους, οι τεχνολογίες αυτές σχετίζονται στενά με το μέγεθος της εκμετάλλευσης (Gyarmati and Mizik, 2020), δηλαδή η χρήση συμφέρει κυρίως χωράφια με μεγάλη έκταση.

1.5 Νέες Τεχνολογίες

Στην Γεωργία ακριβείας χρησιμοποιούνται τεχνολογίες που σχετίζονται με τα στάδια από τη σπορά έως και την συγκομιδή μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)

Το GPS έχει σχεδιαστεί από τις ΗΠΑ και είναι το κατ' εξοχήν διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο από τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS). Τα συστήματα αυτά μας δίνουν αυτόνομες γεω-χωρικές πληροφορίες σε παγκόσμιο επίπεδο και επιτρέπουν στους δέκτες μας να καταγράψουν πληροφορίες για τη θέση τους που αφορούν το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος καθώς και το υψόμετρο, μέσα από την επεξεργασία μετρήσεων προς και από τους τεχνητούς δορυφόρους. Αποτελεί πάρα πολύ σημαντικό εργαλείο για πολλές διαδικασίες που περιλαμβάνει η Γεωργία Ακριβείας, όπως η αυτόματη πλοήγηση των μηχανημάτων, ο ακριβής προσδιορισμός των θέσεων εγκατάστασης αισθητήρων, η καταγραφή των σημείων λήψης δειγμάτων, η χαρτογράφηση και δημιουργία του ανάγλυφου του αγρού. Άλλα παρόμοια συστήματα, εκτός από το GPS, είναι αναφορικά, το Galileo της Ευρώπης, το GLONASS της Ρωσίας, το BeiDou (COMPASS) της Κίνας.

Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information System, GIS)

Είναι μια εφαρμογή λογισμικού που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει εργαλεία για το χειρισμό και την εμφάνιση χωρικών δεδομένων. Επίσης μπορεί να ψηφιοποιεί τους χάρτες. Μια πολύ σημαντική λειτουργία ενός GIS είναι η αποθήκευση πληροφοριών σε επίπεδα, όπως αποδόσεις της καλλιέργειας, χάρτες εδάφους και επίπεδα θρεπτικών ουσιών στο έδαφος. Η τεχνολογία GIS επιτρέπει στον χειριστή να αποθηκεύει τα δεδομένα εισόδου και τα δεδομένα εξόδου ως ξεχωριστά επίπεδα χάρτη σε ψηφιακούς χάρτες, να τα ανακτήσει, να τα αναλύσει, να τα συνδυάσει και να τα χρησιμοποιήσει για μελλοντική απόφαση διαχείρισης των εισροών.

Τηλεπισκόπηση

Μέσα από την επιστήμη της τηλεπισκόπηση μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες για ένα αντικείμενο, χωρίς να έρθουμε σε επαφή με αυτό, μέσω της

αξιοποίησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει επειδή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αντιδρά χαρακτηριστικά με κάθε αντικείμενο που έρχεται σε επαφή. Εκθέτοντας τα φυτά σε ακτινοβολία και μετρώντας την ανάκλαση αυτής καταφέρνουμε να συλλέξουμε διάφορες πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε νερό, για τη θρεπτική κατάσταση των φυτών καθώς και για άλλων χαρακτηριστικών της καλλιέργειας, οι οποίες μπορεί να είναι πολύ σημαντικές για να ληφθούν ορθότερες αποφάσεις διαχείρισης στη Γεωργία Ακριβείας. Δεδομένα τηλεπισκόπησης, μπορούν να συλλεχθούν μέσω δορυφόρων, μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) και επίγειων αισθητήρων.

Τεχνολογία διαφοροποιούμενης δόσης (Variable Rate Application)

Για να εφαρμοστεί η τεχνολογία αυτή απαραίτητη είναι η καταγραφή και η κατανόηση της παραλλακτικότητας του αγρού η οποία θα δείξει τις ανάγκες κάθε τμήματος άρα και τις διαφορετικές απαιτήσεις εισροών που υπάρχουν. Με βάση τις απαιτήσεις αυτές εφαρμόζονται διαφορετικές δόσεις σε κάθε περιοχή του αγρού. Για την τεχνολογία αυτή υπάρχουν δύο μέθοδοι εφαρμογής. Η πρώτη βασίζεται σε ένα χάρτη εφαρμογής και ένα GPS όπου ανάλογα με τη θέση του μηχανήματος και την πληροφορία του χάρτη δίνουν την ανάλογη δόση σε κάθε μέρος. Η δεύτερη βασίζεται σε αισθητήρες τοποθετημένους στα μηχανήματα που καθορίζουν τις δόσεις ανάλογα με τις πληροφορίες που λαμβάνουν από τα χαρακτηριστικά του εδάφους ή της καλλιέργειας.

Χαρτογράφηση της παραγωγής

Μέσα από την χαρτογράφηση της παραγωγής επιτυγχάνεται η καταγραφή καθώς και η συλλογή των δεδομένων αυτής σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στον αγρό. Επειδή η παραγωγή σε ένα αγροτεμάχιο εμφανίζει και αυτή παραλλακτικότητα από σημείο σε σημείο είναι πολύ σημαντικό να καταγραφεί η παραγωγή σε όλα τα σημεία του αγρού. Αν υπάρχουν μηχανές καταγραφής παραγωγής, τοποθετούνται στα εργαλεία συγκομιδής καταγράφοντας συνεχώς τιμές από την παραγωγή και συνδέοντάς τες με το στίγμα GPS που λαμβάνουν σε κάθε σημείο. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να γίνει και χειροκίνητα χωρίζοντας το αγροτεμάχιο σε υπό-τμήματα συλλέγοντας δεδομένα παραγωγής από κάθε υπό-τμήμα.

Χαρτογράφηση των εδαφικών ιδιοτήτων

Τα εδάφη παρουσιάζουν σημαντική ποικιλομορφία με αποτέλεσμα το κάθε ένα από αυτά να αντιδρά διαφορετικά στις εξωτερικές επιδράσεις, ανθρώπινες ή φυσικές. Είναι απαραίτητο, επομένως, να γνωρίζουμε τις διάφορες κατηγορίες των εδαφών, τη γεωγραφική τους κατανομή, τις ιδιότητές τους, τις αλληλεπιδράσεις με άλλα στοιχεία του περιβάλλοντος και την αντίδρασή τους σε εξωτερικές επιδράσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χαρτογράφηση-ταξινόμηση των εδαφών και τη σύνταξη του εδαφολογικού χάρτη. Οι εδαφολογικοί χάρτες συνοδεύονται από τις εδαφολογικές μελέτες. Εδαφολογικός χάρτης είναι ένας χάρτης που απεικονίζει γεωγραφικά τους εδαφικούς τύπους. Δημιουργείται μέσω της χαρτογράφησης εδαφών που είναι «μια συστηματική εξέταση, περιγραφή, ταξινόμηση και χαρτογράφηση των εδαφών μιας δεδομένης περιοχής (Brady and Weil, 1996). Με τη χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων γίνεται καταγραφή της γονιμότητας των αγρών. Ο εδαφολογικός λύνει πρακτικά προβλήματα της εκμετάλλευσης των εδαφικών πόρων, όπως η επιλογή καλλιεργειών, η εφαρμογή αποτελεσματικής λίπανσης, η εφαρμογή της κατάλληλης άρδευσης ή στράγγισης, η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων καλλιέργειας. Καθορίζει τα μέτρα για τη βελτίωση και την προστασία των εδαφών (βελτίωση παθογόνων εδαφών, αντιδιαβρωτική προστασία κ.ά.). Η άσκηση της ολοκληρωμένης διαχείρισης των καλλιεργειών, της βιολογικής και οικολογικής γεωργίας απαιτούν την ύπαρξη του εδαφολογικού χάρτη.

Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους

Μία ακόμη μέτρηση που χρησιμοποιείται στη Γεωργία Ακριβείας είναι αυτή της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του εδάφους. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους έρχεται να ολοκληρώσει ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων που δείχνουν να επηρεάζουν την καλλιέργεια αλλά και την παραγωγή της. Μέσα στο σύνολο των παραγόντων αυτών ανήκει η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, η μηχανική του σύσταση, η οργανική ουσία που εμπεριέχεται σε αυτό καθώς και το βάθος του σκληρού ορίζοντα. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή και για το λόγο αυτό η όποια μεταβολή τους παρουσιάζει αντίστοιχη μεταβολή και σε αυτή. Η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους επιτυγχάνεται με τη σύνδεση μιας συσκευής που μετρά την αγωγιμότητα πάνω σε ένα παρελκόμενο όχημα και την προσαρμογή ενός GPS πάνω σε αυτό. Ένα Σύστημα

Πληροφοριών, περιέχει δεδομένα και εργαλεία επεξεργασίας σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή και μελετά φαινόμενα στον πραγματικό κόσμο. Η αναπαράσταση αυτών των πληροφοριών αποτελεί μοντέλο αυτών των φαινομένων και οι άνθρωποι μέσω της επιλογής, της γενίκευσης και της σύνθεσης τους προσπαθούν να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα αυτά. Η αξιοποίηση χωρικών δεδομένων συνήθως περιλαμβάνει διαδικασίες απόκτησης, αποθήκευσης, διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων. Για πολλά χρόνια, αυτό γινόταν χρησιμοποιώντας αναλογικές πηγές δεδομένων, χειροκίνητη επεξεργασία και παραγωγή χαρτών. Για παράδειγμα, για μια εργασία σχεδιασμού συνήθως χρειάζονται διαφορετικοί χάρτες και άλλες πηγές δεδομένων. Κατά μια συμβατική αναλογική διαδικασία θα έπρεπε να συλλεχθούν όλοι οι χάρτες και τα έγγραφα που απαιτούνται πριν την ανάλυση. Το πρώτο πρόβλημα σε όλο αυτό είναι ότι οι χάρτες και τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται από διαφορετικές πηγές σε διαφορετικές τοποθεσίες και το δεύτερο ότι βρίσκονται σε διαφορετικές κλίμακες και προβολές. Επομένως, για να συνδυαστούν όλα αυτά δεδομένα και να αξιοποιηθούν θα έπρεπε πρώτα να μετατραπούν σε δεδομένα της ίδιας κλίμακας και προβολής. Αυτό γινόταν χειροκίνητα και επομένως αποτελούσε μια χρονοβόρο και κοστοβόρο διαδικασία (Sivakumar et al., 2004).

1.6 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας, τα διάφορα δεδομένα που σχετίζονται με την καλλιέργεια, αντιπροσωπεύονται από αριθμούς οι οποίοι περιγράφουν μετρήσεις παραμέτρων όπως οι επιτόπιες παρατηρήσεις, η εφαρμογή κάποιας εισροής με διαφοροποιούμενη δόση κλπ. Τα δεδομένα αυτά μέσω ενός Συστήματος γεω-αναφοράς (π.χ. GPS) συνοδεύονται από το γεωγραφικό στίγμα των αντίστοιχων σημείων του αγρού όπου αναφέρονται. Στις σύγχρονες γεωργικές εκμεταλλεύσεις ο γεωργικός κλήρος είναι πολύ μεγάλος και κατά συνέπεια μεγαλώνει και ο όγκος των πληροφοριών που θα πρέπει να επεξεργαστεί κάποιος, έτσι ώστε να φτάσει σε μια απόφαση για το πώς θα διαχειριστεί τον εκάστοτε αγρό. Ως αποτέλεσμα, η γρήγορη και οικονομική αξιοποίηση αυτών των δεδομένων από μεμονωμένα άτομα είναι αδύνατη και κατ'επέκταση η χρήση κάποιου λογισμικού επεξεργασίας τους καθίσταται αναγκαία.

Η εισαγωγή σύγχρονων τεχνολογιών είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση υπολογιστών και τεχνολογιών πληροφορίας σε όλες τις πτυχές της

διαχείρισης των χωρικών δεδομένων. Η τεχνολογία λογισμικού που χρησιμοποιείται σε αυτόν τον τομέα είναι τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems, GIS), δηλαδή συστήματα τα οποία επεξεργάζονται γρήγορα γεωγραφικές πληροφορίες για την λήψη αποφάσεων. Οι Burrough και McDonnell (1998) έχουν ορίσει το GIS ως ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάκτηση κατά βούληση, μετασχηματισμό και εμφάνιση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για συγκεκριμένους σκοπούς (Mulla, 2013). Οι πληροφορίες στο GIS απεικονίζονται πάντοτε ως ψηφιακοί χάρτες του υπό εξέταση αγρού και αποθηκεύονται σε ψηφιακή μορφή σε μια βάση δεδομένων με παγκόσμιες συντεταγμένες, καθώς όλες οι πληροφορίες είναι προσδιορισμένες στο χώρο με τη βοήθεια του GPS. Επιπλέον ένα GIS παρέχει πρόσθετα εργαλεία, όπως στατιστικά πακέτα και λογισμικά για προσομοιώσεις και άλλες αναλυτικές μεθόδους. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης.

Μία δυνατότητα αυτών των λογισμικών, που τα διαφοροποιεί από τη κλασσική απεικόνιση των δεδομένων, είναι η δυνατότητα συνδυασμού μη όμοιων δεδομένων σε μια κοινή βάση, και έτσι δεν απαιτούνται οι αντίστοιχες μετατροπές στο χάρτη. Επιπλέον, τα δεδομένα της βάσης αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πολλούς χρήστες, να επεξεργάζονται, να εμπλουτίζονται και γενικά να αποτελούν μια δυναμική πηγή πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα, τα ποικίλα εργαλεία ενός GIS μπορούν να συνδυαστούν με διάφορες αλληλουχίες για να αποκαλύψουν νέες ή προηγουμένως άγνωστες σχέσεις εντός ή μεταξύ συνόλων δεδομένων, αυξάνοντας έτσι την καλύτερη κατανόηση του πραγματικού κόσμου. Για παράδειγμα σε ένα τέτοιο σύστημα μπορούν να εισαχθούν εικόνες τηλεπισκόπησης συγκεκριμένων φασμάτων και να υπολογιστούν διάφοροι δείκτες βλάστησης, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι για εφαρμογές στη Γεωργία Ακριβείας. Επομένως, πέρα από την χαρτογράφηση, οι βάσεις δεδομένων που συνδέονται με το GIS και τα εργαλεία του για τον χειρισμό τους, καθιστούν το GIS ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τη Γεωργία Ακριβείας.

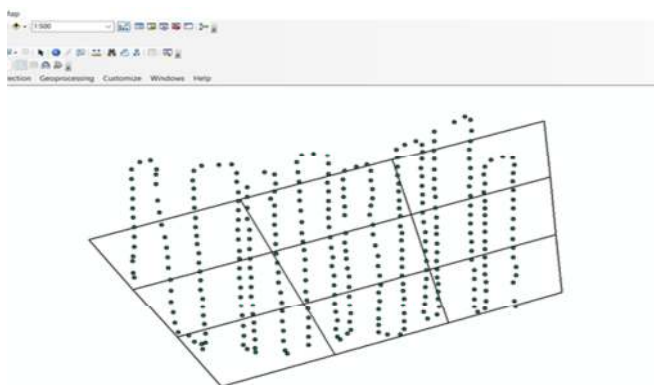
Σε ένα λογισμικό GIS, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όλα τα δεδομένα συνδέονται με τη γεωγραφική θέση που έχουν ληφθεί. Αξίζει να αναφερθεί, ότι σε κάθε εφαρμογή GIS, τα δεδομένα που εισάγονται θα πρέπει υποχρεωτικά να

επεξεργάζονται στο ίδιο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων, έτσι ώστε να μπορούν να συνδυαστούν.

1.6.1 Απεικόνιση δεδομένων σε GIS

Ένα GIS αναπαριστά τα χωρικά δεδομένα, δηλαδή τα διάφορα γεωγραφικά χαρακτηριστικά, σε διακριτά αντικείμενα, τα οποία μπορούν να απεικονιστούν και να αποθηκευτούν με δύο μορφές:

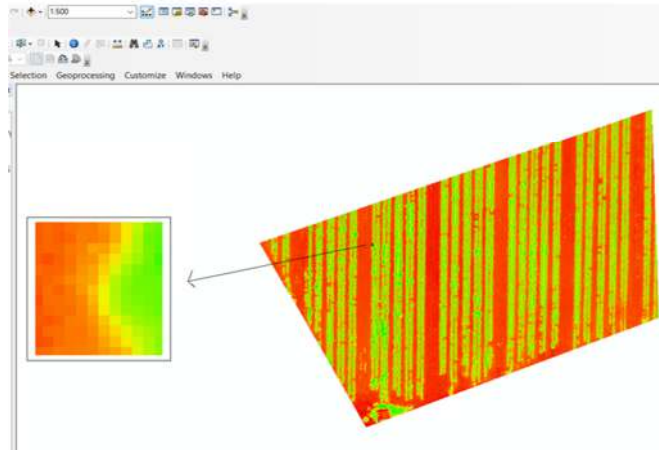
1. Με διανυσματική μορφή (vector). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν σημεία, γραμμές και πολύγωνα τα οποία αντιπροσωπεύονται από τις ακριβείς συντεταγμένες x, y για τον προσδιορισμό τοποθεσιών. Η σύνδεση των συνολικών τμημάτων κάθε γραμμής σχηματίζει τα αντικείμενα περιοχής. Ένα τέτοιο παράδειγμα, είναι τα δεδομένα που λαμβάνονται από επίγειους αισθητήρες, καθώς οι μετρήσεις λαμβάνονται από συγκεκριμένα σημεία του αγρού, όπως απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5: Διανυσματικά δεδομένα (vector) (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

2. Με μορφή κυψελίδων (raster). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα συνεχή δεδομένα. Για την αναπαράσταση των γεωγραφικών δεδομένων, χρησιμοποιείται ένα σύνολο κελιών που προσδιορίζονται από τις αντίστοιχες συντεταγμένες. Σε κάθε κελί αποδίδεται ανεξάρτητα η τιμή ενός χαρακτηριστικού. Δηλαδή, κάθε κελί περιέχει μία μόνο τιμή και κάθε τοποθεσία αντιστοιχεί σε ένα κελί. Το σύνολο των κελιών που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό

αποτελούν ένα επίπεδο (layer). Ένα τέτοιο παράδειγμα, είναι τα δεδομένα που λαμβάνονται από τις πολυφασματικές κάμερες των ΣμηΕΑ, καθώς οι μετρήσεις συμπεριλαμβάνουν όλα τα σημεία του αγρού που εξετάζεται, όπως απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα.



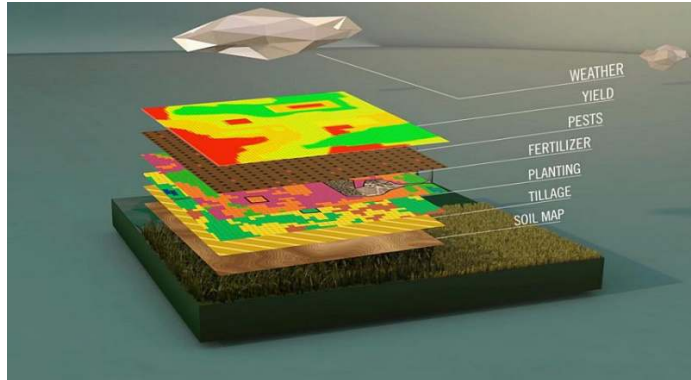
Εικόνα 6: Δεδομένα σε μορφή κυψελίδων (raster) (Πηγή προσωπικό αρχείο)

1.6.2 GIS και Γεωργία Ακριβείας

Τα GIS στη Γεωργία Ακριβείας έχουν καταλυτικό ρόλο στη ορθότερη διαχείριση των καλλιεργειών. Με τη συστηματική συλλογή δεδομένων δημιουργείται ένας αριθμός χαρτών που απεικονίζουν τη μεταβολή διαφόρων παραμέτρων του αγρού ή της καλλιέργειας. Οι πληροφορίες αυτές προστίθενται σε επίπεδα (data layers) και μπορεί να είναι:

- Τύποι εδάφους
- Θρεπτικά συστατικά εδάφους
- ΡΗ του εδάφους
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους
- Σημεία δειγματοληψίας.
- Υψομετρικά δεδομένα
- Απόδοση παραγωγής
- Περιοχές με μεγάλη πυκνότητα ζιζανίων

- Παλιές προσβολές από έντομα
- Όρια / εκτάσεις χωραφιών
- Ζώνες διαχείρισης
- Δεδομένα στράγγισης



Εικόνα 7: Παράδειγμα GIS, όπου απεικονίζονται διάφορα επίπεδα (απόδοση παραγωγής, κάλυψη, σημεία δειγματοληψίας, ευρωστία καλλιέργειας, υψόμετρο) στον ίδιο αγρό. (Πηγή: www.farmdoctors.com)

Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα συνδυάζονται και έτσι μπορούν να ληφθούν αποφάσεις για τον πιο κατάλληλο τρόπο διαχείρισης του αγρού. Για παράδειγμα, μέσω της αξιοποίησης τέτοιων δεδομένων, μπορούμε να εντοπίσουμε διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της καλλιέργειας, όπως ζιζάνια και έντομα, και κατ' επέκταση ο παραγωγός να χρησιμοποιήσει τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα πιο στοχευμένα και, συνεπώς, σε μικρότερες ποσότητες.

1.7 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση είναι «η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μια συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο» (Lillesand and Kiefer, 1994). Για παράδειγμα, η ανθρώπινη όραση αποτελεί μορφή τηλεπισκόπησης, καθώς τα μάτια ανταποκρίνονται στο ανακλώμενο φως λαμβάνοντας συγκεκριμένα μήκη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ως πληροφορίες, οι οποίες επεξεργάζονται από τον εγκέφαλο με αποτέλεσμα την αντίληψη ενός αντικειμένου.

Η θεμελιώδης αρχή αυτής της επιστήμης είναι η ανίχνευση και αναγνώριση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται ή εκπέμπεται από διάφορα αντικείμενα. Η τηλεπισκόπηση ως τεχνολογικό εργαλείο βοηθά στην συγκέντρωση, στην παρατήρηση, στη και στην αξιολόγηση πληροφοριών που συλλέγονται από συγκεκριμένα στοιχεία-στόχους που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται μέσω εξειδικευμένων αισθητήρων. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να είναι παθητική ή ενεργή. Τα ενεργά συστήματα έχουν τη δική τους πηγή ενέργειας (όπως τα ραντάρ), ενώ τα παθητικά συστήματα απαιτούν μια εξωτερική πηγή φωτισμού (όπως ο ήλιος).

Πιο συγκεκριμένα, τα στάδια μιας τηλεπισκοπικής διαδικασίας είναι τα εξής (Sivakumar et al., 2004):

- Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον ήλιο ή κάποια άλλη πηγή
- Μετάδοση ενέργειας από την πηγή στην επιφάνεια της γης, επίσης ως απορρόφηση και σκέδαση.
- Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της γης: αντανάκλαση και εκπομπή.
- Μετάδοση ενέργειας από την επιφάνεια στον αισθητήρα
- Έξοδος δεδομένων από των αισθητήρα.
- Διαβίβαση, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων σε ειδικά λογισμικά.

Αυτή η μέθοδος συλλογής δεδομένων έχει τα εξής πλεονεκτήματα (Jensen 1998; Liaghat και Balasundram 2010; Φουντάς και Γεμτός 2015):

- Τα δεδομένα μπορούν να συλλέγονται συστηματικά από μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και όχι μόνο από συγκεκριμένα σημεία. Μάλιστα, γίνεται εφικτή η απόκτηση πληροφοριών από μη προσβάσιμες επιφάνειες της γης.
- Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις εξεταζόμενες επιφάνειες μελετιούνται με αποτέλεσμα να γίνεται δυνατή η σύγκριση μεταξύ ίδιων δεδομένων από διαφορετικές περιοχές λήψης.

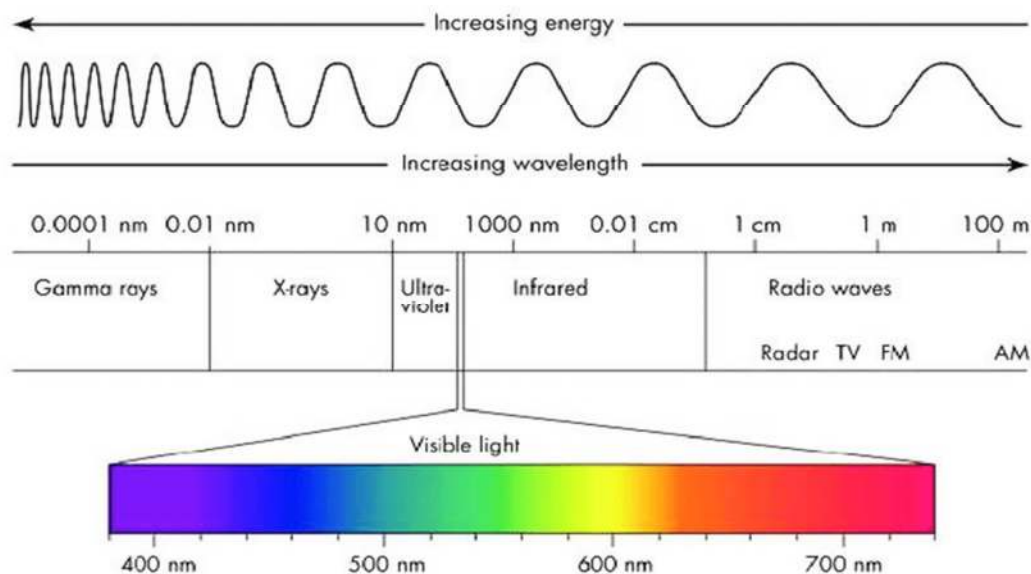
- Η συστηματική συλλογή δεδομένων παρέχει τη δυνατότητα μελέτης διαφόρων χαρακτηριστικών και διαχρονικών συγκρίσεων μεταξύ τους και μειώνει τη μεροληψία της δειγματοληψίας.
- Η λήψη πληροφοριών σε πολλά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εντοπίσει διαφορές μεταξύ των βιοφυσικών στοιχείων της εξεταζόμενης επιφάνειας, οι οποίες παρατηρούνται εκτός του ορατού φάσματος.
- Η τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει θεμελιώδεις βιοφυσικές πληροφορίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλές επιστήμες, όπως η γεωπονία, η κλιματολογία, η δασολογία, η γεωλογία και η γεωγραφία.
- Η τηλεπισκόπηση είναι ανεξάρτητη από τα δεδομένα που παράγονται αλλού, σε σύγκριση με τις άλλες επιστήμες χαρτογράφησης όπως η χαρτογραφία ή το GIS.

1.7.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δημιουργείται όταν ένα ατομικό σωματίδιο, όπως ένα ηλεκτρόνιο, επιταχύνεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο, προκαλώντας κίνηση. Αυτή, με τη σειρά της, παράγει ταλαντευόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, τα οποία ταξιδεύουν στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Τα κύματα αυτά έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία είναι η συχνότητα, το μήκος κύματος και η ενέργεια. Το μήκος κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός κύματος, η οποία μετριέται σε μέτρα (m), ενώ η συχνότητα είναι ο αριθμός των κυμάτων που σχηματίζονται σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα και συνήθως μετριέται ως ο αριθμός κύκλων κυμάτων ανά δευτερόλεπτο ή hertz (Hz).

Η ακτινοβολία αυτή εκτείνεται σε ένα τεράστιο εύρος μηκών κύματος και συχνοτήτων, γνωστό ως το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Αυτό εκτείνεται από μήκος κύματος 0.01 Angstrom (γ ακτίνες) μέχρι 3×10^6 μέτρα που χαρακτηρίζει την υψηλή και χαμηλή συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται γενικά σε επτά περιοχές, κατά σειρά μείωσης του μήκους κύματος και αύξησης της ενέργειας και της συχνότητας. Οι κοινές ονομασίες είναι: ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρες (IR), ορατό φως,

υπεριώδες (UV), ακτίνες X και ακτίνες γ. Το εύρος του φάσματος που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι είναι περίπου μεταξύ 350 και 700 nm.



Εικόνα 8: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (πηγή: www.researchgate.net).

Η αλληλεπίδραση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με φυσικές επιφάνειες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα μήκη των κυμάτων. Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης επιτρέπουν τη λήψη εικόνων της επιφάνειας της γης σε διάφορες περιοχές μήκους κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια είναι το μέσο με το οποίο οι πληροφορίες μεταδίδονται από ένα αντικείμενο σε έναν αισθητήρα. Οι πληροφορίες θα μπορούσαν να κωδικοποιηθούν στο περιεχόμενο συχνότητας, την ένταση ή την πόλωση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Οι περισσότερες εικόνες τηλεπισκόπησης δίνουν δεδομένα για (Sivakumar et al., 2004):

- την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία στις ορατές και τις εγγύς υπέρυθρες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος
- την ενέργεια που εκπέμπεται από την ίδια τη γήινη επιφάνεια, η οποία είναι στην περιοχή του μήκους κύματος των θερμικών υπέρυθρων.
- την ενέργεια που μετριέται στην περιοχή των μικροκυμάτων, η οποία είναι το μέτρο της σχετικής επιστροφής αυτού του εύρους από την επιφάνεια της γης.

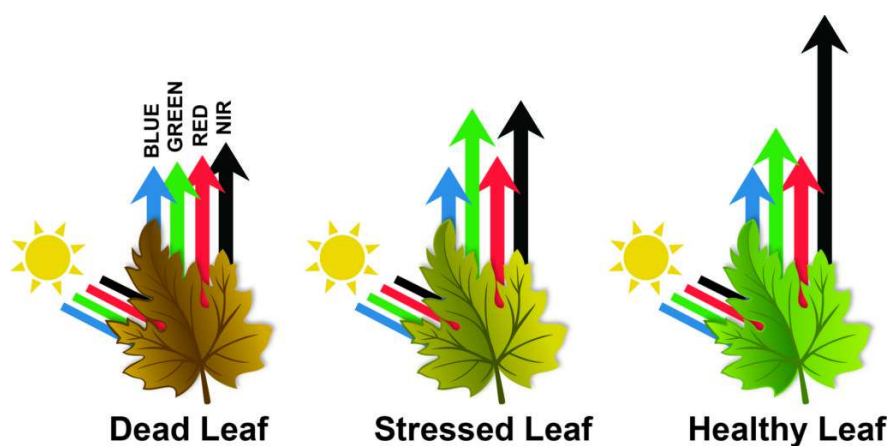
1.7.2 Φασματική υπογραφή της βλάστησης

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο, μπορεί να απορροφηθεί, να ανακλαστεί ή και να διέλθει. Κάθε αντικείμενο, λόγω των χαρακτηριστικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων του και των δομικών χαρακτηριστικών του αλληλοεπιδρά ιδιότυπα με τα διάφορα φάσματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κάτι το οποίο οδηγεί στη διάκριση των αντικειμένων μεταξύ τους. Αυτή η διάκριση ονομάζεται φασματική υπογραφή του αντικειμένου. Πιο συγκεκριμένα, φασματική υπογραφή ενός αντικειμένου είναι μια αλληλεπίδραση ενός τυχαίου ηλεκτρομαγνητικού μήκους κύματος και του υλικού σε συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και υπολογίζεται ως ο λόγος της ανακλώμενης ενέργειας προς την προσπίπτουσα ενέργεια σε συνάρτηση του μήκους κύματος (Sivakumar et al., 2004).

Τα κύρια χαρακτηριστικά της βλάστησης που επηρεάζουν τις φασματικές ιδιότητες του φωτοσυνθετικού ιστού είναι το περιεχόμενο τους σε χρωστικές, όπως η χλωροφύλλη, και σε νερό καθώς και κάποιες μοριακές δομές του. Οι αλλαγές πάνω σε αυτά τα χαρακτηριστικά θα καθορίσουν τελικά εάν ένα φωτόνιο θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί, δίνοντας στα φύλλα το χρώμα που αντιλαμβανόμαστε. Μάλιστα, η ποικίλα αυτών των χαρακτηριστικών των φύλλων ανάμεσα σε διαφορετικά φυτά επιτρέπει στους ερευνητές να κάνουν διάκριση μεταξύ των ειδών, παρόλο που όλα φαίνονται ίδια στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Govender et al., 2009; Lillesand and Kiefer, 1999).

Η υγιής βλάστηση απορροφά ενέργεια μπλε και κόκκινου φωτός για να τροφοδοτήσει τη φωτοσύνθεση και να δημιουργήσει τη χλωροφύλλη και αντανakλά περισσότερο την ενέργεια του πράσινου φωτός. Αυτός είναι ο λόγος που τα υγιή φύλλα έχουν πράσινο χρώμα. Η χλωροφύλλη των πράσινων φύλλων απορροφά συνήθως το 70-90% του φωτός στην μπλε (450 nm) και κόκκινη (670 nm) περιοχή του ορατού φάσματος. Το σπογγώδες μεσόφυλλο, που είναι μια εσωτερική κυτταρική δομή του φύλλου, αντανakλά μεγάλο ποσοστό στην

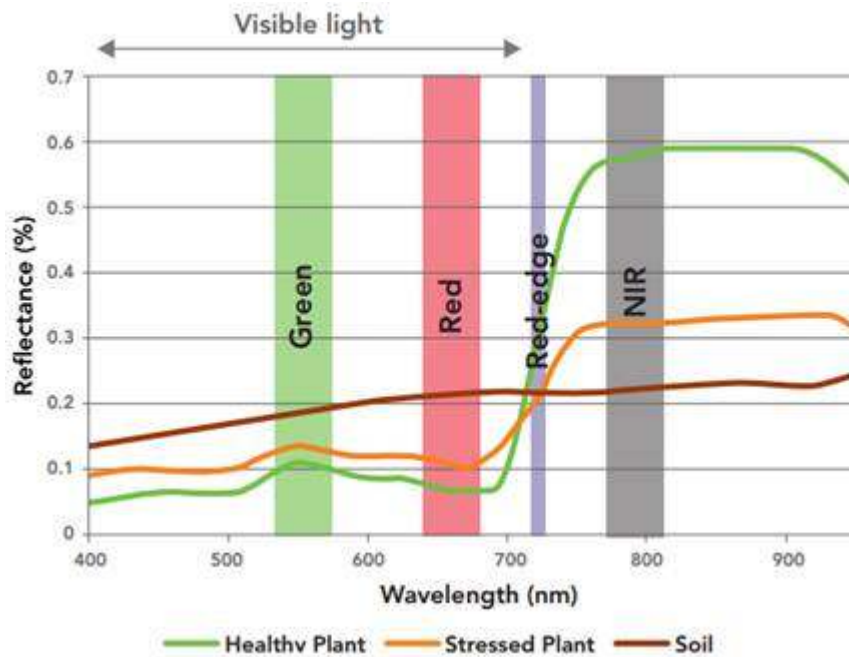
περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (NIR). Στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, μεταξύ 700-1300nm, η αντανάκλαση των πράσινων φυτών αυξάνεται στο 40-60%. Πέρα από τα 1300nm, υπάρχουν πτώσεις στην καμπύλη αντανάκλασης εξαιτίας της απορρόφησης από το νερό που βρίσκεται στα φύλλα



Εικόνα 9: Αλληλεπίδραση ορατού και υπέρυθρου φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με ένα φύλλο σε διάφορα στάδια

(<https://science.nasa.gov/>)

Ένα υγιές φυτό αντανακλά περισσότερη ενέργεια υπέρυθρης ακτινοβολίας σε σύγκριση με ένα στρεσαρισμένο φυτό με χαμηλότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης. Όταν ένα φυτό βρίσκεται σε συνθήκες καταπόνησης ή προσβολής, οι οποίες εμποδίζουν την κανονική ανάπτυξη και την παραγωγή χλωροφύλλης, τότε παρατηρείται λιγότερη απορρόφηση στις κόκκινες και μπλε περιοχές και η ποσότητα ανάκλασης στην κόκκινη ζώνη κυμάτων αυξάνεται (Govender et al., 2009). Έτσι, η φασματική ανάλυση τόσο της απορρόφησης όσο και της ανάκλασης ενός φυτού σε ορατά και σε υπέρυθρα μήκη κύματος μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την υγεία και την παραγωγικότητα του.



Εικόνα 10: Φασματική υπογραφή υγιούς και καταπονημένης βλάστησης στο μήκος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος 400- 900nm (Πηγή: www.dslrpros.com)

1.7.3 Δείκτης βλάστησης - Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

Η χαρακτηριστική φασματική υπογραφή των φυτών οδήγησε στη δημιουργία των δεικτών βλάστησης. Αυτοί είναι μαθηματικοί τύποι που προέρχονται από πολυφασματικά δεδομένα με βάση τις διαφορές στην απορρόφηση, στη μετάδοση και στην απόδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη βλάστηση στις κόκκινες και εγγύς υπέρυθρες ζώνες. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζονται ως αναλογίες ή διαφορές δύο ή περισσότερων ζωνών που μπορεί να βρίσκονται στο ορατό (VIS), εγγύς υπέρυθρο (NIR) και στο μικρού μήκους υπέρυθρο (SWIR) φάσμα. Οι δείκτες αυτοί προσπαθούν να προσδιορίσουν την ευρωστία της βιομάζας ή της βλάστησης και είναι χρήσιμοι για την αποκάλυψη των φυσιολογικών συνθηκών και της κατανομής της βλάστησης (Fung and Siu, 2000). Οι δείκτες βλάστησης αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1970 (Glenn et al., 2008; Pettorelli, 2013), και τώρα υπάρχουν περισσότεροι από 150.

Η φασματική απόκριση των περιοχών με βλάστηση, πέρα από την αντανάκλαση των φυτών, επηρεάζεται και από το έδαφος, τη σκιά, την υγρασία

και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι δείκτες βλάστησης παρουσιάζουν καλύτερη ευαισθησία στις μεμονωμένες φασματικές περιοχές, όπου ανιχνεύεται η φυτική βιομάζα (Asrar et al. 1984; Bannari et al., 1995). Έτσι η χρησιμότητα ενός δείκτη βλάστησης καθορίζεται από τον υψηλό συσχετισμό του με τις βιοφυσικές ιδιότητες φυτών και τη χαμηλή ευαισθησία σε παράγοντες που παρεμποδίζουν την ερμηνεία δεδομένων τηλεπισκόπησης, όπως το ανάγλυφο του εδάφους, τα μη φωτοσυνθετικά στοιχεία των φυτών, η ατμόσφαιρα και η γεωμετρία θέασης και φωτισμού (Wójtowicz et al., 2016)

Ο πιο διαδομένος δείκτης βλάστησης παγκοσμίως είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τους Rouse et al. (1974) και βασίστηκε στην χαρακτηριστική ιδιότητα των υγιών φύλλων, που είναι η υψηλή απορρόφηση της ακτινοβολίας στο κόκκινο και μπλε φάσμα και η υψηλή αντανάκλαση της στο εγγύς υπέρυθρο. Μαθηματικά υπολογίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς δια του αθροίσματος της ανάκλασης στις εγγύς υπέρυθρες περιοχές (NIR) και κόκκινες περιοχές (RED), δηλαδή:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Όπου:

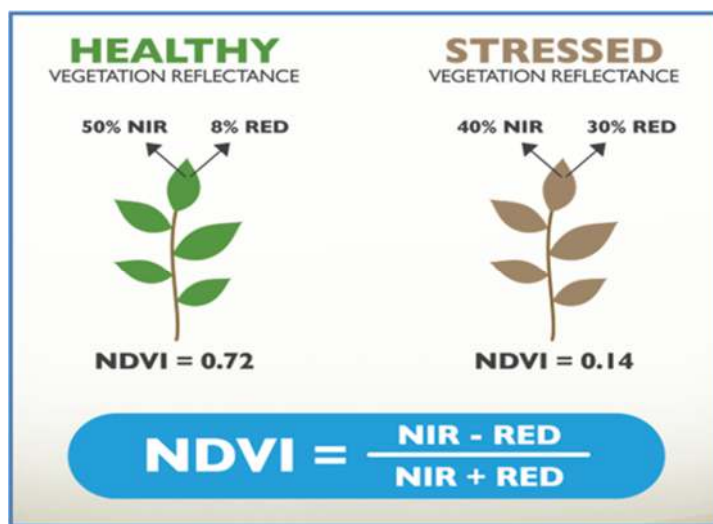
NDVI= Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης

NIR= Υπέρυθρο κανάλι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

RED= Ερυθρό κανάλι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Ο NDVI είναι ένας ποσοτικός δείκτης που εκτιμά την υγεία και την ευρωστία των φυτών της καλλιέργειας. Παρατηρώντας εικόνες τιμών NDVI της καλλιέργειας, μπορούν να εντοπιστούν περιοχές της με προβλήματα στην ομαλή ανάπτυξη των φυτών. Αυτά μπορεί να οφείλονται για παράδειγμα είτε σε υδατική καταπόνηση είτε σε έλλειψη ή τοξικότητα κάποιου θρεπτικού στοιχείου είτε σε κάποια εντομολογική ή παθολογική προσβολή. Σε γενικές γραμμές, ο NDVI χρησιμοποιείται συνήθως για το προσδιορισμό της κατάστασης και της ανάπτυξης των φυτών της εξεταζόμενης καλλιέργειας καθώς και για την εκτίμηση της παραγωγή της.

Οι τιμές NDVI κυμαίνονται από -1 έως 1. Οι τιμές του στο νερό βρίσκονται κοντά στο -1, σε επιφάνειες όπως βράχος και χιόνι κάτω από 0,1 και στο γυμνό έδαφος αντίστοιχα μεταξύ -0.1 και 0,2. Η βλάστηση αντιστοιχεί σε τιμές περίπου πάνω από 0.2. Το 0.2 έως 0.4 αντιστοιχεί σε μη υγιή ή πολύ αραιή ή χαμηλή βλάστηση, ενώ η υγιής και πυκνή βλάστηση μπορεί να φτάσει μέχρι και το 1.



Εικόνα 11: Παράδειγμα τιμών NDVI σε υγιή και μη υγιή βλάστησης
(πηγή: www.agricolus.com)

Η χρήση του NDVI έχει όμως και κάποια μειονεκτήματα. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται, οι πιθανές παρεμβολές από την αντανάκλαση του εδάφους, όταν η πυκνότητα της βλάστησης είναι χαμηλή και η ευαισθησία σε αλλαγές στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης των φύλλων, όταν η βλάστηση βρίσκεται σε ώριμο στάδιο (Thenkabail et al., 2000; Mulla 2013). Πρόσθετο μειονέκτημα μπορεί να είναι η υπερεκτίμηση και η υποεκτίμηση του ποσοστού της φυτικής κάλυψης στην αρχή και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου αντίστοιχα (Cyr 1993; Bannari et al., 1995). Βέβαια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες με στόχο την ανάπτυξη περαιτέρω δεικτών που μπορούν να μειώσουν τον αντίκτυπο του εδάφους και της ατμόσφαιρας στα αποτελέσματα των φασματικών μετρήσεων (Shanmugarajya et al., 2019).

1.7.4 Τηλεπισκόπηση στη Γεωργία Ακριβείας

Η τηλεπισκόπηση είναι η πιο οικονομική μέθοδος παρακολούθησης και ανάλυσης μεγάλης κλίμακας στη γεωργία (Khanal, 2017). Η τεχνολογία αυτή σε συνδυασμό με το GPS και τα GIS είναι πολύ σημαντικό εργαλείο για την εφαρμογή μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας, καθώς δίνει τη δυνατότητα μελέτης και διαχείρισης της παραλλακτικότητας κάποιων μεταβλητών εντός του χωραφίου. Πιο συγκεκριμένα μέσω της τηλεπισκόπησης μπορούν να μελετηθούν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της καλλιέργειας, όπως το κλίμα, οι ιδιότητες του εδάφους και τα θρεπτικά συστατικά, ο όγκος της βιομάζας, το περιεχόμενο νερού, τα ζιζάνια, τα έντομα και η καλλιεργούμενη ποικιλία. Επιπλέον, η παρακολούθηση ενός συστήματος γεωργικής παραγωγής σε σχέση με τον βιολογικό κύκλο ζωής των φυτών επηρεάζεται πολύ από την εποχή της καλλιέργειας (Shanmugarriya et al., 2019) και η γεωργική παραγωγικότητα μπορεί να αλλάξει εντός σύντομων χρονικών περιόδων, λόγω δυσμενών συνθηκών ανάπτυξης. Επομένως, η παρακολούθηση των γεωργικών συστημάτων πρέπει να γίνεται εγκαίρως. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην παροχή μιας έγκαιρης και ακριβούς εικόνας του γεωργικού τομέα, καθώς είναι κατάλληλο εργαλείο για τη συλλογή πληροφοριών σε μεγάλες περιοχές με υψηλή συχνότητα επίσκεψης (Atzberger, 2013).

Η ακριβής διαχείριση των καλλιεργειών απαιτεί χωρικές και χρονικές πληροφορίες για την κατάσταση της καλλιέργειας σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης μαζί με το GIS δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας χωροχρονικών πληροφοριακών επίπεδων που μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία στη Γεωργία Ακριβείας. Οι πληροφορίες των δεδομένων αυτών γίνονται πιο σημαντικές για τη Γεωργία Ακριβείας όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με δεδομένα εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, οι εικόνες τηλεπισκόπησης επιτρέπουν τη λήψη έγκαιρων αποφάσεων, που μπορούν να διορθώσουν τα προβλήματα της καλλιέργειας όχι μόνο μετά την καλλιεργητική περίοδο, αλλά και κατά τη διάρκεια αυτής. Αν και η τηλεπισκόπηση δεν μπορεί να αντλήσει δεδομένα για όλα τα στοιχεία της καλλιέργειας, μπορεί να παρέχει αξιόπιστες, ακριβείς και έγκαιρες πληροφορίες

για την λήψη αγρονομικών και οικονομικών αποφάσεων (Liaghat and Baasundram, 2010).

Στη Γεωργία Ακριβείας, η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για τη συλλογή και ανάλυση πληροφοριών σχετικά με τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών και του εδάφους μέσω αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι σε δορυφόρους, σε αεροσκάφη ή σε εξοπλισμό εδάφους. Οι αισθητήρες αυτοί στις περισσότερες εφαρμογές συλλέγουν την ενέργεια που αντανακλάται στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα και σε λιγότερες περιπτώσεις τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από το φυτό ή το έδαφος. Πολλές φορές σε μια εικόνα τηλεπισκόπησης απεικονίζονται τόσο η αντανάκλαση της βλάστησης όσο και του εδάφους και ως αποτέλεσμα γίνεται πιο δύσκολη η μελέτη του φυτού. Για την απομόνωση πληροφοριών που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του φυτού έχουν εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές, όπως ειδικοί δείκτες βλάστησης και αλγόριθμοι (Mulla, 2013).

Η αξιοποίηση των δεδομένων της τηλεπισκόπησης στη Γεωργία Ακριβείας έχει ποικίλες εφαρμογές. Μερικές από αυτές είναι η εκτίμηση της παραγωγής, ο προσδιορισμός της θρεπτικής κατάστασης του φυτού και των αναγκών του σε νερό, η ανίχνευση ασθενειών και εντομολογικών προσβολών, ο έλεγχος των ζιζανίων, η εκτίμηση των κατάλληλων ημερομηνιών για συγκομιδή και η εξέταση ιδιοτήτων του εδάφους. Η πρώτη εφαρμογή της στη Γεωργία Ακριβείας πραγματοποιήθηκε από τους Batti et al. όταν το 1991 χρησιμοποίησαν δορυφορικές φωτογραφίες εδάφους από το δορυφόρο Landsat για να εκτιμήσουν την παραλλακτικότητα του σε οργανική ουσία (Mulla, 2013). Αξίζει να αναφερθεί ότι η αξιοποίηση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία είχε αρχίσει ήδη από το 1929 με τη χρήση αεροφωτογραφιών για τη χαρτογράφηση των εδαφών (Bauer, 1975; Φουντάς και Γεμτός, 2015).

Κάποιες εφαρμογές της στη Λαχανοκομία αναφέρονται παρακάτω. Οι Aran et al. (2005) ύστερα από μετρήσεις με αισθητήρα χειρός ανέφεραν ότι για την πρόβλεψη εντομολογικών προσβολών στην τομάτα και την μελιτζάνα, τα πιο σημαντικά φάσματα είναι το ερυθρό μεγάλου μήκους κύματος (RED-edge) και μέρος από το εγγύς υπέρυθρο (NIR) για τη πρώτη, ενώ για τη δεύτερη τόσο το RED-edge όσο και το NIR είναι εξίσου σημαντικά. Ο Shikha (2007)

χρησιμοποίησε φασματικά δεδομένα για το προσδιορισμό των θρεπτικών στοιχείων στο μπρόκολο (Liaghat και Balasundram 2010). Οι Goldshleger et al. (2013) συμπέραναν ότι η αντανάκλαση φυτών τομάτας σε φάσμα κύματος 400–2400 nm μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του ποσοστού αλατότητας εντός των φυτών. Οι Camoglu et al. (2015) χρησιμοποιώντας μια θερμική κάμερα και ένα φασματοραδιόμετρο διαπίστωσαν ότι οι θερμικοί δείκτες μπορούν να εντοπίσουν το υδατικό στρες σε φυτά πιπεριάς.

1.7.5 Αισθητήρες Τηλεπισκόπησης

Αισθητήρας είναι «μια συσκευή που συγκεντρώνει ενέργεια (ηλεκτρομαγνητική ή άλλη), τη μετατρέπει σε σήμα και την παρουσιάζει σε μορφή κατάλληλη για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τον στόχο που ερευνάται» (Sivakumar et al., 2004). Ανάλογα με την πηγή ενέργειας διακρίνονται σε ενεργητικούς και παθητικούς. Οι ενεργοί αισθητήρες χρησιμοποιούν τη δική τους πηγή ενέργειας και πιο συγκεκριμένα η επιφάνεια της γης φωτίζεται μέσω ενέργειας που εκπέμπεται από αυτούς και ένα μέρος της αντανάκλαται από την επιφάνεια προς την κατεύθυνση του αισθητήρα, ενώ οι παθητικοί αισθητήρες δανείζονται ως πηγή ενέργειας την υπάρχουσα ακτινοβολία του ήλιου για να κάνουν τις μετρήσεις τους. Στους πρώτους συγκαταλέγονται τα RADAR (Radio Detection and Ranging), τα Scatterometer, τα Lidar (Light Detection and Ranging) και τα Laser υψομέτρου και στους δεύτερους τα ραδιόμετρα, οι φασματικές κάμερες, τα φωτογραφικά ραδιόμετρα και τα φασματοραδιόμετρα (Φουντάς και Γεμτός, 2015).

Μια πλατφόρμα στην οποία εφαρμόζονται αισθητήρες για τις μετρήσεις τηλεπισκόπησης στη γεωργία μπορεί να είναι:

1. Επίγεια (proximal sensing), όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε αισθητήρες χειρός είτε προσαρμοσμένοι στους ελκυστήρες.
2. Αερομεταφερόμενη, όπου Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕα, ή κοινώς Drones), φέρουν πολυφασματικές/υπερφασματικές κάμερες. Παλαιότερα χρησιμοποιούταν αεροσκάφη με πιλότους, αλλά τα ΣμηΕΑ πλέον έχουν εδραιωθεί για εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας.

3. Δορυφορική, οι εξειδικευμένοι δορυφόροι (όπως ο Sentinel-1) δίνουν εικόνες τηλεπισκόπησης για την επιφάνεια της γης.

Η ανάλυση κάθε αισθητήρα τηλεπισκόπησης χαρακτηρίζεται από τέσσερις παραμέτρους: χωρική, φασματική, χρονική και ραδιομετρική ανάλυση. Η χωρική ανάλυση καθορίζει το μέγεθος των εικονοστοιχείων (pixel) και σχετίζεται με τις διαστάσεις του μικρότερου αντικειμένου που μπορεί να αναγνωριστεί στο έδαφος. Για παράδειγμα ο δορυφόρος Landsat έχει χωρική ανάλυση 30 μέτρα, ενώ τα UAV 1-20 εκατοστά (Nebiker et al, 2008; Wójtowicz et al, 2016). Καθώς η χωρική ανάλυση βελτιώνεται, η περιοχή του μικρότερου εικονοστοιχείου μειώνεται και η ομοιογένεια των χαρακτηριστικών του εδάφους ή της καλλιέργειας μέσα σε αυτό αυξάνεται (Mulla, 2013). Η φασματική ανάλυση ενός αισθητήρα δείχνει το πλάτος των φασματικών ζωνών στις οποίες ο αισθητήρας μπορεί να συλλέξει την ανακλώμενη ακτινοβολία. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες λαμβάνουν δεδομένα από μήκη κύματος με πλάτος ζώνης περίπου 100 nm, ενώ οι υπερφασματικοί αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα σε εκατοντάδες στενές, συνεχόμενες φασματικές ζώνες με πλάτος ζώνης μικρότερο των 20 nm. Τα υπερφασματικά δεδομένα μπορούν να δώσουν περισσότερες πληροφορίες για μια καλλιέργεια, καθώς προσφέρουν τη δυνατότητα μελέτης πολλών χαρακτηριστικών της και του εδάφους ταυτόχρονα, όπως η υγρασία και οργανική ύλη στο έδαφος, θρεπτικά συστατικά, χλωροφύλλη, καροτενοειδή, κυτταρίνη κ.α. (Haboudane et al, 2002; Goel et al, 2003; Zarco-Tejada et al, 2005; Mulla, 2013). Ωστόσο, αυτοί οι αισθητήρες είναι πιο δαπανηροί και απαιτούν τεράστιους χώρους αποθήκευσης των υπερφασματικών δεδομένων (Teke et al, 2013; Rudd et al, 2017). Η ραδιομετρική ανάλυση χαρακτηρίζει την ευαισθησία του αισθητήρα να εντοπίζει διαφορές στο σήμα και εξαρτάται από την ακτινοβολία κορεσμού και τον αριθμό των επιπέδων ψηφιοποίησης (bit). Η χρονική ανάλυση αφορά τους δορυφόρους και είναι η δυνατότητα του δορυφόρου να απεικονίζει την ίδια ακριβώς περιοχή με την ίδια γωνία θέασης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Sivakumar et al, 2004).

Κάθε πλατφόρμα τηλεπισκόπησης στη Γεωργία Ακριβείας έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Από τη μία οι δορυφόροι μπορούν να παρέχουν εικόνες μεγάλων περιοχών με σχετικά χαμηλό κόστος, αλλά από την άλλη τα δορυφορικά δεδομένα αλλοιώνονται εύκολα από την παρουσία νεφών

και αρκετές φορές δεν έχουν επαρκή χωρική και χρονική ανάλυση που απαιτείται για τις εφαρμογές στη Γεωργία Ακριβείας. Τα ΣμηΕα, με τη σειρά τους, παρέχουν ευελιξία όσον αφορά τους τύπους αισθητήρων που μπορούν να φέρουν και τη δυνατότητα πτήσης και επιπλέον παράγουν εικόνες σε υψηλότερη χωρική ανάλυση, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια βροχής ή υψηλού ανέμου. Τέλος, οι αισθητήρες εδάφους μπορούν να παράγουν δεδομένα εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης που επηρεάζονται λιγότερο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά η συλλογή τους είναι μια εργασία εντατική και χρονοβόρα. Επειδή οι επίγειοι αισθητήρες είναι συνήθως ενεργητικοί μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις ακόμη και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Συνεπώς, από τα τρία συστήματα, τα ΣμηΕα είναι τα πιο ευέλικτα και εύχρηστα, αλλά υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δεδομένα από τις άλλες δύο είναι πιο κατάλληλα για συγκεκριμένη εφαρμογή (Rudd et al, 2017).

2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η παρακολούθηση της καλλιέργειας ατρακτυλίδας με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Πιο συγκεκριμένα η καλλιέργεια παρακολουθήθηκε με επίγειο αισθητήρα ανάλυσης NDVI καθώς και με ΣμηΕα εξοπλισμένο με πολυφασματική κάμερα. Το χωράφι χωρίστηκε σε υπό-τμήματα στα οποία έγιναν επεμβάσεις συμβατικής κατεργασίας και μη κατεργασίας εδάφους πριν την φύτευση ενώ εφαρμόστηκαν δυο τύποι λίπανσης, 1. Ουρία και 2. Ουρία με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης (NI). Από τα δεδομένα που θα μας προσφέρουν οι αισθητήρες, στόχος είναι να μπορέσουμε να έχουμε μία εικόνα, μέσα από τις τιμές του δείκτη NDVI, για το ποιο σύστημα εδαφοκατεργασίας σε συνδυασμό με ποια λίπανση βοήθησε περισσότερο την ανάπτυξη της καλλιέργειας και μας έδωσε τη καλύτερη και πιο σταθερή ανάπτυξη των φυτών.



Εικόνα 12: Πειραματικός αγρός και αισθητήρες (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

3 Υλικά και μέθοδοι

3.1 Πειραματικό Σχέδιο Καλλιέργειας Ατρακτυλίδας

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στον Πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας εντός του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γεωγραφικές Συντεταγμένες: 37.983759 Ύ, 23.701959 Έ) κατά τη διάρκεια του έτους 2021.

Τα πειράματα ακολούθησαν σχέδιο τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων, με τρεις επεμβάσεις (διαφορετικοί συνδυασμοί ουρίας) και τέσσερις επαναλήψεις. Κατά το σχεδιασμό οι συνδυασμοί ουρίας και οι μέθοδοι εφαρμογής τους θεωρήθηκαν παράγοντες ίδιας σημασίας.

Η ατρακτυλίδα φυτεύτηκε στις αρχές Δεκεμβρίου του 2020 και η καλλιέργεια χωρίστηκε σε 24 υποτμήματα. Τα 12 είχαν κοινό παρανομαστή την μη κατεργασία του εδάφους ενώ τα υπόλοιπα 12 την συμβατική κατεργασία. Ταυτόχρονα ακολούθησαν και τρεις επεμβάσεις με συνδυασμούς ουρίας: 1. Ουρία, 2. Ουρία με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης (NI) και 3. Μάρτυρας (χωρίς προσθήκη λιπάσματος).

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε το πειραματικό σχέδιο το οποίο περιέχει τα τμήματα στα οποία χωρίστηκε ο αγρός καθώς και τις παρεμβάσεις σε κάθε τμήμα.



Εικόνα 14: Πειραματικός Αγρός (Πηγή Προσωπικό Αρχείο)

Ο δείκτη βλάστησης NDVI από κάθε τεμάχιο μας βοήθησε να έχουμε μια συνολική εικόνα καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης της καλλιέργειας ώστε να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε ποιά εδαφοκατεργασία σε συνδυασμό με ποιά παρέμβαση μας δίνει τις μεγαλύτερες τιμές. Ο NDVI υπολογίστηκε με δυο τρόπους: ο πρώτος είναι με δεδομένα από πολυφασματική κάμερα που είχε προσαρτηθεί σε ΣμηΕΑ και ο δεύτερος με δεδομένα από σύστημα επίγειων αισθητήρων το οποίο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χειροκίνητα αλλά και να προσαρτηθεί σε ελκυστήρα.

Πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου . Η πρώτη μέτρηση λήφθηκε 12 μέρες μετά τη φύτευση των φυταρίων στις 12/2 και οι υπόλοιπες στις 1/3, στις 12/3, στις 16/4 και στις 17/5 αντίστοιχα. Όλες οι μετρήσεις διεξαχθήκαν τις τελευταίες πρωινές προς μεσημβρινές ώρες, επειδή εξασφαλίζεται πιο σταθερή και κάθετη ηλιοφάνεια και έτσι δημιουργούνται σκιάσεις. Ο λόγος που δε χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες οφείλεται στο μικρό μέγεθος του αγροτεμάχιου, αφού η χαμηλότερη χωρική ανάλυση των δορυφορικών εικόνων σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους

δε θα μπορούσε να αποτυπώσει την παραλλακτικότητα του NDVI εντός του πειραματικού αγρού.

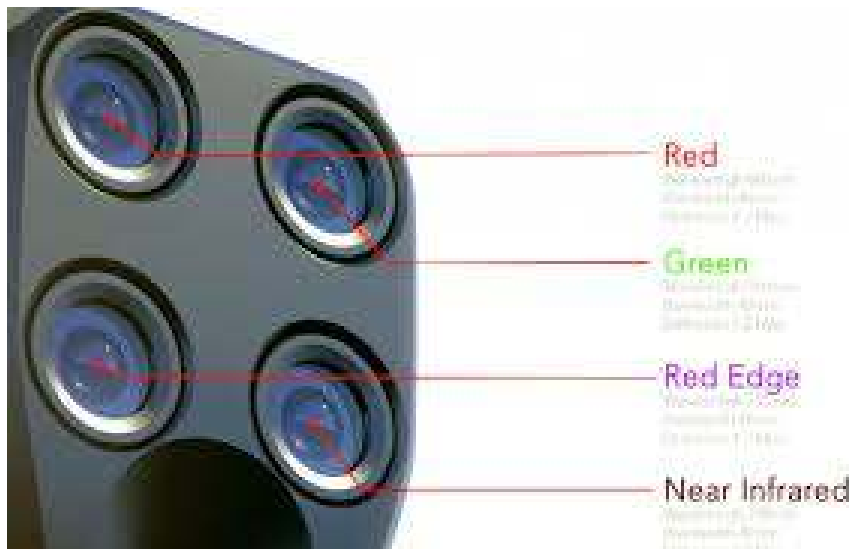
3.2 Αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν

3.2.1 Μη επανδρωμένο αεροσκάφος/ ΣμηΕΑ

Το ΣμηΕΑ που χρησιμοποιήθηκε είναι το DJI Phantom 4 Pro, στο οποίο είχε προσαρμοστεί η πολυφασματική κάμερα Parrot Sequoia. Η κάμερα αυτή αποτελεί έναν πολυφασματικό αισθητήρα με μικρό μέγεθος ο οποίος διαθέτει δύο τύπους αισθητήρων. Ένα πολυφασματικό αισθητήρα που μπορεί να ανιχνεύσει 4 κανάλια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μια κάμερα για το ορατό φάσμα. Η ανάλυση RGB είναι 16 MPixel, 4.608 x 3.456 px με μονή μπάντα ανάλυσης 1,2 MP, 1,280 x 960 px. Οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα στα πλάτη των φασμάτων που αντιστοιχούν στο πράσινο (Green) (550nm ± 40nm), στο κόκκινο (Red) (660nm ± 40nm), στο ερυθρό μεγάλου μήκους κύματος (Red-edge) (735nm ± 10nm) και στο εγγύς υπέρυθρο (Near-infrared) (790nm ± 40nm). Ο ενσωματωμένος αισθητήρας μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας, που χρησιμεύει στην αυτόματη βαθμονόμηση (calibration) καθώς και το GPS, την καθιστούν μια πλήρη λύση κατάλληλη για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας.



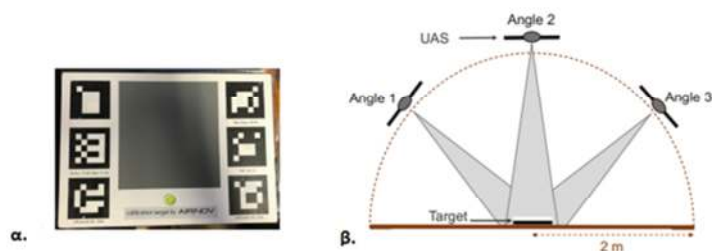
Εικόνα 15: DJI Phantom 4 Pro Parrot Sequoia (Πηγή:medpharmres.gr)



Εικόνα 16: Parrot Sequoia (Πηγή: topdrone.gr)

Το ύψος της κάθε πτήσης ήταν 30m με 80% αλληλοεπικάλυψη διαδρομής (overlap) και 70% πλάγιες επικαλύψεις (sidelap) και η συχνότητα λήψης των φωτογραφιών ήταν 1,5 δευτερόλεπτο.

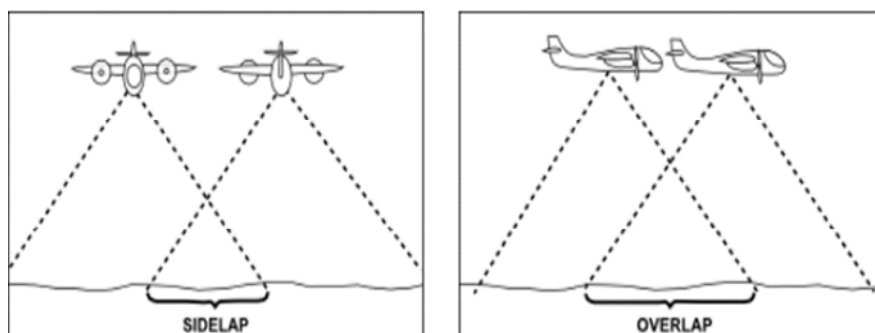
Πιθανές αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια αλλά και μεταξύ των πτήσεων επηρεάζουν τις ραδιομετρικές τιμές των pixel. Αυτές μπορεί να είναι αλλαγές στην ατμοσφαιρική απορρόφηση, στα εφέ σκέδασης, στο φάσμα του εισερχόμενου φωτός λόγω αλλαγών στην κάλυψη σύννεφων, στη γωνία ηλιακού ζενίθ, ακόμη και στη θέση της Γης σε σχέση με τον ήλιο. Τα σφάλματα αυτά μπορούν να ληφθούν υπόψη εν μέρει μέσω υπολογισμού της ραδιομετρικής βαθμονόμησης (Poncet et al, 2019). Μια τέτοια μέθοδος, είναι η λήψη φωτογραφιών ενός στόχου γνωστής ανάκλασης (calibration target) με την πολυφασματική κάμερα τη στιγμή της πτήσης, χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές γωνίες θέασης. Αυτές οι εικόνες εισάγονται σε ένα λογισμικό φωτογραμμετρίας και τα δεδομένα βαθμονομούνται αυτόματα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, σύμφωνα με τις διαφορές μεταξύ της πραγματικής ανάκλασης του στόχου σε κάθε ζώνη της κάμερας και των μετρημένων τιμών από τον αισθητήρα.



Εικόνα 17: Στόχος γνωστής ανάκλασης (callibration target). β) Μέθοδος πτήσεων σε τρεις διαφορετικές γωνίες για βαθμονόμηση (Πηγή: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/16/1917>)

3.2.1.1 Δημιουργία τελικών εικόνων από ΣμηΕΑ

Με τη χρήση του UAV στη Γεωργία Ακριβείας, το εξεταζόμενο αγροτεμάχιο απεικονίζεται ως ένα ορθομωσαϊκό , που συντίθεται από τις επιμέρους φωτογραφίες του UAV. Πιο συγκεκριμένα, κάθε μεμονωμένη φωτογραφία «ράβεται» με τις υπόλοιπες με βάση τα γεωγραφικά δεδομένα αναφοράς τους και τα κοινά τους σημεία. Το Field of View (FOV) είναι η γωνιακή έκταση της θέασης που καταγράφει η κάμερα και εξαρτάται από το φακό της κάμερας και το ύψος της πτήσης. Αυτό και η συχνότητα λήψης καθορίζουν τις παραμέτρους της πτήσης, οι οποίες είναι η αλληλοεπικάλυψη της διαδρομής (route overlap) και η πλευρική επικάλυψη (transverse overlap ή sidelap), και αφορούν την κοινή περιοχή που καλύπτεται σε κάθε φωτογραφία του UAV. Με άλλα λόγια, τα κοινά σημεία της τελικής εικόνας εξαρτώνται άμεσα από τις παραμέτρους πτήσης. Υψηλότερο overlap έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη ακρίβεια και πιο ακριβή υπολογισμό της τελικής γεωμετρίας. Μια κοινή πρακτική σε γεωργικές εφαρμογές είναι οι πτήσεις να πραγματοποιούνται στα 30 μέτρα πάνω από το έδαφος / σχετικό υψόμετρο (Above Ground Level, AGL) , με τιμές overlap και sidelap κοντά στο 80% και 70% αντίστοιχα, ώστε να μπορούν να σχεδιαστούν υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας ορθομωσαϊκά.



Εικόνα 18: Οι παράμετροι για τη λήψη εναέριων φωτογραφιών μέσω UAV (Πηγή: www.melowntech.com).

Η πιο σημαντική παράμετρος του παραγόμενου ορθομωσαϊκού είναι η απόσταση μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων (pixel) της κάμερας στο επίπεδο του εδάφους, κοινώς Ground Sampling Distance (GSD). Η ανάλυση της κάμερας είναι ο αριθμός των pixel που αποτελούν κάθε εικόνα. Υψηλότερη ανάλυση κάμερας οδηγεί σε πιο λεπτομερείς λήψεις εικόνων και μειώνει το GSD, επιτρέποντας έτσι πτήσεις για τη συλλογή δεδομένων σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Στις πτήσεις του πειράματος, το τελικό GSD κάθε ορθομωσαϊκού ήταν λίγο κάτω από 3,5 εκατοστά.

3.2.2 Επίγειος Αισθητήρας

Ο επίγειος αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση δεδομένων φασματικής ανάλυσης είναι ενεργητικού τύπου και είναι το Green Seeker Portable Ndvi Analyzer. Το Green Seeker είναι ένα canopy sensor (αισθητήρας θόλου) με ενσωματωμένο GPS και πολυχρωματική πηγή φωτός, που μας επιτρέπει να παίρνουμε μετρήσεις NDVI χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις από εξωτερικές παραμέτρους όπως η ηλιοφάνεια τις διάφορες ώρες της ημέρας. Το όργανο είναι επίσης ικανό να παρέχει πληροφορίες όπως τις γεωγραφικές συντεταγμένες της κάθε δειγματοληψίας (γεωγραφικό πλάτος/μήκος) καθώς και στατιστικά στοιχεία. Για τον υπολογισμό του NDVI, ο αισθητήρας πρέπει να μετρά το ερυθρό (RED) και εγγύς υπέρυθρο (NIR), που προσπίπτει στη βλάστηση. Για τη λήψη των μετρήσεων ο αισθητήρας πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση περίπου 40cm από τη κόμη των φυτών και χειριστής του Green Seeker να περπατάει με σταθερό ρυθμό κατά μήκος της καλλιέργειας ανά δύο με τρεις γραμμές φύτευσης, ώστε να συλλεχθούν τα δεδομένα.



Εικόνα 19: Green Seeker (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

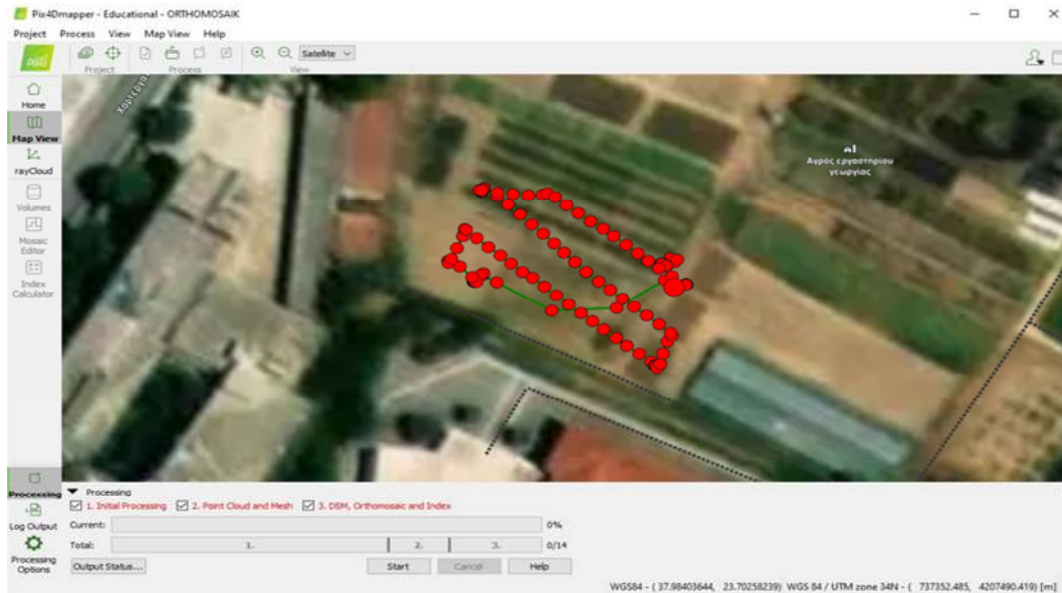
3.3 Ανάλυση δεδομένων

3.3.1 NDVI από Μη επανδρωμένο αεροσκάφος/ ΣμηΕΑ

Σύμφωνα με τα σχέδια πτήσης στα 30 μέτρα, για τη μέτρηση όλου του πειραματικού αγρού, ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις για τη δημιουργία μίας σωστής τελικής εικόνας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, απαιτούνται περίπου 3 λεπτά. Σε κάθε λήψη μέτρησης η κάμερα τράβηξε τέσσερις φωτογραφίες του ίδιου σημείου και με την ίδια γωνία θέασης αλλά σε διαφορετικά φάσματα (μία στο μήκος του GREEN, μία στο RED, μία στο NIR και μία σε όλο το ορατό).

Ύστερα όλες αυτές οι εικόνες στα μήκη του GREEN, RED και NIR, εισήχθησαν σε ένα ειδικό πρόγραμμα. Αυτό είναι το PIX4Dmapper (<https://www.pix4d.com/>), ένα επαγγελματικό λογισμικό φωτογραμμετρίας, το

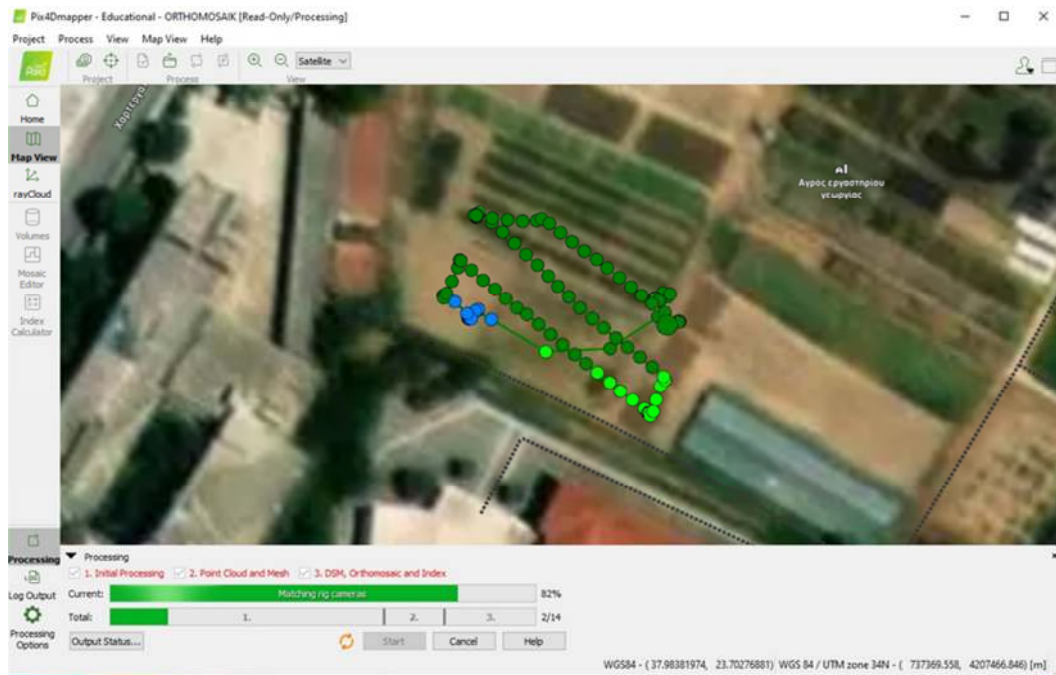
οποίο μπορεί να συνθέσει τις εικόνες από ΣμηΕΑ, σχηματίζοντας τη τελική εικόνα της πτήσης. Παράλληλα μπορεί να υπολογίζει διάφορους παραμέτρους και δείκτες.



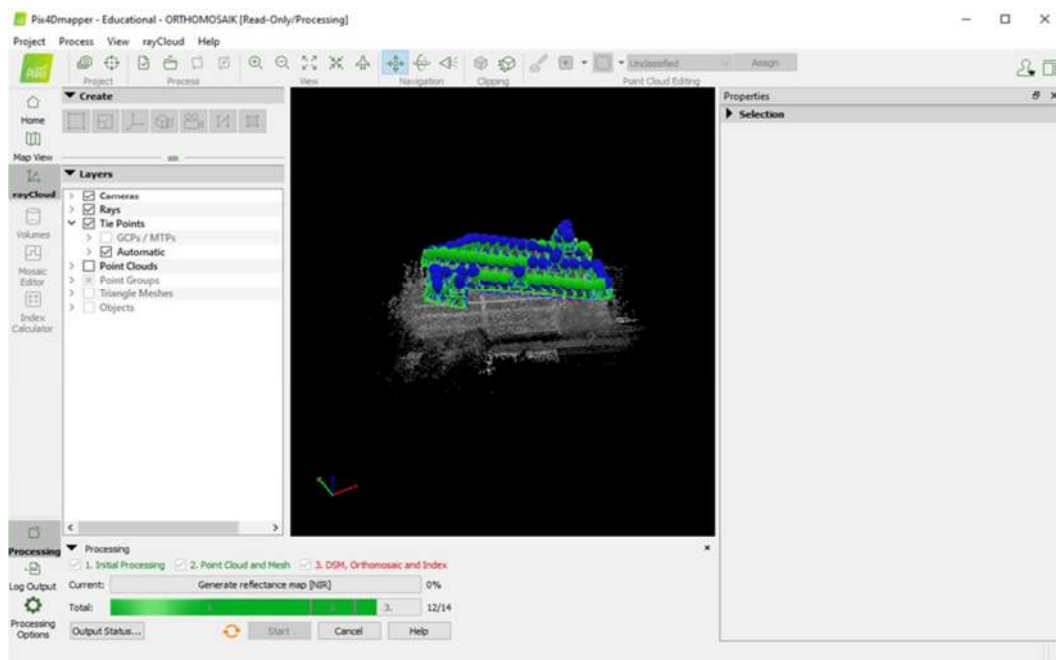
Εικόνα 20: PIX4D Δημιουργία Ορθομωσαϊκού 1 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 21: PIX4D Δημιουργία Ορθομωσαϊκού 2 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

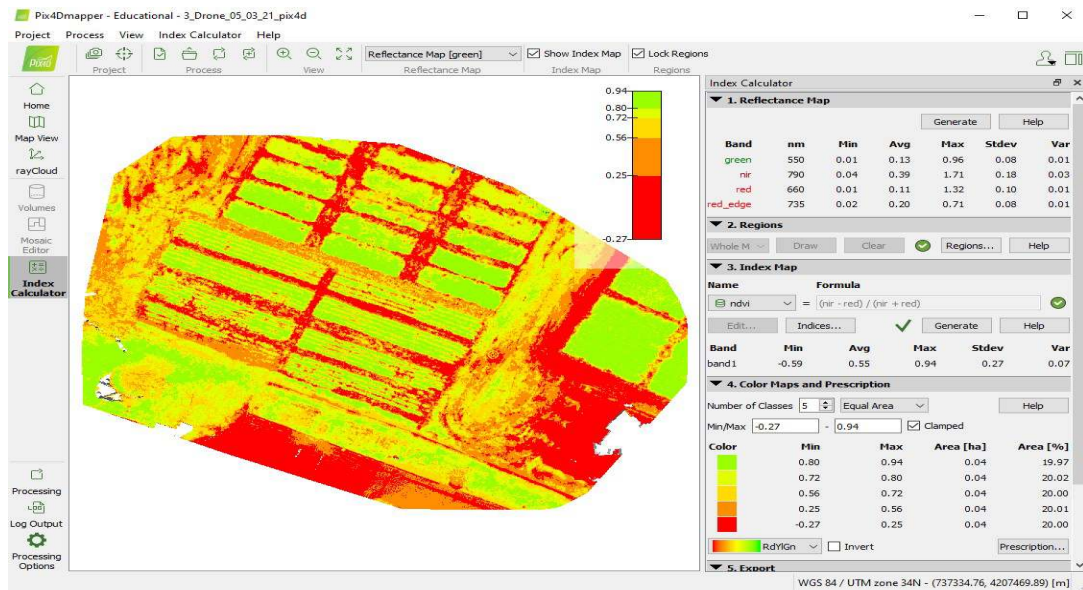


Εικόνα 22: PIX4D Δημιουργία Ορθομωσαϊκού 3 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 23: PIX4D Δημιουργία Ορθομωσαϊκού 4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

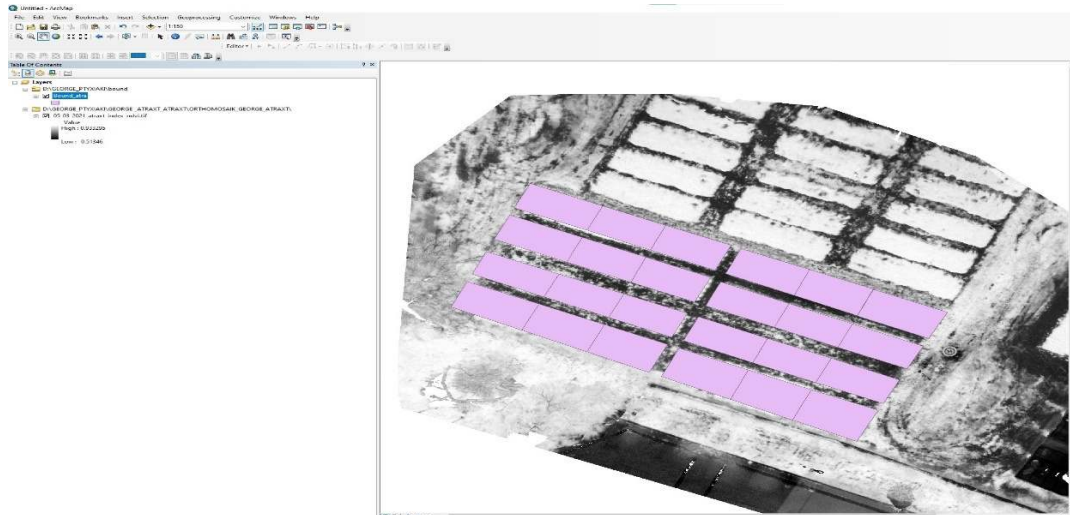
Στο πείραμα αυτό, το PIX4Dmapper υπολόγισε αυτόματα το NDVI για κάθε πτήση. Πιο συγκεκριμένα το τελικό προϊόν του ήταν μια εικόνα-χάρτης, όπου κάθε ρixel αντιστοιχεί σε μια τιμή NDVI, που έχει υπολογιστεί από τα δεδομένα ανάκλασης της καλλιέργειας, όπως απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 24: PIX4D Χάρτης NDVI (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται μεγαλύτερο μέρος από αυτό του πειραματικού αγρού, λόγω του FOV, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

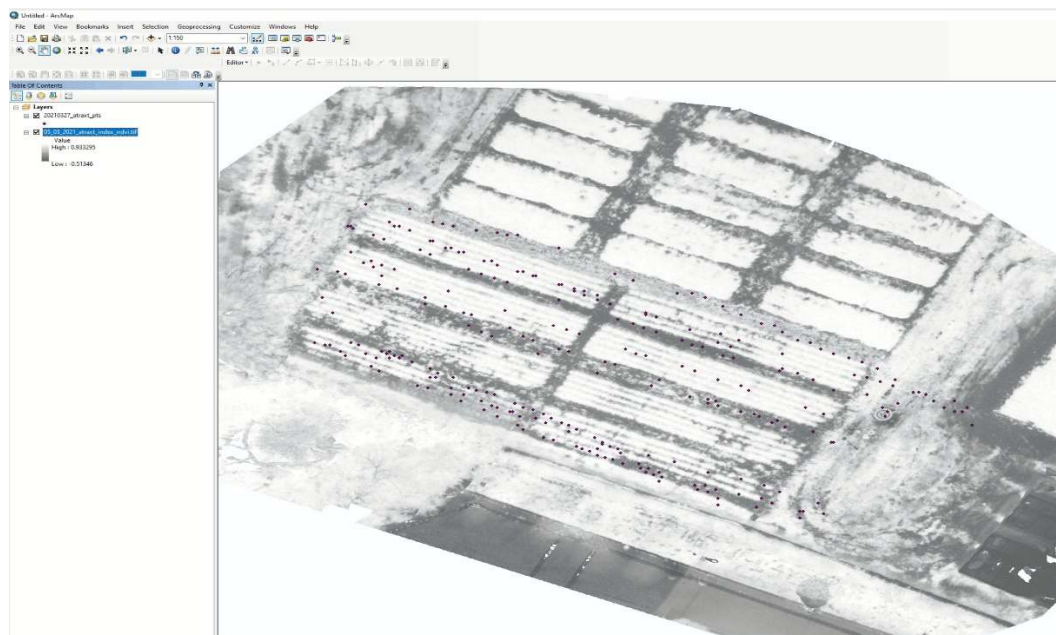
Έπειτα η εικόνα αυτή η οποία είναι σε μορφή αρχείου Tif εισάγεται στο πρόγραμμα ArcMap το οποίο είναι λογισμικό Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. Το γεωγραφικό σύστημα που επιλέχθηκε ήταν το WGS1984. Για να μπορέσουμε να αφαιρέσουμε τις τιμές NDVI από τα τμήματα του αγρού που δεν μας ενδιαφέρουν δημιουργήσαμε μια επιφάνεια (layer), στο ArcMap, η οποία περιέχει ουσιαστικά τα όρια κάθε τμήματος μελέτης συνολικά 24. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να πάρουμε μόνο τις τιμές του NDVI των εικονοστοιχείων που μας ενδιαφέρουν μέσα στα τμήματα του αγρού.



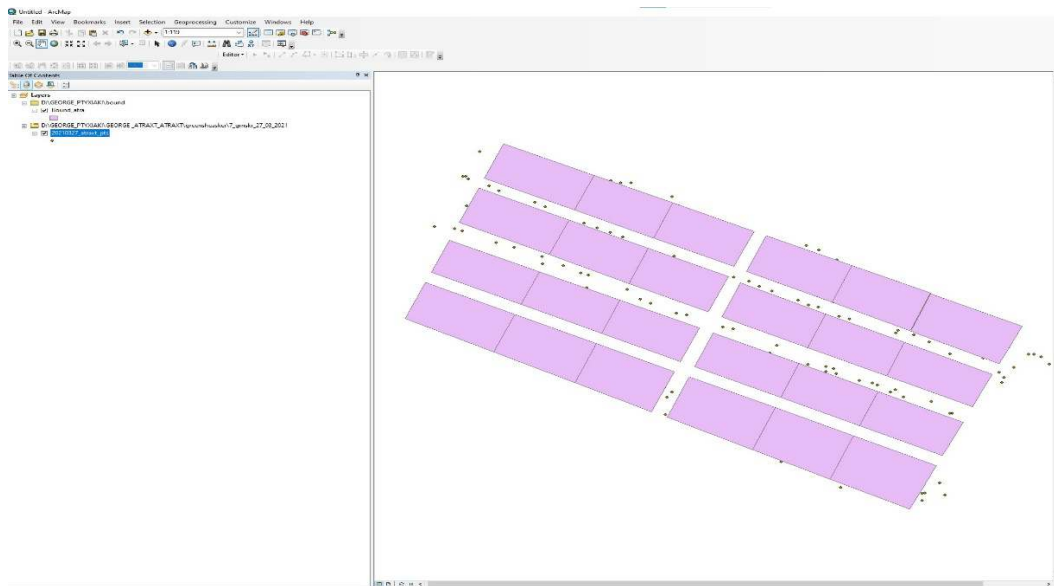
Εικόνα 25: Όρια τμημάτων μελέτης (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

3.3.2 NDVI από επίγειο αισθητήρα

Ο επίγειος αισθητήρας Green Seeker κατά τη λειτουργία του λαμβάνει σημειακές μετρήσεις NDVI και NDRE ανά 1,5 δευτερόλεπτο οι οποίες περιέχουν πληροφορίες για τις γεωγραφικές συντεταγμένες της κάθε δειγματοληψίας (γεωγραφικό πλάτος/μήκος). Τα δεδομένα που λαμβάνονται αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα σημεία κατά μήκος των γραμμών φύτευσης. Για το λόγο αυτό είναι διανυσματικά δεδομένα (vector). Οι τιμές τους δίνονται σε μορφή Shapefile.

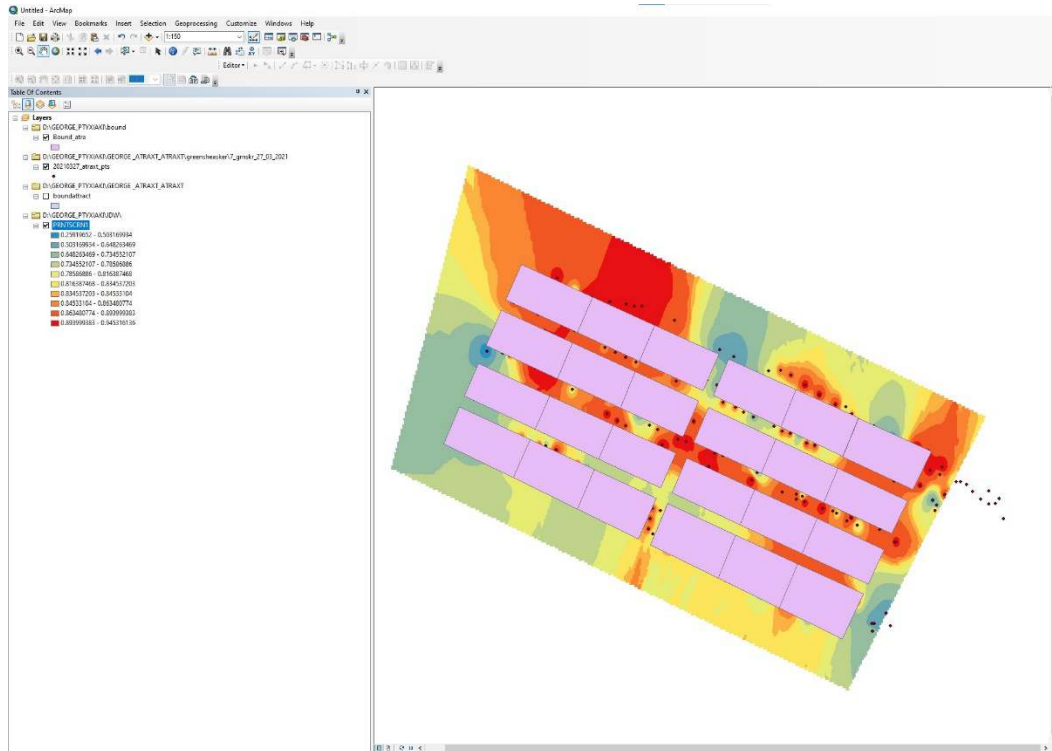


Εικόνα 26: Green Seeker τιμές σε χάρτη (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

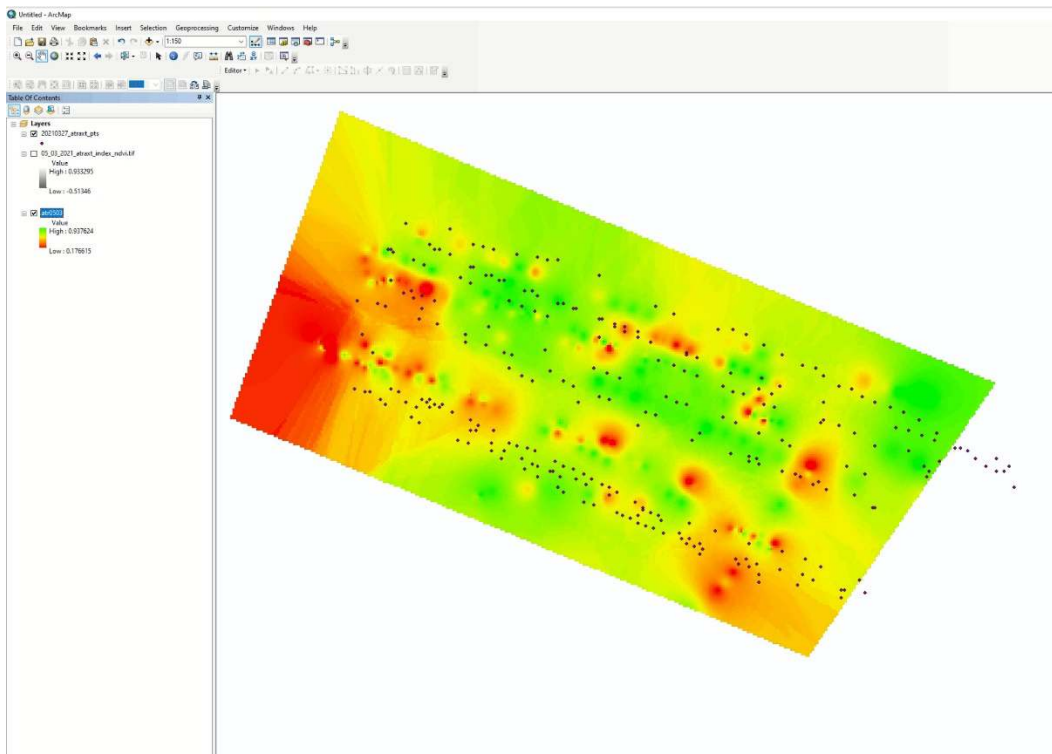


Εικόνα 27: Green Seeker τιμές σε τμήματα (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Έπειτα το αρχείο επεξεργάστηκε με το πρόγραμμα ArcMap στο ίδιο γεωγραφικό σύστημα (WGS1984). Για να προβλεφθούν με ακρίβεια οι τιμές στα σημεία του αγρού που δεν είχαν μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε η γεωστατιστική, ως η πιο κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης, καθώς οι τιμές του NDVI έχουν χωρική εξάρτηση. Αυτή τη δυνατότητα παρέχει το ArcMap και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η Inverse Distance Weighting (IDW). Η γενική προϋπόθεση αυτής της μεθόδου είναι ότι οι τιμές χαρακτηριστικών οποιουδήποτε ζεύγους σημείων σχετίζονται μεταξύ τους, αλλά η ομοιότητά τους σχετίζεται αντιστρόφως με την απόσταση μεταξύ των δύο τοποθεσιών (Lu και Wong, 2008). Ως αποτέλεσμα, ένας αριθμός σημείων ή όλα τα σημεία μέσα σε μια καθορισμένη ακτίνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της τιμής κάθε τοποθεσίας. Παρακάτω απεικονίζεται ένας τέτοιος χάρτης τιμών NDVI με τα αντίστοιχα σημεία των μετρήσεων από το Green Seeker.



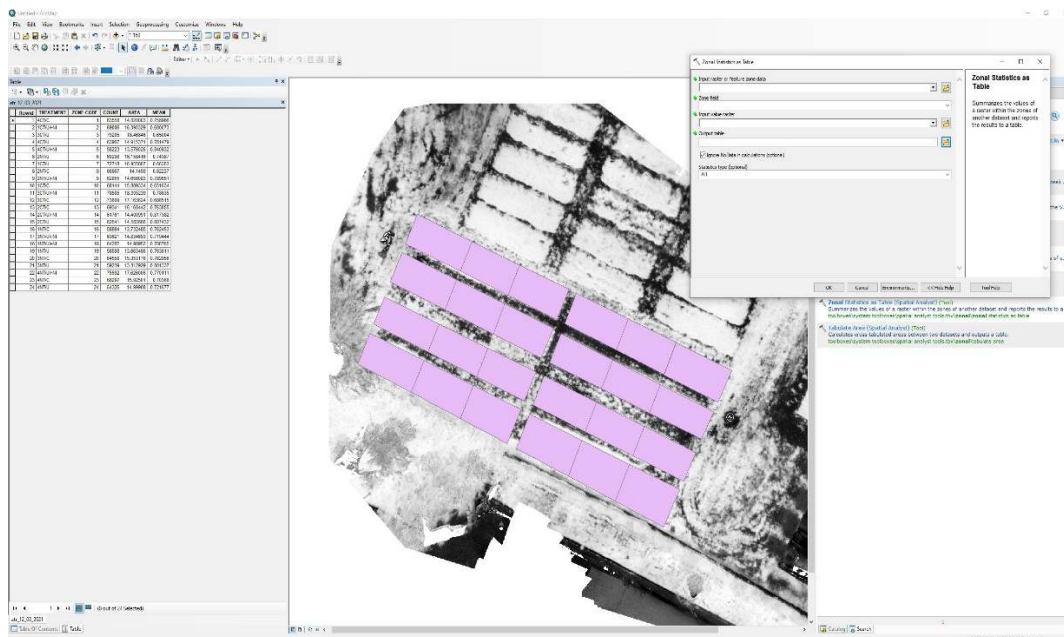
Εικόνα 28: IDW (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)



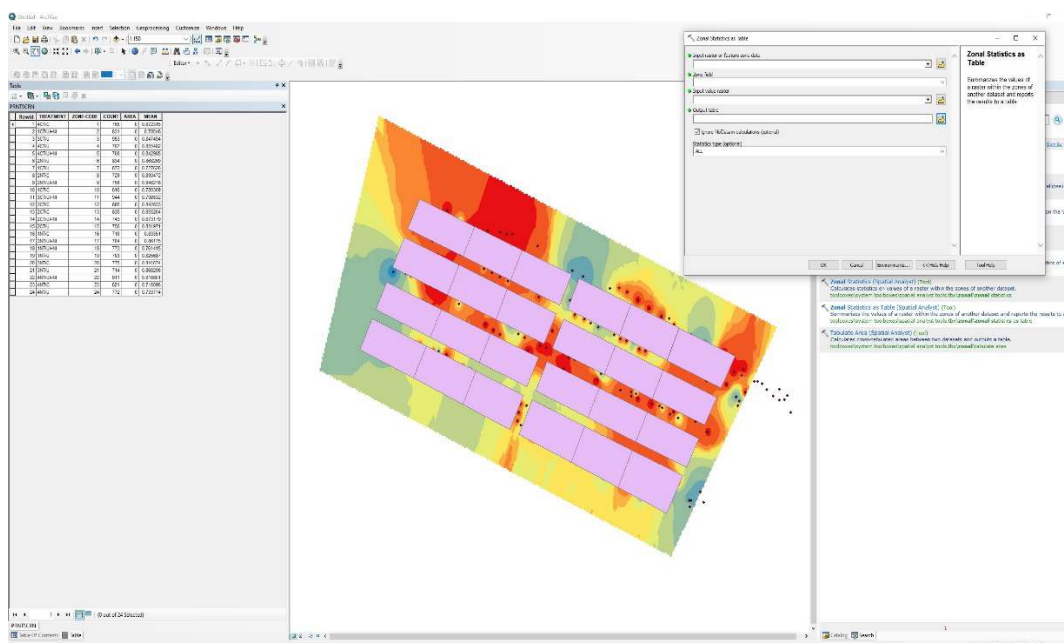
Εικόνα 29: IDW 2 (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

3.4 Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Για τη στατιστική ανάλυση των τιμών NDVI των 24 τμημάτων μελέτης χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο του ArcGIS «Zonal Statistics», το οποίο υπολόγισε τα περιγραφικά στατιστικά για κάθε τμήμα. Για τη συσχέτιση των τιμών του UAV και του επίγειου αισθητήρα χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα Statistica και ειδικότερα η λειτουργία του γραμμικού συντελεστής συσχέτισης Pearson.



Εικόνα 30: Zonal statistics Ορθομοσαϊκού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 31: Zonal statistics IDW (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

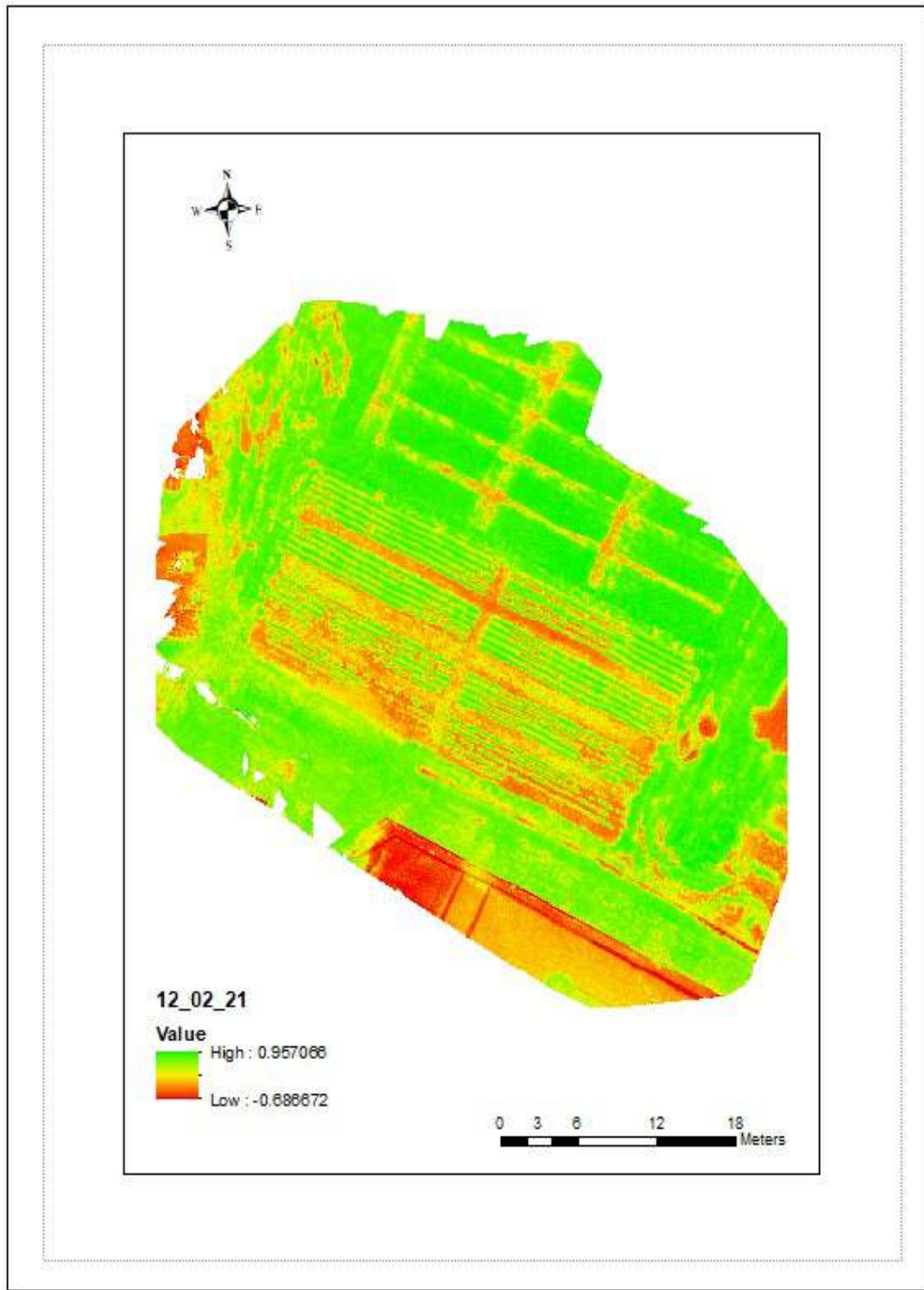
Με τη λειτουργία Zonal Statistics εφαρμόζεται η στατιστική ανάλυση για κάθε κατηγορία (ζώνη) του επιπέδου ζωνών, με βάση τις τιμές για κάθε ζώνη στο επίπεδο τιμών. Παρότι το επίπεδο τιμών θα πρέπει να είναι απαραίτητα raster το επίπεδο ζωνών μπορεί να είναι είτε raster είτε vector. Στη δεύτερη περίπτωση, κατά την εκτέλεση της λειτουργίας ζώνης πραγματοποιείται αυτόματα ο μετασχηματισμός vector σε raster στο επίπεδο ζωνών. Όταν το επίπεδο τιμών περιέχει ακέραιους αριθμούς μπορούν να εκτελεστούν οι παρακάτω στατιστικές λειτουργίες: ελάχιστη τιμή (minimum), μέγιστη τιμή (maximum), εύρος τιμών (range), μέσος (mean), τυπική απόκλιση (standard deviation), άθροισμα (sum), μεταβλητότητα (variety), πλειονότητα (majority), μειονότητα (minority), και ενδιάμεσος (median). Όταν το επίπεδο τιμών περιέχει αριθμούς κινητής υποδιαστολής τότε δεν είναι διαθέσιμες οι λειτουργίες πλειονότητας, μειονότητας, ενδιάμεσου και μεταβλητότητα.

4 Αποτελέσματα

4.1 Τιμές NDVI

4.1.1 Χάρτες NDVI από ΣμηΕΑ

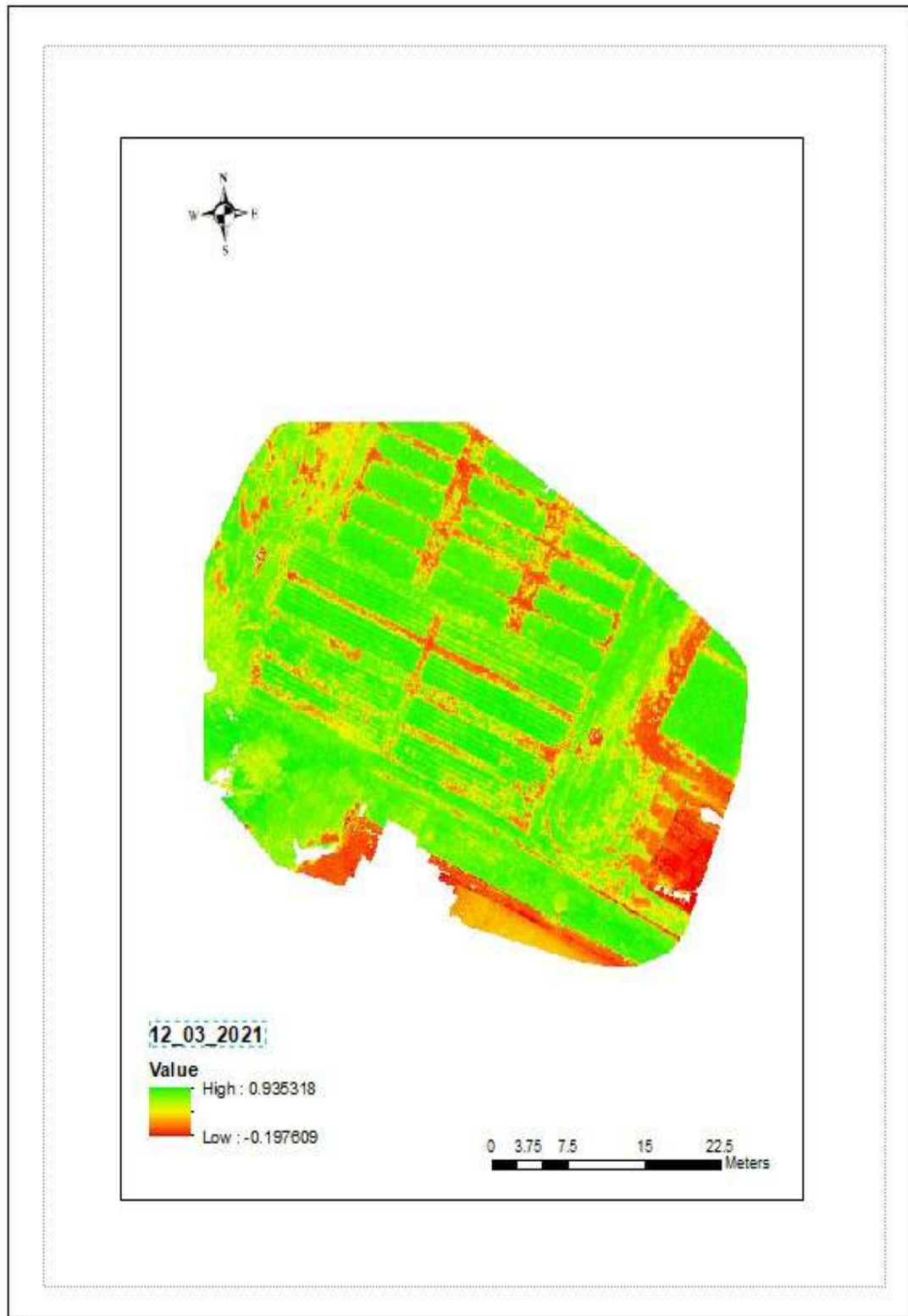
Στους παρακάτω χάρτες απεικονίζεται η κατανομή του NDVI εντός του πειραματικού αγρού για κάθε ημερομηνία μέτρησης. Παρατηρείτε άνοδος του δείκτη NDVI σε κάθε μέτρηση εκτός της τελευταίας μέτρησης στην οποία αρχίζουν οι τιμές να πέφτουν και αυτό οφείλετε στο ότι την περίοδο εκείνη η καλλιέργεια βρισκόταν στο στάδιο της συγκομιδής, οπότε τα φυτά είχαν σταματήσει την ανάπτυξή τους.



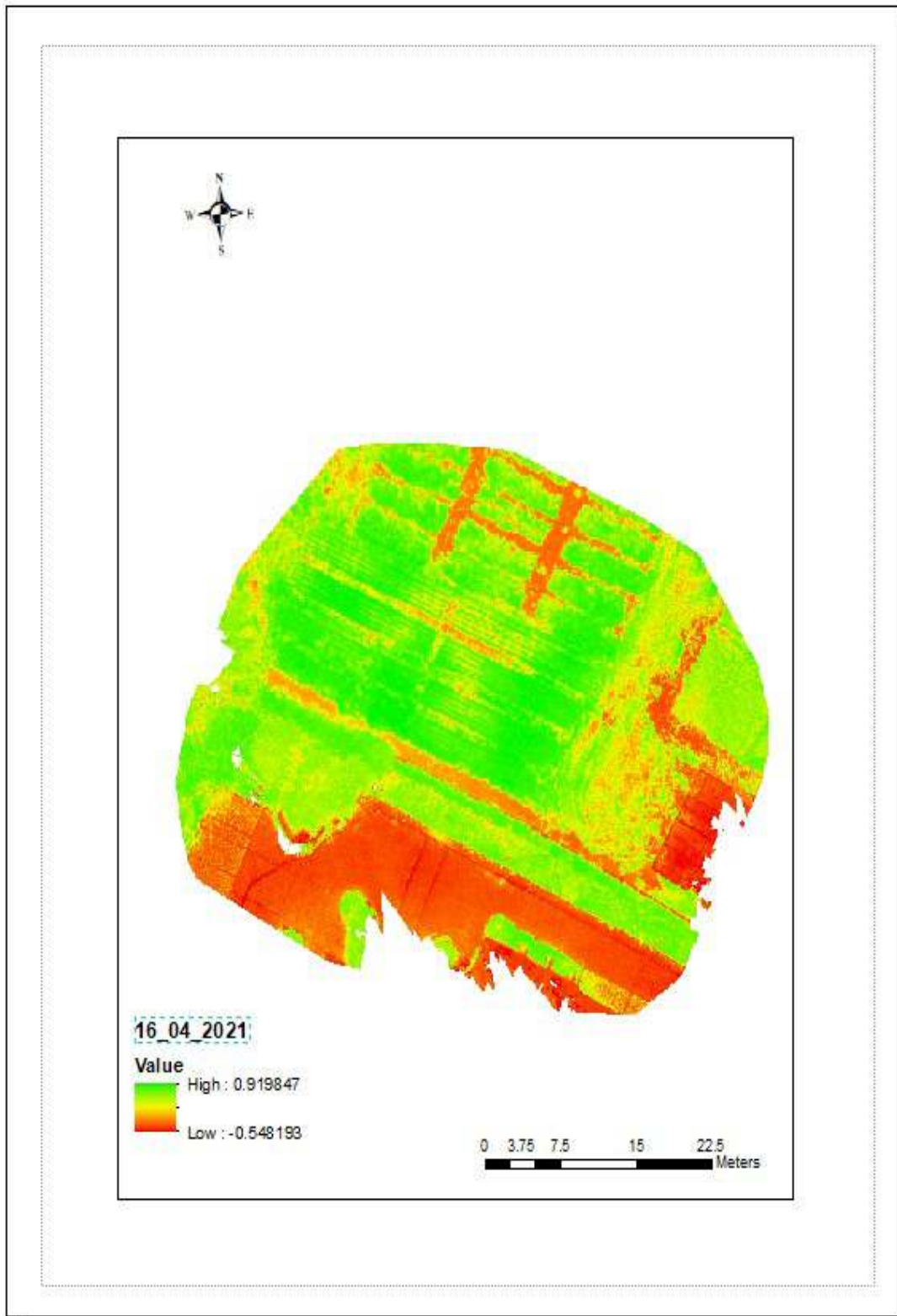
Χάρτης 1: Τιμές NDVI 12/02/2021



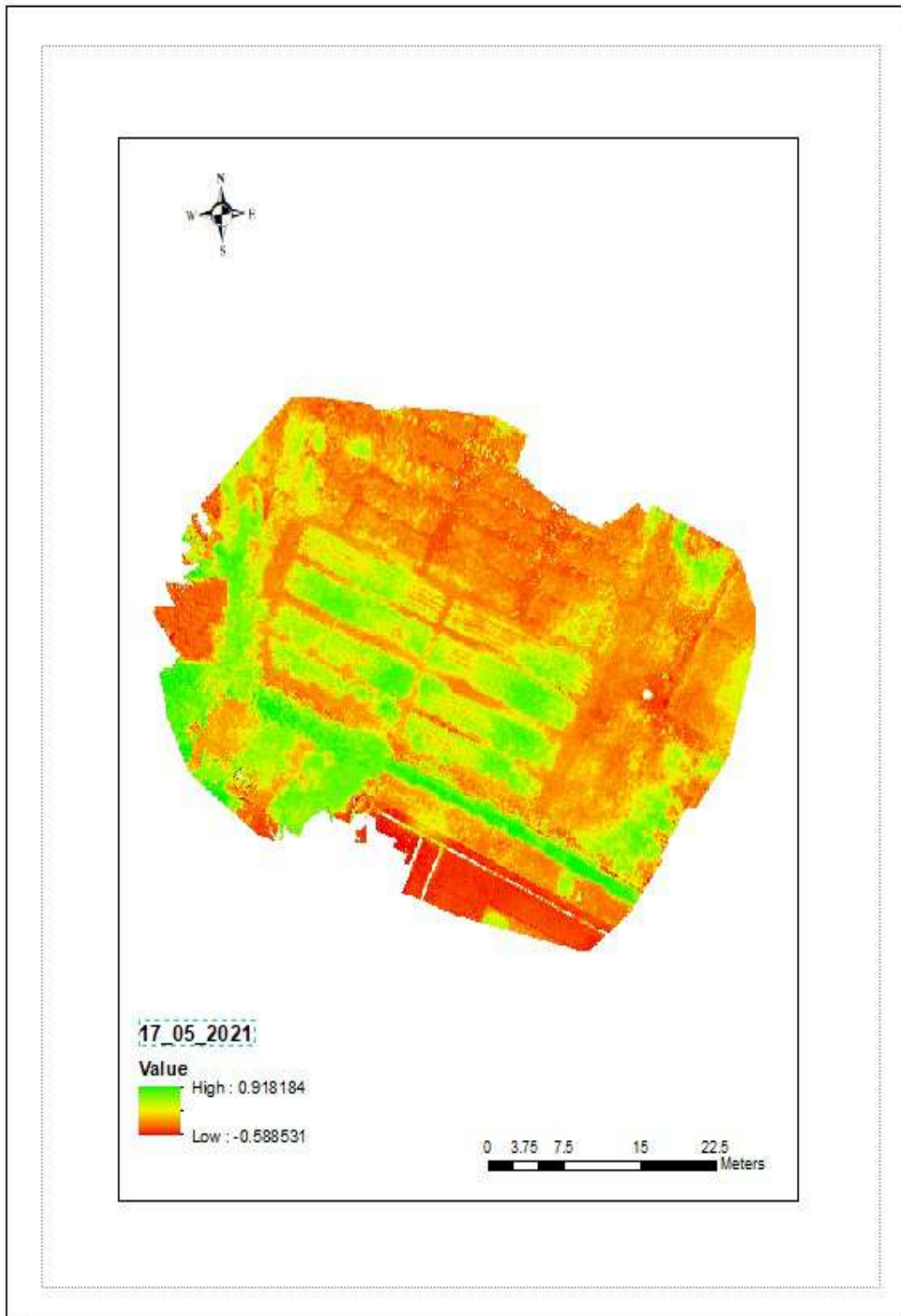
Χάρτης 2: Τιμές NDVI 01/03/2021



Χάρτης 3: Τιμές NDVI 12/03/2021



Χάρτης 4: Τιμές NDVI 16/04/2021



Χάρτης 5: Τιμές NDVI 17/05/2021

4.1.2 Μετρήσεις NDVI

Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται οι μέσες τιμές του NDVI ανά τμήμα του Green Seeker (Πίνακας 1) και του ΣμηΕα (Πίνακας 2).

Green Seeker

Rowid	Fert	Till	MEAN 12/02/21 GS	MEAN 01/03/2021 GS	MEAN 12/03/21 GS	MEAN 16/04/21 GS	MEAN 17/05/21 GS
1	4CT/C	conv	0.702625245	0.699522719	0.767706886	0.847164623	0.575153617
2	1CT/UI+NI	conv	0.556821235	0.462967625	0.72082835	0.840055832	0.589075591
3	3CT/U	conv	0.693343636	0.487521638	0.522815151	0.8290327	0.652609331
4	4CT/U	conv	0.752538883	0.687411084	0.774910766	0.714776778	0.483175034
5	4CT/UI+NI	conv	0.737432503	0.704322455	0.826242339	0.838738879	0.683132512
6	2NT/U	no	0.774908821	0.808911986	0.820519762	0.828672571	0.614111113
7	1CT/U	conv	0.472430783	0.513227823	0.720222421	0.646193896	0.562519974
8	2NT/C	no	0.850397311	0.780059162	0.901886276	0.883425336	0.654494468
9	2NT/UI+NI	no	0.785260459	0.834086121	0.865986232	0.734985046	0.505633258
10	1CT/C	conv	0.55515224	0.436352892	0.643423716	0.849923539	0.540483285
11	3CT/UI+NI	conv	0.609605382	0.430884815	0.763284553	0.845577744	0.639749813
12	3CT/C	conv	0.685185051	0.428026655	0.671497061	0.845589461	0.613340629
13	2CT/C	conv	0.659158121	0.725524877	0.793083142	0.861876491	0.608051366
14	2CT/UI+NI	conv	0.73220499	0.805097375	0.872109013	0.851554659	0.606917587
15	2CT/U	conv	0.698302491	0.665623794	0.869409765	0.779920631	0.531880452
16	1NT/C	no	0.697824125	0.534844949	0.677261883	0.844646969	0.610060364
17	3NT/UI+NI	no	0.664766645	0.589892629	0.750983258	0.860863743	0.610810055
18	1NT/UI+NI	no	0.482969681	0.611507937	0.807468809	0.768726894	0.611310538
19	1NT/U	no	0.726218149	0.584689154	0.775032384	0.824079749	0.64954647
20	3NT/C	no	0.695082986	0.610381121	0.802605502	0.834182349	0.54401684
21	3NT/U	no	0.753370394	0.634785296	0.840966006	0.840046951	0.648423977
22	4NT/UI+NI	no	0.802330203	0.806574332	0.827478033	0.8318398	0.518732621
23	4NT/C	no	0.736294665	0.705967034	0.761950787	0.652229615	0.459448878
24	4NT/U	no	0.828072581	0.804132228	0.782164001	0.759717665	0.617241512

Πίνακας 1: Μέσες τιμές NDVI από Green Seeker

Με βάση τον Πίνακα 1, στην πρώτη μέτρηση οι υψηλότερες τιμές φάνηκαν στα τμήματα χωρίς κατεργασία εδάφους (Rowid: 8, 22, 24) με τη μέγιστη τιμή να είναι στον μάρτυρα (Rowid: 8). Στη συνέχεια των μετρήσεων όμως, η πιο σταθερή ανάπτυξη φάνηκε να είναι στο τμήμα χωρίς κατεργασία εδάφους και λίπανση ουρίας με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρέασης (Rowid: 22)

ΣμηΕα

Rowid	Fert	Till	MEAN 12/02/21 UAV	MEAN 01/03/21 UAV	MEAN 12/03/21 UAV	MEAN 16/04/21 UAV	MEAN 17/05/21 UAV
1	4CT/C	conv	0.539430519	0.743225717	0.758986434	0.833034621	0.545225176
2	1CT/UI+NI	conv	0.375228909	0.528460805	0.680072596	0.76888664	0.417693022
3	3CT/U	conv	0.369074231	0.523950789	0.6500399	0.661156905	0.41378074
4	4CT/U	conv	0.559808613	0.722307606	0.78147861	0.718715443	0.493219823
5	4CT/UI+NI	conv	0.606893439	0.788394954	0.84083233	0.853613434	0.66272851
6	2NT/U	no	0.597287703	0.767951498	0.74387001	0.732560613	0.419404849
7	1CT/U	conv	0.386608904	0.572127342	0.66352999	0.708138293	0.450069864
8	2NT/C	no	0.645833282	0.797491918	0.822369761	0.818340624	0.496777499
9	2NT/UI+NI	no	0.564981978	0.751385652	0.789551174	0.712277662	0.427536703
10	1CT/C	conv	0.280287517	0.482472062	0.651633693	0.809287063	0.460415581
11	3CT/UI+NI	conv	0.41688526	0.652489749	0.786349798	0.736864572	0.487226089
12	3CT/C	conv	0.365758593	0.588908931	0.686515155	0.693167254	0.474735353
13	2CT/C	conv	0.591979558	0.732564008	0.763855262	0.775591325	0.526982625
14	2CT/UI+NI	conv	0.603607222	0.757783609	0.817382058	0.827219588	0.627131619
15	2CT/U	conv	0.529415964	0.719861252	0.807431607	0.752168786	0.530543208
16	1NT/C	no	0.435412365	0.632092382	0.762452779	0.785213177	0.51808477
17	3NT/UI+NI	no	0.441999439	0.596464331	0.71944413	0.819526964	0.537001741
18	1NT/UI+NI	no	0.440836116	0.673853875	0.786765115	0.835884631	0.509807831
19	1NT/U	no	0.477273803	0.718306413	0.763611041	0.861336221	0.682137727
20	3NT/C	no	0.483337097	0.640760138	0.762955536	0.761680795	0.530714536
21	3NT/U	no	0.49627894	0.693498235	0.801337306	0.836047081	0.613209337
22	4NT/UI+NI	no	0.657776957	0.80308382	0.770110724	0.822575109	0.479744352
23	4NT/C	no	0.491014303	0.673749796	0.703680285	0.639126784	0.368447427
24	4NT/U	no	0.47242656	0.69325304	0.721676584	0.726668579	0.433229781

Πίνακας 2: Μέσες τιμές από ΣμηΕα

Με βάση τον Πίνακα 2, στην πρώτη μέτρηση οι υψηλότερες τιμές φάνηκαν στα τμήματα χωρίς κατεργασία (Rowid: 22, 8) ενώ στη συνέχεια των μετρήσεων το τμήμα που εφαρμόστηκε η λίπανση με ουρία και παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης (Rowid: 22) είχε στην προτελευταία μέτρηση (πριν τη περίοδο συγκομιδής) υψηλότερη τιμή από τον μάρτυρα χωρίς κατεργασία (Rowid: 8)

4.2 Στατιστική Ανάλυση

Στον πίνακα παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης του Green Seeker και του ΣμηΕα. Οι τιμές του r κυμαίνονται από -1 έως 1. Όσο πιο κοντά είναι η απόλυτη τιμή του στο 1, τόσο πιο ισχυρή η συσχέτιση. Αν η απόλυτη τιμή του r είναι μεγαλύτερη από 0,7, τότε υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση.

	12/02/21 GS-UAV	01/03/21 GS-UAV	12/03/21 GS-UAV	16/04/21 GS-UAV	17/05/21 GS-UAV
Pearson r	0,9933	0,9968	0,9980	0,9991	-0,2166
P-value	$p=0,00$	$p=0,00$	$p=0,00$	$p=0,00$	$p=,139$

Πίνακας 3: Συσχέτιση Green Seeker με ΣμηΕα

4.3 Συσχέτιση NDVI ανάμεσα σε Green Seeker και ΣμηΕΑ

Η συσχέτιση των δυο αισθητήρων ήταν πολύ υψηλή $r = 0,9$ εκτός από τη τελευταία ημερομηνία κάτι που πιθανότατα οφείλεται στο ότι η καλλιέργεια βρισκόταν στο στάδιο της συγκομιδής οπότε η ανάπτυξη των φυτών είχε σταματήσει.

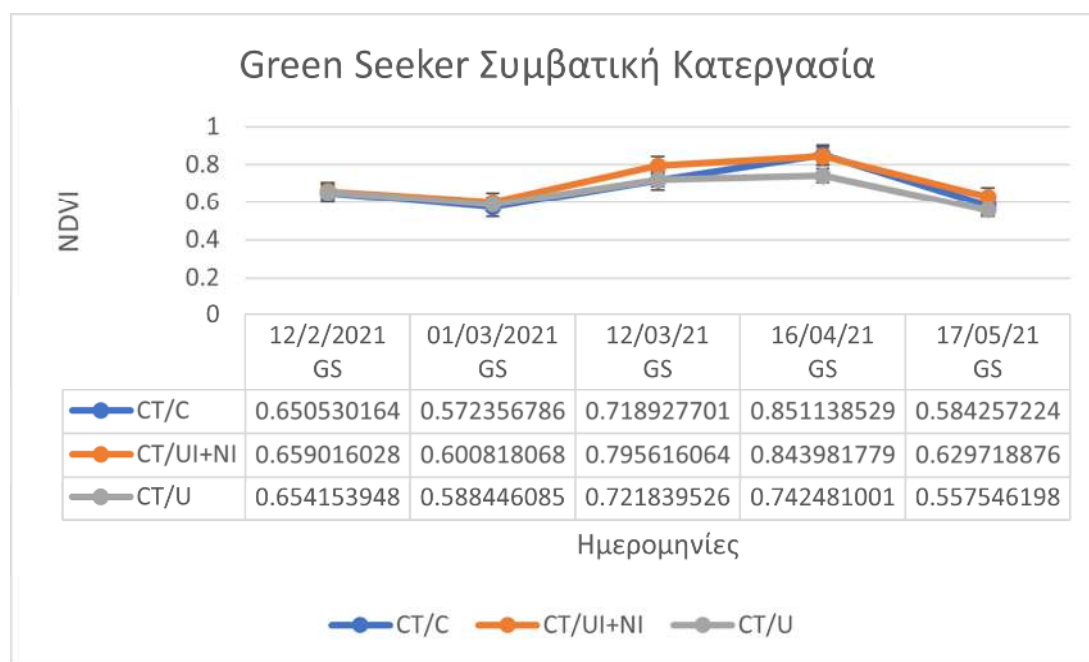
4.4 Σύγκριση συνδυασμένου συστήματος Εδαφοκατεργασίας και Λίπανσης

Green Seeker

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις μέσες τιμές του δείκτη NDVI των τμημάτων με βάση την εδαφοκατεργασία αλλά και την λίπανση.

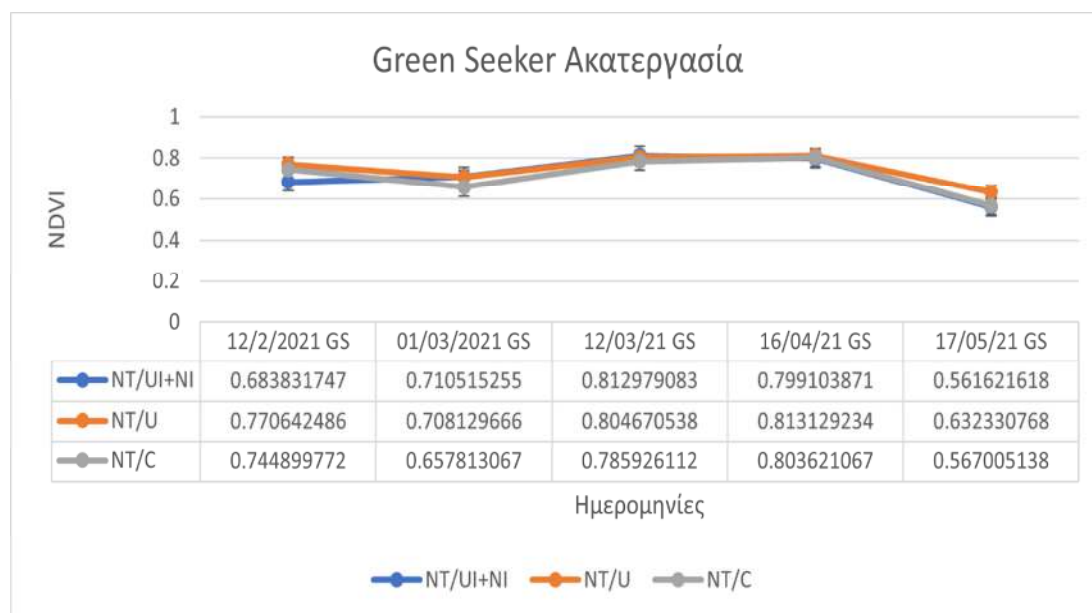
Fert	Till	12/2/2021 GS	01/03/2021 GS	12/03/21 GS	16/04/21 GS	17/05/21 GS
CT/C	CONV	0.650530164	0.572356786	0.718927701	0.851138529	0.584257224
CT/UI+NI	CONV	0.659016028	0.600818068	0.795616064	0.843981779	0.629718876
CT/U	CONV	0.654153948	0.588446085	0.721839526	0.742481001	0.557546198
Fert	Till	12/2/2021 GS	01/03/2021 GS	12/03/21 GS	16/04/21 GS	17/05/21 GS
NT/UI+NI	NO	0.683831747	0.710515255	0.812979083	0.799103871	0.561621618
NT/U	NO	0.770642486	0.708129666	0.804670538	0.813129234	0.632330768
NT/C	NO	0.744899772	0.657813067	0.785926112	0.803621067	0.567005138

Πίνακας 4: Green Seeker εδαφοκατεργασία - λίπανση NDVI



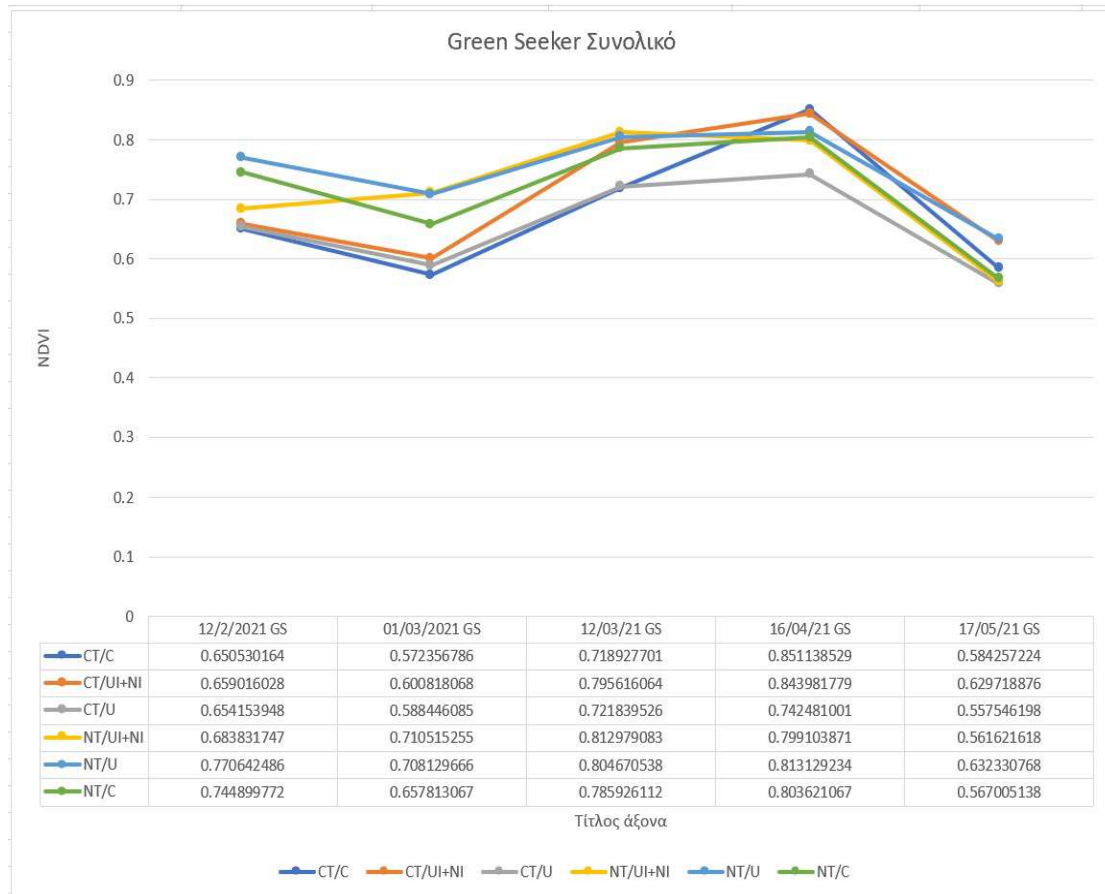
Γράφημα 1: Green Seeker Συμβατική Κατεργασία

Στο Γράφημα 1 φαίνονται οι τιμές NDVI του επίγειου αισθητήρα που σημείωσαν οι διαφορετικές λιπάνσεις στα τμήματα με συμβατική κατεργασία. Η λίπανση ουρίας με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης δείχνει να έχει την καλύτερη πορεία με τις υψηλότερες τιμές.



Γράφημα 2: Green Seeker Ακατεργασία

Στο Γράφημα 2 φαίνονται οι τιμές NDVI του επίγειου αισθητήρα που σημείωσαν οι διαφορετικές λιπάνσεις στα τμήματα χωρίς κατεργασία εδάφους. Η λίπανση ουρίας δείχνει να έχει την καλύτερη πορεία με τις υψηλότερες τιμές.



Γράφημα 3: Green Seeker Συνολικό

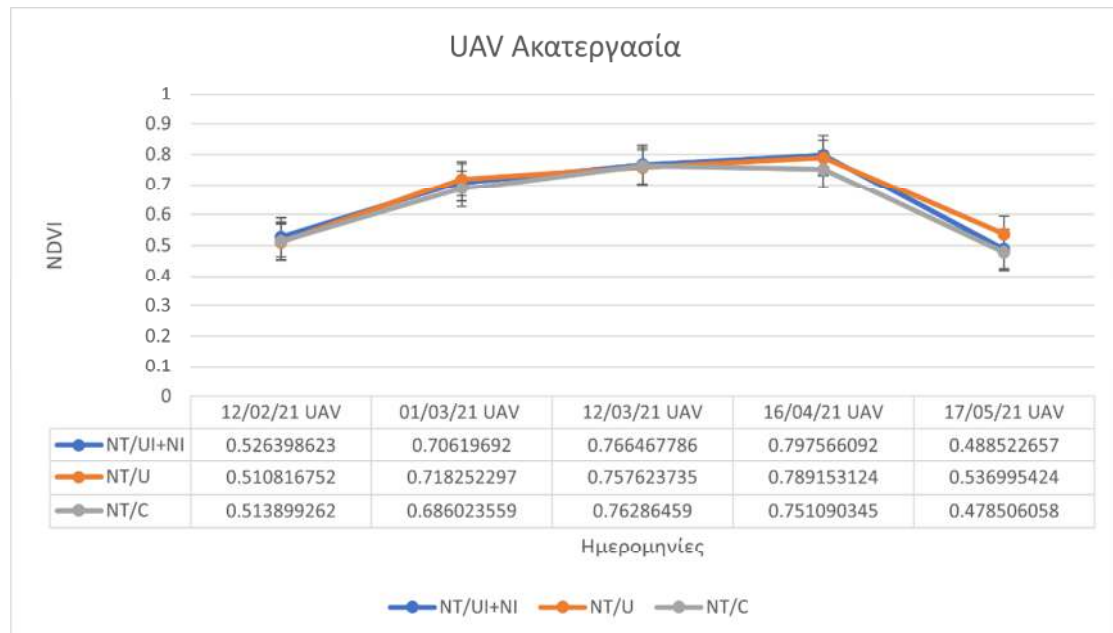
Στο Γράφημα 3 φαίνονται οι τιμές NDVI του επίγειου αισθητήρα που σημείωσαν οι διαφορετικές λιπάνσεις στα τμήματα με συμβατική κατεργασία και μη κατεργασία. Η λίπανση ουρίας με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης δείχνει να έχει την καλύτερη πορεία με σταθερά αυξανόμενες τιμές ενώ στη προτελευταία μέτρηση έχει τη δεύτερη υψηλότερη τιμή. Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε από τον μάρτυρα με συμβατική κατεργασία.

ΣμηΕα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις μέσες τιμές του δείκτη NDVI των τμημάτων με βάση την εδαφοκατεργασία αλλά και την λίπανση.

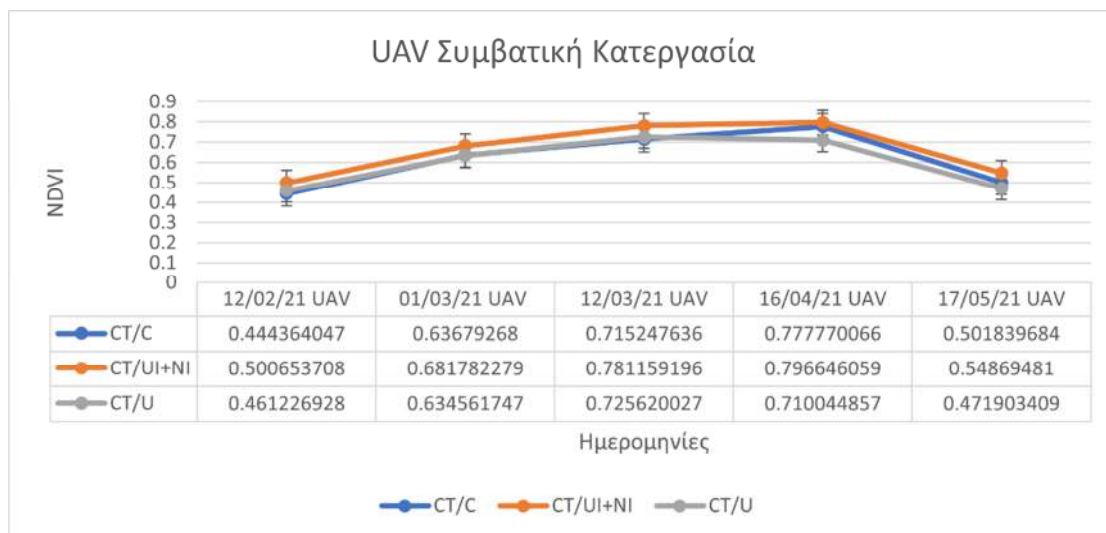
Fert	Till	12/02/21 UAV	01/03/21 UAV	12/03/21 UAV	16/04/21 UAV	17/05/21 UAV
CT/C	CONV	0.444364047	0.63679268	0.715247636	0.777770066	0.501839684
CT/UI+NI	CONV	0.500653708	0.681782279	0.781159196	0.796646059	0.54869481
CT/U	CONV	0.461226928	0.634561747	0.725620027	0.710044857	0.471903409
Fert	Till	12/02/21 UAV	01/03/21 UAV	12/03/21 UAV	16/04/21 UAV	17/05/21 UAV
NT/UI+NI	NO	0.526398623	0.70619692	0.766467786	0.797566092	0.488522657
NT/U	NO	0.510816752	0.718252297	0.757623735	0.789153124	0.536995424
NT/C	NO	0.513899262	0.686023559	0.76286459	0.751090345	0.478506058

Πίνακας 5: ΣμηΕα εδαφοκατεργασία - λίπανση NDVI



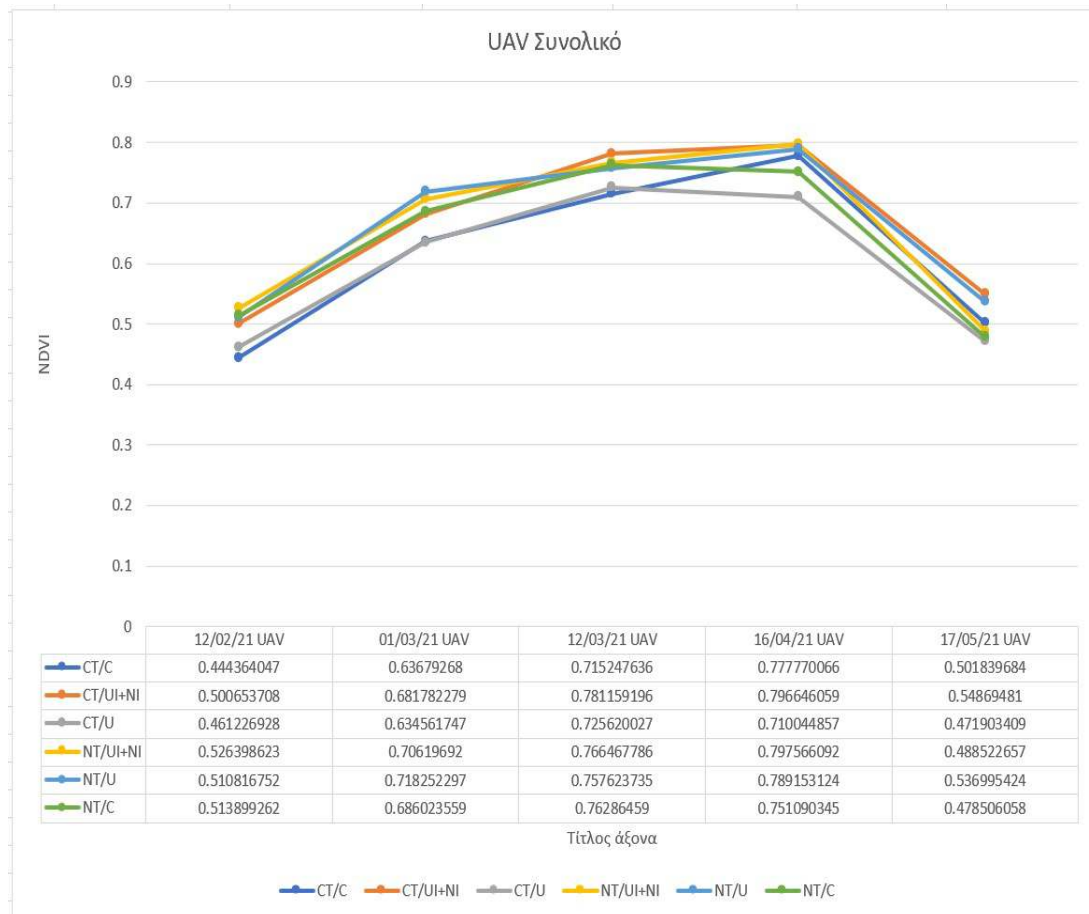
Γράφημα 4: ΣμηΕα Ακατεργασία

Στο Γράφημα 4 φαίνονται οι τιμές NDVI του ΣμηΕα που σημείωσαν οι διαφορετικές λιπάνσεις στα τμήματα χωρίς κατεργασία εδάφους. Η λίπανση ουρίας με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης δείχνει να έχει την καλύτερη πορεία με τις υψηλότερες τιμές.



Γράφημα 5: ΣμηΕα Συμβατική Κατεργασία

Στο Γράφημα 5 φαίνονται οι τιμές NDVI του ΣμηΕα που σημείωσαν οι διαφορετικές λιπάνσεις στα τμήματα με συμβατική κατεργασία. Η λίπανση ουρίας με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης δείχνει να έχει την καλύτερη πορεία με τις υψηλότερες τιμές.



Γράφημα 6: ΣμηΕα Συνολικό

Στο Γράφημα 6 φαίνονται οι τιμές NDVI του ΣμηΕα που σημείωσαν οι διαφορετικές λιπάνσεις στα τμήματα με συμβατική κατεργασία και χωρίς κατεργασία εδάφους. Το τμήμα χωρίς κατεργασία εδάφους και λίπανση ουρίας με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης δείχνει να έχει την καλύτερη πορεία με σταθερά αυξανόμενες τιμές ενώ στην τρίτη και στην προτελευταία μέτρηση έχει την υψηλότερη τιμή. Παρόμοια πορεία σημειώθηκε και από το τμήμα με συμβατική κατεργασία και λίπανση ουρίας με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης.

Με βάση τα παραπάνω γραφήματα για να μπορέσουμε να έχουμε μια καλύτερη και πιο συγκεντρωτική εικόνα παρακάτω δημιουργήθηκε ένας πίνακας ο οποίος περιέχει τις μέσες τιμές NDVI από κάθε τμήμα για κάθε αισθητήρα.

	Μέσοι Όροι NDVI Green Seeker	Μέσοι Όροι NDVI ΣμηΕα
CT/C	0.675442081	0.615202822
CT/UI+NI	0.705830163	0.66178721
CT/U	0.652893352	0.600671394
NT/UI+NI	0.713610315	0.657030415
NT/U	0.745780539	0.662568266
NT/C	0.711853031	0.638476763

Πίνακας 6: Μέσοι όροι NDVI τμημάτων

	Υψηλότερες τιμές NDVI	Χαμηλότερες Τιμές NDVI
Green Seeker		
Κατεργασία (C T)	UI+NI	U
Ακατεργασία (N T)	U	C
Συνολικό (N T)	NT/U	CT/U
ΣμηΕα		
Κατεργασία (C T)	UI+NI	U
Ακατεργασία (N T)	U	C
Συνολικό	NT/U	CT/U

Πίνακας 7: Υψηλότερες / Χαμηλότερες Τιμές NDVI τμημάτων

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές NDVI των μέσων όρων των τμημάτων με διαφορετική κατεργασία εδάφους και διαφορετική λίπανση. Φαίνεται ότι οι δύο αισθητήρες έβγαλαν τα ίδια

αποτελέσματα με τα τμήματα στα οποία εφαρμόστηκε συμβατική κατεργασία εδάφους να έχει την υψηλότερη μέση τιμή NDVI η λίπανση με ουρία και παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης ενώ στα τμήματα χωρίς κατεργασία εδάφους την υψηλότερη μέση τιμή NDVI την είχε η λίπανση με ουρία. Οι καλύτερες μέσες τιμές συνδυαστικά με εδαφοκατεργασία και λίπανση δόθηκαν από τα τμήματα που εφαρμόστηκε μη κατεργασία εδάφους και λίπανση ουρίας.

5 Συμπεράσματα - Συζήτηση

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν αρχικά την αξιολόγηση των επεμβάσεων εδαφοκατεργασίας και λίπανσης της καλλιέργειας και εν συνεχεία συμπεράσματα που αφορούν τους αισθητήρες που αξιοποιήθηκαν για τις μετρήσεις.

Σε ότι αφορά την εδαφοκατεργασία και την λίπανση, με βάση τα αποτελέσματα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στα τμήματα που εφαρμόζεται συμβατική κατεργασία εδάφους η καλύτερη λίπανση που βοηθάει το φυτό να αναπτυχθεί είναι η ουρία με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης. Όπως έχουν αναφέρει οι Santos et al. (2015) ένας από τους λόγους που εφαρμόζεται η συμβατική κατεργασία εδάφους αφορά το σπάσιμο των συμπιεσμένων στρωμάτων. Με το σπάσιμο αυτό φαίνεται πως η εφαρμογή λιπασμάτων χωρίς παρεμποδιστές να μην καταφέρνει να φτάσει τα επιθυμητά επίπεδα απόδοσής τους με αποτέλεσμα τα λιπάσματα με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης να φέρνει καλύτερες τιμές στον δείκτη NDVI άρα και φυτά με πιο υγιή και πυκνή βλάστηση. Σε έρευνα των Ladha et al., (2005) αναφέρουν πως όταν τα λιπάσματα αναμειγνύονται με παρεμποδιστές νιτροποίησης βελτιώνεται ο συγχρονισμός μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησής του αζώτου και έτσι βελτιώνεται η αποδοτικότητά τους έχοντας ταυτόχρονα ελάχιστες απώλειες νιτρικών. Πάνω σε αυτή την έρευνα μπορεί, με βάση τα αποτελέσματα, να συμπληρωθεί ότι σε εδάφη που έχουν υποστεί συμβατική κατεργασία η βελτίωση αυτή είναι ακόμη μεγαλύτερη.

Από την άλλη πλευρά όταν έχουμε έδαφος χωρίς κατεργασία, η λίπανση με ουρία δείχνει να βοηθάει καλύτερα την ανάπτυξη του φυτού. Σε έρευνα των Bilalis et al (2010) παρατηρήθηκε ότι η συνολική σταθερότητα και ο ρυθμός διείσδυσης του νερού ήταν υψηλότεροι σε εδάφη που υπόκεινται σε περιορισμένα συστήματα καλλιέργειας. Στην παραπάνω έρευνα μπορεί να συμπληρωθεί ότι πιθανότατα μέσα από τον καλύτερο ρυθμό διείσδυσης του νερού αλλά και την συνολική σταθερότητά του, ενισχύεται η αποδοτικότητα των λιπασμάτων με ουρία χωρίς την ανάγκη παρεμποδιστών.

Σε σύγκριση μεταξύ αυτών των δύο συνδυασμών εδαφοκατεργασίας και λίπανσης, η καλύτερη παρέμβαση η οποία έδωσε τις υψηλότερες τιμές NDVI άρα

και την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού είναι η μη κατεργασία του εδάφους σε συνδυασμό με λίπανση ουρίας. Από αυτό το αποτέλεσμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η συμβατική εδαφοκατεργασία δεν είναι απαραίτητη για την καλύτερη ανάπτυξη της καλλιέργειας ενώ όταν αυτή εφαρμόζεται δημιουργείται η ανάγκη για χρήση λιπασμάτων με παρεμποδιστές καθώς η απόδοση των κλασικών λιπασμάτων μειώνεται αισθητά.

Σε ότι αφορά τους αισθητήρες, μέσα από τα δεδομένα που συνέλεξαν, παρατηρήθηκε ότι ήταν παρόμοια με πολύ μικρές αποκλίσεις οι οποίες δεν επηρέασαν τα τελικά αποτελέσματα. Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι και οι δυο αισθητήρες είναι εξίσου αξιόπιστοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των καλλιεργειών και την λήψη αποφάσεων παρέμβασης.

Οι νέες τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στην επίβλεψη των καλλιεργειών και στην άμεση λήψη αποφάσεων. Τα ΣμηΕα και οι επίγειοι αισθητήρες είναι εργαλεία τα οποία μας δίνουν, μέσα από δεδομένα που συλλέγουν, πρόσβαση σε ένα πολύ μεγάλο όγκο πληροφοριών για τα φυτά από όπου μπορούμε να κατανοήσουμε τη ανάπτυξη τους και τους παράγοντες που την επηρεάζει.

6 Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Afshar, R. K., Lin, R., Mohammed, Y. A., & Chen, C. (2018). Agronomic effects of urease and nitrification inhibitors on ammonia volatilization and nitrogen utilization in a dryland farming system: Field and laboratory investigation. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4130-4139.

Akiyama, H., Yan, X., & Yagi, K. (2010). Evaluation of effectiveness of enhanced efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(6), 1837-1846.

Alonso-Ayuso, M., Gabriel, J. L., & Quemada, M. (2016). Nitrogen use efficiency and residual effect of fertilizers with nitrification inhibitors. *European Journal of Agronomy*, 80, 1-8.

Alvarez, R., & Steinbach, H. S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and tillage research*, 104(1), 1-15.

Apan, A., Datt, B., & Kelly, R. (2005). Detection of pests and diseases in vegetable crops using hyperspectral sensing: a comparison of reflectance data for different sets of symptoms. In *Proceedings of the 2005 Spatial Sciences Institute Biennial Conference 2005: Spatial Intelligence, Innovation and Praxis (SSC2005)* (pp. 10-18). Spatial Sciences Institute.

Asrar, G. Q., Fuchs, M., Kanemasu, E. T., & Hatfield, J. L. (1984). Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat 1. *Agronomy journal*, 76(2), 300-306.

Atzberger, C. (2013). Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote sensing*, 5(2), 949-981.

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. (1995). A review of vegetation indices. *Remote sensing reviews*, 13(1-2), 95-120.

Bassil, E. S., Kaffka, S. R., & Hutmacher, R. A. (2002). Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to residual soil N following cotton (*Gossypium* spp.) in rotation in the San Joaquin Valley of California. *The Journal of Agricultural Science*, 138(4), 395-402.

Bauer, M. E. (1975). The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. In *Advances in agronomy* (Vol. 27, pp. 271-304). Academic Press.

Bilalis, D. J., Karkanis, A., Papastylianou, P., Patsiali, S., Athanasopoulou, M., Barla, G., & Kakabouki, I. (2010). Response of Organic Linseed (*Linum usitatissimum* L.) to the Combination of Tillage Systems, (Minimum, Conventional and No-Tillage) and Fertilization Practices: Seed and Oil Yield Production. *Australian journal of crop science*, 4(9), 700-705.

Bottger, J. D., Hess, B. W., Alexander, B. M., Hixon, D. L., Woodard, L. F., Funston, R. N., ... & Moss, G. E. (2002). Effects of supplementation with high linoleic or oleic cracked safflower seeds on postpartum reproduction and calf performance of primiparous beef heifers. *Journal of Animal Science*, 80(8), 2023-2030.

Bowden, R. D., Davidson, E., Savage, K., Arabia, C., & Steudler, P. (2004). Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest. *Forest Ecology and Management*, 196(1), 43-56.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (1996). Organisms and ecology of the soil. *The nature and properties of soil*, 11, 328-360.

Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1999). Principles of Geographical Information Systems (Book Review). *The Geographical Bulletin*, 41(1), 59.

Camoglu, G., Demirel, K., & Genc, L. (2018). Use of infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 15(1), 81-94.

Craine, J. M., Morrow, C., & Fierer, N. (2007). Microbial nitrogen limitation increases decomposition. *Ecology*, 88(8), 2105-2113.

Crookston, R. K. (2006). A top 10 list of developments and issues impacting crop management and ecology during the past 50 years. *Crop science*, 46(5), 2253-2262.

Cyr, H., & Face, M. L. (1993). Magnitude and patterns of herbivory in aquatic and terrestrial ecosystems. *Nature*, 361(6408), 148-150.

Dajue, L. (1993). Progress of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) research and production in China. In third international safflower conference, Beijing, China (pp. 35-46).

Dajue, L., & Mündel, H. H. (1996). Safflower, *Carthamus tinctorius* L (Vol. 7). Bioversity International.

Dawar, K., Zaman, M., Rowarth, J. S., Blennerhassett, J., & Turnbull, M. H. (2011). Urease inhibitor reduces N losses and improves plant-bioavailability of urea applied in fine particle and granular forms under field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 41-50.

Delgado, J. A. (2002). Quantifying the loss mechanisms of nitrogen. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(6), 389-398.

Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., & Stanca, A. M. (1998). Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 9(1), 11-20.

Di, H. J., & Cameron, K. C. (2007). Nitrate leaching losses and pasture yields as affected by different rates of animal urine nitrogen returns and application of a nitrification inhibitor—a lysimeter study. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 79(3), 281-290.

Dixon, R. M., Karda, W., Hosking, B. J., & Egan, A. R. (2003). Effects of oilseed meals and grain-urea supplements fed infrequently on digestion in sheep: 2. Cereal straw diets. *Animal Feed Science and Technology*, 110(1-4), 95-110.

El-Shikha, D. M., Waller, P., Hunsaker, D., Clarke, T., & Barnes, E. (2007). Ground-based remote sensing for assessing water and nitrogen status of broccoli. *Agricultural water management*, 92(3), 183-193.

Engel, R., Jones, C., & Wallander, R. (2011). Ammonia volatilization from urea and mitigation by NBPT following surface application to cold soils. *Soil Science Society of America Journal*, 75(6), 2348-2357.

Erie, L. J., & French, O. F. (1969). Growth, yield, and yield components of safflower as affected by irrigation regimes. *Agronomy Journal*, 61(1), 111-113.

Firestone, M. K., & Davidson, E. A. (1989). Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, 47, 7-21.

Fung, T., & Siu, W. (2000). Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 21(5), 1011-1024.

Glenn, E. P., Huete, A. R., Nagler, P. L., & Nelson, S. G. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8(4), 2136-2160.

Glibert, P. M., Harrison, J., Heil, C., & Seitzinger, S. (2006). Escalating worldwide use of urea—a global change contributing to coastal eutrophication. *Biogeochemistry*, 77(3), 441-463.

Goel, V., & Dolan, R. J. (2003). Reciprocal neural response within lateral and ventral medial prefrontal cortex during hot and cold reasoning. *Neuroimage*, 20(4), 2314-2321.

Goldshleger, N., Chudnovsky, A., & Ben-Binyamin, R. (2013). Predicting salinity in tomato using soil reflectance spectra. *International journal of remote sensing*, 34(17), 6079-6093.

Govender, M. C., & Bulcock, K. H. (2007) "A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies". *Journal of Water South Africa*. 33 (2).

Grant, C. A. (2004). Potential uses for Agrotain and polymer coated products. In Proceedings, Direct Seeding: The Key to Sustainable Management. Annual Meeting, Saskatchewan Soil Conservation Association. February (pp. 11-12).

Gyarmati, G., & Mizik, T. (2020, June). The present and future of the precision agriculture. In 2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE) (pp. 593-596). IEEE.

Gyulai, J. (1996, January). Market outlook for safflower. In Proceedings of North American Safflower Conference, Great Falls, Montana, Lethbridge, Canada (p. 15).

Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. Remote sensing of environment, 81(2-3), 416-426.

Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., Nelson W.L. (2005). Soil Fertility and Fertilizers— An Introduction to Nutrient Management. Pearson Education, Inc. New Jersey.

IFA International Fertilizer Association. (2017). Fertilizer outlook 2017–2021. IFA annual conference – 22–24 May 2017 Marrakech (Marocco). Paris: IFA International Fertilizer Association, Services PITaA.

Irving, D. W., Shannon, M. C., Breda, V. A., & Mackey, B. E. (1988). Salinity effects on yield and oil quality of high-linoleate and high-oleate cultivars of safflower. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 36(1), 37-42.

Jensen, A. R. (1998). The g factor. Westwood, CT: Praeger

Jones, C., Brown, B. D., Engel, R., Horneck, D., & Olson-Rutz, K. (2013). Nitrogen fertilizer volatilization. Montana State University Extension, EBO208.

Juma, N. G., & Paul, E. A. (1983). Effect of a nitrification inhibitor on N immobilization and release of ¹⁵N from nonexchangeable ammonium and microbial biomass. Canadian Journal of Soil Science, 63(2), 167-175.

Kaffka, S. R. and T. E. Kearney, (1998). Safflower Production in California. University of California, Agronomy Research & Information Center. UC Agricultural & Physical Resources Publication, 21565.

Karydogianni, S., Darawsheh, M. K., Kakabouki, I., Zisi, C., Folina, A. E., Roussis & Bilalis, D. (2020). Effect of nitrogen fertilizations, with and without inhibitors, on cotton growth and fiber quality.

Khanal, S., Fulton, J., and Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 22–32.

Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Myers, D. B., Massey, R. E., Sadler, E. J., Lerch, R. N., ... & Palm, H. L. (2005). Development of a conservation-oriented precision agriculture system: Crop production assessment and plan implementation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60(6), 421-430.

Knowles, P. F. (1969). Centers of plant diversity and conservation of crop germ plasm: Safflower. *Economic Botany*, 23(4), 324-329.

Knowles, P. F., and Miller, M. D. (1965). Safflower. Circular 532. Univ. of California. Davis, Calif.

Ladha, J. K., & Pathak, H. (2005). J. Krupnik, T.; Six, J.; van Kessel, C. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects *Adv. Agron*, 87, 85-156.

Li, Q., Yang, A., Wang, Z., Roelcke, M., Chen, X., Zhang, F., ... & Liu, X. (2015). Effect of a new urease inhibitor on ammonia volatilization and nitrogen utilization in wheat in north and northwest China. *Field Crops Research*, 175, 96-105.

Li, Y., Hu, M., Tenuta, M., Ma, Z., Gui, D., Li, X., ... & Gao, X. (2020). Agronomic evaluation of polymer-coated urea and urease and nitrification inhibitors for cotton production under drip-fertigation in a dry climate. *Scientific reports*, 10(1), 1-8.

Liaghat, S., & Balasundram, S. K. (2010). A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American journal of agricultural and biological sciences*, 5(1), 50-55.

Lillesand, T. M. (1994). Ralph W. Kiefer,“. *Remote Sensing and Image Interpretation*”, 3rd ed., John Wiley&Sons, USA, 2-3.

Ma Q., Wu Z., Shen S., Zhou H., Jiang C., Xu Y., Liu R., Yu W. (2015). Responses of biotic and abiotic effects on conservation and supply of fertilizer N to inhibitors and glucose inputs. *Soil Biology & Biochemistry*, 89:72–81.

Majumdar, D., Kumar, S., Pathak, H., Jain, M. C., & Kumar, U. (2000). Reducing nitrous oxide emission from an irrigated rice field of North India with nitrification inhibitors. *Agriculture, ecosystems & environment*, 81(3), 163-169.

Malla, G., Bhatia, A., Pathak, H., Prasad, S., Jain, N., & Singh, J. (2005). Mitigating nitrous oxide and methane emissions from soil in rice–wheat system of the Indo-Gangetic plain with nitrification and urease inhibitors. *Chemosphere*, 58(2), 141-147.

Malzer, G. L., Kelling, K. A., Schmitt, M. A., Hoeft, R. G., & Randall, G. W. (1989). Performance of dicyandiamide in the north central states. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(19-20), 2001-2022.

Manunza, B., Deiana, S., Pintore, M., & Gessa, C. (1999). The binding mechanism of urea, hydroxamic acid and N-(N-butyl)-phosphoric triamide to the urease active site. A comparative molecular dynamics study. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(5), 789-796.

Materechera, S. A., Alston, A. M., Kirby, J. M., & Dexter, A. R. (1993). Field evaluation of laboratory techniques for predicting the ability of roots to penetrate strong soil and of the influence of roots on water sorptivity. *Plant and Soil*, 149(2), 149-158.

Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., & Appel, T. (2001). Nitrogen. *Principles of plant nutrition*.

Meyer, W. S., & Barrs, H. D. (1991). Roots in irrigated clay soils: Measurement techniques and responses to rootzone conditions. *Irrigation Science*, 12(3), 125-134.

Monaghan, R. M., De Klein, C. A., & Muirhead, R. W. (2008). Prioritisation of farm scale remediation efforts for reducing losses of nutrients and faecal indicator organisms to waterways: A case study of New Zealand dairy farming. *Journal of environmental management*, 87(4), 609-622.

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 114(4), 358-371.

Mündel, H. H., Huang, H. C., Kozub, G. C., & Barr, D. J. S. (1995). Effect of soil moisture and temperature on seedling emergence and incidence of *Pythium* damping-off in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 75(2), 505-509.

Mündel, H. H., Morrison, R. J., Blackshaw, R. E., & Roth, B. (1992). Safflower Production on the Canadian Prairies. Agric. Can. Res. Station, Lethbridge/Alberta Saffl. Growers Assoc., with funding by Farming for the Future Project, (87-0016).

Nagaraj, G., Li, D., & Yuanzhou, H. (1993, June). Seed composition and fatty acid profile of some Indian safflower cultivars. In *Proceedings Third International Safflower Conference, Beijing, China* (pp. 9-13).

Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., & Oesch, D. (2008). A light-weight multispectral sensor for micro UAV—Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 37(B1), 1193-1200.

Peterson, R. (1996, January). Birdseed market outlook. In *Proceedings of North American Safflower Conference, Great Falls, Montana* (pp. 17-18).

Pettorelli, N. (2013). *The normalized difference vegetation index*. Oxford University Press.

Poncet, A. M., Knappenberger, T., Brodbeck, C., Fogle, M., Shaw, J. N., & Ortiz, B. V. (2019). Multispectral UAS data accuracy for different radiometric calibration methods. *Remote Sensing*, 11(16), 1917.

Quemada, M., Baranski, M., Nobel-de Lange, M. N. J., Vallejo, A., & Cooper, J. M. (2013). Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. *Agriculture, ecosystems & environment*, 174, 1-10.

Raj, A. G., & Kothandaraman, P. (1981). Utilization of undecorticated safflower seed meal in layer ration. *Indian journal of poultry science*.

Ramirez, K. S., Craine, J. M., & Fierer, N. (2012). Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. *Global change biology*, 18(6), 1918-1927.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Md, 371.

Rudd, J. D., Roberson, G. T., & Classen, J. J. (2017). Application of satellite, unmanned aircraft system, and ground-based sensor data for precision agriculture: A review. In 2017 ASABE Annual International Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Santos F, Borém A., Calda C., (2015), *Agricultural Production, Bioenergy and Ethanol, Sugarcane 1st Edition*, Chapter 3-Planting, Pages 35-51.

Sanz-Cobena, A., Misselbrook, T. H., Arce, A., Mingot, J. I., Diez, J. A., & Vallejo, A. (2008). An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(3-4), 243-249.

Sawyer, J. E. (1985). Nitrification of ammonium nitrogen as affected by time of application, location, temperature, and nitrification inhibitors (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).

Shanmugapriya, P., Rathika, S., Ramesh, T., & Janaki, P. (2019). Applications of remote sensing in agriculture-A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(01), 2270-2283.

Sinclair, T. R. Wit CT de 1975 Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science*, 189, 565-567.

Sivakumar, M. V. K. (2003). Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology.

Smith JR (1996). *Safflower*. AOCS Press, Champaign, IL, USA. p.624.

Soares, J. R., Cantarella, H., & de Campos Menegale, M. L. (2012). Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil biology and biochemistry*, 52, 82-89.

Spears, S. (2018). What is No-Till Farming? *Regeneration International*.

Stegeman, G. A., Casper, D. P., Schingoethe, D. J., & Baer, R. J. (1992). Lactational responses of dairy cows fed unsaturated dietary fat and receiving bovine somatotropin. *Journal of dairy science*, 75(7), 1936-1945.

Sun H.J., Zhang H.L., Powelson D., Min J., Shi W.M. (2015). Rice production, nitrous oxide emission and ammonia volatilization as impacted by the nitrification inhibitor 2-chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine. *Field Crops Research*, 173:1-7.

Tao, H., & Rogers, C. W. (2019). Nitrogen inhibitors: how do they work to reduce N losses?, *research.wsulibs.wsu.edu Publications*, Washington State University Extension.

Teke, M., Deveci, H. S., Haliloğlu, O., Gürbüz, S. Z., & Sakarya, U. (2013, June). A short survey of hyperspectral remote sensing applications in agriculture. In *2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)* (pp. 171-176). IEEE.

Thenkabail, P. S., Smith, R. B., & De Pauw, E. (2000). Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote sensing of Environment*, 71(2), 158-182.

Turner, D. A., Edis, R. B., Chen, D., Freney, J. R., Denmead, O. T., & Christie, R. (2010). Determination and mitigation of ammonia loss from urea applied to winter wheat with N-(n-butyl) thiophosphorictriamide. *Agriculture, ecosystems & environment*, 137(3-4), 261-266.

Wang, X., Zhang, L., Zou, J., & Liu, S. (2015). Optimizing net greenhouse gas balance of a bioenergy cropping system in southeast China with urease and nitrification inhibitors. *Ecological Engineering*, 83, 191-198.

Weiss, E. A. (1971). *Castor, sesame and safflower*. Barnes and Noble. Inc., New York, 529.

Weiss, E. A. (1983). *Oilseed crops*. Chapter 6. Safflower.

Wichman, D. (1996, January). Safflower for forage. In *Proceedings of North American Safflower Conference*, Great Falls, Montana (pp. 17-18).

Wójtowicz, M., Wójtowicz, A., & Piekarczyk, J. (2016). Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11(1), 31-50.

Zarco-Tejada, P. J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J. R., Martín, P., Cachorro, V., ... & De Frutos, A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99(3), 271-287.

Zentner, R. P., Lafond, G. P., Derksen, D. A., Nagy, C. N., Wall, D. D., & May, W. E. (2004). Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*, 77(2), 125-136.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 113-132.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αμπατζόγλου, Κ. (1979). Ατρακτυλίδα (*Carthamus tinctorius*). Το ερευνητικό έργο του Ινστιτούτου Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών. Σίνδος, σσ. 185-191.

Φασούλας, Α.Κ., και Σενλόγλου, Ν.Α. (1966). Η προσαρμοστικότητα των φυτών μεγάλης καλλιέργειας στην Ελλάδα. Θεσσαλονίκη.

Φασούλας, Α.Κ., και Φωτιάδης, Ν.Α. (1984). Ατρακτυλίδα (*Carthamus tinctorius*). Αρχές της επιστήμης των καλλιεργούμενων φυτών. Σελ.165-169.

Φουντάς, Σ. και Γέμτος, Θ. (2015). Γεωργία ακριβείας. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: www.kallipos.gr, σελ 130-135, 22-25, 8-12.