



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Σχεδιασμός και ανάπτυξη τεχνολογιών/αισθητήρων που  
εφαρμόζονται στην Γεωργία Ακριβείας**

**Διπλωματική Εργασία**

**Χορταριάς Γεώργιος Εφραίμ**

**Επιβλέπων: Λουτρίδης Σπυρίδων**

**Φεβρουάριος 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

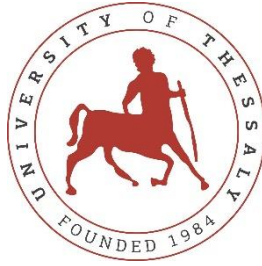
**Σχεδιασμός και ανάπτυξη τεχνολογιών/αισθητήρων που  
εφαρμόζονται στην Γεωργία Ακριβείας**

**Διπλωματική Εργασία**

**Χορταριάς Γεώργιος Εφραίμ**

**Επιβλέπων: Λουτρίδης Σπυρίδων**

**Φεβρουάριος 2023**



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**Design and development of technologies/sensors applied in  
Precision Agriculture**

**Diploma Thesis**

**Chortarias Georgios Efrain**

**Supervisor: Loutridis Spyridon**

## February 2023

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

**Λουτρίδης Σπυρίδων**

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος 1

**Δασκαλοπούλου Ασπασία**

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος 2

**Μπαργιώτας Δημήτριος**

Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ**

### **ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Χορταρίας Γεώργιος Εφραίμ

## **DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS**

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Chortarias Georgios Efraim

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, στον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Καθηγητή κ. Λουτρίδη Σπυρίδων για την πολύτιμη βοήθεια του, την καθοδήγηση του, καθώς και για τον χρόνο αλλά και την υπομονή την οποία επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Δασκαλοπούλου Ασπασία και τον κύριο Μπαργιώτα Δημήτριο που δέχτηκαν να είναι μέλη της επιτροπής αξιολόγησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στην οικογένειά μου για την υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.

## Διπλωματική Εργασία

# Σχεδιασμός και ανάπτυξη τεχνολογιών/αισθητήρων που εφαρμόζονται στην Γεωργία Ακριβείας

## Περίληψη

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού δημιούργησε την ανάγκη για αύξηση της παραγωγής αλλά και την βελτίωση της ποιότητας των πρώτων υλών, προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσει η σύγχρονη γεωργία. Ως εκ τούτου είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν τεχνολογίες και συστήματα που αυτοματοποιούν την γεωργία. Στην παρούσα διπλωματική γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης των συστημάτων τεχνολογιών και αισθητήρων που εφαρμόζονται στη Γεωργία Ακριβείας. Αρχικά παρουσιάζεται η έννοια της Γεωργίας Ακριβείας και τα βασικά χαρακτηριστικά της καθώς και τα οφέλη της στον αγρότη αλλά και στην ευρύτερη κοινωνία. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής περιγραφή των τεχνολογιών της Γεωργίας Ακριβείας και εισαγωγή στην έννοια της Τηλεπισκόπησης. Έτσι μελετάται σε βάθος και μέσα από παραδείγματα η τεχνολογία των Μη Επανδρωμένων Οχημάτων (drones) και η ευρεία χρήση τους σε διάφορες αγροτικές εργασίες. Επιπρόσθετα γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια του Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) ως εργαλείο συλλογής δεδομένων. Επιπλέον αναφέρονται τα συστήματα ρομποτικής που χρησιμοποιούνται σε διάφορες φάσεις της Γεωργίας Ακριβείας. Κλείνοντας δίνονται παραδείγματα της χρήσης των παραπάνω συστημάτων σε διάφορες καλλιέργειες και εξάγονται συμπεράσματα από την εφαρμογή τους.

### Λέξεις-κλειδιά:

Γεωργία Ακρίβειας, τεχνολογίες, αισθητήρες, τηλεπισκόπηση, ρομποτική, Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), Μη Επανδρωμένα Οχήματα (drones)



## **Diploma Thesis**

# **Design and development of technologies/sensors applied in Precision Agriculture**

### **Abstract**

The increase of global population creates the need to improve the production and the quality of the raw materials, challenges that modern agriculture must face. Thus, there is a need for technologies and automation in agriculture. In this diploma thesis, an attempt is made to analyze the systems of technologies and sensors applied in precision agriculture. Initially, the concept of precision farming and its basic characteristics as well as its benefits to the farmer and the wider society are presented. Then there is a detailed description of the technologies of precision farming and an introduction to the concept of remote sensing. Thus, the technology of Unmanned Vehicles (drones) and their widespread use in various agricultural tasks are studied in depth and through examples. In addition, an introduction is made to the concept of the Internet of Things (IoT) as a data collection tool. In addition, the robotics systems used in various phases of Precision Agriculture are mentioned. Finally, examples of the use of the above systems in various crops are given and conclusions are drawn from their application.

### **Keywords:**

Precision Agriculture, Global Positioning System (GPS), Geographic Information Systems (GIS), Unmanned Aerial Vehicles (drones), Internet of Things (IoT), Variable Rate Application (VRA), sensors, technologies, robotics

# Περιεχόμενα

<b>Ευχαριστίες.....</b>	<b>vii</b>
<b>Περίληψη.....</b>	<b>viii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ix</b>
<b>Κατάλογος Εικόνων.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων .....</b>	<b>xiv</b>
<b>Κατάλογος Διαγραμμάτων.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Συνοτομογραφίες.....</b>	<b>xv</b>
<b>Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Γενικά.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Στόχος της διπλωματικής.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Οργάνωση της διπλωματικής .....</b>	<b>2</b>
<b>Κεφάλαιο 2 Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της Γεωργίας Ακριβείας .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Ορισμός.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Στόχος της Γεωργίας Ακριβείας.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Τα οφέλη της Γεωργίας Ακριβείας .....</b>	<b>6</b>
<b>Κεφάλαιο 3 Τα Συστήματα της Γεωργίας Ακριβείας .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Παγκόσμιο σύστημα καθορισμού θέσης GPS.....</b>	<b>8</b>
3.1.1 Εισαγωγή .....	8
3.1.2 Προσδιορισμός Θέσης μέσω GPS .....	9
3.1.3 Πρακτικές εφαρμογές του GPS στην ΓΑ.....	11
<b>3.2 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).....</b>	<b>12</b>
3.2.1 Εισαγωγή .....	12
3.2.2 Χρήση GIS στην ΓΑ .....	13
<b>3.3 Αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Ανάλυση.....	13
3.3.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης.....	14
<b>3.4 Συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA ή VRT).....</b>	<b>15</b>

<b>3.5 Συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων (Yield Monitoring System) .....</b>	<b>17</b>
<b>Κεφάλαιο 4 Τηλεπισκόπηση και Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV).....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Τηλεπισκόπηση .....</b>	<b>19</b>
4.1.1 Εισαγωγή και χρήση Τηλεπισκόπησης στην Γεωργία.....	19
4.1.2 Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης.....	20
<b>4.2 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (drones) .....</b>	<b>22</b>
4.2.1 Εφαρμογή Drones στην ΓΑ.....	24
<b>Κεφάλαιο 5 Οι Αισθητήρες για την συλλογή των Δεδομένων.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 Αισθητήρες Χαρτογράφησης Παραγωγής.....</b>	<b>28</b>
5.1.1 Αισθητήρες Χαρτογράφησης Παραγωγής σε Θ/Α μηχανές .....	29
<b>5.2 Αισθητήρες Πεδίου (Παραμέτρων εδάφους) .....</b>	<b>32</b>
5.2.1 Αισθητήρες εδαφικής θερμοκρασίας .....	34
5.2.2 Αισθητήρες υγρασίας εδάφους.....	36
5.2.3 Αισθητήρες μέτρησης pH.....	38
5.2.4 Αισθητήρες ατμοσφαιρικής υγρασίας.....	40
5.2.5 Αισθητήρες Διοξειδίου του Άνθρακα .....	41
5.2.6 Αισθητήρες Έντασης φωτός και Ηλιακής ακτινοβολίας .....	41
<b>Κεφάλαιο 6 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην Γεωργία Ακριβείας .....</b>	<b>43</b>
<b>6.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Internet of Things (IoT) .....</b>	<b>43</b>
6.1.1 Ορισμός του IoT .....	43
6.1.2 IoT και Γεωργία .....	44
6.1.3 Εφαρμογή του IoT στην ΓΑ .....	46
6.1.4 Παράδειγμα συστήματος IoT.....	48
6.1.5 Περιγραφή έξυπνου IoT συστήματος άρδευσης .....	52
6.1.6 Περιγραφή έξυπνου IoT συστήματος λίπανσης .....	53
<b>Κεφάλαιο 7 Συστήματα Ρομποτικής στην Γεωργία Ακριβείας.....</b>	<b>54</b>
<b>7.1 Ρομποτική και ΓΑ .....</b>	<b>54</b>
7.1.1 Συστήματα Ρομποτικής στην Σπορά .....	55
7.1.2 Συστήματα Ρομποτικής στην Επιθεώρηση Καλλιέργειας.....	57
7.1.3 Συστήματα Ρομποτικής στον Ψεκάσμο .....	59
7.1.4 Συστήματα Ρομποτικής για Συγκομιδή.....	61
7.1.5 Παραδείγματα εφαρμογών Ρομποτικών Συστημάτων στην Γεωργία.....	64
<b>Κεφάλαιο 8 Εφαρμογές Τεχνολογιών Γεωργίας Ακριβείας και Αποτελέσματα .....</b>	<b>66</b>

<b>8.1 Πως γίνεται η συλλογή δεδομένων μέσω των drones.....</b>	<b>66</b>
<b>8.2 Σύγκριση Συμβατικού Συστήματος Ψεκασμού με UAV Σύστημα Ψεκασμού.....</b>	<b>70</b>
<b>8.3 Άλλα παραδείγματα εφαρμογών τεχνολογιών ΓΑ.....</b>	<b>72</b>
8.3.1 Μεταβλητές δόσεις αζωτούχου λίπανσης στο Σκληρό Σιτάρι.....	72
8.3.2 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε ελαιώνες .....	73
8.3.3 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε αμπέλια .....	74
8.3.4 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε καλλιέργεια καρπουζιών .....	74
8.3.5 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε καλλιέργεια μήλων .....	74
8.3.6 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε Καλλιέργεια Καλαμποκιού. ....	75
<b>8.4 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας στις καλλιέργειες</b> .....	<b>77</b>
<b>Κεφάλαιο 9 Συμπεράσματα και Προοπτικές του κλάδου .....</b>	<b>78</b>
<b>9.1 Συμπεράσματα .....</b>	<b>78</b>
<b>9.2 Προοπτικές και Μελλοντική Έρευνα .....</b>	<b>81</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>84</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Ο κύκλος που ακολουθείται στην μέθοδο της Γεωργίας Ακριβείας.....	4
Εικόνα 3.1: Το στάδιο της τριγωνοποίησης .....	10
Εικόνα 3.2: Εφαρμογή του GPS .....	12
Εικόνα 3.3: Αυτοματοποιημένα Συστήματα πλοήγησης .....	14
Εικόνα 3.4: Εφαρμογή συστήματος VRA.....	17
Εικόνα 3.5 Σύστημα Καταγραφής Αποδόσεων. ....	18
Εικόνα 4.1: Η τηλεπισκόπηση στην Γεωργία Ακριβείας. ....	21
Εικόνα 4.2: Τα Drones στην Σύγχρονη Γεωργία. ....	23
Εικόνα 5.1: Σύστημα Αισθητήρων Θ/Α μηχανής.....	32
Εικόνα 5.2: Αισθητήρας μέτρησης παραμέτρων Εδάφους.....	34
Εικόνα 5.3: Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους THERM -200 .....	35
Εικόνα 5.4: Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους VH-400 .....	37
Εικόνα 5.5: Ο αισθητήρας επίδρασης επιλεκτικού πεδίου ιόντων (ISFET) .....	39
Εικόνα 5.6: Ο αισθητήρας ατμοσφαιρικής υγρασίας ‘ClimaVUE50’ .....	40
Εικόνα 5.7: Αισθητήρας TPS-2 για την μέτρηση επιπέδων CO <sub>2</sub> .....	41
Εικόνα 6.1: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και οι τομείς εφαρμογής του .....	44
Εικόνα 6.2: Η δημοτικότητα των συσκευών IoT .....	45
Εικόνα 6.3: Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων. ....	47
Εικόνα 6.4: Τα επίπεδα του IoT στην πράξη. ....	48
Εικόνα 6.5: Ο Μικροελεγκτής Arduino.....	49
Εικόνα 7.1: Ρομπότ σε καλλιέργεια .....	55
Εικόνα 7.2: Ρομπότ Επιθεώρησης Καλλιέργειας .....	59
Εικόνα 7.3: Αυτόματο Ρομπότ Ψεκασμού .....	61
Εικόνα 7.4: Ρομπότ για συγκομιδή προϊόντος.....	63

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά αισθητήρα ‘THERM200’ .....	36
Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά αισθητήρα ‘VH400’ .....	38
Πίνακας 5.3 Συγκεντρωτικός πίνακας αισθητήρων πεδίου.....	42
Πίνακας 8.1: Χαρακτηριστικά στοιχεία της καλλιέργειας που μπορούμε να παρακολουθήσουμε μέσω των drones.....	66
Πίνακας 8.2: Τα χαρακτηριστικά των UAV που χρησιμοποιήθηκαν.....	70
Πίνακας 8.3: Τα χαρακτηριστικά των CS που χρησιμοποιήθηκαν.....	71
Πίνακας 8.4: Καταγεγραμμένες τιμές αισθητήρων στην διάρκεια της ημέρας.....	75
Πίνακας 9.1: Συγκεντρωτικός Πίνακας των Τεχνολογιών και των Συστημάτων .....	81

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 8.1: Θερμοκρασία – Υγρασία Αέρα συναρτήσει της Ώρας.....	76
Διάγραμμα 8.2: Υγρασία – pH Εδάφους συναρτήσει της Ώρας.....	76

## Συντομογραφίες

ΓΑ	Γεωργία Ακριβείας
ΡΑ	Precision Agriculture
GPS	Global Positioning System
GIS	Geographic Information Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
IoT	Internet of Things
VRA	Variable Rate Application
κ.α.	και άλλα

# Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Από την αρχαιότητα η καλλιέργεια της Γης από τον άνθρωπο είχε ως πρωταρχικό στόχο την παραγωγή βασικών αγαθών και πρώτων υλών για την επιβίωσή του. Έτσι αναπτύχθηκε ο κλάδος της Γεωργίας, ο οποίος με την πάροδο των χρόνων ως την εποχή μας έχει αλλάξει δραματικά. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης, η χρήση των καινοτόμων μηχανημάτων και ανακάλυψη νέων τεχνολογικών μεθόδων έχουν παίξει ζωτικό ρόλο στην εξέλιξη και τη βελτίωση των γεωργικών πρακτικών και την εκμηχάνισή τους.

Στις μέρες μας οι παραγωγοί στην Ελλάδα καλλιεργούν τα κτήματά τους χρησιμοποιώντας συνήθως συμβατικές καλλιεργητικές πρακτικές οι οποίες έχουν αρκετά μεγάλο κόστος αλλά παράλληλα δεν είναι και αρκετά αποδοτικές. Οι ανακατατάξεις όμως στην παγκόσμια αγορά, η περιβαλλοντική ρύπανση, η παγκόσμια ενεργειακή κρίση, η ολοένα αυξανόμενη επισιτιστική κρίση και η τάση των καταναλωτών να προτιμούν ποιο ποιοτικά και βιολογικά προϊόντα οδηγούν στην ανάγκη για αλλαγές στις καλλιέργειες και στην αφομοίωση νέων γεωργικών μεθόδων.

Ο ελληνικός αλλά και ο παγκόσμιος αγροτικός και επιστημονικός κόσμος βρίσκεται σήμερα σε ένα σημείο που πρέπει να επιλέξει: ή θα αγκαλιάσει το μέλλον ή θα παραμείνει κολλημένος σε ξεπερασμένες γεωργικές πρακτικές. Το μέλλον αντιπροσωπεύεται από την Γεωργία Ακριβείας, η οποία αποτελεί μια νέα μέθοδο και ένα νέο δίκτυο διαφορετικών τεχνολογιών και συστημάτων όπως αυτοματοποιημένα συστήματα, drones, ψηφιοποίηση των δεδομένων, ασύρματες τεχνολογίες αισθητήρων, Internet of Things, ρομποτικά συστήματα, τα οποία αυτοματοποιούν σε μεγάλο βαθμό την γεωργία και βοηθούν τον χρήστη να λάβει πιο ορθολογικές αποφάσεις για την διαχείριση του αγρού του. Πρόκειται λοιπόν για αναπόδραστη ανάγκη ο σύγχρονος γεωργικός πληθυσμός να μπορέσει να



αφομοιώσει τις νέες γεωργικές πρακτικές ώστε η επιχείρησή του να είναι βιώσιμη και ανταγωνιστική.

## **1.2 Στόχος της διπλωματικής**

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι μέσα από μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση να εντοπιστούν και να αναλυθούν τα στοιχεία της Γεωργίας Ακριβείας δηλαδή τα συστήματα, οι τεχνολογίες και οι αισθητήρες που εφαρμόζονται σε αυτήν. Πιο συγκεκριμένα έχει ως σκοπό:

- την μελέτη και αξιολόγηση της χρήσης τεχνολογιών και συστημάτων (GPS, GIS, Yield Monitoring) εφαρμόζονται στη Γεωργία Ακριβείας.
- την ανάλυση των αισθητήρων ως συσκευές συλλογής δεδομένων και η κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με τρόπο λειτουργίας τους.
- την διερεύνηση των Μη Επανδρωμένων Οχημάτων UAV/drones ως συστήματα Γεωργίας Ακριβείας και την περιγραφή των χαρακτηριστικών τους.
- την περιγραφή του προβλήματος της ανάλυσης των δεδομένων που προέρχονται από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και την παρουσίαση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία.
- την μελέτη και την ανάλυση με βάση τα χαρακτηριστικά τους των συστημάτων ρομποτικής που χρησιμοποιούνται σε διάφορες φάσεις της Γεωργίας Ακριβείας.
- και τέλος, την αξιολόγηση των εφαρμογών της Γεωργίας Ακριβείας σε διάφορες καλλιέργειες στην Ελλάδα αλλά και σε χώρες του εξωτερικού.

## **1.3 Οργάνωση της διπλωματικής**

Η παρούσα διπλωματική οργανώνεται ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται ο ορισμός της Γεωργίας Ακριβείας, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά της καθώς και τα οφέλη που παρέχει στη σύγχρονη κοινωνία.

Στο Κεφάλαιο 3 αναφέρονται τα συστήματα και οι τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας όπως το GPS, το σύστημα GIS, συστήματα VRA, αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια Τηλεπισκόπησης και πώς αυτή εφαρμόζεται στην σύγχρονη γεωργία. Επίσης παρουσιάζονται τα μη επανδρωμένα οχήματα (drones) ως μέσο της Γεωργίας Ακριβείας.

Στο Κεφάλαιο 5 αναλύονται οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία ακριβείας αισθητήρες μέτρησης απόδοσης, αισθητήρες εδάφους (για μέτρηση θερμοκρασίας/υγρασίας) και τέλος οι συνδεδεμένοι αισθητήρες για συλλογή δεδομένων.

Στο Κεφάλαιο 6 αναλύεται η ιδέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και πως αυτό εφαρμόζεται στη Γεωργία Ακριβείας.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα κυριότερα συστήματα ρομποτικής στη γεωργία ακριβείας καθώς και οι εφαρμογές του σε διάφορες φάσεις της καλλιέργειας.

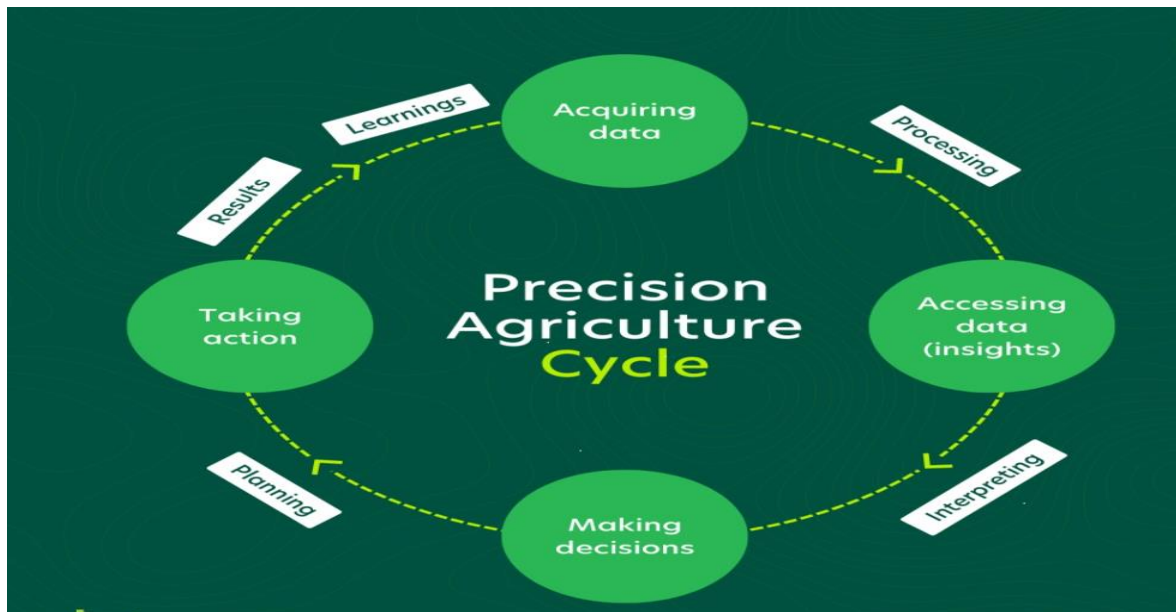
Στο Κεφάλαιο 8 δίνονται παραδείγματα από εφαρμογές της χρήσης της Γεωργίας Ακριβείας σε Ελλάδα και Ευρώπη σε διαφορετικές καλλιέργειες.

Τέλος στο Κεφάλαιο 9 εξάγονται τα βασικά συμπεράσματα και οι προοπτικές που έχει ο παραπάνω κλάδος.

## Κεφάλαιο 2 Ο Ορισμός και τα Χαρακτηριστικά της Γεωργίας Ακριβείας

### 2.1 Ορισμός

Ο όρος «Γεωργία Ακριβείας» αναφέρεται σε μια νέα επιστημονική γεωργική μέθοδο που συγκεντρώνει, συνδυάζει και αναλύει δεδομένα από την εκάστοτε καλλιέργεια και τα συνοδεύει με άλλες πληροφορίες για την υποστήριξη αποφάσεων διαχείρισης σύμφωνα με την εκτιμώμενη μεταβλητότητα, για βελτιωμένη αποδοτικότητα της χρήσης των πόρων, παραγωγικότητα, ποιότητα, μείωση του κόστους και τη βιωσιμότητα της γεωργικής παραγωγής. Η παραπάνω διαδικασία που ακολουθείται και ο κύκλος που κάνει η συλλεγόμενη πληροφορία μέχρι την λήψη της τελικής απόφασης απεικονίζεται και στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Ο κύκλος που ακολουθείται στην μέθοδο της Γεωργίας Ακριβείας.

Η Γεωργία Ακριβείας αποτελείται από ένα σύνολο τεχνολογιών που συνδυάζουν αισθητήρες, εξειδικευμένα μηχανήματα, βάσεις δεδομένων, πρωτοκολλά που διέπουν την επικοινωνία έξυπνων συσκευών και καινοτόμες ιδέες διαχείρισης με σκοπό τη βελτιστοποίηση της παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβλητότητα και τις αβεβαιότητες στα γεωργικά συστήματα.

Η Γεωργία Ακριβείας έχει ως στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας των καλλιεργειών, τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, αλλά και στον περιορισμό της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Πρόκειται για μία νέα στρατηγική διαχείρισης, η οποία συλλέγει χρονικές ή χωρικές πληροφορίες προκειμένου να αυξήσει την αποδοτικότητα της εφαρμογής των εισροών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, νερό) και να μειώσει τις οικονομικές απώλειες αλλά και να εξασφαλίσει την προστασία του περιβάλλοντος. [1]

Η Γεωργία Ακριβείας αποτελείται από τεχνολογίες και συστήματα που έχουν την δυνατότητα μέσα από την ακριβέστατη συλλογή δεδομένων, να καταγράψουν την υπάρχουσα κατάσταση στην καλλιέργεια, έπειτα να διαχειριστούν τη πληροφορία και σε τελικό στάδιο να προτείνουν στον χρήστη την βέλτιστη λύση μέσα από εξειδικευμένα λογισμικά.

Στις τεχνολογίες που αποτελούν την Γεωργία Ακριβείας εμπεριέχονται:

- Συστήματα συλλογής και καταγραφής δεδομένων, όπως παραδείγματος χάρη, Συστήματα εντοπισμού θέσεως, Συστήματα καταγραφής απόδοσης (Yield Mapping), Συστήματα Αυτόματης Πλοήγησης, Drones.
- Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για συλλογή παραμετρικών δεδομένων από την καλλιέργεια.
- Συστήματα διαχείρισης όπως Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - GIS.
- Συστήματα Μεταβλητής Εφαρμογής VRA τα οποία εφαρμόζονται σε λιπασματοδιανομείς, ψεκαστικά συστήματα κ.ά.

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές αγροτικές μεθόδους, όπου οι εισροές εφαρμόζονται ενιαία στον αγρό, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη η παραλλακτικότητα στις εδαφολογικές παραμέτρους όπως η εδαφική υγρασία, η εδαφική θερμοκρασία οι πληθυσμοί των ζιζανίων και των ωφέλιμων ή ζημιογόνων εντόμων και η βλάστηση των φυτών, η Γεωργία Ακριβείας χωρίζει τον αγρό σε μικρότερες περιοχές πιο ευκολά διαχειρίσιμες υποπεριοχές οι οποίες ονομάζονται Ζώνες Διαχείρισης και εμφανίζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία μεταξύ τους.

## 2.2 Στόχος της Γεωργίας Ακριβείας

Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας έχει ορισμένους στόχους που είναι οι εξής:

- η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών,
- η αποδοτικότερη εφαρμογή των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων,
- η χρήση όσο το δυνατόν περισσότερο συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για παροχή ηλεκτρισμού στα διάφορα συστήματα,
- η αξιολόγηση και η καταγραφή των δεδομένων για πιο ορθολογική χρήση των εισροών
- η μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.
- η αυτοματοποίηση διαδικασιών για μεγαλύτερη άνεση και ευκολία αλλά και μείωση του κόστους των εργατών.
- η εξοικονόμηση ζωτικής ενέργειας. [2]

## 2.3 Τα οφέλη της Γεωργίας Ακριβείας

Τα οφέλη της Γεωργίας Ακριβείας είναι πολλαπλά και γίνονται φανερά σε όλους τους τομείς δηλαδή και στον ίδιο τον αγρότη αλλά και στην ευρύτερη κοινωνία. Αρχικά τα πλεονεκτήματα για τον αγρότη είναι ότι επιτυγχάνει αύξηση της ζήτησης των προϊόντων του κάτι που προκύπτει από τη βελτίωση της παραγωγής - ποιότητας και την ταυτόχρονη μείωση των εξόδων - εισροών.

Επιπρόσθετα τα οφέλη είναι ορατά και στο περιβάλλον καθώς έτσι μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η έκπλυση των επιπλέον ποσοτήτων των λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων που εφαρμόζονται και δεν αφομοιώνονται από την καλλιέργεια. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η ρύπανση του περιβάλλοντος και ειδικότερα του υδροφόρου ορίζοντα από υπολείμματα φυτοφαρμάκων ή λιπασμάτων και άλλων προϊόντων που αρκετά από αυτά αναπόδραστα καταλήγουν εκεί.

Ακόμα το πιο σημαντικό είναι τα οικονομικά οφέλη στους αγρότες με κυριότερο όφελος των αγροτών την εξοικονόμηση στη χρήση των εισροών αφού γίνεται η απαραίτητη εφαρμογή των παραπάνω και όχι υπερβολική όπως με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Τέλος μέσα από την αφομοίωση της Γεωργίας Ακριβείας αντιμετωπίζεται και σε μεγάλο βαθμό η επικείμενη ενεργειακή κρίση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα περισσότερα

μέσα που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας τροφοδοτούνται με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) όπως φωτοβολταϊκά συστήματα και αιολικά πάρκα. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια αλλά και προφυλάσσεται σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον.

## Κεφάλαιο 3 Τα Συστήματα της Γεωργίας Ακριβείας

### 3.1 Παγκόσμιο σύστημα καθορισμού θέσης GPS

#### 3.1.1 Εισαγωγή

Το **Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS)**, το οποίο αρχικά ονομάζονταν **Navstar GPS**, είναι ένα σύστημα δορυφόρων ραδιοπλοήγησης που ανήκει στην κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και λειτουργεί από τη Διαστημική Δύναμη των Ηνωμένων Πολιτειών. Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) παρέχει πληροφορίες θέσης και ώρας σε δέκτες GPS σε οποιαδήποτε τοποθεσία πάνω στη Γη, εφόσον αυτές οι τοποθεσίες έχουν ανεμπόδιστη οπτική γωνία με τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους GPS. Δεν είναι απαραίτητο ο χρήστης να μεταδίδει δεδομένα και η λειτουργία του δεν βασίζεται σε λήψη τηλεφώνου ή στο Διαδίκτυο, ωστόσο με αυτές τις τεχνολογίες μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα των πληροφοριών τοποθεσίας των GPS. Παρέχει κρίσιμες δυνατότητες πλοήγησης και εντοπισμού θέσης και βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς όπως στρατιωτικούς, ιδιωτικούς ή πολιτικούς χρήστες. Παρόλο που η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών δημιούργησε, ελέγχει και συντηρεί το σύστημα GPS, είναι ελεύθερα προσβάσιμο σε οποιονδήποτε διαθέτει δέκτη GPS. [3]

Το **Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS)** οργανώνεται σε τρία διαφορετικά τμήματα:

1. Το τμήμα δορυφόρων.
2. Το τμήμα ελέγχου.
3. Οι δέκτες GPS.

Οι δορυφόροι του GPS κάνουν κύκλους σε τροχιά γύρω από τη Γη δύο φορές την ημέρα και μεταδίδουν συνεχώς πληροφορίες. Οι δέκτες του GPS χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσουν την τοποθεσία του χρήστη συγκρίνοντας τον χρόνο μετάδοσης ενός σήματος από έναν δορυφόρο με τον χρόνο λήψης του. Η διαφορά της ώρας λέει στον δέκτη GPS την απόσταση από τον δορυφόρο. Υπολογίζοντας τις αποστάσεις από πολλούς δορυφόρους, ο δέκτης μπορεί να καθορίσει και να εμφανίσει τη θέση του χρήστη στη μονάδα GPS. [4]

Η βασική υπηρεσία GPS παρέχει στους χρήστες ακρίβεια περίπου 7,0 μέτρων, 95% του χρόνου, οπουδήποτε πάνω ή κοντά στην επιφάνεια της γης. Για να επιτευχθεί αυτό, κάθε ένας από τους 31 δορυφόρους (αυτός είναι ο αριθμός τους στο διάστημα) εκπέμπει σήματα που επιτρέπουν στους δέκτες μέσω ενός συνδυασμού σημάτων από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, να προσδιορίσουν τη θέση πάνω στην Γη και τον χρόνο τους. Οι δορυφόροι GPS φέρουν ατομικά ρολόγια που παρέχουν εξαιρετικά ακριβή χρόνο. Ένας δέκτης GPS όμως πρέπει να έχει αναλυτικές πληροφορίες για την πρόβλεψη της θέσης του δορυφόρου κάθε στιγμή και χρονικές καθυστερήσεις που τυχόν να έχουν τα δορυφορικά χρονόμετρα. Οι πληροφορίες ώρας τοποθετούνται στους κωδικούς που μεταδίδονται από το δορυφόρο, έτσι ώστε ένας δέκτης να μπορεί να καθορίζει συνεχώς την ώρα εκπομπής του σήματος.

Οι δορυφόροι εκπέμπουν 4 σήματα (L1,L2,L3,L4). Το σήμα L1 με συχνότητα 1,575 GHz, περιέχει τριών ειδών κώδικες. Μέσω του ακριβή κώδικα του σήματος L1 ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίζει πολλαπλούς δορυφόρους που συγχρονίζονται στην ίδια συχνότητα. Ο άλλη δύο κώδικες χρησιμοποιούνται μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς. Έτσι ένας κώδικας ρυθμίζεται ώστε να εκπέμπει τη συχνότητα L1 και ορίζεται ως μήνυμα πλοήγησης. Τα σήματα L2 και L3 χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για στρατιωτικούς λόγους. Οι δορυφόροι διαθέτουν μηχανισμούς επικοινωνίας, βοηθητικά συστήματα και μεγάλους υπολογιστές.

Το τμήμα ελέγχου του GPS είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση των μεταδόσεων τους, να γίνονται οι αναλύσεις και να στέλνονται εντολές και δεδομένα στο δορυφορικό τμήμα. Αποτελείται από ένα μεγάλο δίκτυο επίγειων εγκαταστάσεων που καταγράφουν τις κινήσεις και την λειτουργία των δορυφόρων GPS. [1][4]

### 3.1.2 Προσδιορισμός Θέσης μέσω GPS

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου μέσω GPS γίνεται σε τα ακόλουθα πέντε βήματα:

1. Η βάση των GPS είναι η Διαδικασία «τριγωνισμού» (triangulation).
2. Για να γίνει η διαδικασία «τριγωνισμού», ο δέκτης GPS μετράει την απόσταση χρησιμοποιώντας τον χρόνο ταξιδιού των ραδιοσημάτων.

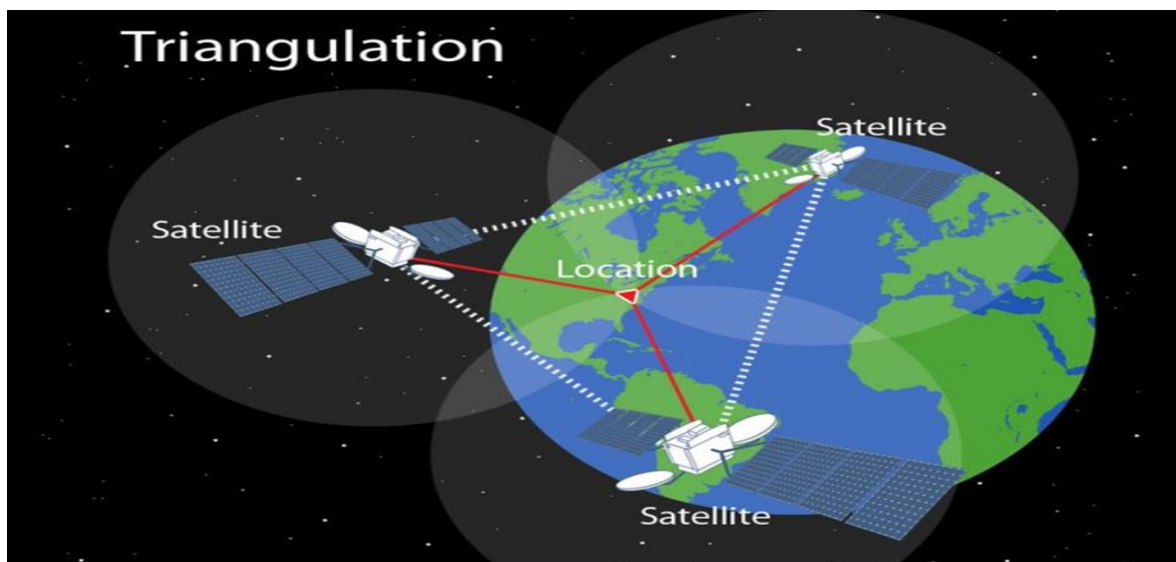


3. Για τη μέτρηση του χρόνου ταξιδιού του σήματος χρειάζεται πολύ ακριβής συγχρονισμός των ρολογιών.
4. Εκτός από την απόσταση πρέπει να γνωρίζουμε πού ακριβώς βρίσκονται οι δορυφόροι στο διάστημα.
5. Τέλος πρέπει να γίνει διόρθωση για τυχόν καθυστερήσεις που έχει το σήμα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του στην ατμόσφαιρα.

Για να γίνει καλύτερα κατανοητή η διαδικασία του τριγωνισμού περιγράφεται παρακάτω πιο αναλυτικά:

Το πρώτο στάδιο αυτό του τριγωνισμού όπως αναπαρίσταται και στη Εικόνα 3.1 έχει να κάνει με το συνδυασμό σημάτων για τη θέση του δέκτη από τρεις τουλάχιστον δορυφόρους . Με πληροφορίες σχετικά με το εύρος από τρεις δορυφόρους και τη θέση του δορυφόρου όταν στάλθηκε το σήμα, ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει τη δική του θέση. Βασική προϋπόθεση είναι το ατομικό ρολόι του δορυφόρου να είναι συγχρονισμένο με το δέκτη GPS για τον υπολογισμό των σειρών από αυτά τα τρία σήματα. Ωστόσο, λαμβάνοντας μια μέτρηση από έναν τέταρτο δορυφόρο, ο δέκτης αποφεύγει την ανάγκη για ατομικό ρολόι. Έτσι, ο δέκτης χρησιμοποιεί συνολικά τέσσερις δορυφόρους για να υπολογίσει το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, το υψόμετρο και τον χρόνο.

[1][5]



Εικόνα 3.1: Το στάδιο της τριγωνοποίησης

### 3.1.3 Πρακτικές εφαρμογές του GPS στην ΓΑ

Το GPS χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς της σύγχρονης κοινωνίας. Ένας από αυτούς είναι και η Γεωργία. Έτσι λοιπόν παρουσιάζονται ορισμένες πρακτικές εφαρμογές του GPS στην Γεωργία Ακριβείας. Μερικές από αυτές είναι οι εξής:

1. **Δειγματοληψία εδάφους:** Το GPS παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα για τον ακριβή προσδιορισμό του εδάφους και για να διαπιστωθεί εάν ο εκάστοτε τύπος εδάφους είναι ιδανικός για την ανάπτυξη της επιλεγμένης καλλιέργειας.
2. **Ακριβής σπορά:** Κάθε σπόρος πρέπει έχει συγκεκριμένη απόσταση και βάθος ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Χρησιμοποιώντας το GPS, είναι ευκολότερο να πούμε τι απόσταση απαιτεί ένας δεδομένος σπόρος και σε ποιο βάθος πρέπει να φυτευτεί ο σπόρος για να αποδώσει τις μέγιστες αποδόσεις.
3. **Συγκομιδή:** Το GPS διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της περιοχής ενός αγροκτήματος που είναι έτοιμη για συγκομιδή και πώς θα γίνει η συγκομιδή. Το GPS θα δώσει επίσης μια εκτίμηση του μεγέθους της περιοχής που συλλέγεται ανάλογα με το μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την συγκομιδή.
4. **Χαρτογράφηση πεδίου:** Το GPS δίνει μια ακριβή εκτίμηση του αγρού που προετοιμάζεται για καλλιέργεια. Μέσω αυτού, οι ειδικοί μπορούν να πουν ποιο τμήμα του αγρού θα χρησιμοποιηθεί για γεωργικές δραστηριότητες και ποια περιοχή θα χρησιμοποιηθεί για άλλες δραστηριότητες που δεν σχετίζονται με τη γεωργία.
5. **Κατεύθυνση μηχανημάτων:** Η τεχνολογία έχει απαιτήσει τη χρήση αυτόνομων γεωργικών μηχανημάτων στη γεωργία. Το GPS χρησιμοποιείται για να κατευθύνει αυτά τα μηχανήματα όπως προς ποια κατεύθυνση θα πλοηγηθεί το μηχάνημα και τα διαστήματα που πρέπει να αφήσει κενά. Όπως για παράδειγμα στην Εικόνα 3.2 φαίνεται η πλοήγηση με την βοήθεια του GPS.
6. **Ταξινόμηση των περιοχών καλλιέργειας με βάση διάφορα χαρακτηριστικά:** Το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση διαφορετικών περιοχών καλλιέργειας με βάση διάφορα χαρακτηριστικά όπως ο τύπος εδάφους και οι χάρτες εδάφους. Οι περιοχές που δεν είναι κατάλληλες για καλλιέργεια μπορούν να εντοπιστούν και να αποξενωθούν, ενώ εκείνες που είναι κατάλληλες μπορούν στη συνέχεια να αναπτυχθούν.
7. **Προσδιορισμός αρδευόμενων καλλιεργειών:** Το GPS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό περιοχών όπου υπάρχουν καλλιεργείες που έχουν αρδευτεί και εκείνες που δεν έχουν αρδευτεί. Αυτό βοηθά στη δημιουργία ενός προφίλ μεταξύ αρδευόμενων καλλιεργειών και μη αρδευόμενων καλλιεργειών για να βοηθήσει στην πραγματοποίηση συγκρίσεων. [5]



Εικόνα 3.2: Εφαρμογή του GPS

## 3.2 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

### 3.2.1 Εισαγωγή

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.), γνωστότερα και ως GIS Geographic Information Systems, είναι εξειδικευμένα συστήματα τα οποία συλλέγουν, αποθηκεύουν αναλύουν και διαχειρίζονται τις συλλεγόμενες πληροφορίες. Τα γεωγραφικά δεδομένα και οι υποκατηγορίες τους δηλαδή τα χωρικά και περιγραφικά δεδομένα μπορούν να χαρτογραφηθούν και να εντοπιστούν στο χώρο με την συνδρομή των παραπάνω συστημάτων. Επίσης, το GIS είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, κυρίως στις γεωγραφικές επιστήμες, λόγω της ικανότητάς τους να συνδυάζουν χωρικά και περιγραφικά δεδομένα, γεγονός που διευκολύνει την εφαρμογή της χωρικής ανάλυσης. Δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να αναπαριστούν τα γεωγραφικά δεδομένα που τους ενδιαφέρουν, συνοδεύοντας τα από πιο εξειδικευμένες χωρικές – περιγραφικές πληροφορίες και γραφήματα – διαγράμματα.

Οι βασικές λειτουργίες των GIS είναι οι εξής:

- Τα συστήματα GIS, αποτυπώνουν τα χωρικά δεδομένα συστήματα συντεταγμένων όπως π.χ. το καρτεσιανό. Το κύριο πλεονέκτημα των GIS συστημάτων είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα (γραφήματα, αναπαραστάσεις, διαγράμματα)

- Τα χωρικά (spatial) δεδομένα συνήθως μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα. [6]

### 3.2.2 Χρήση GIS στην ΓΑ

Το GIS είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στη Γεωργία Ακριβείας. Τα εν λόγω, υπολογιστικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να συλλέγουν, επεξεργάζονται, και να μοντελοποιούν τα δεδομένα χωρικής αναφοράς.

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δεδομένων από προγράμματα GIS εμφανίζονται με τη μορφή χαρτών για καλύτερη κατανόηση από τον χρήστη. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης ενός συστήματος GIS έναντι ενός απλού χάρτη είναι ότι τα δεδομένα μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τον χάρτη σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη, δηλαδή αν τροποποιήσει κάποιο δεδομένο από τα πεδία τότε αποτέλεσμα της επεξεργασίας θα εμφανιστεί αμέσως στον χάρτη. Τα GIS μέσα από εξειδικευμένα λογισμικά συστήματα δίνουν δυνατότητες στον χρήστη όπως [6]:

- Την πιο αποτελεσματική εφαρμογή των εισροών (λιπάσματα, άρδευση) που βοηθάει στην αύξηση της παραγωγής και την μείωση του κόστους.
- Για συγκομιδή με εξασφαλισμένη ποιότητα σύμφωνα με διεθνής κανονισμούς.
- Τη διαχείριση πολλών δεδομένων εύκολα και γρήγορα με σκοπό την πρόβλεψη της παραγωγής.

## 3.3 Αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης

### 3.3.1 Ανάλυση

Τα Αυτοματοποιημένα Συστήματα Πλοήγησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) στα υποβοηθούμενα συστήματα πλοήγησης και β) στα αυτόματα συστήματα πλοήγησης. Μπορούν να αναλάβουν ειδικά οδηγικά καθήκοντα όπως αυτόματη πλοήγηση - πορεία μέσα στην καλλιέργεια, προειδοποίηση παρέκκλισης από την προδιαγεγραμμένη πορεία, αυτόματη αναγνώριση και καθοδήγηση των παρελκόμενων μηχανημάτων κ.α. Αυτές οι

τεχνολογίες μειώνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους και αποτελούν μία πολλή καλή λύση για την αποτελεσματική διαχείριση των κτημάτων.

Τα υποβοηθούμενα συστήματα πλοήγησης όπως αυτά που φαίνονται στην Εικόνα 3.3 δείχνουν στους οδηγούς την πορεία που πρέπει να ακολουθήσουν στην βοηθητική οθόνη μέσα στο χωράφι με τη βοήθεια των συστημάτων πλοήγησης μέσω δορυφόρων (GPS) ή με την βοήθεια εξειδικευμένων λογισμικών. Έτσι η οδήγηση αλλά και οι διάφορες αγροτικές εργασίες γίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια και με όσο το δυνατόν λιγότερη σπατάλη των πόρων.

Τα αυτόματα συστήματα πλοήγησης απαιτούν την οδήγηση σε ένα μόνο αρχικό πέρασμα, αλλά το σύστημα στη συνέχεια κατευθύνει το τρακτέρ στο κάθε επόμενο πέρασμα. Ο χειριστής εξακολουθεί να πρέπει να κατευθύνει τον ελκυστήρα στο τέλος κάθε στροφής και γύρω από τυχόν εμπόδια, αλλά οι διελεύσεις γίνονται χωρίς τη συμβολή του χειριστή. Η αυτόματη καθοδήγηση μειώνει την κόπωση του οδηγού και βελτιώνει την απόδοση των μηχανημάτων κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου, στο βαθμό που ο χειριστής μπορεί να εστιάσει την προσοχή του στις εργασίες που εκτελούνται, ώστε να μπορεί με μεγαλύτερη ευκολία και να ελέγχει τον υπόλοιπο εξοπλισμό. [7][8]



Εικόνα 3.3: Αυτοματοποιημένα Συστήματα πλοήγησης

### 3.3.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της χρήσης των αυτοματοποιημένων συστημάτων πλοήγησης έναντι των συμβατικών είναι οι εξής:

- Ελαχιστοποίηση των σημείων της καλλιέργειας που γίνεται επικάλυψη ή των σημείων που γίνεται παράβλεψη (π.χ. στην λίπανση ή στον ψεκάσμο).
- Δίνει τη δυνατότητα εργασίας κάτω από συνθήκες ελάχιστης ορατότητας όπως όπως τη νύχτα ή κάτω από άσχημες καιρικές συνθήκες.
- Μειωμένο φόρτο εργασίας για τον χειριστή αφού περνάει από κάθε σημείο μόνο μια φορά χωρίς να γίνεται επικάλυψη των ίδιων σημείων
- Τέλος γίνεται σωστή μέτρηση του πλάτους εργασίας κάθε μηχανήματος με αποτέλεσμα να μην γίνεται αλόγιστη χρήση καυσίμου, φυτοφαρμάκων ή λιπάσματος. [7]

### 3.4 Συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA ή VRT)

Τα Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών (Variable Rate Application) είναι συστήματα Γεωργικής Μηχανικής τα οποία είτε μεταβάλουν την ποσότητα εφαρμογής των εισροών (σπόρο, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, ζιζανιοκτόνο κ.ά.) ή μεταβάλλουν το είδος των εισροών (ποικιλία σπόρου, είδος λιπάσματος, είδος φυτοφάρμακου) σε πραγματικό χρόνο δηλαδή την ώρα που γίνεται η εφαρμογή τους ανάλογα με τις κατάλληλες ζώνες διαχείρισης του πεδίου εφαρμογής. Τοποθετούνται στα αγροτικά μηχανήματα όπως ψεκαστικά ή λιπασματοδιανομείς. Η μεταβολή της εφαρμογής των εισροών γίνεται με την χρήση αισθητήρων ή με την βοήθεια των τεχνικών χαρτογράφησης της καλλιέργειας. Οι κύριοι στόχοι των VRA συστημάτων είναι να μεγιστοποιήσουν το κέρδος στο μέγιστο των δυνατοτήτων της, να κάνουν πιο αποτελεσματικές τις εφαρμογές των εισροών και να διασφαλίσουν τη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική ασφάλεια.

Τα συστήματα VRA χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) στην mapped VRA δηλαδή αυτή που γίνεται με την χρήση χαρτών και β) στην sensor based VRA δηλαδή αυτή που βασίζεται σε μετρήσεις από αισθητήρες που προσαρμόζονται στα συστήματα αυτά.

Η εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις με χρήση χαρτών (mapped VRA) προσαρμόζει το ποσοστό εφαρμογής με βάση έναν ηλεκτρονικό χάρτη. Χρησιμοποιώντας τη θέση πεδίου από έναν δέκτη GPS, η εφαρμογή των εισροών μεταβάλλεται καθώς το μηχάνημα κινείται μέσα στο πεδίο.

Τα συστήματα VRA που βασίζονται σε αισθητήρες (sensor based VRA) δίνουν τη δυνατότητα διαφοροποίησης του ρυθμού εφαρμογής των εισόδων χωρίς προηγούμενη χαρτογράφηση με τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες

καταγράφουν τις επιθυμητές εδαφικές ιδιότητες - ή τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών - ενώ βρίσκεστε το μηχάνημα εν κινήσει. Οι τιμές που καταγράφονται από ένα τέτοιο σύστημα στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία και χρησιμοποιούνται αμέσως για τον έλεγχο ενός συστήματος εφαρμογής μεταβλητού ρυθμού. Η μέθοδος VRA που βασίζεται σε αισθητήρες δεν απαιτεί απαραίτητα τη χρήση συστήματος εντοπισμού θέσης GPS, ούτε απαιτεί εκτεταμένη ανάλυση δεδομένων πριν από την πραγματοποίηση εφαρμογών μεταβλητού ρυθμού. Ωστόσο, εάν τα δεδομένα του αισθητήρα καταγράφονται και αναφέρονται γεωγραφικά, οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές ασκήσεις διαχείρισης καλλιεργειών για συγκεκριμένες τοποθεσίες για τη δημιουργία ενός χάρτη συνταγογράφησης για άλλες και μελλοντικές λειτουργίες, καθώς και για την παροχή ενός αρχείου εφαρμογής "όπως εφαρμόζεται" για τον καλλιεργητή. Οι αισθητήρες πρέπει να παρέχουν συνεχώς δεδομένα στον ελεγκτή, έτσι ώστε η είσοδος να ποικίλλει σε ένα μικρό εύρος. [1][8][9]

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η διαδικασία δειγματοληψίας εδάφους είναι η λήψη δειγμάτων από τμήμα του αγρού που δεν υπερβαίνει τα είκοσι στρέμματα σε έκταση. Τα δείγματα που λαμβάνονται από τυχαίες θέσεις στην καλλιέργεια που δειγματοληπτείται μεταφέρονται σε εργαστήριο για ανάλυση. Η δειγματοληψία εδάφους με την μέθοδο του πλέγματος ενισχύει την εγκυρότητα της δειγματοληψίας. Για παράδειγμα, με την μέθοδο δειγματοληψίας πλέγματος η περιοχή δειγματοληψίας των είκοσι στρεμμάτων χωρίζεται σε πλέγματα των δύο στρεμμάτων, με αποτέλεσμα να έχουμε συνολικά δέκα δείγματα. Τα δείγματα αυτά περιέχουν επίσης χωρικές πληροφορίες που επιτρέπουν τη χαρτογράφηση των δεδομένων. Με τη δειγματοληψία πλέγματος εδάφους τα δείγματα επεξεργάζονται και στέλνονται στο εργαστήριο με στόχο την παραγωγή ενός χάρτη που εμφανίζει τις ανάγκες του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά. Στη συνέχεια, αφού πλέον είναι γνωστές οι θρεπτικές ανάγκες της καλλιέργειας σχεδιάζεται ο χάρτης με την απαιτούμενη εφαρμογή λιπάσματος. Ο χάρτης εφαρμογής λιπάσματος εμφανίζεται στην οθόνη δίπλα στον χειριστή και συνδέεται με έναν λιπασματοδιανομέα μεταβλητής εφαρμογής. Ο χειριστής αφού βλέπει τον χάρτη εφαρμογής λιπάσματος και την τρέχουσα θέση του στον αγρό από την οθόνη του GPS κατευθύνει τον ελκυστήρα και μεταβάλλει την ποσότητα ή το είδος του λιπάσματος στο μηχάνημα μεταβλητού ρυθμού χειροκίνητα ή αυτόματα.

Στην Εικόνα 3.4 γίνεται μια αναπαράσταση ενός συστήματος μεταβλητών εφαρμογών VRA.



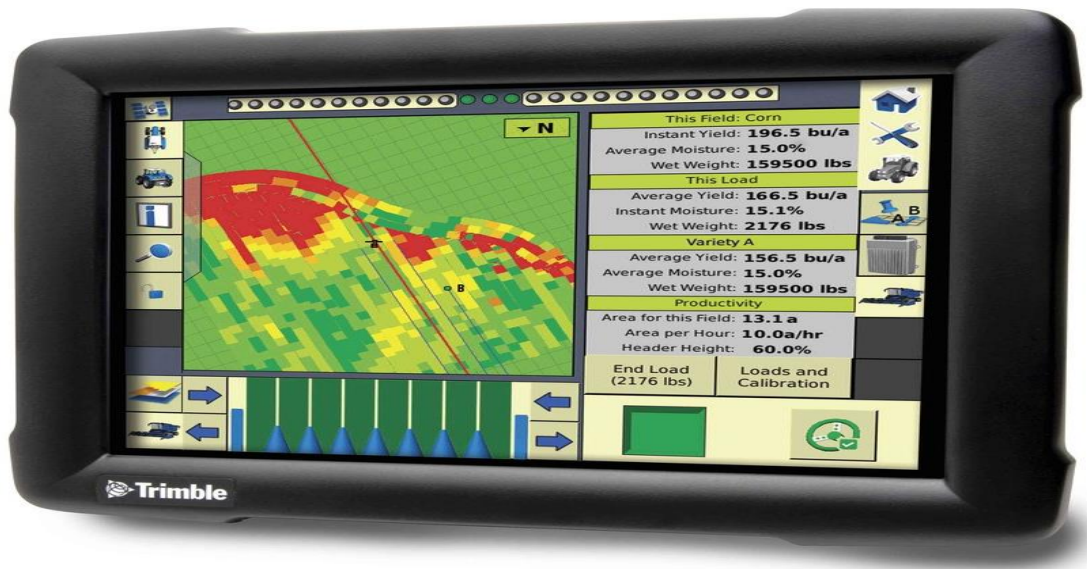
Εικόνα 3.4: Εφαρμογή συστήματος VRA στην Πράξη.

### **3.5 Συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων (Yield Monitoring System)**

Τα Συστήματα Παρακολούθησης Αποδόσεων (Yield Monitoring Systems) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.5 είναι συστήματα που μετρούν και καταγράφουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών κατά τη συγκομιδή. Γίνονται ποιοτικές ή ποσοτικές μετρήσεις υλικών (όπως η ποσότητα των σπόρων που συγκομίζονται ή η υγρασία στους κόκκους) και σχεδιάζονται διάφορα συστήματα για αυτές τις μετρήσεις, όπως ποτενσιόμετρα, ραδιόμετρα, συστήματα κυψελών φορτίου (load cells), μετρητές όγκου κ.α. Οι μετρούμενες τιμές καταγράφονται σε έναν πίνακα συνοδευτικά με τις τιμές των αντίστοιχων χωρικών συντεταγμένων οι οποίες φαίνονται με την συνδρομή του G.P.S., οπότε οι επιστροφές στοιχείων συσχετίζονται πλέον και με τη θέση. Τα συστήματα παρακολούθησης απόδοσης μπορούν να εγκατασταθούν σε γεωργικές θεριστικές μηχανές για τη μέτρηση των αλλαγών στην παραγωγή του αγρού. Με λίγα λόγια είναι μηχανισμοί που δέχονται δεδομένα από το Global Positioning System (GPS) και δείχνουν την απόδοση κάθε σημείου στον χάρτη. Με τη βοήθεια κατάλληλων λογισμικών παράγεται ένας ηλεκτρονικός ψηφιακός χάρτης παραγωγής του αγρού.



Οι οθόνες απόδοσης των προϊόντων μετρούν και καταγράφουν συνεχώς τη ροή των σπόρων στην μηχανή. Όταν συνδυάζονται με δέκτες GPS, παράγονται οι χάρτες απόδοσης της καλλιέργειας, οι οποίοι είναι απαραίτητη για τη διαχείριση των εισροών και την λήψη ορθών αποφάσεων. Παρόλα αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και κάποιοι τοπικοί και περιβαλλοντικοί παράμετροι για την εγκυρότητα των χαρτών απόδοσης.



Εικόνα 3.5 Σύστημα Καταγραφής Αποδόσεων.

## Κεφάλαιο 4 Τηλεπισκόπηση και Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV)

### 4.1 Τηλεπισκόπηση

#### 4.1.1 Εισαγωγή και χρήση Τηλεπισκόπησης στην Γεωργία

Στην σύγχρονη εποχή με την αλματώδη εξέλιξη των τεχνολογικών μέσων αναπτύχθηκε και η επιστήμη της τηλεπισκόπησης που με απλά λόγια σημαίνει απόκτηση πληροφοριών σχετικά με ένα αντικείμενο ή φαινόμενο χωρίς τη φυσική επαφή μαζί του, σε αντίθεση με την επιτόπια παρατήρηση. Η τηλεπισκόπηση επεξεργάζεται χωρικά δεδομένα με τη βοήθεια των εναέριων, δορυφορικών ή επίγειων συστημάτων και εξειδικευμένων λογισμικών. Ο ορισμός είναι ο εξής: «Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη που καταγράφει την ενέργεια η οποία ανακλάται ή εκπέμπεται από ένα αντικείμενο». [1]

Με ποιο απλά λόγια, η τηλεπισκόπηση είναι η καταγραφή και λήψη δεδομένων από απόσταση. Οι αισθητήρες καταγραφής των δεδομένων είναι φορητές συσκευές που τοποθετούνται σε επίγεια ή εναέρια οχήματα αλλά και σε δορυφόρους. Τα δεδομένα από την διαδικασία της τηλεπισκόπησης παρέχουν εικόνα για την κατάσταση των φυτών (υγρασία, τα θρεπτικά συστατικά, θερμοκρασία, pH) και είναι ένα μέσο για την αξιολόγηση της υγείας των καλλιεργειών. Οι κάμερες και οι αισθητήρες με υψηλή φασματική και θερμική ανάλυση μπορούν επίσης να καταγράψουν εικόνες υπέρυθρης ακτινοβολίας που όπως θα δούμε παρακάτω παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την υγεία των φυτών.

Η Τηλεπισκόπηση (remote sensing) μπορεί να δείξει μεταβολές εντός της καλλιέργειας κάτι που επηρεάζει την απόδοση και μπορεί να είναι πολλή χρήσιμη για τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης που μεγιστοποιούν την απόδοση για την τρέχουσα καλλιέργεια. Οι εικόνες απομακρυσμένης ανίχνευσης μπορούν να βοηθήσουν να προσδιοριστεί ακριβώς η θέση που εντοπίζεται το πρόβλημα των καλλιεργειών. Η ανάλυση τέτοιων εικόνων που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την ανίχνευση μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό της αιτίας που ευθύνεται για την κακή κατάσταση των φυτών. Οι εικόνες

μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη και την εφαρμογή ενός σχεδίου θεραπείας σημείων που βελτιστοποιεί τη χρήση γεωργικών χημικών ουσιών.

Η Τηλεπισκόπηση (remote sensing) είναι μια από τις πιο βασικές λειτουργίες της Γεωργίας Ακριβείας. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για τη μελέτη εκτιμήσεων μεταβλητότητας καλλιεργειών και εδάφους, αλλά αντιμετωπίζει επίσης ορισμένους περιορισμούς. Μερικά από αυτά είναι: υψηλό κόστος, περιορισμένος χρόνος επαναχρησιμοποίησης και χαμηλή ανάλυση λόγω μεγάλου ύψους. Εναέρια συστήματα (UAV) μπορούν επίσης να εκτελούν τηλεπισκόπηση, με πολλά πλεονεκτήματα όπως χαμηλό κόστος, χρόνος εγγραφής και ευκολία χρήσης αλλά σε μικρότερη κλίμακα από τα δορυφορικά συστήματα. [10]

#### 4.1.2 Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης

Η Τηλεπισκόπηση όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 4.1 μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: η επίγεια, η εναέρια και η δορυφορική. Κατά την αξιολόγηση μιας πλατφόρμας τηλεπισκόπησης, η χωρική και φασματική ανάλυση πρέπει να ληφθούν επίσης υπόψη. Η χωρική ανάλυση καθορίζει το μέγεθος pixel του δορυφόρου ή του αερομεταφερόμενου μέσου, εικόνες που καλύπτουν την επιφάνεια της γης και έχει να κάνει με τις διαστάσεις του αντικειμένου που μπορεί να αναγνωριστεί. Η φασματική ανάλυση ενός αισθητήρα δείχνει το πλάτος που παρέχει σε φασματικές ζώνες και στις οποίες ο αισθητήρας μπορεί να συλλέγει την ανακλώμενη ακτινοβολία.

##### Επίγεια Τηλεπισκόπηση

Αυτή η τεχνολογία έχει καλύτερη χρονική, φασματική και χωρική ανάλυση σε σύγκριση με την δορυφορική τηλεπισκόπηση. Ένας περιοριστικός παράγοντας της επίγειας τηλεπισκόπησης είναι η το εύρος χρήσης καθώς μειώνεται στην αξιολόγηση μικρών περιοχών σε σύγκριση με την εναέρια και τη δορυφορική, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση πολύ μεγαλύτερων περιοχών κάθε φορά. Πρόβλεψη απόδοσης, διατροφικές απαιτήσεις των φυτών, ανίχνευση ζημιών από

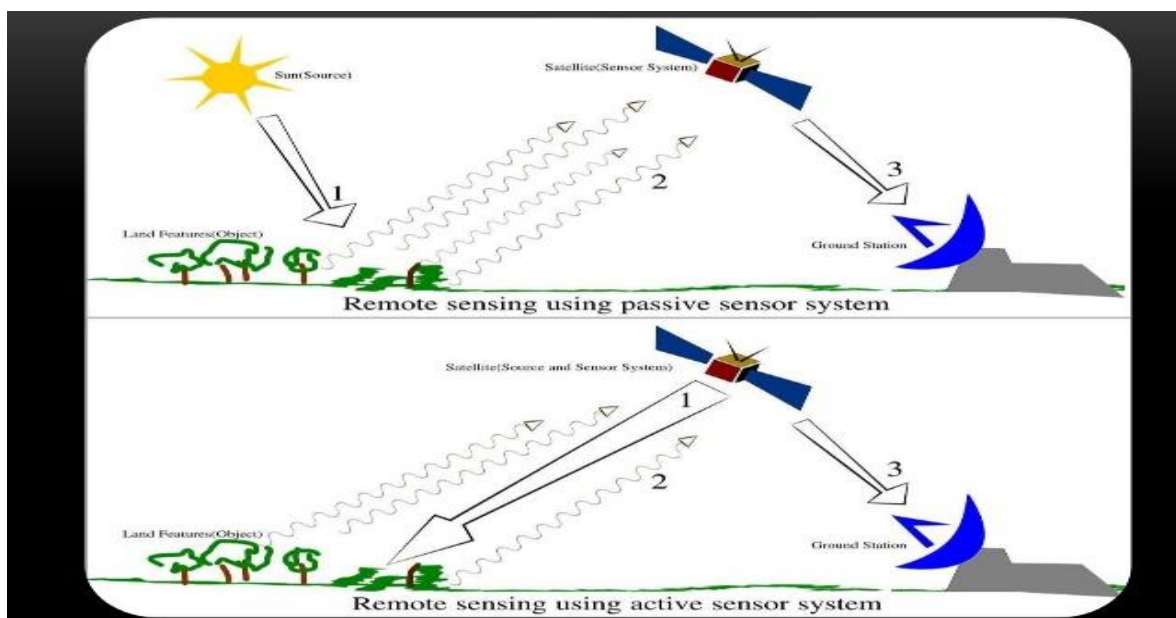
παράσιτα, απαιτήσεις σε νερό και ο έλεγχος των ζιζανίων είναι τα πιο συχνά αντικείμενα που διερευνήθηκαν σε μελέτες που έγιναν. [11]

### Εναέρια Τηλεπισκόπηση

Μέχρι σήμερα, η εναέρια τηλεπισκόπηση πραγματοποιείται κυρίως με τη χρήση πιλοτικών αεροσκάφη, ωστόσο, τα τελευταία χρόνια αντικαθίστανται συχνότερα από Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV ή αλλιώς drones), τα οποία είναι αεροσκάφη που οδηγούνται εξ αποστάσεως από επίγειο σταθμό και θα αναλυθούν αναλυτικότερα παρακάτω.

### Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

Ιστορικά, οι δορυφορικές εικόνες έχουν χρησιμοποιηθεί για χαρτογράφηση τύπων καλλιέργειας, γενική εκτίμηση της κατάστασης και εκτίμηση της έκτασης της καλλιέργειας. Συνήθως, αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλες περιοχές λόγω της περιορισμένης χωρικής ανάλυσης των αισθητήρων. Ωστόσο, οι αναλύσεις πιο πρόσφατων δορυφορικών αισθητήρων ενεργοποιούνται πλέον εντός πεδίου αξιολόγηση προβλημάτων όπως το άγχος της ξηρασίας, οι πλημμύρες και οι ζημιές από χαλάζι. [11]



Εικόνα 4.1: Η Τηλεπισκόπηση στην Γεωργία Ακριβείας.

## 4.2 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (drones)

Τα Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV/drones) όπως αυτό που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.2, είναι μια εναλλακτική λύση έναντι των δορυφόρων και άλλων εναέριων μέσων, τα οποία είναι αρκετά ευέλικτα, οικονομικά και πολύ αποδοτικά. Μια πλατφόρμα UAV αποτελείται από το ίδιο το drone, από ένα σύστημα επικοινωνίας και πλοήγησης, από ένα σύστημα ελέγχου σε συνδυασμό με ένα σύνολο αισθητήρων ή καμερών που τοποθετούνται σε αυτά και βοηθούν τον χρήστη να έχει ολοκληρωμένη εικόνα των πληροφοριών της περιοχής και της καλλιέργειας.

Η βασική αρχιτεκτονική ενός drone, χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνονται οι αισθητήρες μέτρησης διάφορων παραμέτρων, αποτελείται από:

- Πλαίσιο ( που περιέχει και την μπαταρία),
- κινητήρες,
- ρότορες,
- μονάδες συνδεσιμότητας με τον πίνακα ελέγχου (ασύρματες),
- σύστημα πλοήγησης – εντοπισμού θέσης (inertial positioning system),
- μετρητές ύψους και ταχύτητας και
- Πλαίσιο για ασφαλή προσγείωση

Ένα μη επανδρωμένο εναέριο σύστημα (UAS) που εφαρμόζεται αποτελείται τις περισσότερες φορές από τα παρακάτω στοιχεία:

### ➤ Ένα ή περισσότερα UAV

Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα αυτόνομα είτε με τη βοήθεια χειριστή στο πλαίσιο τους.

### ➤ Έναν επίγειο σταθμό ελέγχου (Ground Control Station)

Είναι ένας υπολογιστής που είτε επικοινωνεί με το σύστημα ελέγχου UAV είτε ελέγχει και παρακολουθεί απευθείας το UAV. Ο κύριος στόχος ενός επίγειου σταθμού ελέγχου GCS είναι να ελέγξει την πτήση του UAV με έναν μόνο χρήστη και με τις λιγότερο δυνατόν κινήσεις. Τα καινούργια τηλεχειριστήρια GCS παρέχουν στον χρήστη πολλές δυνατότητες όπως η αυτόματη ανίχνευση εμποδίων που μπορεί να προστεθούν κατά τη διάρκεια της

πτήσης. Ακόμα στην οθόνη του GCS αναπαρίσταται ορισμένα στοιχεία και εμφανίζονται προειδοποιήσεις για την κατάσταση του UAV όπως η στάθμη της μπαταρίας αλλά και το ύψος πτήσης ή η μορφολογία του εδάφους. Τέλος μπορεί να δείξει στην οθόνη την κατάσταση των αισθητήρων ή των καμερών.

#### ➤ Σύστημα Ελέγχου UAV

Το σύστημα ελέγχου UAV όπως προδίδει η λέξη ελέγχει την διαδικασία της πτήσης των drones. Μπορεί να είναι ένα τηλεχειριστήριο ή ένας ενσωματωμένος υπολογιστής. Πολλές φορές περιέχει αισθητήρες που παρακολουθούν τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας, δηλαδή τη μορφολογία εδάφους ή το ύψος πτήσης. Το σύστημα ελέγχου έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται πληροφορίες από αισθητήρες για τη διόρθωση τυχόν προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν και να επικοινωνεί με το GCS ασύρματα και σε πραγματικό χρόνο στέλνοντας και λαμβάνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες.

#### ➤ Αισθητήρες για συλλογή δεδομένων

Πρόκειται για αισθητήρες ή κάμερες (θερμικές, RGB, LiDAR) που προορίζονται για τη συλλογή των απαιτούμενων πληροφοριών. Αν τα UAV δεν προορίζονται αποκλειστικά για τη συλλογή δεδομένων αλλά χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς, όπως για τον ψεκασμό ή την σπορά, οι αισθητήρες αντικαθίστανται με τα κατάλληλα εξαρτήματα. [38]



Εικόνα 4.2: Τα Drones στην Σύγχρονη Γεωργία.

#### 4.2.1 Εφαρμογή Drones στην ΓΑ

Οι αγρότες που χρησιμοποιούν drones μπορούν να επωφεληθούν με τους ακόλουθους τρόπους. Οι γνώστες της βιομηχανίας UAV πιστεύουν ότι η γεωργία είναι ένας τεράστιος τομέας για εφαρμογές UAV. Τα drones μπορούν να ψεκάσουν φυτοφάρμακα, να γονιμοποιήσουν και να σπείρουν, καθώς και να παρατηρήσουν την παραγωγή καλλιεργειών και τις συγκομιδές. Για τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, τα drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των ζώων και τη γρήγορη συλλογή χρήσιμων δεδομένων για την υγεία των ζώων και τον πληθυσμό.

Τα κύρια πλεονεκτήματα που παρέχουν τα Drones είναι τα ακόλουθα:

- Καθώς τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη λειτουργούν από εκπαιδευμένους πιλότους, δεν υπάρχει καμία πιθανότητα κακής χρήσης τους.
- Μπορούν να αυξήσουν το δείκτη ROI (Return on Investment), δηλαδή να γίνει γρήγορη απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης.
- Λειτουργούν με διπλάσια ταχύτητα από την ανθρώπινη εργασία.
- Τα drones χρησιμοποιούν την τεχνολογία ψεκασμού ULV (Ultra-low volume), εξοικονομώντας έτσι νερό και υπερβολική χρήση χημικών.
- Είναι χαμηλού κόστους και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.
- Βοηθούν στην αύξηση της παραγωγικότητας των αγροτών. [12]

Ωστόσο έχουμε και κάποιους περιορισμούς στην εφαρμογή των Drones και είναι οι εξής:

- Τα drones εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες. Καλό είναι να αποφεύγεται η πτήση των drones σε βροχερές και θυελλώδεις καιρικές συνθήκες.
- Ένας μέσος αγρότης μπορεί να δυσκολεύεται να κατανοήσει τις λειτουργίες του drone.
- Πρέπει να λάβει ο αγρότης κρατική άδεια για να το χρησιμοποιήσει.
- Τα drone με περισσότερα χαρακτηριστικά είναι ακριβά. [12]

Οι πιο συχνές εφαρμογές των UAV για τη Γεωργία Ακριβείας, όπως καταγράφονται στη βιβλιογραφία, είναι οι εξής:

1. Χαρτογράφηση του αγρού
2. Εντοπισμός του πληθυσμού των ζιζανίων – ανεπιθύμητων εντόμων
3. Παρακολούθηση της ανάπτυξης της και της υγείας της καλλιέργειας
4. Ανίχνευση ασθενειών

5. Διαχείριση συστημάτων άρδευσης
6. Ψεκασμός καλλιέργειας
7. Διαδικασία της σποράς

#### Παρακολούθηση Καλλιέργειας

Χρειάζεται πολύς χρόνος και ανθρώπινο δυναμικό για την παρακολούθηση της περιοχής όπου καλλιεργείται και τα drones μπορούν γρήγορα να σαρώσουν και να ελέγξουν για να βρουν φυτά που αργούν να αναπτυχθούν και μπορεί να απαιτούν αντικατάσταση. Με τη χρήση ειδικών φασματικών αισθητήρων παρατηρούνται τα φυτά για την απορρόφηση και την αντανάκλαση του φωτός ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος, σχηματίζοντας μια εικόνα η οποία διαφέρει χρωματικά και αντανακλά οπτικά την προβληματική περιοχή. Οι εικόνες που παράγονται από αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν τον Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ο οποίος προκύπτει μετρώντας τη διαφορά μεταξύ του κοντινού υπέρυθρου (το οποίο η βλάστηση αντανακλά έντονα) και του κόκκινου φωτός (το οποίο η βλάστηση απορροφά) και λαμβάνεται με μακροπρόθεσμη παρακολούθηση δορυφορικών εικόνων και drones. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να διακριθούν τα εδάφη, οι καλλιέργειες και να βρεθούν άρρωστα φυτά, επειδή τα φυτά που βλάπτονται ή αφυδατώνονται έχουν διαφορετικούς τρόπους αντανάκλασης του φωτός. Η τελευταία έρευνα δείχνει ότι αυτά τα φασματικά δεδομένα μπορούν να βρεθούν σε καλλιέργειες που έχουν υποστεί βλάβη από φυτοφάρμακα, καθώς και ζιζάνια που αναπτύσσονται σε καλλιέργειες και είναι απρόσβλητα από ζιζανιοκτόνα. [12][13]

#### Παρακολούθηση της υγείας της βλάστησης και ανίχνευση ασθενειών

Ελλείψει προσεκτικής ανασκόπησης, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που προκαλούν μαρασμό των φυτών και καταστρέφουν με άλλο τρόπο τις καλλιέργειες μπορούν να αποφύγουν την ανίχνευση. Αν και η τεχνολογία φασματικής απεικόνισης των drones μπορεί να αποκαλύψει κιτρίνισμα φυτών σε πράσινα φυτά χρησιμοποιείται επίσης για να ανακαλύψει παθογόνους παράγοντες και άλλες ασθένειες. Στις ΗΠΑ drones χρησιμοποιούνται για να αιχμαλωτίσουν τα σπόρια αέρα του *Fusarium graminearum*, το οποίο καταστρέφει το σιτάρι και το καλαμπόκι. Οι ομοσπονδιακές και κρατικές υπηρεσίες



μπορούν επίσης να παρακολουθούν παθογόνους παράγοντες σε μεγαλύτερη κλίμακα, επιτρέποντας στους αγρότες να προετοιμαστούν πριν από την επιδημία. [12][13]

### Χαρτογράφηση Εδάφους

Τα drones μπορούν να αποδειχθούν ζωτικής σημασίας από την αρχή του κύκλου ζωής οποιασδήποτε καλλιέργειας. Δημιουργούν ακριβείς χάρτες 2D και 3D που βοηθούν στην οργάνωση της δειγματοληψίας του εδάφους και στο σχεδιασμό της σποράς. Μετά τη φύτευση, μόνο μια σάρωση με drone της καλλιέργειας μπορεί να παράγει άμεσα χρήσιμα δεδομένα, τόσο για την αποτελεσματικότητα της φύτευσης όσο και για περαιτέρω σχεδιασμό άρδευσης και λίπανσης. [14]

### Ψεκασμοί

Με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης, τα drones έχουν παράξει δισδιάστατους χάρτες ακολουθώντας τους μπορεί να γίνει ο ψεκασμός των διάφορων καλλιεργειών.

Τα drones μπορούν να ψεκάσουν την κατάλληλη ποσότητα φυτοφαρμάκου ή λιπάσματος, ρυθμίζοντας παράλληλα το ύψος του αλλά και την ποσότητα ψεκασμού ανάλογα με την θέση του μέσα στην καλλιέργεια.

Μια βασική απαίτηση για να διασφαλιστεί η ακρίβεια στην διαδικασία του ψεκασμού είναι η διατήρηση του σταθερού ύψους καθώς επηρεάζει άμεσα το εύρος του ψεκασμού, ανεξάρτητα από την μορφολογία του εδάφους, από τα drones.

Τα αποτελέσματα δείχνουν αυξημένη απόδοση του ψεκασμού, η οποία σε ορισμένες μελέτες δείχνει να είναι έως και πέντε φορές πιο αποτελεσματική, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται το κόστος για τον αγρότη αλλά και η ποσότητα των φυτοφαρμάκων που ψεκάζονται στο περιβάλλον. [15]

### Άρδευση

Μέσα από ειδικά εξοπλισμένα drones με αισθητήρες καταγραφής ή εξειδικευμένες κάμερες μεγάλης ευκρίνειας μπορούν να εντοπίσουν και να καταγράψουν, με τεράστια ακρίβεια ποια μέρη των καλλιεργειών χρειάζονται περισσότερο ή λιγότερο νερό και παρέχουν χάρτες για πιο αποτελεσματική διαχείριση της κάθε καλλιέργειας. Ακόμη και καθώς αναπτύσσονται οι καλλιέργειες, η ικανότητα υπολογισμού εξειδικευμένων δεικτών

βλάστησης που περιγράφουν τη βιομάζα και την υγεία των καλλιεργειών μας επιτρέπει να εξάγουμε έμμεσα συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της άρδευσης και να επεμβαίνουμε όταν είναι απαραίτητο. [14][15]

## Κεφάλαιο 5 Οι Αισθητήρες για την συλλογή των Δεδομένων

### 5.1 Αισθητήρες Χαρτογράφησης Παραγωγής

Η διαδικασία καταγραφής της μεταβλητότητας στην παραγωγή μιας καλλιέργειας ορίζεται ως Χαρτογράφηση της Παραγωγής (yield mapping) όπως αναλύθηκε και στην Ενότητα 3.5. Σε αυτή την διαδικασία παίζουν σημαντικό ρόλο οι ζώνες Διαχείρισης, δηλαδή ο χωρισμός του κτήματος σε μικρότερα τμήματα με βάση τα χαρακτηριστικά τους.

Η Χαρτογράφηση της Παραγωγής και οι χάρτες που παράγονται από την εν λόγω διαδικασία είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για τη Γεωργία Ακριβείας. Αυτό συμβαίνει γιατί η αύξηση της παραγωγής αλλά και η ποιότητά της είναι ο στόχος της κάθε καλλιέργειας και η διαφοροποίησή της είναι βασικό στοιχείο της διαχείρισης των αγρών. Η παραλλακτικότητα της παραγωγής μέσα στην ίδια την καλλιέργεια είναι ένα στοιχείο που καλό θα είναι να είναι γνωστό σε κάθε αγρότη και αποτελεί βασικό αντικείμενο μελέτης για την Γεωργία Ακριβείας τα τελευταία χρόνια. [16]

Για την χαρτογράφηση της παραγωγής είναι απαραίτητο να μετρηθούν, να αναλυθούν και να καταγράφουν ορισμένα στοιχεία όπως:

1. Η ροή του προϊόντος δηλαδή η ποσότητα του εισερχόμενου προϊόντος (σε κάποιο σημείο της μηχανής) ανά μονάδα χρόνου ( μονάδα μέτρησης kg/s).
2. Η επιφάνεια που συγκομίζεται στη μονάδα του χρόνου (m<sup>2</sup>/s). Το πλάτος εργασίας της μηχανής και την ταχύτητα εργασίας είναι απαραίτητα στοιχεία για να βρεθεί η συγκομιζόμενη επιφάνεια .
3. Η ακριβής τοποθεσία της μηχανής μέσα στην καλλιέργεια που γίνεται με τη βοήθεια του GPS.
4. Όλα τα συλλεγόμενα στοιχεία τυγχάνουν μιας πρώτης επεξεργασίας σε μια μονάδα ελέγχου.
5. Για την μέτρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των σπόρων όπως υγρασία για να αποφεύγονται τυχόν προβλήματα κατά την αποθήκευσή τους. [1][16][17]

### 5.1.1 Αισθητήρες Χαρτογράφησης Παραγωγής σε Θ/Α μηχανές

#### 1) Αισθητήρας ροής:

Αυτό είναι το πιο σημαντικό στοιχείο του συστήματος παρακολούθησης απόδοσης. Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από τους αισθητήρες ροής για τη μέτρηση της ροής των καλλιεργειών στις θεριζοαλωνιστικές μηχανές για τον προσδιορισμό της απόδοσης. [18]

##### *i. Αισθητήρας δύναμης κρούσης (αισθητήρας Greenstar):*

Χρησιμοποιείται ειδικά για τα σιτηρά. Η ροή κόκκων μπορεί να ανιχνευθεί χρησιμοποιώντας μια πλάκα κρούσης. Μια δύναμη εφαρμόζεται από τον κόκκο που προσκρούει στην πλάκα όταν ο κόκκος χτυπά την πλάκα με ελατήριο. Η δύναμη είναι ανάλογη με τη ροή κόκκων και μετράται χρησιμοποιώντας μια κυψέλη φορτίου (load cell). Η κυψέλη φορτίου είναι μία δομή η οποία μπορεί να είναι υδραυλική ή πιεζοστατική ή ηλεκτρική και αυτό που κάνει είναι να μετατρέπει την δύναμη που δέχεται (π.χ. πίεση) σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο μπορεί να μετρηθεί ή να μοντελοποιηθεί. Έτσι λοιπόν το φορτίο που πιέζει την πλάκα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα από τον αισθητήρα. Είναι επίσης δυνατή η μέτρηση της μετατόπισης της πλάκας με τη χρήση ποτενσιόμετρου. Όταν ο κόκκος χτυπά την πλάκα με ελατήριο, η πλάκα κρούσης μετατοπίζεται.

##### *ii. Αισθητήρας με βάση το βάρος:*

Αυτός ο τύπος αισθητήρων ροής ζυγίζει την ποσότητα που συλλέγεται καθώς μεταφέρεται στην θεριζοαλωνιστική μηχανή. Στην ουσία, η μεταβλητή που μετράται είναι η αλλαγή στο βάρος του συστήματος μεταφοράς. Για παράδειγμα, στις θεριζοαλωνιστικές μηχανές, ο κόκκος ζυγίζεται καθώς διέρχεται στον αποθηκευτικό χώρο της μηχανής. Η αλλαγή του βάρους γίνεται αισθητή από μια κυψέλη φορτίου. Η αλλαγή είναι ανάλογη με την ποσότητα των κόκκων που διέρχονται.

##### *iii. Φωτομετρικός αισθητήρας (αισθητήρας Ceres):*

Αυτή είναι μια ογκομετρική μέθοδος. Το σύστημα περιλαμβάνει μια πηγή φωτός και έναν αισθητήρα φωτός. Η πηγή φωτός εκπέμπει δέσμη φωτός και ο αισθητήρας φωτός ανιχνεύει το φως που στέλνει η πηγή φωτός. Οι μετρήσεις των σκοτεινών και φωτεινών περιόδων στο σήμα εξόδου του αισθητήρα φωτός χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των ρυθμών ροής όγκου καλλιέργειας. Είναι επίσης απαραίτητο να μετρηθεί

η πυκνότητα της καλλιέργειας για τον υπολογισμό της απόδοσης, καθώς αυτή η μέθοδος καθορίζει τον όγκο της καλλιέργειας. [18]

## 2) Αισθητήρας υγρασίας:

Η περιεκτικότητα σε υγρασία της συγκομιδής επηρεάζει το βάρος και τη μέτρηση του όγκου της καλλιέργειας. Όταν η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι υψηλότερη, το βάρος και ο όγκος θα είναι επίσης υψηλότερα. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να καταγράφεται η περιεκτικότητα σε υγρασία κατά τη στιγμή της συγκομιδής, έτσι ώστε όλα τα δεδομένα απόδοσης να μπορούν να μετατραπούν σε μια τυπική τιμή υγρασίας. Γενικά, ένας αισθητήρας τύπου χωρητικότητας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της περιεκτικότητας σε υγρασία της καλλιέργειας. Οι πυκνωτές αποτελούνται από δύο μεταλλικές πλάκες που χωρίζονται από ένα διηλεκτρικό υλικό. Ο αισθητήρας μετρά τις διηλεκτρικές ιδιότητες της καλλιέργειας που ρέει μεταξύ των δύο μεταλλικών πλακών. Όσο υψηλότερη είναι η διηλεκτρική σταθερά τόσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία. [18]

## 3) Αισθητήρας πλάτους κοπής:

Το θεωρητικό πλάτος κοπής της θεριζοαλωνιστικής μηχανής είναι γνωστό, αλλά σε πραγματικές συνθήκες συγκομιδής, είναι πάντα μικρότερο από αυτήν την τιμή. Για ακριβή παρακολούθηση της απόδοσης, πρέπει να είναι γνωστό το τρέχον πραγματικό πλάτος κοπής. Ο αισθητήρας πλάτους κοπής μετρά την απόσταση μεταξύ της πλευράς περικοπής και της πλευράς του τραπεζιού κοπής και στις δύο πλευρές του τραπεζιού κοπής. Το πλάτος κοπής πρέπει να είναι μικρότερο ως το ποσό της μετρούμενης απόστασης. [18]

## 4) Αισθητήρας ταχύτητας εδάφους:

Μία από τις παραμέτρους που πρέπει να είναι γνωστές για τον υπολογισμό της απόδοσης είναι η ταχύτητα εδάφους της θεριζοαλωνιστικής μηχανής. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη μέτρηση της ταχύτητας εδάφους των θεριζοαλωνιστικών μηχανών. Η ταχύτητα του άξονα μετάδοσης κίνησης είναι άμεσα ανάλογη με την ταχύτητα του τροχού. Ένας

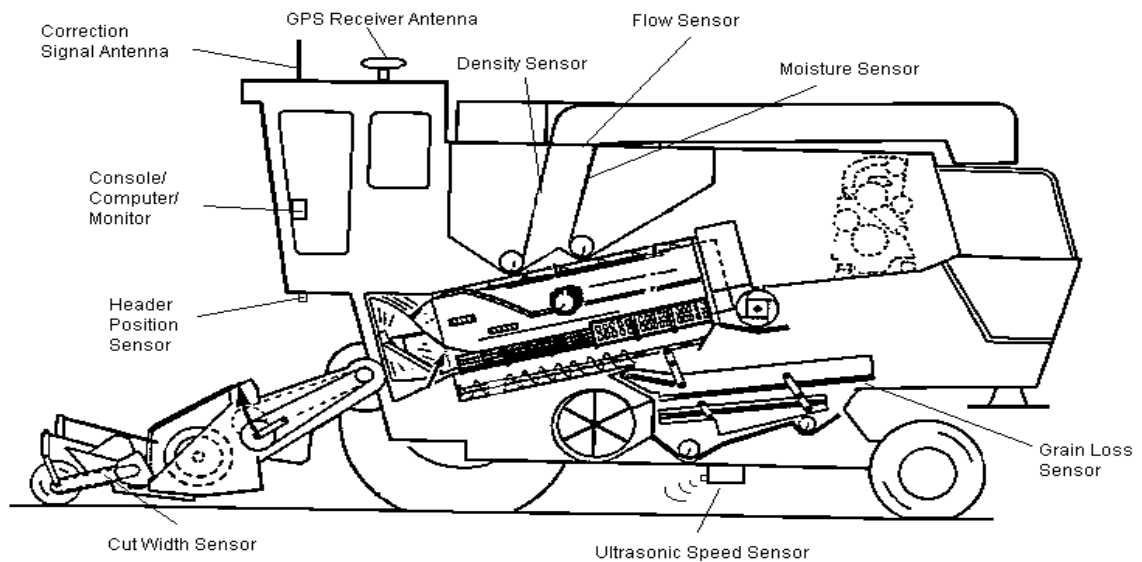
μαγνητικός αισθητήρας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αυτή. Ο αισθητήρας συνδέεται στον άξονα και ένας μαγνήτης τοποθετείται σε θέση που έχει απόσταση περίπου 0,5 cm από τον αισθητήρα. Όταν ο άξονας περιστρέφεται, ο μαγνήτης προκαλεί ένα σήμα κορυφής ανά μία περιστροφή. [18]

5) Αισθητήρας απώλειας κόκκων:

Για ακριβή παρακολούθηση της απόδοσης, η ποσότητα των κόκκων που απορρίπτει η θεριζοαλωνιστική μηχανή στο χωράφι θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη προσθέτοντας στην τρέχουσα τιμή απόδοσης. Ο αισθητήρας απώλειας κόκκων μετρά την ποσότητα κόκκων που εκφορτώνει η θεριζοαλωνιστική μηχανή. Ο αισθητήρας έχει ένα τραπέζι κρούσης τοποθετημένο κάτω από το κόσκινο καθαρισμού. Οι κόκκοι προσκρούουν στην πλάκα. Κάθε κόκκος όταν χτυπά την πλάκα δημιουργεί ένα σήμα κορυφής και οι μετρήσεις των κορυφών στο σήμα και ο κατάλληλος υπολογισμός δίνουν την ποσότητα των χαμένων κόκκων. [18]

6) Αισθητήρας πυκνότητας κόκκων:

Οι αισθητήρες ροής ογκομετρικού τύπου μετρούν την ογκομετρική ροή του κόκκου. Αλλά η απόδοση εκφράζεται σε μονάδα μάζας και για το λόγο αυτό η ογκομετρική απόδοση πρέπει να μετατραπεί σε μονάδα μάζας πολλαπλασιάζοντας με την πυκνότητα. Η πυκνότητα μπορεί να μετρηθεί αυτόματα από ένα σύστημα. Ο όγκος του κάδου μέτρησης είναι γνωστός και η μάζα του κάδου μετράται με τη χρήση ενός στελέχους. Χρησιμοποιείται μάζα αναφοράς για την εξάλειψη των επιπτώσεων των κραδασμών και των κλίσεων. [18]



Εικόνα 5.1: Σύστημα Αισθητήρων Θ/Α μηχανής

#### 7) Αισθητήρας θέσης κεφαλίδας (on/off):

Όταν δεν υπάρχει καλλιέργεια στη μονάδα συγκομιδής της θεριζοαλωνιστικής μηχανής όταν η κεφαλίδα βρίσκεται σε ανυψωμένη θέση, αυτός ο αισθητήρας στέλνει ένα σήμα στον υπολογιστή σταματώντας τον υπολογισμό της περιοχής και της απόδοσης και όταν η κεφαλίδα χαμηλώσει προς τα πίσω, ο υπολογισμός της απόδοσης συνεχίζεται. Αυτή η δυνατότητα χρησιμοποιείται σε ανατροπές στα άκρα των σειρών και σε άλλες περιοχές που δεν καλλιεργούνται. [18]

Όλοι οι αισθητήρες που περιεγράφηκαν παραπάνω απεικονίζονται στην Εικόνα 5.1.

## 5.2 Αισθητήρες Πεδίου (Παραμέτρων εδάφους)

Η Γεωργία Ακριβείας περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνολογιών που συνδυάζουν αισθητήρες, συστήματα πληροφοριών, βελτιωμένα μηχανήματα και ενημερωμένη διαχείριση για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη τις παραλλακτικότητες και τις αβεβαιότητες στα γεωργικά συστήματα. Μεταξύ του συνόλου των τεχνολογιών, τα προηγμένα συστήματα ανίχνευσης που παρακολουθούν την υγεία και τις συνθήκες του εδάφους και τις εξελίξεις των καλλιεργειών είναι υψίστης σημασίας

επειδή συλλέγουν και αξιολογούν κρίσιμα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση, ειδικά όταν οι συνθήκες ανάπτυξης των καλλιεργειών ποικίλλουν σημαντικά με την πάροδο του χώρου και του χρόνου. Η χωρική διακύμανση μπορεί να προκύψει από τις ιδιότητες του εδάφους, τις ασθένειες, τα ζιζάνια, τα παράσιτα και την προηγούμενη διαχείριση της γης. Συγκεκριμένα, ορισμένες ιδιότητες του εδάφους (π.χ. υγρασία, pH, θρεπτικά συστατικά) και ασθένειες των φυτών μπορεί να σχηματίσουν μακροπρόθεσμα χωρικά πρότυπα. Η χρονική μεταβλητότητα προκύπτει από τα καιρικά πρότυπα και τις πρακτικές διαχείρισης. Συνοπτικά, οι ιδιότητες του εδάφους που σχετίζονται με την ανάπτυξη των καλλιεργειών περιλαμβάνουν μια σειρά συνθηκών εδάφους, συμπεριλαμβανομένων των αερίων του εδάφους, της υγρασίας, της ιδιοσυγκρασίας, των θρεπτικών ουσιών, του pH και των ρύπων στο έδαφος. [17]

Η παρακολούθηση των συνθηκών του εδάφους θα παρέχει βασικές πληροφορίες όχι μόνο για τη βελτίωση της χρήσης των πόρων για τη μεγιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών παρενεργειών, αλλά και για τη δημιουργία βάσεων δεδομένων για συγκεκριμένες τοποθεσίες σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ των συνθηκών του εδάφους και της ανάπτυξης των φυτών για έξυπνα και βιώσιμα συστήματα γεωργικής καλλιέργειας. Παραδοσιακά, οι ιδιότητες του εδάφους μετρούνται με δειγματοληψία εδάφους και εργαστηριακή ανάλυση εκτός χώρου ή με επιτόπιες μετρήσεις για την παροχή εκτεταμένης γνώσης των πληροφοριών του εδάφους. Με την ανάπτυξη τεχνολογιών ανίχνευσης και ασύρματης επικοινωνίας, η απομακρυσμένη και επιτόπια παρακολούθηση των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους (π.χ. περιεκτικότητα σε υγρασία, αλατότητα, θερμοκρασία, επίπεδο pH, θρεπτικά συστατικά) καθίσταται δυνατή και θα επιτρέψει την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων έξυπνης γεωργίας. [19]

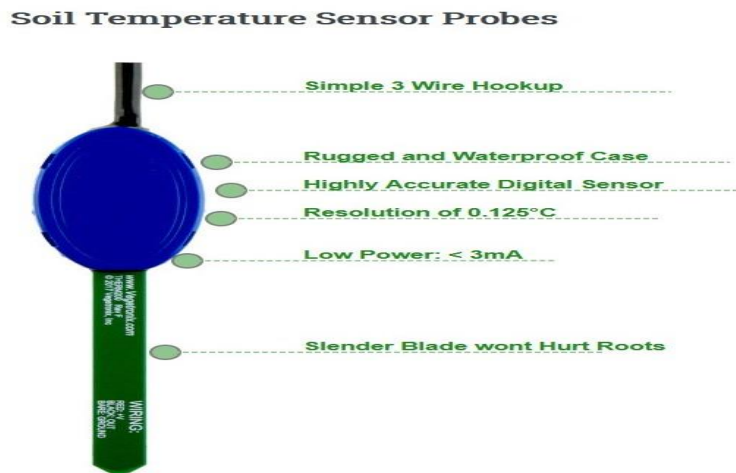
Στην Εικόνα 5.2 απεικονίζεται ένα παράδειγμα αισθητήρα μέτρησης των εδαφικών παραμέτρων.





από την μεταβολή της θερμοκρασίας) και αισθητήρων θερμοκρασίας που βασίζονται σε ημιαγωγούς. [20][21]

Παράδειγμα αισθητήρα θερμοκρασίας είναι ο 'THERM200' ο οποίος έχει πολλές προτιμήσεις άποψης συγκριτικά με άλλους αισθητήρες.



Εικόνα 5.3: Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους THERM -200

Ο THERM-200 που αναπαρίσταται και στην Εικόνα 5.3 είναι ένας αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους μπορεί να είναι πολύ μικρός σε μέγεθος, χαμηλής ισχύος, μπορεί να θαφτεί και είναι νερό απόδειξη. Καταναλώνει λιγότερο από 3 mA για λειτουργίες χαμηλής ισχύος όταν ενεργοποιείται.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας με τον αισθητήρα THERM-200 είναι εξαιρετικά ακριβείς και λαμβάνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα γεγονός που οφείλεται στο μοντέλο μετασχηματισμών Steinhart – Hart για τη μετατροπή της τάσης σε θερμοκρασία. Ο καθητήρας του αισθητήρα είναι μακρύς και λεπτός για πιο ευρεία χρήση, όπως η τοποθέτησή του σε μικρότερες γλάστρες φυτών. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους THERM-200 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με αισθητήρες υγρασίας εδάφους για ανάλυση ή για ανίχνευση παρουσίας νερού.

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους THERM-200 μπορεί να καθορίσει πότε θα βλαστήσουν οι σπόροι και πόσο γρήγορα θα αναπτυχθεί το φυτό. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους THERM-200 βοηθά στην προστασία των φυτών και στην γρήγορη ανάλυση των προβλημάτων των καλλιεργειών. Όταν χρησιμοποιείται με τη μονάδα GSM (η μονάδα GSM είναι η συσκευή μέσω της οποίας γίνεται η επικοινωνία ενός συστήματος

συναγερμού με το Κέντρο Λήψης Σημάτων όταν δεν υπάρχει τηλέφωνο), μπορεί ο χρήστης να λάβει μηνύματα και ειδοποιήσεις και να γνωρίζει αν τα φυτά αντιμετωπίζουν προβλήματα με ακραίες θερμοκρασίες. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σωστός με 0,125 βαθμούς Κελσίου. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας THERM-200 είναι κατασκευασμένος από μακράς διάρκειας πλαστικό ABS και fiberglass και είναι αδιάβροχος και ανθεκτικός για μακροχρόνια χρήση.

Τροφοδοτείται με τάση 3,2 έως 20 V (συνεχές ρεύμα). Ακόμα διαθέτει μεγάλη αυτονομία λόγω της ισχυρής μπαταρίας του. Τέλος έχει εύρος τιμών θερμοκρασίας από -40 έως 90 βαθμούς Κελσίου. [22][23][24]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα θερμοκρασίας THERM-200 αναλύονται στον Πίνακα 5.1:

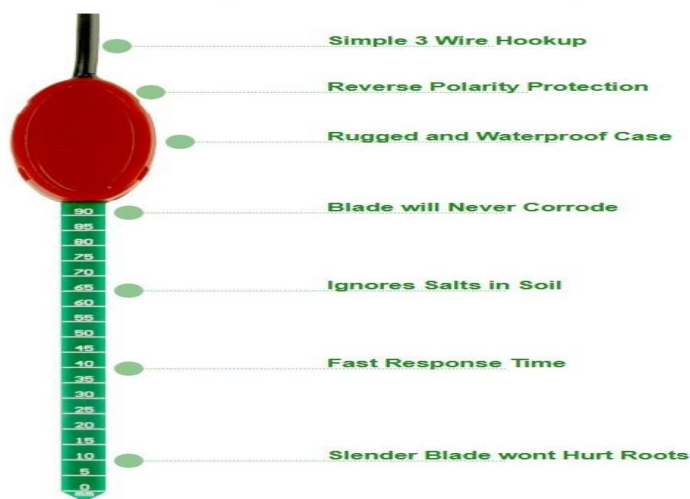
Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά αισθητήρα 'THERM200' [23]

<b>Τάση Τροφοδοσίας</b>	3,2V – 20V (DC)
<b>Χρόνος από την εκκίνηση ως την έξοδο</b>	2 sec
<b>Αντίσταση εξόδου</b>	10 KΩ
<b>Θερμοκρασία λειτουργίας</b>	-40oC – 95oC
<b>Εύρος τάσης εξόδου</b>	0 – 2,43 V
<b>Εξίσωση θερμοκρασίας βάσει της τάσης εξόδου</b>	Volt * 41.67 – 40
<b>Ακρίβεια</b>	±0.5oC
<b>Μήκος καλωδίου</b>	3m

### 5.2.2 Αισθητήρες υγρασίας εδάφους

Η υγρασία του εδάφους είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τις καλλιέργειες. Ως εκ τούτου, η βελτίωση της διαδικασίας άρδευσης είναι μια από τις σημαντικότερες ενέργειες που μπορούν να επιτευχθούν μέσω ενός έξυπνου γεωργικού συστήματος. Μέσα από δοκιμές και έρευνες δημιουργήθηκε ένας αισθητήρας που μετρά την υγρασία λόγω της καλής ακρίβειας και χαμηλού κόστους. Ο αισθητήρας έχει μια δομή ανιχνευτή που μοιάζει με διαψηφιακό μετατροπέα (IDT), έτσι τα δύο ηλεκτρόδιά του σχηματίζουν έναν πυκνωτή. [19][20]

#### VH400 Low-Cost Soil Moisture Sensors



Εικόνα 5.4: Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους VH-400

Ο VH-400 που αναπαρίσταται και στην Εικόνα 5.4 είναι ένας αισθητήρας υγρασίας εδάφους που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ποσότητας νερού στο έδαφος. Αυτός ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους είναι αδιάβροχος και μπορεί να θαφτεί σε οποιοδήποτε βάθος. Οι ρίζες δεν τον εμποδίζουν λόγω της λεπτής δομής της λεπίδας.

Μπορεί να λειτουργήσει με λειτουργία μπαταρίας χαμηλής ισχύος και παρέχει πολύ ακριβή μέτρηση. Μπορεί να μετρήσει την υγρασία στα χέρια σας όταν βάζετε τα χέρια σας στη λεπίδα του. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας VH-400 είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό πλαστικό ABS και fiberglass και απολύτως αδιάβροχος.

Λόγω των αλάτων και των λιπασμάτων που βρίσκονται στο έδαφος, οι άλλοι αισθητήρες είναι αναποτελεσματικοί, ειδικά λόγω αγωγιμότητας ή αντίστασης. Ο VH-400 χρησιμοποιεί ανώτερες για τη μέτρηση της υγρασίας του νερού σε οποιοδήποτε είδος εδάφους. Η λεπίδα του αισθητήρα μπορεί να εισαχθεί σε χώμα και γλάστρες προκαλώντας ελάχιστη διαταραχή στο ριζικό σύστημα των φυτών.

Ο αισθητήρας αυτός είναι αποδοτικός, μικρού μεγέθους και έχει αρκετά μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις του.

Ο αισθητήρας VH-400 μπορεί να λειτουργήσει σε εξαιρετικά χαμηλή ισχύ και μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά με  $<7$  mA ενώ είναι ενεργοποιημένος. Όπως ο αισθητήρας THERM-200, το VH-400 μπορεί να πάρει την ένδειξη όταν ενεργοποιηθεί και μετά να απενεργοποιηθεί για να εξοικονομήσει την ισχύ της μπαταρίας. Ο VH-400 μπορεί να

αντικαταστήσει τους αισθητήρες βροχής και να σταματήσει τον ψεκασμό νερού όταν το έδαφος είναι υγρό. Η τάση εξόδου του μετρητή είναι ανάλογη με το επίπεδο υγρασίας στο έδαφος. [22][23][24]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα θερμοκρασίας VH-400 αναλύονται στον Πίνακα 5.2:

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά αισθητήρα 'VH400' [23]

<b>Κατανάλωση Ενέργειας</b>	< 7mA
<b>Τάση τροφοδοσίας</b>	3.4V – 20V (DC)
<b>Χρόνος από την εκκίνηση ως τη σταθερή έξοδο</b>	400ms
<b>Αντίσταση εξόδου</b>	100kohm
<b>Θερμοκρασία λειτουργίας</b>	-50oC – 75oC
<b>Ακρίβεια</b>	> 1%
<b>Έξοδος</b>	0V – 3V

### 5.2.3 Αισθητήρες μέτρησης pH

Το εδαφικό pH είναι ένα μέτρο της οξύτητας ή της βάσης του εδάφους. Το εύρος των τιμών pH του εδάφους που είναι επιθυμητό για την σωστή ανάπτυξη των περισσότερων φυτών είναι μεταξύ 5,5 και 7,5 μονάδες. Το pH του εδάφους επιδρά και στις μικροβιακές δραστηριότητες και ως επέκταση καθορίζει τις χημικές μορφές διαφόρων θρεπτικών ουσιών, επηρεάζοντας έτσι τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών των φυτών. Για την Γεωργία ακριβείας, η τιμή του pH του εδάφους μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την υγεία του εδάφους. [21][22]

Μερικές από τις τεχνολογίες ανίχνευσης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του pH του εδάφους: οπτικές (π.χ. χρωματομετρικές ή φωτομετρικές μέθοδοι), ηλεκτροχημικές (π.χ. αγωγιμετρικές και ποτενσιομετρικές μέθοδοι) και ακουστικές μέθοδοι.

Ο αισθητήρας επίδρασης επιλεκτικού πεδίου ιόντων (ISFET) που απεικονίζεται και στην Εικόνα 5.5, είναι η πιο σύγχρονη και αποτελεσματική εναλλακτική λύση για την ανίχνευση του pH του εδάφους και . Ένα ISFET αποτελείται από ένα ηλεκτρόδιο αποστράγγισης και

ένα ηλεκτρόδιο πηγής μαζί με ένα τρίτο ηλεκτρόδιο πύλης μεταξύ τους. Υλικά ευαίσθητα στο pH, όπως το οξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), το νιτρίδιο του πυριτίου ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) και το οξείδιο του αργιλίου μπορούν να επικαλυφθούν πάνω από το ηλεκτρόδιο πύλης. Όταν ένας αισθητήρας ISFET εκτίθεται στο διάλυμα δοκιμής, το υλικό που ανταποκρίνεται στο pH θα προκαλέσει αλλαγή της τάσης της πύλης, επομένως το ρεύμα από την πηγή στο ηλεκτρόδιο αποστράγγισης θα ποικίλει ανάλογα με την αλλαγή του pH. Σε σύγκριση με τα ηλεκτρόδια επιλογής ιόντων, το ISFET είναι πιο συμβατό με τον προηγμένο σχεδιασμό IC, ο οποίος σε αντάλλαγμα μπορεί να προσφέρει πλεονεκτήματα όπως σμίκρυνση, ολοκλήρωση συστήματος, εξαιρετική ευαισθησία και ανάλυση, καθώς και καλή σταθερότητα και επιλεκτικότητα. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος του εδάφους, τα ISFETs πρέπει να συσκευάζονται πολύ καλά για να αποφευχθεί οποιαδήποτε ζημιά όταν εισάγονται στο έδαφος.



Εικόνα 5.5: Ο αισθητήρας επίδρασης επιλεκτικού πεδίου ιόντων (ISFET).

Οι Bashir και Gupta σχεδίασαν έναν αισθητήρα pH, στον οποίο το υποστήριγμα στερεώθηκε πάνω από ένα πιεζοηλεκτρικό στρώμα πολυμερούς. Όταν το pH μεταβάλλεται στο διάλυμα δοκιμής, η στιβάδα πολυμερούς συρρικνώνεται ή διογκώνεται, με αποτέλεσμα την παραμόρφωση του καθετήρα. Έτσι, η τιμή του pH του δείγματος δοκιμής μπορεί να αναφερθεί μετρώντας τη μεταβολή συχνότητας που προκαλείται από την παραμόρφωση του καθετήρα. Τροποποιημένο πυρίτιο ( $\text{SiO}_2$ )/( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του pH μέσω της μικρομηχανικής τεχνικής. Για παράδειγμα, ένας καθετήρας  $\text{SiO}_2/\text{Au}$  τροποποιημένος με αμινοσιλάνιο σχηματίζεται σταθερά σε εύρος pH  $2 \pm 8$  (μονάδα ανίχνευσης/pH 49 nm), ενώ οι καθετήρες του

αισθητήρα Si3N4/ Au αποδίδουν καλά σε  $pH 2 \pm 6$  και  $8 \pm 12$  (μονάδα ανίχνευσης/ $pH 30$  nm).

Ο αισθητήρας pH που βασίζεται σε καθετήρα παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία, αλλά το σύστημα είναι πιο περίπλοκο και αρκετά ευαίσθητο στο θόρυβο. [21]

#### 5.2.4 Αισθητήρες ατμοσφαιρικής υγρασίας

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό δεδομένο για την σύγχρονη γεωργία είναι ποσότητα υδρατμών στον αέρα. Ο αισθητήρας ατμοσφαιρικής υγρασίας μετρά με ακρίβεια την συγκέντρωση υδρατμών στον αέρα, μετατρέποντας την σχετική υγρασία σε τάση. Στην συνέχεια, οι τιμές εμφανίζονται στην ψηφιακή οθόνη του αισθητήρα. Οι ψηφιακοί αισθητήρες ατμοσφαιρικής υγρασίας όπως ο αισθητήρας 'ClimaVUE50' που αναπαρίσταται και στην Εικόνα 5.6, ο οποίος μετράει τα επιπέδα υγρασίας στο περιβάλλον με ακρίβεια  $\pm 3\%$  και εύρος μετρήσεων 0-100%, ενώ παράλληλα καταναλώνει χαμηλή ενέργεια καθώς απαιτείται 1mA ρεύμα και 12 Volt τάση. Ακόμα διαθέτει μεγάλη ευστάθεια σε, ενώ έχει μεγάλη αντοχή σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, τον αέρα και την σκόνη που υπάρχουν στο περιβάλλον. Είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο ατσάλι και έχει μηδενικό κόστος συντήρησης. Ο αισθητήρας αφού καταγράψει την μέτρηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας κρατά αποθηκευμένη και την αντίστοιχη τιμή. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο αργότερα κατά την εφαρμογή λιπασμάτων ή φαρμάκων. [23] [24]



Εικόνα 1.6: Ο αισθητήρας ατμοσφαιρικής υγρασίας 'ClimaVUE50'.

### 5.2.5 Αισθητήρες Διοξειδίου του Άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ σημαντικό για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Ο αισθητήρας TPS-2 είναι ένα όργανο υψηλής ακρίβειας. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.7, διαθέτει έναν ενιαίο, αναλυτή υπέρυθρων αερίων για ακριβή μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα. Ο αναλυτής αερίων περιλαμβάνει μια υπέρυθρη πηγή, ένα επιχρυσωμένο και εξαιρετικά γυαλισμένο κύτταρο δείγματος και ανιχνευτή. Ο αναλυτής λειτουργεί ως απορροφητήρας μετρώντας μόνο στο εύρος κυμάτων των 4,26 μm εξασφαλίζοντας ακριβή, γρήγορα και σταθερά αποτελέσματα των επιπέδων CO<sub>2</sub>. Η περιοχή ένδειξης των αποτελεσμάτων είναι πλήρως μονωμένη για να εξασφαλίσει ακριβείς μετρήσεις υπό μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. [23][26]

Το εύρος μετρήσεων είναι: 0-2,000 μmol mol<sup>-1</sup>

Η Ακρίβεια μέτρησης: < 1%

Χρόνος Απόκρισης : 0 – 1 second.

Ενέργεια Κατανάλωσης: Εσωτερική, επαναφορτιζόμενη μπαταρία 12V που παρέχει έως και 8 ώρες συνεχή χρήση.



Εικόνα 5.7: Αισθητήρας TPS-2 για την μέτρηση συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>.

### 5.2.6 Αισθητήρες Έντασης φωτός και Ηλιακής ακτινοβολίας

Ένα ακόμα βασικό στοιχείο για την επιβίωση και την ανάπτυξη των φυτών είναι η ηλιακό φως χωρίς το οποίο δεν πραγματοποιείται σωστά η φωτοσύνθεση τους.



Οι αισθητήρες μέτρησης της έντασης φωτός διαθέτουν συνήθως εύρος μετρήσεων από 1 έως περίπου 65500 lux (μονάδα μέτρησης έντασης του φωτός). Οι αισθητήρες αυτοί έχουν πολύ μικρό μέγεθος. Η αντίσταση των αισθητήρων μειώνεται καθώς αυξάνεται το προσπίπτον φως. Είναι κατασκευασμένη κυρίως από ημιαγωγούς με υψηλή αντοχή. Ένας αισθητήρας μέτρησης έντασης φωτός μετατρέπει την ένταση που δέχεται σε μια έξοδο ηλεκτρικού σήματος. Η Ένταση φωτός που ανιχνεύεται στις ακτίνες φωτός της ατμόσφαιρας και μεταδίδει τα δεδομένα στον ελεγκτή. [25][26]

Οι αισθητήρες μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας έχουν συνήθως ηλιακό φάσμα μετρήσεων από 350 έως 1000 νανόμετρα και παρακολουθούν τις υπεριώδεις ακτίνες και με βάση την ένταση. Στην συνέχεια μετατρέπει την ένταση της ακτινοβολίας σε τάση. Είναι εξοπλισμένοι με εσωτερικό ενισχυτή και συνδέονται εύκολα σε εξωτερικά κυκλώματα.

Στον συγκεντρωτικό Πίνακα 5.3 αναφέρονται οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες πεδίου στην Γεωργία Ακριβείας καθώς και τι μετρά ο καθένας.

Πίνακας 5.3 Συγκεντρωτικός πίνακας αισθητήρων πεδίου. [27]

#	Όνομα Αισθητήρων	Εδαφική Παράμετρος Μέτρησης
1	ECH2O, Hydra probe II, MP406	Εδαφική υγρασία
2	EC sensor, THERM200, Pogo portable	Θερμοκρασία εδάφους
3	107-L temperature Sensor, 237 leaf wetness sensor, SenseH2TM, LW100	Θερμοκρασία και υγρασία του φυλλώματος
4	CM1000TM, YSI 6025 chlorophyll sensor	Αισθητήρες που ανιχνεύουν πόσο σωστά και σε τι βαθμό γίνεται η φωτοσύνθεση και τα επίπεδα CO <sub>2</sub> .
5	CM-100, HMP45C, Met Station One (MSO), XFAM-115KPASR, SHT71, SHT75	Ατμοσφαιρική υγρασία, πίεση και θερμοκρασία

## Κεφάλαιο 6 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην Γεωργία Ακριβείας

### 6.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Internet of Things (IoT)

#### 6.1.1 Ορισμός του IoT

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) είναι μια προηγμένη τεχνολογία που επιτρέπει διασυνδέσεις (φυσικές και εικονικές) πραγμάτων και βασίζεται σε τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών. Με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) η επικοινωνία βρίσκει εφαρμογή μέσα από πρωτόκολλα επικοινωνίας σε πολλά πράγματα από το καθημερινό μας περιβάλλον. Το Internet Things αποτελείται από ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως 2G/3G/4G, GSM, GPRS, RFID, WI-FI, GPS, μικροελεγκτές, μικροεπεξεργαστές κ.λπ. Αυτές θεωρούνται οι τεχνολογίες που επιτρέπουν που καθιστούν δυνατές εφαρμογές «Internet of Things».

Έχει ως στόχο την αποτελεσματικότερη λειτουργία των επιχειρήσεων ενώ η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς κλάδους της σύγχρονης ζωής όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.1, όπως είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία, η υγειονομική περίθαλψη και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. [28]

Η αρχιτεκτονική του IoT δεν έχει ακόμα τελειοποιηθεί παρ' όλα αυτά αποτελείται συνήθως από τα εξής επίπεδα:

#### **1) Perception Layer**

Το επίπεδο αντίληψης, δηλαδή το επίπεδο στο οποίο γίνεται η συλλογή των δεδομένων. Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αλλά και συσκευές όπως οι ενεργοποιητές. Οι αισθητήρες αυτοί είναι υπεύθυνη για τη μέτρηση παραμέτρων όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και το pH κτλ.

#### **2) Network Layer**

Περιγράφεται ως το επίπεδο δικτύου και είναι υπεύθυνο για τη σύνδεση με άλλα έξυπνα πράγματα, όπως πύλες δικτύου και βάσεις δεδομένων. Χρησιμοποιείται επίσης για τη μετάδοση και επεξεργασία δεδομένων από τους αισθητήρες. Τα δεδομένα μεταφέρονται με δίκτυα υψηλών αποδόσεων και μεγάλης εμβέλειας, με τη βοήθεια πρωτοκόλλων ασύρματης δικτύωσης όπως Bluetooth, Wi-Fi και ZigBee.

### 3) *Application Layer*

Το επίπεδο εφαρμογής είναι το ανώτερο και αποτελείται από εφαρμογές. Πρόκειται λογισμικά συστήματα διαχείρισης των συστημάτων IoT, μέσα από τα οποία μπορεί ο διαχειριστής να τα ενεργοποιήσει ή να τα απενεργοποιήσει από απόσταση χειροκίνητα ή αυτόματα. Η πρόσβαση στα δεδομένα αυτά, γίνεται μέσω του ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) που περιλαμβάνεται στην κατηγορία αυτή. [28][29]



Εικόνα 6.1: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και οι τομείς εφαρμογής του.

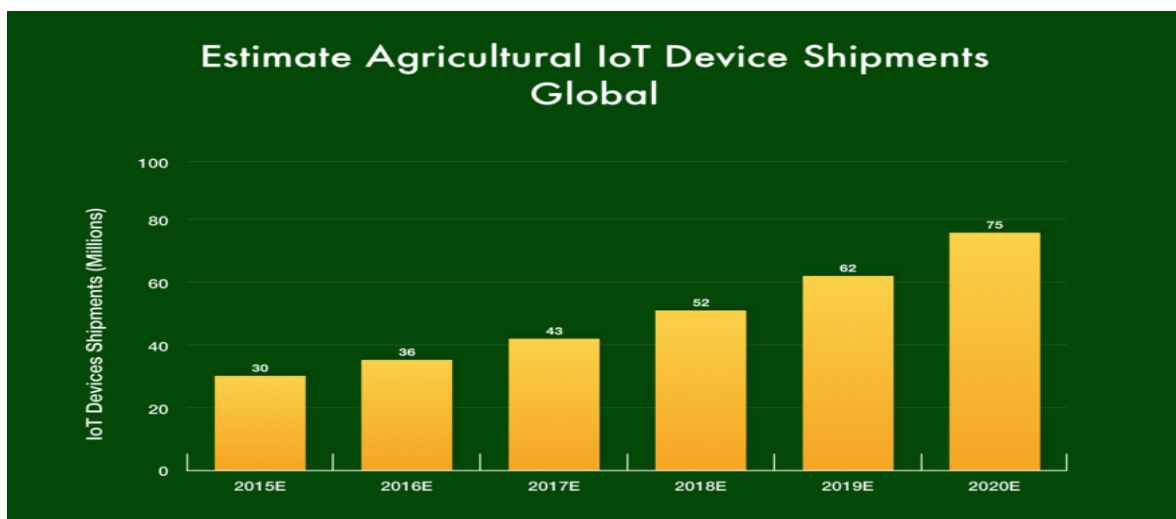
#### 6.1.2 IoT και Γεωργία

Ο αγροτικός τομέας είναι από τους πρώτους που εφαρμόστηκε η τεχνολογία IoT, καθώς οι περισσότεροι αγρότες χρησιμοποιούν παραδοσιακές μεθόδους άρδευσης για το σκοπό

τους λόγω ανεπαρκούς τεχνικής υποστήριξης. Με την ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, η εισαγωγή της έξυπνης γεωργίας στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας της γεωργικής παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του φόρτου εργασίας των ανθρώπων. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία IoT, οι συσκευές αισθητήρων χρησιμοποιούνται σε καλλιέργειες για την παροχή δεδομένων εδάφους, καλλιέργειας και καιρού.

Οι χρήστες έχουν την δυνατότητα παρακολουθούν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μέσα από πρωτοποριακές εφαρμογές στο τηλέφωνό τους. Εκτός από την παρακολούθηση καλλιεργειών και θερμοκηπίων, υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των έξυπνων συστημάτων άρδευσης και ψεκασμού στοχεύοντας στην μέγιστη παραγωγικότητα και ποιότητα των προϊόντων, αφού λαμβάνεται στο μέγιστο βαθμό υπόψη η μεταβλητότητα της καλλιέργειας σε πραγματικό χρόνο.

Η δημοτικότητα των συσκευών IoT για τη γεωργία εμφανίζεται στην Εικόνα 6.2:



Εικόνα 6.2: Η δημοτικότητα των συσκευών IoT

### Οφέλη της χρήσης IoT στην Γεωργία Ακριβείας.

Η Γεωργία Ακριβείας ενσωματώνει την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις υπάρχουσες γεωργικές πρακτικές με αποτέλεσμα να είναι ορατά πολλά οφέλη στην οικονομία και στο περιβάλλον. Δίνει σημαντική εξοικονόμηση των πόρων της παραγωγής, αύξηση του κέρδους και της παραγωγής και καλύτερη ποιότητα προϊόντων, αξιοποιώντας

τις αυτοματοποιημένες και ταυτόχρονα αποτελεσματικότερες διαδικασίες διαχείρισης και επιτήρησης των καλλιεργειών. [28][29]

Ας δούμε αναλυτικά τα κύρια οφέλη του IoT στη γεωργία ακριβείας:

### **Συλλογή δεδομένων**

Όλα τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν με τη βοήθεια εγκατεστημένων αισθητήρων. Τέτοια δεδομένα όπως η καιρική κατάσταση, η κατάσταση της υγείας των φυτών, οι καλλιέργειες κ.λπ. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων και οι αγρότες μπορούν εύκολα να τα ελέγξουν και να αναλύσουν για να πάρουν τη σωστή απόφαση.

### **Μείωση των κινδύνων**

Όταν οι αγρότες συλλέγουν ενημερωμένες πληροφορίες, μπορούν να καταλάβουν ποια θα είναι η κατάσταση στο μέλλον και μπορούν να προβλέψουν ορισμένα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν. Επιπλέον, οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιούν δεδομένα για να βελτιώσουν τις πωλήσεις τους και να αλλάξουν τις επιχειρηματικές διαδικασίες.

### **Η επιχείρηση γίνεται αυτοματοποιημένη**

Πολλές επιχειρηματικές διαδικασίες αυτοματοποιούνται και η αποτελεσματικότητά τους αυξάνεται. Έτσι, οι αγρότες μπορεί να δώσουν προσοχή σε άλλες σημαντικές διαδικασίες.

### **Υψηλότερη ποιότητα**

Η έξυπνη γεωργία καθιστά δυνατή την αποφυγή προκλήσεων και την άρση όλων των ζητημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά τις γεωργικές διαδικασίες. Έτσι, η ποιότητα του προϊόντος αυξάνεται και οι καταναλωτές παίρνουν ένα καλό προϊόν υψηλής ποιότητας. [30][31]

## **6.1.3 Εφαρμογή του IoT στην ΓΑ**

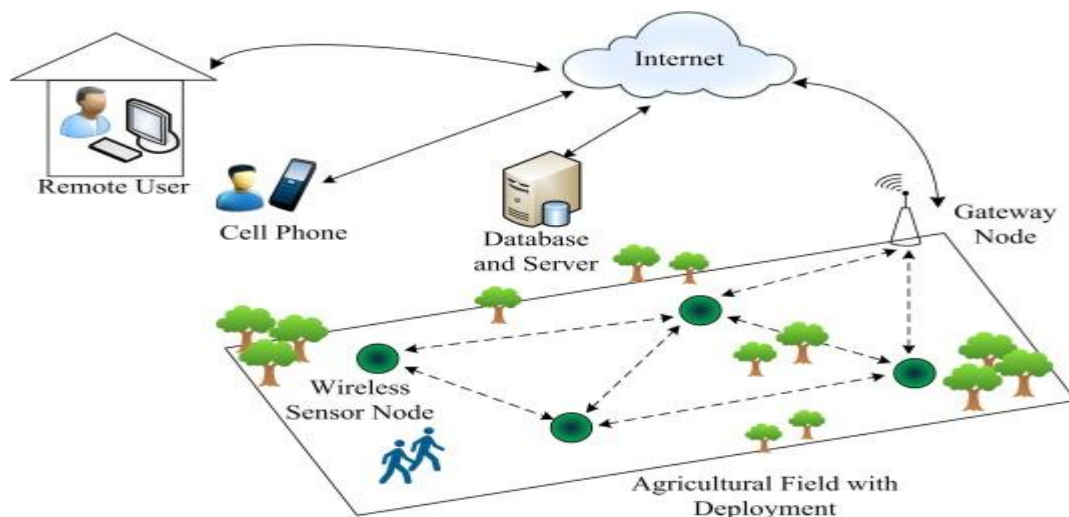
Οι προοδευτική χρήση του IoT στη γεωργία αυξάνει την παραγωγή, βελτιώνει την ασφάλεια και την παράδοση των τροφίμων. Από τη διαχείριση της άρδευσης μέχρι την

παρακολούθηση των καλλιεργειών και των ζώων, αισθητήρες, ηλεκτρονικές συσκευές, πύλες δικτύου και έξυπνες εφαρμογές λειτουργούν συνεργατικά για να προσφέρουν ακριβείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται και ελέγχονται για πιο ορθολογικές αποφάσεις, μείωση του κόστους και αποδοτικότερη εφαρμογή των εισροών. [29]

Συνεπώς, στις εφαρμογές γεωργίας ακριβείας τα ασύρματα συστήματα των αισθητήρων μπορούν να μεταφέρουν τα δεδομένα τους στον κεντρικό εξυπηρετητή νέφους με δύο τρόπους :

- Με την χρήση τοπικών δικτύων (π.χ. Wi-Fi, ZigBee)
- Με την χρήση κεντρικών δικτύων (π.χ. LoRa,). [32]

Το σύστημα που απεικονίζεται στην Εικόνα 6.3 είναι ένα Ασύρματο Δίκτυο Διασυνδεδεμένων Αισθητήρων - Wireless Sensor Network (WSN) που αποτελείται από αισθητήρες συνδεδεμένους μεταξύ τους, μικροελεγκτές, πύλη δικτύου που επικοινωνεί με το υπολογιστικό νέφος βασισμένο σε ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας, βάσεις δεδομένων για την αποθήκευση των μετρούμενων τιμών και έξυπνες εφαρμογές για απομακρυσμένη διαχείριση της καλλιέργειας (π.χ. άρδευση).



Εικόνα 6.3: Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων.

### 6.1.4 Παράδειγμα συστήματος IoT

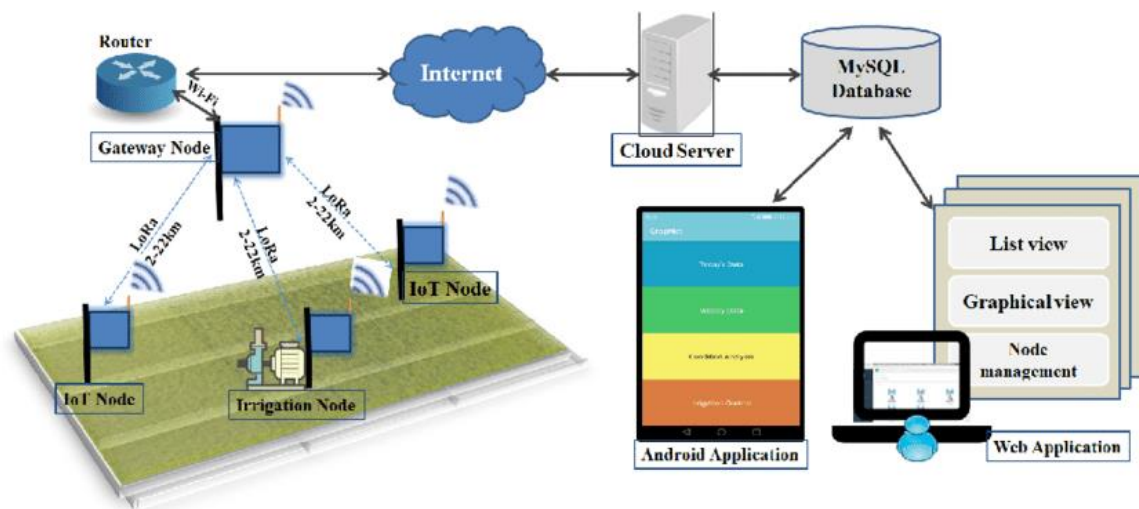
Η σημασία του IoT στην γεωργία είναι τεράστια καθώς μπορεί να ελέγξει ηλεκτρικές συσκευές υψηλής τάσης και μεγάλης κατανάλωσης που χρησιμοποιούνται στις για διάφορες διαδικασίες καλλιέργειας (αντλίες, ηλεκτροεπαγωγικοί κινητήρες, μοτέρ κ.α.) μέσα από την μέτρηση των εδαφικών – περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Για αυτό λοιπόν περιγράφεται ένα τέτοια σύστημα το οποίο με την συλλογή των δεδομένων από τους αισθητήρες και την επεξεργασία τους από καινοτόμες εφαρμογές αυτοματοποιούν ορισμένες διεργασίες και βοηθούν στην μείωση της ανθρώπινης προσπάθειας και του κόστους της γεωργίας.

Το σύστημα χωρίζεται στα εξής τέσσερα επίπεδα που είναι :

- αισθητήρων
- ενδιάμεσου λογισμικού
- νέφους
- εφαρμογής.

Το σύστημα αυτό λοιπόν φαίνεται στην Εικόνα 6.4 και εξηγείται και παρακάτω.



Εικόνα 6.4: Τα επίπεδα του IoT στην πράξη.

- Αρχικά το επίπεδο αισθητήρων έχει ως σκοπό την μέτρηση των παραμέτρων (π.χ. υγρασία εδάφους και θερμοκρασία). Οι τιμές μέτρησης από αισθητήρες παραμέτρων εδάφους προωθούνται σε έναν μικροελεγκτή Arduino Uno.
- Έπειτα το επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού είναι οι λειτουργίες που πρόκειται να εκτελεστούν στην εσωτερική διάταξη του μικροελεγκτή και η σύνδεση τους με τους ενεργοποιητές. Με λίγα λόγια, οι μετρήσεις από τους αισθητήρες αναλύονται από

τον μικροελεγκτή και στην συνέχεια οι ενεργοποιητές (actuators) ξεκινούν συγκεκριμένες εργασίες μετά από εντολή του μικροελεγκτή.

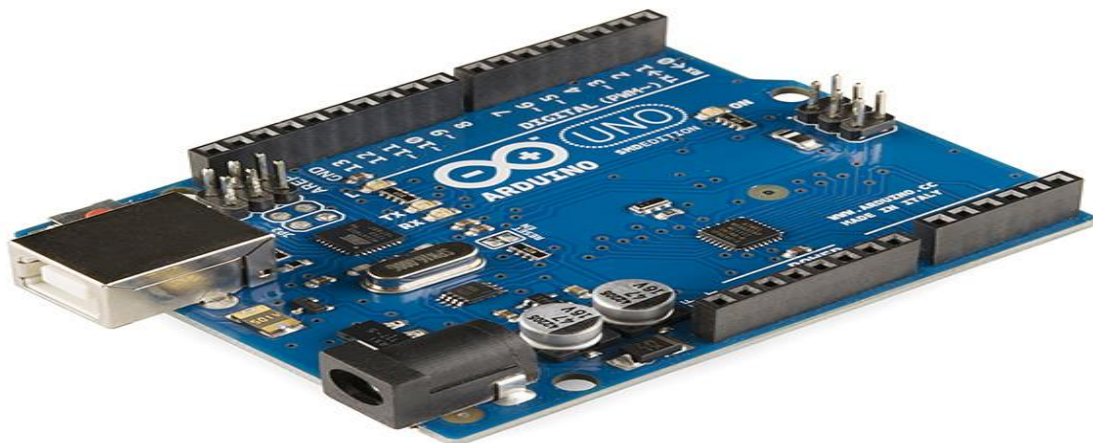
- Στο επίπεδο επικοινωνίας οι τιμές μέτρησης των αισθητήρων στέλνονται από τον μικροελεγκτή, μέσω μιας πύλης δικτύου (gateway) με την συνδρομή ενός πρωτοκόλλου ασύρματης δικτύωσης (π.χ. Wi-fi, ZigBee), στο υπολογιστικό νέφος 'ThingSpeak'.
- Στο επίπεδο νέφους και εφαρμογής έχουμε την δημιουργία καναλιών για την κάθε μετρούμενη παράμετρο, και οι μετρήσεις θα αποθηκευτούν τώρα σε βάσεις δεδομένων. Τέλος αποστέλλονται μέσα από τον server του υπολογιστικού νέφους τα δεδομένα στον αγρότη με σκοπό να έχει πιο ολοκληρωμένη εικόνα της καλλιέργειας του. [23][33]

Για να γίνει κατανοητό το παραπάνω παράδειγμα πρέπει να ορίσουμε τα εξής:

#### ❖ Μικροελεγκτής Arduino

Ο μικροελεγκτής Arduino και ο οποίος απεικονίζεται στην Εικόνα 6.5, χρησιμοποιείται για την εύκολη διασύνδεση με τις μονάδες ανίχνευσης και ελέγχου, δηλαδή των αισθητήρων μέτρησης παραμέτρων και βασίζεται στην ηλεκτρονική διάταξη του μικροεπεξεργαστή χαμηλής ισχύος ATmega328P. Αναλυτικότερα περιέχει τα εξής στοιχεία:

- ✓ 14 ψηφιακά Pins (θύρες) εισόδου/εξόδου (από 0 έως 13)
- ✓ 6 αναλογικά Pins εισόδου/εξόδου (από A0 έως A5)
- ✓ Θύρα USB για σύνδεση σε Η/Υ
- ✓ Έναν κεραμικό συντονιστή 16 MHz
- ✓ ICSP κεφαλίδα για να λαμβάνει τον κώδικα
- ✓ Κουμπί επαναφοράς και υποδοχή για ρεύμα



Εικόνα 6.5: Ο Μικροελεγκτής Arduino



## ❖ Ενεργοποιητής

Ενεργοποιητής είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια συσκευή ή μηχανή που το βοηθά να επιτύχει φυσικές κινήσεις μετατρέποντας την ενέργεια, συχνά ηλεκτρική, του αέρα ή υδραυλική, σε μηχανική δύναμη. Με απλά λόγια, είναι το εξάρτημα σε οποιοδήποτε μηχάνημα που επιτρέπει την κίνηση.

## ❖ Πύλη δικτύου (gateway)

Πύλη δικτύου ονομάζεται το υλικό ή το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ανάμεσα σε διαφορετικά δικτυακά περιβάλλοντα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μεταξύ το δίκτυο των αισθητήρων και του επιπέδου επικοινωνίας. Οι πύλες δικτύου μπορούν να λειτουργήσουν σε πολλά πρωτόκολλα για ασύρματη επικοινωνία.

Τα πιο συχνά πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν οι συσκευές IoT είναι:

### ➤ 6LoWPAN

Το 6LoWPAN είναι το πρώτο πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε για να υποστηρίξει έξυπνα συστήματα IoT. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το πρωτόκολλο 6LoWPAN είναι ότι υποστηρίζει πολλαπλές τοπολογίες σε χαμηλό κόστος και με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Τα μειονεκτήματα του 6LoWPAN είναι το χαμηλό εύρος ζώνης το οποίο δεν προσφέρει καλή σύνδεση σε απομακρυσμένες περιοχές του δικτύου. Οι εφαρμογές για το 6LoWPAN είναι η παρακολούθηση του εξοπλισμού υγείας, η παρακολούθηση του περιβάλλοντος και τα συστήματα ασφάλειας και οικιακού αυτοματισμού.

### ➤ ZigBee

Το ZigBee είναι το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης πλέγματος για τη σύνδεση αισθητήρων, οργάνων και συστημάτων ελέγχου και χρησιμοποιείται ευρέως στη Γεωργία Ακριβείας για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που σχετίζονται με την υγεία των φυτών. Το ZigBee είναι ένα ανοιχτό, παγκόσμιο πρωτόκολλο που βασίζεται σε πακέτα και έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια εύχρηστη αρχιτεκτονική για ασφαλή, αξιόπιστα ασύρματα δίκτυα χαμηλής ισχύος. Το ZigBee και το IEEE 802.15.4 είναι ασύρματα με χαμηλό ρυθμό δεδομένων πρότυπα δικτύωσης που μπορούν να

εξαλείψουν την δαπανηρή και επιρρεπή σε ζημιές καλωδίωση σε βιομηχανικές εφαρμογές ελέγχου. Ο εξοπλισμός ελέγχου ροής ή διεργασίας μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε και να εξακολουθεί να επικοινωνεί με το υπόλοιπο σύστημα. Ωστόσο έχει μικρή εμβέλεια και η περιορισμένη ταχύτητα δεδομένων. Το ZigBee βρίσκει εφαρμογές σε πολλούς τομείς της έξυπνης γεωργίας ( π.χ. έξυπνα θερμοκήπια και συστήματα άρδευσης).

#### ➤ Bluetooth Low Energy – BLE

Το BLE Bluetooth Low Energy, είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας κατάλληλο για συστήματα IoT στην Γεωργία Ακριβείας. Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει το BLE είναι ο μικρός χρόνος εγκατάστασης, η πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η απεριόριστη υποστήριξη στα τερματικά. Ωστόσο λόγω της πολύ χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και του χαμηλού εύρους ζώνης έχει πολύ περιορισμένη εμβέλεια συνήθως δεν ξεπερνά τα δέκα μέτρα.

#### ➤ Wi-Fi

Το Wi-Fi είναι μια τεχνολογία ασύρματου τοπικού δικτύου που βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11. Το Wi-Fi είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ασύρματη τεχνολογία και προορίζεται γενικά για πρόσβαση στο Διαδίκτυο, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα εύρους ζώνης, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και υψηλό ρυθμό μετάδοσης, επιτρέποντας την επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων. Όσον αφορά την εφαρμογή του στη γεωργία, το Wi-Fi χρησιμοποιείται συνήθως για ασύρματη ανίχνευση, παρακολούθηση βίντεο και επικοινωνία σε απομακρυσμένες περιοχές. Το Wi-Fi βρίσκει εφαρμογές σε πολλούς κλάδους της γεωργίας όπως έξυπνα θερμοκήπια και έξυπνα συστήματα άρδευσης και της παρακολούθησης της υγείας των φυτών .

#### ➤ LoRaWAN

Το LoRaWAN είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές IoT στην Γεωργία Ακριβείας. Αυτό που ξεχωρίζει το LoRaWAN σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα είναι ότι ορίζει την αρχιτεκτονική του συστήματος, έχει σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και πραγματοποιεί τη σύνδεση της επικοινωνίας σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Αυτό οφείλεται στην πολύ μεγάλη εμβέλεια

του , λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης. Το LoRaWAN μπορεί να καθορίζει τις συχνότητες επικοινωνίας και τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων σε όλα τα τερματικά του δικτύου.

### ❖ Νέφος (cloud) 'ThingSpeak'

Η αναπτυσσόμενη τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους 'ThingSpeak' (cloud computing) παρέχει δυνατότητες όπως να:

- Διαμορφώσουν εύκολα τις συσκευές ώστε να στέλνουν δεδομένα στο ThingSpeak χρησιμοποιώντας δημοφιλή πρωτόκολλα IoT.
- Χρησιμοποιήσουν προγράμματα όπως το MATLAB για να κατανοήσουν καλύτερα τα δεδομένα
- Ενεργοποιηθούν αυτόματα διάφορα συστήματα
- Εμφανίζονται στην οθόνη του κινητού τους σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα από τους αισθητήρες συλλογής
- Τέλος τα δεδομένα να έρχονται δομημένα στον χρήστη ώστε να μην γίνονται τυχόν παρερμηνείες. [15][34]

Μερικές ακόμα εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων IoT είναι οι εξής:

- ✓ Έξυπνα συστήματα άρδευσης
- ✓ Έξυπνα συστήματα λίπανσης
- ✓ Έξυπνα συστήματα ελέγχου παρασίτων και μικροοργανισμών
- ✓ Έξυπνη παρακολούθηση του θερμοκηπίου

#### 6.1.5 Περιγραφή έξυπνου IoT συστήματος άρδευσης

Ένα σύστημα IoT που βασίζεται σε αισθητήρες για άρδευση νερού στο οποίο ο ελεγκτής έλεγχε το άνοιγμα και το κλείσιμο μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας με βάση τη στάθμη του νερού του εδάφους. Επιπλέον, μια σειρά από προειδοποιήσεις καιρού στάλθηκαν στον χρήστη μέσω μιας εφαρμογής για κινητά για την ενημέρωση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του περιβάλλοντος, η οποία είχε άμεση επίδραση στη στάθμη του νερού του εδάφους. Η βαλβίδα νερού ενεργοποιήθηκε ή απενεργοποιήθηκε με βάση τη στάθμη του νερού που παρακολουθείται από τον αισθητήρα υγρασίας. Η ηλεκτρική ενέργεια

προέρχονταν από τον φωτοβολταϊκά πάνελ, οπότε το σύστημα ήταν ανεξάρτητο από οποιαδήποτε εξωτερική μονάδα ισχύος. [27]

#### 6.1.6 Περιγραφή έξυπνου IoT συστήματος λίπανσης

Το συγκεκριμένο αυτοματοποιημένο σύστημα λίπανσης χρησιμοποιεί αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο για τη μέτρηση της συστατικών στοιχείων του εδάφους. Το σύστημα αποτελούνταν από τρεις ενότητες, συμπεριλαμβανομένης της εισόδου, της εξόδου και της υποστήριξης αποφάσεων. Η μονάδα υποστήριξης αποφάσεων μετρήσε τη βέλτιστη ποσότητα λιπασμάτων που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών με βάση τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που συλλαμβάνονται από τους αισθητήρες. Ο μηχανικός αισθητήρας που ονομάστηκε "Pendulum Meter" ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη βέλτιστη λίπανση. Αυτός ο αισθητήρας τοποθετήθηκε στον ελκυστήρα για να μετρήσει την πυκνότητα της καλλιέργειας, οπότε ο αντίστοιχος λιπασματοδιανομέας ελέγχθηκε με βάση τις μετρήσεις αυτού του αισθητήρα. Η μονάδα Wi-Fi IEEE 802.11 χρησιμοποιήθηκε για επικοινωνία μαζί με GPS. Τα δεδομένα του εδάφους σε πραγματικό χρόνο συλλέχθηκαν από διάφορους αισθητήρες, δηλαδή, υγρασία εδάφους, θερμοκρασία, αγωγιμότητα, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> κ.α. [27]

## Κεφάλαιο 7 Συστήματα Ρομποτικής στην Γεωργία Ακριβείας

### 7.1 Ρομποτική και ΓΑ

Στην πρόσφατη εποχή, η Γεωργία Ακριβείας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της μελλοντικής επισιτιστικής ασφάλειας με λιγότερη εργασία και ενέργεια αλλά ταυτόχρονα στη βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης για τη διασφάλιση μιας παραγωγικής Γεωργίας. Το έργο της γεωργίας ακριβείας επικεντρώνεται στον έλεγχο του τρόπου με τον οποίο γίνεται, εφαρμόζονται τα λιπάσματα και τα αγροχημικά στο έδαφος και πώς εκτελείται η διαδικασία συγκομιδής.

Στη γεωργία, η αυτοματοποίηση συγκεκριμένων λειτουργιών επέτρεψε στους αγρότες να διαχειριστούν αποτελεσματικά την παραγωγή των καλλιεργειών με λιγότερη ενέργεια και κόστος. Παράγοντες όπως η έλλειψη εργατών σε συνδυασμό με την μεγάλη ηλικία της πλειοψηφίας των αγροτών και η αύξηση του γεωργικού μισθού έχουν κάνει τους αγρότες και τους ερευνητές να ενδιαφέρονται για την ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού στη γεωργία. Η εφαρμογή και ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού εκτελείται κυρίως από αυτόνομα ρομποτικά τα οποία συνδυάζονται με γεωργικά μηχανήματα όπως τρακτέρ τα οποία συνήθως συνδέονται με καλλιεργητή, σπαρτική και άροτρο.

Η εφαρμογή του αυτοματισμού και της ρομποτικής στη γεωργία μπορεί να ποικίλει σημαντικά. Η εκτέλεση οποιασδήποτε γεωργικής λειτουργίας ενδέχεται να εκτελείται μέσα από διαφορετικούς τύπους ρομπότ όπως το Ρομπότ συλλογής δεδομένων που φαίνεται στην Εικόνα 7.1, με βάση την μορφολογία του εδάφους και τις απαιτήσεις της καλλιέργειας. Τα ρομποτικά συστήματα ωστόσο ενδέχεται να εμφανίζουν ορισμένους περιορισμούς κατά την λειτουργία τους. Η ρομποτική δομή παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες στην εκτέλεση ακραίων εργασιών στη γεωργία λόγω του γεγονότος ότι είναι ευαίσθητα απέναντι στο νερό και τη λάσπη.

Ως εκ τούτου, ο ελκυστήρας χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μιας τέτοιας εργασίας λόγω της μεγάλης ικανότητάς του να λειτουργεί μέσα σε λασπώδη εδάφη και με λιγότερη προστασία προς το ηλεκτρονικό κύκλωμα. Από την άλλη, η εφαρμογή τρακτέρ περιορίζεται μόνο σε μεγάλες εκτάσεις λόγω του μεγάλου όγκου του. Έτσι, η εφαρμογή σε περιοχές μικρής έκτασης μπορεί να εκτελεστεί από κινητά ρομπότ. Ακόμα, η εφαρμογή των drone, ευνοείται σε ανοιχτούς χώρους και θα ήταν ασήμαντη σε μια κλειστή περιοχή όπως το θερμοκήπιο, καθώς η πιθανότητα σύγκρουσης αυξάνεται. Για να διερευνηθεί περισσότερο η σημερινή εφαρμογή της αυτοματοποίησης και της ρομποτικής στη γεωργία, η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση διαφορετικές γεωργικές εργασίες. [31][32]



Εικόνα 7.1: Ρομπότ σε καλλιέργεια

### 7.1.1 Συστήματα Ρομποτικής στην Σπορά

Η σπορά είναι μια διαδικασία όπου οι σπόροι ή το νεαρό φυτό θα φυτευτούν στο έδαφος για τη φάση ανάπτυξης των φυτών. Αυτή η διαδικασία απαιτεί υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας, καθώς διαφορετικά φυτά απαιτούν συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους ώστε

να έχουμε βέλτιστη ανάπτυξη και ταυτόχρονα τη μεγιστοποίηση της απόδοσης. Ο κλασικός τρόπος φύτευσης απαιτεί από τον αγρότη να εισάγει χειροκίνητα κάθε σπόρο στο έδαφος. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί πολύ χρόνο και ενέργεια, καθώς αυτή η διαδικασία χρειάζεται μεγάλη συνέπεια και ακρίβεια και συνήθως εκτελείται σε μεγάλες εκτάσεις.

Ως εκ τούτου, έχει δημιουργηθεί μια μηχανή σποράς όπου ο αγρότης θα χειρίζεται το μηχανήμα ελέγχοντας την κίνηση του μηχανήματος και ταυτόχρονα ο σπόρος θα φυτεύεται στο έδαφος. Καθώς το τρακτέρ και η σπαρτική λειτουργούν χειροκίνητα από τον άνθρωπο, η συνοχή της σειράς των φυτών πιθανώς να επηρεαστεί αφού υπάρχουν ορισμένες περιοχές όπου ο καλλιεργητής δεν μπορεί να προσεγγίσει ή μπορεί να παραλείπει να φυτέψει τον σπόρο. Ως εκ τούτου, απαιτείται ένα αποτελεσματικό αυτόνομο ρομποτικό σύστημα που θα εξασφαλίσει την ακριβή σπορά σε ευθεία γραμμή χωρίς την παράβλεψη ορισμένων σημείων του αγρού.

Για να λυθεί το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η χειροκίνητη μέθοδος φύτευσης, έχει εισαχθεί αυτόνομο ρομποτικό σύστημα για αρκετές καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι το ζαχαροκάλαμο και τα λαχανικά . Για να σχεδιαστεί ένα αποτελεσματικό αυτόνομο σύστημα για τη διαδικασία φύτευσης, διάφοροι παράγοντες έχουν γίνει οι κύριοι στόχοι στη διαδικασία σχεδιασμού . Πρώτον, το ρομπότ ή το όχημα πρέπει να είναι σε θέση να κινείται με ακρίβεια σε ευθεία διαδρομή παρά τον ανώμαλο δρόμο στο χωράφι του αγροκτήματος. Αυτή η διαδικασία είναι πολύ σημαντική για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και άλλων εργασιών που διενεργούνται στην εκάστοτε καλλιέργεια, όπως η επιθεώρηση ή η συγκομιδή. Η επόμενη απαίτηση σχετίζεται με το επίπεδο υγρασίας του εδάφους που πρέπει να ληφθεί υπόψη καθώς μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία εκσκαφής του εδάφους. Στη διαδικασία σποράς, συγκεκριμένοι σπόροι απαιτούν συγκεκριμένο βάθος εκσκαφής. Ως εκ τούτου, το βάθος πρέπει να διατηρείται σταθερό προσαρμόζοντας το επίπεδο υγρασίας του εδάφους και τη συμπίεση του εδάφους κατά τον υπολογισμό της δύναμης εκσκαφής για τη διαδικασία καλλιέργειας. Τέλος, η ανίχνευση σπόρου είναι απαραίτητη όπου αυτό το σύστημα θα ανιχνεύσει την παρουσία σπόρου όταν το όχημα είναι έτοιμο να φυτέψει τον σπόρο. Αυτό το σύστημα είναι πολύ σημαντικό για να διασφαλιστεί ότι ο καλλιεργητής θα φυτέψει τον σπόρο χωρίς να χάσει κανένα σημείο .

Το μεγαλύτερο μέρος της διεξαγόμενης έρευνας στη διαδικασία φύτευσης επικεντρώνεται στην ανάπτυξη του αυτόνομου συστήματος σποράς με κύριο στόχο να διασφαλιστεί ότι ο σπόρος θα φυτευτεί σε σταθερή απόσταση και βάθος. Ένα αυτόνομο ρομπότ σποράς έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα Agribot. Σε αυτή την κατασκευή, έχει χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας υπέρυθρων (IR) για τον έλεγχο της κατάστασης της δεξαμενής σπόρων και επίσης για την ανίχνευση της σειράς. Έχει σχεδιαστεί ένα αυτόνομο σύστημα ελέγχου μέτρησης των σπόρων για να επιτρέπει τη συνοχή της φύτευσης. Κατά τη διαδικασία φύτευσης, η συσκευή μέτρησης των σπόρων χρησιμοποιείται συνήθως για να μετρήσει τους σπόρους που απορρίπτονται στο έδαφος. Συνήθως χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση του σπόρου σε ένα μόνο ή μια ομάδα σπόρων πριν κατατεθεί στον προκαθορισμένο χρόνο με ακριβή διαστήματα. Για να μετρηθεί η απόδοση της συσκευής μέτρησης σπόρων, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ταχύτητα της μηχανής αλλά και την απόσταση μεταξύ των σπόρων ενώ η ποιότητα της φύτευσης μετράται χρησιμοποιώντας την ομοιομορφία της απόστασης των φυτών, τη διακύμανση μεταξύ των σειρών, την κατανάλωση καυσίμου και την αρνητική ολίσθηση. Από το αποτέλεσμα, έχει αποδειχθεί ότι ο αποτελεσματικός σχεδιασμός της μονάδας μέτρησης σπόρων είναι σε θέση να προσφέρει καλύτερη ποιότητα φύτευσης και περίπου 22% περισσότερη εξοικονόμηση καυσίμου. [35][36]

### 7.1.2 Συστήματα Ρομποτικής στην Επιθεώρηση Καλλιέργειας

Η επιθεώρηση στη γεωργία είναι μια διαδικασία όπου τα φυτά παρακολουθούνται για τυχόν ασθένειες ή ελέγχεται η ποιότητα τους. Στη γεωργία, οι ασθένειες των φυτών ευθύνονται κυρίως για τη μείωση της παραγωγής ενώ παράλληλα προκαλούνται και οικονομικές απώλειες.

Εάν αυτές οι ανωμαλίες δεν αντιμετωπιστούν εγκαίρως, ενδέχεται να προκύψουν σοβαρές και ανεπανόρθωτες ζημίες.

Για να γίνει η επιθεώρηση της καλλιέργειας, παραδοσιακά οι αγρότες θα παρατηρήσουν τις ανωμαλίες στο φυτό χρησιμοποιώντας ως μέσο την ανθρώπινη όραση. Καθώς η ηλικία των αγροτών αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, η αποτελεσματικότητα της επιθεώρησης έχει μειωθεί. Επιπλέον, η εφαρμογή της αυτοματοποίησης στη γεωργική επιθεώρηση απαιτεί ένα σύστημα που αντικαθιστά την ανθρώπινη όραση να εκτελέσει τη διαδικασία



επιθεώρησης. Ως εκ τούτου, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως η υπολογιστική όραση ευρέως για να αντικαταστήσει την ανθρώπινη όραση κατά την εκτέλεση επιθεώρησης φυτών στη γεωργία.

Η υπολογιστική όραση είναι μια προηγμένη τεχνολογία η οποία χρησιμοποιείται για την επεξεργασία εικόνας και έχει γίνει την δυνατότητα να αντικαταστήσει την ανθρώπινη όραση κάνοντας ακριβή και λεπτομερή εργασία στη διαδικασία επιθεώρησης. Ένα σύστημα υπολογιστικής όρασης έχει υιοθετηθεί ευρέως σε ορισμένους ετερογενείς τομείς που περιλαμβάνουν τη γεωργία. Στη γεωργία, αξίζει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές επεξεργασίας εικόνας και υπολογιστικής όρασης έχουν αυξηθεί λόγω του μειωμένου κόστους εξοπλισμού, της αυξημένης υπολογιστικής ισχύος και της ολοένα και πιο προσεκτικής αξιολόγησης των τροφίμων ώστε να μην υπάρχει αλλοίωση σ' αυτά. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές του συστήματος υπολογιστικής όρασης στη γεωργία χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ασθενειών και ορισμένες από τις εφαρμογές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων.

Έχουν χρησιμοποιηθεί ρομποτικά συστήματα όπως αυτό της Εικόνας 7.2 για την επιθεώρηση φυτών με τα οποία ανιχνεύονται τυχόν ασθένειες των φύλλων τριανταφυλλιάς, ζαχαρότευτλων και ηλίανθου, ενώ παρουσιάζεται η αξιολόγηση της ποιότητας του πυρήνα του καλαμποκιού. Οι εν λόγω εφαρμογές υλοποιούνται είτε για την ανίχνευση ασθενειών είτε για την αξιολόγηση της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων. Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας εικόνας, διάφορες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί όπως αλγόριθμοι που βασίζονται σε νευρωνικά δίκτυα (Neural Network), K-πλησιέστεροι γείτονες (K-Nearest Neighbors), ο γενετικός αλγόριθμος (GA) και η μηχανική μάθηση. Οι περισσότερες από τις υλοποιήσεις αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας για γεωργική επιθεώρηση τα τελευταία πέντε χρόνια χρησιμοποιούν αλγόριθμο βασισμένο σε νευρωνικά δίκτυα όπως το βαθύ συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (Deep Neural Network) και Συνελκτικό Νευρωνικό Δίκτυο (ΣΝΔ) που μπορούν να εντοπίσουν στον χώρο τις χρωματικές αλλαγές (π.χ. φωτεινά ή σκοτεινά σημεία). Από τα αποτελέσματα, ο αλγόριθμος που βασίζεται στο Νευρωνικά Δίκτυα δείχνει πολλή καλή απόδοση στη γεωργική επιθεώρηση με μέγιστη ακρίβεια 98%.

Εκτός από την εφαρμογή της μεθόδου επεξεργασίας εικόνας στη γεωργική επιθεώρηση, ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποιούν επίσης την υπερφασματική απεικόνιση για την ανίχνευση ασθενειών των φυτών. Η κανονική μέθοδος υπερφασματικής απεικόνισης

Normalized Different Spectral Indices (NDSI) χρησιμοποιείται για την ανίχνευση κηλίδων σε φύλλα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με τη μέτρηση της απόκλισης του δείκτη υπερφασματικής βλάστησης, δηλαδή την απόκλιση του ορατού με το κοντινό υπέρυθρο φάσμα και που είναι ειδικός για την ανίχνευση κηλίδων σε φύλλα. [35][38]



Εικόνα 2.2: Ρομπότ Επιθεώρησης Καλλιέργειας

### 7.1.3 Συστήματα Ρομποτικής στον Ψεκασμό

Η διαδικασία ψεκασμού στη γεωργία είναι η μέθοδος εφαρμογής χημικών ουσιών καταπολέμησης παρασίτων ή λιπασμάτων που εφαρμόζονται σαν σύννεφο ομίχλης στα φυτά για την επεξεργασία ασθενειών και τη διαχείριση της ανάπτυξης των φυτών. Στις περισσότερες γεωργικές πρακτικές, οι χημικές ουσίες ελέγχου παρασίτων εφαρμόζονται συνήθως ομοιόμορφα σε όλα τα χωράφια για τον έλεγχο της εξάπλωσης ασθενειών. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται παρά το γεγονός ότι αρκετά παράσιτα και ασθένειες παρουσιάζουν άνιση χωρική κατανομή, ειδικά κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης. Ως εκ τούτου, για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος χρήσης χημικών ουσιών ελέγχου παρασίτων στη γεωργική λειτουργία, έχει εισαχθεί και διερευνηθεί επιλεκτικός ψεκασμός τις τελευταίες δύο δεκαετίες.

Το αυτοματοποιημένο σύστημα επιλεκτικού ψεκασμού, που συνήθως εκτελείται από εξαιρετικά αυτοματοποιημένο εξοπλισμό ή κινητά ρομπότ, επιτρέπει την επιλεκτική στόχευση της εφαρμογής φυτοφαρμάκων μόνο όπου και όταν χρειάζεται. Ο κύριος στόχος αυτής της επιλεκτικής λειτουργίας είναι η μείωση της ποσότητας χρήσης φυτοφαρμάκων

και η πρόληψη της εξάπλωσης της λοίμωξης και της επιδημίας τους σε όλη την καλλιέργεια.

Η μέθοδος ψεκασμού Variable Rate Application (VRA) έχει σχεδιαστεί και επιτρέπει στους αγρότες να προσαρμόζουν αυτόματα τον ρυθμό ψεκασμού φυτοφαρμάκων ή ζιζανιοκτόνων στο στόχο με βάση το μέγεθος του θόλου και τις απαιτήσεις της καλλιέργειας.

Με την τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτοματισμού και ρομποτικής, αυτή η μέθοδος θα είναι σε θέση να μειώσει τη χρήση φυτοφαρμάκων με μεγάλη ακρίβεια χωρίς να εκθέσει σε επικίνδυνες χημικές ουσίες τους αγρότες.

Εκτός από τη μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων, ορισμένες έρευνες επικεντρώνονται επίσης στη διαχείριση της αυτόματης καθοδήγησης με στόχο τη μείωση του λειτουργικού κόστους των ρομπότ. Αυτό το ερευνητικό πεδίο είναι πολύ σημαντικό για να διασφαλιστεί ότι τα ρομπότ θα είναι σε θέση να πλοηγηθούν ακριβώς προς τον στόχο με ένα ελάχιστο κόστος ταξιδιού κατά την εκτέλεση της λειτουργίας ψεκασμού.

Για να μειωθεί το λειτουργικό κόστος, η βιβλιογραφία μας προτείνει τον αλγόριθμο των πολλαπλών στόχων που ονομάζεται Αλγόριθμος Ταξινόμησης Χωρίς Κυριαρχία (Nondominated Sorting Genetic Algorithm) χρησιμοποιώντας ένα σημείο αναφοράς για τη βελτιστοποίηση παραμέτρων όπως ο χρόνος ταξιδιού, η απόσταση και η γωνία δρομολόγησης. Επίσης διερευνάται η επίδραση της ταχύτητας του ρομπότ στην παροχή ποσότητας ψεκαστικού υγρού για εκφόρτιση των ινών φύλλων όπου δοκιμάζονται αρκετές ταχύτητες ρομπότ για να βρεθεί η πιο βελτιστοποιημένη ταχύτητα για τη λειτουργία σύνθετου ψεκασμού.

Οι ερευνητές εστιάζουν επίσης στη διατήρηση εξαιρετικής ακρίβειας θέσης για αγροτικό ρομπότ. Η ανάπτυξη ενός τρακτέρ ρομπότ με τροχούς έχει σχεδιαστεί για ψεκασμό όπως αυτό που απεικονίζεται στην Εικόνα 7.3. Το σύστημα αυτόματης πλοήγησης έχει μεγάλη ακρίβεια.

Καθώς το μεγαλύτερο μέρος της εφαρμογής αυτόνομων ψεκασμών στη γεωργία υλοποιείται από χερσαία οχήματα, ορισμένες εφαρμογές εξετάζουν επίσης τη χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) για αυτήν την επιχείρηση. Το UAV χρησιμοποιείται για μη ομοιόμορφο ψεκασμό καλλιεργειών.

Από αυτή την εφαρμογή, η ακρίβεια ψεκασμού μπορεί να διατηρηθεί ελέγχοντας τη συμπεριφορά του UAV προσαρμοστικά με βάση διάφορες παραμέτρους όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου και η εναπόθεση φυτοφαρμάκων. [35][39][40]



Εικόνα 7.3: Αυτόματο Ρομπότ Ψεκασμού

#### 7.1.4 Συστήματα Ρομποτικής για Συγκομιδή

Στη γεωργία, η συγκομιδή είναι η συλλογή των γεωργικών προϊόντων που πρόκειται να μεταποιηθούν ή να πωληθούν. Καθώς αυτή η διαδικασία χρειάζεται λεπτομερή παρατήρηση με επαναλαμβανόμενη διαδικασία, είναι γνωστή ως μια πολύ χρονοβόρα και εντατική διαδικασία. Ως εκ τούτου, έχει διεξαχθεί ενδελεχής έρευνα τις τελευταίες δεκαετίες για την ανάπτυξη αυτόνομου συστήματος συγκομιδής όπως αυτό που απεικονίζεται στην Εικόνα 7.4. Έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια για διάφορα είδη καλλιεργειών όπως φράουλες, ντομάτες, μήλα κ.α.

Οι περισσότερες από τις υλοποιήσεις επικεντρώνονται στην ενίσχυση της ακρίβειας του συστήματος συγκομιδής προτείνοντας διάφορες προσεγγίσεις και μεθόδους με διαφορετική αρχιτεκτονική δομής λογισμικού και υλικού.

Για να εκτελεστεί μια αυτόνομη διαδικασία συγκομιδής, απαιτούνται διάφορα βήματα. Πρώτον, το κινητό ρομπότ πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίσει τη θέση-στόχο για να προσδιορίσει το αντικείμενο ή τη θέση που πρέπει να συλλεχθεί. Στη συνέχεια, ο ρομποτικός βραχίονας θα πλοηγηθεί προσεκτικά προς τη θέση-στόχο χωρίς να συγκρουστεί με εμπόδια. Τέλος, ο μηχανισμός κοπής θα πραγματοποιηθεί όπου η λειτουργία ξεκινά συνήθως με το πιάσιμο των καρπών, την κοπή του στελέχους και το συγκομιζόμενο προϊόν θα αποθηκευτεί σε αποθηκευτικό χώρο ενσωματωμένο μέσα στη δομή του κινητού ρομπότ. Ως εκ τούτου, κάθε βήμα στην αυτόνομη ρομποτική διαδικασία συγκομιδής αντιπροσωπεύει διαφορετικές προκλήσεις που πρέπει να βελτιστοποιηθούν και να επιλυθούν από ερευνητές για την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού ρομπότ συγκομιδής.

Πολυάριθμες έρευνες έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας-στόχου για τη γεωργική συγκομιδή. Τα περισσότερα από τα έργα που υλοποιήθηκαν εκμεταλλεύονται το σύστημα μηχανικής όρασης για να καθορίσουν τη θέση των καρπών. Το σχεδιασμένο σύστημα μηχανικής όρασης αναπτύχθηκε για να λύσει δύο σύνθετα προβλήματα που σχετίζονται με τις ευρείες ποικιλίες του ανιχνευόμενου αντικειμένου λόγω των φυσικών χαρακτηριστικών του και του σύνθετου δομημένου χώρου εργασίας με μεγάλες διακυμάνσεις στον φωτισμό και το βαθμό απόφραξης του αντικειμένου. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφορα σχήματα όρασης για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος για την ανίχνευση στόχου στη διαδικασία συγκομιδής.

Εκτός από την ακριβή ανίχνευση στόχου, το ποσοστό επιτυχίας της διαδικασίας συγκομιδής χρησιμοποιώντας γεωργικά ρομπότ σε πυκνές καλλιέργειες εξαρτάται επίσης από τον έλεγχο κίνησης. Ως εκ τούτου, έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες τα τελευταία χρόνια στον σχεδιασμό κίνησης βραχίονα ρομπότ για τη λειτουργία γεωργικής συγκομιδής. Το σύστημα προγραμματισμού κίνησης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για το συντονισμό ρομπότ αποτελούμενο από τέσσερις βραχίονες για αυτόνομο σύστημα συλλογής ακτινιδίων με ποσοστό επιτυχίας 51%.

Επιπλέον, εφαρμόστηκε μια κίνηση "U-move" όπου η ροπή που ασκείται από κάθε κινητήρα ελέγχεται για να αποφευχθεί η υπερβολική ροπή που μπορεί να βλάψει το βραχίονα και το θόλο της εγκατάστασης. Παρά το σχεδιασμό του αλγορίθμου κίνησης του βραχίονα του ρομπότ, ο εντοπισμός εμποδίων είναι επίσης σημαντικός για την επιτυχή διαδικασία συγκομιδής.

Πριν κοπούν τα φρούτα ή τα λαχανικά για συγκομιδή, πραγματοποιήθηκε ο μηχανισμός σύλληψης όπου ο τελικός τελεστής θα τοποθετηθεί προσεκτικά προς τον στόχο. Για να διατηρηθεί η ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος, η συγκομιδή χωρίς να καταστραφεί το συγκομιζόμενο προϊόν έχει γίνει το βασικό εμπόδιο για την αντικατάσταση της χειρωνακτικής εργασίας από ρομποτικό σύστημα.

Έτσι πρέπει να ληφθούν υπ' όψη τα φυσικά χαρακτηριστικά και η δομή του συγκομιζόμενου προϊόντος. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός και ο μηχανισμός της λαβής για διαφορετικές εφαρμογές πρέπει να είναι ειδικά σχεδιασμένος για να διατηρηθεί η ποιότητα του προϊόντος στη διαδικασία συγκομιδής. [36][41]



Εικόνα 7.4: Ρομπότ για συγκομιδή προϊόντος.

### 7.1.5 Παραδείγματα εφαρμογών Ρομποτικών Συστημάτων στην Γεωργία

#### **Robotriks Autonomous Platform**

Το ρομποτικό σύστημα Robotriks Traction Unit (RTU) είναι ένας «βοηθός φάρμας» χαμηλού κόστους που μπορεί να κάνει μια ποικιλία ειδικών ή καθημερινών καθηκόντων στη γεωργία, την κηπουρική και την οπωροκαλλιέργεια. Διαθέτει ρυθμιζόμενη δομή πλαισίου που του επιτρέπει να χειρίζεται μια σειρά από εξειδικευμένες εργασίες. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βοηθός μεταφοράς φορτίου με χειροκίνητο τηλεχειριστήριο, μεταφέροντας δέματα και μεταλλικά τεμάχια σε ζώα, καθώς και προμήθειες και εξοπλισμό περίφραξης, σε μέρη όπου ένα βαρύ όχημα θα ήταν ακατάλληλο. [42][43]

#### **Welaser Robot**

Αυτό το ρομπότ χρησιμοποιείται ως αυτόνομο ρομπότ πεδίου που χρησιμοποιεί ένα ισχυρό λέιζερ για να σκοτώσει τα ζιζάνια. Το ρομπότ διαθέτει τεχνητή νοημοσύνη (AI) επιτρέποντάς του να κάνει διακρίσεις μεταξύ των ζιζανίων και της καλλιέργειας και στη συνέχεια τα εξουδετερώνει. Το αυτόνομο ρομπότ διαθέτει κινητή πλατφόρμα και είναι εξοπλισμένο με πηγή λέιζερ υψηλής απόδοσης που επιτρέπει στο σύστημα εξολόθρευσης ζιζανίων να κινείται σε όλη την καλλιέργεια εστιάζοντας στο φυτό για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να γίνει σωστά ο διαχωρισμός φυτού – ζιζανίου. [42][44]

#### **TerraSentia**

Το TerraSentia είναι ένα ρομπότ που χρησιμοποιεί φωτισμό εντοπισμού και εμβέλειας για τη συλλογή δεδομένων ιδιοτήτες για την υγεία των φυτών, τη φυσιολογία και την απόκριση στις αντίξοες συνθήκες (LiDAR). Το ρομπότ μπορεί να είναι προγραμματισμένο να παρακολουθεί την υγεία των νέων φυτών, να ανιχνεύει και αναγνωρίζει τυχόν ασθένειες. Καλαμπόκι, σόγια, σιτάρι, σόργο, κηπευτικές καλλιέργειες, οπωρώνες, και οι αμπελώνες θα μπορούσαν να επωφεληθούν από αυτό. [42][45]

### **Siberian Tiger**

Μέσα από μια συλλογή από κάμερες και αισθητήρες, αυτό το ρομπότ, γνωστό και ως Ρωσικό γεωργικό ρομπότ, πλοηγείται σε χωράφια, παρακολουθεί τις καλλιέργειες και το έδαφος συνθήκες για τον έλεγχο των ασθενειών των φυτών. Για πρόσθετη επεξεργασία, τα αποκτηθέντα δεδομένα ενδέχεται τροφοδοτείται σε ένα νευρωνικό δίκτυο. Αυτό το καινοτόμο ρομπότ έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τον έλεγχο για ασθένειες στις καλλιέργειες αυξάνοντας παράλληλα τις αποδόσεις κατά 10% έως 30%. [42][47]

### **Moondino Weeding Robot**

Το Moondino είναι ένα ρομπότ καταπολέμησης ζιζανίων σε καλλιέργειες ρυζιού που μπορεί να αναλάβει εργασίες ψεκασμού αυτομάτως. Αποτελείται από έναν τροχό που χρησιμοποιείται για την προώθηση του ρομπότ και χρησιμεύει επίσης ως εργαλείο καταπολέμησης των ζιζανίων. Με τη βοήθεια GPS ακριβείας, ο Moondino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ξεχορτάρισμα (weeding) λίγο μετά τη σπορά και σε ξηρό και σε πλημμυρισμένο έδαφος. [42][44]



## Κεφάλαιο 8 Εφαρμογές Τεχνολογιών Γεωργίας Ακριβείας και Αποτελέσματα

### 8.1 Πως γίνεται η συλλογή δεδομένων μέσω των drones

Τα Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα UAV είναι ισχυρά συστήματα ανίχνευσης και επίβλεψης και μέσω αυτών μπορούμε να παρακολουθήσουμε πολλά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας είτε μέσα από την βλάστηση, είτε μέσα από την παρατήρηση του εδάφους, Τα χαρακτηριστικά αυτά αναπαρίστανται αναλυτικά και στον Πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.1: Χαρακτηριστικά στοιχεία της καλλιέργειας που μπορούμε να παρακολουθήσουμε μέσω των drones.

Περιοχή συλλογής δεδομένων	Χαρακτηριστικά της καλλιέργειας
Βλάστηση	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ βιομάζα</li><li>✓ κατάσταση αζώτου</li><li>✓ Υγρασία</li><li>✓ χρώμα βλάστησης</li><li>✓ φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης</li><li>✓ θερμοκρασία</li><li>✓ χωρική θέση ενός αντικειμένου</li><li>✓ μέγεθος και σχήμα διαφορετικών στοιχείων και φυτών</li><li>✓ δείκτες βλάστησης</li></ul>
Έδαφος	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Υγρασία</li><li>✓ θερμοκρασία</li><li>✓ αγωγιμότητα</li></ul>

Είναι εξοπλισμένα με εξειδικευμένους αισθητήρες και κάμερες, οποίοι σε πολλές περιπτώσεις ποικίλλουν ανάλογα με την παράμετρο που πρόκειται να παρακολουθηθεί και τα δεδομένα που συλλέγονται. Ο ρόλος των αισθητήρων και των καμερών που προσαρμόζονται στα drones είναι να καταγράψουν εικόνες και βίντεο με υψηλή ανάλυση και ευκρίνεια, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην παρακολούθηση πολλών

διαφορετικών χαρακτηριστικών της βλάστησης αλλά και στην ανίχνευση τυχόν ασθενειών.

Ο χρόνος πτήσης ενός drone είναι αντιστρόφως ανάλογος με το βάρος του ωφέλιμου φορτίου. Δηλαδή όσο μικρότερο είναι το βάρος του ωφέλιμου φορτίου τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος πτήσης για ένα drone με σταθερές πτέρυγες.

Έτσι λόγω της ανάγκης για χαμηλή χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου θέτονται κάποιοι περιορισμοί στην επιλογή των αισθητήρων και των καμερών που θα χρησιμοποιηθούν. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας ορατού φωτός με κάμερα υψηλής ευκρίνειας ζυγίζει λιγότερο από 300 γραμμάρια επιτρέπει σε ένα drone με σταθερές πτέρυγες να πετάει για περίπου δύο ώρες. Αντίθετα, τα drones με πολλαπλούς ρότορες με την ίδια ισχύς μπαταρίας διαθέτουν υψηλότερη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου αλλά μειωμένο χρόνο πτήσης, που ανέρχεται στα 15-25 λεπτά πτήσης.

Έτσι λοιπόν οι αισθητήρες αυτοί πρέπει να πληρούν τα παραπάνω κριτήρια. Ωστόσο το πιο βασικό απ' όλα είναι να δίνουν λήψεις εικόνων με υψηλή ανάλυση. Οι αισθητήρες επί του οχήματος UAV που συμμορφώνονται με τους παραπάνω περιορισμούς που χρησιμοποιούνται για Γεωργία Ακριβείας, είναι συνήθως οι εξής τύποι:

- Αισθητήρες ορατού φωτός (RGB)
- Πολυφασματικοί αισθητήρες
- Υπερφασματικοί αισθητήρες
- Θερμικοί αισθητήρες
- Αισθητήρες Ανίχνευσης Και Εύρους Φωτός (LiDAR)

#### ✓ **Αισθητήρες ορατού φωτός (RGB)**

Οι αισθητήρες RGB είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες από συστήματα UAV για εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας. Τα αρχικά RGB προέρχονται από τα χρώματα Red = Κόκκινο, Green = Πράσινο, Blue = Μπλε. Συλλαμβάνουν δηλαδή τα ίδια μήκη κύματος φωτός όπως το ανθρώπινο μάτι. Τα περισσότερα drones διαθέτουν αισθητήρες RGB, αλλά ορισμένοι αισθητήρες έχουν καλύτερη χωρική ανάλυση από άλλους. Η χωρική ανάλυση ενός αισθητήρα RGB (ή οποιουδήποτε αισθητήρα) είναι πολύ σημαντική επειδή καθορίζει το υψόμετρο που μπορεί να πετάει ένα drone, χωρίς να χάσει σημαντικές λεπτομέρειες στις εικόνες. Είναι σχετικά χαμηλού κόστους σε σύγκριση με τους άλλους τύπους και

μπορούν να αποκτήσουν εικόνες υψηλής ανάλυσης. Επιπλέον, είναι εύχρηστοι και είναι ελαφριοί. Οι πληροφορίες που αποκτώνται απαιτούν απλή επεξεργασία. Οι εικόνες μπορούν να ληφθούν σε διαφορετικές συνθήκες, ανεξάρτητα από το ηλιακό φως, αλλά απαιτείται συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο με βάση τις καιρικές συνθήκες για να αποφευχθεί η ανεπαρκής ή υπερβολική έκθεση της εικόνας. [40]

#### ✓ Πολυφασματικοί και Υπερφασματικοί αισθητήρες

Οι κάμερες RGB μετρούν μόνο τις κόκκινες, πράσινες και μπλε ζώνες κύματος. Οι εικόνες που παράγουν είναι ορατές για εμάς, καθώς αυτές είναι οι ίδιες ζώνες κύματος που ανιχνεύουν τα ανθρώπινα μάτια μας. Αλλά η αντανάκλαση άλλων μηκών κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μπορεί επίσης να μας παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν έως και 15 διαφορετικές ζώνες κύματος. Μερικοί θα ανιχνεύσουν ακόμη και κυματοζώνες πέρα από το ορατό φάσμα και στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Κάποια αντικείμενα που μπορεί να μην διακρίνονται σε μια εικόνα RGB, μπορεί να είναι εύκολο να διαφοροποιηθούν σε μια πολυφασματική εικόνα. Η πολυφασματική ανίχνευση μπορεί επίσης να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες ενός αντικειμένου.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται ευρέως στην Γεωργία Ακριβείας. Τα υγιή φυτά αντανακλούν περισσότερο το κοντινό υπέρυθρο φάσμα (NIR) από τα ανθυγιεινά φυτά. Όταν συνδυάζονται με drones, οι πολυφασματικοί αισθητήρες NIR προσφέρουν έναν τρόπο γρήγορης αξιολόγησης της υγείας μεγάλων περιοχών καλλιεργειών.

Οι υπερφασματικοί αισθητήρες είναι παρόμοιοι με τους πολυφασματικούς αισθητήρες. Αλλά ενώ οι πολυφασματικοί αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν έως και 15 ζώνες κύματος, οι υπερφασματικοί αισθητήρες μετρούν πάνω από 100 συνεχείς ζώνες. Αυτό σημαίνει ότι αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν μικρές διαφορές στις φασματικές εικόνες που καταγράφουν.

Σε πολλές περιπτώσεις έχουμε την επιλογή πολυφασματικών και υπερφασματικών αισθητήρων, παρά το υψηλότερο κόστος τους. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα αυτών των αισθητήρων είναι ότι απαιτείται η χρήση πιο σύνθετων και πολύπλοκων μεθόδων επεξεργασίας ώστε να εξαχθούν οι πληροφορίες από τις ληφθείσες εικόνες. Η κύρια διαφορά μεταξύ πολυφασματικών και υπερφασματικών αισθητήρων είναι ο αριθμός των

ζωνών (ή καναλιών) που μπορεί να καταγράψει κάθε αισθητήρας και το πλάτος των ζωνών. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες συλλαμβάνουν 5-12 κανάλια, ενώ οι υπερφασματικές εικόνες μπορούν συνήθως να συλλάβουν εκατοντάδες ή χιλιάδες ζώνες, αλλά σε στενότερο εύρος ζώνης. Αν και στις πρόσφατες εργασίες που μελετήθηκαν οι πολυφασματικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται πολύ πιο συχνά από τους υπερφασματικούς λόγω του χαμηλότερου κόστους τους, η υπερφασματική τεχνολογία φαίνεται να έχει πολλές δυνατότητες και θεωρείται ως η μελλοντική τάση για τη φαινοτυπική έρευνα των καλλιεργειών. [49]

#### ✓ **Θερμικοί αισθητήρες**

Οι θερμικοί αισθητήρες μετρούν τη σχετική θερμοκρασία επιφάνειας των αντικειμένων. Όταν η υπέρυθρη ακτινοβολία μεγάλου κύματος που εκπέμπεται από αντικείμενα χτυπά τον θερμικό αισθητήρα, θερμαίνει το μικροβολόμετρο και αυτό αλλάζει την ηλεκτρική αντίσταση. Αυτές οι αλλαγές μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα και αποθηκεύονται ως ανεπεξέργαστα δεδομένα ή υποβάλλονται σε επεξεργασία σε θερμικές εικόνες.

Για περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται οπτικό στοιχείο (βίντεο ή εικόνες), ο αισθητήρας διαθέτει κάμερα θερμικής απεικόνισης (ή υπέρυθρης ακτινοβολίας). Αυτές οι κάμερες σχηματίζουν μια εικόνα χρησιμοποιώντας υπέρυθρη ακτινοβολία και διαφοροποιούν τις φαινόμενες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας διαφορετικές παλέτες χρωμάτων.

Στη λήψη εικόνων από UAV, είναι χαρακτηριστικό ότι αποκτούν αρκετές επικαλυπτόμενες εικόνες των καλλιεργειών. Στις περισσότερες περιπτώσεις καταγράφουν τόσο μπροστινές όσο και πλευρικές επικαλυπτόμενες εικόνες. Αυτό είναι επιθυμητό καθώς οι επικαλυπτόμενες εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή 3D μοντέλων ή/και χαρτών των καλλιεργειών. Ο ρυθμός επικάλυψης εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής. Η μπροστινή επικάλυψη κυμαίνεται συνήθως 60-95% ενώ η πλευρική επικάλυψη κυμαίνεται 40-95% για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων και 25-40% για άλλες χρήσεις. Επιπλέον, το υψόμετρο των πτήσεων UAV ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή και τη χωρική ακρίβεια των πληροφοριών που θέλουμε να συλλέξουμε. Η απόσταση μεταξύ του στόχου (καλλιέργειας) που πρόκειται να απεικονιστεί και του UAV

παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των λεπτομερειών των πληροφοριών που αποκτήθηκαν. Αυτό είναι κάτι που εξαρτάται τόσο από τους αισθητήρες όσο και από την ανάλυση που προσφέρουν. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, ανάλογα με το σκοπό της εφαρμογής, η χωρική ανάλυση των φωτογραφιών είναι μεταξύ 0,5 cm/pixel και 10 cm/pixel. [49][50]

#### ✓ Αισθητήρες LiDAR ( Light Detection And Ranging)

Το LiDAR (Ανίχνευση Φωτός και Εύρους) είναι μια αρκετά παλιά τεχνολογία και έχει χρησιμοποιηθεί στην επίγεια χαρτογράφηση. Λειτουργεί εκπέμποντας παλμούς φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος από ένα λέιζερ. Στη συνέχεια, ο αισθητήρας μετρά το χρόνο που χρειάζεται για να ανακλαστούν αυτοί οι παλμοί πίσω από το προσπίπτον αντικείμενο. Από αυτούς τους ανακλώμενους παλμούς, ο αισθητήρας δημιουργεί μία 3D εικόνα των αντικειμένων.

## 8.2 Σύγκριση Συμβατικού Συστήματος Ψεκασμού με UAV Σύστημα Ψεκασμού

Σύμφωνα με έρευνα [51] που διεξήχθη σε καλλιέργειες ελαιών και αμπελιών σε περιοχή της Ισπανίας εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα.

Για τη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά συστήματα UAV τα χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 8.2.

Πίνακας 8.2: Τα χαρακτηριστικά των UAV που χρησιμοποιήθηκαν.

	Όγκος Ψεκαστικού (L)	Αριθμός Ρότορων	Αριθμός Ακροφυσίων	Μέγιστη Ταχύτητα (km/h)	Διάρκεια Μπαταρίας (min)	Πλάτος Εργασίας (m)
UAV 1	10	8	4	43.2	10	4.5
UAV 2	16	6	8	43.2	15	6.5
UAV 3	10	6	8	36	18	5

Επίσης για το συγκριτικό αυτό πείραμα χρησιμοποιήθηκαν και δύο είδη συμβατικών ψεκαστών με χαρακτηριστικά που απεικονίζονται στον Πίνακα 8.3.

Πίνακας 8.3: Τα χαρακτηριστικά των CS που χρησιμοποιήθηκαν.

	Όγκος Ψεκαστικού (L)	Σύστημα Έξυπνης πλοήγησης	Ροή Ψεκασμού (L/min)
<b>CS1</b>	2000	Ναι	160
<b>CS2</b>	2000	Ναι	160

Σε αυτή την έρευνα, πραγματοποιήθηκαν οικονομικές αναλύσεις και αναλύσεις αποτελεσματικότητας συμβατικών ψεκαστών και νέων ψεκαστών UAV, με στόχο να προσδιοριστεί ποια εναλλακτική λύση συνιστάται περισσότερο για την εκτέλεση φυτοϋγειονομικών εφαρμογών. Μετά την αξιολόγηση των μοντέλων και τη συλλογή των αντίστοιχων δεδομένων για τη διεξαγωγή της μελέτης, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η αποδοτικότητα της εργασίας που επιτεύχθηκε με το λογισμικό UgCS κυμάνθηκε από 5 έως 7 εκτάρια / ώρα, ενώ η πραγματική εργασιακή εμπειρία στο αγρόκτημα έδειξε μέσες τιμές εργασίας ψεκαστήρα 1,6 εκτάρια / ώρα. Το αποτέλεσμα είναι σαφές, δεδομένου ότι τα UAV δεν έχουν τον ίδιο χρόνο διακοπής λειτουργίας με τους συμβατικούς ψεκαστές και δεν χρειάζεται να κάνουν ελιγμούς μεταξύ των καλλιεργειών.
2. Το κόστος λειτουργίας των συμβατικών ψεκαστών κυμαίνεται μεταξύ 244 ευρώ/ημέρα και 252/ημέρα, δηλαδή 38% ακριβότερο από τις εργασίες UAV (171 ευρώ/ημέρα έως 188/ημέρα). Αυτό σημαίνει ότι, παρά το γεγονός ότι η επένδυση σε ψεκαστές UAV είναι σημαντικά υψηλότερη, η συνεχής χρήση εξοπλισμού μπορεί να καταστήσει πιο βολική, από οικονομική άποψη, την επιλογή του ψεκαστήρα UAV.
3. Η απόκτηση ψεκαστών UAV προϋποθέτει τεράστια οικονομική επένδυση, σχεδόν διπλάσια από αυτή των συμβατικών ψεκαστών. Από τα μοντέλα που μελετήθηκαν, το πιο ακριβό μοντέλο ψεκαστήρα UAV είχε τιμή που ξεπερνούσε τα 20000 ευρώ, ενώ ο ακριβότερος συμβατικός ψεκαστήρας κόστιζε περίπου 15000

ευρώ-25% λιγότερο. Αυτή η διαφορά είναι σημαντική και καθορίζει εάν τα πλεονεκτήματα που έχουν αυτές οι συσκευές μπορούν να βοηθήσουν στη δικαιολόγηση της διακύμανσης των τιμών.

4. Από τα εξισωτικά μοντέλα, μπορεί να επαληθευτεί ότι η πιο κερδοφόρα επιλογή για λίγες ημέρες εργασίας είναι η πρόσληψη μιας εταιρείας ψεκαστήρων UAV που δεν καθιστά απαραίτητη την αγορά μιας συσκευής. Από 30 έως 80 ημέρες εργασίας, η καλύτερη επιλογή είναι η αγορά του συμβατικού ψεκαστήρα 1 (CS1). Για μεγαλύτερες εκμεταλλεύσεις παρόμοιες με αυτή που αντιμετωπίζεται σε αυτή τη μελέτη, η αγορά ενός ψεκαστήρα UAV μπορεί να είναι η καλύτερη επιλογή.

Με βάση αυτά τα συμπεράσματα και αφού εξετάσουμε την υπάρχουσα βιβλιογραφία, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από την άποψη της αποτελεσματικότητας, οι ψεκαστήρες UAV είναι μια ενδιαφέρουσα επιλογή για εργασία σε μεγάλες εκμεταλλεύσεις. Οι ψεκαστήρες UAV είναι επίσης μια κατάλληλη εναλλακτική λύση στις συμβατικές μεθόδους, λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική εξοικονόμηση νερού, ειδικά σε χώρες τόσο ξηρές όσο η Ελλάδα. [52]

### **8.3 Άλλα παραδείγματα εφαρμογών τεχνολογιών ΓΑ**

#### **8.3.1 Μεταβλητές δόσεις αζωτούχου λίπανσης στο Σκληρό Σιτάρι**

Πριν από κάποια χρόνια δύο απόφοιτοι του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σχεδίασαν ένα μηχάνημα μεταβλητής δόσης λιπάσματος αζώτου για την καλλιέργεια των σιτηρών.

Στο εν λόγω μηχάνημα τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρες στο μπροστινό μέρος του ελκυστήρα. Αυτό που έκαναν οι αισθητήρες αυτοί ήταν να αξιολογούν το χρώμα του σιταριού και παράλληλα να ρυθμίζουν αυτόματα την εφαρμοζόμενη δόση του λιπάσματος.

Η βασική ιδέα γύρω από την οποία στηρίχθηκε η έρευνα είναι ότι το σιτάρι έχει έντονο σκούρο πράσινο χρώμα όταν έχει αρκετό λίπασμα ενώ αντίθετα κιτρινίζει όταν δεν έχει γίνει επαρκής λίπανση. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ο λεγόμενος 'μάρτυρας' δηλαδή κάποια μικρή έκταση μέσα στο κτήμα που προστέθηκε η απαιτούμενη ποσότητα άζωτου ώστε να έχει το έντονο χρώμα (πράσινο) ενός φυτού με πλήρη επάρκεια αζώτου. Κατά τη λειτουργία του συστήματος έγινε σύγκριση του χρώματος του σιταριού σε κάθε

σημείο του χωραφιού με το μάρτυρα και έτσι υπολογίστηκε η διαφορά στο χρώμα η οποία εν τέλει καθορίζει και την ποσότητα του λιπάσματος που πρέπει να εφαρμοστεί.

Αυτό που κάνει το μηχάνημα επί της ουσίας είναι να μετρά την απόκλιση του δείκτη βλάστησης του μάρτυρα με την πλήρη λίπανση με τον αντίστοιχο δείκτη που μετρούν οι κάμερες (αισθητήρες) σε πραγματικό χρόνο από το χωράφι που είναι τοποθετημένες μπροστά από το τρακτέρ.

Όσο πιο μικρή είναι η απόκλιση στο χρώμα οι αισθητήρες στέλνουν εντολή στο μηχάνημα και ρυθμίζει αυτόματα το λιπασματοδιανομέα να μειώσει την δόση ενώ όσο μεγαλώνει η διαφορά τόσο αυξάνει την εφαρμοζόμενη δόση.

Η δοκιμή του νέου μηχανήματος έγινε σε χωράφια στην περιοχή της Μαγνησίας, τα οποία χωρίστηκαν σε δύο μέρη, το ένα μέρος λιπάνθηκε ομοιόμορφα και στο άλλο έγινε μεταβλητή εφαρμογή με το εν λόγω μηχάνημα.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από την εν λόγω εφαρμογή του συστήματος μεταβλητής λίπανσης συνδυαζόμενου με οπτικούς αισθητήρες είναι το εξής:

Πρώτον παρατηρήθηκε κατά μέσο όρο 20% μείωση του λιπάσματος αζώτου. Δεύτερον παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής κατά 5,5%. Ενώ παρατηρήθηκε εξοικονόμηση της τάξης του 4,5 €/στρέμμα αλλά και σημαντική ωφέλεια προς το περιβάλλον. [53]

### 8.3.2 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε ελαιώνες

Σε ελαιώνες στην περιοχή Γαργαλιάνων Μεσσηνίας, η παραγωγή χαρτογραφήθηκε σε διάστημα 4 ετών με ζύγιση των κιβωτίων και χρήση GPS για τον εντοπισμό των δέντρων. Διεξήχθη 3ετής ανάλυση εδάφους χρησιμοποιώντας αισθητήρες πεδίου (μηχανική σύνθεση, pH, οργανική ύλη, θρεπτικά συστατικά) και τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία χάρτη διαχείρισης θρεπτικών στοιχείων για τη διόρθωση του pH του εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να βελτιωθεί το pH του εδάφους και να εξοικονομηθούν σημαντικά χημικά λιπάσματα. [54][55]



### 8.3.3 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε αμπέλια

Η γεωργία ακριβείας ξεκίνησε το 2000 σε αμπελώνες στην περιοχή της Νέας Αγχιάλου Μαγνησίας, Κορινθίας και βόρειας Ελλάδας. Για την αξιολόγηση της ορθολογικής εφαρμογής του νερού, μετρήθηκαν η μεταβλητότητα της παραγωγής, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, η φαινομενική αγωγιμότητα του εδάφους, ο δείκτης βλάστησης, το υδάτινο δυναμικό αλλά και μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους μέσω αισθητήρων. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα σχεδιάστηκε τοπογραφικός εδαφολογικός χάρτης και σχεδιάστηκαν περιοχές διαφορικής άρδευσης του αμπελώνα. Η τελική εξοικονόμηση νερού είναι περίπου 20%. [54][55]

### 8.3.4 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε καλλιέργεια καρπουζιών

Μέσα από διετή χαρτογράφηση της παραγωγής, προσδιορίστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους σε καλλιέργεια καρπουζιών και έτσι διαπιστώθηκε η παραλλακτικότητα της παραγωγής. Με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που εφαρμόστηκε για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας, εξοικονομήθηκε νερό κατά 10%, ενώ κατά 10% αυξήθηκε η απόδοση του εμπορεύσιμου προϊόντος. [54][55]

### 8.3.5 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε καλλιέργεια μήλων

Η εφαρμογή αυτή ξεκίνησε το 2005 και πραγματοποιήθηκε αρχικά στην περιοχή της Πτολεμαΐδας και αργότερα στην περιοχή Αγιάς Λάρισας. Στα δέντρα μηλιάς έγινε καταγραφή δεδομένων βάση του μεγέθους, του χρώματος, της συνεκτικότητας καρπού αλλά και με βάση του βάρους των κιβώτιων συλλογής των καρπών. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα παρήχθη ο χάρτης καταγραφής απόδοσης παραγωγής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση και η ποιότητα των καρπών στον ίδιο οπωρώνα διέφεραν ευρέως και ότι στην πραγματικότητα δεν υπήρχαν χαρακτηριστικά υψηλής ποιότητας σε χωράφια με υψηλότερες αποδόσεις. Για την εκτίμηση της απόδοσης, φωτογραφήθηκαν τα δέντρα κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και ο δείκτης βλάστησης

μετρήθηκε σε όλη την καλλιεργητική περίοδο και δημιουργήθηκαν χάρτες μεταβλητότητας που σχετίζονται με την απόδοση. [54][55]

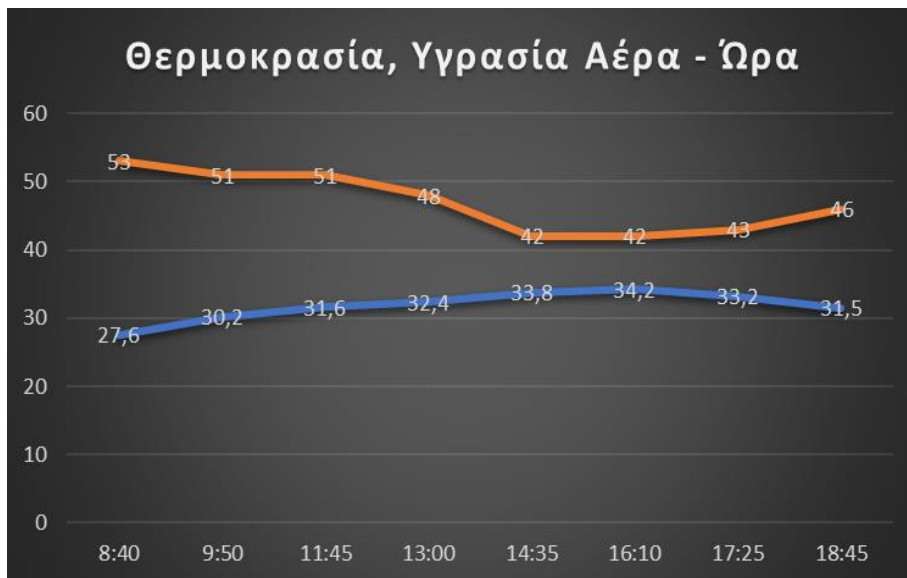
### 8.3.6 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε Καλλιέργεια Καλαμποκιού.

Η εν λόγω έρευνα διεξήχθη από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών στην περιοχή της Κωπαΐδας σε καλλιέργεια καλαμποκιού. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η απόκτηση δεδομένων για τις εδαφικές – κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν στην καλλιέργεια σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια της ημέρας, για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του υπόγειου συστήματος άρδευσης. Για την μελέτη αυτή τοποθετήθηκε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μέτρησης πεδίων. Πιο συγκεκριμένα τοποθετήθηκαν αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας αέρα, ατμοσφαιρικής υγρασίας, εδαφικής υγρασίας και εδαφικού pH. Οι αισθητήρες προγραμματίστηκαν να καταγράφουν τις τιμές μέτρησης κατά δεκαπέντε λεπτά. Οι ληφθείσες τιμές αποστέλλονταν μέσω μιας πύλης δικτύου χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας LoRa ( που έχει και την μεγαλύτερη εμβέλεια). Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του υπολογιστικού νέφους όπου και αναλύονται. Τέλος αφού γίνει η ανάλυση τους αποστέλλεται μέσω ειδικής εφαρμογής τα δεδομένα στον χρήστη. Οι τιμές μέτρησης των αισθητήρων που κατέγραψαν κατά την διάρκεια μίας ημέρας του Ιουνίου 2019 αναπαρίστανται στον Πίνακα 8.4

Πίνακας 8.4: Καταγεγραμμένες τιμές αισθητήρων στην διάρκεια της ημέρας.

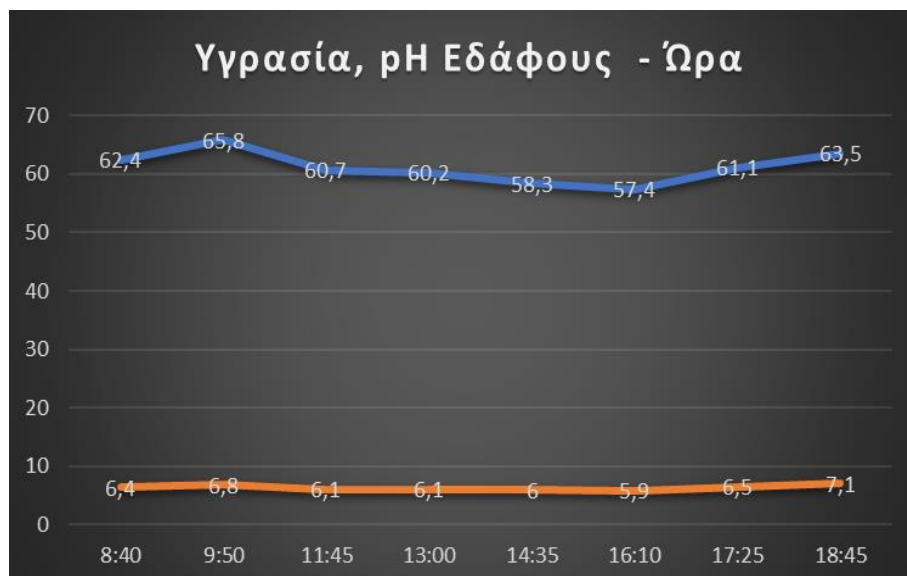
#	ΏΡΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ	ΕΔΑΦΙΚΗ	ΕΔΑΦΙΚΟ
		ΑΕΡΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ(%)	ΥΓΡΑΣΙΑ(%)	PH
1	8:40	27,6	53	62,4	6,4
2	9:50	30,2	51	65,8	6,8
3	11:45	31,6	51	60,7	6,1
4	13:00	32,4	48	60,2	6,1
5	14:35	33,8	42	58,3	6
6	16:10	34,2	42	57,4	5,9
7	17:25	33,2	43	61,1	6,5
8	18:45	31,5	46	63,5	7,1

Η Διακύμανση της Θερμοκρασίας Αέρα (°C) και της Ατμοσφαιρικής Υγρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας αναπαρίσταται στο Διάγραμμα 8.1.



Διάγραμμα 8.1: Θερμοκρασία – Υγρασία Αέρα συναρτήσεως της Ώρας.

Η Διακύμανση της Εδαφικής Υγρασίας(%) και του Εδαφικού pH κατά την διάρκεια της ημέρας αναπαρίσταται στο Διάγραμμα 8.2.



Διάγραμμα 8.2: Υγρασία – pH Εδάφους συναρτήσεως της Ώρας

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- 1) Η Θερμοκρασία αέρα είναι κανονική μέχρι τις 13:00 και από εκεί και έπειτα κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα για την εποχή.
- 2) Η Ατμοσφαιρική Υγρασία μέχρι τις 13:00 είναι σε φυσιολογικά επίπεδα και από εκεί και έπειτα είναι χαμηλή.
- 3) Η Εδαφική Υγρασία είναι υψηλή κατά τις πρωινές μετρήσεις αλλά και το βράδυ ενώ κατά την διάρκεια της ημέρας είναι σε κανονικές τιμές παρά την αυξημένη θερμοκρασία.
- 4) Το pH του εδάφους παρουσιάζει πτώση στις 16:10 και αύξηση πάνω από τα φυσιολογικά επίπεδα στις 18:45.

Με την εφαρμογή του παραπάνω συστήματος αισθητήρων κατά την περίοδο του Ιουνίου 2019 παρατηρήθηκε εξοικονόμηση νερού της τάξεως του 10%. [56]

## **8.4 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές Γεωργίας**

### **Ακριβείας στις καλλιέργειες**

Από τα αποτελέσματα που προέρχονται από τις εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

- Υπάρχει σαφής χωρική μεταβλητότητα ακόμη και σε μικρούς οπωρώνες. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η διαχείριση συγκεκριμένων τοποθεσιών αναμένεται να είναι επωφελής για τους αγρότες.
- Στις καλλιέργειες μήλων διακρίνεται η χρονική μεταβλητότητα ενώ στα αμπέλια σχηματίζονται πιο σταθερές ζώνες. Αυτό δείχνει ότι τα ιστορικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποφάσεις διαχείρισης χωρίς σταθερά αποτελέσματα.
- Η Μεταβλητότητα ποιότητας παρατηρήθηκε επίσης σε καλλιέργειες. Γενικά, η υψηλότερη απόδοση συνδέεται με χαμηλότερη ποιότητα.
- Η εκτίμηση του σθένους των καλλιεργειών στην αρχή της σεζόν (αρχές Ιουνίου) μπορεί να προσφέρει ένα εργαλείο για την πρόβλεψη της απόδοσης μεταβλητότητα και βοήθεια στη διαχείριση του οπωρώνα. [57][58]

## Κεφάλαιο 9 Συμπεράσματα και Προοπτικές του κλάδου

### 9.1 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας θεωρείται ως η πιο αποτελεσματική λύση για την αύξηση της παραγωγής, την βελτίωση της ποιότητας της καλλιέργειας αλλά και για την βέλτιστη χρήση των εισροών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια να αναλυθούν όλες οι τεχνολογίες από τις οποίες απαρτίζεται η Γεωργία Ακριβείας και πως αυτές εφαρμόζονται στην πράξη αλλά και τα αποτελέσματά τους.

Πρώτα από όλα παρουσιάστηκαν οι τεχνολογίες που αυτοματοποιούν τις εργασίες στις διάφορες καλλιέργειες (GPS, αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης) και προσφέρουν στους αγρότες την δυνατότητα να εξοικονομήσουν πολύτιμο χρόνο και χρήματα αλλά και τα συστήματα που τους δίνουν ολοκληρωμένη εικόνα των κτημάτων τους και της απόδοσης των προϊόντων τους.

Ένα δυναμικό ζήτημα το οποίο πάντα προβλημάτιζε τον αγροτικό κόσμο είναι η επιθεώρηση του αγρού, καθώς για αυτό απαιτείται πολύς χρόνος μιας και τα κτήματα μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Επιπλέον ο αγροτικός κόσμος ενδιαφέρεται να έχει ολοκληρωμένη εικόνα για τυχόν ασθένειες, απώλειες φυτών, σωστού ποτίσματος και λίπανσης. Ως εκ τούτου αναλύθηκε η επιστήμη της τηλεπισκόπησης και το πώς αυτή μπορεί να εφαρμοστεί στη Γεωργία Ακριβείας.

Ακριβώς για αυτό παρουσιάστηκε εκτενώς η τεχνολογία το Μη Επανδρωμένων Εναέριων Οχημάτων (UAV) τα λεγόμενα drones. Η τεχνολογία των drones στη γεωργία προσφέρει στους αγρότες σημαντική εξοικονόμηση Καυσίμων, βελτιωμένη απόδοση και περισσότερη κερδοφορία. Τα drones παρέχουν δυνατότητες καταγραφής εικόνων που βοηθούν στην αξιολόγηση της υγείας των φυτών, απλοποιούν και βελτιώνουν τις διαδικασίες του ψεκασμού και της σποράς, βοηθούν στην διαχείριση συστημάτων άρδευσης και άλλες δυνατότητες που αναλύονται στην διπλωματική η εργασία.

Επιπρόσθετα στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν τα ζητήματα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Πρόκειται για δεδομένα που αφορούν τις καλλιέργειες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους, το pH. Τα εν λόγω δεδομένα συλλέγονται και συνδράμουν καθοριστικά στη διατήρηση της διαχείρισης των καλλιεργειών και της βελτίωσης της παραγωγικότητας.

Για αυτό τον λόγο, κρίθηκε αναγκαία η ανάλυση σε βάθος των τεχνολογιών αισθητήρων που εφαρμόζονται στη γεωργία ακριβείας. Οι αισθητήρες χωρίστηκαν σε δυο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι «αισθητήρες χαρτογράφησης της παραγωγής» οι οποίοι τοποθετούνται κυρίως σε μηχανές συγκομιδής και παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της παραγωγής. Στη δεύτερη κατηγορία βρίσκονται οι λεγόμενοι «αισθητήρες πεδίου» οι οποίοι μετρούν τις διάφορες παραμέτρους του εδάφους (υγρασία, θερμοκρασία). Στην κατηγορία αυτή παρουσιάστηκαν ορισμένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα και αναλύθηκαν σε βάθος τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά ώστε να γίνει κατανοητό πώς επιτυγχάνεται η λειτουργία τους.

Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις προκύπτει το πρόβλημα της έξυπνης επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς αυτά δεν έρχονται δομημένα στο χρήστη. Εδώ δίνεται η λύση με την πρωτοποριακή τεχνολογία του διαδικτύου των πραγμάτων τη γεωργία ακριβείας. Με τη βοήθεια εργαλείων όπως μικροεπεξεργαστές αλλά και τεχνολογίες δικτύωσης (πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ συσκευών) γίνεται η αποστολή των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες. Έτσι τα δεδομένα από τον αγρό κατηγοριοποιούνται και αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αγρότες να παίρνουν καλύτερες και πιο έγκυρες αποφάσεις.

Η τεράστια ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης και της ρομποτικής δεν έχει αφήσει ανεπηρέαστο τον γεωργικό κλάδο. Επομένως στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν συστήματα ρομποτικής που εφαρμόζονται σε διάφορο φάσεις της καλλιέργειας (σπορά, ψεκασμό, λίπανση, συγκομιδή) αλλά και αναλύθηκε ο τρόπος λειτουργίας τους. Έτσι καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι μέσα από ρομποτικά συστήματα γίνεται πιο ορθολογική και αποτελεσματική η χρήση των λιπασμάτων αλλά και τον ζιζανιοκτόνων και επιπλέον

προφυλάσσεται σε μεγάλο βαθμό η ανθρώπινη υγεία. Ακολούθως εξετάστηκαν τα ρομποτικά συστήματα που εφαρμόζονται στην συγκομιδή και διερευνήθηκε ο τρόπος λειτουργίας τους καθώς είναι πολλά τα εμπόδια (ποικιλομορφία καρπών και εδάφους) που πρέπει να επιλυθούν για να είναι λειτουργικά αλλά παράλληλα να διασφαλίζεται η εξαιρετική ποιότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων.

Τέλος, μελετήθηκαν παραδείγματα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στον παγκόσμιο αλλά και στον ελλαδικό γεωργικό χώρο. Πιο συγκεκριμένα μέσα από την εφαρμογή drones για ψεκασμό σε ελαιώνες και αμπέλια προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα drones είναι πολύ πιο αποδοτικά καθώς μπορούν να καλύψουν τριπλάσια έκταση σε σχέση με τα συμβατικά ψεκαστικά, αλλά και μακροπρόθεσμα είναι μια πιο οικονομική λύση ότι απαιτείται μεγάλο αρχικό κεφάλαιο για την αγορά τους. Επιπρόσθετα, μέσα από την εφαρμογή VRA συστημάτων για λίπανση στην περιοχή της Μαγνησίας παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής αλλά και μείωση της ποσότητας του λιπάσματος σε σχέση με την συμβατική εφαρμογή. Ακόμα μέσα από άλλες εφαρμογές ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε καλλιέργειες έγινε αντιληπτή η εξοικονόμηση νερού αλλά και άλλων πόρων όπως λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων.

Με βάση όλα τα παραπάνω καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι οι τεχνολογίες και τα συστήματα Γεωργία Ακριβείας διαδραματίζουν τεράστιο ρόλο στην βελτίωση της παγκόσμιας οικονομίας και της παραγωγής αγροτικών προϊόντων αλλά και στην μείωση της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης που μαστίζει τον πλανήτη στις μέρες μας.

Τέλος για να αποσαφηνιστούν οι έννοιες της τεχνολογίας και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην Γεωργία Ακριβείας και που αναφέρονται σ' αυτή την εργασία παράχθηκε ο Πίνακας 9.1 που τα κατηγοριοποιεί με βάση την λειτουργία τους:

Πίνακας 9.1: Συγκεντρωτικός Πίνακας των Τεχνολογιών και των Συστημάτων.

<b>Τεχνολογίες</b>	<b>Συστήματα</b>
<b>GPS</b>	<b>Αυτόματης Πλοήγησης</b>
<b>GIS</b>	<b>Μεταβλητού Ρυθμού Εφαρμογών (VRA)</b>
<b>Χαρτογράφηση Παραγωγής ή Καλλιέργειας</b>	<b>Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα Drones</b>
<b>Τηλεπισκόπηση Καλλιέργειας</b>	<b>Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων</b>
<b>Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)</b>	<b>Τεχνητής Νοημοσύνης/Ρομποτικά</b>
	<b>Διαχείρισης των Δεδομένων</b>

## 9.2 Προοπτικές και Μελλοντική Έρευνα

Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία και αναπτύσσονται νέα συστήματα για να διευκολύνουν την ανθρώπινη ζωή τόσο θα εξελίσσεται και ο τομέας της γεωργίας. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση έδειξε ότι καταβάλλονται προσπάθειες στον τομέα της Γεωργία Ακριβείας για την ανάδειξη των τεχνολογιών που θα προσφέρουν μια αποδοτικότερη και πιο εύχρηστη λύση στις αγροτικές καλλιέργειες χωρίς να υπάρχει ωστόσο μια κοινώς αποδεκτή λύση, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται διαφορετικές τεχνολογίες για την ίδια περίπτωση χρήσης. [59]

Ένα ζήτημα το οποίο μένει ακόμα αναπάντητο έχει να κάνει με την επικοινωνία των αισθητήρων με τον ελεγκτή (Arduino Uno) όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες και υπάρχουν παρεμβολές. Πόσο μάλλον όταν θέλουμε τα δίκτυα αισθητήρων να λειτουργούν με χαμηλή ισχύ ώστε να υπάρχει μικρότερη κατανάλωση. [60]



Επίσης, οι αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης και νευρωνικών δικτύων (Convolutional Neural Networks – CNNs) μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη διαχείριση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων. Η προσθήκη τεχνητής νοημοσύνης στις εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας, που λειτουργούν με τη μηχανική μάθηση και τα νευρωνικά δίκτυα θα αυξήσουν σημαντικά την παραγωγικότητα της γεωργίας, και θα βελτιστοποιήσουν τη χρήση των φυσικών πόρων.

Πολύ ενδιαφέρον θα ήταν ακόμη από περιβαλλοντικής απόψεως και λόγω της αυξανόμενης ενεργειακής κρίσης, η μελέτη για το πώς η ηλιακή και αιολική ενέργεια θα γίνει κυρίαρχη για τη λειτουργία των αισθητήρων ώστε να είναι σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες λειτουργίας τους. Το γεγονός ότι αναμένεται πολλά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων να εγκατασταθούν σε όλο τον κόσμο, τα οποία δεν μπορούν να τροφοδοτηθούν από συμβατικές ηλεκτρικές πηγές καθιστά αναγκαία τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη λειτουργία τους, καθώς και την αποθήκευση αυτής της ενέργειας. Επιβάλλεται επιπλέον οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των επαναφορτιζόμενων μπαταριών που είναι υπεύθυνες για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας να είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. [61]

Επίσης μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να γίνει πάνω στην αξιολόγηση και την βελτίωση των συστημάτων άρδευσης. Όπως είναι γνωστό σπαταλούνται πάνω από τα δύο τρίτα του νερού για άρδευση με κατάκλιση ενώ παράλληλα να υπερποτίζονται τα φυτά, επηρεάζοντας την ανάπτυξή τους και μεταφέρεται περίσσεια λιπασμάτων σε ρυάκια και λίμνες, μολύνοντας πηγές γλυκού νερού. Η καινοτομία και η τεχνολογία στη γεωργία προσφέρουν στους αγρότες πιο βιώσιμους τρόπους για να παρέχουν επαρκή ποσότητα νερού στα φυτά. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να διερευνηθεί ένα έξυπνο IoT σύστημα άρδευσης. Η τεχνολογία μειώνει τη χρήση νερού έως και 50% και βελτιώνει την ποιότητα των καλλιεργειών. [63]

Περαιτέρω έρευνα θα ήταν δυνατό να διερευνηθεί τον τρόπο που θα γίνει η υιοθέτηση της τεχνολογίας και η δημιουργία έξυπνων γεωργικών εφαρμογών που να είναι εύκολα κατανοητές από τους ίδιους τους αγρότες. Τέλος θα πρέπει να αναδειχτούν βιώσιμες και φθηνές λύσεις σε συνδυασμό με την ελεύθερη πρόσβαση στο Internet των αγροτικών

περιοχών, ώστε η αφομοίωση των νέων τεχνολογιών να γίνεται πιο εύκολα από τους μικρομεσαίους αγρότες. [64]

## Βιβλιογραφία

- [1] Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ.,. «Γεωργία ακριβείας». [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα :Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015, p 45-58. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2670>
- [2] Χρήστος Γ. Καρυδάς και Νικόλαος Γ. Συλλαίος , «Πεδία και τρόποι καταγραφής της παραλλακτικότητας στη γεωργία ακριβείας» , Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Σχολή Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, [Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και GIS, ΑΠΘ](#)
- [3] [https://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](https://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)
- [4] <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias>
- [5] <https://grindgis.com/blog/30-uses-of-gps-in-agriculture>
- [6] Φλωράς, Σ. «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών». Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2004.
- [7] Guillermo P. Moreda, «Automated guidance of agricultural machinery», SPARKLE, CC BY-SA 4.0 International, in Marco Vieri , 2020.
- [8] Farmacon Team - Χαρού Αναστασία - Γεωπόνος Α.Π.Θ. (Φυτοπροστασία), "Γεωργία ακριβείας: βασικές τεχνολογίες και έννοιες" <https://blog.farmacon.gr>
- [9] Χ. Γ. Καρυδάς και Ν. Γ. Συλλαίος, «Γεωργία Ακρίβειας: Περιγραφή της μεθόδου», 2000.
- [10] Ελληνική Εταιρεία Επιχειρησιακών Ερευνών, «Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές.» 2° ειδικό συνέδριο «Πληροφοριακά συστήματα στον Αγροτικό Τομέα», Χανιά, 10/2000
- [11] Sinha, N. K., Mohanty, M., Somasundaram, J., Shinogi, K. C., Hati, K. M., & Chaudhary, R. S. «Application of Remote Sensing in Agriculture.», IEEE EUROCON, 2018, pp 5-10.
- [12] Marek Wójtowicz , Andrzej Wójtowicz , Jan Piekarczyk, "Application of remote sensing methods in agriculture.", CCISP, Review Article, 2020, pp 1-12.

- [13] Qiang Ren, Rongde Zhang, Wanlin Cai, Xinfeng Sun<sup>4</sup> and Limeng Cao, "Application and Development of New Drones in Agriculture", Research Paper, ESMA 2019, pp 1– 4.
- [14] Meng Fanbin, Zhang Yunpeng. "Application and Prospect of UAV Technology in Agriculture.", 7th International Conference on Communication, Image and Signal Processing (CCISP), 2022, pp 2-4.
- [15] [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)
- [16] Μάριος Πραπόπουλος, "Green Agenda : Γεωργία Ακριβείας και UAV's.", (τελευταία ενημέρωση 2018), <https://agrenda.gr>
- [17] Professor Qin Zhang N. Zhang, M. Wang, "Computers and Electronics in Agriculture.", Book, Volume 195, 2022.
- [18] Muharrem Keskin, Young J. Han, Roy B. Dodd. "A Review of Yield Monitoring Instrumentation Applied to the Combine Harvesters for Precision Agriculture Purposes.", 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, Adana, 1999, pp 2-5.
- [19] "Soil Sensor Technologies." Electronic Article, 2020. <https://soilsensor.com/sensors>
- [20] Heyu Yin, Yunteng Cao, Benedetto Marelli, Xiangqun Zeng, Andrew J. Mason, and Changyong, "Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture.", 46th international conference on system science, Review Article, 2021, pp 1-8.
- [21] J. M. Kevin, "Methods of Soil Analysis: Part 4.", Physical Methods Soil Science Society of America, Madison, WI, USA 2002, pp 2-12.
- [22] T. Wasson, T. Choudhury, S. Sharma and P. Kumar, "Integration of RFID and sensor in agriculture using IOT," 2017 International Conference on Smart Technologies for Smart Nation, pp 4-6.

- [23] Νικόλαος Λαλούσης, «Μελέτη τεχνολογιών δικτύωσης και συλλογής πληροφορίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων για εφαρμογές στην γεωργία ακριβείας.», Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακού Τίτλου Σπουδών, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 2020, pp 15-35,40-65.  
[https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/44207/1/112931\\_%CE%9B%CE%91%CE%9B%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%97%CE%A3\\_%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%9B%CE%91%CE%9F%CE%A3.pdf](https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/44207/1/112931_%CE%9B%CE%91%CE%9B%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%97%CE%A3_%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%9B%CE%91%CE%9F%CE%A3.pdf)
- [24] S. S. Nielsen, «Food Analysis», 4th ed., Springer Science and Business Media, 6<sup>th</sup> International Conference on Smart Technologies for Smart Nation, New York 2010.
- [25] K. L. Krishna, O. Silver, W. F. Malende and K. Anuradha, "Internet of Things application for implementation of smart agriculture system," 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, 2017
- [26] S. Heble, A. Kumar, K. V. V. D. Prasad, S. Samirana, P. Rajalakshmi and U. B. Desai, "A low power IoT network for smart agriculture," 2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Singapore, 2018, pp 1-5.
- [27] Uferah Shafi , Rafia Mumtaz , José García-Nieto , Syed Ali Hassan , Syed Ali Raza Zaidi and Naveed Iqbal, "Review - Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications", 2019, pp: 2-19.  
<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/17/3796>
- [28] Pallavi Sethi, Smruti R. Sarangi, 2017, "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications", Journal of Electrical and Computer Engineering, Volume 2017, Article ID 9324035
- [29] <https://www.mokosmart.com/el/iot-in-agriculture>
- [30] M. Bacco et al., "Smart farming: Opportunities, challenges and technology enablers," 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany), Tuscany, 2018
- [31] <https://nationaldigitalacademy.gov.gr/mathimata/technologies-aixmhs-6/eisagwgh-sthn-aeiforikh-gewrgia-akrubeias-280>

- [32] G. Deepika and P. Rajapirian, "Wireless sensor network in precision agriculture: A survey," 2016 International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS), Pudukkottai, 2016, pp 12-18.
- [33] K. V. d. Oliveira, H. M. Esgalha Castelli, S. José Montebeller and T. G. Prado Avancini, "Wireless Sensor Network for Smart Agriculture using ZigBee Protocol," 2017 IEEE First Summer School on Smart Cities (S3C), Natal, 2017
- [34] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, 2018.
- [35] Chris Lytridis , Vassilis G. Kaburlasos , Theodore Pachidis , Michalis Manios, Eleni Vrochidou , Theofanis Kalampokas and Stamatis Chatzistamatis, "An Overview of Cooperative Robotics in Agriculture", Human-Machines Interaction (HUMAN) Lab, Department of Computer Science, International Hellenic University (IHU), Kavala, Greece, 2021, pp 2-23.
- [36] Mohd Saiful Azimi Mahmud, Mohamad Shukri Zainal Abidin, Abioye Abiodun Emmanuel and Hameedah Sahib Hasan, "Robotics and Automation in Agriculture: Present and Future Applications.", School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University Teknologi, Malaysia, 2020, pp 2-10.
- [37] S. N. Neha, V. S. Virendra and R. D. Shruti, "Precision agriculture robot for seeding function.", International Conference on Inventive Computation Technologies, 2016.
- [38] N. Chao, W. Dongyi, V. Robert, H. Maxwell and T. Yang, "Automatic inspection machine for maize kernels based on deep convolutional neural networks, Biosystems Engineering", China, 2019.
- [39] M. S. A. Mahmud, M. S. Zainal Abidin, Z. Mohamed, M. K. I Abd Rahman and I. Michihisa, "Multi-objective path planner for an agricultural mobile robot in a virtual greenhouse environment.", Computers and Electronics in Agriculture, 157, 2019

- [40] H. Z. Mohd, A. Khalina, M. Norkhairunnisa, S. Z. Edi, E. L. Kan and N. N. Mohd, "Automated spray up process for Pineapple Leaf Fibre hybrid biocomposites.", *Composites Part B: Engineering*, 2019, pp 177-189.
- [41] Z. Yuanshen, G. Liang, H. Yixiang and L. Chengliang, "A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot.", *Computers and Electronics in Agriculture*, 2016, pp 126-140.
- [42] O. Elijah, T. A. Rahman, I. Orikumhi, C. Y. Leow and M. N. Hindia, "An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, 2018.
- [43] <https://theiotmagazine.com/iot-in-agriculture-why-it-is-a-future-of-connected-farming-world-70b64936627c>
- [44] M. K. Gayatri, J. Jayasakthi and G. S. A. Mala, "Providing Smart Agricultural solutions to farmers for better yielding using IoT," 2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), Chennai, 2015
- [45] Hill, P., «Machinery: Robotriks Autonomous Platform Is Low-Cost Farm Assistant, Future Farming,», *Proceedings of 13th Engineering Forum of School of Engineering, The Federal Polytechnic, Ado-Ekit, Misset Uitgeverij*, 2020.
- [46] Erinle Tunji John, Oladebeye, Dayo Hephzibah Oladipo, Isaac Olaposi , «A Review of the Agricultural Robot as a Viable Device for Productive Mechanized Farming», *Proceedings of 13th Engineering Forum of School of Engineering, The Federal Polytechnic, Ado-Ekiti*, 2021.
- [47] Claver H. "Machinery: WelASER Robot to Kill Weeds Using a Powerful Laser, Future Farming.", *Proceedings of 14th Engineering Forum of School of Engineering Misset Uitgeverij*, 2021.
- [48] Gupta, S.G.; Ghonge, M.M.; Jawandhiya, P., "Review of unmanned aircraft system (UAS).", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology(IJARCET) (IJARCET)*, Warsaw, 2013, pp 1-13.
- [49] Yang, G., Liu, J., Zhao C., Li Z., Huang Y., Yu H., Xu B., Yang X., Zhu D., Zhang X., "Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: Current status and perspectives." *Frontiers Plant Science*, 2017, pp 3 – 18.

- [50] Dimosthenis C. Tsouros , Stamatia Bibi and Panagiotis G. Sarigiannidis, “A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture.”, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Western Macedonia, Kozani, Greece, 2019.
- [51] Pablo Antonio Morales-Rodríguez , Eugenio Cano Cano, Jaime Villena and Jesús Antonio López-Perales , “A Comparison between Conventional Sprayers and New UAV Sprayers: A Study Case of Vineyards and Olives in Extremadura (Spain).” University of Castilla-La Manch, Spain, 2022, pp 4-16.
- [52] Radoglou-Grammatikis, P.; Sarigiannidis, P.; Lagkas, T.; Moscholios, I., “A compilation of UAV applications for precision agriculture.” Computer Networks, Greece, 2020.
- [53] <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/1816-georgia-akriveias-sto-skliro-sitari-metavlites-doseis-azotoyxou-lipansis>
- [54] Lencses E., Takacs I. and Takacs-Gyoergy, K., “Farmers' Perception of Precision Farming Technology among Hungarian Farmers. Sustainability.”, Edition 6, 8452-8465, 2014.
- [55] Χαρού Αναστασία, “Farmacorn : Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα, ανά καλλιέργεια.”, (τελευταία ενημέρωση 2016) <https://blog.farmacon.gr/>
- [56] Eleni Symeonaki, Konstantinos Arvanitis , and Dimitrios Piromalis, « A Context-Aware Middleware Cloud Approach forIntegrating Precision Farming Facilities into the IoTtoward Agriculture 4.0.» , Greece, 2020, pp 19-23.
- [57] <https://masschallenge.org/article/agriculture-innovation>
- [58] Theofanis Gemtos, S. Fountas, A. Tagarakis, V. Liakosa , “Precision Agriculture Application in Fruit Crops: Experience in Handpicked Fruits.”, 6th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA), 2013.
- [59] S. Marios and J. Georgiou, "Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring," 2017 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), Turin, 2017



- [60] Lallensack, R., «Five Roles Robots Will Play in the Future of Farming.» Agriculture Business Engineering Farming Robo, USA, 2019. [www.smithsonianmag.com](http://www.smithsonianmag.com)
- [61] Chandra Prakash and Rakesh Kumar Saini, “IoT-based Monitoring and Controlling of Crop Field and Induction Motor Protection from Voltage Fluctuation.”, School of Computing, DIT University, Dehradun, Uttarakhand, India, 2020
- [62] <https://www.opengrowth.com/resources/drone-technology-in-agriculture>
- [63] Vorotnikov, V., “Machinery: New Russian Agricultural Robot is on Track to Field Trials.”, Future Farming, Russia, 2020
- [64] <https://geonadir.com/types-environmental-sensors-for-drones>