



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Μελέτη διείσδυσης της γεωργίας ακριβείας και των σύγχρονων τεχνολογιών στον χώρο της Ευρώπης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Κατερίνας Πλιάκη

Επιβλέπων: Σταματία Μπίμπη

Επίκουρη Καθηγήτρια

ΚΟΖΑΝΗ/ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ/2022



HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
& COMPUTER ENGINEERING

A survey on precision agriculture techniques in Europe

THESIS

Katerina Pliaki

SUPERVISOR: Stamatia Bibi

Assistant Professor

KOZANI/OCTOBER/2022



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Μελέτη διείσδυσης της γεωργίας ακριβείας και των σύγχρονων τεχνολογιών στον χώρο της Ευρώπης” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Σταματία Μπίμπη αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. 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. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Κατερίνα Πλιάκη, Σταματία Μπίμπη, 2022, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: 

Περίληψη

Στο σύγχρονο κόσμο η τεχνολογία αποτελεί το μεγαλύτερο εργαλείο των ανθρώπων για την αντιμετώπιση προβλημάτων παγκοσμίου επιπέδου. Σε μια εποχή όπου η οικολογική καταστροφή σε συνδυασμό με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, καθώς και τις έντονες ανησυχίες για αδυναμία επισιτισμού, είναι επιτακτική η ανάγκη της ανάπτυξης της έξυπνης γεωργίας, για την εξασφάλιση της αποδοτικότερης εκμετάλλευσης των γεωργικών εκτάσεων συνοδευόμενη με το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με την γεωργία ακριβείας, η οποία στοχεύει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης καλλιεργειών μέσω της παρατήρησης, της μέτρησης και της ανταπόκρισης στη μεταβλητότητα των γεωργικών εκτάσεων. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας πληροφοριών, η οποία είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία, αποθήκευση, ανάκτηση και ανταλλαγή όλων των ειδών ηλεκτρονικών δεδομένων και πληροφοριών, η γεωργία ακριβείας αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, την λήψη αποφάσεων και την ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων συστημάτων, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση τόσο της παραγωγικότητας όσο και της ποιότητας των προϊόντων όπως επίσης και την μείωση του κόστους παραγωγής.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει στον αναγνώστη, ο οποίος μπορεί να είναι είτε αγρότης είτε ερευνητής, τα οφέλη που προσφέρει η γεωργία ακριβείας αλλά και οι προκλήσεις κατά την υιοθέτηση τέτοιου είδους τεχνολογιών. Επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται τόσο κατά την συλλογή δεδομένων από τις γεωργικές εκτάσεις όσο και κατά την ανάλυση και αξιοποίηση αυτών.

Τέλος παρατίθεται το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια της έρευνας, η οποία πραγματοποιήθηκε σε ευρωπαϊκό επίπεδο, συνοδευόμενο με τα αποτελέσματα της έρευνας και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση τους.

Λέξεις-Κλειδιά: Έξυπνη γεωργία, γεωργία ακριβείας, συλλογή δεδομένων, επεξεργασία δεδομένων.

Abstract

In the modern world, technology is the greatest tool for people to deal with global problems. At a time when ecological catastrophe combined with global population growth, as well as strong concerns about malnutrition, is imperative to develop smart farming to ensure the most efficient use of agricultural land accompanied by the least possible environmental imprint.

This can be achieved with precision agriculture, which aims to optimize crop management through observation, measurement and response to agricultural land variability. With the help of information technology, which is responsible for the processing, storage, retrieval and exchange of all kinds of electronic data and information, precision agriculture is an important tool for crop monitoring, decision making and the integration of automated systems, having as a result of increasing both productivity and product quality as well as reducing production costs.

The aim of this dissertation is to present to the reader, who can be either a farmer or a researcher, the benefits of precision farming and the challenges in adopting such technologies. The technologies used both in the collection of data from agricultural areas and in their analysis and utilization are also presented in detail.

Finally, the questionnaire used during the survey, which was conducted at European level, is presented, accompanied by the results of the survey and the conclusions that emerged from their analysis.

Keywords: Smart farming, precision agriculture, data collection, data processing.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή.....	15
1.1 Γεωργική τεχνολογία.....	15
1.1.1 Ιστορική αναδρομή.....	15
1.1.2 Δεύτερη αγροτική επανάσταση.....	16
Κεφάλαιο 2 – Γεωργία ακριβείας.....	17
2.1 Ορισμός.....	18
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	19
2.3 Τρέχουσα κατάσταση.....	21
2.3.1 Υιοθέτηση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας σε Ελλάδα και Ευρώπη.....	22
2.3.2 Ευρωπαϊκά προγράμματα ενίσχυσης γεωργίας ακριβείας.....	23
2.3.3 Ευρωπαϊκές ερευνητικές ομάδες.....	27
2.3.4 Λόγοι περαιτέρω προώθησης της Γεωργίας Ακριβείας και τρόποι προώθησης.....	31
2.4 Τεχνολογία Πληροφοριών (information technology) και γεωργία ακριβείας.....	37
2.5 Οφέλη.....	38
2.6 Προκλήσεις.....	42
Κεφάλαιο 3 - Τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας.....	46
3.1 Συλλογή δεδομένων.....	47
3.1.1 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη.....	47
3.1.1 Μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους.....	55
3.1.3 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.....	60
3.1.4 Διαδίκτυο των πραγμάτων.....	68
3.2 Ανάλυση δεδομένων.....	75
3.2.1 Σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων.....	76
3.2.2 Μηχανική μάθηση.....	81
3.2.3 Επεξεργασία εικόνας.....	90
Κεφάλαιο 4 – Σχεδιασμός μελέτης περιπτώσεων.....	101
4.1 Στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα.....	101
4.2 Επιλογή περίπτωσης και μονάδες ανάλυσης.....	103
4.3 Συλλογή δεδομένων.....	104
4.4 Ανάλυση δεδομένων.....	104
Κεφάλαιο 5 - Παρουσίαση ερωτηματολογίου και ανάλυση αποτελεσμάτων.....	106
5.2 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων ερωτηματολογίων.....	113

5.3 Συμπεράσματα έρευνας	148
5.3.1 Συμπεράσματα των συνεντεύξεων των συμμετεχόντων του SmartRoot.....	149
5.3.2 Συμπεράσματα της στατιστικής ανάλυσης του ερωτηματολογίου.....	152
Κεφάλαιο 6 – Βιβλιογραφία.....	154

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Μέσος όρος αγροτικών εκτάσεων στην Ευρώπη το 2000.....	22
Εικόνα 2: Απόψεις των Ελλήνων σχετικά με την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας	23
Εικόνα 3: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας	48
Εικόνα 4: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη περιστροφικής πτέρυγας.....	49
Εικόνα 5: Το Boniob μαζί με μετρητή διείσδυσης εδάφους.....	58
Εικόνα 6: Εφαρμογή ζιζανιοκτόνου με χρήση έξυπνου ψεκασμού	60
Εικόνα 7: Αισθητήρες περιεκτικότητας του εδάφους σε υγρασία.....	61
Εικόνα 8: Αισθητήρας θερμοκρασίας	63
Εικόνα 9: Ο κύκλος της έξυπνης γεωργίας.....	71
Εικόνα 10: Διάγραμμα ερωτήσεων	112
Εικόνα 11: Ηλικιακή ομάδα συμμετεχόντων (αγγλικό ερωτημ.)	113
Εικόνα 12: Ηλικιακή ομάδα συμμετεχόντων (ελληνικό ερωτημ.)	113
Εικόνα 13: Εκπαιδευτικό επίπεδο συμμετεχόντων (αγγλικό ερωτημ.).....	114
Εικόνα 14: Εκπαιδευτικό επίπεδο συμμετεχόντων (ελληνικό ερωτημ.).....	114
Εικόνα 15: Δουλειά συμμετεχόντων (αγγλικό ερωτημ.)	115
Εικόνα 16: Δουλειά συμμετεχόντων (ελληνικό ερωτημ.).....	115
Εικόνα 17: Πληροφορίες σχετικά με την εταιρία (αγγλικό ερωτημ.).....	116
Εικόνα 18: Πληροφορίες σχετικά με την εταιρία (ελληνικό ερωτημ.).....	116
Εικόνα 19: Έκταση καλλιεργειών (αγγλικό ερωτημ.)	117
Εικόνα 20: Έκταση καλλιεργειών (ελληνικό ερωτημ.)	117
Εικόνα 21: Είδος καλλιεργειών (ελληνικό ερωτημ.)	118
Εικόνα 22: Χώρα-έδρα εταιριών (αγγλικό ερωτημ.)	118
Εικόνα 23: Υιοθέτηση ή μη της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)	119
Εικόνα 24: Υιοθέτηση ή μη της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)	119
Εικόνα 25: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών (αγγλικό ερωτημ.).....	120
Εικόνα 26: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών (ελληνικό ερωτημ.).....	120
Εικόνα 27: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών (αγγλικό ερωτημ.).....	121
Εικόνα 28: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών (ελληνικό ερωτημ.).....	121
Εικόνα 29: Μελλοντικά σχέδια σχετικά με την έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.)	122
Εικόνα 30: Μελλοντικά σχέδια σχετικά με την έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.)	122

Εικόνα 31: Γεωργικές πρακτικές όπου εφαρμόζεται η έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.) ...	123
Εικόνα 32: Γεωργικές πρακτικές όπου εφαρμόζεται η έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.) .	123
Εικόνα 33: Οφέλη της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)	124
Εικόνα 34: Οφέλη της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)	125
Εικόνα 35: Εμπόδια της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)	126
Εικόνα 36: Εμπόδια της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)	126
Εικόνα 37: Πηγές πληροφοριών των αγροτών (αγγλικό ερωτημ.)	127
Εικόνα 38: Πηγές πληροφοριών των αγροτών (ελληνικό ερωτημ.)	128
Εικόνα 39: Φορείς με τους οποίους συνεργάζονται οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)	129
Εικόνα 40: Φορείς με τους οποίους συνεργάζονται οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)	129
Εικόνα 41: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)	130
Εικόνα 42: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)	131
Εικόνα 43: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)	132
Εικόνα 44: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)	132
Εικόνα 45: Μελλοντικά σχέδια υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)	133
Εικόνα 46: Μελλοντικά σχέδια υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.).....	134
Εικόνα 47: Γεωργικές πρακτικές για τις οποίες οι αγρότες θα υιοθετούσαν την έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.)	134
Εικόνα 48: Γεωργικές πρακτικές για τις οποίες οι αγρότες θα υιοθετούσαν την έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.)	135
Εικόνα 49: Οφέλη που πείθουν τους αγρότες να υιοθετήσουν την έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.)	136
Εικόνα 50: Οφέλη που πείθουν τους αγρότες να υιοθετήσουν την έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.)	136
Εικόνα 51: Εμπόδια που αποτρέπουν την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)	137
Εικόνα 52: Εμπόδια που αποτρέπουν την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)	137

Εικόνα 53: Πηγές πληροφόρησης για την διάδοση της υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)	138
Εικόνα 54: Πηγές πληροφόρησης για την διάδοση της υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)	139
Εικόνα 55: Φορείς με τους οποίους είναι διατεθειμένοι να συνεργαστούν οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)	140
Εικόνα 56: Φορείς με τους οποίους είναι διατεθειμένοι να συνεργαστούν οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)	140
Εικόνα 57: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών που αναπτύσσονται στις τεχνολογικές εταιρίες	141
Εικόνα 58: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών που αναπτύσσονται στις τεχνολογικές εταιρίες	142
Εικόνα 59: Απαίτηση ή μη αλλαγών στα υπάρχοντα συστήματα	142
Εικόνα 60: Έκταση καλλιεργειών των πελατών των τεχνολογικών εταιριών	143
Εικόνα 61: Γεωργικές πρακτικές στις οποίες επικεντρώνονται οι τεχνολογικές εταιρίες κατά την ανάπτυξη της έξυπνης γεωργίας	144
Εικόνα 62: Οφέλη της έξυπνης γεωργίας βάσει των τεχνολογικών εταιριών	145
Εικόνα 63: Προκλήσεις για την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας βάσει των τεχνολογικών εταιριών	146
Εικόνα 64: Προκλήσεις κατά την ανάπτυξη της έξυπνης γεωργίας	147
Εικόνα 65: Έλλειψη ενημερωτικών προγραμμάτων σχετικά με την έξυπνη γεωργία.....	148

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα στη γεωργία ακριβείας.....	20
Πίνακας 2: Σύγκριση διαφορετικών τύπων ΜΕΑ.....	50
Πίνακας 3: Ανάλυση δεδομένων.....	105

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια εισαγωγή για το αντικείμενο το οποίο πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία, και πιο συγκεκριμένα για την γεωργική τεχνολογία και για τον τρόπο με τον οποίο αναπτύχθηκε κατά το πέρασμα των αιώνων ώστε να καταλήξουμε στην σημερινή εποχή και την αυτοματοποίηση πολλών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στις καλλιέργειες. Αρχικά πραγματοποιείται σύντομη αναδρομή στο παρελθόν ενώ στη συνέχεια αναλύεται η δεύτερη αγροτική επανάσταση, που αποτελεί την απαρχή της γεωργίας ακριβείας.

1.1 Γεωργική τεχνολογία

Η γεωργική τεχνολογία είναι η τεχνολογία που παράγει μηχανές, οι οποίες εφαρμόζονται στις καλλιέργειες προκειμένου να συμβάλλουν στη βελτίωση του πρωτογενή τομέα. Τα γεωργικά μηχανήματα έχουν σχεδιαστεί για σχεδόν κάθε στάδιο της γεωργικής διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα τα μηχανήματα αυτά χρησιμοποιούνται για την άρωση του εδάφους, τη φύτευση σπόρων, την άρδευση της γης, την καλλιέργεια των αγροτικών εκτάσεων, την προστασία τους από παράσιτα και ζιζάνια, τη συγκομιδή, τον αλωνισμό των σιτηρών, τη διατροφή των ζώων και τη συγκέντρωση και συσκευασία των προϊόντων. Οι μηχανικοί γεωργίας έχουν εκπαιδευτεί κατάλληλα στο σχεδιασμό των γεωργικών μηχανημάτων, του εξοπλισμού και των κατασκευών. Η γεωργική τεχνολογία αποτελεί έναν από τους πιο επαναστατικούς και επιδραστικότερους τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας, γεγονός που οφείλεται στη σημαντική ανάγκη για διατροφή ενός συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού. Κι έτσι σηματοδότησε μια νέα εποχή κατά την οποία τα μηχανήματα εκτελούν τις δραστηριότητες, οι οποίες στο παρελθόν πραγματοποιούνταν από ανθρώπους ή και από ζώα, όπως βόδια και άλογα. Αποτέλεσμα αυτών των επαναστατικών πρακτικών είναι η μαζική αύξηση της παραγωγής των καλλιεργειών και η πολύ μεγάλη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο απασχολούνται οι άνθρωποι και παράγουν τρόφιμα σε παγκόσμιο επίπεδο. Γνωστό παράδειγμα γεωργικών μηχανημάτων είναι το τρακτέρ, ενώ πιο πρόσφατα έχουν προστεθεί τα αεροχήματα [1].

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Κατά τη μεγάλη ιστορία της γεωργίας έχουν πραγματοποιηθεί πολλές τεχνολογικές εξελίξεις, μέσω διάφορων αγροτικών επαναστάσεων, οι οποίες εφαρμόζουν σημαντικές αλλαγές στη γεωργική πρακτική και την παραγωγικότητα. Οι επαναστάσεις αυτές συνδέονται με ποικίλες τεχνολογικές βελτιώσεις, με το πιο σημαντικό σημείο της εξέλιξης της γεωργικής τεχνολογίας να αποτελεί η Βιομηχανική Επανάσταση, η οποία μέσω της εισαγωγής των γεωργικών

μηχανημάτων οδήγησε στη μηχανοποίηση των γεωργικών δραστηριοτήτων, αυξάνοντας με το τρόπο αυτό σε μεγάλο βαθμό την παραγωγικότητα των εργατών στον πρωτογενή τομέα. Στη σύγχρονη ιστορία της γεωργίας, τα μηχανήματα με κινητήρα έχουν αντικαταστήσει πολλές αγροτικές εργασίες που στο παρελθόν εκτελούνταν με χειρωνακτική εργασία ή με ζώα εργασίας όπως βόδια, άλογα ή μουλάρια. Κατά τον 19ο αιώνα πραγματοποιήθηκαν διάφορες αλλαγές στον πρωτογενή τομέα και πιο συγκεκριμένα η εισαγωγή της σύγχρονης πρόγνωσης καιρού καθώς και η εφεύρεση του συρματοπλέγματος. Επίσης οι φορητές και αλωνιστικές μηχανές δέχτηκαν βελτιώσεις με αποτέλεσμα να αυξηθεί υιοθέτησή τους. Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα πραγματοποιήθηκε σημαντική πρόοδος στη γεωργική τεχνολογία καθώς αναπτύχθηκαν τα συνθετικά λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα, τα νέα γεωργικά μηχανήματα, όπως τρακτέρ μαζικής παραγωγής και γεωργικά αεροσκάφη για εφαρμογή των φυτοφαρμάκων μέσω του εναέριου χώρου. Στην πρόσφατη ιστορία της γεωργικής τεχνολογίας σημειώνονται τα γεωργικά πλαστικά, οι γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες, η βελτιωμένη άρδευση με σταγόνες και οι τεχνικές καλλιέργειας χωρίς τη χρήση του εδάφους, όπως η υδροπονία και η αεροπονία. Στις πρώτες δεκαετίες του 21ου αιώνα παρατηρούμε την εφαρμογή των τεχνολογιών πληροφορίας. Πιο συγκεκριμένα στις καλλιέργειες πλέον χρησιμοποιούνται σύγχρονες τεχνολογίες όπως τα γεωργικά ρομπότ, τα γεωργικά drones και τα τρακτέρ χωρίς οδηγό, ενώ παράλληλα η ψηφιακή γεωργία και η γεωργία ακριβείας σημειώνουν πρόοδο με την ανάπτυξη και υιοθέτηση εκτεταμένων συλλογών δεδομένων και υπολογισμών με τελικό σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας των αγροτικών εκτάσεων. Επιπλέον η γεωργία ακριβείας περιλαμβάνει τομείς όπως η μελισσοκομία ακριβείας, η κτηνοτροφία ακριβείας και η αμπελοκαλλιέργεια ακριβείας [2].

1.1.2 Δεύτερη αγροτική επανάσταση

Η δεύτερη αγροτική επανάσταση ξεκίνησε στις αρχές του 1941 όταν το Ίδρυμα Ροκφέλερ έστειλε μια ομάδα για να ερευνήσει τη μεξικανική γεωργία, με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί το Μεξικάνικο Γεωργικό Πρόγραμμα. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα δούλεψε ο βιολόγος Norman Borlaug, ο οποίος ανέπτυξε το «θαυματουργό σιτάρι» το 1954, το οποίο μέσω των ιδρυμάτων Ροκφέλερ και Φορντ διαδόθηκε σε όλο τον κόσμο, τις δεκαετίες του 1950 και του 1960. Παράλληλα με τη βοήθεια της αμερικανικής κυβέρνησης προς το τέλος εκείνης της περιόδου προστέθηκαν στο μενού κι άλλες καλλιέργειες, κυρίως ρύζι. Μάλιστα με την κίνηση αυτή ο Norman Borlaug κέρδισε το Νόμπελ Ειρήνης το 1970, ενώ ακολούθησε το τέλος της δεύτερης αγροτικής επανάστασης, η οποία έγινε γνωστή και ως Πράσινη Επανάσταση. Το συγκεκριμένο όνομα προήλθε από τον William Gaud, σε μια συνάντηση της Εταιρείας Διεθνούς

Ανάπτυξης το 1968, στην οποία περιέγραψε τι είχε συμβεί ως αποτέλεσμα της αμερικανικής και φιλανθρωπικής χρηματοδότησης για λιπάσματα, άρδευση, βελτιωμένοι σπόροι, κρατική υποστήριξη και πίστωση: «Αυτές και άλλες εξελίξεις στον τομέα της γεωργίας περιέχουν τα φόντα μιας νέας επανάστασης. Δεν είναι μια ιώδης κόκκινη επανάσταση όπως αυτή των Σοβιετικών, ούτε είναι μια Λευκή Επανάσταση όπως αυτή του Σάχη του Ιράν. Το αποκαλώ Πράσινη Επανάσταση» [3]. Οι πρωτοβουλίες που εισήγαγε στον πρωτογενή τομέα η επανάσταση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των ποικιλιών υψηλής απόδοσης (HYV) δημητριακών. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν χημικά λιπάσματα, αγροχημικά και ελεγχόμενη παροχή νερού, συνήθως μέσω της άρδευσης, καθώς και νεότερες πρακτικές καλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της μηχανοποίησης. Όλες οι προαναφερόμενες τεχνολογίες θεωρήθηκαν ένα «πακέτο πρακτικών» το οποίο έχει ως σκοπό την αντικατάσταση της «παραδοσιακής» τεχνολογίας. Τα βασικά στοιχεία της συγκεκριμένης επανάστασης περιλάμβαναν: 1) χρήση των πιο πρόσφατων τεχνολογικών και κεφαλαιουχικών εισροών, 2) υιοθέτηση σύγχρονων επιστημονικών μεθόδων καλλιέργειας, 3) χρήση ποικιλιών σπόρων υψηλής απόδοσης, 4) σωστή χρήση χημικών λιπασμάτων, 5) ενοποίηση των εκμεταλλεύσεων γης, 6) χρήση διαφόρων μηχανολογικών μηχανημάτων. Μελέτες έχουν δείξει ότι η Πράσινη Επανάσταση, κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του '50 και του '60, συνέβαλε στη ευρεία μείωση της φτώχειας, απέτρεψε την πείνα για εκατομμύρια, αύξησε εισοδήματα, μείωσε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μείωσε τη χρήση γης για τη γεωργία και συνέβαλε στη μείωση της βρεφικής θνησιμότητας [4].

Κεφάλαιο 2 – Γεωργία ακριβείας

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και πιο συγκεκριμένα η εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας κατά την πάροδο των χρόνων. Επίσης παρουσιάζεται η κατάσταση που επικρατεί την σημερινή εποχή, τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα, με τα ποικίλα ερευνητικά προγράμματα τα οποία ενισχύουν την παρουσία της γεωργίας ακριβείας στον πρωτογενή τομέα. Στη συνέχεια αναλύεται η τεχνολογία πληροφοριών και πως αυτή χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας. Τέλος παρατίθενται τα οφέλη αλλά και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών.

2.1 Ορισμός

Η γεωργία ακριβείας είναι η εφαρμογή τεχνολογιών και αρχών για τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας που σχετίζεται με όλες τις πτυχές της γεωργικής παραγωγής με κύριο στόχο τη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών και της ποιότητας του περιβάλλοντος. Η γεωργία ακριβείας συνεισφέρει επίσης στην αντιστοίχιση των γεωργικών εισροών και πρακτικών σε τοπικές συνθήκες, στο πλαίσιο μιας καλλιέργειας προκειμένου να πραγματοποιηθεί η **σωστή διαδικασία**, στο **σωστό μέρος**, τη **σωστή στιγμή** και με τον **σωστό τρόπο**. Ο συγκεκριμένος τεχνολογικός τομέας ξεκίνησε να αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '80 και μέχρι σήμερα αν και έχει μεσολαβήσει μεγάλη πρόοδος στο ερευνητικό κομμάτι, βρίσκεται ακόμα στα πρώτα στάδια της υιοθέτησης του από τους αγρότες, οι οποίοι επιλέγουν μεμονωμένες τεχνολογίες κι όχι ολοκληρωμένα συστήματα της γεωργίας ακριβείας [5].

Η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιείται για την συλλογή, επεξεργασία και εξέταση δεδομένων που λαμβάνονται από τις καλλιέργειες. Πιο συγκεκριμένα η συλλογή πληροφοριών πραγματοποιείται με τη χρήση τεχνολογιών όπως των παγκοσμίων συστημάτων εντοπισμού θέσης, των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών καθώς και ποικίλων αισθητήρων για τον εντοπισμό της θέσης και της μεταβλητότητας της καλλιέργειας. Έτσι οι αγρότες έχουν πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών, οι οποίες μετά από κατάλληλη επεξεργασία συμβάλλουν στην σωστή διαχείριση και παρακολούθηση των καλλιεργειών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αύξηση της αποδοτικότητας, της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητα των γεωργικών διαδικασιών, σε μια πληθώρα δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα τόσο στις καλλιέργειες όσο και εκτός αυτών.

Η σωστή διαχείριση της μεταβλητότητας που εμφανίζεται στους γεωργικούς αγρούς, είναι μείζονος σημασίας, αφού επιτυγχάνεται αποδοτικότερη εφαρμογή των χημικών ουσιών. Η γεωργία ακριβείας συμβάλλει σημαντικά σε αυτό τον τομέα εφαρμόζοντας τα εξής βήματα: εκτίμηση, διαχείριση και αξιολόγηση της μεταβλητότητας. Η γνώση και η κατανόηση της μεταβλητότητας καθώς και ο βαθμός στον οποίο υπάρχουν διαθέσιμες γεωπονικές συστάσεις για τη διαχείριση της μεταβλητότητας, καθιστούν βιώσιμη τη γεωργία ακριβείας. Επίσης, επειδή τίποτα δεν είναι γνωστό με βεβαιότητα και πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την παραγωγή των καλλιεργειών, η αξιολόγηση πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος οποιουδήποτε γεωργικού συστήματος ακριβείας. Πιο συγκεκριμένα για να επιτευχθεί η διαχείριση της μεταβλητότητας χρησιμοποιούνται κατάλληλα συστήματα που μετρούν και κατανοούν την μεταβλητότητα και σε συνδυασμό με διάφορες πληροφορίες, τη χρήση συστάσεων διαχείρισης τοποθεσίας και μηχανισμών ελέγχου ακριβείας των εισροών των διαφόρων τοποθεσιών, πραγματοποιείται η

αντιστοίχιση εισροών και συνθηκών των χωραφιών. Με τον τρόπο αυτό η γεωργία ακριβείας διαχειρίζεται την μεταβλητότητα του εδάφους, μετράει και καταγράφει την αποτελεσματικότητα αυτών των πρακτικών, προκειμένου να αξιολογηθεί το αγρόκτημα [6].

Εκτός όμως από την συλλογή δεδομένων και τη διαχείριση της μεταβλητότητας, η γεωργία ακριβείας μπορεί να συνδράμει και σε άλλους τομείς όπως είναι ορισμένες χειρωνακτικές εργασίες όπως η συγκομιδή, ο ψεκασμός, η εφαρμογή φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων κλπ., μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την έκθεση του ανθρώπου σε χημικές ουσίες καθώς και τις πιθανότητες τραυματισμού των εργαζομένων [7].

2.2 Ιστορική αναδρομή

Οι αρχές του δεύτερου μισού του 20ού αιώνα αποτελούν το σημείο εκκίνησης της δεύτερης αγροτικής επανάστασης, γνωστή κι ως πράσινη επανάσταση, πυροδοτώντας μια σειρά αλλαγών στην αγροτική τεχνολογία όπως η χρήση ποικιλιών σπόρων υψηλής απόδοσης, χημικών λιπασμάτων, ποικίλων μηχανημάτων κλπ. [4]. Στη συνέχεια, και πιο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980, αναπτύχθηκε η θεωρία της γεωργίας ακριβείας, η οποία μετέπειτα έγινε γνωστή ως έξυπνη γεωργία, η οποία επικεντρώνονταν στην σάρωση των ανωμαλιών του εδάφους, τη βλάστηση και άλλες βασικές πτυχές των καλλιεργειών. Εστιάζοντας στις πιο φτωχές καλλιέργειες, οι αγρότες θα μπορούσαν να ξοδέψουν περισσότερα χρήματα και χρόνο στις περιοχές που απαιτούν επιπλέον προσοχή. Έτσι θα μπορούσαν να συντηρούν τις καλλιέργειες πριν προλάβουν να εμφανίσουν προβλήματα [8].

Πιο αναλυτικά το 1983 ξεκίνησε η χρήση των παγκοσμίων συστημάτων εντοπισμού θέσης (GPS) για μη στρατιωτικούς σκοπούς, έπειτα από ανακοίνωση του προέδρου των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, Ρόναλντ Ρίγκαν. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη, πραγματοποιήθηκαν έρευνες για την ανάπτυξη εξοπλισμού και μεθόδων για εφαρμογή των λιπασμάτων σε μεταβλητά ποσοστά [9]. Πιο συγκεκριμένα το 1985, ερευνητές του Πανεπιστημίου της Μινεσότα διαφοροποίησαν τις εισροές ασβέστη σε καλλιέργειες, ώστε να εξασφαλίσουν τόσο την αποδοτικότητα του χωραφιού όσο και την εξοικονόμηση του ασβέστη. Μετέπειτα εμφανίστηκε η πρακτική της δειγματοληψίας σε πλέγμα, η οποία προς τα τέλη της δεκαετίας του 1980, χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των πρώτων χαρτών εισόδου συστάσεων για λιπάσματα και διορθώσεις της ενεργούς οξύτητας (pH) [10].

Το 1992 εισήχθησαν για πρώτη φορά στην αγορά με επιτυχία, οι συσκευές παρακολούθησης απόδοσης σιτηρών. Οι τρεις προαναφερόμενες τεχνολογίες, δηλαδή τα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης σε συνδυασμό με την μεταβλητού ρυθμού εφαρμογή

λιπασμάτων και την παρακολούθηση της απόδοσης, αποτελούσαν το πακέτο «κλασικής γεωργίας ακριβείας» τη δεκαετία του 1990. Στη διάρκεια της ίδιας δεκαετίας κυκλοφόρησαν οι οδηγίες εξοπλισμού των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (GNSS), στην Αυστραλία και την Βόρεια Αμερική ενώ λίγο καιρό αργότερα άρχισαν να αναπτύσσονται ο αυτόματος έλεγχος για ψεκαστές και η αυτόματη απενεργοποίηση σειρών για φυτευτές. Με την βοήθεια των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των αισθητήρων εδάφους, δημιουργήθηκαν χάρτες μετρήσεων των αισθητήρων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την καθοδήγηση των αποφάσεων διαχείρισης των καλλιεργειών. Επίσης τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης κατέστησαν δυνατή την ανάπτυξη χαρτών εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και τη δημιουργία εξοπλισμού εφαρμογής αλγορίθμων αισθητήρων εν κινήσει.

Επίσης τα πρώτα χρόνια του 21^{ου} αιώνα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα τόσο για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, αρχικά σε πειραματικό στάδιο, όσο και για την επίτευξη αλλαγών στη συλλογή πληροφοριών τηλεπισκόπησης, καθώς πλέον η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται μέσω των ψηφιακών αισθητήρων, οι οποίοι τοποθετούνται σε μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα [9]. Στον παρακάτω πίνακα [9] παρουσιάζονται τα σημαντικότερα τεχνολογικά επιτεύγματα, κατά την εξέλιξη της γεωργία ακριβείας τις τελευταίες δεκαετίες:

Πίνακας 1: Σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα στη γεωργία ακριβείας

Έτος	Τεχνολογία ή δραστηριότητα	Εταιρεία/ οργανισμός, όνομα προϊόντος	Αναφορά
1983	Εκτελεστικό διάταγμα που επέτρεπε τη χρήση του GPS από πολίτες	Κυβέρνηση των ΗΠΑ	Brustein, 2014 Rip and Hasik, 2002
1987	Λίπασμα τεχνολογίας μεταβλητού ρυθμού ελεγχόμενο από υπολογιστή	Soil Teq	Mulla and Khosla, 2016
1988	GNSS χειρός	Magellan	Smithsonian, 2018
1992	Πρώτο συνέδριο αφιερωμένο στην έρευνα της γεωργίας ακριβείας	Διεθνές Συνέδριο για τη Γεωργία Ακριβείας	Khosla, 2010
1992	Παρακολούθηση απόδοσης σιτηρών πλάκας σύγκρουσης	Ag Leader, Yield Monitor 2000	Ag Leader, 2018

1995	Πρώτο συνέδριο αφιερωμένο στη βιομηχανία γεωργίας ακριβείας	InfoAg	IPNI, 2010
1997	Αυτόματη καθοδήγηση	Beeline	Rural Retailer, 2002
1997	Εν κινήσει αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους	Veris	Lund, E., personal communication, 13 Nov. 2018
1997	Παρακολούθηση απόδοσης βαμβακιού	Micro-Track, Zycom	Vellidis et al., 2003
2000	Τέλος της επιλεκτικής διαθεσιμότητας GNSS	Κυβέρνηση των ΗΠΑ	Coalition to Save Our GPS, 2012
2002	Ενσωματωμένος οπτικός αισθητήρας και εφαρμογή αζώτου μεταβλητού ρυθμού	N-Tech Industries, Greenseeker	Rutto and Arnall, 2017
2003	Εν κινήσει αισθητήρας ενεργούς οξύτητας εδάφους	Veris, Soil pH Manager (MSP)	Lowenberg-DeBoer, 2003
2006	Ελεγκτές αυτοματοποιημένων ψεκαστήρων boom τμήματος	Trimble, AgGPS EZ-Boom 2010	Trimble, 2006
2009	Απενεργοποιητές φυτευτών σειρών	Ag Leader, Sure Stop	Ag Leader, 2018
2017	Πρώτη πλήρως αυτόνομη παραγωγή σοδειάς	Πανεπιστήμιο Harper Adams	Hands Free Hectare, 2018

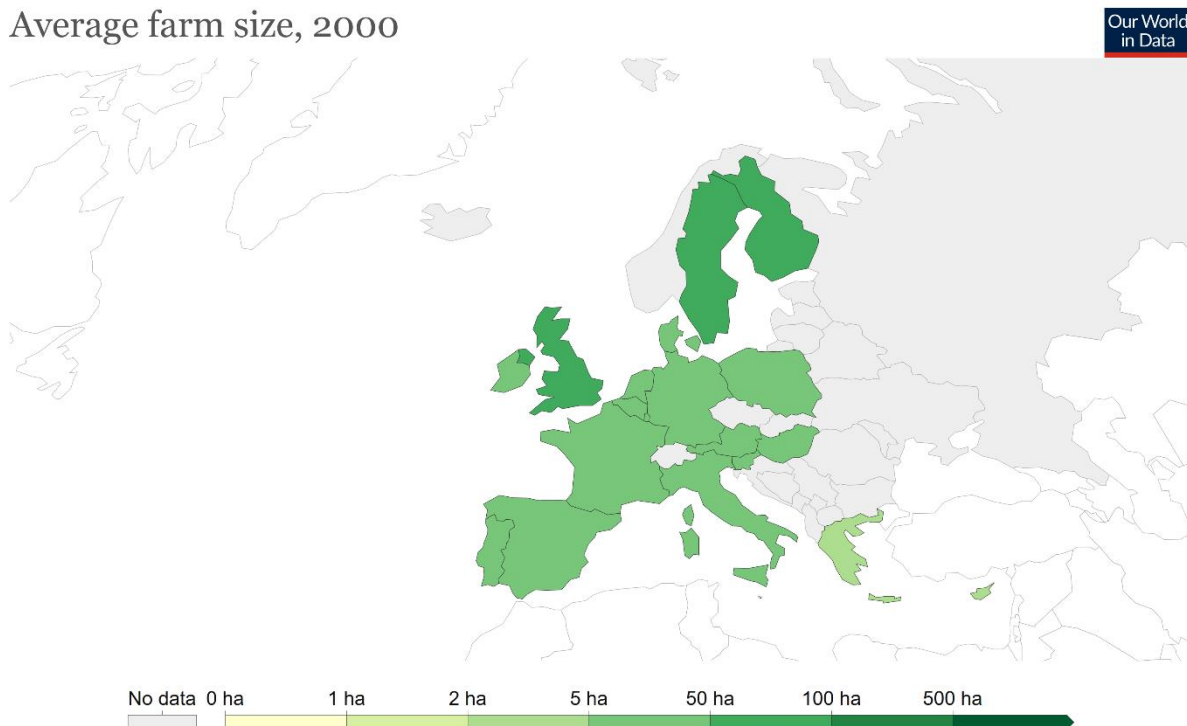
2.3 Τρέχουσα κατάσταση

Η γεωργία ακριβείας δεν αναπτύσσεται με τους ίδιους ρυθμούς σε όλο τον κόσμο. Πιο συγκεκριμένα πρωτοπόροι του τομέα αποτελούν οι Ηνωμένες Πολιτείες, ο Καναδάς και η Αυστραλία, ενώ από την πλευρά της Ευρώπης ακολουθούν το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γαλλία, έχοντας υιοθετήσει την γεωργία ακριβείας από τα τέλη της δεκαετίας του 1990. Επίσης στην Λατινική Αμερική πρωτοστατούν μέσω κρατικής βοήθειας η Αργεντινή και η Βραζιλία. Παρόλα όμως τα θετικά αποτελέσματα που παρουσιάζει η γεωργία ακριβείας, το γεγονός πως ενδείκνυται για μεγάλων εκτάσεων καλλιέργειες μειώνει τους ρυθμούς υιοθέτησης σε χώρες όπως η Κίνα, όπου επικρατούν μικρής κλίμακας οικογενειακές καλλιέργειες [10].

2.3.1 Υιοθέτηση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας σε Ελλάδα και Ευρώπη

Όπως παρατηρούμε και από την παρακάτω εικόνα (<https://ourworldindata.org/farm-size>) ο μέσος όρος μεγέθους των καλλιεργειών στην Ευρώπη ήταν πολύ χαμηλός στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, καθιστώντας την υιοθέτηση τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας πολύ δύσκολη. Στην Ελλάδα και γενικότερα στη νότια Ευρώπη, η εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών ήταν αργή λόγω του μικρού μεγέθους των καλλιεργειών, της έλλειψης ενδιαφέροντος για υιοθέτηση νέας τεχνολογίας, της έλλειψης σχετικής τεχνολογίας για φρούτα και λαχανικά και της έλλειψης επιδοτήσεων των καλλιεργειών από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Average farm size, 2000



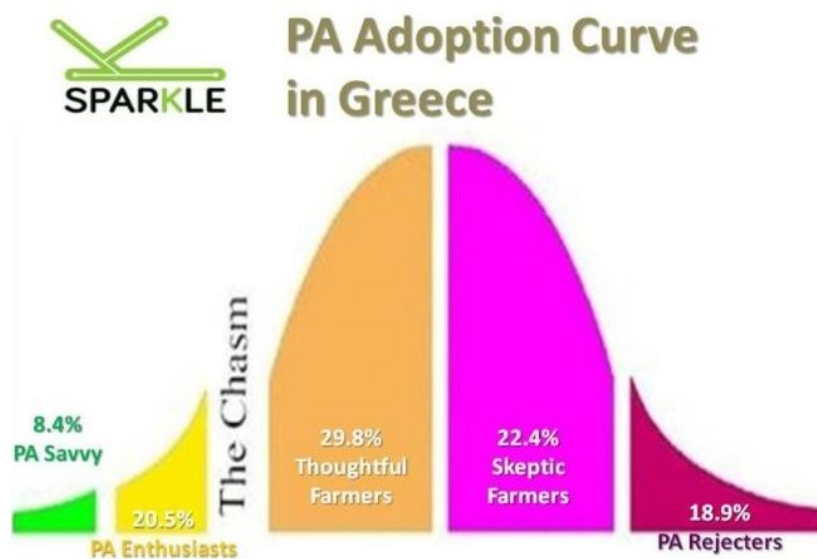
Source: Lowder et al. (2016). The number, size, and distribution of farms, smallholder farms, and family farms worldwide. <i>World Development</i>.
OurWorldInData.org/farm-size • CC BY

Εικόνα 1: Μέσος όρος αγροτικών εκτάσεων στην Ευρώπη το 2000

Στην Ελλάδα παρατηρήθηκαν τέτοιου είδους πρακτικές για πρώτη φορά το 2001 κατά την παραγωγή βαμβακιού, χωρίς όμως να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια κάποια σχετική έρευνα, παρόλο που θα μπορούσε να φανεί πολύ χρήσιμη για την ανάπτυξη της ελληνικής γεωργίας. Στη συνέχεια ακολούθησαν έρευνες για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας, με πρακτικές σε καλλιέργεια μήλων το 2004 [11] και το 2007 [12] και σε καλλιέργεια βαμβακιού τα έτη 2001-2005.

Στη σεζόν 2016-2017 διεξήχθη μια έρευνα από το Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης σε συνεργασία με το SPARKLE, Sustainable Precision Agriculture: Research and Knowledge for Learning how to a agri-Entrepreneur (Βιώσιμη Γεωργία Ακριβείας: Έρευνα

και Γνώση για εκμάθηση του πώς να είσαι αγροτο-επιχειρηματίας), το οποίο αποτελεί μέρος του project ERASMUS+ και υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (<http://sparkle-project.eu/farmers-typology-on-precision-agriculture-adoption-evidence-from-greece/>), όπου μπορούμε να διακρίνουμε πως ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιεί τεχνικές γεωργίας ακριβείας, με τους περισσότερους να είναι σκεπτικοί για τα οφέλη που μπορούν να προσφέρουν οι τεχνολογίες, ενώ ένα ποσοστό του 18,9% δεν θεωρεί πως θα έχουν κάποιο κέρδος από την γεωργία ακριβείας [13].



Εικόνα 2: Απόψεις των Ελλήνων σχετικά με την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας

2.3.2 Ευρωπαϊκά προγράμματα ενίσχυσης γεωργίας ακριβείας

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως προτεραιότητα την προώθηση της μεταφοράς γνώσης και της καινοτομίας στους τομείς της γεωργίας, της δασοκομίας και των αγροτικών περιοχών στο πλαίσιο της πολιτικής αγροτικής ανάπτυξης την περίοδο 2014-2020. Τα προγράμματα αγροτικής ανάπτυξης χρηματοδοτούν τόσο τη γεωργική όσο και τη δασική καινοτομία μέσω πολλών μέτρων που μπορούν να υποστηρίξουν τη δημιουργία επιχειρησιακών ομάδων, υπηρεσιών καινοτομίας, επενδύσεων ή άλλων προσεγγίσεων. Όλοι οι ενδιαφερόμενοι συμφώνησαν ότι οι επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη θα αποτελέσουν τη βασική κινητήρια δύναμη για την επίτευξη των αγροτικών θέσεων εργασίας του αύριο. Συνεπώς, θα μπορούσε να προβλεφθεί μια ουσιαστική μετάβαση από την Κοινή Αγροτική Πολιτική (2021-2027) στην ενισχυμένη Έρευνα και Ανάπτυξη στη γεωργία, ειδικά σε μια περίοδο επίμονων δημοσιονομικών περιορισμών κατά την οποία άλλες προτεραιότητες πολιτικής είναι πιθανό να αντικαταστήσουν τις προτεραιότητες της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής. Περισσότερα χρήματα

θα μπορούσαν, να επενδυθούν σε τεχνολογίες αιχμής όπως για παράδειγμα βιοαισθητήρες, ρομποτική, φασματογραφία, εικόνες, κλπ. [14].

Κάποια από αυτά τα προγράμματα ενίσχυσης του πρωτογενή τομέα μέσω της εφαρμογής των έξυπνων τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας είναι τα εξής:

Smart AKIS - Ευρωπαϊκά Συστήματα Γεωργικής Γνώσης και Καινοτομίας (AKIS) για την έρευνα με γνώμονα την καινοτομία στην Τεχνολογία Έξυπνης Γεωργίας: Το Smart-AKIS είναι ένα θεματικό δίκτυο του Horizon 2020 που ως στόχο έχει την αύξηση της υιοθέτησης των τεχνολογιών της έξυπνης γεωργίας από την ευρωπαϊκή αγροτική κοινότητα και να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ των καλλιεργειών και της έρευνας, για τον εντοπισμό και την προσφορά νέων λύσεων της έξυπνης γεωργίας που ταιριάζουν στις ανάγκες των αγροτών. Το Smart AKIS θα συλλέξει και θα διαδώσει υπάρχουσες αλλά ανεπαρκώς χρησιμοποιούμενες επιστημονικές γνώσεις και βέλτιστες πρακτικές σχετικά με τη γεωργία ακριβείας. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει πραγματοποιηθεί τόσο σε ευρωπαϊκό επίπεδο όσο και σε περιφερειακό επίπεδο, και πιο συγκεκριμένα σε επτά κόμβους καινοτομίας οι οποίοι τοποθετούνται στη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ελλάδα, την Ολλανδία, τη Σερβία, την Ισπανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Η διαδικτυακή πλατφόρμα κοινότητας έξυπνης γεωργίας θα συμβάλλει στη διάδοση των αποτελεσμάτων και την αλληλεπίδραση μεταξύ των ενδιαφερομένων, ενώ η συμβατότητα με το σημείο εξυπηρέτησης EIP-AGRI θα εξασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη προσβασιμότητα των αποτελεσμάτων [15].

Internet of Food and Farm 2020: Σκοπός του συγκεκριμένου προγράμματος είναι να προωθήσει σε μεγάλη κλίμακα την υιοθέτηση της τεχνολογίας του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) στον ευρωπαϊκό τομέα της γεωργίας και των τροφίμων, συμβάλλοντας στην τεράστια ώθηση της καινοτομίας και σε βελτιωμένα επίπεδα της παραγωγικότητας και βιωσιμότητας. Πιο αναλυτικά έχει ως στόχο να επιδείξει την επιχειρηματική συνεισφορά του IoT σε πολλούς τομείς στη γεωργία και τα τρόφιμα. Επίσης στοχεύει στην ενσωμάτωση και επαναχρησιμοποίηση τεχνολογιών διαθεσιμότητας IoT αξιοποιώντας ανοιχτές αρχιτεκτονικές και πρότυπα, την αποδοχή των λύσεων IoT στη γεωργία και τα τρόφιμα από τους τελικούς χρήστες, μέσω της κάλυψης των απαιτήσεων των τελικών χρηστών, συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας, της ιδιωτικότητας και της εμπιστοσύνης. Ένας ακόμα στόχος του προγράμματος είναι η διασφάλιση της βιωσιμότητας των λύσεων του IoT, επικυρώνοντας τα σχετικά επιχειρηματικά μοντέλα και δημιουργώντας ένα οικοσύστημα IoT για χρήση σε μεγάλη κλίμακα [16].

NEXTFOOD: Το NEXTFOOD δημιουργεί ένα σύστημα αξιολόγησης από ομοτίμους για την αξιολόγηση των πρακτικών αποτελεσμάτων της έρευνας, με επίκεντρο τη βιωσιμότητα και την πρακτική χρησιμότητα, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την ποιότητα στην έρευνα

και την εκπαίδευση. Επίσης αναπτύσσει ένα διεθνές πλαίσιο διαπίστευσης για την εκπαίδευση και την κατάρτιση σε τομείς που σχετίζονται με βιώσιμα συστήματα αγροδιατροφής και δασοκομίας. Μια καινοτόμος διαδικασία ερευνητικής δράσης, καθοδηγεί την ανάπτυξη του έργου NEXTFOOD με κυκλικό τρόπο, διασφαλίζοντας έτσι ότι η ερευνητική διαδικασία και οι πραγματικές μελέτες περιπτώσεων βελτιώνονται διαρκώς [17].

TERRATECH: Το πρόγραμμα διδασκαλίας στις έξυπνες τεχνολογίες (masTERs course on smArt Agriculture TECHnologies-TERRATECH) στοχεύει στην ανάπτυξη μιας προηγμένης διαδραστικής σειράς πιστοποιημένων μαθημάτων που σχετίζεται με τις εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων στον πρωτογενή τομέα και εκπαιδεύει άτομα σχετικά με τις απαραίτητες δεξιότητες και γνώσεις που απαιτούνται προκειμένου να μπορούν να εργαστούν στον ανερχόμενο κλάδο της έξυπνης γεωργίας. Τα μαθήματα αυτά έχουν διαμορφωθεί για να αναπτύξουν περαιτέρω διάφορες ικανότητες όπως η αυξημένη αίσθηση πρωτοβουλίας και επιχειρηματικότητας. Ακολουθεί τα πιστωτικά πρότυπα ECTS για την αναγνώριση της πιστοποίησης σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Επίσης το καινοτόμο αυτό πρόγραμμα σπουδών αποτελείται από διαδραστικές μεθόδους διδασκαλίας και συνεργασίες με ειδικούς ακαδημαϊκούς και γεωργικούς οργανισμούς, προκειμένου να δώσει στους μαθητές ένα σταθερό υπόβαθρο για την έναρξη μιας γόνιμης σταδιοδρομίας στον κλάδο. Η διάρκεια του μαθήματος είναι 8 μήνες [18].

SmartAgriHubs: Το SmartAgriHubs αποτελεί έργο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο του προγράμματος Horizon 2020 και συγκεντρώνει μια κοινοπραξία άνω των 164 εταιρών στον ευρωπαϊκό αγροτικό τομέα. Στόχος του έργου είναι η ψηφιοποίηση της ευρωπαϊκής γεωργίας με την προώθηση ενός οικοσυστήματος γεωργικής καινοτομίας βασισμένο στην υπεροχή, τη βιωσιμότητα και την επιτυχία. Η κοινοπραξία περιλαμβάνει ένα ποικίλο δίκτυο νεοφυών επιχειρήσεων, ΜΜΕ, επιχειρήσεων και παρόχων υπηρεσιών, ειδικών τεχνολογίας και τελικών χρηστών. Οι τελικοί χρήστες αποτελούν τον πυρήνα του έργου και αποτελούν την κινητήρια δύναμη πίσω από τον ψηφιακό μετασχηματισμό. Για την επίτευξη της διασύνδεσης και της ανταλλαγής γνώσεων του δικτύου ευρωπαϊκής καινοτομίας στον τομέα της γεωργίας, το SmartAgriHubs αξιοποιεί, ενισχύει και συνδέει όλους τους διαφορετικούς φορείς. Οι τελικοί χρήστες εκπαιδεύονται και ενημερώνονται καθ' όλη τη διάρκεια του SmartAgriHubs (2018-2022), μέσω μιας πύλης καινοτομίας όπου οι πληροφορίες θα είναι εύκολα προσβάσιμες στους αγρότες και τις επιχειρήσεις τους, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια αποτελεσματική και ικανοποιητική εμπειρία χρήστη. Επιπλέον ένας κατάλογος για αγρότες και αγροτικές επιχειρήσεις θα χαρτογραφήσει το υπάρχον πεδίο ψηφιακής τεχνολογίας και θα διευκολύνει την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών μεταξύ του δικτύου. Συνδέοντας και προωθώντας την

ευρωπαϊκή γεωργική καινοτομία και καινοτομία πληροφορικής, το SmartAgriHubs επεκτείνει τις ψηφιακές λύσεις στον αγροτικό τομέα και βοηθά τους αγρότες και τις επιχειρήσεις τους να επιτύχουν πραγματικά και εφικτά αποτελέσματα [19].

SmartROOT: Το SmartROOT αποτελεί μια στρατηγική συνεργασία στον τομέα της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης που εστιάζει στην προετοιμασία ενός νέου προγράμματος Κοινού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών στον τομέα των Μικτών Γεωργικών Συστημάτων (MFS). Οι κύριοι στόχοι του SmartROOT είναι η προετοιμασία ενός διεθνούς μεταπτυχιακού προγράμματος, η ενεργή συμμετοχή των μαθητών στη διαδικασία προετοιμασίας, η αξιολόγηση και ανατροφοδότηση σχετικά με τα εργαλεία και το υλικό τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών που θα αναπτυχθούν, καθώς επίσης η προετοιμασία μελλοντικών επαγγελματιών στον αγροτικό τομέα και η εισαγωγή και εξοικείωση των αγροτών στις ψηφιακές τεχνολογίες. Το SmartROOT επιτρέπει τη βελτίωση της ανθεκτικότητας της γεωργίας που υπόκειται στην κλιματική αλλαγή, ενώ παράλληλα οι αγρότες μπορούν να αποκτήσουν γνώσεις για μεθοδολογίες σχετικές με την ενίσχυση των συνεργειών μεταξύ της γεωργικής παραγωγής, του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και της προσαρμογής [20].

AGREEN project: Το πρόγραμμα AGREEN βασίζεται στην κλιματικά έξυπνη γεωργία και ενώνει πολλούς οργανισμούς από την περιοχή της Λεκάνης της Μαύρης Θάλασσας. Το AGREEN στοχεύει στην ανάπτυξη ικανοτήτων για τη δικτύωση και τη μεταφορά γνώσεων σχετικών με τις πρακτικές της κλιματικά έξυπνης γεωργίας. Με τον τρόπο αυτό τα εμπλεκόμενα μέλη έχουν πολλά οφέλη και έτσι μπορεί ξαναχτιστεί ο κύριος οικονομικός και κοινωνικός πυλώνας των χωρών της λεκάνης της Μαύρης Θάλασσας. Ο πρώτος στόχος του AGREEN είναι να προσαρμόσει την προσέγγιση της «κοινότητας πρακτικής» και να συνδέσει την επαγγελματική τεχνογνωσία και τους αγρότες. Ένας άλλος στόχος που θα επιτευχθεί στο πλαίσιο του συγκεκριμένου προγράμματος είναι η δημιουργία μιας αναγνωρίσιμης κοινής επωνυμίας που θα συμπληρώνει την επισήμανση των κλιματικά έξυπνων γεωργικών προϊόντων που προέρχονται από την περιοχή της Λεκάνης της Μαύρης Θάλασσας. Τα μοντέλα καλλιέργειας των κλιματικά έξυπνων τεχνολογιών προσαρμόζονται στις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες στις διάφορες περιοχές της λεκάνης της Μαύρης Θάλασσας. Στόχος είναι να ενισχυθεί η συνεργασία μεταξύ των δημιουργών, των επιχειρηματιών και των επαγγελματιών που ασχολούνται με τη διατήρηση και τη βιώσιμη γεωργία στην περιοχή της Μαύρης Θάλασσας μέσω της βελτίωσης της ανταλλαγής πληροφοριών, της μάθησης από ομοτίμους και της ενθάρρυνσης του εκσυγχρονισμού και της καλύτερης απόδοσης των βιώσιμων αγροκτημάτων. Το AGREEN θα χρησιμοποιήσει τη μέθοδο μοντελοποίησης καλλιεργειών για να αποδείξει στους αγρότες τις ευκαιρίες που προσφέρει η κλιματικά έξυπνη τεχνολογία και να εξετάσει την

προσαρμοστικότητα του κλίματος σε διαφορετικά ενδημικά είδη. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως διαδικτυακό εργαλείο για την ανάκτηση των πληροφοριών και τη διανομή των δεδομένων, την παροχή επαφών και εμπορικών καναλιών μεταξύ των παραγωγών βιώσιμων, βιολογικών γεωργικών προϊόντων στη λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας [21].

2.3.3 Ευρωπαϊκές ερευνητικές ομάδες

Με τις ανάγκες σε τρόφιμα να αυξάνονται διαρκώς ενώ παράλληλα ο κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής γίνεται όλο και μεγαλύτερος, είναι φαινόμενα που καθιστούν την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την βελτίωση διάφορων γεωργικών πρακτικών και αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών πολύ σημαντική. Έτσι διάφορες ερευνητικές ομάδες έχουν δημιουργηθεί την τελευταία δεκαετία προκειμένου να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που εμφανίζονται γύρω από τον πρωτογενή τομέα, οι οποίες μάλιστα προσπαθούν να συμπεριλάβουν τόσο τους αγρότες, που αποτελούν και τους τελικούς χρήστες των έξυπνων τεχνολογιών, όσο και τις τεχνολογικές εταιρίες. Κάποια από αυτές τις ερευνητικές ομάδες πραγματοποιούνται στην Ευρώπη, είτε σε μια μεμονωμένη χώρα της είτε σε όλη την έκταση της ηπείρου. Κάποιες από αυτές είναι οι εξής:

Pantheon: Στο παρόν πρόγραμμα σκοπός είναι η καθιέρωση προσεγγίσεων που θα περιλαμβάνουν ακρίβεια και ευαισθησία για τη συνεχή παρακολούθηση της υγείας των φυτών με επίκεντρο τα Brassicaceae και το Grapevine, τα οποία αποτελούν σημαντικά ετήσια και πολυετή είδη αντίστοιχα, για την οικονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και μεταξύ των πιο πολύτιμων καλλιεργειών στον κόσμο. Οι προσεγγίσεις που θα αναπτυχθούν μπορούν να προσαρμοστούν για την παρακολούθηση της υγείας οποιουδήποτε σημαντικού φυτικού είδους, εκτός από των δύο προαναφερόμενων. Στόχος είναι να αναπτυχθεί η τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με προσεγγίσεις που βασίζονται στη φασματοσκοπία, και επιτρέπουν την υψηλή χωροταξία των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια αβιοτικού στρες και ασθeneιών παρασίτων. Παράλληλα αναπτύσσουν υπολογιστικές προσεγγίσεις για τη διαχείριση των δεδομένων παρακολούθησης ώστε να παρέχουν λογισμικό για την παρακολούθηση της υγείας και των αποδόσεων των φυτών. Στο PANTHEON συμπεριλαμβάνονται εννέα εταίροι πέντε εκ των οποίων είναι ακαδημαϊκοί ενώ αποδέκτες των γνώσεων αυτών είναι τα ακαδημαϊκά ιδρύματα, φυτώρια, κτηνοτρόφοι, προγραμματιστές λογισμικού και άλλοι ιδιωτικοί τομείς. Επιπλέον το PANTHEON περιλαμβάνει σημαντικές εκπαιδευτικές δραστηριότητες για την εκπαίδευση της επόμενης γενιάς ερευνητών ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες απαιτήσεις των ακαδημαϊκών και βιομηχανικών πλαισίων [22].

DataBio: Το DataBio αποτελεί μέρος του προγράμματος Horizon 2020 που εστιάζει στη χρήση των Μεγάλων Δεδομένων με σκοπό να συμβάλει στην παραγωγή των καλύτερων δυνατών πρώτων υλών από τη γεωργία, τη δασοκομία και την αλιεία / υδατοκαλλιέργεια για τη βιομηχανία βιοοικονομίας προκειμένου να παράγει τρόφιμα, ενέργεια και βιοϋλικά, λαμβάνοντας επίσης υπόψη θέματα ευθύνης και βιωσιμότητας. Πιο αναλυτικά στόχοι του παρόντος προγράμματος είναι οι εξής: δημιουργία μίας ευέλικτης πλατφόρμας DataBio κατάλληλης για διαφορετικούς τομείς και χρήστες, εξασφάλιση αποτελεσματικής χρήσης των υπάρχοντων συνόλων δεδομένων, εξασφάλιση ευρείας χρήσης των τεχνολογιών της πλατφόρμας του DataBio στους τομείς της γεωργίας, της δασοκομίας και της αλιείας, επέκταση των δυνατοτήτων της ευρωπαϊκής βιομηχανίας τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των MME, να συμμετέχουν ενεργά στην ευρωπαϊκή και παγκόσμια αγορά βιοοικονομίας Μεγάλων Δεδομένων, επέκταση των δυνατοτήτων της ευρωπαϊκής βιομηχανίας Γεωγραφικής Παρατήρησης, συμπεριλαμβανομένων των MME, να προσφέρουν τις νέες τους υπηρεσίες σχετικές με τη βιοοικονομία στην Ευρώπη και στον κόσμο και εξασφάλιση διαλειτουργικότητας και εύκολης διάταξης νέων εφαρμογών από πολλούς προμηθευτών χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα DataBio [23].

AFarCloud: Το AFarCloud αποτελεί μια κατανομημένη πλατφόρμα για την ενίσχυση της αυτόνομης γεωργίας που επιτρέπει την ενοποίηση και τη συνεργασία των γεωργικών Cyber Physical Systems σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα, η παραγωγικότητα, η υγεία των ζώων, η ποιότητα των τροφίμων και παράλληλα να μειωθεί το κόστος εργασίας των καλλιεργειών. Η πλατφόρμα αυτή μπορεί να ενσωματωθεί με λογισμικό διαχείρισης καλλιεργειών και έτσι υποστηρίζει τόσο την παρακολούθηση όσο και τη λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε μεγάλα δεδομένα και τεχνικές εξόρυξης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Το πρόγραμμα AFarCloud στοχεύει επίσης να καταστήσει τα αγροτικά ρομπότ προσβάσιμα σε περισσότερους χρήστες, επιτρέποντας στα αγροτικά οχήματα να λειτουργούν σε ένα συνεταιριστικό πλέγμα, περιλαμβάνοντας έτσι νέες εφαρμογές και διασφαλίζοντας την επαναχρησιμοποίησή τους, καθώς τα ετερογενή τυπικά οχήματα μπορούν να συνδυάσουν τις δυνατότητές τους προκειμένου να αυξήσουν τα έσοδα των αγροτών και να μειώσουν το κόστος εργασίας. Τα αποτελέσματα του AFarCloud ενισχύουν τη θέση των εταιρών στην αγορά ενισχύοντας την ικανότητα καινοτομίας τους και καλύπτοντας τις βιομηχανικές ανάγκες τόσο σε επίπεδο της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και σε διεθνές επίπεδο. Η κοινοπραξία αντιπροσωπεύει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας των γεωργικών λύσεων που βασίζονται σε τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων όλων των βασικών

παραγόντων που απαιτούνται για την ανάπτυξη, την επίδειξη και τη μελλοντική υιοθέτηση του πλαισίου γεωργίας ακριβείας [24].

EURAKNOS: Το EURAKNOS θέλει να ενισχύσει τη γεωργική γνωσιακή βάση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δημιουργώντας το προσχέδιο για ένα σύστημα δεδομένων που θα επιτρέψει στην αγροτική κοινότητα ευκολότερη πρόσβαση στις βέλτιστες πρακτικές από όλα τα θεματικά δίκτυα Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το πρόγραμμα EURAKNOS συνδημιουργεί το θεματικό δίκτυο για να συνδέσει και τα 29 Θεματικά Δίκτυα για να χαρτογραφήσει την αποθηκευμένη γνώση σε κάθε δίκτυο και να σχεδιάσει ένα κοινό σύστημα δεδομένων για να καταστήσει αυτή τη γνώση καλύτερα προσβάσιμη, εύχρηστη, διαλειτουργική και επαναχρησιμοποιήσιμη για την κοινότητα της αγροτικής καινοτομίας στην Ευρώπη. Το EURAKNOS συγκεντρώνει μια ομάδα 17 διαφορετικών παραγόντων από 11 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η κοινοπραξία EURAKNOS αποτελείται από διαφορετικούς οργανισμούς από τον ακαδημαϊκό χώρο, συμβουλευτικά κέντρα, κυβερνητικά ιδρύματα, ΜΜΕ, ΜΚΟ και οργανώσεις αγροτών. Ορισμένοι εταίροι συμμετέχουν στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Αγροτικής Ανάπτυξης και άλλοι συμμετέχουν σε άλλες σχετικές προτάσεις για το Horizon 2020 ή έχουν ισχυρούς δεσμούς με σχετικούς ευρωπαϊκούς και διεθνείς οργανισμούς. Βασικός στόχος του προγράμματος EURAKNOS είναι η ίδρυση της Ομάδας Γνώσης και Καινοτομίας (ΚΙΡ), μια ομάδα που εκπροσωπεί την αγροτική κοινωνία στην Ευρώπη. Το ΚΙΡ αποτελείται από 139 μέλη, στα οποία συμπεριλαμβάνονται ερευνητές, αγρότες, σύμβουλοι, διαμορφωτές πολιτικής, ΜΚΟ, ΜΜΕ και διαμεσολαβητές. Ο ρόλος του είναι να φέρει ένα εξωτερικό όραμα στο EURAKNOS, συμβουλευοντας για τον τρόπο βελτίωσης του προγράμματος και ενισχύοντας την πολυπαραγοντική προσέγγιση του [25].

ROMI: Το πρόγραμμα Robotics for Microfarms (ROMI) εξετάζει τη χρήση νέας τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένης της ρομποτικής, της τεχνητής νοημοσύνης και της προηγμένης μοντελοποίησης, για να συμβάλει στη βελτίωση των καλλιεργειών. Το ROMI πιο συγκεκριμένα είναι ένα τετραετές ερευνητικό πρόγραμμα που χρηματοδοτείται από την Ευρώπη και έχει δεσμευτεί να προωθήσει μια βιώσιμη, τοπική και ανθρώπινης κλίμακας γεωργία. Στόχος του είναι να αναπτυχθεί μια πλατφόρμα πολλαπλών χρήσεων ανοιχτού κώδικα, σε προσιτές τιμές, προσαρμοσμένη να υποστηρίζει οργανικής και πολυπολιτισμικής αγοράς καλλιεργειών. Το πρόγραμμα ROMI εξετάζει τους τρόπους με τους οποίους οι νέες τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες. Οι λύσεις πρέπει να προσαρμοστούν στους περιορισμούς που επιβάλλουν οι καλλιέργειες (μικρό μέγεθος, πολλές διαφορετικές καλλιέργειες, χαμηλότερη επενδυτική ικανότητα) και για το λόγο αυτό το πρόγραμμα ROMI προτείνει τεχνολογίες που είναι φθηνές και προσαρμόσιμες. Εξετάζονται συγκεκριμένες τεχνολογίες τόσο για

βραχυπρόθεσμες εφαρμογές όσο και για έρευνα για πιο μακροπρόθεσμες απαιτήσεις. Βραχυπρόθεσμα εξετάζεται το αυτόματο ξεβοτάνισμα και η παρακολούθηση των καλλιεργειών για πιο ακριβή προγραμματισμό τους. Ενώ μακροπρόθεσμα ασχολείται με την τρισδιάστατη απεικόνιση και μοντελοποίηση μεμονωμένων φυτών για λεπτομερή ανάλυση της υγείας των φυρών καθώς και επιλεκτική αναπαραγωγή φυτών. Οι τεχνολογίες ROMI είναι διαθέσιμες με άδεια ανοιχτού κώδικα προκειμένου να προσεγγίσουν όσο το δυνατόν περισσότερες καλλιέργειες μικρών εκτάσεων [26].

GATES: Το GATES (Applying GAMing TEchnologies for training professionals in Smart Farming) αποτελεί ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα που υποστηρίζεται από το Πρόγραμμα Έρευνας και Καινοτομίας Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Κύριος στόχος του παρόντος προγράμματος είναι η ανάπτυξη μιας σοβαρής πλατφόρμας εκπαίδευσης βασισμένη σε παιχνίδια, κάνοντας χρήση διαφορετικών τεχνολογιών παιχνιδιών, προκειμένου οι επαγγελματίες να εκπαιδευτούν σε όλη την αλυσίδα αξίας της γεωργίας σχετικά με τη χρήση της τεχνολογίας της γεωργίας ακριβείας, επιτρέποντας έτσι την αξιοποίηση του πλήρους οικονομικού και περιβαλλοντικού δυναμικού της στην ευρωπαϊκή γεωργία. Η συγκεκριμένη έχει τη δυνατότητα προσαρμογής βάσει των αναγκών του πελάτη που πληρώνει (εταιρείες τεχνολογιών έξυπνης γεωργίας, πανεπιστήμια και υπηρεσίες επέκτασης / γεωργικοί σύμβουλοι). Μπορεί να λειτουργεί είτε ως αυτόνομο είτε ως συμπληρωματικό εργαλείο των παραδοσιακών μεθόδων εκπαίδευσης, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα γεωργικών πλαισίων προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες διαφορετικών επαγγελματιών στην αλυσίδα αξίας των τεχνολογιών της έξυπνης γεωργίας. Κατά τη διάρκεια του έργου έχει διεξαχθεί μια εις βάθος ανάλυση αγοράς και ένα επιχειρηματικό σχέδιο για τη διευκόλυνση της εισόδου της πλατφόρμας παιχνιδιών GATES στην αγορά [27].

ECHORD++: Το ερευνητικό πρόγραμμα ρομποτικής ECHORD++ (The European Coordination Hub for Open Robotics Development) έχει ως σκοπό την προώθηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ κατασκευαστών ρομπότ, ερευνητών και χρηστών. Το ECHORD++ για να επιτύχει το στόχο του εφαρμόζει τρία διαφορετικά μέσα: τα πειράματα, την τεχνολογική καινοτομία με γνώμονα τον δημόσιο τελικό χρήστη (PDTI) και τις εγκαταστάσεις καινοτομίας ρομποτικής (RIF). Με τα πειράματα και το PDTI, το ECHORD++ προσφέρει χρηματοδότηση ερευνητικών κοινοπραξιών για την ανάπτυξη της τεχνολογίας ρομποτικής για πραγματικές περιπτώσεις χρήσης. Τα RIF επιτρέπουν τη δοκιμή νέων επιχειρηματικών ιδεών και μάλιστα δοκιμών πεδίου με μηδενικό κίνδυνο. Οι ερευνητικές κοινοπραξίες στο ECHORD++ αποτελούνται από εταίρους από τη βιομηχανία, τον ακαδημαϊκό χώρο ή τα ερευνητικά ιδρύματα σε συνδυασμό με τους πιθανούς χρήστες της τεχνολογίας της ρομποτικής. Πιο αναλυτικά οι

στόχοι του παρόντος προγράμματος είναι οι εξής: η ενθάρρυνση των ευρωπαϊκών ερευνητικών ιδρυμάτων και των κατασκευαστών ρομπότ να συνεργάζονται στενά σε επιχειρησιακό επίπεδο μέσω της εκτέλεσης πειραμάτων, με απώτερο σκοπό την ανάπτυξη μιας νέας ερευνητικής αριστείας και την προώθηση της τεχνολογίας, να επιτρέψει σε διαφορετικές ομάδες χρηστών (εταιρείες, δημόσια ιδρύματα, ερευνητικούς οργανισμούς, κλπ.) να αποκτήσουν εύκολη πρόσβαση σε ρομποτικό υλικό τελευταίας τεχνολογίας, λογισμικό και επιστημονική τεχνογνωσία για μεταφορά τεχνογνωσίας μέσω της παροχής της υποδομής στα RIF, να επιτρέψει σε ερευνητικά ιδρύματα, κατασκευαστές ρομπότ και δημόσιους φορείς να εξερευνήσουν νέα πεδία εφαρμογών και να ξεκινήσουν την έρευνα και ανάπτυξη, και τέλος η εξαγωγή, ενοποίηση και μετάδοση της πραγματικής προόδου που έχει επιτευχθεί στα διάφορα μέσα στην κοινότητα των κατασκευαστών ρομπότ και των ερευνητικών ιδρυμάτων μέσω συνεχούς παρακολούθησης, αναφοράς και δημοσίων σχέσεων [28].

2.3.4 Λόγοι περαιτέρω προώθησης της Γεωργίας Ακριβείας και τρόποι προώθησης

Ένα μεγάλο πρόβλημα που πλήττει τον σύγχρονο κόσμο αποτελεί η κλιματική αλλαγή, την οποία καλείται να αντιμετωπίσει η αγροτική κοινότητα. Απόρροιες της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της θερμοκρασίας, οι διακυμάνσεις που εμφανίζουν οι βροχοπτώσεις, η αυξημένη ένταση και συχνότητα ξαφνικών πλημμυρών και ξηρασιών. Όλα τα προαναφερόμενα φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής έχουν ως αποτέλεσμα να απειλείται η επισιτιστική ασφάλεια, γεγονός που διακινδυνεύει την διαβίωση εκατομμυρίων ανθρώπων. Οι κλιματικές αλλαγές έχουν αντίκτυπο και στον πρωτογενή τομέα, με τους αγρότες να αντιμετωπίζουν ποικίλα προβλήματα που μπορούν να αντιμετωπισθούν ως ένα βαθμό μέσω της ερμηνείας και της διαχείρισης των διακυμάνσεων που παρουσιάζουν οι εποχιακές κλιματικές συνθήκες και προσαρμόζοντας έτσι τις γεωργικές δραστηριότητες όπως η φύτευση, η άρδευση και η συγκομιδή. Για τους αγρότες που καλλιεργούν σε μικρότερης έκτασης χωράφια, ισχύει πως η αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής είναι πιο δύσκολη, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς τόσο η έλλειψη ευαισθητοποίησης επί του θέματος όσο και τα περιορισμένα κεφαλαία, δυσχεραίνουν την κατάσταση τους. Επίσης ισχύει πως ακόμη και μια μέτρια μεταβολή των καιρικών συνθηκών μπορεί να μειώσει σημαντικά τις αποδόσεις στο συγκεκριμένο τύπο καλλιέργειας, λόγω της μικρότερης αντοχής του στη θερμότητα. Μια λύση για αυτό το πρόβλημα είναι η καλλιέργεια των φυτών σε θερμοκήπια υπό μέτρια θέρμανση, και παρόλο που μπορεί να έχει σημαντικά αποτελέσματα για την βελτίωση της παραγωγικότητας

των καλλιεργειών, αποτελεί παράλληλα μια μεγάλη πρόκληση για τους αγρότες μικρότερων καλλιεργειών λόγω των περιορισμένων πόρων και του διαθέσιμου προϋπολογισμού.

Ένα σημαντικό και ανεπίλυτο μέχρι στιγμής πρόβλημα αποτελεί η κακή διαχείριση του νερού, η οποία προκύπτει από διάφορα φαινόμενα όπως για παράδειγμα η άρδευση από πλημμύρες, γεγονός που οδηγεί στην υπερβολική χρήση νερού σε πολλές χώρες, ενώ παράλληλα κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, η έλλειψη νερού μειώνει την παραγωγικότητα του πρωτογενή τομέα. Το φαινόμενο αυτό σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση του νερού για μη γεωργικές χρήσεις νερού, έχει ως αποτέλεσμα τη λειψυδρία, η οποία περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την άρδευση. Μια ακόμη πρόκληση σχετικά με τη διαχείριση του νερού σε παγκόσμια κλίμακα είναι η πτώση του υπόγειου νερού που οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση του υπόγειου νερού και στη μη βιώσιμη εξόρυξη των επιφανειακών υδάτων. Έτσι λόγω της υψηλής απορρόφησης οι αγρότες αναγκάζονται να χρησιμοποιούν πιο δαπανηρές μεθόδους για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Επίσης η υπερβολική χρήση των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων οδηγεί στη ρύπανση των υδάτων και μειώνει την παραγωγικότητα των χωραφιών. Στην περίπτωση των ημίξηρων περιοχών, οι μικρής έκτασης καλλιέργειες είναι πιο ευάλωτες στους κραδασμούς που προκαλούνται στο έδαφος που προέρχονται από φυσικές καταστροφές (ξαφνικές πλημμύρες, τσουνάμι κλπ.). Το συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί με την εφαρμογή των τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας προκειμένου να επιτευχθεί η πρόβλεψη των φυσικών καταστροφών και η λήψη των κατάλληλων αποφάσεων σχετικά με την αποκατάσταση. Οι τεχνικές αυτές όμως με τη σειρά τους αποτελούν μεγάλη πρόκληση για τους αγρότες μικρής κλίμακας.

Οι καλλιέργειες μικρής κλίμακας παρουσιάζουν κάποια προβλημάτων σχετικά με την παραγωγή των γεωργικών προϊόντων υψηλής αξίας που οφείλονται στην ένταση της εργασίας, τα αυστηρών προτύπων ασφάλειας και ποιότητας των τροφίμων και την έντονη αστάθειας στις τιμές, που οδηγούν στον υψηλό κίνδυνο αγοράς [29].

Οι δημογραφικές τάσεις που περιλαμβάνουν τη γήρανση του πληθυσμού και τη διαρκή μετακίνηση των ανθρώπων από την ύπαιθρο στις αστικές περιοχές, μπορούν να οδηγήσουν στην δημιουργία προβλημάτων σχετικά με τον πρωτογενή τομέα όπως η έλλειψη ανθρώπινου δυναμικού, και για το λόγο αυτό το συγκεκριμένο ζήτημα έχει τραβήξει την προσοχή των ερευνητών. Επίσης ένα ακόμη σημαντικό θέμα παγκοσμίου επιπέδου είναι η συνεχόμενη μείωση των διαθέσιμων τροφίμων ενώ παράλληλα σημειώνεται αύξηση του πληθυσμού σε όλο τον κόσμο, με τις έρευνες να εκτιμούν πως θα πραγματοποιηθεί αύξηση της τάξης του 70% στην παγκόσμια κατανάλωση τροφίμων από το 2009 έως το 2050. Έτσι η πρόκληση της αυξημένης παραγωγής τροφίμων ενόψει περιορισμών όπως η κλιματική αλλαγή σε συνδυασμό με άλλα

προβλήματα που εμφανίζονται όπως διάφορα περιβαλλοντικά ζητήματα, καθιστά τις τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας σημαντικές για την αντιμετώπισή τους [30].

Η γεωργία ακριβείας παρόλο που έχει αυξήσει τον ρυθμό υιοθέτησης της με τη συμβολή των κρατών και των διαφόρων προγραμμάτων υποστήριξης των αγροτικών επιχειρήσεων, έχει αρκετά ακόμα περιθώρια για περαιτέρω ανάπτυξη και υιοθέτηση της. Για να βρεθούν όμως λύσεις για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση των συγκεκριμένων τεχνολογιών. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να χωριστούν σε επτά γενικές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής: κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες, αγρο-οικολογικοί παράγοντες, θεσμικοί παράγοντες, παράγοντες πληροφόρησης, η αντίληψη των αγροτών, παράγοντες συμπεριφοράς και τεχνολογικοί παράγοντες. Πιο αναλυτικά, οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες αφορούν το προσωπικό υπόβαθρο του κύριου υπεύθυνου για τη λήψη αποφάσεων των καλλιεργειών. Οι τεχνολογίες πληροφοριών απαιτούν υψηλό επίπεδο ανθρώπινου κεφαλαίου, και για το λόγο αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ικανότητες των αγροτών, καθώς επηρεάζουν την λήψη αποφάσεων σχετικά με την εφαρμογή των τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας σε ένα χωράφι. Οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την ηλικία του χειριστή, τα χρόνια εκπαίδευσης και τα χρόνια εμπειρίας στη γεωργία. Οι αγρο-οικολογικοί παράγοντες είναι γνωστοί και ως «βιοφυσικοί παράγοντες της φάρμας» και περιλαμβάνουν τόσο τα φυσικά πλεονεκτήματα των καλλιεργειών, με την ποιότητα του εδάφους να είναι ο μοναδικός σημαντικός παράγοντας, όσο και τους λειτουργικούς παράγοντες που εξηγούν την υιοθέτηση τα γεωργίας ακριβείας. Οι πιο σημαντικοί λειτουργικοί παράγοντες είναι η κατοχή γης, το μέγεθος των γεωργικών εκτάσεων και η οικονομική κατάσταση, η οποία αφορά τις συνεχείς μεταβολές που εμφανίζονται στις πωλήσεις των αγροκτημάτων και ζώων, στην αξία της παραγωγής, στο αγροτικό εισόδημα και στην αναλογία χρέους προς περιουσιακά στοιχεία. Οι επενδύσεις σε καινοτόμες τεχνολογίες όπως αυτές της γεωργία ακριβείας έχουν υψηλό κόστος και ενέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο συγκριτικά με επενδύσεις σε ώριμες τεχνολογίες. Οι θεσμικοί παράγοντες είναι δείκτες που επιτρέπουν ή απενεργοποιούν την τάση ενός αγρότη για αλλαγή συμπεριφοράς. Σημαντικοί παράγοντες που έχουν εντοπιστεί, μέχρι σήμερα, περιλαμβάνουν την «αγροτική περιοχή» και την «αναπτυξιακή πίεση». Η «αγροτική περιοχή» είναι η γενική τοποθεσία των αγροκτημάτων ενώ η «αναπτυξιακή πίεση» εξετάζει εάν ένας αγρότης αντιμετωπίζει πιεστική αστική ανάπτυξη γύρω από το αγρόκτημά του. Οι παράγοντες πληροφόρησης είναι σημαντικοί στις καινοτόμες τεχνολογίες, καθώς είναι δύσκολη η ποσοτικοποίηση των πληροφοριών λόγω της προσβασιμότητας στις πληροφορίες από μια συγκεκριμένη πηγή, της χρησιμότητας των πληροφοριών που λαμβάνονται από μια

συγκεκριμένη πηγή και της συχνότητας λήψης των πληροφοριών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Οι πληροφορίες για τις γεωργικές πρακτικές προέρχονται συνήθως από υπηρεσίες επέκτασης ή συμβούλους, όμως τέτοιες δημόσιες υπηρεσίες προορίζονται για μαζική κατανάλωση, περιορίζοντας έτσι την εστίαση και τη διαθεσιμότητα ενός υπαλλήλου να βοηθήσει μια καλλιέργεια. Η αντίληψη των αγροτών αναφέρεται στην υποκειμενική αξιολόγηση τους σχετικά με τα χαρακτηριστικά μιας καινοτομίας. Τα αντιληπτά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται ώστε να εκτιμηθεί μια καινοτομία και πιο συγκεκριμένα τα αυξημένα οφέλη που μπορεί να προσφέρει, εκτός από τις τεχνολογίες που κάποιος σκοπεύει να αντικαταστήσει. Οι παράγοντες συμπεριφοράς χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ψυχολογία ενός αγρότη καθώς και τις προθέσεις του, και έχουν καθοριστικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων, ιδιαιτέρως στην περίπτωση που μια καινοτομία δεν προσφέρει άμεσα οφέλη. Οι τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας προσφέρουν έναν συνδυασμό οικονομικών και περιβαλλοντικών προνομίων. Τέλος οι τεχνολογικοί παράγοντες περιλαμβάνουν μια σειρά από δείκτες που αφορούν τη χρήση τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα οι εγκαταστάσεις άρδευσης, οι τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας και οι υπολογιστές. Πιο συγκεκριμένα οι υπολογιστές αποτελώντας μέρος της διαχείρισης της εκμετάλλευσης, με τη χρήση τους από τους αγρότες προκύπτει το συμπέρασμα πως έχουν κάποιες γνώσεις σχετικά με τεχνολογική λειτουργία ανεξάρτητα από εάν ο υπολογιστής χρησιμοποιείται για διατήρηση αρχείων ή για άλλους σκοπούς. Επίσης μέσω των λειτουργιών των έξυπνων τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας, χρησιμοποιούνται οι καταγεγραμμένες πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε μια υπολογιστική συσκευή, και στη συνέχεια με την ανάλυση τους πραγματοποιείται η εξέταση πιθανών προβλημάτων. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα πως η τεχνολογία των υπολογιστών αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της γεωργίας ακριβείας και για αυτό θεωρείται σημαντικός παράγοντας για την υιοθέτηση των συγκεκριμένων τεχνολογικών μεθόδων [31].

Για την ανάπτυξη και υιοθέτηση των καινοτόμων ψηφιακών τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας, ένας σημαντικός παράγοντας είναι η κατάλληλη ενημέρωση και κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού των αγροτικών επιχειρήσεων. Σε αυτό το εγχείρημα είναι σημαντική η συμβολή του κράτους και των πολιτικών που θα εφαρμόσει προκειμένου να εδραιωθεί η χρήση έξυπνων κινητών συσκευών στις διάφορες πρακτικές του πρωτογενή τομέα. Για το λόγο αυτό το υπουργείο γεωργίας θα πρέπει να συνεργαστεί με τα αντίστοιχα πανεπιστήμια της χώρας προκειμένου να δημιουργήσουν και να σχεδιάσουν μια σειρά προγραμμάτων κατάρτισης, κατά τα οποία οι αγρότες και το ανθρώπινο δυναμικό των γεωργικών επιχειρήσεων θα αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με την γεωργία ακριβείας. Οι εκπαιδευτικοί στόχοι των συγκεκριμένων προγραμμάτων κατάρτισης σχετικά με την ψηφιοποίηση των γεωργικών δραστηριοτήτων, είναι

να προσφέρουν στους εκπαιδευόμενους θετική στάση και πρακτικές ικανότητες. Σε ένα αντίστοιχο εγχείρημα που πραγματοποιήθηκε στην Ταιβάν το 2017, κατά τη διάρκεια του προγράμματος κατάρτισης των αγροτών προσφέρθηκαν τέσσερις τύποι μαθημάτων που περιλάμβαναν διαλέξεις σε εσωτερικούς χώρους που παρείχαν γενική εκπαίδευση γεωργίας ακριβείας, επισκέψεις στο εσωτερικό της χώρας και εκπαίδευση, διεθνείς επισκέψεις και ανταλλαγές και παροχή εξατομικευμένης τεχνικής βοήθειας από ομάδες υπηρεσιών γεωργίας ακριβείας για κάθε πιλοτική βιομηχανία. Πιο αναλυτικά, το συγκεκριμένο πρόγραμμα ήταν μια συνεργασία του συμβουλίου γεωργίας της Ταιβάν με το εθνικό πανεπιστήμιο της Ταιβάν, και στόχος του ήταν να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς των φυσικών πόρων καθώς και των ελλείψεων σε ανθρώπινο δυναμικό, προσφέροντας λύσεις με τον τρόπο αυτό τόσο για την έξυπνη παραγωγή όσο και για το ψηφιακό μάρκετινγκ των αγροτικών επιχειρήσεων. Οι κύριες στρατηγικές του συγκεκριμένου προγράμματος προώθησης της γεωργίας ακριβείας ήταν τρεις. Αρχικά επιλέχθηκαν δέκα πιλοτικές επιχειρήσεις του πρωτογενή τομέα από το συμβούλιο γεωργίας, και τέθηκαν ως στόχοι προτεραιότητας για το πρώτο στάδιο προώθησης της γεωργίας ακριβείας. Οι αγροτικές επιχειρήσεις που επιλέχθηκαν αφορούσαν τις εξής καλλιέργειες: ορχιδέες, δενδρύλλια, μανιτάρια, ρύζι, πουλερικά, ανιχνεύσιμα γεωργικά προϊόντα, γαλακτοκομικά προϊόντα, αλιεία ανοικτής θαλάσσης και υδατοκαλλιέργεια. Στη συνέχεια το ινστιτούτο γεωργικής έρευνας και ανάπτυξης (R&D) χρησιμοποίησε τεχνολογικές καινοτομίες μεταξύ τομέων για τη δημιουργία ψηφιακών υπηρεσιών για τη γεωργία, αλυσίδων αξίας και μοντέλων επικοινωνίας μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών, όπως το περιβάλλον που βασίζεται στις μονάδες ελέγχου του διαδικτύου των πραγμάτων, εξοπλισμού μεταφοράς που επιτυγχάνει την εξοικονόμηση εργασίας και πλατφόρμες πληροφοριών διαχείρισης μάρκετινγκ. Η τελευταία στρατηγική αφορά την επόμενη γενιά αγροτών, η οποία θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις για τη χρήση έξυπνων γεωργικών προϊόντων ανάπτυξης καθώς οι καταρτισμένοι αγρότες είναι αυτοί που αποτελούν τη βάση της ανάπτυξης της γεωργίας ακριβείας [32].

Επίσης η αποστροφή των νέων σχετικά με την ενασχόληση με τον πρωτογενή τομέα, αποτελεί έναν ακόμα σημαντικό λόγο για περαιτέρω προώθηση της γεωργίας ακριβείας. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία της Eurostat, ο αγροτικός πληθυσμός γερνάει ενώ παράλληλα πολλοί νέοι πλέον δεν θεωρούν τη γεωργία ως μια πιθανή προοπτική για την επαγγελματική τους αποκατάσταση. Το 2012, η Γενική Διεύθυνση Εσωτερικών Πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) δήλωσε ότι «μόλις το 6 % των καλλιεργειών της ΕΕ ανήκουν σε αγρότες κάτω των 35 ετών», με τη μείωση αυτή να σημειώνεται με σταθερό ρυθμό σε όλες τις χώρες της Ευρώπης. Με την αύξηση του φαινομένου της αστικοποίησης, πολλοί νέοι έχουν αποστασιοποιηθεί από τον τρόπο με τον οποίο παράγονται τα τρόφιμα μας, καθιστώντας όλο

και πιο δύσκολη την εύρεση νέων τρόπων προσέλκυσης των νέων στον αγροτικό τομέα. Με το πρόβλημα αυτό να εμφανίζεται διαρκώς σε αυξανόμενη ένταση και συχνότητα, η μεταρρυθμισμένη Κοινή Αγροτική Πολιτική 2014-2020 εισήγαγε νέα και ενισχυμένα μέτρα για να προσελκύσει και να ενθαρρύνει περισσότερους νέους να ασχοληθούν με τη γεωργία, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων μορφών οικονομικής στήριξης. Ορισμένα μέτρα είναι υποχρεωτικά για τα κράτη μέλη, όπως το «Σχέδιο Young Farmer», όπου οι νέοι γεωργοί λαμβάνουν συμπλήρωμα 25% στην άμεση ενίσχυση που χορηγείται στη φάρμα τους για περίοδο πέντε ετών [14].

Για να γίνει πιο προσιτή και κατανοητή η γεωργία ακριβείας, κατά την ανάπτυξη των διάφορων προγραμμάτων υιοθέτησης της, μπορούν να συμμετέχουν και οι αγρότες. Η συνεργασία των προγραμματιστών και των αγροτών μπορεί να ωφελήσει με το να συμπεριληφθούν λειτουργίες πρόβλεψης στα στάδια του πεδίου εφαρμογής της ανάπτυξης του έργου καθώς και στη φάση εκκίνησης μακροπρόθεσμων έργων, καθώς οι ταχύρρυθμες εξελίξεις στην έξυπνη γεωργία απαιτούν συχνές συζητήσεις σχετικά με τις προβλέψεις στο συγκεκριμένο ζήτημα. Στις συζητήσεις αυτές μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν κοινωνικοί επιστήμονες για να επιτευχθεί η αξιολόγηση των παραγόντων υιοθεσίας των τεχνολογιών από τους αγρότες. Οι ερευνητές μπορούν να έχουν επίγνωση της κατάστασης σχετικά με την υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας, μέσω των κατάλληλων τεχνολογικών ερευνών που πραγματοποιούνται ανά κάποια χρόνια και όπου αξιολογούνται οι αντιλήψεις των αγροτών για ζητήματα της γεωργίας ακριβείας καθώς και επιπτώσεις που επιφέρουν οι συγκεκριμένες τεχνολογίες στον πρωτογενή τομέα. Στις διαδικασίες ανάπτυξης των έξυπνων τεχνολογιών μπορούν να συμμετέχουν, εκτός από τους προγραμματιστές, αγρότες που αποτελούν και τους τελικούς χρήστες, εκπρόσωποι της κοινότητας ή σχετικές οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών, εκπρόσωποι μικρότερων επιχειρήσεων και άλλοι πάροχοι υπηρεσιών, προκειμένου να ληφθεί υπόψη και η γνώμη της κοινωνίας κατά το σχεδιασμό των έξυπνων τεχνολογιών [33].

Σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2019 σε ευρωπαϊκό επίπεδο, ζητήθηκε από τους αγρότες να προτείνουν κάποιες βελτιώσεις σχετικά με την γεωργία ακριβείας, ώστε να γίνει πιο χρηστική και προσιτή κι έτσι να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του χαμηλού ρυθμού υιοθέτησης της. Οι αγρότες πρότειναν να βελτιωθεί η πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τη γεωργία ακριβείας, όπως τα μοντέλα κόστους-οφέλους, να μειωθεί το κόστος των συγκεκριμένων τεχνολογιών, να βελτιωθούν οι υποδομές, όπως η σύνδεση στο διαδίκτυο, οι δορυφορικές εικόνες, κλπ. Επίσης πρότειναν να βελτιωθούν τα τεχνολογικά συστήματα, να απλοποιηθούν και να ενοποιηθούν οι εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας, να αυξηθεί η συμβατότητα μεταξύ διάφορων συσκευών, να βελτιωθούν ορισμένες συσκευές, να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα

των συγκεκριμένων τεχνικών, να αυξηθεί η αξιοπιστία των πληροφοριών, να μειωθεί η πολυπλοκότητα, οι συσκευές να έχουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα, κάτι το οποίο μπορεί να επιτευχθεί μέσω της μείωσης του μεγέθους τους, να περιλαμβάνουν τη δυνατότητα να μεταφερθούν σε άλλο σύστημα καλλιέργειας, να βελτιωθεί η διαχείριση και η χρηστικότητα των δεδομένων, να βελτιωθεί η κινητικότητα των δεδομένων, μέσω tablet ή έξυπνων τηλεφώνων, να αποσαφηνιστεί η μεταφορά των δεδομένων μεταξύ συσκευών, δηλαδή από τον υπολογιστή σε κάποιο tablet ή έξυπνο τηλέφωνο, να πραγματοποιείται βελτιωμένη μετατροπή των δεδομένων που προέρχονται από τις καλλιέργειες σε πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων, προκειμένου να βελτιωθούν οι αποφάσεις υποστήριξη στις αγροτικές εκτάσεις, δηλαδή να επιτευχθεί βελτίωση στην παρουσίαση των δεδομένων καθώς και να εξασφαλιστεί η ασφάλεια τους. Πιο συγκεκριμένα οι περισσότερες απαντήσεις αφορούσαν την πρόσβαση στις τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας από πλευράς οικονομικής προσιτότητας, αλλά και από άποψη πληροφόρησης και συνθηκών υποδομής [34].

2.4 Τεχνολογία Πληροφοριών (information technology) και γεωργία ακριβείας

Η τεχνολογία πληροφοριών (ΤΠ) ορίζεται ως ένα τεχνολογικό σύστημα κατά το οποίο χρησιμοποιούνται οι υπολογιστές με σκοπό τη δημιουργία, επεξεργασία, αποθήκευση, ανάκτηση και ανταλλαγή όλων των ειδών δεδομένων και πληροφοριών. Αποτελεί μέρος της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) και συνήθως χρησιμοποιείται για επιχειρηματικές δραστηριότητες. Γενικά ένα σύστημα τεχνολογίας πληροφοριών αποτελεί ένα σύστημα πληροφοριών, ένα σύστημα επικοινωνιών ή, πιο συγκεκριμένα, ένα σύστημα υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένου όλου του υλικού, του λογισμικού και του περιφερειακού εξοπλισμού, που χρησιμοποιείται από μια περιορισμένη ομάδα χρηστών της τεχνολογίας πληροφοριών. Παρότι τα δεδομένα και οι πληροφορίες αποθηκεύονται, ανακτώνται, χειρίζονται και επικοινωνούνται από τους ανθρώπους από όταν αναπτύχθηκαν τα πρώτα συστήματα γραφής, ο συγκεκριμένος όρος εμφανίστηκε για πρώτη φορά με τη σύγχρονη έννοια σε ένα άρθρο που δημοσιεύτηκε το 1958 στο Harvard Business Review. Η τεχνολογία πληροφοριών αποτελείται από τρεις κατηγορίες: τις τεχνικές επεξεργασίας, την εφαρμογή στατιστικών και μαθηματικών μεθόδων κατά τη λήψη αποφάσεων και την προσομοίωση της σκέψης ανώτερης τάξης μέσω προγραμμάτων υπολογιστών [35]. Η γεωργία ακριβείας συνδέεται με την τεχνολογία πληροφοριών καθώς χρησιμοποιεί τις τεχνικές της τόσο για την συλλογή και όσο και για την ανάλυση των πληροφοριών. Αρχικά αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνολογιών όπως το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, η υπολογιστική νέφους, τα μεγάλα δεδομένα κ.λπ., οι οποίες βοηθούν στη συλλογή των πληροφοριών και των δεδομένων τα οποία στη συνέχεια

αξιοποιούνται από τεχνολογίες όπως τα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για την κατάλληλη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις καλλιέργειες, την παρακολούθηση και τον έλεγχο τόσο των μηχανημάτων και του εξοπλισμού όσο και του περιβάλλοντος [36].

Με τους περισσότερους γαιοκτήμονες μικρών γεωργικών εκτάσεων να είναι επιφυλακτικοί απέναντι στη γεωργία ακριβείας, καθώς θεωρούν μεγάλο το ρίσκο και τη δαπάνη για αποτελέσματα που είναι κάπως αναμφίβολα, οι τεχνολογίες πληροφοριών θεωρούνται κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη έξυπνων χωραφιών. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μετάδοση των δεδομένων που είτε προέρχονται από τις καλλιέργειες είτε αφορούν εξωγενείς παράγοντες όπως η πρόβλεψη του καιρού, η επιλογή των κατάλληλων τεχνολογιών για την παραγωγή καθώς επίσης τις πιθανές τιμές των γεωργικών εισροών και εκροών. Η χρήση τεχνολογιών πληροφοριών αυξάνονται διαρκώς, ενώ σε κάποιες χώρες, όπως για παράδειγμα στην Ινδία, η ίδια η κυβέρνηση συμβάλλει στη διάδοση αυτών των τεχνολογικών μεθόδων. Πιο συγκεκριμένα αναπτύχθηκε το πρόγραμμα αγροτικών επιχειρήσεων της Indian Tobacco Company (ITC), όπου δημιουργήθηκαν 6400 διαδικτυακά περίπτερα που ονομάζονταν e-Chourals σε εννέα πολιτείες της Ινδίας, φθάνοντας σε περίπου 38.000 χωριά και 4 εκατομμύρια αγρότες. Το πρόγραμμα αυτό ξεκίνησε το έτος 2000 και αρχικά λειτούργησε για πέντε χρόνια, όμως λόγω της επιτυχίας του παρατάθηκε για δύο ακόμα χρόνια. Κατά τη διάρκεια αυτού του προγράμματος, οι αγρότες εκπαιδευόντουσαν και λάμβαναν δωρεάν πληροφορίες για τις τιμές της τοπικής και παγκόσμιας αγοράς, τον καιρό αλλά και τις βέλτιστες γεωργικές πρακτικές για τις καλλιέργειες τους. Με τον τρόπο αυτό είχαν την δυνατότητα να αγοράσουν διάφορα αγαθά όπως σιτάρι, σόγια, καφέ, γαρίδες και όσπρια μέσω του δικτύου e-Choural, με την αξία τους να ανέρχεται στα 400 εκατομμύρια δολάρια. Έτσι η παραδοσιακή γεωργία έχει μεταμορφωθεί με την εφαρμογή των τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας καθώς και της τεχνολογίας πληροφοριών, συμβάλλοντας σε σημαντικές βελτιώσεις στη γεωργική παραγωγικότητα και βιωσιμότητα ενώ παράλληλα μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Επίσης η τεχνολογία πληροφοριών επιτρέπει μέσω ενός ενημερωμένου και απομακρυσμένου ασύρματου δικτύου αισθητήρων, την συνεχή παρακολούθηση του αγροκτήματος σε πραγματικό χρόνο [29].

2.5 Οφέλη

Με την εφαρμογή τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας σημειώνεται αύξηση στην παραγωγικότητα και τα έσοδα, καθώς και βελτίωση της ποιότητας των τελικών προϊόντων, σε σύγκριση με τη χρήση των παραδοσιακών μεθόδων [37]. Η γεωργία ακριβείας προσφέρει στους

αγρότες την δυνατότητα για παρακολούθηση των φυσικών και χημικών παραμέτρων της βλάστησης των γεωργικών εκτάσεων μέσω της χρήσης κατάλληλων αισθητήρων, οι οποίοι καταγράφουν τις διάφορες παραμέτρους του εδάφους όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμοκρασία, τα νιτρικά άλατα, η υγρασία εδάφους, η εξατμισοδιαπνοή καθώς και η ακτινοβολία. Επίσης με τη χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών επιτυγχάνεται η πρόσβαση των αγροτών σε λεπτομερείς εικόνες, με τις οποίες μπορούν να παρακολουθούν τις καλλιέργειες απομακρυσμένα. Έτσι μπορούν να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα που μπορεί να εμφανίζει μια αγροτική έκταση σε θέματα άρδευσης, μεταβολές του εδάφους και προσβολές από παράσιτα και μύκητες που δεν είναι ορατές στο ανθρώπινο μάτι. Οι αερομεταφερόμενες κάμερες μπορούν να τραβήξουν πολυφασματικές εικόνες, καταγράφοντας δεδομένα από το υπέρυθρο και από το οπτικό φάσμα. Τα δεδομένα αυτά συνδυάζονται ώστε να παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την υγεία των φυτών ενώ παράλληλα γίνεται ο διαχωρισμός των υγείων φυτών από αυτών που έχουν προσβληθεί από κάποια ασθένεια. Γενικότερα τα οφέλη που προσφέρει η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι ο εντοπισμός καλλιεργειών, η διαχείριση ζιζανίων, και η παρακολούθηση των ζώων. Επίσης η υλοποίηση και ανάλυση των δεδομένων σε συνδυασμό με τις ευρυζωνικές κινητές επικοινωνίες παρέχουν τη δυνατότητα της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο όπως επίσης και την πρόσβαση σε εύρωστες εικόνες, όπως η χαρτογράφηση ζιζανίων.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω σχετικά με τη διαχείριση των πληροφοριών των αγρών, συμπεραίνουμε πως τα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν υπό τις βέλτιστες συνθήκες μέσω της αυτοματοποιημένης διαχείρισης των καλλιεργειών, και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση ενός συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων στις καλλιέργειες, το οποίο χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Το σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων προτείνει τόσο την αναγκαιότητα του αγρού για πότισμα όσο και την κατάλληλη χρονική περίοδο για τη πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διαδικασίας, την ανάγκη απομάκρυνσης της ουσίας του αλατιού λόγω έντονης παρουσίας στη ριζική ζώνη, την ανάγκη προετοιμασίας κ.λπ. [38]. Η χρήση χαμηλότερων ποσοτήτων των γεωργικών εισροών οδηγεί στη μειωμένη καταπόνηση του εδάφους ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται είτε διατήρηση είτε αύξηση της παραγωγής. Η μείωση της πίεσης του εδάφους είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη μείωση εμφάνισης ζιζανίων, παρασίτων και ασθενειών στις γεωργικές εκτάσεις καθώς με την εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών, μειώνεται η χρήση φυτοφαρμάκων που απαιτείται για τη διατήρηση της υγείας των φυτών. Η σωστή χρήση εισροών πετυχαίνει την αύξηση της βιοποικιλότητας του εδάφους, μειώνοντας έτσι την επίδραση στην πανίδα και τη χλωρίδα ενώ παράλληλα διατηρείται η βιοποικιλότητα των καλλιεργειών [37].

Η γεωργία ακριβείας επιτρέπει όχι μόνο την παρακολούθηση των αγρών αλλά και τη διαχείριση της κτηνοτροφίας μέσω των αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι σε γεωργικά μηχανήματα και συλλέγουν τις κατάλληλες πληροφορίες. Έτσι οι αγρότες μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών μπορούν να πετύχουν την υγεία των φυτών και των ζώων, και με τον τρόπο αυτό συμβάλλουν στην λήψη αποφάσεων από τον διαχειριστή. Με την παρακολούθηση και διαχείριση της υγείας των καλλιεργειών πραγματοποιείται η διαχείριση της ποιότητας των προϊόντων, γεγονός που τους προσθέτει αξία. Οι έξυπνες τεχνικές της γεωργία ακριβείας μπορεί να έχουν επίσης ως απόρροια τη μείωση των νιτρικών αλάτων στα υπόγεια ύδατα, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του νερού. Γενικότερα μέσω της βιώσιμης γεωργίας, η οποία προσφέρει βιολογικές πρακτικές και σκοπός της είναι η μείωση χρήσης χημικών εισροών. Έτσι επιτυγχάνεται η μείωση των βλαβερών επιπτώσεων που επιφέρουν τα βιομηχανικά γεωργικά συστήματα μεγάλης κλίμακας στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Η μείωση αυτή των χημικών εισροών πραγματοποιείται μέσω των ειδικών εφαρμογών και της μηχανικής απομάκρυνσης των ζιζανίων [39].

Η γεωργία ακριβείας προσφέρει έξυπνες τεχνολογίες για την αύξηση της γεωργικής παραγωγής με λιγότερες εισροές. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα συστήματα παρακολούθησης που χρησιμοποιούν διάφορους αισθητήρες παρέχουν στους αγρότες ακριβείς πληροφορίες και έγκαιρες προειδοποιήσεις για την κατάσταση των καλλιεργειών. Παράλληλα, η γεωργία ακριβείας προσφέρει της υπηρεσίες της και για την βελτίωση της κτηνοτροφίας. Για παράδειγμα οι κτηνοτρόφοι μπορούν να χρησιμοποιούν ρομπότ αρμέγματος και ταΐσματος ακριβείας. Στην Ευρώπη χώρες όπως η Ολλανδία, η Γερμανία και η Γαλλία έχουν υιοθετήσει τις τεχνικές του αυτόματου αρμέγματος. Περίπου το 90 % των νέων εγκαταστάσεων εξοπλισμού στη Σουηδία και τη Φινλανδία και το 50 % στη Γερμανία περιλαμβάνουν ρομπότ αρμέγματος. Επίσης προβλέπεται μέχρι το 2050, η χρήση των ρομπότ αρμέγματος να έχει αυξηθεί σε βαθμό που θα εφαρμόζεται στα μισά από τα κοπάδια γαλακτοπαραγωγής της βορειοδυτικής Ευρώπης. Το ρομποτικό άρμεγμα παράγει περίπου 120 μεταβλητές δεδομένων ανά αγελάδα την ημέρα όπως: κινήσεις, διανομή τροφής, παραγωγή γάλακτος, ποιότητα γάλακτος, θερμοκρασία και ασθένειες των βοοειδών. Οι τεχνολογίες αυτές βελτιώνουν την ευημερία των αγελάδων και μειώνουν τα επίπεδα άγχους τους. Μέσω των εξοπλισμών αρμέγματος ακριβείας τα γαλακτοκομικά αγροκτήματα σημειώνουν σημαντική αύξηση των αποδόσεων τους. Η μέση ετήσια παραγωγή γάλακτος στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά αγελάδα είναι 6.915 κιλά, ενώ κάποιες επιχειρήσεις που εφαρμόζουν την τεχνολογία του αρμέγματος ακριβείας παράγουν σχεδόν τη διπλάσια ποσότητα, η οποία φτάνει και τα 12.000 κιλά γάλα ετησίως, με την ίδια γεωργική

εισροή με τις παραδοσιακές εκμεταλλεύσεις γάλακτος. Έτσι με το ίδιο επίπεδο γεωργικής εισροής η γεωργία ακριβείας προσφέρει στους αγρότες αυξημένες αποδόσεις [14].

Εκτός από τη συμβολή στη βελτίωση των επιπτώσεων που εμφανίζονται στο περιβάλλον, υπάρχουν και σημαντικές βελτιώσεις σε θέματα που αφορούν το ανθρώπινο δυναμικό μια γεωργικής επιχείρησης. Πιο συγκεκριμένα με την διευκόλυνση πολλών γεωργικών δραστηριοτήτων, μειώνεται το άγχος των αγροτών, παρόλο που οι διαδικασίες επεξεργασίας πληροφοριών και βαθμονόμησης των τεχνολογιών είναι απαιτητικές και σύνθετες και μπορεί να εμφανιστούν τεχνολογικές αποτυχίες. Το επίπεδο άγχους βέβαια εξαρτάται και από τον τύπο τεχνολογίας που εφαρμόζεται από έναν αγρότη. Στην περίπτωση των τεχνολογιών καθοδήγησης οι οποίες είναι λειτουργικές και αποτελεσματικές για χρόνια, μειώνουν το άγχος πολύ περισσότερο από τεχνολογίες μεταβλητού ρυθμού που απαιτούν πιο λεπτομερή και συνεχή βαθμονόμηση, προκειμένου να λειτουργήσουν σωστά σε σύγκριση με τη συμβατική ομοιόμορφη εφαρμογή. Οι διευκολύνσεις που προσφέρουν οι έξυπνες τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας μέσω των αυτοματισμών σε ποικίλες αγροτικές πρακτικές, βοηθούν στη μείωση των ατυχημάτων καθώς και των τραυματισμών των εργαζομένων αλλά και γενικότερα του φόρτου και της έντασης της εργασίας [37].

Όταν μια νέα γεωργική τεχνική υιοθετείται από έναν αγρότη, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και την αύξηση της αποδοτικότητας της καλλιέργειας, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση των κερδών μιας επιχείρησης βραχυπρόθεσμα. Παρόλα αυτά μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος, υπάρχουν πιθανότητες άλλοι αγρότες να υιοθετήσουν τις νέες γεωργικές τεχνικές και έτσι η συνολική παραγωγή ενός τεχνολογικού προϊόντος θα αυξηθεί ενώ παράλληλα θα μειωθεί η τιμή του. Συνέπεια αυτού είναι η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τη μείωση του κόστους. Αυτές οι τεχνολογίες θα εμπορευματοποιηθούν και θα υιοθετηθούν από τους αγρότες, οι οποίοι με τη σειρά τους θα παρέχουν νέες προμήθειες και θα μειώσουν τις τιμές παραγωγής. Η συγκεκριμένη πορεία των γεγονότων είναι γνωστή ως γεωργικός διάδρομος.

Με τη χρήση των νέων τεχνολογικών μεθόδων της γεωργίας ακριβείας μπορεί να επιτευχθεί η ιχνηλασιμότητα, η οποία αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων. Πλέον οι πελάτες απαιτούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία και τα χαρακτηριστικά των διαδικασιών. Οι συγκεκριμένες απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν μέσω της ιχνηλάτισης που προσφέρει η γεωργία ακριβείας, γεγονός που αυξάνει την αξία των προϊόντων για τους πελάτες. Η γεωργία ακριβείας επιτρέπει τόσο στους λιανοπωλητές όσο και στους τελικούς καταναλωτές να εντοπίζουν και να ελέγχουν κάθε ενέργεια στην αλυσίδα εφοδιασμού και στο χωράφι [39].

Μέσω των σύγχρονων συστημάτων εκτίμησης εξοικονομείται χρόνος καθώς οι πληροφορίες που προέρχονται από τους αισθητήρες μεταδίδονται σε έναν κεντρικό διακομιστή και με το τρόπο αυτό οι αγρότες έχουν πρόσβαση στα δεδομένα των καλλιεργειών μέσω ενός Smartphone ή Laptop. Επίσης οι ειδοποιήσεις που αποστέλλονται μέσω email ή SMS μπορούν να τροποποιηθούν, ώστε να ενημερώνουν τους αγρότες για το πότε υπάρχει ανάγκη για πότισμα, για να προετοιμάσει ή να αντιμετωπίσει οποιοδήποτε πρόβλημα.

Συνοπτικά με την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας οι αγρότες μπορούν να επιτύχουν αύξηση της βιωσιμότητας, υψηλότερη παραγωγικότητα, αύξηση των οικονομικών οφελών καθώς μειώνεται το κόστος για το νερό και τα φυτοφάρμακα και προστασία του περιβάλλοντος. Οι τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας βοηθάνε στην ανάλυση και αξιολόγηση των δεδομένων που προέρχονται από τις καλλιέργειες, καθώς και σε διάφορες άλλες γεωργικές πρακτικές όπως η ακριβής προετοιμασία του εδάφους, η σπορά ακριβείας, η ακριβής διαχείριση των καλλιεργειών και η συγκομιδή ακριβείας [38].

2.6 Προκλήσεις

Παρόλο που η γεωργία ακριβείας εμφανίζει πολλά θετικά στοιχεία και δίνει τη δυνατότητα για βελτίωση πολλών πρακτικών του πρωτογενούς τομέα και διευκόλυνση των αγροτών, παράλληλα παρουσιάζει και ορισμένες προκλήσεις, τις οποίες οι ερευνητές καλούνται να αντιμετωπίσουν στο άμεσο μέλλον, με απώτερο σκοπό την εξάπλωση της γεωργίας ακριβείας και την υιοθέτηση της από περισσότερες αγροτικές επιχειρήσεις. Οι προκλήσεις αυτές είτε αποτρέπουν τους αγρότες από το να υιοθετήσουν τις μεθόδους της γεωργίας ακριβείας, είτε εμφανίζουν προβλήματα κατά την εφαρμογή τους στις αγροτικές εκτάσεις.

Για τη σωστή και αποδοτική εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας, πρέπει να εξασφαλιστεί η ποιότητα του διαθέσιμου δικτύου για τη σύνδεση μεταξύ των συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς και η διαθεσιμότητα των πόρων σε πραγματικό χρόνο. Τόσο η ποιότητα του δικτύου όσο και η διαθεσιμότητα όπως είναι λογικό είναι ισχυρότερες στις αστικές σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές, γεγονός που επιβάλλει την άμεση βελτίωση ώστε οι αγροτικές περιοχές να είναι στο ίδιο επίπεδο με τις αστικές και έτσι να αυξηθεί η υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας. Το συγκεκριμένο πρόβλημα συναντάται τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου όμως εργάζονται για την επίλυση του και την βελτίωση της συνδεσιμότητας του δικτύου στις αγροτικές περιοχές, χωρίς όμως αυτό το εγχείρημα να έχει ιδιαίτερη επιτυχία. Πιο συγκεκριμένα η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται από τον πάροχο τηλεπικοινωνιών, αποτελείται από τα εξής χαρακτηριστικά: τη φορητότητα των υπηρεσιών, την ευελιξία της αμφίδρομης επικοινωνίας, και το χαμηλό κόστος σε συνδυασμό με

τις προσαρμοσμένες λύσεις [40]. Πολλές είναι οι αγροτικές περιοχές των οποίων η πρόσβαση τους στο διαδίκτυο υψηλών ταχυτήτων είναι περιορισμένη, αναξιόπιστη ή μη προσιτή, καθώς οι τεχνολογίες επικοινωνίας ευρείας ζώνης (5G και Wi-Fi 6) αναπτύσσονται με υψηλότερο ρυθμό σε πολυπληθείς περιοχές λόγω τόσο του κόστους όσο και της απαίτησης υψηλής πυκνότητας για τις μικροκυψέλες. Έτσι τα δύο συνηθέστερα προβλήματα που εμφανίζονται για την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας και σχετίζονται με το επικοινωνιακό σύστημα, είναι η έλλειψη των κατάλληλων υποδομών για την πρόσβαση στο διαδίκτυο καθώς και οι διακοπόμενες, κακής ποιότητας συνδέσεις με περιορισμένο εύρος ζώνης και χαμηλές ταχύτητες. Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με την αύξηση της χωρητικότητας του εύρους ζώνης και του αριθμού των ασφαλών διακομιστών που είναι εγκατεστημένοι σε μια χώρα. Πιο συγκεκριμένα με την εφαρμογή πολιτικών εθνικού επιπέδου, μπορεί να πραγματοποιηθεί η διαδικασία πιστοποίησης και κατασκευής μιας προηγμένης ευρυζωνικής υποδομής διαδικτύου, ώστε να χρησιμοποιείται από ερευνητικά ινστιτούτα και πανεπιστήμια και έτσι να επενδύεται από κοινού από ιδιωτικούς φορείς και από την κυβέρνηση [41]. Επίσης υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στην γεωργία ακριβείας, όπως είναι για παράδειγμα η ασύρματη τεχνολογία ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης (LPWA), η οποία παρέχει αποτελεσματική κάλυψη με τις τελικές συσκευές να καταναλώνουν μικρή ποσότητα ενέργειας. Μια ακόμα τεχνολογία επικοινωνίας είναι το διαδίκτυο των πραγμάτων στενής ζώνης (NB-IoT), το οποίο προσφέρει οικονομικές λύσεις κατά την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας και για αυτό χρησιμοποιείται από τις βιομηχανίες.

Επίσης ορισμένες φορές η επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων δικτύων γεωργίας μπορεί να εμφανίσει διαταραχές που οφείλονται σε παρεμβολές με άλλους κόμβους αισθητήρων, οι οποίοι λειτουργούν στο ίδιο φάσμα. Η παρεμβολή αυτή προκαλεί σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο, όπως προβλήματα συνδεσιμότητας, απώλεια δεδομένων, ανακριβείς μετρήσεις, απώλεια πακέτων, καθυστέρηση κ.λπ. Η παρεμβολή όμως που εμφανίζεται στην επικοινωνία μπορεί να οφείλεται σε άλλους παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και η παρουσία εμποδίων. Οι παρεμβολές στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων-αισθητήρων ενός διαδικτύου των πραγμάτων, έχουν ως αποτέλεσμα τις απώλειες, οι οποίες οδηγούν στην παύση λειτουργίας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί πως η απόδοση κάποιων συσκευών δεν είναι ικανοποιητική σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως τα μικροκύματα που απορροφώνται από το νερό, απώλεια σημάτων κατά τη διάρκεια της βροχής κ.λπ. Επειδή οι δυσχερείς αυτές περιβαλλοντικές συνθήκες εμφανίζονται διαρκώς σε πολλές αγροτικές εκτάσεις, με αποτέλεσμα η ποιότητα της σύνδεσης να μειώνεται, οι ερευνητές καλούνται να βρουν λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

Οι προκλήσεις όμως που εμφανίζονται στην εξάπλωση της γεωργίας ακριβείας δεν περιορίζονται μόνο στην ποιότητα των τηλεπικοινωνιών, αλλά αφορούν επίσης και την ποιότητα και το κόστος του υλικού. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται από τους αγρότες όπως οι διάφοροι αισθητήρες ή τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, αντιμετωπίζουν διάφορα προβλήματα που προέρχονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, για παράδειγμα η έκθεση σε βροχή, οι καταιγίδες, οι υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες, ο άνεμος υψηλής ισχύος, είναι φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στις συσκευές. Οι ζημιές αυτές μπορούν να οδηγήσουν στην επεξεργασία και αποστολή εσφαλμένων δεδομένων στην πλατφόρμα του υπολογιστικού νέφους (cloud). Για το λόγο αυτό, θα πρέπει μελλοντικά να υπάρξουν βελτιώσεις στην ποιότητα του υλικού ώστε να παρέχει καλύτερα μέσα επικοινωνίας στη συνολική αρχιτεκτονική και να προσφέρει αξιοπιστία ακόμα και σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η αποθήκευση των δεδομένων εκτός από αξιόπιστη πρέπει να είναι ταυτόχρονα και επεκτάσιμη καθώς σε ένα έξυπνο σύστημα γεωργίας χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός συσκευών, που για την αποδοτική εφαρμογή τους συνδέονται τόσο μεταξύ τους όσο και με το περιβάλλον επικοινωνίας και χρησιμοποιούνται διάφορες πύλες και πρωτόκολλα δικτύου. Οι συσκευές θα πρέπει να έχουν την ικανότητα να επεκτείνουν τις δυνατότητές τους βάσει των προσδοκιών για την ικανοποίηση μελλοντικών απαιτήσεων.

Στην γεωργία ακριβείας χρησιμοποιούνται οι πιο σύγχρονες τεχνολογίες, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με συσκευές που επιτελούν πολύπλοκες λειτουργίες, γεγονός που λειτουργεί αποτρεπτικά για την υιοθέτηση τους, καθώς οι αγρότες λόγω της έλλειψης κατάλληλου μορφωτικού επιπέδου, αδυνατούν να τις κατανοήσουν και κατ' επέκταση να τις εφαρμόσουν στις καλλιέργειές τους. Εκτός από την έλλειψη τεχνολογικών γνώσεων, ένα μεγάλο μέρος των αγροτών αγνοεί τα οφέλη της γεωργίας ακριβείας για τις καλλιέργειες τους [40]. Επί παραδείγματι, η εφαρμογή της τεχνολογίας των αισθητήρων, θεωρείται από κάποιους αγρότες μη πρακτική ή ότι διαταράσσει την ομαλή λειτουργία των αγροτικών δραστηριοτήτων. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η χρήση των νέων τεχνολογιών και τα οφέλη που προσφέρουν στον πρωτογενή τομέα, απαιτείται χρόνος, ενώ παράλληλα προσθέτουν πολυπλοκότητα στις λειτουργίες του αγροκτήματος [41]. Ένα ακόμα εμπόδιο για την ευρύτερη υιοθέτηση των τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας αποτελεί το υψηλό κόστος που ξεπερνά το εισόδημα των αγροτών, γεγονός που οδήγησε διάφορους παρόχους υπηρεσιών να προσφέρουν οικονομικά αποδοτικές και ευκολότερες λύσεις στους αγρότες [40]. Οι μικρότερες καλλιέργειες συχνά δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις δαπάνες που απαιτούνται για τις συσκευές υλικού, το λογισμικό και την εκπαίδευση. Πολλές φορές δεν υπάρχει καμία διασφάλιση ότι οι προκαταβολικές χρηματικές και χρονικές επενδύσεις θα οδηγήσουν σε αύξηση των αποδόσεων, του οικονομικού

οφέλους και γενικότερα των βελτιωμένων αποτελεσμάτων καθώς το κόστος λειτουργίας των έξυπνων συστημάτων της γεωργίας ακριβείας μπορεί να είναι τεράστιο για μια επιχείρηση [41]. Γενικότερα έχει παρατηρηθεί πως ελάχιστες είναι οι γεωργικές εταιρείες που προσφέρουν την κατάλληλη εκπαίδευση στο προσωπικό τους ενώ παράλληλα είναι ειδικές στην ανάλυση κόστους, την ανάλυση περιθωρίου καλλιέργειών, και με τον τρόπο αυτό έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ολοκληρωμένες λύσεις σχετικά με την γεωργία ακριβείας. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η γεωργία ακριβείας θα πρέπει να προσφέρει οικονομικότερες και πιο απλουστευμένες υπηρεσίες για να υιοθετηθεί με επιτυχία, όπως επίσης πως είναι σημαντικό να εγκαθιδρυθεί συνεργασία μεταξύ των εταιρειών, της τοπικής αυτοδιοίκησης και των αγροτών [40].

Η πεποίθηση των αγροτών πως η κατάλληλη έξυπνη τεχνολογία δεν είναι είτε διαθέσιμη είτε προσβάσιμη, έχει συμβάλλει σημαντικά στον μειωμένο ρυθμό υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας. Επίσης πολλοί αγρότες θεωρούν πως το ψηφιακό περιβάλλον αποτελεί απειλή για την εταιρική κουλτούρα μιας καλλιέργειας, κι έτσι δεν εξετάζουν τα πιθανά πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρουν τέτοιες τεχνολογίες κατά την υιοθέτησή τους. Άλλο ένα ζήτημα που απασχολεί τους αγρότες είναι η συμβατότητα ανάμεσα στην τεχνολογία που απαιτείται για να μετατραπεί μια αγροτική επιχείρηση σε «έξυπνη» και την ετοιμότητά της να υιοθετήσει την συγκεκριμένη τεχνολογία [41].

Μια ακόμα πρόκληση για τους ερευνητές που ασχολούνται με την γεωργία ακριβείας αποτελεί η ασφάλεια και το απόρρητο. Με τις επιθέσεις στον κυβερνοχώρο να αυξάνονται διαρκώς, είναι δύσκολο να επιτευχθεί η διασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας των συσκευών, δηλαδή να αποφευχθούν τα σφάλματα στα δεδομένα, τα οποία πρέπει παράλληλα να είναι ακριβή και να μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο. Τα έξυπνα τεχνολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία παράγουν έναν τεράστιο όγκο σύνθετων δεδομένων που προέρχονται από διάφορες συσκευές όπως οι αισθητήρες, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, κάμερες κ.λπ. Τα δεδομένα αυτά θα επεξεργαστούν και στη συνέχεια θα αποθηκευτούν σε πλατφόρμες υπολογιστικής νέφους με τις οποίες είναι συνδεδεμένες μέσω του διαδικτύου. Η σύνδεση αυτή μπορεί να είναι ευάλωτη στους χάκερ και τους εισβολείς. Η διαρροή δεδομένων αποτελεί μεγάλη απειλή για τους αγρότες, καθώς σε περίπτωση που ένας εισβολέας εντοπίσει κάποιο κενό στο σύστημα γεωργία ακριβείας μέσω του διαδικτύου των πραγμάτων, μπορεί να ελέγξει τα δεδομένα ολόκληρης της επιχείρησης. Ένας από τους κύριους λόγους εμφάνισης τέτοιων προβλημάτων, είναι η χρήση πειρατικών και μη αδειοδοτημένων προϊόντων που μπορούν να οδηγήσουν σε διαρροή δεδομένων.

Ένα σύστημα γεωργίας ακριβείας αποτελείται από πολλές συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων, πύλες, πλατφόρμες υπολογιστικής νέφους και ένα κέντρο δεδομένων που καταναλώνουν τεράστια ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος μπαταρίας. Επίσης προκειμένου οι κόμβοι-αισθητήρες να καλύψουν τις απαιτήσεις ισχύος, εξαρτώνται από τις δυνατότητες της ενσωματωμένης μπαταρίας και για αυτό είναι υψίστης σημασίας η ελαχιστοποίηση της ισχύος που χρησιμοποιείται από αυτούς, ώστε να εξασφαλιστεί η παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και η μείωση του κόστους για τους αγρότες. Επίσης, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, οδηγεί σε μεγάλο κίνδυνο εξάντλησής της και σε συνδυασμό με την υπερβολική χρήση του 5G, ορισμένες περιβαλλοντικές παράμετροι επηρεάζονται αρνητικά λόγω της χρήσης κυμάτων χιλιοστών και υψηλότερων ζωνών συχνοτήτων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα έξυπνο σύστημα γεωργίας αποτελείται από έναν τεράστιο αριθμό συσκευών, ένα μέρος των οποίων έχει στόχο τη συλλογή δεδομένων από τις καλλιέργειες, τα οποία στη συνέχεια θα αξιοποιηθούν από τα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων. Σε περίπτωση όμως που κάποια συσκευή αρχίσει να δυσλειτουργεί και να παρέχει ανακριβείς μετρήσεις, εμφανίζεται μεγάλος κίνδυνος για την καλλιέργεια, καθώς τα ελαττωματικά δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε τεράστιες ζημιές. Για παράδειγμα, εάν κάποιο έξυπνο σύστημα άρδευσης αρχίσει να δυσλειτουργεί, τότε υπάρχουν πιθανότητες να δημιουργηθούν εσφαλμένες απαιτήσεις σε νερό, δηλαδή είτε μεγαλύτερες είτε μικρότερες ποσότητες νερού. Το πρόβλημα αυτό δεν έχει αντιμετωπιστεί ακόμα πλήρως από τους ειδικούς, συμβάλλοντας έτσι στην μειωμένη υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας από τους επιφυλακτικούς αγρότες, οι οποίοι απαιτούν συσκευές που λειτουργούν αξιόπιστα και προσφέρουν πρόσβαση σε ακριβή δεδομένα των γεωργικών εκτάσεων σε πραγματικό χρόνο [40].

Κεφάλαιο 3 - Τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας

Προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες επισιτιστικές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού, η τεχνολογία γεωργίας έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια μέσω της ψηφιοποίησης και έχει αναπτυχθεί σε πολλούς τομείς όπως η συλλογή και η ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από τις καλλιέργειες. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορα δημοφιλή τεχνολογικά μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των γεωργικών εκτάσεων, τον αυτοματισμό της συγκομιδής και του ψεκασμού, την λήψη αποφάσεων και την πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα αναλύονται οι εξής τεχνολογίες: μη επανδρωμένα αεροσκάφη, μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους, ασύρματο δίκτυο αισθητήρων,

διαδίκτυο των πραγμάτων, σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων, μηχανική μάθηση, επεξεργασία εικόνας, δείκτες βλάστησης.

3.1 Συλλογή δεδομένων

Ένα μεγάλο κομμάτι της γεωργίας ακριβείας αποτελεί η συλλογή δεδομένων από τις καλλιέργειες, τα οποία είναι χρήσιμα για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών και την καταγραφή της μεταβλητότητας που παρατηρείται σε αρκετές παραμέτρους του χωραφιού. Με την αύξηση των επενδύσεων στον τομέα της γεωργίας και έχοντας ως στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας τουλάχιστον 70% έως το 2050, είναι μείζονος σημασίας η αξιοποίηση των πληροφοριών αυτών από την πλευρά των αγροτών, προκειμένου να αυξήσουν τόσο την παραγωγικότητα όσο και την ποιότητα του τελικού προϊόντος ώστε να ανταποκριθούν στον υψηλό ανταγωνισμό της αγοράς. Η συλλογή δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί από τον εναέριο χώρο, μέσω των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, αλλά και επίγεια με την χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων και του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Επίσης σημαντικό ρόλο έχει το διαδίκτυο των πραγμάτων μέσω του οποίου συνδέεται πληθώρα συσκευών, κάτι το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

3.1.1 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Μια οικονομική λύση που παρέχει εικόνες υψηλής ποιότητας, είναι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΜΕΑ). Το ΜΕΑ ελέγχεται από έναν χειριστή εξ αποστάσεως και μπορεί να μεταφέρει διάφορα είδη καμερών, όπως πολυφασματικές και υπερφασματικές, καταγράφοντας με τον τρόπο αυτό εναέριες εικόνες, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή δεικτών βλάστησης που επιτρέπουν στους αγρότες να παρακολουθούν συνεχώς τη μεταβλητότητα της καλλιέργειας και τις συνθήκες καταπόνησης του εδάφους. Η χρήση του ξεκίνησε κατά την διάρκεια του δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου για στρατιωτικούς σκοπούς. Στη συνέχεια, στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, άρχισε να χρησιμοποιείται και να αναπτύσσεται συστηματικά, λόγω της ανάπτυξης άλλων τεχνολογιών όπως αισθητήρες εικόνων, μονάδες αδρανειακών μετρήσεων, ραντάρ συνθετικού διαφράγματος και παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS).

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη διαχωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες με βάση τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά, το επίπεδο της αυτονομίας, το μέγεθος σε συνδυασμό με το βάρος και τέλος την πηγή ενέργειας.

Βάσει των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ταξινομούνται σε τρεις τύπους:

- ΜΕΑ σταθερής πτέρυγας: Ο τύπος των σταθερών πτερυγίων διαθέτει μια προκαθορισμένη αεροτομή από στατικά και σταθερά φτερά που επιτρέπουν την ανύψωση με βάση την ταχύτητα του αέρα προς τα εμπρός του ΜΕΑ. Ο έλεγχος ενός τέτοιου ΜΕΑ επιτυγχάνεται μέσω ανελκυστήρων, πτερυγίων και πηδαλίων τα οποία είναι προσαρτημένα στα φτερά. Πιο συγκεκριμένα, τα κατασκευαστικά αυτά χαρακτηριστικά επιτρέπουν στο ΜΕΑ να περιστρέφεται γύρω από τις γωνίες κύλισης, βήματος και εκτροπής, αντίστοιχα. Επίσης αυτός ο τύπος ΜΕΑ παρουσιάζει αποτελεσματική και απλή αρχιτεκτονική που διευκολύνει την συντήρηση καθώς επίσης χαρακτηρίζεται από μεγάλης διάρκειας πτήση, μεγάλη κάλυψη [42], υψηλές ταχύτητες και υψηλό επίπεδο αντοχής αλλά ταυτόχρονα αποτελεί τον πιο ακριβό τύπο ΜΕΑ [43,42].



Εικόνα 3: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας

- ΜΕΑ περιστροφικής πτέρυγας: Για τον τύπο του περιστροφικού πτερυγίου ισχύει πως η ροή αέρα αποτελείται από πολλούς ρότορες που παράγουν την κατάλληλη ισχύ που απαιτείται για την ανύψωση του ΜΕΑ. Βάσει αυτής της ροής αέρα, ο τύπος περιστροφικής πτέρυγας δεν χρειάζεται την ταχύτητα αέρα προς τα εμπρός για ανύψωση, σε αντίθεση με τον πρώτο τύπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο έλεγχος να γίνεται με βάση τη ροπή και την ώθηση των ρότορων [42], καθιστώντας το πιο ασφαλές και αυξάνοντας την χωρητικότητα του [44]. Ανάλογα με τον αριθμό των ρότορων, ένα ΜΕΑ με περιστροφική πτέρυγα μπορεί να ταξινομηθεί στις ακόλουθες κατηγορίες: τρίπτερα, τετρακόπτερα, εξακόπτερα και οκτοκόπτερα, με κάθε κατηγορία να εμφανίζει τα δικά της πλεονεκτήματα

και μειονεκτήματα. Τα ΜΕΑ του συγκεκριμένου τύπου διαθέτουν καλύτερο και ευκολότερο έλεγχο και είναι σε θέση να μεταφέρουν βαρύτερο φορτίο σε σύγκριση με τον τύπο σταθερής πτέρυγας [42], αλλά δεν μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες ή να παραμείνουν στον αέρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως αφού είναι ο πιο οικονομικός τύπος ΜΕΑ και είναι κατάλληλα για μικρής έκτασης καλλιέργειες [43].



Εικόνα 4: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη περιστροφικής πτέρυγας

- Υβριδικά ΜΕΑ: Ο υβριδικός τύπος πτέρυγας συνδυάζει τα παραπάνω καθώς διαθέτει ρότορες για απογείωση και προσγείωση, αλλά ταυτόχρονα περιλαμβάνει και σταθερά φτερά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη μεγάλων περιοχών.

Στον παρακάτω πίνακα [43] παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τύπων μη επανδρωμένων αεροσκαφών:

Πίνακας 2: Σύγκριση διαφορετικών τύπων ΜΕΑ

Χαρακτηριστικά	Σταθερή Πτέρυγα	Περιστροφική Πτέρυγα	Υβριδικό
Αεροδυναμικό σύστημα ανύψωσης	Προκαθορισμένη αεροτομή στατικών και σταθερών φτερών	Ρότορες και έλικες τοποθετημένοι προς τα πάνω για τη δημιουργία ώθησης	Κάθετη απογείωση σαν περιστροφικό σύστημα και πτήση σαν σταθερής πτέρυγας
Σύστημα ελέγχου του ΜΕΑ	Ανελκυστήρες, πηδάλια και τιμόνι προσκολλημένα στα φτερά		
Πολυπλοκότητα ελέγχου	Πολύπλοκος	Απλός	Το πιο πολύπλοκο
Σύστημα πτήσης	Απλή	Πολύπλοκη	Πολύπλοκη
Ενεργειακή απόδοση	Πολλή	Λιγότερη	Πολλή
Διαδικασίες αρχιτεκτονικής και συντήρησης	Απλές	Πολύπλοκες	Πολύπλοκες
Απαίτηση χώρου για απογείωση και προσγείωση	Ναι	Όχι	Όχι
Δυνατότητα αιώρησης	Όχι	Ναι	Ναι
Δυνατότητα πτήσης υψηλών ταχυτήτων	Ναι	Όχι	Ναι
Περιορισμός ακτίνας περιστροφής κατά την αλλαγή κατεύθυνσης	Ναι	Όχι	Ναι
Περιορισμός ελαχίστων και μεγίστων γωνιών πτήσης κατά την προσγείωση και απογείωση	Ναι	Όχι	Όχι
Εφέ κίνησης προπέλας σε εικόνες	Όχι	Ναι	Όχι
Απαιτείται ταχύτητα αέρα προς τα εμπρός	Ναι	Όχι	Ναι

Με γνώμονα το επίπεδο της αυτονομίας τα ΜΕΑ κατηγοριοποιούνται σε αυτόνομα και αυτόματα συστήματα. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από μια σειρά κανόνων που προσφέρουν προσαρμογή σε διάφορες καταστάσεις. Σύμφωνα με το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών, υπάρχουν τέσσερις τύποι αυτονομίας: Για τον πρώτο τύπο, σύστημα που λειτουργεί από τον άνθρωπο, ισχύει πως ο χειριστής του συστήματος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο όλων

των λειτουργιών του ΜΕΑ. Ο δεύτερος τύπος, με την ονομασία ανθρώπινο σύστημα εξουσιοδότησης, αποτελείται από υψηλότερο επίπεδο αυτονομίας σε σύγκριση με τον πρώτο τύπο, καθώς διατηρεί την ικανότητα να λαμβάνει αυτόνομα έναν περιορισμένο αριθμό αποφάσεων. Ο τρίτος τύπος ονομάζεται ανθρώπινο εποπτευόμενο σύστημα και μπορεί να λάβει διάφορες αποφάσεις με βάση τις οδηγίες του διαχειριστή του συστήματος. Βάσει δηλαδή των δεδομένων που λαμβάνουν τα ΜΕΑ αλλά και ο χειριστής τους, μπορούν να εκτελέσουν διάφορες ενέργειες. Ο τελευταίος τύπος αυτόνομων ΜΕΑ είναι τα πλήρως αυτόνομα συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για όλες τις λειτουργίες τους. Πιο συγκεκριμένα, το ΜΕΑ λαμβάνει δεδομένα από τον χειριστή του συστήματος και τα ερμηνεύει σε συγκεκριμένες εργασίες. Ο διαχειριστής του συστήματος έχει τη δυνατότητα να παρέμβει στη λειτουργία του ΜΕΑ, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Χρησιμοποιώντας ως κριτήριο το βάρος ενός ΜΕΑ μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ελαφρύ είτε βαρύ, με τα όρια του βάρους να αλλάζουν από χώρα σε χώρα. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο του ΜΕΑ και τα αεροδυναμικά του χαρακτηριστικά μπορεί να χαρακτηριστεί μεγάλο ή μικρό. Επίσης μια υποκατηγορία των ΜΕΑ βάσει του μεγέθους είναι τα μίνι, το βάρος των οποίων κυμαίνεται από μερικά γραμμάρια έως αρκετά κιλά. Τέλος τα ΜΕΑ ταξινομούνται βάσει των καυσίμων που καταναλώνουν προκειμένου να λειτουργήσουν. Πιο συγκεκριμένα είναι τέσσερα τα καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν: κηροζίνη, μπαταρία κυψέλης, κυψέλη καυσίμου, ηλιακές κυψέλες [42].

Η ανάπτυξη των καλλιεργειών δεν πραγματοποιείται με ομοιόμορφο τρόπο και κατά συνέπεια ποικίλει η απόδοση τους από σημείο σε σημείο. Η παρακολούθηση της ανάπτυξης των χωραφιών και η αξιολόγηση της απόδοσης τους σε πραγματικό χρόνο, ενισχύει την διαχείριση των αγροτικών περιοχών καθώς καθιστά δυνατή την δημιουργία κατάλληλων στρατηγικών για την αύξηση της απόδοσης. Για αυτό τον σκοπό αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δορυφόροι, ένα εγχείρημα που περιορίστηκε για μεγάλης έκτασης καλλιέργειες και μικρής ανάλυσης εικόνες, καθώς οι δορυφόροι εμφάνιζαν πολλούς περιορισμούς στη χρήση τους. Τα παραπάνω μειονεκτήματα σε συνδυασμό με την αδυναμία χρήσης τους σε μέρες με υψηλής κάλυψης σύννεφων, οδήγησαν τους αγρότες να υιοθετήσουν την τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την συλλογή δεδομένων από τις γεωργικές εκτάσεις. Η ικανότητα των ΜΕΑ να λειτουργούν σε χαμηλά υψόμετρα, μειώνει τόσο το πρόβλημα της κάλυψης σύννεφων όσο και της ποιότητας της εικόνας. Τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω των ΜΕΑ σε συνδυασμό με τον δείκτη ομαλοποιημένης διαφοράς βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index), και τα σημεία ασθενειών και παρασίτων, που προέρχονται από διαφορετικές χρονικές περιόδους, μπορούν να συγκριθούν και με τον τρόπο αυτό να δημιουργηθούν οι κατάλληλοι

χάρτες που απεικονίζουν την τυπική απόκλιση και τον συντελεστή διακύμανσης. Επίσης μπορεί να σημειωθεί η υψηλότερη και η χαμηλότερη τιμή απόδοσης που παράγεται από το ίδιο σημείο της καλλιέργειας για κάθε εποχή και σε βάθος χρόνου να σχηματιστούν μπλοκ διαχείρισης για μεγαλύτερη αυθεντικότητα και σταθερότητα απόδοσης. Οι εικόνες που καταγράφονται από τα ΜΕΑ μπορούν να μετατραπούν σε μοντέλα ψηφιακής επιφάνειας (Digital Surface Models) ή σε μοντέλα επιφάνειας καλλιεργείων (Crop Surface Models) για την αξιολόγηση της υγείας των καλλιεργείων, των ρυθμών ανάπτυξης, των προβλέψεων της απόδοσης και κατ' επέκταση για την εκτίμηση της συσσώρευσης βιομάζας και του ύψους των φυτών [45]. Η βιομάζα αποτελεί την πιο συνηθισμένη παράμετρο των καλλιεργείων και μαζί με πληροφορίες όπως η περιεκτικότητα του αζώτου, προσδιορίζουν τις απαιτήσεις για επιπλέον λίπασμα κι άλλες ενέργειες. Συγκεκριμένα ενέργειες όπως η διαχείριση των καλλιεργείων, η χρήση των εισροών, η συγκομιδή και άλλες, μπορούν να προγραμματιστούν από τους αγρότες και να οδηγήσουν στην αύξηση της απόδοσης αλλά ακόμα και του εντοπισμού πιθανών λαθών [43].

Οι χάρτες αυτοί παρέχουν πολλές λεπτομέρειες για την παραλλαγή της ανάπτυξης της βλάστησης και της ενδεχόμενης απόδοσης, παρόλα αυτά δεν έχει τελειοποιηθεί η ικανότητα των ΜΕΑ να χαρτογραφούν τις καλλιέργειες με ακρίβεια, σε θέματα όπως οι διακυμάνσεις απόδοσης και οι αιτίες. Ένα ακόμα πρόβλημα που εμφανίζουν τα ΜΕΑ κατά την χρήση τους στην παρακολούθηση και αξιολόγηση των χωραφιών, είναι η αξιολόγηση των πολυχρονικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ποιοι δείκτες βλάστησης υπολογίζουν βέλτιστα την απόδοση των καλλιεργείων και να μπορούμε να βρούμε τη σχέση μεταξύ των παρατηρούμενων χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και της απόδοσης παραγωγής. Επίσης πρέπει να εκτιμάται επακριβώς η απαιτούμενη ακρίβεια των μοντέλων επιφάνειας καλλιεργείων καθώς και ο κατάλληλος χρόνος και το κατάλληλο στάδιο ανάπτυξης για την καταγραφή δεδομένων από κάθε τύπο καλλιέργειας, για να επιτύχουμε την ακριβή πρόβλεψη της απόδοσης.

Εκτός από την χαρτογράφηση των γεωργικών εκτάσεων, άλλη μια χρήση των ΜΕΑ είναι ο εντοπισμός ασθενειών, μια δυνατότητα που συμβάλλει στην παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργείων και την διαχείριση των παρασίτων. Οι δύο αυτές διαδικασίες είναι πολύ σημαντικές για την αποφυγή εξάπλωσης μιας ασθένειας στα φυτά, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή της καλλιέργειας και στην απώλεια χρημάτων. Η τεχνολογία των ΜΕΑ προσφέρει πολλά οφέλη καθώς με την χρήση τους πραγματοποιείται εξοικονόμηση χρημάτων, χρόνου και ανθρώπινου δυναμικού. Τα ΜΕΑ μπορούν να συνδυαστούν με ειδικό εξοπλισμό απεικόνισης, όπως δείκτη ομαλοποιημένης διαφοράς βλάστησης, κάμερες κλπ., που χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με την θερμοκρασία, τα επίπεδα χλωροφύλλης και το

πάχος των φύλλων ώστε να προσδιορίσουν την υγεία των φυτών. Οι παραπάνω τεχνολογίες παρέχουν την δυνατότητα στους αγρότες να παρακολουθούν την ανάπτυξη των φυτών και να τα διαχειρίζονται με τον βέλτιστο τρόπο, αφού οι ασθένειες ανιχνεύονται στα πρώτα τους στάδια, και με τον τρόπο αυτό δεν επιδεινώνεται η κατάσταση των καλλιεργειών και μειώνονται οι απώλειες. Επίσης μπορούμε να συνδυάσουμε δεδομένα από υπερφασματικούς και θερμικούς αισθητήρες για καλύτερα αποτελέσματα στην ανίχνευση ασθενειών στα αρχικά τους στάδια. Ωστόσο ο συνδυασμός αυτός ενέχει κινδύνους, διότι η χρήση των δύο διαφορετικών αισθητήρων αυξάνει την πολυπλοκότητα της επεξεργασίας των δεδομένων [45]. Τα ΜΕΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δύο διαφορετικά στάδια για τον έλεγχο μια ασθένειας, είτε στο αρχικό στάδιο της μόλυνσης συλλέγοντας τις κατάλληλες πληροφορίες και ανιχνεύοντας την μόλυνση πριν εμφανιστούν οπτικές ενδείξεις στα φυτά, είτε στο στάδιο της θεραπείας της μόλυνσης όπου οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ΜΕΑ για στοχευμένους ψεκασμούς καθώς και για ακριβή παρακολούθηση της πορείας των παρεμβάσεων τους [43]. Ένας ακόμα τρόπος για την διατήρηση της υγείας των καλλιεργειών κατά τον οποίο επιτυγχάνεται τόσο η διαχείριση των παρασίτων όσο και η μείωση χρήσης φυτοφαρμάκων και κατ' επέκταση η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, είναι η απελευθέρωση ωφέλιμων εντόμων και παρασίτων στα χωράφια, παρέχοντας πιο αποτελεσματική κατανομή των παραγόντων του βιοελέγχου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές.

Η αποτελεσματική χρήση των εικόνων που προέρχονται από τα ΜΕΑ κατά την διαχείριση των ασθενειών των φυτών, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φασματική, χωρική και χρονική ανάλυση τους καθώς και από το ύψος στο οποίο θα πετάξουν τα ΜΕΑ. Σε χαμηλότερα υψόμετρα, οι εικόνες έχουν υψηλότερη χωρική ανάλυση, δεν εξασφαλίζουν όμως μεγάλη κάλυψη περιοχής. Ωστόσο, η υψηλότερη ακρίβεια δεν επιτυγχάνεται πάντα από την υψηλότερη χωρική ανάλυση σε χαμηλό υψόμετρο. Μια ακόμα πρόκληση είναι η υψηλή ανάλυση στις χωρικές και χρονικές εικόνες των ΜΕΑ καθώς και η φασματική ομοιότητα των συμπτωμάτων των παρασίτων και των αβιοτικών πιέσεων στις καλλιέργειες, ένα πρόβλημα που επιδεινώνεται κατά την αρχική ανίχνευση όπου υγιείς και μη καλλιέργειες έχουν παρόμοια εμφάνιση και παρουσιάζουν ανάλογα φασματικά μοτίβα [45].

Ένας καθοριστικός παράγοντας για την υψηλή παραγωγικότητα των αγροτικών εκτάσεων είναι η σωστή διαχείριση του νερού σε πραγματικό χρόνο καθώς οι απαιτήσεις για άρδευση διαφέρουν από σημείο σε σημείο λόγω της μεταβλητότητας του εδάφους. Τα ΜΕΑ προσφέρουν διαχείριση της άρδευσης και της πίεσης του νερού. Τα ΜΕΑ σε συνδυασμό με θερμικούς και υπερφασματικούς αισθητήρες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα που σχετίζονται με τη χωρική μεταβλητότητα του εδάφους και στις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων του

καθώς και της υγρασίας του από σημείο σε σημείο. Με τον τρόπο αυτό το χωράφι χωρίζεται σε διάφορα τμήματα, βάσει των μεταβαλλόμενων απαιτήσεων του εδάφους και επιτυγχάνεται ανομοιόμορφη άρδευση για την ακριβή διαχείριση του νερού. Τα συλλεγόμενα δεδομένα πρέπει να είναι επαρκή ώστε να είναι εφικτός ο διαχωρισμός των εικονοστοιχείων των φυτών από το έδαφος και εν συνεχεία να πραγματοποιηθεί η χαρτογράφηση της μορφολογίας του εδάφους και της πίεσης του νερού στην καλλιέργεια. Επειδή οι θερμικές εικόνες επηρεάζονται εύκολα από εξωγενείς παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, πηγές θερμικής ακτινοβολίας κ.α., πρέπει να ληφθούν υπόψη προσεκτικά πολλοί παράγοντες για τη σωστή ανάκτηση της θερμοκρασίας και άλλων πληροφοριών. Άλλες δυνατότητες που προσφέρουν τα ΜΕΑ για την διαχείριση του νερού είναι επίσης, η παρακολούθηση της ροής του νερού στα κανάλια άρδευσης και η διανομή του μέσω ψεκαστήρων κεντρικού άξονα, ώστε να ποτίζονται με νερό και θρεπτικές ουσίες διάφορα τμήματα των χωραφιών [45]. Έτσι οι αγρότες ποτίζοντας τα κατάλληλα μέρη, την κατάλληλη στιγμή στην κατάλληλη ποσότητα εξοικονομούν χρόνο, ποσότητες νερού και αυξάνουν την παραγωγικότητα και την ποιότητα των προϊόντων τους [43].

Εκτός όμως από τον ψεκασμό νερού τα ΜΕΑ συμμετέχουν και στον ψεκασμό λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση τόσο των χημικών προϊόντων κατά 15-20%, χρησιμοποιώντας χαμηλό ή εξαιρετικά χαμηλό όγκο ψεκασμού, όσο και του χρόνου αφού μπορεί να φτάσει να είναι έως και πέντε φορές πιο γρήγορη μέθοδος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές. Στα πλεονεκτήματα χρήσης ΜΕΑ για τον ψεκασμό λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων συγκαταλέγονται η αποφυγή ζημιών λόγω της ικανότητάς τους να λειτουργούν πολύ κοντά στις καλλιέργειες, η εξάλειψη έκθεσης των ανθρώπων στα χημικά και η μείωση της χημικής μετατόπισης. Για να μπορέσουν όμως οι αγρότες να χρησιμοποιήσουν αποδοτικά τα ΜΕΑ θα πρέπει να λάβουν υπόψη τις διάφορες μεταβλητές παραμέτρους κατά την πτήση των ΜΕΑ. Πιο συγκεκριμένα η ροή του αέρα των ροτόρων καθορίζει τη διεισδυτικότητα των σταγονιδίων. Επίσης παράμετροι όπως η θερμοκρασία των χωραφιών, το μέγεθος τους, ο αριθμός των στάσεων για επιτόπιο ψεκασμό, καθιστούν δύσκολο το ψέκασμα ολόκληρων καλλιεργειών με μια μόνο πτήση των ΜΕΑ, επιβάλλοντας με τον τρόπο αυτό την πολλαπλή επαναφόρτιση και αναπλήρωση των μπαταριών τους, διαδικασίες που απαιτούν χρόνο. Η σταθερότητα και η ομαλότητα της πτήσης μπορούν επίσης να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα του ψεκασμού των ΜΕΑ, για να επιτευχθούν όμως σταθερές και ομαλές πτήσεις απαιτούνται πολύπλοκα συστήματα ελέγχου [45].

3.1.1 Μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους

Τα αυτόματα συστήματα ρομπότ, στα οποία ανήκουν τα Μη Επανδρωμένα Οχήματα Εδάφους, έχουν αναπτυχθεί έχοντας ως στόχο να εκτελούν εργασίες, να λαμβάνουν αποφάσεις και να ενεργούν σε πραγματικό χρόνο χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η μείωση του φόρτου εργασίας, η επαναλαμβανόμενη ακρίβεια και η υψηλή απόδοση σε σταθερές συνθήκες. Ο συλλογισμός και οι αισθητήρες είναι οι δύο βασικές προϋποθέσεις ώστε να επιτευχθεί αυτονομία και για αυτό τα αυτόματα συστήματα ρομπότ πρέπει να διαθέτουν ευελιξία, για να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος αλλά και να μπορούν να επεξεργαστούν τις πληροφορίες που συλλέγονται από τους αισθητήρες. Προκειμένου να ανταποκριθούν στις μεταβαλλόμενες ανάγκες των καλλιεργειών, τα αυτόματα συστήματα ρομπότ αποτελούνται από ένα πλήθος υποσυστημάτων και συσκευών που τους επιτρέπουν να επιτελούν τα καθήκοντα τους. Τα υποσυστήματα και οι συσκευές αποτελούνται από τα εξής: σχεδιασμός διαδρομών, ικανότητες πλοήγησης ή καθοδήγησης, κινητικότητα, σύστημα διεύθυνσης και έλεγχος, σύστημα αισθητήρων, χειριστές και κυρίως κατευθυντήριες γραμμές για την διαχείριση μεμονωμένων ή παράλληλων απροσδόκητων γεγονότων. Συνήθως τα ρομπότ που προορίζονται για χρήση στον πρωτογενή τομέα, σχεδιάζονται για να επιτελούν μια κύρια εργασία όπως φύτευση, απομάκρυνση ζιζανίων, κλάδεμα, συγκέντρωση γεωργικών προϊόντων, συγκομιδή, χειρισμός. Για να φέρουν εις πέρας την κύρια εργασία τους τα υποσυστήματα και οι συσκευές πρέπει να πραγματοποιήσουν κάποιες υποστηρικτικές εργασίες όπως ο εντοπισμός και η πλοήγηση, η ανίχνευση των αντικειμένων προς θεραπεία, η ενέργεια που πρέπει να πραγματοποιηθεί κλπ. Οι πληροφορίες και οι εντολές ανταλλάσσονται τόσο μεταξύ των υποστηρικτικών εργασιών όσο και μεταξύ των κύριων και των υποστηρικτικών εργασιών. Κάθε υποστηρικτική εργασία ελέγχει ένα ή περισσότερα υποσυστήματα και συσκευές και κάθε συσκευή μπορεί να υποστηρίξει πολλές υποστηρικτικές εργασίες. Για παράδειγμα, για ένα ρομπότ που σχεδιάζεται να παρακολουθεί τις ασθένειες των φυτών, η κύρια εργασία του είναι να παρακολουθεί την εξέλιξη μιας νόσου, αλλά για να επιτελέσει τα καθήκοντα του το ρομπότ πρέπει να πραγματοποιήσει και κάποιες υποστηρικτικές εργασίες όπως αυτοεντοπισμός, σχεδιασμός τροχιάς, σύστημα διεύθυνσης και πλοήγηση από την πραγματική του θέση στην νέα του θέση, συνεργασία με τον χειριστή του ή αλληλεπίδραση με ανθρώπινη παρουσία καθώς και με άλλα ρομπότ ή αντικείμενα στο μονοπάτι που έχει ορίσει πιο πριν και τροποποιώντας τον σχεδιασμό της τροχιάς του όταν είναι αναγκαίο [46].

Οι βασικές αγροτικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στις καλλιέργειες είναι οι εξής: άροση, συγκομιδή, παρακολούθηση των καλλιεργειών και εντοπισμός και αφαίρεση των

ζιζανίων. Όλες οι παραπάνω δραστηριότητες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω των Μη Επανδρωμένων Οχημάτων αυξάνοντας ταυτόχρονα την παραγωγικότητα και την ποιότητα των τελικών προϊόντων σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Η πρώτη διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε ένα χωράφι είναι η άροση, κατά την οποία μέσω του χειρισμού του εδάφους και της ανάμειξής του, τα σωματίδια του χαλαρώνουν, τα θρεπτικά συστατικά αναμειγνύονται, τα ζιζάνια και τα παράσιτα καταστρέφονται, καθιστώντας τις συνθήκες κατάλληλες για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Το 2011 ένα εμπορικό τρακτέρ υπέστη τροποποιήσεις, προσθέτοντας του μια κεραία παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (GNSS), για την ανάκτηση δεδομένων τοποθεσίας σε πραγματικό χρόνο και ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος για τον έλεγχο του συστήματος διεύθυνσης. Επίσης διέθετε μονάδα μέτρησης της αδράνειας για την παροχή δεδομένων σχετικά με την κλίση, το ύψος και τη γωνία κατεύθυνσης. Οι πληροφορίες που προέρχονταν από το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης, τη μονάδα μέτρησης αδράνειας και τον αζιμουθιακό αισθητήρα, συγκρίνονταν προκειμένου να εκτιμηθεί η παράμετρος του ελέγχου, η οποία διόρθωνε τα λάθη κατά την παρακολούθηση μιας συγκεκριμένης τροχιάς και στη συνέχεια μετατρέπονταν σε εντολή ενεργοποιητή. Την επόμενη χρονιά επαναλήφθηκε η ίδια προσπάθεια για την τροποποίηση ενός εμπορικού τρακτέρ σε αυτόματο μηχάνημα για την άροση του χωραφιού, χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά το δορυφορικό σύστημα κινηματικής-παγκόσμιας πλοήγησης πραγματικού χρόνου (RTK-GNSS), επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης, κατά μερικά εκατοστά. Επίσης, συμπεριλαμβάνοντας μεθόδους όπως διαγώνια και κυκλική πλοήγηση πραγματοποιείται σχεδιασμός μονοπατιών και καθοδήγηση του οχήματος στο μονοπάτι αυτό, με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και ακρίβεια σε σχέση με τις μεθόδους που επιτελούνται χωρίς αυτοματισμούς και μηχανήματα [47].

Άλλη μια πολύ σημαντική αγροτική δραστηριότητα που μπορεί να ωφεληθεί με την χρήση σύγχρονων τεχνολογιών είναι η συγκομιδή. Η υιοθέτηση των μη επανδρωμένων οχημάτων δίνει την δυνατότητα στους αγρότες να αυξήσουν την παραγωγικότητα, την ποιότητα των τελικών προϊόντων αλλά και την ανταγωνιστικότητα της αγοράς. Επίσης αποτελεί μια μέθοδο για την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως η έλλειψη εργατικού δυναμικού, το κόστος εργασίας και η ασφάλεια των τροφίμων [7]. Μια θεριστική μηχανή ανιχνεύει τους καρπούς που πρέπει να συλλεχθούν λαμβάνοντας υπόψη τη θέση, το μέγεθος, το είδος της επιφάνειας και το σχήμα. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετά ημιαυτόματα μηχανήματα συγκομιδής [47] αλλά η ανάπτυξη πλήρως αυτόματων μηχανημάτων βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό και ερευνητικό στάδιο καθώς δεν έχουν βρεθεί λύσεις για θέματα όπως ο ταυτόχρονος εντοπισμός των καρπών και η χαρτογράφηση του περιβάλλοντος, οι αλγόριθμοι σχεδιασμού διαδρομής και

ο αριθμός των ανιχνεύσιμων και έτοιμων για συγκομιδή καρπών σε συνθήκες διαφορετικής πυκνότητας των φυτών. Οι εξαιρετικά μεταβλητές ετερογενείς συνθήκες εργασίας καθώς και οι πολύπλοκες και απρόβλεπτες εργασίες που αφορούν τα διαφορετικά φρούτα και φυτά συμβάλουν στην μείωση της προόδου των τεχνολογιών αυτοματισμού. Στις έρευνες που πραγματοποιούνται, τα μη επανδρωμένα οχήματα συνδυάζονταν αρχικά με τεχνολογίες όπως αισθητήρες ραντάρ υπερήχων και κάμερες RGB ορατού φωτός που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των αντικειμένων και έχουν χαμηλό κόστος, ενώ μετέπειτα με την εξέλιξη των τεχνολογιών επεξεργασίας της εικόνας, χρησιμοποιούνται υπέρυθρες, υπερφασματικές, θερμικές κάμερες. Επίσης χρησιμοποιείται συνδυασμός πολλαπλών αισθητήρων που υιοθετούνται με τεχνικές που βασίζονται στην όραση για την εξαγωγή χωρικών πληροφοριών από τις εικόνες για ανίχνευση, αναγνώριση, εντοπισμό και παρακολούθηση των φρούτων. Η αναγνώριση των φρούτων και των φυτών συμπεριλαμβάνει επίσης τεχνικές όπως αναγνώριση μέσω πολλαπλών εικόνων ή βάσει του συνδυασμού χρωμάτων και τρισδιάστατων χαρακτηριστικών, αλγόριθμο αντιστοίχισης πολλαπλών προτύπων, ανάλυση συμμετρίας, μέθοδο συνδυασμένης απόστασης χρωμάτων, χρήση συνελκτικών νευρωνικών δικτύων και αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης τόσο για την ανίχνευση των φρούτων όσο και για την αποφυγή εμποδίων σε εξαιρετικά πυκνό φύλλωμα. Τα αυτόματα μηχανήματα συγκομιδής που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο παραμένουν αρκετά αργά και μη αποδοτικά οικονομικά, μια λύση όμως για το πρόβλημα αυτό είναι η χρήση πολλαπλών αυτόματων μηχανημάτων συγκομιδής με πολλές κάμερες χαμηλού κόστους, καινοτόμες μαλακές ρομποτικές λαβές ή συνεργασία ανθρώπου-μηχανήματος. Με τις παραπάνω λύσεις βελτιώνεται ο χρόνος επεξεργασίας της ανίχνευσης πολλαπλών φρούτων στην περίπτωση φυτών υψηλής πυκνότητας και σε βάθος χρόνου παρέχονται πληροφορίες του εδάφους για τους αλγόριθμους της μηχανικής μάθησης που βασίζονται στην εμπειρία ανθρώπου-χειριστή. Αποτελέσματα προσομοιώσεων δείχνουν πως η υλοποίηση ρομπότ με ένα χέρι δεν είναι επιτυχημένη λόγω των δραστηριοτήτων «αίσθησης και κίνησης» σε περιοχές με βλάστηση υψηλής πυκνότητας, διότι ακόμα κι αν η ανίχνευση των καρπών γίνει με ακρίβεια και το ρομπότ υπολογίσει τη βέλτιστη τροχιά για να φτάσει στον καρπό, χωρίς να λαμβάνει επιπλέον ανατροφοδότηση από τους αισθητήρες της κάμερας, τη στιγμή που εισέρχεται στον πυκνή περιοχή των φυτών διαταράσσεται η ακριβής θέση του καρπού-στόχου [7].

Σε μια καλλιέργεια υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα, με τα χαρακτηριστικά του εδάφους να αλλάζουν από τμήμα σε τμήμα ενός χωραφιού, γεγονός που οφείλεται σε γενετικούς παράγοντες, τη γήρανση, τις αντιδράσεις στο περιβάλλον, τα παράσιτα και τη γονιμότητα του εδάφους. Τα προαναφερόμενα στοιχεία μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για ποικίλα

χαρακτηριστικά όπως μορφολογία, φυσιολογία, ανάπτυξη, οικολογία και απόδοση. Τα χαρακτηριστικά αυτά αξιολογούνται και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Η παρακολούθηση των εδαφικών εκτάσεων είναι πολύ σημαντική για τη σωστή αξιοποίηση των χαρακτηριστικών του εδάφους για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης. Η παρακολούθηση των καλλιεργειών πραγματοποιείται μέσω των πολλαπλών αισθητήρων συνδυασμού δεδομένων όπως κάμερες 3D-TOF (Time of Flight), έγχρωμες κάμερες, αισθητήρες απόστασης λέιζερ, αισθητήρες υπερφασματικής απεικόνισης. Παραδείγματος χάρη, το 2014 αναπτύχθηκε ένας αυτόματος μετρητής διεύθυνσης εδάφους με το όνομα Bonirob, ο οποίος ενσωματώθηκε σε αυτόνομο κινητό ρομπότ και διαθέτει ράβδο ανίχνευσης με αισθητήρα δύναμης, αισθητήρες επιφανειακής υγρασίας και θερμοκρασίας, ώστε να μπορεί να μετρήσει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Οι ιδιότητες αυτές επεξεργάζονται στη συνέχεια από κατάλληλους αλγόριθμους, με αποτέλεσμα οι αγρότες να έχουν πλήρη επίγνωση για την υγεία των φυτών [47]. Όπως ισχύει και σε κάθε μη επανδρωμένο όχημα εδάφους, τα αυτόματα ρομπότ παρακολούθησης περιέχουν συστήματα αποφυγής εμποδίων, ακριβούς ελέγχου πλοήγησης, ελέγχου χειριστή, και τρισδιάστατες ανακατασκευές περιβάλλοντος.



Εικόνα 5: Το Bonirob μαζί με μετρητή διεύθυνσης εδάφους

Μια σημαντική διαδικασία για την σωστή ανάπτυξη των καρπών και κατ' επέκταση την βελτίωση της ποιότητας τους, είναι ο εντοπισμός και η αφαίρεση των ζιζανίων και όλων των περιττών φυτών [7]. Τέσσερεις είναι οι βασικές τεχνολογίες οι οποίες πρέπει να αναπτυχθούν και να συνδυαστούν για τον αποτελεσματικό έλεγχο των ζιζανίων σε μια γεωργική έκταση. Πιο συγκεκριμένα είναι η καθοδήγηση, η ανίχνευση και ταυτοποίηση, ο ακριβής έλεγχος ζιζανίων και η χαρτογράφηση, με την ανίχνευση και ταυτοποίηση να αποτελεί την μεγαλύτερη πρόκληση

καθώς πρέπει να πραγματοποιείται υπό ένα ευρύ φάσμα συνθηκών στους γεωργικούς αγρούς [48]. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας ελέγχου ζιζανίων, την πρώτη φάση αποτελεί ο εντοπισμός τους μέσω του αυτόματου μηχανήματος, μια διαδικασία που πραγματοποιείται με την βοήθεια των συστημάτων όρασης. Το σύστημα όρασης θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να εντοπίζει με ακρίβεια την θέση των φυτών και των ζιζανίων, ώστε να μπορεί να τα διαχωρίζει και να τα αντιμετωπίζει με τον κατάλληλο τρόπο προκειμένου να μην προκαλεί φθορές στα φυτά. Για τον παραπάνω σκοπό εφαρμόζονται τεχνικές λήψης και επεξεργασίας εικόνας κοντά στο έδαφος και σε συνδυασμό με μεθόδους χρήσης των πληροφοριών που προέρχονται από τα χρώματα, επιτυγχάνεται η διάκριση μεταξύ βλάστησης και φόντου, ενώ στη συνέχεια με την χρήση τεχνικών ανάλυσης σχημάτων, πραγματοποιείται η διάκριση μεταξύ των καρπών από των ζιζανίων. Κάποιες τεχνικές διάκρισης είναι η συσχέτιση των τριών βασικών χρωμάτων κόκκινο-πράσινο-μπλε και η χρήση εικόνων που προέχονται από συσκευές συζευγμένου φορτίου [7]. Το BoniRob, που αναφέρεται και στην παραπάνω παράγραφο για την χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων στη διαδικασία της παρακολούθησης των καλλιεργειών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την χαρτογράφηση των χωραφιών όσο και για τον εντοπισμό των ζιζανίων, με τη τοποθέτηση μιας πολυφασματικής μονόφθαλμης κάμερας. Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε για την αξιοπιστία του BoniRob σε ένα χωράφι με καρότα, η ακρίβεια του έφτασε περίπου στο 93,8%, κατά την διαδικασία του διαχωρισμού μεταξύ των καρότων και των ζιζανίων. Ένα ακόμα ρομπότ που βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο είναι το Armadillo του οποίου ο αρχικός σκοπός ήταν η παρακολούθηση των αγρών και στη συνέχεια ο εντοπισμός ζιζανίων, αλλά οι ερευνητές δουλεύουν στην τροποποίηση του ώστε να προσθέσουν στις δυνατότητες του και την αφαίρεση των ζιζανίων. Ένα εναλλακτικός τρόπος για την αφαίρεση των ζιζανίων είναι η θέρμανση, μια μέθοδος που ενέχει κινδύνους ασφαλείας τόσο για την καλλιέργεια όσο και για το ίδιο το ρομπότ, και η χρήση χημικών [47]. Αν και δεν έχει ακόμη επιτευχθεί πλήρως η εμπορευματοποίηση τέτοιου είδους μη επανδρωμένων οχημάτων, η τελευταία δεκαετία υπήρξε αρκετά καρποφόρα καθώς με τη συνεργασία ποικίλων διεθνών ερευνητικών ομάδων και εταιριών που εδρεύουν στις: Ολλανδία, Ελβετία, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και Γαλλία, προέκυψαν διάφορες πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες, με τη χρήση των αποτελεσμάτων των διεπιστημονικών αυτών έργων. Για να είναι αποδοτικά τα αυτόματα ρομπότ εντοπισμού και αφαίρεσης ζιζανίων, κατά την σχεδίαση τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο διαθέσιμος χρόνος, η εργασία, ο εξοπλισμός, το κόστος, τα είδη ζιζανίων και οι περιοχές που μολύνονται [7].



Εικόνα 6: Εφαρμογή ζιζανιοκτόνου με χρήση έξυπνου ψεκασμού

3.1.3 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ) είναι ένα δίκτυο που συντίθεται από ένα σύνολο κόμβων-αισθητήρων, οι οποίοι συμμετέχουν στην συγκέντρωση και την μέτρηση των πληροφοριών, που προέρχονται από τον χώρο όπου παρατάσσονται και μεταφέρουν τα δεδομένα αυτά στους χρήστες. Ο συνολικός αριθμός των αισθητήρων ποικίλει και μπορεί να είναι από δεκάδες έως χιλιάδες, ανάλογα την έκταση των αγρών, και συνεργάζονται προκειμένου να παρακολουθούν την περιοχή στην οποία έχουν τοποθετηθεί [49]. Τα δεδομένα που συλλέγονται αφορούν την υγρασία του εδάφους, τη θερμοκρασία, την υγρασία και τις συνθήκες καλλιέργειας και άλλες σημαντικές πληροφορίες, και μετά την συλλογή τους αποστέλλονται είτε σε σταθμούς βάσης είτε σε κόμβους, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην βελτίωση της διαδικασίας της λήψης αποφάσεων [50]. Τα ΑΔΑ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: δομημένα και αδόμητα. Η πρώτη κατηγορία αφορά δίκτυα που αναπτύσσονται σε συγκεκριμένη περιοχή με κατάλληλο τρόπο και μπορούν να ρυθμιστούν εύκολα σε περίπτωση που προκύψει πρόβλημα σε κάποιο κόμβο-αισθητήρα. Σε αντίθεση με την πρώτη κατηγορία, τα αδόμητα ΑΔΑ παρατάσσονται μαζικά χωρίς να τα συνοδεύει κάποια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και τοποθετούνται συνήθως σε δύσβατες για τους ανθρώπους περιοχές, όπου είναι δύσκολη η συλλογή πληροφοριών. Σε περίπτωση που ένας κόμβος σταματήσει να λειτουργεί ή πραγματοποιηθεί αποτυχία κόμβου, τα αδόμητα ΑΔΑ δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν με μεγάλη ευκολία. Τα ΑΔΑ ταξινομούνται σε πέντε τύπους για την παρακολούθηση των παραμέτρων της επιφάνειας της γης, τις υπόγειες συνθήκες, τις υποβρύχιες συνθήκες, τα πολυμέσα και την παρακολούθηση μιας περιοχής με τη βοήθεια της κίνησης αισθητήρων. Με τη χρήση ποικίλων τύπων αισθητήρων το ΑΔΑ μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται μέσα από τις εξής διαδικασίες: Συλλογή πληροφοριών για τις καιρικές συνθήκες, το έδαφος, την καλλιέργεια, την κλιματική κατάσταση και την στάθμη του νερού κ.λπ., χωρομέτρηση της γης για καλύτερη καλλιέργεια, μέτρηση των αναγκών σε πόρους για τα

χωράφια, καθορισμός των χρονικών απαιτήσεων για τις καλλιέργειες όπως λιπάσματα, άρδευση, φυτοφάρμακα κλπ., προστασία των γεωργικών εκτάσεων από εισβολείς [49].

Για την πρόσβαση στις διάφορες παραμέτρους που προέρχονται από τους αγρούς, υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ΑΔΑ. Οι τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση και τον υπολογισμό των γεωργικών δεδομένων είναι οι παρακάτω.

- Ο αισθητήρας περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό που μετράει την αναλογία της ποσότητας νερού που υπάρχει στο έδαφος που ελέγχεται προς τη συνολική ποσότητα του εδάφους δοκιμής. Αποτελεί τη μεταβολή της τιμής της χωρητικότητας, που εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους. Η χαμηλότερη τιμή είναι το μηδέν και εκφράζει το εντελώς στεγνό έδαφος, ενώ η ανώτερη τιμή είναι αυτή του πορώδους του υλικού κατά τον κορεσμό. Ο αισθητήρας πρέπει να βαθμονομηθεί για κάθε θέση, καθώς οι μετρήσεις εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους.
- Ο αισθητήρας περιεκτικότητας του εδάφους σε υγρασία καταγράφει την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Συγκεκριμένα μετράει την τάση του νερού στο έδαφος ή την απορρόφηση του. Η παράμετρος αυτή παρουσιάζει την προσπάθεια του ριζικού συστήματος του φυτού ενώ εξάγει νερό από το έδαφος. Μέσω αυτού του αισθητήρα πραγματοποιείται η εκτίμηση της ποσότητας του νερού που βρίσκεται αποθηκευμένο στο έδαφος ή της απαιτούμενης ποσότητας για την άρδευση ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ποσότητα νερού στο έδαφος.



Εικόνα 7: Αισθητήρες περιεκτικότητας του εδάφους σε υγρασία

- Ο αισθητήρας της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους εφαρμόζεται στις γεωργικές εκτάσεις για τη μέτρηση της συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας του

εδάφους ενώ παράλληλα καταγράφει τον κίνδυνο της αλατότητας του εδάφους. Το νερό άρδευσης περιέχει πάντα έστω και ελάχιστο αλάτι. Αν τα άλατα αυτά συσσωρευτούν στη ζώνη ριζών των φυτών σε ένα χωράφι, τα φυτά θα τραυματιστούν με αποτέλεσμα να μειωθεί η απόδοση αλλά και ταυτόχρονα να προκληθούν ζημιές στο χωράφι μακροχρόνια.

- Ο αισθητήρας της ενεργούς οξύτητας (pH) μετράει την οξύτητα και την αλκαλικότητα. Η τιμή pH του εδάφους πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του 5,5 και του 6,5 διαφορετικά δεν θεωρείται βέλτιστη καθώς υποδηλώνει την έλλειψη του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά. Οι αγρότες με τη ρύθμιση της τιμής του pH, μέσω των αλκαλικών ή όξινων λιπασμάτων, βελτιώνουν την παραγωγή των καλλιεργειών. Το pH, όπως και κάθε παράμετρος του εδάφους, διαφέρει από τμήμα σε τμήμα του χωραφιού. Ωστόσο με τη χρήση του συγκεκριμένου αισθητήρα, οι αγρότες έχουν πλήρη επίγνωση της διακύμανσης του pH στο έδαφος και έτσι μπορούν να εφαρμόσουν το λίπασμα με τον πιο αποδοτικό τρόπο.
- Ο αισθητήρας αναζήτησης ζιζανίων λειτουργεί αυτόνομα και αποτελείται από οπτικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Το οπτικό σύστημα σε συνδυασμό με τον αισθητήρα αναγνώρισης χλωροφύλλης και μια ενεργή πηγή φωτός, δίνει την δυνατότητα στον αισθητήρα να ανιχνεύει και να ψεκάζει μόνο τα ζιζάνια στο χωράφι. Ο επιλεκτικός αυτός ψεκασμός βοηθάει στη μείωση της χρήσης ζιζανιοκτόνων και κατ' επέκταση τη μείωση του κόστους εφαρμογής.
- Ο αισθητήρας θερμοκρασίας παίζει καθοριστικό ρόλο στην γεωργία καθώς κάθε τύπος καλλιέργειας αναπτύσσεται σε διαφορετικό εύρος θερμοκρασιών. Εάν η θερμοκρασία δεν είναι στα επιθυμητά όρια, τα ένζυμα απενεργοποιούνται και σε μια τέτοια περίπτωση ο αισθητήρας στέλνει ειδοποιήσεις για να αποφευχθεί μια τέτοια κατάσταση. Επίσης ο αισθητήρας μέσω της μέτρησης της θερμοκρασίας, μπορεί να προσδιορίσει τον τύπο της καλλιέργειας που μπορεί να καλλιεργηθεί σε ένα χωράφι αλλά και να ελέγξει διάφορες διαδικασίες ανάπτυξης των φυτών όπως είναι η φωτοσύνθεση, η διαπνοή, η απορρόφηση κ.λπ.



Εικόνα 8: Αισθητήρας θερμοκρασίας

- Ο αισθητήρας ταχύτητας ανέμου καταγράφει την ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας πρέπει να τοποθετηθεί σε κατάλληλο ύψος, ανάλογα με την εκάστοτε καλλιέργεια. Η καταμέτρηση φαινομένων, όπως είναι οι αλλαγές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, συνήθως είναι απαραίτητη [51].

Στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες με σκοπό την μεταφορά δεδομένων από τις αγροτικές εκτάσεις στο κεντρικό σημείο. Το ZigBee αποτελεί ένα ασύρματο πρωτόκολλο που είναι χαμηλού κόστους, και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος των συσκευών και συμβάλει στην ασφαλή και αποτελεσματική μετάδοση των πληροφοριών από μια πηγή σε έναν προορισμό, και πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα που αφορούν τις συνθήκες του πεδίου μεταδίδονται στον χρήστη με υψηλό ρυθμό μετάδοσης [49]. Θεωρείται κατάλληλο για την γεωργία λόγω των αυτοσχηματιζόμενων χαρακτηριστικών και του κατάλληλου εύρους επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται σε γεωργικές δραστηριότητες που απαιτούν κυκλική ενημέρωση πληροφοριών όπως είναι η επίβλεψη άρδευσης, η διαχείριση ποιότητας νερού και ο έλεγχος λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς οι κόμβοι-αισθητήρες μπορούν να επιτύχουν επικοινωνία είτε με τον δρομολογητή είτε με τον κόμβο-συντονιστή σε μεγάλη εμβέλεια. Το ZigBee επίσης χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των ζώων αλλά και σε συνδυασμό με το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας/ Υπηρεσία Γενικών Ραδιοφωνικών Πακέτων (GSM/GPRS), παρακολουθεί και ελέγχει την κλιματική κατάσταση των θερμοκηπίων. Το ZigBee υιοθετείται για την αντιμετώπιση της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και γιατί παρέχει αξιοπιστία σε κινητά δίκτυα κατ' απαίτηση (ad hoc) σε ΑΔΑ [50].

Μια ακόμη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών είναι το πρωτόκολλο Bluetooth που είναι επίσης χαμηλής κατανάλωσης ισχύος αλλά δεν καλύπτει μεγάλο τμήμα των εκτάσεων καθώς η εμβέλεια του φτάνει τα 10 μέτρα, σε αντίθεση με το

ZigBee που η εμβέλεια του καλύπτει έως και 100 μέτρα [49]. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου ο σύνδεσμος επικοινωνίας εγκαθιδρύεται μεταξύ κινητών και φορητών συσκευών και για αυτό χρησιμοποιείται σε πολλές αγροτικές διαδικασίες. Η εφαρμογή του σε συνδυασμό με τη χρήση των παγκόσμιων συστημάτων εντοπισμού θέσης μπορεί να πετύχει την απομακρυσμένη και σε πραγματικό χρόνο, συλλογή δεδομένων και παρακολούθηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, των πληροφοριών σχετικά με τον καιρό, της υγρασία του εδάφους και της θέση των ψεκαστήρων. Το πρωτόκολλο Bluetooth εφαρμόζεται επίσης στα θερμοκήπια για τον έλεγχο της άρδευσης, βάσει των πληροφοριών του εδάφους καθώς και του ποτίσματος. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η ποιότητα των καρπών και η χρήση του νερού και της ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, της ευρείας διαθεσιμότητας και της ευκολίας χρήσης του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου για τους αγρότες, το Bluetooth που βασίζεται σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιείται σε διαφορετικές γεωργικές εφαρμογές, όπως ο έλεγχος των συστημάτων άρδευσης, η παρακολούθηση των εδαφικών και καιρικών συνθηκών και ο έλεγχος της χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων [50].

Το πιο επιτυχημένο και δημοφιλές πρωτόκολλο στα ΑΔΑ είναι το Wi-Fi (ασύρματη πιστότητα). Για να πετύχει μεγάλη εμβέλεια, η οποία καλύπτει εκατοντάδες μέτρα, το Wi-Fi αναπτύσσεται με κατανεμημένο τρόπο, ενώ παράλληλα η προσβασιμότητα του έχει επεκταθεί σε πολλές συσκευές όπως φορητούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, κάμερες κλπ., διευρύνοντας με τον τρόπο αυτό την χρησιμοποίησή του. Το Wi-Fi αποτελεί επίσης το πρότυπο πρωτόκολλο για τοπικές ασύρματες επικοινωνίες του IEEE [49] και το σύστημα του περιέχει τρεις κόμβους, τον αισθητήρα, το δρομολογητή και το διακομιστή. Χρησιμοποιείται για παρακολούθηση πληθώρας δεδομένων όπως κλιματικές συνθήκες, υγρασία, θερμοκρασία, πίεση αέρα, φως, στάθμη νερού και υγρασία του εδάφους. Άλλη μια εφαρμογή του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου είναι η απομακρυσμένη παρακολούθηση και ο έλεγχος των καλλιεργειών. Το Wi-Fi προσφέρει τις υπηρεσίες του με χαμηλό κόστος, ελαχιστοποιώντας τις καλωδιωμένες συνδέσεις, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την κινητικότητα και την ευελιξία των σημείων των αισθητήρων στο ΑΔΑ. Κάποια από τα μειονεκτήματα του είναι: α) η μεγάλη κατανάλωση ισχύος, καθώς οι κόμβοι είναι συνεχώς ενεργοί, β) επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των χρηστών και την ένταση του σήματος. Επίσης, γ) απαιτεί μεγάλο χρόνο για την επικοινωνία και μεγάλο ωφέλιμο φορτίο των δεδομένων. Παρόλο που αποτρέπει την απώλεια δεδομένων, το Wi-Fi δεν χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό σε γεωργικές δραστηριότητες λόγω των παραπάνω μειονεκτημάτων [50].

Η Υπηρεσία Γενικών Ραδιοφωνικών Πακέτων (GPRS) παρέχει γρήγορη και μεγάλης εμβέλειας σύνδεση για τη μετάδοση πληροφοριών [49]. Έχει αναπτυχθεί πρωτότυπο σύστημα

το οποίο βασίζεται σε ένα διακομιστή διαχείρισης δεδομένων και στο συνδυασμό των ΑΔΑ και GPRS τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω μιας πύλης δικτύου, που λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ τους για τη μεταφορά των δεδομένων, τα οποία καταλήγουν σε ένα κέντρο διαχείρισης δεδομένων. Το σύστημα αυτό εξοπλισμένο με ποικίλους ασύρματους κόμβους χρησιμοποιείται για την μέτρηση πληροφοριών για το έδαφος, τα φυτά και την ατμόσφαιρα. Ένα ακόμα σύστημα που έχει αναπτυχθεί σχετικά με το GPRS, αφορά την αυτόματη άρδευση των καλλιεργειών, βασισμένο σε πληροφορίες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους, που συλλέγονται από τους κατάλληλους αισθητήρες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στη ριζική ζώνη των φυτών. Το σύστημα αυτό θεωρείται μια πρακτική και οικονομικά αποδοτική μέθοδος για την βελτίωση της ποιότητας του νερού. Παρόλα τα θετικά, το GPRS αντιμετωπίζει συχνά προβλήματα σχετικά με μεταβλητές καθυστερήσεις και αποδόσεις και εξαρτάται επίσης από τον όγκο των καταναλωτών που μοιράζονται τα ίδια κανάλια και τους ίδιους πόρους επικοινωνίας.

Η παγκόσμια δια-λειτουργικότητα για πρόσβαση σε μικροκύματα (WiMAX) αποτελεί ένα ακόμα πρότυπο του IEEE και υποστηρίζει επικοινωνία υψηλής ταχύτητας και μεγάλης εμβέλειας, η οποία φτάνει και τα 50 χιλιόμετρα για την μετάδοση δεδομένων. Τα δύο προαναφερόμενα χαρακτηριστικά καθιστούν την παρούσα τεχνολογία ως την καταλληλότερη για τις αγροτικές δραστηριότητες στις οποίες περιλαμβάνονται η παρακολούθηση του συστήματος γεωργίας, η παρακολούθηση των συνόρων της καλλιέργειας και διάγνωση σε πραγματικό χρόνο, όπως τηλεχειρισμός αντλιών νερού, φώτων, πυλών καθώς και απομακρυσμένη διάγνωση γεωργικών συστημάτων. Το WiMAX είναι επίσης ενεργειακά αποδοτικό [52].

Το ΑΔΑ θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την αυτόματη άρδευση των αγρών, συμβάλλοντας στην βελτίωση της γεωργίας ακριβείας. Η βελτίωση αυτή επιτυγχάνεται χάρις στους αισθητήρες, οι οποίοι όντας κατανεμημένοι σε όλη την έκταση των καλλιεργειών, συλλέγουν σε πραγματικό χρόνο, με ακρίβεια και λεπτομέρεια, πληροφορίες για ποικίλες σημαντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους. Το ΑΔΑ με την αυτόματη πρόσβαση στην κατάσταση υγρασίας του εδάφους, διευκολύνει τη διαχείριση και τον επαναπρογραμματισμό της άρδευσης και έτσι πετυχαίνει την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού καθώς και την βελτίωση της παραγωγής των καλλιεργειών. Για την βελτίωση της άρδευσης, οι ερευνητές προσπαθούν να συνδυάσουν ποικίλες τεχνολογίες εκμεταλλευόμενοι τα θετικά χαρακτηριστικά που παρέχουν οι ασύρματοι αισθητήρες. Για παράδειγμα, η εφαρμογή πυλών βασισμένων σε μικροελεγκτές, οι οποίες επιτρέπουν την ελεγχόμενη χρήση του νερού στις καλλιέργειες, η χρήση των ΑΔΑ σε συνδυασμό με το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) για την μετάδοση των πληροφοριών στους

αγρότες. Το GSM μπορεί επίσης να συμμετάσχει στην ανάπτυξη ενός αυτόματου συστήματος άρδευσης στο οποίο πραγματοποιείται παρακολούθηση του εδάφους, βελτιστοποιώντας έτσι την κατανάλωση του νερού [53]. Επίσης τα πρωτόκολλα που αναλύσαμε παραπάνω, όπως το ZigBee και το GPRS, μπορούν να συνδυαστούν με το ΑΔΑ που αποτελείται από αισθητήρες, οι οποίοι καταγράφουν τις διάφορες παραμέτρους του εδάφους και τοποθετούνται σε διάφορα σημεία της καλλιέργειας καθώς και σε ποικίλα βάθη [52]. Παρόλα τα θετικά που μπορεί να προσφέρει το ΑΔΑ στην βελτίωση χρήσης του νερού στις αγροτικές εκτάσεις, το υψηλό του κόστος το καθιστά μια λύση που περιορίζεται σε καλλιέργειες μεγάλης έκτασης, γεγονός που πρέπει να ωθήσει τους ερευνητές στην ανάπτυξη οικονομικότερων μεθόδων για την κάλυψη των αναγκών των μικρότερων καλλιεργειών [53].

Οι αγρότες μπορούν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες που προσφέρει το ΑΔΑ για την συγκέντρωση πληροφοριών από ποικίλες τοποθεσίες και τη μετάδοσή τους σε πραγματικό χρόνο ώστε να παρακολουθούν τις αγροτικές εκτάσεις. Πιο συγκεκριμένα με τη βοήθεια της βιντεοπαρακολούθησης, οι αγρότες έχουν επίγνωση της κατάστασης των χωραφιών και μέσω των αισθητήρων υπέρυθρης κίνησης και των αισθητήρων κάμερας μπορούν να εντοπίζουν τους εισβολείς, μια διαδικασία που απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας και εμφανίζει προβλήματα καθυστέρησης στην επικοινωνία των χρηστών. Επίσης έχει προταθεί μέθοδος όπου παρακολουθείται η κατάσταση των φυτών χωρίς να προκαλείται ζημιά σε αυτά, και με την τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας αποστέλλεται προειδοποιητικό μήνυμα στους τελικούς χρήστες σε περίπτωση που παρατηρηθεί ασυνήθιστη συμπεριφορά κι έτσι ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη χρήση πόρων. Άλλη μια λύση που έχει προταθεί για την παρακολούθηση των αγρών είναι ο συνδυασμός διαφορετικών τύπων αισθητήρων οι οποίοι τοποθετούνται τόσο στην επιφάνεια της γης όσο και υπόγεια, κάτι το οποίο οδηγεί στη μείωση της ανθρώπινης εμπλοκής στην συγκέντρωση των γεωργικών πληροφοριών, ενώ παράλληλα το συγκεκριμένο μοντέλο αυξάνει την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα ΑΔΑ. Η χρήση των ασύρματων αισθητήρων για την παρακολούθηση των καλλιεργειών μπορεί να εφαρμοστεί και για την αποφυγή των επιθέσεων που προέρχονται από ζώα. Πιο αναλυτικά, οι κόμβοι-αισθητήρες είναι εξοπλισμένοι με παθητικούς υπέρυθρους αισθητήρες (PIR), αισθητήρες ήχου, φλας φωτός και μονάδα ραδιοσυχνότητας. Οι κόμβοι-αισθητήρες βρίσκονται κοντά στα όρια των χωραφιών ώστε να ανιχνεύουν την είσοδο ζώων και στη συνέχεια αποστέλλουν τις πληροφορίες στον κεντρικό σταθμό βάσης, κι από εκεί αποστέλλονται στους τελικούς χρήστες. Το ΑΔΑ δίνει επίσης την δυνατότητα στους αγρότες να ελέγξουν εάν ένα τμήμα των αγροτικών εκτάσεων είναι κατάλληλο ή όχι για καλλιέργεια όπου η διαδικασία της δοκιμής του εδάφους πραγματοποιείται από τους κόμβους-αισθητήρες. Το σύστημα αυτό

παρέχει επίσης την δυνατότητα για καλύτερο προγραμματισμό άρδευσης και λίπανσης ώστε να μειωθούν οι φυσικοί πόροι [49]. Το ΑΔΑ έχει την δυνατότητα να χειρίζεται τεράστιες ποσότητες δεδομένων, επιτρέποντας έτσι την διαχείριση του εδάφους. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από συνεχή εντοπισμό και συγκέντρωση που λαμβάνει χώρα στο έδαφος των καλλιεργειών. Μια μέθοδος που προτείνεται είναι η εξής: αρχικά στους αισθητήρες πραγματοποιείται μια δευτερεύουσα επεξεργασία των δεδομένων, και στη συνέχεια τα μερικώς επεξεργασμένα δεδομένα αποστέλλονται στον κεντρικό σταθμό όπου και θα αναλυθούν. Οι πληροφορίες που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τη μέτρηση των αναγκών των καλλιεργειών, τον καθορισμό των χρονοδιαγραμμάτων και κατ' επέκταση τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και της παραγωγικότητας. Το ΑΔΑ θα μπορούσε επίσης να συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μέσω της μέτρησης των φυσικών και βιοχημικών χαρακτηριστικών του εδάφους [53].

Η εφαρμογή λιπασμάτων παίζει καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη και την ποιότητα των φυτών, παράλληλα όμως αποτελεί μεγάλη πρόκληση η βέλτιστη παροχή τους στις κατάλληλες θέσεις, καθώς το έδαφος παρουσιάζει μεταβλητότητα στις απαιτήσεις του από περιοχή σε περιοχή. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος και την επίτευξη της βέλτιστης χρήσης των λιπασμάτων το ΑΔΑ μπορεί να συνδυαστεί με πολλές τεχνολογίες όπως μονάδες εισόδου-εξόδου, υποστήριξης λήψης αποφάσεων, παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS), αισθητήρες πραγματικού χρόνου και τεχνολογία Bluetooth. Η μονάδα εισόδου παρέχει τιμές δεδομένων του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης και των αισθητήρων στο Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (DSS), που υπολογίζει τη βέλτιστη ποσότητα και το μοτίβο εξάπλωσης του λιπάσματος, βάσει των δεδομένων των αισθητήρων που αποκτούνται σε πραγματικό χρόνο μέσω του Bluetooth. Κατά την λίπανση των χωραφιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ένα εκκρεμόμετρο, το οποίο είναι μηχανικός αισθητήρας και τοποθετείται στο μπροστινό μέρος ενός τρακτέρ προκειμένου να μετράει την πυκνότητα των χωραφιών, και σε συνδυασμό με έναν ψεκαστήρα λιπάσματος, έναν τροποποιημένο δίαυλο δικτύου περιοχής ελεγκτή ενσωματωμένο σε υπολογιστή και αριθμομηχανή εργασιών μπορεί να εκτιμήσει την εφαρμογή αζώτου στις αγροτικές εκτάσεις [54].

Το ΑΔΑ μπορεί να συμβάλλει στον έλεγχο των παρασίτων και των ασθενειών των φυτών, καθώς επιτρέπει την πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε περιβαλλοντικές παραμέτρους, οι οποίες συλλέγονται με τη χρήση αισθητήρων που τοποθετούνται σε όλη την έκταση των καλλιεργειών. Πιο συγκεκριμένα με τη χρήση αισθητήρων που μετρούν την διηλεκτρική επιφάνεια των φύλλων καθώς και την θερμοκρασία τους, καταγράφονται οι τιμές των συγκεκριμένων δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ώστε οι αγρότες να έχουν πλήρη

επίγνωση για τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στην κατάσταση των φύλλων. Έτσι μπορούν να προβλέψουν μια ασθένεια ή την εισβολή παρασίτων και να τα αποφύγουν, περιορίζοντας με τον τρόπο αυτό τη χρήση μυκητοκτόνων και φυτοφαρμάκων στη συγκεκριμένη περιοχή όπου λαμβάνει χώρα η εισβολή. Κατ' επέκταση μειώνονται οι ζημιές και οι κίνδυνοι που αφορούν τις καλλιέργειες και οφείλονται στην χρήση χημικών ουσιών, όπως επίσης και το κόστος [55]. Όμως οι απαιτήσεις των φυτών για την καταπολέμηση των ασθενειών και των παρασίτων είναι διαφορετικές σε κάθε τμήμα των καλλιεργειών, και για αυτό έχει προταθεί η χρήση ενός ψεκαστήρα χωραφιών μεταβλητού ρυθμού ελεγχόμενο από έναν μετρητή καλλιεργειών. Ο μετρητής αυτός περιλαμβάνει αισθητήρες οι οποίοι μετράνε σε πραγματικό χρόνο την πυκνότητα της βιομάζας, κι έτσι οι αγρότες έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες για τη χωρική κατανομή των περιοχών των φύλλων που πρέπει να ψεκαστούν με φυτοφάρμακα. Η δοσολογία των μυκητοκτόνων που ψεκάζεται στις κατάλληλες περιοχές προκύπτει από έναν αλγόριθμο, στον οποίο χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες που προέρχονται από τους αισθητήρες [54].

3.1.4 Διαδίκτυο των πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) αποτελεί ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων ευφυών συσκευών ικανών να επικοινωνούν μεταξύ τους, παράγοντας δεδομένα σχετικά με το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν. Με τον τρόπο αυτό σχεδόν κάθε συσκευή που είναι ικανή να δημιουργήσει σύνδεση με το διαδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί «πράγμα» στο πλαίσιο του διαδικτύου των πραγμάτων. Το IoT δεν αποτελεί καινούργια ιδέα, παρόλα αυτά η υιοθέτησή του έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, χάρη στην ανάπτυξη τεχνολογιών που το υποστηρίζουν, όπως είναι η βελτίωση του υλικού του υπολογιστή (hardware), μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η μείωση του μεγέθους και της κατανάλωσης ενέργειας. Στην διάδοση του IoT έχουν συμβάλει επίσης οι βελτιώσεις στη συνδεσιμότητα με το διαδίκτυο καθώς και μεταξύ των συσκευών μέσω της ασύρματης σύνδεσης, του υπολογιστικού νέφους, της τεχνητής νοημοσύνης και των μεγάλων δεδομένων. Όλα τα παραπάνω έχουν βοηθήσει στη δημιουργία ενός δικτύου συσκευών ικανών να μοιράζονται δεδομένα και πληροφορίες, καθώς και να ενεργούν με βάση τις εισόδους του δικτύου.

Η εξέλιξη και η διάδοση του IoT τα τελευταία χρόνια, το θέτουν ως μια τεχνολογία μέσω της οποίας μπορεί να επιτευχθεί η περαιτέρω ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας, καθώς σε συνδυασμό με τη χρήση άλλων τεχνολογιών όπως τα ΜΕΑ και το ΑΔΑ μπορεί να συμβάλει στην συγκέντρωση και διάδοση ποικίλων σημαντικών για την αύξηση της παραγωγικότητας πληροφοριών. Επίσης οι αγρότες με την ανάλυση αυτών των πληροφοριών, πετυχαίνουν να

εφαρμόζουν τις κατάλληλες μεθόδους τη σωστή στιγμή και στη σωστή περιοχή, μειώνοντας τις περιττές σπατάλες.

Η δομή και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του IoT, του επιτρέπει να εμπλέκεται σε πολλούς διαφορετικούς τομείς της γεωργίας ακριβείας. Πιο συγκεκριμένα το IoT αποτελείται από τέσσερα επίπεδα: της αντίληψης με τη χρήση τεχνολογιών όπως οι αισθητήρες, της μεταφοράς που περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, της επεξεργασίας όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται, φιλτράρονται και αναλύονται και τέλος το επίπεδο της εφαρμογής που λαμβάνει χώρα σε ποικίλες αγροτικές δραστηριότητες όπως η παρακολούθηση των καλλιεργειών, ο έλεγχος των λιπασμάτων κλπ.

Πιο αναλυτικά το επίπεδο αντίληψης σχετίζεται με τις φυσικές συσκευές και τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν τόσο μεταξύ τους όσο και με το στρώμα μεταφοράς. Οι συσκευές αυτές είναι υπεύθυνες για τη συλλογή δεδομένων, επιτρέποντας την επικοινωνία των «πραγμάτων». Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας εμπορικές λύσεις, όπως μη επανδρωμένα αεροσκάφη, κόμβους-αισθητήρες, ή νέες συσκευές που έχουν αναπτυχθεί με εξαρτήματα όπως αισθητήρες και υπολογιστές μονής πλακέτας (SBC), για την κατασκευή κόμβων-αισθητήρων και πυλών επικοινωνίας. Συγκεκριμένα οι κόμβοι-αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση ασθενειών των φυτών, τον έλεγχο περιβαλλοντικών μεταβλητών σε θερμοκήπια και εξωτερικές καλλιέργειες κλπ. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των συσκευών που ανήκουν στο επίπεδο αντίληψης και των υπηρεσιών που ανήκουν στο επίπεδο επεξεργασίας πραγματοποιείται από το επίπεδο μεταφοράς, κάτι που μπορεί να συμβεί με διάφορους τρόπους, όπως μέσω της άμεσης επικοινωνίας μεταξύ κόμβων-αισθητήρων και μιας πλατφόρμας επεξεργασίας δεδομένων, όπως FIWARE, SmartFarmNet και Thingier.io, ή μέσω μιας πύλης η οποία εκτός από τη διαμεσολάβηση της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων-αισθητήρων και του διαδικτύου, λειτουργεί και ως διανομέας δεδομένων και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πρωτοκόλλων δικτύου που είναι αρχικά ασύμβατα, όπως το ZigBee και το Διαδίκτυο.

Το επίπεδο μεταφοράς περιλαμβάνει το δίκτυο καθώς και τις δυνατότητες μεταφοράς, όπως τα πρωτόκολλα δικτύου και εφαρμογών. Το IoT χρησιμοποιεί πρωτόκολλα δικτύου ώστε να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ των επιπέδων της αντίληψης και της επεξεργασίας. Τα πρωτόκολλα αυτά χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των ΑΔΑ, τα οποία με τη σειρά τους επιτρέπουν την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ κόμβων-αισθητήρων και εφαρμογών. Κάθε πρωτόκολλο περιλαμβάνει σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως η ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων, η εμβέλεια και η κατανάλωση ενέργειας. Βάσει αυτών των χαρακτηριστικών, τα πρωτόκολλα μπορούν να ταξινομηθούν σε δίκτυα μικρής εμβέλειας, κυψελοειδών δικτύων και μεγάλης εμβέλειας. Τα πρωτόκολλα για δίκτυα μικρής εμβέλειας, όπως για παράδειγμα

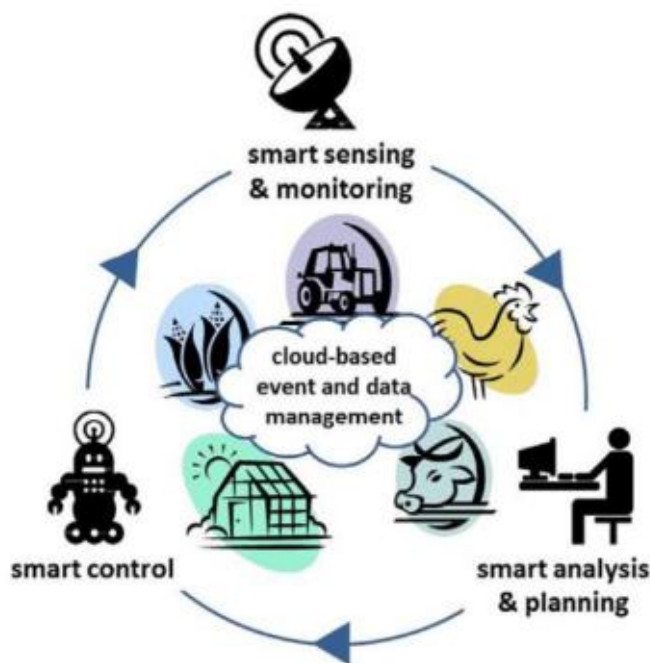
Bluetooth, ZigBee και Wi-Fi, επιτρέπουν την επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις ενώ συνήθως τέτοια πρωτόκολλα έχουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Τα πρωτόκολλα για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, για παράδειγμα GPRS και 3G, επιτρέπουν την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις και με υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων αλλά εμφανίζουν υψηλή κατανάλωση ενέργειας και κόστος για την αδειοδότηση. Τα πρωτόκολλα δικτύων μεγάλης εμβέλειας, παραδείγματος χάρη LoRaWAN και Sigfox, επιτρέπουν την επικοινωνία σε πολύ μεγάλες αποστάσεις και λόγω του ότι εμφανίζουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, εφαρμόζονται κατά τη δημιουργία δικτύων ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN). Παρόλα αυτά ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι χαμηλός και για αυτό, τα πρωτόκολλα αυτά είναι κατάλληλα σε περιπτώσεις που χρειάζεται να μεταδοθούν δεδομένα σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Στο επίπεδο της επεξεργασίας πραγματοποιείται η αποθήκευση των δεδομένων, όπως επίσης η οπτικοποίηση και η επεξεργασία τους. Στο επίπεδο αυτό, με τη βοήθεια των μεγάλων δεδομένων, τα οποία συμβάλλουν στην καταναμεμημένη αποθήκευση και στην παράλληλη επεξεργασία δεδομένων, επιτυγχάνεται η εξαγωγή πληροφοριών στο χαμηλότερο δυνατό χρόνο. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται ως μοντέλα από συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (AI), τα οποία έχουν την ικανότητα να λειτουργούν σαν να έχουν την ικανότητα σκέψης ενός ανθρώπου, καθώς και από τη μηχανική μάθηση, που είναι μια τεχνική επεξεργασίας δεδομένων για την ανίχνευση προτύπων και συσχέτισης μεταξύ πολύπλοκων αλλά και άσχετων δεδομένων, για την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων και αυτοματοποίηση διαφόρων διαδικασιών όπως των συστημάτων ελέγχου άρδευσης, της παρακολούθησης και της ανίχνευσης ασθενειών στις καλλιέργειες.

Τέλος το επίπεδο εφαρμογής περιλαμβάνει εφαρμογές του IoT που υποστηρίζονται από τα προαναφερόμενα επίπεδα και παρέχουν στους αγρότες πληροφορίες διαχείρισης και με τον τρόπο αυτό διαχειρίζονται ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής στις καλλιέργειες [56].

Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη της τεχνολογίας επικοινωνίας έχει συνδράμει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του IoT και πιο συγκεκριμένα η τεχνολογία ασύρματου δικτύου 3G/4G/ NB-IoT, η οποία παρέχει αρκετή ταχύτητα τόσο για την επικοινωνία όσο και για τη μετάδοση πληροφοριών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται για τη σύνδεση έξυπνων συσκευών μέσω του IoT, ώστε να επιτευχθεί η κοινή χρήση δεδομένων για την ακριβή αξιολόγηση στον αγροτικό τομέα. Με την ανάπτυξη όμως της ποσότητας αλλά και της ποιότητας των πληροφοριών, έχει μειωθεί η απόδοση του δικτύου 4G, καθώς η μετάδοση δεδομένων έχει γίνει αδύναμη σε σχέση με πριν. Το δίκτυο 5G που αποτελεί την εξέλιξη των δικτύων επικοινωνίας πέμπτης γενιάς, παρέχει υψηλές ταχύτητες για τη μετατροπή δεδομένων σε χαμηλό χρόνο. Η

ταχύτητα του δικτύου 5G κατά τη μεταφορά δεδομένων είναι υψηλότερη σε σχέση με άλλα δίκτυα, και μπορεί να αυξηθεί σχεδόν κατά 100 φορές κατά τη διάρκεια της λήψης της μεταφόρτωσης, σε σύγκριση με το δίκτυο 4G. Έτσι το δίκτυο 5G μέσω των υψηλών ταχυτήτων που προσφέρει, μπορεί να πετύχει υψηλή ικανότητα μεταφοράς δεδομένων, χαμηλές καθυστερήσεις, αυξημένη πυκνότητα σύνδεσης συγκριτικά με άλλα δίκτυα, βελτίωση της φασματικής απόδοσης, ομαλή τέλεση επικοινωνίας, εκτεταμένη κάλυψη καθώς και υψηλή απόδοση ενέργειας δικτύου. Το 5G από το 2017, όπου χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, αποτελεί μέρος της γεωργίας ακριβείας συμμετέχοντας σε διάφορες αγροτικές δραστηριότητες όπως η συγκομιδή, η εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Οι δραστηριότητες αυτές επιτυγχάνονται μέσω του συνδυασμού του IoT με άλλες τεχνολογίες όπως αυτόνομα τρακτέρ και μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Επίσης το 5G έχει θετικές επιπτώσεις στον αγροτικό τομέα όπου βελτιώνει διάφορες γεωργικές λειτουργίες όπως ο έλεγχος των ΜΕΑ, η διαδραστική παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, οι εργασίες σποράς, ο ψεκάσμος φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, τα ρομπότ τεχνητής νοημοσύνης και η ανάλυση δεδομένων [57].



Εικόνα 9: Ο κύκλος της έξυπνης γεωργίας

Παρόλο που η χρήση της τεχνολογίας IoT μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης για την εξέλιξη του πρωτογενή τομέα, υπάρχουν προκλήσεις και ανοικτά ζητήματα, τα οποία πρέπει να αντιμετωπισθούν στο άμεσο μέλλον, για την ομαλή και εύρυθμη χρήση του IoT στις καλλιέργειες. Ένα σημαντικό πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι ερευνητές είναι το ζήτημα της ασφάλειας, το οποίο μάλιστα εμφανίζεται σε διάφορα επίπεδα των αγροτικών συστημάτων που βασίζονται στο IoT. Τα χαμηλά επίπεδα ασφάλειας οδηγούν στην απώλεια

δεδομένων και άλλων παραμέτρων του πεδίου. Οι συσκευές IoT κινδυνεύουν τόσο από το περιβάλλον όσο και από ανθρώπινη παρέμβαση. Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές αυτές είναι ευάλωτες στις φυσικές παρεμβολές, όπως επίθεση από ζώα ή τροποποίηση της φυσικής διεύθυνσης, προκαλώντας με τον τρόπο αυτό αποτυχία επικοινωνίας. Για αυτό αποτελεί μείζον θέμα η διαφύλαξη της φυσικής ασφάλειας των εγκατεστημένων συσκευών IoT για την επίτευξη της προστασίας τους από διάφορες κλιματικές συνθήκες. Επίσης λόγω των πληροφοριών τοποθεσίας που περιλαμβάνει το IoT και των υπηρεσιών που βασίζονται στην τοποθεσία, οι συσκευές εκτίθενται σε εισβολείς, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες για τη σύλληψη συσκευών και με τον τρόπο αυτό μπορούν να επιτεθούν στις συσκευές IoT και να αφαιρέσουν κρυπτογραφικές εκτελέσεις. Όμως κι άλλα επίπεδα επικοινωνίας είναι ευάλωτα σε επιθέσεις άρνησης υπηρεσίας (DoS) και αποκλεισμού του ασύρματου σήματος. Οι απειλές που αφορούν την υποδομή υπολογιστικού νέφους (cloud) είναι οι εξής: επιθέσεις πειρατείας, πειρατεία περιόδων σύνδεσης, ζητήματα της βάσης δεδομένων, επίθεση άρνησης υπηρεσίας. Επίσης λόγω τόσο της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όσο και της περιορισμένης μνήμης, δεν καθίσταται δυνατή η εφαρμογή των εξελιγμένων και πολύπλοκων αλγορίθμων. Ένα ακόμα κρίσιμο θέμα του IoT, είναι το κόστος εγκατάστασης, συσκευών/αισθητήρες IoT, υποδομή σταθμών βάσης και πύλες καθώς και το κόστος λειτουργίας, η αδιάκοπη συνδρομή στη διαχείριση συσκευών IoT, η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ υπηρεσιών και οι κεντρικές υπηρεσίες που συμβάλλουν στην παροχή πληροφοριών και στη συλλογή δεδομένων. Ένας ακόμα λόγος που το IoT δεν υιοθετείται με γρήγορους ρυθμούς είναι η έλλειψη γνώσεων σχετικά με την τεχνολογία, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου πολλοί αγρότες δεν είναι γνωσιακά καταρτισμένοι γύρω από θέματα τεχνολογίας. Για την ανάπτυξη υποδομών IoT και την εφαρμογή του στην γεωργία, είναι απαραίτητη η εκπαίδευση των αγροτών, κάτι το οποίο όμως είναι μεγάλη πρόκληση καθώς απαιτεί πολλές επενδύσεις. Τέλος, μια πρόκληση που απασχολεί τους ερευνητές είναι η διαλειτουργικότητα, καθώς σε ένα σύστημα IoT περιλαμβάνονται πάρα πολλές συσκευές, πρότυπα και πρωτόκολλα, τα οποία πρέπει να συνεργάζονται προκειμένου να λειτουργήσει σωστά το σύστημα. Η διαλειτουργικότητα περιλαμβάνει σημασιολογική, συντακτική, τεχνική και οργανωτική πολιτική. Πιο αναλυτικά, η σημασιολογική διαλειτουργικότητα αφορά την ικανότητα της ερμηνείας του περιεχομένου που ανταλλάσσεται μεταξύ των ανθρώπων. Η συντακτική διαλειτουργικότητα ασχολείται με μορφές των δεδομένων, όπως JavaScript Object Notation (JSON), δεδομένα που ανταλλάσσονται ηλεκτρονικά, επεκτάσιμη γλώσσα σήμανσης (XML) και μεταβλητές που χωρίζονται με κόμμα. Η τεχνική διαλειτουργικότητα αφορά την ανάπτυξη υποδομής, πρωτοκόλλων και στοιχείων υλικού/λογισμικού που συμβάλλουν στην επικοινωνία των συσκευών IoT. Η οργανωτική

διαλειτουργικότητα περιλαμβάνει τις πολιτικές για την αποτελεσματική επικοινωνία και τη μεταφορά δεδομένων στις γεωγραφικές περιοχές και υποδομές. Για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι, κάποιες από τις οποίες είναι οι εξής: δύο πρότυπα ανοιχτά και κλειστά, συνεργασία μεταξύ υπηρεσιών και προγραμματιστών προϊόντων καθώς και υπηρεσίες διαμεσολάβησης και προσαρμογών.

Η τεχνολογία IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες γεωργικές δραστηριότητες όπως είναι η παρακολούθηση του νερού στην καλλιέργεια. Πιο συγκεκριμένα το IoT μαζί με το ΑΔΑ παρακολουθεί την ποιότητα του νερού μετρώντας τη θερμοκρασία, την αγωγιμότητα και τη θολότητα. Η ανίχνευση του PH, της θερμοκρασίας καθώς και των χημικών ουσιών του νερού, δίνει στους αγρότες την δυνατότητα να παρατηρούν τις αλλαγές στις συνθήκες του νερού. Επίσης το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα συστήματα άρδευσης μέσω της παρακολούθησης της βροχόπτωσης και της στάθμης του νερού αλλά και σε συνδυασμό με ένα πλήθος αισθητήρων και ενός διαδικτυακού συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων μπορεί να βοηθήσει στη μέτρηση της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας, της υγρασίας και της βροχόπτωσης για την καλύτερη άρδευση των αγρών [58]. Για τη μείωση της σπατάλης νερού έχει προταθεί μέθοδος για την ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας, χρόνου και χρήματος. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τρεις κόμβους, που βασίζονται στη πλατφόρμα TelosB, και είναι οι εξής: ένας κόμβος για τη μέτρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του εδάφους, ένας κόμβος για τη μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα, η ταχύτητα του αέρα και η φωτεινότητα, και τέλος ένας κόμβος ο οποίος είναι συνδεδεμένος με μια βαλβίδα ώστε να ελέγχει την άρδευση των αγρών. Όλες οι παραπάνω παράμετροι καταμετρούνται και αποστέλλονται σε έναν σταθμό-βάση ώστε να αποθηκευτούν και στη συνέχεια να σταλούν στον υπολογιστή του αγρότη προκειμένου να αναλάβει δράση. Ένα άλλο σύστημα ακριβής παρακολούθησης της άρδευσης αποτελεί αυτό της περιβαλλοντικής παρακολούθησης στη γεωργική διαχείριση, καθώς και η εφαρμογή του για την στάλαξη ακριβείας. Το σύστημα αυτό λειτουργεί θεωρώντας πως το οικοσύστημα του IoT κατανέμεται σε τρία επίπεδα τα οποία αντιστοιχούν στην αίσθηση, τη μετάδοση και την εφαρμογή. Σε συνδυασμό με ένα ΑΔΑ συμβάλλει στην καταγραφή περιβαλλοντικών πληροφοριών μέσα σε ένα θερμοκήπιο και σε πραγματικό χρόνο, ενώ στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται σε έναν απομακρυσμένο σύστημα διαχείρισης διακομιστή. Μια ακόμα λύση που έχει προταθεί από ερευνητές είναι η χρήση του ZigBee με σκοπό την απομακρυσμένη παρακολούθηση της άρδευσης των καλλιεργειών, μέσω ενός συστήματος ελέγχου άρδευσης βασισμένο στην ηλιακή

ενέργεια, το οποίο παράλληλα παρακολουθεί τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους.

Μια ακόμα σημαντική γεωργική διαδικασία η οποία μπορεί να επωφεληθεί από τη χρήση του IoT είναι η παρακολούθηση των παραμέτρων του εδάφους και πιο συγκεκριμένα με την εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης πολλαπλών στρώσεων, τα οποία καταγράφουν παραμέτρους του εδάφους όπως η θερμοκρασία και η υγρασία με τη βοήθεια του ΑΔΑ. Τα συστήματα αυτά υποστηρίζονται από τεχνολογίες επικοινωνίας όπως το ZigBee, το GPRS και το διαδίκτυο, όπου με την χρήση μιας διαδικτυακής εφαρμογής επιτυγχάνεται η αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα [59]. Οι αγρότες προκειμένου να μετρήσουν τη θερμοκρασία, παρακολουθούν την ποσότητα των θρεπτικών ουσιών του εδάφους που υπάρχουν μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, μέσω της εφαρμογής της ηλεκτροχημικής αντίστασης. Στη συνέχεια με τη χρήση ενός μετρητή επαγωγής, χωρητικότητας και αντίστασης παρακολουθούνται τα αποτελέσματα των δοκιμών εδάφους, τα οποία έπειτα υπολογίζονται μέσω πρότυπων μετρήσεων βιβλιοθήκης. Σε αντίθεση με τη θερμοκρασία, της οποίας οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στο έδαφος, η υγρασία μετριέται στον αέρα μέσω πολλαπλών αισθητήρων υγρασίας. Η καταγραφή της συγκεκριμένης παραμέτρου είναι σημαντική καθώς μια ακατάλληλη ποσότητα υγρασίας μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των κυττάρων των φυτών. Μια ακόμα μέθοδος για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών αποτελεί η πρόβλεψη και παρακολούθηση της ξηρασίας μελετώντας το IoT [58].

Το IoT μπορεί επίσης να συμβάλλει στη παρακολούθηση ασθενειών και των θρεπτικών ουσιών. Ποικίλα συστήματα παρακολούθησης των καλλιεργειών έχουν προταθεί με σκοπό την προστασία τους από διάφορες ασθένειες. Μια μέθοδος που έχει αναπτυχθεί από ερευνητές, χρησιμοποιεί την ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από μυκητιασικές ασθένειες, η πρόσβαση στα οποία πραγματοποιείται από ένα μεγάλης κλίμακας ΑΔΑ. Μέσω αυτών των πληροφοριών το σύστημα δημιουργεί μια πολιτική για την προστασία της καλλιέργειας [59]. Γενικά το IoT μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με ένα ΑΔΑ ώστε να συλλέξει δεδομένα και στη συνέχεια μέσω της αποτελεσματικής τους ανάλυσης, μπορεί να αναπτύξει ένα διαδικτυακό σύστημα παρακολούθησης του κλίματος στα θερμοκήπια ώστε να επιτύχει την παρακολούθηση των παρασίτων, της άρδευσης, της λίπανσης και του κλίματος. Η διαδικασία αυτή έχει θετικές επιρροές για τις καλλιέργειες καθώς συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των γεωργικών εκτάσεων και της ποσότητας της χρήσης θρεπτικών ουσιών [58]. Η παραπάνω πρακτική ωφελεί τις καλλιέργειες με τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της συνολικής απόδοσης και της οικονομικής απόδοσης, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τη μεταφορά θρεπτικών ουσιών εκτός του χώρου [59].

Το IoT μπορεί επίσης να προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα της εισβολής άγριων ζώων στις καλλιέργειες αλλά και οποιασδήποτε ανεπιθύμητης μετακίνησης σε όλο το χωράφι. Συγκεκριμένα επιτρέπει την παρακολούθηση ζώων τόσο για δραστηριότητες προερχόμενες από την άγρια ζωή όσο και για κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Διάφορες συσκευές παρακολούθησης καθώς και αισθητήρες τοποθετούνται σε όλη την έκταση των καλλιεργειών για να τις διαφυλάξουν από επιθέσεις άγριων ζώων ή και από κλοπές. Σε περίπτωση που εντοπιστεί στο χωράφι κάποια εισβολή, αρχικά ενεργοποιείται ο συναγερμός και στη συνέχεια αποστέλλεται στο κινητό του αγρότη ένα γραπτό μήνυμα, το οποίο τον ενημερώνει για την ανεπιθύμητη κίνηση που πραγματοποιείται εντός της καλλιέργειας. Επίσης με τον συνδυασμό των τεχνολογιών του IoT, του ΑΔΑ και της ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανίχνευση και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, των κοπαδιών ζώων σε ένα χωράφι [58]. Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον συγκεκριμένο τομέα, ανέπτυξε ένα σύστημα στο οποίο με τη χρήση ενός ΑΔΑ με ανοχή στην καθυστέρηση παρακολουθούσε έναν αριθμό αλόγων, στα οποία είχαν φορεθεί κατάλληλα περιδέραια, μέσω των οποίων οι ερευνητές είχαν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τη θέση και την ταχύτητα των αλόγων σε μια δεδομένη στιγμή, και στη συνέχεια μετέδιδαν τα αρχεία καταγραφής σε σταθερούς κόμβους όταν αυτά ήταν κοντά στην περιοχή κάλυψής τους [59].

3.2 Ανάλυση δεδομένων

Κατά την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας, όπως αναλύσαμε και στην προηγούμενη υπό ενότητα, αρχικά πραγματοποιείται η συλλογή ποικίλων δεδομένων που προέρχονται από τους αγρούς είτε μέσω του αέρα, με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, είτε μέσω του εδάφους, μέσω των μη επανδρωμένων οχημάτων ή του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά αναλύονται και ποικίλες και χρήσιμες πληροφορίες προκύπτουν από τις διάφορες τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων, όπως για παράδειγμα η επεξεργασία εικόνων κατά την οποία οι φωτογραφίες που έχουν ληφθεί εναέρια, επιτρέπουν την παρακολούθηση των γεωργικών εκτάσεων και την άντληση πληροφοριών για την κατάσταση των χωραφιών. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για την λήψη κατάλληλων αποφάσεων που αφορούν τις καλλιέργειες και πιο συγκεκριμένα την διαχείρισή τους, ώστε να αυξηθεί η παραγωγικότητα των αγρών και η ποιότητα των τελικών προϊόντων ενώ ταυτόχρονα μειώνεται το κόστος παραγωγής. Τα δεδομένα επίσης είναι χρήσιμα για την εκπαίδευση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, η οποία αποτελεί μια μορφή τεχνητής νοημοσύνης που βοηθάει στην αύξηση της ακρίβειας των προβλέψεων που αφορούν τις καλλιέργειες.

3.2.1 Σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων

Το σύστημα διαχείρισης της καλλιέργειας κατακλύζεται από ένα τεράστιο αριθμό δεδομένων, τα οποία δεν είναι διαχειρίσιμα από τους αγρότες χωρίς τη βοήθεια της τεχνολογίας. Έτσι για την καλύτερη γεωργική διαχείριση, αναπτύσσονται πλατφόρμες όπως τα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων (DSS) που βοηθούν στη λήψη τεκμηριωμένων και ακριβών αποφάσεων. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων (ΣΥΛΑ) αποτελεί ένα σύστημα ανθρώπου-υπολογιστή που αξιοποιεί δεδομένα που προέρχονται από διάφορες πηγές, προκειμένου να επιτρέψει στους αγρότες να έχουν πρόσβαση σε έναν κατάλογο συμβουλών για την υποστήριξη λήψης αποφάσεών τους υπό διαφορετικές συνθήκες. Ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος είναι πως δεν δίνει άμεσες οδηγίες ή εντολές στους αγρότες, οι οποίοι λαμβάνουν τις τελικές αποφάσεις και μπορούν να πετύχουν καλύτερη απόδοση σε μελλοντικές διεργασίες [60].

Το ΣΥΛΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον πρωτογενή τομέα για την κάλυψη αναγκών ποικίλων δραστηριοτήτων όπως η διαχείριση των υδάτινων πόρων, του περιβάλλοντος, της οργανωτικής διαχείρισης, της υγείας και των επιχειρήσεων. Στις παραπάνω δραστηριότητες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να πετύχει τη βελτίωση της προσωπικής αποτελεσματικότητας, την επιτάχυνση της επίλυσης προβλημάτων, τη διευκόλυνση της διαπροσωπικής επικοινωνίας, την προώθηση της μάθησης και της εκπαίδευσης καθώς και την αύξηση του οργανωτικού ελέγχου. Επίσης μπορεί να επεκταθεί σε διάφορα περιβαλλοντικά ή γεωργικά φαινόμενα όπως οι εύκρατες ή τροπικές συνθήκες, τα περιβάλλοντα με βροχή ή άρδευση, ορεινές ή πεδινές εκτάσεις, τα επίπεδα λεκάνης απορροής ή χωραφιού και άλλα. Τέτοιου είδους συστήματα σχεδιάζονται ώστε να χρησιμοποιηθούν από γεωπόνους, επιστήμονες εδάφους, μηχανικούς γεωργίας, εντομολόγους, εμπειρογνώμονες του καιρού, αγρότες, και φοιτητές. Τα δεδομένα που συλλέγονται και παρουσιάζονται μέσω των ΣΥΛΑ μπορούν να είναι τα εξής: η συγκριτική πρόβλεψη καιρού μεταξύ μιας εβδομάδας και της επόμενης, η προβλεπόμενη απόδοση μιας καλλιέργειας πριν από τη συγκομιδή, οι συνέπειες που έχουν οι διαφορετικές εναλλακτικές αποφάσεις, βέλτιστη δοσολογία λιπασμάτων για μια καλλιέργεια ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση της, χρήση υποθετικών κλιματολογικών συνθηκών για την πρόβλεψη επίθεσης από παθογόνους μικροοργανισμούς, εφαρμογή νερού, θερμοκρασίας και λιπάσματος, κλπ.

Για τον ορισμό των διαφορετικών στοιχείων από τα οποία αποτελείται ένα ΣΥΛΑ έχουν προταθεί ποικίλες αρχιτεκτονικές από διάφορους ερευνητές. Επειδή όμως κάθε ΣΥΛΑ ταιριάζει σε παραπάνω από μια αρχιτεκτονική, η πιο γενική αρχιτεκτονική που μπορεί να θεωρηθεί, είναι αυτή που χωρίζεται σε τέσσερα υποσυστήματα και πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει το υποσύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, το υποσύστημα διαχείρισης βασισμένο στη

γνώση, το υποσύστημα διεπαφής χρήστη και ο ίδιος ο χρήστης. Ένα παράδειγμα είναι η ανάπτυξη ενός ΣΥΛΑ για την πρόβλεψη προσβολής από παράσιτα σε μια γεωργική έκταση. Το πρώτο βήμα που πραγματοποιείται στο συγκεκριμένο σύστημα, είναι η δημιουργία βάσεων δεδομένων για τη δημιουργία και αποθήκευση ιστορικών δεδομένων των παρασίτων στο Microsoft Excel, στη Microsoft Access ή στην Oracle. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αφορούν είτε τα ίδια τα παράσιτα και πιο συγκεκριμένα τον τύπο, τα χαρακτηριστικά τους κ.λπ., τον καιρό όπως είναι η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις, η υγρασία κ.λπ. Στη συνέχεια το υποσύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων αποθηκεύει, διαχειρίζεται και παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα, και το οποίο αποτελεί ένα σύνολο προγραμμάτων υπολογιστών που δημιουργούν και διαχειρίζονται τη βάση δεδομένων ενώ παράλληλα ελέγχουν την πρόσβαση στα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε αυτή. Το υποσύστημα διαχείρισης βασιζόμενο στη γνώση είναι μια διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων ή δομή ελέγχου, η οποία συμβάλλει στην επίλυση ενός μεγάλου φάσματος προβλημάτων. Το υποσύστημα διεπαφής χρήστη αποτελεί το μοναδικό μέρος του ΣΥΛΑ με το οποίο έρχεται σε επαφή ο χρήστης. Ο τυπικός σχεδιασμός διεπαφής χρήστη περιλαμβάνει την επιλογή συσκευών εισόδου και εξόδου, τον σχεδιασμό οθόνης, τη χρήση χρωμάτων, τη μορφή παρουσίασης δεδομένων και πληροφοριών, τη χρήση στυλ διεπαφών, αναφορές κ.λπ. Για τον επιτυχημένο σχεδιασμό ενός ΣΥΛΑ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το επίπεδο εξειδίκευσης του τελικού χρήστη [61].

Παρόλα τα θετικά στοιχεία που εμφανίζει το ΣΥΛΑ, ο ρυθμός υιοθέτησης του δεν είναι υψηλός καθώς υπάρχουν διάφορες προκλήσεις για τις οποίες πρέπει να βρεθούν λύσεις από τους ερευνητές, προκειμένου οι αγρότες να μπορούν να εκμεταλλευτούν πλήρως τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Πιο συγκεκριμένα τα προβλήματα που εμφανίζονται είναι τα εξής: οι αγρότες δεν έχουν τις κατάλληλες γνώσεις για να χρησιμοποιήσουν με επιτυχία ένα ΣΥΛΑ και σε συνδυασμό με το γεγονός πως μερικές φορές η τυπική γραφική διεπαφή δεν είναι φιλική προς το χρήστη, καθιστά τη χρήση του δύσκολη από τους αγρότες καθώς προκαλείται σύγχυση, και έτσι δεν είναι εφικτή η εκτέλεση των επιθυμητών λειτουργιών. Επίσης μερικές φορές οι προγραμματιστές των ΣΥΛΑ αγνοούν την ανάλυση απαιτήσεων των τελικών χρηστών, με αποτέλεσμα οι εισοδοί και οι έξοδοι των ΣΥΛΑ να μην ακολουθούν τις ανάγκες των αγροτών και τα στυλ λήψης αποφάσεων. Εκτός όμως από τις αστοχίες των προγραμματιστών, ο χαμηλός ρυθμός υιοθέτησης των ΣΥΛΑ οφείλεται και στο γεγονός ότι τα τρέχοντα ΣΥΛΑ εμφανίζουν περιορισμούς και εξαρτήσεις από συγκεκριμένες εργασίες. Ένα ΣΥΛΑ δηλαδή μπορεί να εστιάσει σε μια μόνο προοπτική, κάτι το οποίο έχει ως απόρροια τη χρήση πολλαπλών ΣΥΛΑ από την πλευρά των αγροτών για τη διαχείριση γεωργικών δραστηριοτήτων. Τέλος κατά τη δημιουργία μιας συμβουλής, ενδέχεται να παραλείψουν ορισμένους θεμελιώδεις παράγοντες,

όπως η κλιματική αλλαγή, η χωρική μεταβλητότητα του εδάφους, οι ασθένειες στις καλλιέργειες κ.λπ. Η έλλειψη των κριτηρίων αυτών οδηγεί σε ανακριβή αποτελέσματα από τα ΣΥΛΑ, αποπροσανατολίζοντας με τον τρόπο αυτό τους αγρότες κατά την λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των καλλιεργειών.

Η χρήση του ΣΥΛΑ στον πρωτογενή τομέα αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης καλλιεργειών και περιλαμβάνει τη διαχείριση λιπασμάτων, ζιζανίων, νερού, και ξηρασίας, τη φυτοπροστασία, τη διάβρωση του εδάφους, το σχεδιασμό χρήσης γης, τον έλεγχο της ρύπανσης κ.λπ. Το συγκεκριμένο σύστημα καλείται να αντιμετωπίσει προβλήματα σχετικά με τη διατήρηση και τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους, το τοπικό υδατικό ισοζύγιο, τις αποδοτικές αγρονομικές πρακτικές, τη διαχείριση θόλου, τη διαχείριση παρασίτων και εντόμων, τη μείωση των απωλειών πριν αλλά και μετά τη συγκομιδή, τη διατήρηση των δασών και την παγκόσμια αλλαγή περιβάλλοντος κ.λπ. Το ΣΥΛΑ που βασίζεται στο διαδίκτυο συμβάλλει στη διάδοση της τεχνολογίας που σχετίζεται με πρακτικές διαχείρισης καλλιεργειών, προγραμματισμό άρδευσης, εφαρμογή λιπασμάτων κ.λπ.

Η σωστή διαχείριση των λιπασμάτων είναι πολύ σημαντική προκειμένου να αποφευχθεί η περιττή χρήση τους και έτσι να αυξηθούν τα οικονομικά κέρδη των καλλιεργειών καθώς και η ποιότητα των προϊόντων. Για να πετύχουν όλα τα παραπάνω, οι αγρότες πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί στη σχεδίαση της χρήσης θρεπτικών συστατικών για την κάθε αγροτική έκταση κάθε χρόνο. Η σωστή διαχείριση των θρεπτικών συστατικών παίζει καθοριστικό ρόλο σε πολλά από τα ρυθμιστικά και μη ρυθμιστικά καθήκοντα της διαχείρισης των καλλιεργειών και μπορεί να προστατεύσει, να αποκαταστήσει και να βελτιώσει την κατάσταση και την ποικιλομορφία όλων των επιφανειακών υδάτινων οικοσυστημάτων ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει τη σταδιακή μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Τα ΣΥΛΑ που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να προτείνουν ειδικές παραμέτρους στους αγρότες, τόσο για την τοποθεσία όσο και τις ανάγκες που οδηγούν στη βέλτιστη χρήση των λιπασμάτων. Ένα ΣΥΛΑ μπορεί διαχειριστεί τις θρεπτικές ουσίες και τη χρήση των λιπασμάτων με ποικίλους τρόπους όπως να προσομοιώσει το σύστημα ολόκληρου χωραφιού, να παρέχει συστάσεις για την αποτελεσματική χρήση του λιπάσματος, να μειώσει πιθανές απώλειες αζώτου του εδάφους προκειμένου να εξοικονομήσει ποσότητες λιπάσματος. Το ΣΥΛΑ σε συνδυασμό με το διαδίκτυο επιτρέπει τη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών ανεξάρτητα από την ιδιοκτησία του υπολογιστή βοηθώντας στη διαμόρφωση προγραμμάτων θρέψης των καλλιεργειών καθώς και προγραμμάτων άρδευσης ενσωματώνοντας όλες τις σχετικές παραμέτρους των καλλιεργειών, οι οποίες αφορούν τις θρεπτικές ουσίες, την άρδευση, το έδαφος και το κλίμα και αποθηκεύονται σε εκτενείς βάσεις δεδομένων. Ένα άλλο σύστημα αφορά τη διαχείριση της κοπριάς, συλλέγοντας, αποθηκεύοντας, επεξεργάζοντας και

εφαρμόζοντας την κοπριά στους αγρούς. Επίσης υπάρχει σύστημα το οποίο παρέχει στους αγρότες συστάσεις λιπασμάτων για το χωράφι, οι οποίες προέρχονται από υπολογισμό των λιπασμάτων καλλιεργειών και την εφαρμογή της οργανικής κοπριάς στις αγροτικές εκτάσεις [60].

Όπως είδαμε και παραπάνω, η παρακολούθηση της κατάστασης του εδάφους είναι πολύ σημαντική καθώς οι αγρότες μπορούν να αποτρέψουν καταστάσεις, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά τις καλλιέργειες και υποβαθμίζουν την ποιότητα των τελικών προϊόντων. Τα ΣΥΛΑ επιτρέπουν τη διαχείριση των παρασίτων σε ένα χωράφι, αποτρέποντας την ανάπτυξη ασθενειών που θα μπορούσαν να επεκταθούν πολύ γρήγορα ή εκείνων που θα έπρεπε να ελέγχονται τακτικά. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες σχετικά τις καιρικές συνθήκες, οι αγρότες μπορούν να μειώσουν τόσο τον κίνδυνο καταστροφής των καλλιεργειών από ασθένειες και παράσιτα όσο και την χρήση εισροών στα χωράφια. Επίσης έχει προταθεί ΣΥΛΑ κατά το οποίο εξετάζει την κατανομή εντόμων, φυτών, παθογόνων και σπονδυλωτών σε όλη την έκταση της καλλιέργειας. Ένα άλλο εργαλείο που έχει αναπτυχθεί για την πρόβλεψη παρασίτων, χρησιμοποιεί τοπικά δεδομένα καιρού και προσομοιώνει την ηλικιακή δομή των παρασίτων και τα κρίσιμα γεγονότα για δραστηριότητες διαχείρισης. Έτσι βοηθάει στη βελτιστοποίηση του χρόνου παρακολούθησης, διαχείρισης και ελέγχου των γεωργικών εκτάσεων

Με την κλιματική αλλαγή να αποτελεί κίνδυνο σε παγκόσμιο επίπεδο και να επιφέρει περιβαλλοντικές αλλαγές σε συνδυασμό με τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για τρόφιμα, η χρήση του ΣΥΛΑ για την παρακολούθηση των κλιματικών δεδομένων είναι πολύ σημαντική, καθώς οι συνέπειες αυτών των αλλαγών πρέπει να εκτιμηθούν πολύ εκ των προτέρων για να ελαχιστοποιηθεί το αντίκτυπο που θα έχουν στη βιωσιμότητα της παγκόσμιας γεωργίας. Τα ΣΥΛΑ κατά την εφαρμογή τους στον πρωτογενή τομέα και πιο συγκεκριμένα στις κλιματικές προβλέψεις μπορούν να καθορίσουν πού, πότε και ποια τμήματα της κοινωνίας κινδυνεύουν περισσότερο. Μπορούν να κατασκευάσουν μελλοντικά σενάρια σχετικά με την επισιτιστική ασφάλεια και να μειώσουν την ευπάθεια των συστημάτων τροφίμων στην Παγκόσμια Αλλαγή του Περιβάλλοντος (GEC). Επίσης υπάρχει ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου της ρύπανσης ώστε να εκτιμηθεί γρήγορα η έκταση και οι επιπτώσεις της ρύπανσης σε μια δεδομένη κατάσταση. Έχουν αναπτυχθεί ΣΥΛΑ που βασίζονται στην πρόβλεψη του κλίματος και εκτιμούν τις πιθανές οικονομικές αξίες για τις διάφορες αποφάσεις που αφορούν τη διαχείριση της κλίμακας των αγρών. Βοηθούν επίσης στη διαχείριση και προσαρμογή των διαφορετικών καλλιεργειών μεταξύ περιοχών οι οποίες έχουν διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, ενώ ταυτόχρονα προβλέπουν τις επιπτώσεις των κλιματικών κινδύνων [61]. Επίσης έχει αναπτυχθεί μοντέλο κατά το οποίο πραγματοποιείται μελέτη των επιπτώσεων διαφορετικών ημερομηνιών

μεταφύτευσης καθώς και των καιρικών παραμέτρων για την απόδοση, την εξατμισοδιαπνοή και την παραγωγικότητα του νερού και έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας κλιματικά δεδομένα διαφορετικών οικοσυστημάτων [62].

Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα που αποτελεί κομμάτι της διαχείρισης των καλλιεργειών είναι η σωστή διαχείριση του νερού για τις ποικίλες δραστηριότητες για τις οποίες χρησιμοποιείται. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά ΣΥΛΑ για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με τη διαχείριση τόσο του νερού όσο και της ξηρασίας, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση της ροής του αλατούχου και φρέσκου νερού και την πρόβλεψη των αποκρίσεων σε κάθε τμήμα των καλλιεργειών συμβάλλοντας έτσι στη διαχείριση τους. Ένα εναλλακτικό μοντέλο ΣΥΛΑ που αναπτύχθηκε στο Βιετνάμ, χρησιμοποιεί μια συνδυασμένη προσέγγιση γραμμικού προγραμματισμού, προγραμματισμού στόχων και συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και βοηθάει στη διαμόρφωση των σχεδίων για τη διαχείριση των λεκανών απορροής [61]. Το ΣΥΛΑ μπορεί επίσης να βοηθήσει στην πρόληψη της υλοτόμησης στις αγροτικές εκτάσεις και της αλάτωσης του εδάφους που προκαλούνται από την άρδευση των καναλιών. Ένα τέτοιο μοντέλο επιτρέπει επίσης τον υπολογισμό των δεικτών απόκρισης διαχείρισης νερού (WMRI) και έτσι βοηθάει στη βελτιστοποίηση της άρδευσης στις καλλιέργειες ελαχιστοποιώντας τις απώλειες διήθησης στα υπόγεια ύδατα για διαφορετικούς τύπους εδάφους. Το ΣΥΛΑ σε συνδυασμό με το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ολοκληρωμένου μοντέλου βροχοπτώσεων, εδάφους, χρήσης νερού, μοντέλου καναλιού ροής, μοντέλο εδαφικού ισοζυγίου νερού και ροής υπόγειων υδάτων αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τους αγρότες. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της παραγωγής για διαφορετικά μοτίβα καλλιεργειών βάση της διαθεσιμότητας υπόγειων υδάτων. Σε ένα άλλο μοντέλο ο συνδυασμός του ΣΥΛΑ με το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών παρέχει χωρική ανάλυση, μελέτη των απαιτήσεων των αγρών σε νερό, μελέτη της χωρικής διακύμανσης του νερού, των πιθανολογικών μηνιαίων βροχοπτώσεων μουσώνων καθώς και τη χαρτογράφηση ψυχρών περιόδων στην περιοχή. Το ΣΥΛΑ παρέχει επίσης στους αγρότες την δυνατότητα να προγραμματίσουν την άρδευση και μάλιστα για διαφορετικές καλλιέργειες ενώ παράλληλα υπολογίζουν τις απαιτήσεις που έχουν οι καλλιέργειες σχετικά με το νερό.

Με τη κατάλληλη αξιοποίηση των πληροφοριών που προέρχονται από τις αγροτικές εκτάσεις, το ΣΥΛΑ αποτελεί ένα συμβουλευτικό σύστημα για τους αγρότες. Πιο συγκεκριμένα συμβάλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών, με την έγκαιρη παροχή υψηλής ποιότητας αποφάσεων σχετικά με τους αγρούς, που προορίζονται για κάθε περιοχή του αγροκτήματος. Οι συμβουλές αυτές προσφέρονται σε όλα τα στάδια της καλλιέργειας από τη σπορά έως και τη συγκομιδή, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος της παραγωγής και να

αυξάνεται η παραγωγικότητα και η ποιότητα των γεωργικών προϊόντων. Επίσης μέσω κινητής τηλεφωνίας παρέχει συμβουλές για την κατάλληλη διαχείριση των παρασίτων και των θρεπτικών ουσιών που αποτελούν πολύ σημαντικές παραμέτρους για τη γεωργία [62].

3.2.2 Μηχανική μάθηση

Η πρόσβαση σε ποικίλα δεδομένα που προέρχονται από τις καλλιέργειες μέσω διαφορετικών αισθητήρων, επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος. Η αλληλεπίδραση με την καλλιέργεια, η επίγνωση των παραμέτρων του εδάφους και των καιρικών συνθηκών, οδηγούν στην καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων μέσω των κατάλληλων μηχανημάτων, με αποτέλεσμα την πιο ακριβή και ταχύτερη λήψη αποφάσεων. Η μηχανική μάθηση (ML) σε συνδυασμό με τεχνολογίες μεγάλων δεδομένων και υψηλής απόδοσης υπολογιστές, παρέχει τη δυνατότητα για επεξήγηση, ποσοτικοποίηση και κατανόηση διαδικασιών υψηλής ποσότητας δεδομένων σε γεωργικά περιβάλλοντα. Η μηχανική μάθηση αποτελεί το επιστημονικό πεδίο το οποίο επιτρέπει την εκμάθηση των μηχανών χωρίς αυτές να είναι αυστηρά προγραμματισμένες. Η εκμάθηση αυτή πραγματοποιείται μέσω των δεδομένων μάθησης, που ουσιαστικά αποτελούν ένα σύνολο παραδειγμάτων, και στόχος της διαδικασίας είναι οι μηχανές να μάθουν από την «εμπειρία» προκειμένου να εκτελούν τις διάφορες λειτουργίες. Με την ολοκλήρωση της μαθησιακής διαδικασίας, το εκπαιδευμένο μοντέλο είναι πλέον έτοιμο ώστε να χρησιμοποιηθεί για διάφορες διαδικασίες όπως για την ταξινόμηση, την πρόβλεψη ή ομαδοποίηση νέων παραδειγμάτων χρησιμοποιώντας πάντα την εμπειρία που αποκτήθηκε μέσω της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Η απόδοση ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης για μια συγκεκριμένη εργασία, μετράται βάσει των βελτιώσεων που πραγματοποιούνται με την εμπειρία στην πάροδο του χρόνου. Πιο αναλυτικά, για τον υπολογισμό της απόδοσης μοντέλων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, χρησιμοποιούνται διάφορα στατιστικά και μαθηματικά μοντέλα.

Οι εργασίες της μηχανικής μάθησης ταξινομούνται σε διαφορετικές γενικές κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο εκμάθησης (εποπτευόμενη/χωρίς επίβλεψη), τα μοντέλα μάθησης (ταξινόμηση, παλινδρόμηση, ομαδοποίηση και μείωση διαστάσεων) ή τα μοντέλα μάθησης που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της επιλεγμένης εργασίας. Επίσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το μαθησιακό σύστημα που εφαρμόζουν, στις εργασίες εποπτευόμενης μάθησης και στις εργασίες μάθησης χωρίς επίβλεψη. Στην πρώτη κατηγορία, τα δεδομένα έχουν την μορφή παραδειγμάτων εισροών καθώς και των αντίστοιχων εξόδων, ενώ έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός γενικού κανόνα ο οποίος θα μπορεί να αντιστοιχίζει τις εισόδους στις κατάλληλες εξόδους. Κάποιες φορές οι εισροές είναι διαθέσιμες μόνο εν μέρει,

ενώ κάποιες από τις εξόδους-στόχους μπορεί να λείπουν ή να δίνονται μόνο ως ανατροφοδότηση για τις ενέργειες σε ένα δυναμικό περιβάλλον (ενισχυτική μάθηση). Στην δεύτερη κατηγορία των εργασιών της μηχανικής μάθησης η αποκτηθείσα τεχνογνωσία (εκπαιδευμένο μοντέλο) χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων που λείπουν (ετικέτες) για τα δεδομένα δοκιμής. Ωστόσο στην μάθηση χωρίς επίβλεψη δεν υφίσταται διάκριση μεταξύ των συνόλων εκπαίδευσης και των συνόλων δοκιμών με τα δεδομένα να είναι χωρίς ετικέτα. Ο εκπαιδευόμενος επεξεργάζεται τα δεδομένα εισόδου ώστε να ανακαλύψει τα κρυφά μοτίβα [63].

Η μηχανική μάθηση βοηθάει στην λήψη καλύτερων αποφάσεων καθώς και στην πραγματοποίηση ενημερωμένων ενεργειών σε σενάρια πραγματικών συνθηκών χωρίς, ή με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Επίσης η μηχανική μάθηση παρέχει ένα ισχυρό και ευέλικτο πλαίσιο τόσο για τη λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε δεδομένα όσο και για την ενσωμάτωση εξειδικευμένης γνώσης στο σύστημα. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των τεχνικών μηχανικής μάθησης είναι η ικανότητα τους να επιλύουν αυτόνομα μεγάλα μη γραμμικά προβλήματα χρησιμοποιώντας σύνολα δεδομένων από πολλαπλές δυνητικά διασυνδεδεμένες πηγές. Λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών, οι τεχνικές μηχανικής μάθησης είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες σε διάφορους τομείς καθώς και στην γεωργία ακριβείας. Κάποιες από τις τεχνικές μηχανικής μάθησης είναι οι: Gaussian Processes (GPs), Dirichlet Processes (DPs) και Indian To Buffet Process (IBP). Οι τεχνικές αυτές αποκαλούνται πιθανοτικές και εξετάζουν τον θόρυβο κατά τη διεξαγωγή πιθανοτικής συγχώνευσης πληροφοριών από διαφορετικούς αισθητήρες και παρέχουν αξιοπιστία για τις προβλέψεις.

Οι τεχνικές της μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα γεωργικών διαδικασιών όπως η έγκαιρη και ακριβή ανίχνευση της βιοτικής πίεσης στην καλλιέργεια, η ανίχνευση ζιζανίων, φυτικών ασθενειών και εντόμων. Κάποιες από τις τεχνικές αυτές είναι οι εξής: τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN), απόλυτα και παλινδρομικά δέντρα και τυχαία δάση (RFs) προκειμένου να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της πρόβλεψης του κινδύνου πριν από τη φύτευση. Επίσης έχουν αναπτυχθεί μοντέλα αξιολόγησης κινδύνου τα οποία συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων διαχείρισης ασθενειών πριν πραγματοποιηθεί η φύτευση του σιταριού. Οι αγρότες επιτυγχάνουν την εξοικονόμηση κόστους καθώς και τη μείωση της ρύπανσης, μέσω μιας διαδικασίας αυτόματης λήψης αποφάσεων η οποία βασίζεται στο πλαίσιο του Bayes, για την ανίχνευση ζιζανίων στις αγροτικές εκτάσεις [64].

Πιο αναλυτικά τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα παραδοσιακά και τα βαθιά τα οποία βασίζονται στη λειτουργικότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου, προσπαθούν να μιμηθούν πολύπλοκες λειτουργίες όπως η δημιουργία προτύπων, η γνώση, η μάθηση και η λήψη αποφάσεων. Έτσι όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από

δισεκατομμύρια νευρώνες που επικοινωνούν μεταξύ τους και επεξεργάζονται οποιαδήποτε πληροφορία, με την ίδια λογική το ΤΝΔ αποτελείται από διασυνδεδεμένες μονάδες επεξεργασίας οργανωμένες σε μια συγκεκριμένη τοπολογία. Οι κόμβοι είναι διατεταγμένοι σε πολλαπλά επίπεδα, στα οποία εμπεριέχονται τα εξής: ένα επίπεδο εισόδου όπου τα δεδομένα τροφοδοτούνται στο σύστημα, ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα όπου λαμβάνει χώρα η μάθηση και ένα επίπεδο εξόδου όπου δίνεται η απόφαση/πρόβλεψη. Τα ΤΝΔ αποτελούν εποπτευόμενα μοντέλα και είναι χρήσιμα για την επίλυση προβλημάτων όπως η παλινδρόμηση και η ταξινόμηση. Τα βαθιά ΤΝΔ αναφέρονται και ως βαθιά μάθηση (DL) ή βαθιά νευρωνικά δίκτυα (DNN) και αποτελούν έναν σχετικά νέο τομέα της έρευνας που πραγματοποιείται γύρω από τη μηχανική μάθηση. Τα βαθιά ΤΝΔ μέσω της χρήσης πολλαπλών επιπέδων αφαίρεσης μαθαίνουν στα υπολογιστικά μοντέλα, τα οποία αποτελούνται από πολλαπλά επίπεδα επεξεργασίας, για τις σύνθετες αναπαραστάσεις δεδομένων. Ορισμένες φορές η εξαγωγή χαρακτηριστικών εκτελείται από το ίδιο το μοντέλο αποτελώντας βασικό πλεονέκτημα της βαθιάς μάθησης [63]. Η πρακτική εφαρμογή των ΤΝΔ παρουσιάζει σε ορισμένες περιπτώσεις κάποιες δυσκολίες, όπως η επιλογή του αριθμού και του μεγέθους των κρυφών επιπέδων, ο ρυθμός εκμάθησης, η ανάγκη για ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και το πρόβλημα της υπερπροσαρμογής [64]. Ένα ακόμα μοντέλο βαθιάς μάθησης είναι το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN), και οφείλει το όνομα του στο γεγονός πως οι χάρτες χαρακτηριστικών εξάγονται μέσω εκτελέσεων συνελίξεων στον τομέα της εικόνας. Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα αποτελούν ένα ΤΝΔ που αποτελείται από πολλαπλά κρυφά επίπεδα μεταξύ των επιπέδων εισόδου και εξόδου και έχουν την δυνατότητα ή να εποπτεύονται, ή να εποπτεύονται μερικώς ή να μην επιβλέπονται. Στις αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης επίσης περιλαμβάνονται οι εξής: βαθιά μηχανή Boltzmann, δίκτυο βαθιάς πεποίθησης και αυτόματοι κωδικοποιητές.

Ένα μοντέλο εποπτευόμενης μηχανικής μάθησης αποτελεί η παλινδρόμηση, η οποία επιτρέπει την πρόβλεψη μιας μεταβλητής εξόδου βάσει των γνωστών μεταβλητών εισόδου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλγορίθμων παλινδρόμησης όπως η γραμμική παλινδρόμηση, η λογιστική παλινδρόμηση, η σταδιακή παλινδρόμηση αλλά και πιο σύνθετοι αλγόριθμοι όπως η τυπική παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων, η προσαρμοστική παλινδρόμηση πολλαπλών μεταβλητών, η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η κυβιστική και η τοπικά εκτιμώμενη εξομάλυνση διασποράς. Από την άλλη πλευρά, ένα μοντέλο μάθησης χωρίς επίβλεψη είναι η ομαδοποίηση, η οποία χρησιμοποιείται για την εύρεση φυσικών ομαδοποιήσεων δεδομένων. Κάποιες γνωστές τεχνικές ομαδοποίησης είναι η τεχνική k-means, η ιεραρχική τεχνική καθώς και η τεχνική μεγιστοποίησης προσδοκίων.

Ένα ακόμα μοντέλο μηχανικής μάθησης είναι το μοντέλο εκμάθησης συνόλου (EL), το οποίο με την κατασκευή ενός γραμμικού συνδυασμού που αποτελείται από μια βάση απλούστερου μαθητευόμενου, συμβάλλει στη βελτίωση της προγνωστικής απόδοσης μιας δεδομένης τεχνικής στατιστικής μάθησης ή προσαρμογής μοντέλων. Τα συστήματα πολλαπλών ταξινομητών βοηθούν στο να πραγματοποιηθεί ο υβριδισμός υποθέσεων, οι οποίες αποτελούνται από εκπαιδευμένα σύνολα, και δεν προκαλούνται από τον ίδιο βασικό μαθητευόμενο, αποδίδοντας με τον τρόπο αυτό καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση που υπάρχει σημαντική ποικιλομορφία μεταξύ των μεμονωμένων μοντέλων. Στα συγκεκριμένα μοντέλα ως βασικοί μαθητευόμενοι χρησιμοποιούνται τα δέντρα απόφασης, όπως είναι το τυχαίο δάσος.

Οι μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων (SVM) αποτελούν ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης, και πιο συγκεκριμένα ένας δυαδικός ταξινομητής που κατασκευάζει ένα γραμμικό διαχωριστικό υπερεπίπεδο για την ταξινόμηση στιγμιότυπων δεδομένων. Οι μηχανές αυτές επιτυγχάνουν καλύτερη ταξινόμηση μέσω της μετατροπής του αρχικού χώρου χαρακτηριστικών σε ένα χώρο χαρακτηριστικών υψηλότερης. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προβλήματα υπερπροσαρμογής, τα οποία αφορούν χώρους υψηλών διαστάσεων. Οι μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων περιλαμβάνουν την παλινδρόμηση διανύσματος υποστήριξης, τη μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης ελάχιστων τετραγώνων και τη μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης αλγόριθμου διαδοχικής προβολής. Επίσης χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση, παλινδρόμηση και ομαδοποίηση.

Τα μοντέλα βασιζόμενα σε στιγμιότυπα (IBM) είναι μοντέλα που βασίζονται στη μνήμη και μαθαίνουν συγκρίνοντας νέα παραδείγματα με πληροφορίες που προέρχονται από τη βάση δεδομένων εκπαίδευσης. Χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα δημιουργούν υποθέσεις, αλλά δεν διατηρούν το σύνολο αφαιρέσεων. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας μόνο κάποιες συγκεκριμένες περιπτώσεις δημιουργούν προβλέψεις ταξινόμησης ή παλινδρόμησης. Με την αύξηση όμως των δεδομένων αυξάνεται παράλληλα και η πολυπλοκότητα του μοντέλου. Σε αυτήν την κατηγορία συναντιούνται οι εξής αλγόριθμοι μάθησης: k-πλησιέστερος γείτονας, τοπικά σταθμισμένη μάθηση και κβαντοποίηση διανυσμάτων μάθησης [63].

Παρόλο που η τεχνολογία της μηχανικής μάθησης έχει πετύχει σημαντικές εξελίξεις και έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς με επιτυχία, οι τεχνικές της εμφανίζουν θεμελιώδεις περιορισμούς όταν χρησιμοποιούνται απόλυτα βασισμένες στα δεδομένα. Η ακρίβεια των προβλέψεων και οι αβεβαιότητές που προκύπτουν από τους αλγόριθμους της μηχανικής μάθησης, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων, την αντιπροσωπευτικότητα του μοντέλου και τις εξαρτήσεις μεταξύ μεταβλητών εισόδου και

μεταβλητών στόχου. Η προγνωστική ισχύ των τεχνικών αυτών εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων και πιο συγκεκριμένα το υψηλό επίπεδο θορύβου, τα λάθη που μπορεί να εμφανίζουν τα δεδομένα, οι ακραίες τιμές, οι προκαταλήψεις σχετικά με τα δεδομένα και τα ελλιπή σύνολα δεδομένων. Για την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης πρέπει να γίνει η κατάλληλη επιλογή του μοντέλου μηχανικής μάθησης, όπως η συνάρτηση συνδιακύμανσης GP, η αρχιτεκτονική ANN και οι παραμετροποιήσεις SVR. Οι παραπάνω περιορισμοί μπορούν να αντιμετωπισθούν με διάφορες τεχνικές, όπως η ενσωμάτωση εξειδικευμένης γνώσης στη συνάρτηση συνδιακύμανσης, η ανίχνευση ακραίων τιμών, η μεταφορά μάθησης και η επιλογή μοντέλου μέσω αυτοματοποιημένης διασταυρούμενης επικύρωσης [64].

Η τεχνολογία της μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με το δίκτυο των πραγμάτων μέσω της τεχνολογίας θερμοκηπίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση των φυτών, καθώς προσφέρει ένα περιβάλλον που είναι κατάλληλο και ελεγχόμενο για την καλλιέργεια των αγρών. Η μεταβλητότητα όμως των περιβαλλοντικών παραμέτρων που υπάρχει στις γεωργικές εκτάσεις ανάπτυξης των καλλιεργειών και οι αμοιβαίες επιδράσεις τους στην ελεγχόμενη γεωργία παρουσιάζουν δυσκολίες στην προσαρμογή της παραδοσιακής γεωργίας και των περιβαλλοντικών κανονισμών στην ανάπτυξη διαφορετικών τύπων φυτών σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την παρακολούθηση και τον έλεγχο. Υπάρχουν ποικίλα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της φωτεινότητας, της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων για το δίκτυο των πραγμάτων, το οποίο εφαρμόζεται μαζί με αισθητήρες και ενεργοποιητές, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών για ένα συγκεκριμένο τύπο εγκατάστασης.

Με τη χρήση τεχνολογιών όπως το δίκτυο των πραγμάτων, τους αισθητήρες και το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης, συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο οι κατάλληλες πληροφορίες οι οποίες με την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης βοηθούν στην διαχείριση των καλλιεργειών και την εκτίμηση της απόδοσης για την αύξηση της παραγωγικότητας. Η μηχανική μάθηση συμβάλλει τόσο στην πρόβλεψη όσο και στη βελτίωση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Μέχρι πρόσφατα, για τη λήψη αποφάσεων οι αγρότες βασίζονταν κυρίως σε ειδικούς, χωρίς να έχουν γνώσεις σχετικά με τα υπολογιστικά συστήματα και τις νέες τεχνολογίες. Πλέον όμως με την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στον πρωτογενή τομέα, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα δημιουργίας γνώσης, το οποίο χρησιμοποιεί τις ήδη υπάρχουσες γνώσεις για να παράγει νέες πληροφορίες. Έτσι οι αγρότες μπορούν να λαμβάνουν τις κατάλληλες αποφάσεις για την οικονομική διαχείριση των καλλιεργειών [65]. Μια αποτελεσματική, χαμηλού κόστους και μη καταστροφική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη

διαχείριση των καλλιεργειών είναι η εξής: αρχικά πραγματοποιείται ο υπολογισμός των καρπών σε κάθε δέντρο και στη συνέχεια τοποθετούνται σε τρεις κατηγορίες: συγκομιδή, μη συγκομιδή, και φρούτα σε πρώιμο στάδιο ωρίμανσης. Επίσης υπολογίζονται οι παράμετροι του βάρους και του ποσοστού ωρίμανσης των καρπών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση των οικονομικών κερδών και ο προγραμματισμός των γεωργικών δραστηριοτήτων. Η μηχανική μάθηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της απόδοσης μέσω ενός συστήματος μηχανικής όρασης, για την αυτόματη ανακίνηση και συλλογή των καρπών κατά τη συγκομιδή. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι απαιτήσεις στις χειρωνακτικές εργασίες της συγκομιδής και του χειρισμού. Ένα άλλο σύστημα που έχει αναπτυχθεί αφορά την πρώιμη χαρτογράφηση απόδοσης, παρέχοντας στους αγρότες την δυνατότητα αναγνώρισης άγουρων καρπών υπό υπαίθριες συνθήκες. Με τη συνδρομή των πληροφοριών αυτών που σχετίζονται με την απόδοση, επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση του κέρδους και της απόδοσης. Επίσης με την εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων μαζί με τα πολυχρονικά δεδομένα της τηλεπισκόπησης, τα συστήματα μηχανικής μάθησης επιτρέπουν την εκτίμηση της βιομάζας των αγρών. Μια ακόμα μέθοδος που έχει αναπτυχθεί για την διαχείριση των καλλιεργειών, είναι αυτή που χρησιμοποιεί δορυφορικές εικόνες και με τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης των καλλιεργειών που λαμβάνει, μαζί με τα δεδομένα εδάφους οδηγούν σε πιο ακριβείς προβλέψεις. Η τεχνολογία της μηχανικής μάθησης μπορεί να χρησιμοποιήσει τις εικόνες της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας και της τηλεπισκόπησης της τεχνολογίας κόκκινο-πράσινο-μπλε (RGB), η απόκτηση των οποίων πραγματοποιείται μέσω των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV). Οι μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων (SVM) μπορούν να χρησιμοποιήσουν γεωγραφικές πληροφορίες που λαμβάνονται από μετεωρολογικούς σταθμούς, για την πρόβλεψη του σταδίου ανάπτυξης των καρπών.

Το έδαφος χαρακτηρίζεται από μεταβλητότητα των παραμέτρων του σε όλη την έκταση των αγρών, καθιστώντας δύσκολη την παρακολούθηση και διαχείριση της κατάστασης του. Το μοντέλο της μηχανικής μάθησης επιτρέπει μέσω της εκτίμησης της ξήρανσης του εδάφους, της θερμοκρασίας και της περιεκτικότητας σε υγρασία, την διαχείριση της κατάστασης του εδάφους. Με τη συνεχή παρακολούθηση των παραμέτρων του εδάφους, οι ερευνητές έχουν τη δυνατότητα να κατανοήσουν τη δυναμική των οικοσυστημάτων και να εκτιμήσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις συνθήκες που επικρατούν στις αγροτικές εκτάσεις, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό τη διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας. Μία από αυτές τις παραμέτρους είναι η θερμοκρασία του εδάφους, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην ακριβή ανάλυση των επιπτώσεων που επιφέρουν η κλιματική αλλαγή και οι περιβαλλοντικές συνθήκες και βοηθάει στον έλεγχο των διαδραστικών διαδικασιών μεταξύ του εδάφους και της ατμόσφαιρας. Μια ακόμα παράμετρος

που πρέπει να λαμβάνουν υπόψη οι αγρότες είναι η υγρασία του εδάφους, μέσω της οποίας εκτιμάται η μεταβλητότητα της απόδοσης των καλλιεργειών. Επειδή όμως οι μετρήσεις εδάφους απαιτούν χρόνο και χρήμα, έχει προταθεί η χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης, ως μια χαμηλού κόστους και αξιόπιστη λύση για την ακριβή εκτίμηση του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα κάτι τέτοιο μπορεί να πραγματοποιηθεί με την αξιοποίηση πληροφοριών όπως η ξήρανση του εδάφους, με δεδομένα εξατμισοδιαπνοής και βροχόπτωσης, οι τιμές των οποίων ορίζονται με ακρίβεια, κι έτσι παρέχουν αποφάσεις εξ αποστάσεως για τη διαχείριση των καλλιεργειών. Επίσης έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος, κατά την οποία πραγματοποιείται σύγκριση τεσσάρων μοντέλων παλινδρόμησης για την πρόβλεψη του οργανικού άνθρακα του εδάφους (OC), της περιεκτικότητας σε υγρασία (MC) και του ολικού αζώτου (TN), προκειμένου να γίνει πρόβλεψη της κατάστασης του εδάφους. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου ορατού-εγγύς υπέρυθρου (VIS-NIR), αφότου λάβει χώρα στους αγρούς η συγκομιδή. Μια ακόμα μέθοδος για τη διαχείριση του εδάφους αποτελεί η συλλογή των τιμών της θερμοκρασίας σε ποικίλα βάθη του, ώστε οι αγρότες να πετύχουν την ακριβή εκτίμηση της θερμοκρασίας του εδάφους. Για τη διαχείριση της κατάστασης του εδάφους μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, που αξιοποιούν τα δεδομένα από τους αισθητήρες για να εκτιμήσουν την υγρασία του εδάφους [63]. Έτσι τα διάφορα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες, χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα της μηχανικής μάθησης για να προβλέψουν και να αναλύσουν τις ιδιότητες του εδάφους ή να ταξινομήσουν τους τύπους εδάφους. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιούνται μέσω των εποπτευόμενων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι οποίοι είναι ο Κ-πλησιέστερος γείτονας και η υποστηρικτική παλινδρόμηση διανύσματος (SVR) [65].

Για να πετύχουν οι αγρότες την βελτίωση του οικονομικού οφέλους και την μείωση των αποβλήτων, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη μηχανική μάθηση για τον ακριβή εντοπισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των γεωργικών εκτάσεων καθώς και την ταξινόμηση τους. Ο προσδιορισμός αυτών των χαρακτηριστικών είναι σημαντικός για την παρακολούθηση της ποιότητας των καλλιεργειών και των καρπών. Για την αύξηση της ποιότητας των τελικών προϊόντων και τον περιορισμό των βλαβών στις ίνες των καρπών, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει μια μέθοδο κατά την οποία πραγματοποιείται η ανίχνευση και η ταξινόμηση των βοτανικών και μη βοτανικών ξένων υλών που είναι ενσωματωμένα στο βαμβακερό χνούδι κατά τη συγκομιδή. Μοντέλα της μηχανικής μάθησης μπορούν επίσης να εφαρμοστούν για την αναγνώριση και διαφοροποίηση των καρπών με τη χρήση απεικόνισης υπερφασματικής ανάκλασης. Πιο συγκεκριμένα στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η αυτόματη αναγνώριση και ταξινόμηση των διαφορετικών ειδών των φυτών, προκειμένου να μειωθεί τόσο ο χρόνος ταξινόμησης των φυτών

όσο και η εμπλοκή ειδικών στην συγκεκριμένη διαδικασία. Για παράδειγμα έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος για την αναγνώριση και ταξινόμηση τριών ειδών οσπρίων, λευκών, κόκκινων φασολιών και της σόγιας, που πραγματοποιείται μέσω των μοτίβων των φλεβών των φύλλων. Πιο αναλυτικά η μορφολογία των φλεβών περιέχει ακριβείς πληροφορίες για τις ιδιότητες του φύλλου κι έτσι αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την αναγνώριση των φυτών συγκρίνοντας τα χρώματα και τα σχήματα. Η ταξινόμηση μπορεί επίσης να γίνει μέσω της γεωγραφικής προέλευσης των δειγμάτων με τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης που εφαρμόζονται σε χημικά συστατικά δειγμάτων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μηχανική μάθηση μπορεί να εφαρμοστεί στους αγρούς για την παρακολούθηση της κατάστασης του εδάφους. Ένα τμήμα αυτής της διαδικασίας αποτελεί η διαχείριση των ασθενειών των φυτών με την πιο γνωστή παραδοσιακή προσέγγιση στο συγκεκριμένο ζήτημα, να είναι ο ομοιόμορφος ψεκασμός φυτοφαρμάκων στην καλλιέργεια. Η μέθοδος είναι αποτελεσματική αλλά παράλληλα αποτελεί μια κοστοβόρα λύση με υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, καθώς στις καλλιέργειες παρουσιάζονται υπολείμματα σε φυτικά προϊόντα, παρενέργειες στη μόλυνση των υπόγειων υδάτων, επιπτώσεις στην τοπική άγρια ζωή και στα οικοσυστήματα κ.λπ. Η μηχανική μάθηση μπορεί να συμβάλλει στην διαχείριση των ασθενειών μέσω της ανίχνευσης και του διαχωρισμού των υγιών φυτών και εκείνων που έχουν μολυνθεί από κάποιο παράσιτο κατά την ανάπτυξη του. Επίσης σε συνδυασμό με την τεχνολογία της επεξεργασίας εικόνας, μπορεί να βοηθήσει στην αυτόματη ανίχνευση των ασθενειών και την ταξινόμηση τους, πραγματοποιώντας ταυτόχρονα έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Η αυτοματοποιημένη ανίχνευση μολυσμένων φυτών αυξάνει την απόδοση των καρπών και παράλληλα μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για τη συγκεκριμένη γεωργική διαδικασία σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Η μηχανική μάθηση συμβάλλει επίσης στην αποτελεσματικότερη χρήση μυκητοκτόνων και λιπασμάτων σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες του φυτού. Τα παραπάνω μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση διάφορων συστημάτων όπως το σύστημα ανίχνευσης των μολυσμένων με άζωτο και κίτρινη σκουριά φυτών, με την εφαρμογή των ταξινομητών δεδομένων ιεραρχικής αυτοοργάνωσης καθώς και της απεικόνισης υπερφασματικής ανάκλασης. Για την διάκριση των μολυσμένων από τα υγιή φυτά έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, και το καθένα από αυτά συνδυάζει τις τεχνικές μάθησης με διάφορες τεχνολογίες όπως ο ταξινομητής ελαχίστων τετραγώνων (LS)-SVM με οπτική συγχώνευση πολλαπλών αισθητήρων και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Ένα ακόμα σύστημα για τον έλεγχο των ασθενειών των φυτών είναι η χρήση της τηλεπισκόπησης σε πραγματικό χρόνο για την ανίχνευση μολυσμένου και υγιούς σίτου με κίτρινη σκουριά. Το σύστημα βασίζεται σε ένα νευρωνικό δίκτυο αυτοοργάνωσης χάρτη (SOM) και στη συγχώνευση

δεδομένων υπερφασματικής ανάκλασης και απεικόνισης φθορισμού πολλαπλού φάσματος και στόχος του είναι να ανιχνεύσει εγκαίρως τη μόλυνση των φυτών που προκαλείται είτε από έλλειψη θρεπτικών συστατικών είτε από διάφορες ασθένειες. Η μηχανική μάθηση μαζί με τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που προσφέρουν πρόσβαση σε εικόνες των φυτών και πιο συγκεκριμένα των φύλλων τους, επιτρέπουν την ανίχνευση των ασθενειών καθώς και την ταξινόμηση μεταξύ υγιών και ασθενών φύλλων των διάφορων φυτών.

Τα ζιζάνια θεωρούνται από πολλούς αγρότες η σημαντικότερη απειλή για τις καλλιέργειες τους. Η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης μπορεί να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην ανίχνευση και αντιμετώπιση των ζιζανίων. Μαζί με τη χρήση αισθητήρων επιτρέπουν τον ακριβή εντοπισμό και την διάκριση των ζιζανίων, διατηρώντας χαμηλό το κόστος, αποφεύγοντας τη δημιουργία παρενεργειών και περιβαλλοντικών προβλημάτων και ελαχιστοποιώντας την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων καθώς μέσω των κατάλληλων ρομπότ ανιχνεύουν και καταστρέφουν τα ζιζάνια. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία μεθόδων για την αντιμετώπιση των ζιζανίων στα χωράφια. Μια από αυτές τις μεθόδους βασίζεται στην αντιδιάδοση (CP)-ANN και σε πολυφασματικές εικόνες που καταγράφονται από τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης παρέχουν επίσης την δυνατότητα της αναγνώρισης διάφορων ειδών καλλιεργειών και ζιζανίων μέσω της υπερφασματικής απεικόνισης. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα σύστημα μάθησης για την αναγνώριση διάφορων φυτικών ειδών καλλιέργειας καθώς και την διάκριση τους [63]. Επίσης η μηχανική μάθηση μπορεί να συνδυαστεί με τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και το δίκτυο των πραγμάτων για τη βέλτιστη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων και την αποδοτικότερη αντιμετώπιση των ζιζανίων που εμφανίζονται στις αγροτικές εκτάσεις.

Με την εφαρμογή των τεχνικών της μηχανικής μάθησης μπορεί να πραγματοποιηθεί η διαχείριση του νερού στις καλλιέργειες μέσω διάφορων διαδικασιών, όπως ο έλεγχος των προμηθειών του νερού και η ανάλυση της ποιότητας του. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες του διαδικτύου των πραγμάτων, που τοποθετούνται σε όλη την έκταση των αγρών, και παρέχουν πρόσβαση σε μια πληθώρα δεδομένων για τις διάφορες παραμέτρους του εδάφους όπως την υγρασία του, την θερμοκρασία, την θερμοκρασία του νερού καθώς και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Έπειτα οι συλλεγόμενες αυτές πληροφορίες χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της σχετικής υγρασίας που επικρατεί στα χωράφια [65]. Εκτός όμως από τις πληροφορίες που αντλούνται από τις αγροτικές εκτάσεις, οι αγρότες μπορούν να αξιοποιήσουν τα δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέγονται στη συνέχεια χρησιμοποιούνται μέσω της μηχανικής μάθησης, για την πρόβλεψη της ημερήσιας θερμοκρασίας του σημείου δρόσου.

Το δεδομένο αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς βοηθάει στην αναγνώριση των αναμενόμενων καιρικών φαινομένων, αλλά και στην ακριβή εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και της εξάτμισης. Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής μέσω ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ημερήσια, εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση. Η διαδικασία αυτή είναι πολύπλοκη και παίζει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των πόρων στις καλλιέργειες, καθώς και στο σχεδιασμό και στη διαχείριση των συστημάτων άρδευσης. Χρησιμοποιεί πληροφορίες τόσο από μετεωρολογικούς σταθμούς όσο και από το ίδιο το χωράφι, όπως είναι η θερμοκρασία του. Η εκτίμηση της μέσης εξατμισοδιαπνοής μπορεί επίσης να επικεντρωθεί στις άνυδρες και ημίξηρες περιοχές [63].

Εκτός όμως από την παρακολούθηση των καλλιεργειών και της κατάστασης τους, η μηχανική μάθηση μπορεί να συμβάλλει στην παρακολούθηση του συστήματος παραγωγής [65]. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιείται η ακριβής πρόβλεψη και εκτίμηση των γεωργικών παραμέτρων, ώστε να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης του συστήματος παραγωγής. Για την παραπάνω διαδικασία έχει προταθεί μια μέθοδος για την πρόβλεψη του προτύπου ζύμωσης της μεγάλης κοιλίας από τα λιπαρά οξέα του γάλακτος. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι σημαντική για την αξιολόγηση της διατροφής για την παραγωγή γάλακτος. Ένα άλλο μοντέλο που βασίζεται στις μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων, εφαρμόζεται για την έγκαιρη ανίχνευση και προειδοποίηση προβλημάτων στην εμπορική παραγωγή αυγών. Η τεχνική των μηχανών υποστήριξης διανυσμάτων χρησιμοποιείται επίσης για την ακριβή εκτίμηση του βάρους των βοοειδών σε βάθος χρόνου. Επίσης έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος περιορισμένου εύρους για την ταυτοποίηση ζώων χωρίς την χρήση ραδιοσυχνότητας (RFID), που αποτελεί χρονοβόρα και επώδυνη διαδικασία για τα ζώα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) που εφαρμόζονται σε ψηφιακές εικόνες για την αναγνώριση προσώπου των χοίρων. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ζώων, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης των κινήσεών τους από βιντεοκάμερες βάθους [63].

3.2.3 Επεξεργασία εικόνας

Με τη χρήση τεχνολογιών όπως μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και διαδίκτυο των πραγμάτων, συλλέγονται χρήσιμες για την παρακολούθηση και διαχείριση των καλλιεργειών πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν τη βελτίωση της παραγωγής μέσω της αποδοτικής εφαρμογής λιπασμάτων, χημικών προϊόντων και άλλων γεωργικών εισροών, μειώνοντας παράλληλα τη ρύπανση των υδάτων και του περιβάλλοντος και γενικότερα την υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους. Οι τεχνικές ανάλυσης εικόνας

χρησιμοποιούνται σε ποικίλες γεωργικές διαδικασίες για την αυτοματοποίηση τους. Οι τεχνικές αυτές εμφανίζονται όλο και περισσότερο στη γεωργία καθώς έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές εξελίξεις στη συγκεκριμένη τεχνολογία οφείλεται. Οι εξελίξεις αυτές αφορούν στη μείωση του κόστους εξοπλισμού, στην αύξηση της υπολογιστικής απόδοσης, στη βελτίωση της ποιότητας της κάμερας καθώς και στο αυξανόμενο ενδιαφέρον για διάφορες γεωργικές εργασίες, όπως η αυτόματη ανίχνευση γραμμών καλλιέργειας, η ανίχνευση ζιζανίων, παρασίτων και ασθενειών σε διαφορετικά πεδία καλλιέργειας. Παράλληλα όμως υπάρχουν και πολλές προκλήσεις που σχετίζονται με την ακρίβεια, το χρόνο εκτέλεσης και την εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο [66].

Η τεχνολογία της επεξεργασίας εικόνων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την τεχνολογία αισθητήρων, η οποία χρησιμοποιείται για τη λήψη των εικόνων προς επεξεργασία με τη βοήθεια ειδικών καμερών. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται με σκοπό την πρόσβαση σε οπτικό υλικό των καλλιεργειών. Κάποιοι από αυτούς βρίσκονται στα αερομεταφερόμενα, δορυφορικά και μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Κάθε πλατφόρμα έχει το δικό της εύρος κάλυψης, το οποίο επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες: την απόσταση δειγματοληψίας εδάφους (GSD), η οποία υπολογίζεται ως προς τη χωρική ανάλυση, τον ρυθμό ή συχνότητα συλλογής δεδομένων και τη μέση απόσταση μεταξύ των αντικείμενων και των αισθητήρων [67].

Για την αποδοτικότερη εκμετάλλευση του οπτικού υλικού, πριν από την επεξεργασία των εικόνων, για την διεξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων πραγματοποιείται βελτίωση των εικόνων έτσι ώστε η επεξεργασμένη εικόνα να προβάλλεται καλύτερα από την αρχική. Οι μέθοδοι βελτίωσης εικόνων χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, του χώρου και της συχνότητας. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν διαφορετικές μέθοδοι, οι οποίες επηρεάζουν τον χειρισμό των τιμών των εικονοστοιχείων (pixel) μιας εικόνας. Στην δεύτερη κατηγορία αρχικά πραγματοποιείται ο υπολογισμός του μετασχηματισμού Fourier της εικόνας, έπειτα εκτελούνται διάφορες λειτουργίες σε αυτές και στη συνέχεια λαμβάνονται τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τον αντίστροφο μετασχηματισμού Fourier της εικόνας [68]. Στη συνέχεια, αφότου ολοκληρωθεί η βελτίωση των εικόνων, λαμβάνει χώρα η επεξεργασία τους, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές που βασίζονται σε δείκτες βλάστησης, στο κατώτατο όριο, στη μάθηση και στο κυματίδιο [66].

Για την ανάπτυξη διαφόρων δεικτών βλάστησης που παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τη δομή και τις συνθήκες των φυτών, χρησιμοποιείται το μετρημένο ανακλώμενο φως στο υπεριώδες, ορατό (μπλε, πράσινο, κόκκινο), κοντινό και μεσαίο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Πιο συγκεκριμένα οι δείκτες βλάστησης αποτελούν μαθηματικές εκφράσεις που συνδυάζουν τη

μετρημένη ανάκλαση σε πολλές φασματικές ζώνες και παράγουν μια τιμή που βοηθά στην αξιολόγηση της ανάπτυξης, του σθένους και πολλών άλλων ιδιοτήτων βλάστησης, όπως η περιεκτικότητα σε βιομάζα και χλωροφύλλη. Η καταγραφή αυτών των δεικτών επιτρέπει την κατανόηση της χωροχρονικής μεταβλητότητας στις διάφορες συνθήκες της καλλιέργειας. Οι πιο γνωστοί δείκτες βλάστησης είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI), ο πράσινος NDVI (GNDVI) και ο δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένος στο έδαφος (SAVI). Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούν το γεγονός ότι εντός του ορατού εύρους του φάσματος, η ανάκλαση των φυτών είναι χαμηλή σε μπλε και κόκκινες περιοχές, ενώ παράλληλα κορυφώνεται στην πράσινη περιοχή. Οι φυτικές χρωστικές, κυρίως η χλωροφύλλη και τα καροτενοειδή, απορροφώνται έντονα στο ορατό τμήμα του φάσματος εκτός από την πράσινη περιοχή. Μια τέτοια ισχυρή προσρόφηση όμως δεν συμβαίνει και στο τμήμα της φασματοσκοπίας εγγύς υπέρυθρου του φάσματος, γεγονός που οδηγεί τα πράσινα και υγιή φυτά να προκαλούν υψηλή ανάκλαση στην περιοχή φασματοσκοπίας εγγύς υπέρυθρου (NIR). Ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς χρησιμοποιεί μετρημένες τιμές ανάκλασης σε περιοχές κόκκινου και φασματοσκοπίας εγγύς υπέρυθρου προκειμένου να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη των καλλιεργειών και τη φωτοσύνθεση. Η τιμή του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς κυμαίνεται από -1 έως 1, με τις θετικές τιμές να υποδηλώνουν αυξανόμενη πρασινάδα ενώ οι αρνητικές τιμές να αποτελούν ένδειξη επιφανειών χωρίς βλάστηση, όπως αστικές περιοχές, γυμνό έδαφος/γη, νερό και πάγος. Εξωτερικοί παράγοντες στις συνθήκες βλάστησης, όπως η ηλιακή και οπτική γεωμετρία, τα υπολείμματα του εδάφους και των καλλιεργειών στην επιφάνεια του εδάφους και οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές στα φασματικά σήματα. Ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς είναι ευαίσθητος σε συγκεκριμένες επιδράσεις που προκαλούνται από το έδαφος, την ατμόσφαιρα, το σύννεφο και τη σκιά του θόλου των φύλλων, κάτι το οποίο μπορεί να έχει ως απόρροια τις εσφαλμένες πληροφορίες σχετικά με τις κατάλληλες συνθήκες τόσο για την καλλιέργεια γενικότερα όσο και για τα φυτά ειδικότερα. Από την άλλη πλευρά ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς δεν είναι ευαίσθητος σε αλλαγές που αφορούν το δείκτη περιοχής φύλλων (LAI) και τη βιομάζα μετά την επίτευξη του κορεσμού, ειδικά σε συνθήκες πυκνής βλάστησης. Για την αντιμετώπιση των ελλείψεων και των περιορισμών που εμφανίζει ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς, έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία εναλλακτικών δεικτών. Κάποιο από αυτούς τους δείκτες είναι ο δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένος στο έδαφος (SAVI), ο δείκτης βλάστησης ατμοσφαιρικής ανθεκτικότητας (ARVI) και ο δείκτης βλάστησης ευρείας δυναμικής περιοχής (WDRVI). Επίσης για την καλύτερη εκτίμηση της θρεπτικής κατάστασης των φυτών, του δείκτη περιοχής φύλλων και της

βιομάζας σε συνθήκες πυκνής βλάστησης, χρησιμοποιούνται δείκτες βλάστησης που βασίζονται στην κόκκινη άκρη. Κάποιοι από αυτούς τους δείκτες είναι οι εξής: ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς της κόκκινης άκρης (RNDVI), η κανονικοποιημένη διαφορά κόκκινης ακμής (NDRE) και ο δείκτης βλάστησης διαφοράς κόκκινης ακμής (REDVI).

Η μέτρηση της ανάκλασης ή της εκπομπής σε ζώνες κοντινού και μεσαίου υπέρυθρου χρησιμοποιείται για τον ορισμό διάφορων δεικτών που συμβάλλουν στην κατανόηση εγγενών χαρακτηριστικών του φυτού, όπως η περιεκτικότητα σε νερό, χρωστικές ουσίες, σάκχαρα, υδατάνθρακες και πρωτεΐνες. Η ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία στις θερμικές υπέρυθρες ζώνες σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία του φυτού, η οποία με τη σειρά της σχετίζεται με τον ρυθμό διαπνοής των φυτών. Έτσι οι δείκτες που προκύπτουν από τα δεδομένα της θερμικής/υπέρυθρης ανάκλασης χρησιμοποιούνται ώστε οι αγρότες να έχουν επίγνωση της κατάστασης του νερού των φυτών καθώς και άλλων βιοτικών και αβιοτικών καταπονήσεων όπως η ασθένεια. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες οι οποίοι βασίζονται τόσο στην υπέρυθρη όσο και στη θερμική ανάκλαση ή εκπομπή, όπως ο δείκτης υδατικής καταπόνησης καλλιεργειών (CWSI) και ο δείκτης υδατικής καταπόνησης υπέρυθρων βραχέων κυμάτων (SIWSI). Οι παραπάνω δείκτες εφαρμόζονται σε διάφορες δραστηριότητες της γεωργίας ακριβείας, όπως η παρακολούθηση της υδατικής καταπόνησης και της ξηρασίας, της υγρασίας του εδάφους, των ασθενειών των φυτών και η εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών [69].

Οι παραπάνω δείκτες βλάστησης συμβάλλουν στην εξαγωγή φασματικών χαρακτηριστικών συνδυάζοντας δύο ή περισσότερες φασματικές ζώνες, βάσει των ιδιοτήτων της ανάκλασης που παράγονται από τη βλάστηση. Με τη χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε συνδυασμό με πολλαπλούς αισθητήρες για την πρόσβαση στις εικόνες, το συγκεκριμένο σύστημα έχει αναπτυχθεί προκειμένου να παρέχει φασματικές πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση του νερού σε ένα χωράφι. Το σύστημα συλλέγει ταυτόχρονα πολυφασματικά και θερμικά δεδομένα, από τα οποία προκύπτουν οι δείκτες της βλάστησης και της πίεσης του νερού, και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως δείκτες για τον προσδιορισμό της υδατικής καταπόνησης και της κατάστασης της υγείας των καλλιεργειών. Ένα άλλο σύστημα που έχει προταθεί από ερευνητές αφορά τον εντοπισμό μολυσμένων περιοχών, με τη συγκεκριμένη μέθοδο να βασίζεται σε ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN), ώστε να επιτευχθεί η ανίχνευση συμπτωμάτων ασθενειών στις αγροτικές εκτάσεις. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο συγκρίνονται μέσω διαφορετικών χρωματικών χώρων, δεικτών βλάστησης, καθώς και μέσω του συνδυασμού και των δύο προαναφερόμενων πληροφοριών. Επίσης έχει κατασκευαστεί ένα αυτόνομο σύστημα ανίχνευσης και παρακολούθησης φυτών, το οποίο καθοδηγείται από υπολογιστική όραση για τη

συνεχή παρακολούθηση των χρονικών, μορφολογικών και φασματικών χαρακτηριστικών των καρπών μιας καλλιέργειας σε ένα υδροπονικό σύστημα τεχνικής λεπτού στρώματος θρεπτικού διαλύματος (NFT). Ένας άλλος τρόπος για την εκμετάλλευση των εικόνων που προέρχονται από τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, είναι το δίκτυο καψουλών (CapsNet) όπου οι εικόνες υποβάλλονται σε επεξεργασία με τη χρήση της μεθόδου εξισορρόπησης ιστογράμματος σε κλίμακα του γκρι καθώς και μέσω του αλγόριθμου superpixels, όπου γίνεται μια τμηματοποίηση των super pixel. Στη συνέχεια τα δύο αποτελέσματα αποστέλλονται στο CapsNet για εκπαίδευση και έτσι γίνεται η πρόβλεψη του διανύσματος εξόδου βάσει του πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Η παραπάνω διαδικασία βοηθάει στην πρόληψη ασθενειών και παρασίτων. Οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλες δραστηριότητες όπως ο προσδιορισμός της ποιότητας του εδάφους στις καλλιέργειες, ο επιλεκτικός ψεκασμός αγροχημικών, η ανίχνευση και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των καρπών. Με την επίτευξη της τελευταίας δραστηριότητας, η οποία πραγματοποιείται σε συνδυασμό με τεχνικές επεξεργασίας τρισδιάστατων σημείων χαρτών υπολογιστικού νέφους, προσδιορίζεται ο αριθμός των σειρών και των φυτών που λείπουν στις σειρές των χωραφιών. Επίσης έχει αναπτυχθεί μοντέλο για τη μείωση του κόστους παραγωγής γεωματικών προϊόντων, με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την πρόσβαση σε εικόνες των καλλιεργειών, στις οποίες εφαρμόζεται η αυτόματη ανίχνευση θολών εικόνων, καθορίζοντας έτσι έναν αριθμό ένδειξης ο οποίος υποδηλώνει το επίπεδο θαμπώματος στις εικόνες για μια συγκεκριμένη ρύθμιση κάμερας.

Μια ακόμα τεχνική επεξεργασίας εικόνων αποτελεί η τεχνική που βασίζεται στο κατώτατο όριο, η οποία ακόμα και σε μεταβαλλόμενες ή αντίξοες συνθήκες φωτισμού παρέχει αυτόματα ένα κατώφλι. Μια τέτοια τεχνική είναι η τμηματοποίηση, όπου οι εικόνες χρησιμοποιούνται για την παραλληλοποίηση ετερογενών τεχνολογιών σε πραγματικό χρόνο [66]. Η τμηματοποίηση αποτελεί μια τεχνική επεξεργασίας εικόνων όπου πραγματοποιείται η εξαγωγή διαφορετικών χαρακτηριστικών μιας εικόνας. Πιο συγκεκριμένα μια εικόνα υποδιαιρείται σε συνιστώσες περιοχές ή αντικείμενα, το επίπεδο στο οποίο όμως θα πραγματοποιηθεί η υποδιαίρεση αυτή αποτελεί ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Η μέθοδος που βασίζεται στο κατώτερο όριο, που είναι και η πιο απλή μέθοδος τμηματοποίησης, χρησιμοποιεί είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα δημιουργημένες τιμές κατώτερου ορίου για την τμηματοποίηση. Αρχικά υπολογίζεται το ιστόγραμμα της εικόνας και στη συνέχεια, με σκοπό την τμηματοποίηση μιας περιοχής της εικόνας, επιλέγεται μια συγκεκριμένη τιμή του κατώτερου ορίου (έντασης). Επειδή όμως οι τιμές έντασης συχνά περιλαμβάνουν μη ομοιόμορφα κατανομημένες τιμές αντίθεσης μέσα στα εικονοστοιχεία, η τμηματοποίηση εικονοστοιχείων μικρής δομής, με την

εφαρμογή των μεθόδων καθολικού κατώτερου ορίου δεν είναι χρήσιμη [68]. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούν την τεχνική που βασίζεται στο κατώτατο όριο. Ένα από αυτά έχει ως σκοπό την αυτόματη εξόρυξη των γεωτεμαχίων από τις εικόνες ώστε να προσδιοριστούν τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους. Ένα άλλο μοντέλο εφαρμόζει την τμηματοποίηση για την πραγματοποίηση της ανίχνευσης ζιζανίων και της παρακολούθησης της βλάστησης, ενώ ένα άλλο μοντέλο χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη τεχνική για τον εντοπισμό φυτών που λείπουν στις αγροτικές εκτάσεις. Επίσης μπορεί να επιτευχθεί η εξομάλυνση του θορύβου σε κατεστραμμένες ή αλλοιωμένες εικόνες μεγάλων διαστάσεων. Οι τεχνικές που βασίζονται στο κατώτατο όριο σε συνδυασμό με τους ασύρματους αισθητήρες, δημιουργούν μια βάση δεδομένων εικόνων και επιτρέπουν τον καθορισμό των κατάλληλων σχεδίων για την επεξεργασία, για διαφορετικούς τύπους καλλιεργειών στις διάφορες περιοχές. Ένας ακόμα αλγόριθμος επεξεργασίας εικόνας που έχει αναπτυχθεί αφορά την αναπαράσταση ακμών με βάση την ταξινόμηση των τύπων ακμών σε τέσσερις κατηγορίες: ράμπα, ώθηση, βήμα και σιγμοειδές (RISS). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εκτελεί μια ανάλυση συνδεσιμότητας (CA) στον χάρτη ακμών προκειμένου να απομακρυνθούν οι μικρές και αποσυνδεδεμένες ακμές. Η ανάλυση απόδοσης σε πειράματα επιτρέπει στον αλγόριθμο ανίχνευσης άκρων πολλαπλής ανάλυσης, να επιτυγχάνει πιο αποτελεσματικό εντοπισμό καθώς και εντοπισμό ακμών με βελτιωμένες ακρίβειες [66].

Όταν ολοκληρωθεί το στάδιο της τμηματοποίησης, συνήθως ακολουθεί η αναπαράσταση και η περιγραφή της εικόνας. Σε πρώτη φάση αποφασίζεται αν τα δεδομένα θα αντιπροσωπεύονται ως οριακή ή πλήρης περιοχή. Η κατηγορία της οριακής αναπαράστασης είναι κατάλληλη στις περιπτώσεις που η εστίαση είναι στα εξωτερικά χαρακτηριστικά σχήματος. Σε αντίθετη περίπτωση η περιφερειακή αναπαράσταση εστιάζει σε εσωτερικές ιδιότητες, όπως η υφή και το σχήμα του σκελετού. Πιο συγκεκριμένα κατά την αναγνώριση των φυτικών ειδών με τη βοήθεια της ψηφιακής μορφομετρίας, οι εικόνες αναπαρίστανται μέσω της χρήσης τεχνικών ανάλυσης σχήματος φύλλου. Η ανάλυση του σχήματος των φύλλων πραγματοποιείται με τρεις τρόπους: το δισδιάστατο σχήμα του περιγράμματος του πέταλου φύλλου, τη δομή του δικτύου φλεβών και οι χαρακτήρες του περιθωρίου των φύλλων. Το δισδιάστατο σχήμα περιγράμματος του πέταλου του φύλλου είναι μια οριακή αναπαράσταση, σε αντίθεση με τη δομή του δικτύου φλεβών και τους χαρακτήρες του περιθωρίου του φύλλου που αποτελούν περιφερειακή αναπαράσταση [68].

Οι τεχνικές που βασίζονται στη μάθηση περιλαμβάνουν εποπτευόμενες και μη εποπτευόμενες διαδικασίες. Οι συγκεκριμένες τεχνικές χρησιμοποιούν μια πληθώρα εικόνων και σε συνδυασμό με τις τεχνικές βαθιάς μάθησης βοηθούν στην ταξινόμηση και ανίχνευση

διαφορετικών ειδών σε πραγματικό χρόνο. Η ίδια διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί και με το συνδυασμό των τεχνικών που βασίζονται στη μάθηση με το βαθύ νευρωνικό δίκτυο. Επίσης έχουν προταθεί διάφορες ευρετικές μέθοδοι πρόβλεψης για την εξαγωγή χαρακτηριστικών μιας εικόνας σε διαφορετικές γεωργικές διαδικασίες. Η τεχνική της τμηματοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς περιορισμούς επιτρέποντας έτσι την αντιμετώπιση των συνθηκών πρόσληψης φωτός. Σε συνδυασμό με τη χρήση των κατάλληλων μορφολογικών φίλτρων, βοηθάει στην εξάλειψη των τμηματοποιημένων εικόνων και με τον τρόπο αυτό επιτρέπει τη διάκριση των καλλιεργειών και ζιζανίων σε εικόνες RGB. Για την αυτόματη αναγνώριση των διάσπαρτων ζιζανίων που εμφανίζονται στις αγροτικές εκτάσεις, μπορεί επίσης να εφαρμοστεί το κριτήριο της ελάχιστης απόστασης βάσει των αποστάσεων Mahalanobis.

Οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνων βασισμένες στα κυματίδια, περιλαμβάνουν μεθόδους που επικεντρώνονται στις λεπτομέρειες μιας εικόνας. Η συγκεκριμένη κατηγορία επισημαίνει τις λεπτομέρειες, ανιχνεύει τις υφές, και αναλύει μια εικόνα από διαφορετικές γωνίες. Οι τεχνικές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες βάσει της ανάλυσης του περιεχομένου της συχνότητας, και διαχωρίζονται στις χαμηλές (ομαλές διακυμάνσεις στο χρώμα) και στις υψηλές συχνότητες (άκρες που παρέχουν λεπτομέρειες). Με τη χρήση του μετασχηματισμού κυματιδίων προκύπτει η υποζώνη υψηλής συχνότητας, η οποία στη συνέχεια αποσυντίθεται σε πολλαπλές κατευθυντικές υποζώνες μέσω μιας συλλογής κατευθυντικών φίλτρων για τη διάγνωση ασθενειών των φυτών [66].

Για τον διαχωρισμό των εικόνων πραγματοποιείται η διαδικασία της αναγνώρισης, κατά την οποία κάθε αντικείμενο αποδίδεται βάσει των πληροφοριών που προέρχονται από τις περιγραφές του. Για την αναγνώριση των εικόνων εφαρμόζεται η μέθοδος της ταξινόμησης, η οποία χρησιμοποιεί τα δεδομένα που λαμβάνονται από την επιλογή χαρακτηριστικών, για τη διάκριση ενός φυτικού είδους με άλλα είδη. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιείται η σύγκριση των περιγραφών από τα δεδομένα της εικόνας που είναι αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων, με τις περιγραφές από την εικόνα-ερώτημα. Στη συνέχεια επιλέγεται το στενότερο κενό μέσα στις περιγραφές, για να οριστεί σε ποια κλάση η εικόνα-ερώτημα θα τοποθετηθεί. Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο και η ασαφής λογική είναι οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται συνήθως στην ταξινόμηση [68].

Οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνων σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες όπως τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη για την καταγραφή των εικόνων από όλη την έκταση των καλλιεργειών, τη μηχανική μάθηση και το σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων για την αυτοματοποίηση των γεωργικών δραστηριοτήτων, συμβάλλουν στη αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών μέσα από τη βελτίωση των διάφορων γεωργικών διαδικασιών όπως η

παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών και των χαρακτηριστικών των καρπών, η ανίχνευση και αντιμετώπιση ασθενειών, παρασίτων και ζιζανίων και η παρακολούθηση της κατάστασης των φυτών.

Οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνων εφαρμόζονται καθ' όλη τη διαδικασία της ανάπτυξης των φυτών. Συμμετέχοντας στην παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών, μπορούν να ανιχνεύσουν έγκαιρα μη φυσιολογικές συνθήκες, διορθώνοντας το πρόβλημα όσο το δυνατόν γρηγορότερα, μειώνοντας έτσι τις απώλειες στις καλλιέργειες. Κατά την παρακολούθηση των φυτών, εξετάζονται τα εξής στοιχεία: το πάχος των φύλλων της καλλιέργειας, το μήκος του ριζώματος και η περιεκτικότητα σε νερό και τα σχετικά δεδομένα καταγράφονται λεπτομερώς. Χρησιμοποιώντας τα τελικά δεδομένα, επιτυγχάνεται ολοκληρωμένη επίγνωση της παραγωγής των καλλιεργειών και μαζί με τις εικόνες των καλλιεργούμενων καρπών, πραγματοποιείται έλεγχος σχετικά με την ωριμότητα των καρπών, την έλλειψη της θρέψης και του νερού για κάθε χρονική στιγμή.

Για την εξασφάλιση της υγείας και ομαλής ανάπτυξης των καλλιεργειών, οι αγρότες πρέπει να φροντίζουν για την έγκαιρη παροχή των θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται για την ανάπτυξή τους, καθώς και να αντιμετωπίζουν τις ασθένειες, τα παράσιτα και τα ζιζάνια που εμφανίζονται στις αγροτικές εκτάσεις και επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Η σωστή διαχείριση των παραπάνω διαδικασιών είναι σημαντική για την βελτίωση της απόδοσης παραγωγής των καλλιεργειών. Οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνων διευκολύνουν τη διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης των καλλιεργειών και απλοποιεί σημαντικά τις δύσκολες εργασίες του ανθρώπινου δυναμικού. Επίσης η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας επιτρέπει την πρόβλεψη προβλημάτων, που μπορεί να εμφανιστούν στις καλλιέργειες, στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης τους, και έτσι να πραγματοποιηθούν προληπτικές εργασίες.

Κατά την ανάπτυξη των καλλιεργειών μέσω των τεχνικών επεξεργασίας εικόνων, συλλέγονται εικόνες των φύλλων και των ριζωμάτων των φυτών σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της κατάστασης των φυτών και πιο συγκεκριμένα του μεγέθους των φύλλων της καλλιέργειας και του πάχους του ριζώματος. Με τη σύγκριση των δεδομένων παρακολούθησης με τα δεδομένα που σχετίζονται με τις καλλιέργειες σε κανονική κατάσταση, ελέγχεται εάν υπάρχει έλλειψη διατροφής των καλλιεργειών και άλλα θέματα, ώστε να αναπτυχθεί έγκαιρα ένα αποτελεσματικό σχέδιο αποκατάστασης, επιτρέποντας έτσι την κανονική ανάπτυξη των αγρών, την παροχή επαρκούς ποσότητας νερού και θρεπτικών ουσιών.

Με τη βοήθεια των τεχνικών επεξεργασίας εικόνων πραγματοποιείται η συλλογή των σημείων κάθε εικόνας των καρπών της καλλιέργειας σε μεγάλο εύρος, και χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους, προσδιορίζεται η ανάπτυξη και η ωριμότητα της καλλιέργειας. Με τον τρόπο αυτό

κρίνεται η ωριμότητα των φρούτων και διαμορφώνονται με αποτελεσματικό τρόπο τα κατάλληλα μέτρα που πρέπει να ληφθούν σχετικά με τις καλλιέργειες. Για παράδειγμα, ο καρπός που ωριμάζει νωρίτερα, μπορεί να συλλεχθεί πρώτος για να αποφευχθεί τόσο η αποσύνθεση όσο και άλλες παρακμές, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την αποδοτικότητα της παραγωγής και βοηθώντας στη συστηματική διαχείριση της κατάστασης των φρούτων.

Ένας τρόπος για να αξιολογηθεί η ποιότητα των καλλιεργειών, είναι ο έλεγχος του χρώματος των καρπών. Η συλλογή και ανάλυση των χρωματικών χαρακτηριστικών με την τεχνολογία επεξεργασίας εικόνων αποτελεί ένα μηχανισμό ανίχνευσης προκειμένου οι αγρότες να γνωρίζουν εάν οι καλλιέργειες είναι υψηλής ποιότητας. Έχοντας ως παράδειγμα την ανίχνευση της ποιότητας του καλαμποκιού, η ανάλυση πολλαπλών δεικτών εικόνας, όπως ο κορεσμός χρώματος και η ευαισθησία των κόκκων καλαμποκιού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το πρότυπο ποιότητας βαθμολόγησης της γλυκύτητας και της λεπτότητας του καλαμποκιού. Έτσι δημιουργείται μια θεωρητική βάση για τη συστηματική και τυποποιημένη ανάπτυξη επιθεώρησης ποιότητας του αραβοσίτου [70].

Οι εικόνες που αποκτώνται μέσω των καμερών που τοποθετούνται είτε σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη είτε σε αισθητήρες σε όλη την έκταση των καλλιεργειών, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία τρισδιάστατων χαρτών καλλιεργειών. Υπάρχουν τρεις τύποι χαρτών που μπορούν να προκύψουν από τις τεχνικές χαρτογράφησης και είναι οι εξής: υψομετρικοί, εδάφους και απόδοσης. Πιο αναλυτικά οι υψομετρικοί χάρτες είναι χρήσιμοι διότι η ίδια η παράμετρος του υψόμετρου είναι κρίσιμη στην γεωργία ακριβείας, καθώς βοηθάει τους αγρότες να κατανοήσουν καλύτερα την απόκριση της απόδοσης. Επηρεάζει τον σχηματισμό του εδάφους, την κίνηση του νερού και τις πτυχές της καλλιέργειας. Επίσης καθορίζει τις υδάτινες περιοχές, τον κίνδυνο διάβρωσης, τους περιορισμούς αποστράγγισης και συχνά σχετίζεται με τον τύπο του εδάφους. Για τον σχηματισμό των ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων (DEM) ενός πεδίου ή ενός αγροκτήματος, χρησιμοποιούνται πληροφορίες που προέρχονται από τους δέκτες παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (GNSS). Τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση των χαρακτηριστικών του εδάφους όπως η κλίση, η όψη, η καμπυλότητα, η διακοπή της ηλιακής ακτινοβολίας, οι κατευθύνσεις ροής του νερού και οι τοπογραφικοί δείκτες υγρασίας. Οι υψομετρικοί χάρτες συμβάλλουν ώστε να βρεθεί ο κατάλληλος τρόπος με τον οποίο η τοπογραφία θα επηρεάσει τα αγρονομικά αποτελέσματα σε ένα χωράφι και θα δημιουργήσει ένα ενιαίο επίπεδο στο χωράφι. Μέσω των προαναφερόμενων πληροφοριών, καθίσταται δυνατή η δημιουργία χαρτών περιγραμμάτων και τοπογραφίας, η τρισδιάστατη μοντελοποίηση χαρτών

κινδύνου, απορροής και ταχύτητας, ο σχεδιασμός διάταξης χωραφιών, ο σχεδιασμός περιγράμματος καθώς και σχέδια αποστράγγισης και υλοποίησης επί του εδάφους υλοποίησης.

Ο δεύτερος τύπος χαρτογράφησης αφορά τους χάρτες εδάφους, που έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες μεγάλης σημασίας, καθώς η διαδικασία της δειγματοληψίας εδάφους πραγματοποιεί συλλογή πληροφοριών σχετικά με την υφή του, τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και άλλες χημικές ιδιότητες του εδάφους. Επίσης προσφέρει στους αγρότες πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τη συμπίεση του εδάφους, την περιεκτικότητα σε υγρασία και άλλες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Η δειγματοληψία εδάφους περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές τεχνικές: την τυχαία, την προσαρμοστική και τη δειγματοληψία πλέγματος. Στην κατηγορία της τυχαίας δειγματοληψίας, τα δεδομένα του εδάφους λαμβάνονται από τυχαίες τοποθεσίες των γεωργικών εκτάσεων. Στην προσαρμοστική δειγματοληψία οι επιλεγμένες τοποθεσίες των δειγμάτων εξαρτώνται από προηγούμενες πληροφορίες. Τέλος η δειγματοληψία πλέγματος αφορά τη συστηματική συλλογή δειγμάτων από προκαθορισμένα σημεία του πεδίου. Μέχρις στιγμής καμία από τις υπάρχουσες παραπάνω μεθόδους δειγματοληψίας εδάφους δεν χαρακτηρίζεται ως η πιο αποτελεσματική. Μια εναλλακτική μέθοδος για να πραγματοποιηθεί η χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του εδάφους μιας καλλιέργειας, είναι η χρήση αισθητήρων εν κινήσει που προσφέρουν αυξημένη πυκνότητα των μετρήσεων διατηρώντας παράλληλα χαμηλό το κόστος. Οι αισθητήρες αυτοί συνδυάζονται είτε με δέκτες παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (GNSS) για να δημιουργήσουν χάρτες των ιδιοτήτων του εδάφους, είτε με αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο όπου η έξοδος του αισθητήρα χρησιμοποιείται αμέσως για εφαρμογή μεταβλητού ρυθμού λιπασμάτων, ασβέστη και κοπριάς.

Ο τελευταίος τύπος χαρτογράφησης είναι αυτός της απόδοσης, ο οποίος χρησιμοποιεί τα δεδομένα που λαμβάνει από τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) για να επεξεργαστεί διάφορες παραμέτρους όπως η απόδοση της καλλιέργειας ή η περιεκτικότητα μιας αγροτικής έκτασης σε υγρασία. Πιο συγκεκριμένα για την χαρτογράφηση της απόδοσης κόκκων ισχύει πως χρησιμοποιούνται τα εξής εξαρτήματα: ένας αισθητήρας ροής κόκκων, ο οποίος μετρά τον όγκο των κόκκων, ένας αισθητήρας υγρασίας κόκκων που παρακολουθεί την μεταβολή της υγρασίας, ένας αισθητήρας ταχύτητας ανύψωσης κόκκων, ο οποίος καταγράφει την ταχύτητα των κόκκων, ώστε να υπολογιστεί στη συνέχεια η μάζα των κόκκων, μια κεραία GNSS που χρησιμοποιείται για την γεωγραφική αναφορά των μετρήσεων των κόκκων, ένας αισθητήρας θέσης κεφαλής που ξεκινά τη μέτρηση κόκκων όταν χαμηλώνει η κεφαλή καθώς και ένας αισθητήρας ταχύτητας μετακίνησης, ο οποίος καταγράφει την απόσταση που καλύπτεται από τη θεριζοαλωνιστική μηχανή για ένα συγκεκριμένο διάστημα καταγραφής.

Γενικότερα υπάρχει μεγάλη ποικιλία αισθητήρων κόκκων, διαφόρων τύπων που είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο, όπως για παράδειγμα ο αισθητήρας ακτινών γάμμα, ο αισθητήρας πρόσκρουσης βάσει του μετρητή τάσης και ο αισθητήρας υπέρυθρων [71].

Η δημιουργία των χαρτών πραγματοποιείται σε δύο βήματα: αρχικά τοπική τρισδιάστατη ανακατασκευή αντικειμένων καλλιέργειας (τοπικοί χάρτες) και στη συνέχεια συναρμολόγηση τρισδιάστατου καθολικού χάρτη της καλλιέργειας. Το πρώτο βήμα της συγκεκριμένης διαδικασίας, δηλαδή η τοπική τρισδιάστατη ανακατασκευή αντικειμένων καλλιέργειας, αφορά τη δημιουργία τοπικών χαρτών και περιλαμβάνει την παραγωγή μεμονωμένων τρισδιάστατων σημείων, τα οποία αντιπροσωπεύουν τα αντικείμενα που διακρίνονται στις εικόνες, όπου βρίσκεται το κέντρο των συντεταγμένων στο εικονικό σημείο όπου λήφθηκε η εικόνα που προβάλλεται στο επίπεδο γείωσης. Το κέντρο των συντεταγμένων είναι σταθερό στην κάμερα και κινείται μαζί της. Στη φάση αυτή επίσης πραγματοποιούνται μετρήσεις για κάθε εικόνα που λαμβάνεται και πιο συγκεκριμένα αφορούν την απόκτηση της εικόνας, την καθολική θέση καθώς και τον προσανατολισμό και επίσης μετασχηματίζονται οι συντεταγμένες των εικόνων. Ο μετασχηματισμός επιτυγχάνεται μέσω ορισμένων μαθηματικών εξισώσεων που πραγματοποιούνται επανειλημμένα για κάθε εικονοστοιχείο της ανόμοιας εικόνας, λαμβάνοντας τρισδιάστατα χαρακτηριστικά σημεία από τα αντικείμενα που παρατηρούνται και καταγράφονται από την κάμερα. Τα τρισδιάστατα αυτά σημεία περιέχουν σημαντικές πληροφορίες θέσης που περιλαμβάνονται σε ένα συνδεδεμένο με κάμερα επίγειο σύστημα συντεταγμένων, το οποίο αποτελεί τον τοπικό χάρτη. Το σύστημα συντεταγμένων ενός τοπικού χάρτη ορίζεται με βάση την επιφάνεια του εδάφους, αλλά κινείται μαζί με την κάμερα ώστε να επιτευχθεί η ανεξάρτητη ανακατασκευή των τοπικών χαρτών και έτσι να απλοποιείται τη συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία καταχώρησης των αντικειμένων σε τοπικούς χάρτες, δημιουργείται ο τρισδιάστατος καθολικός χάρτης, συγκεντρώνοντας όλους τους τοπικούς χάρτες και ανακατασκευάζεται έτσι ένα εικονικό τρισδιάστατο μοντέλο της καλλιέργειας, με τις καθολικές συντεταγμένες να δημιουργούνται ακολουθώντας μια προσέγγιση εφαπτομενικού επιπέδου. Το σύστημα στερεοσκοπικής παρακολούθησης προκειμένου να έχει πρόσβαση σε απαραίτητες πληροφορίες θέσης και προσανατολισμού για κάθε τοπικό χάρτη που θα συγχωνευθεί για να δημιουργηθεί ο καθολικός χάρτης, πρέπει να συλλέξει τη γεωδαισιακή θέση, δηλαδή το γεωγραφικό πλάτος, το μήκος και το υψόμετρο, καθώς επίσης και τον προσανατολισμό της κάμερας, πιο συγκεκριμένα την εκτροπή, την κύλιση και τη γωνία βήματος, για κάθε εικόνα που λαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο. Για να επιτευχθεί η συναρμολόγηση του καθολικού χάρτη, πρέπει να πραγματοποιηθεί αρχικά η επανατοποθέτηση της προέλευσης, η

οποία καθορίζεται στο πραγματικό πεδίο ενδιαφέροντος, και στη συνέχεια η νέα ευθυγράμμιση του προσανατολισμού κάθε τοπικού χάρτη σε ένα μοναδικό καθολικό πλαίσιο συντεταγμένων. Με τις διαδικασίες του επαναπροσανατολισμού και της εκ νέου ευθυγράμμισης, όλα τα τρισδιάστατα σημεία των μεμονωμένων τοπικών χαρτών θα αναπαρασταθούν σε έναν κοινό εικονικό χώρο με τα ίδια σημεία αναφοράς και έτσι θα μπορούν να παρέχουν τις πραγματικές πληροφορίες της τρισδιάστατης καλλιέργειας με ακρίβεια στον καθολικό χάρτη.

Η τεχνολογία του τρισδιάστατου σχεδιασμού επιτρέπει στους αγρότες να καταγράφουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη των καλλιεργειών χωρίς να προκαλούν ζημιές στις αγροτικές εκτάσεις. Οι πληροφορίες αυτές στη συνέχεια χρησιμοποιούνται από τα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων για γεωργικές δραστηριότητες όπως η εφαρμογή λιπασμάτων στα χωράφια και η εκτίμηση χωρικής διακύμανσης στις αποδόσεις [72].

Κεφάλαιο 4 – Σχεδιασμός μελέτης περιπτώσεων

Σε αυτό το κεφάλαιο, περιγράφουμε τη μελέτη περίπτωσης που διεξήχθη. Η μελέτη περίπτωσης αναπτύσσεται και παρουσιάζεται σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που παρέχονται από τους Runeson et al. [73]. Κατά συνέπεια, ακολουθώντας τη γραμμική δομική ανάλυση, αρχικά εξηγούμε αναλυτικά τα ερευνητικά ερωτήματα που προέκυψαν και στη συνέχεια παρουσιάζουμε την επιλεγμένη περίπτωση και τις μονάδες ανάλυσης. Τέλος, λαμβάνουμε υπόψη τις μεθόδους συλλογής και ανάλυσης δεδομένων που εφαρμόζονται σε κάθε ερευνητικό ερώτημα. Η μελέτη στοχεύει να εξετάσει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αγρότες από την υιοθέτηση των έξυπνων γεωργικών τεχνικών, τη διαδικασία ανταλλαγής γνώσεων σχετικά με τα έξυπνα συστήματα του πρωτογενή τομέα, καθώς και τη χρήση του διαδικτύου των πραγμάτων στις διάφορες αγροτικές δραστηριότητες.

4.1 Στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα

Από τον προαναφερθέντα στόχο προκύπτουν τρία ερευνητικά ερωτήματα (research question-RQ):

RQ1: Ποιες είναι οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας στην Ευρώπη;

Μέσα από αυτό το ερευνητικό ερώτημα, προσπαθούμε να βρούμε τα πιο κοινά εμπόδια στην ευρεία χρήση των νέων γεωργικών μεθόδων στην ευρωπαϊκή γεωργική παραγωγική διαδικασία. Επιπλέον, συζητάμε για τα προβλήματα που εμφανίζονται στον πρωτογενή τομέα και πως μπορούν να αντιμετωπιστούν με την εφαρμογή των έξυπνων τεχνολογιών. Επίσης γίνεται αναφορά στους λόγους που έχουν οδηγήσει στον χαμηλό ρυθμό υιοθέτησης της γεωργίας

ακριβείας από τους αγρότες στην Ευρώπη, δηλαδή εάν αυτοί οι λόγοι παρεμπόδισης είναι δικαιολογημένοι ή εάν είναι προϊόντα έλλειψης γνώσης των καλλιεργητών. Το πρώτο ερώτημα χωρίζεται δηλαδή σε τρία υποερωτήματα: η ερώτηση RQ1.1 αφορά τις προκλήσεις κατά την υιοθέτηση των τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας, η ερώτηση RQ1.2 είναι σχετική με τις γεωργικές δραστηριότητες οι οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν με την εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών. Τέλος, η ερώτηση RQ1.3 περιγράφει τους λόγους στους οποίους οφείλεται ο αργός ρυθμός υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας από τους αγρότες.

RQ2: Ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος για να συμπεριληφθούν όλοι οι σχετικοί ενδιαφερόμενοι φορείς στην ανταλλαγή γνώσεων που αφορούν τα έξυπνα συστήματα γεωργίας;

Σε αυτό το ερευνητικό ερώτημα, στοχεύουμε στην άντληση πληροφοριών σχετικά με την ανταλλαγή γνώσεων που αφορούν τη γεωργία. Πιο συγκεκριμένα, τους τρόπους με τους οποίους οι ενδιαφερόμενες ομάδες ατόμων μπορούν να εμπλακούν στην ανταλλαγή γνώσεων, καθώς και τις βελτιώσεις που μπορούν να επιτευχθούν στην αγορά, στην περίπτωση που βελτιωθεί η ανταλλαγή γνώσεων σχετικά με τα έξυπνα συστήματα γεωργίας. Επιπλέον τα μειονεκτήματα της χρήσης μιας πλατφόρμας ανταλλαγής γνώσεων καθώς και οι αδυναμίες που εμφανίζει μια τέτοια διαδικτυακή πλατφόρμα. Το δεύτερο ερώτημα χωρίζεται δηλαδή σε τρία υποερωτήματα: η ερώτηση RQ2.1 αντιπροσωπεύει τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει η ανταλλαγή γνώσεων και πληροφοριών μεταξύ των διάφορων φορέων σχετικά με τον πρωτογενή τομέα, η ερώτηση RQ2.2 συμπεριλαμβάνει τις βελτιώσεις που πραγματοποιούνται στην αγορά με την ανταλλαγή γνώσεων. Η ερώτηση RQ2.3 αφορά τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά την εφαρμογή μιας διαδικτυακής πλατφόρμας για την ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ των ενδιαφερόμενων φορέων.

RQ3: Ποιος είναι ο ρόλος και ο αναμενόμενος αντίκτυπος των συσκευών του διαδικτύου πραγμάτων στην εξέλιξη της υιοθέτησης της ψηφιακής τεχνολογίας;

Με αυτό το ερευνητικό ερώτημα, στοχεύουμε να απαριθμήσουμε όλες τις διαφορετικές δραστηριότητες που μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω της χρήσης έξυπνων συσκευών του διαδικτύου πραγμάτων με σκοπό τη βέλτιστη εκτέλεση τους. Επίσης συζητάμε για το ρόλο της τοπικής προσαρμογής λογισμικού για την καλύτερη υιοθέτηση των ψηφιακών τεχνολογιών. Τέλος, γίνεται αναφορά στις απαιτούμενες δεξιότητες που πρέπει να αναπτύξουν τα άτομα για να υιοθετήσουν με επιτυχία τις ψηφιακές τεχνολογίες και να τις χρησιμοποιήσουν όταν εργάζονται με έξυπνα συστήματα γεωργίας. Το τρίτο ερώτημα χωρίζεται δηλαδή σε τρία υποερωτήματα: η ερώτηση RQ3.1 περιγράφει τις γεωργικές πρακτικές στις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν οι συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων. Στην ερώτηση RQ3.2 συζητήσαμε

για το ρόλος της τοπικής προσαρμογής λογισμικού και η ερώτηση RQ3.3 είναι σχετική με τις απαιτούμενες δεξιότητες για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας.

4.2 Επιλογή περίπτωσης και μονάδες ανάλυσης

Ως μελέτη περίπτωσης για την έρευνά μας, επιλέξαμε να διερευνήσουμε το επίπεδο διείσδυσης των τεχνικών της γεωργίας ακριβείας στην ευρωπαϊκή διαδικασία γεωργικής παραγωγής. Η επιλογή της Ευρώπης ως αντικείμενο μελέτης μας οφείλεται σε δύο λόγους: Ο πρώτος είναι γιατί εδρεύουμε στην Ελλάδα, μια ευρωπαϊκή χώρα, άρα το κύριο ενδιαφέρον μας είναι η έρευνα και η προώθηση των μεθόδων της γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα και την Ευρώπη γενικότερα. Δεύτερον, σε σύγκριση με άλλα μέρη του κόσμου, η Ευρώπη εξακολουθεί να υστερεί όσον αφορά την υιοθέτηση των νέων γεωργικών μεθόδων. Κατά συνέπεια, υπάρχουν περισσότερα περιθώρια για την εξέταση των επιπέδων υιοθέτησης και τη σύγκρισή τους με εκείνα του υπόλοιπου κόσμου. Οι μονάδες ανάλυσης είναι αγροκτήματα κάθε είδους καλλιέργειας, ερευνητικά έργα ή εταιρείες που σχετίζονται με τη γεωργία και εταιρείες προμηθευτές εξοπλισμού και υπηρεσιών γεωργίας ακριβείας. Επιπλέον, ως μονάδες ανάλυσης χρησιμοποιούμε τους συμμετέχοντες του διαδικτυακού σεμιναρίου για το SmartROOT (Smart farming innOvatiOn Training), το οποίο έχουμε παρουσιάσει και στο κεφάλαιο 2.3.2 σχετικά με τα ευρωπαϊκά προγράμματα ενίσχυσης της γεωργίας ακριβείας. Το SmartRoot στοχεύει στη δημιουργία ενός διεθνούς προγράμματος Joint Master Degree (JMD) σε συστήματα μικτής γεωργίας, το οποίο θα μπορεί να λειτουργεί μετά την ολοκλήρωση του έργου, οι μαθητές μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στην προετοιμασία, τη δοκιμή και την αξιολόγηση ενός JMD πριν από την επίσημη κυκλοφορία του, ενισχύει τη διορατικότητα των μαθητών σχετικά με τις παγκόσμιες τάσεις στον τομέα της γεωργίας σε συνδυασμό με τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Επίσης συμβάλλει στην αύξηση της ευαισθητοποίησης των μαθητών και των ενδιαφερόμενων (π.χ. αγροτών), για τις γεωργικές τάσεις που είναι φιλικές προς το περιβάλλον, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Γεφυρώνει τις ανάγκες των ειδικών στη γεωργία και των επιστημόνων των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών και εξοικειώνει τους αγρότες με τις τεχνολογικές εξελίξεις των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών. Αναπτύσσει ανοιχτές πλατφόρμες εκπαίδευσης και διαχείρισης που είναι διαθέσιμες για χρήση από μεμονωμένους αγρότες και επαγγελματίες της γεωργίας. Λειτουργεί ως σκαλοπάτι προς τη νέα πρόκληση για τα ΑΕΙ στην Ευρώπη, όπως περιγράφεται στο πρόγραμμα Erasmus+: να δημιουργήσει ένα δίκτυο στο πλαίσιο των Ευρωπαϊκών Πανεπιστημίων. Οι μονάδες ανάλυσης για την έρευνά μας είναι οι συμμετέχοντες της ερευνητικής ομάδας: καλλιεργητές, μηχανολόγοι μηχανικοί, μηχανικοί λογισμικών που

αφορούν γεωργικά συστήματα, καθηγητές πανεπιστημίων, ειδικούς στην ψηφιακή οικονομία και επικεφαλής του τμήματος επιτυχίας πελατών.

4.3 Συλλογή δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής δεδομένων περιλαμβάνει δυο μεθόδους (έρευνα και μεταγραφή). Μια χαρτογράφηση μεταξύ των ερευνητικών ερωτημάτων και των μεθόδων συλλογής δεδομένων, καθώς και της διάρκειας κάθε δραστηριότητας συλλογής δεδομένων.

Κάθε μέθοδος συλλογής δεδομένων και η εφαρμογή της στη μελέτη μας εξηγούνται λεπτομερώς παρακάτω. Όλα τα όργανα συλλογής δεδομένων βρίσκονται στο κεφάλαιο 5.

- Έρευνα: συντάξαμε μια λίστα ευρωπαϊκών αγροκτημάτων, συνεταιρισμών, ερευνητικών έργων και εταιρειών προμηθευτών. Στη συνέχεια τους εστάλη ένα διαδικτυακό ερωτηματολόγιο που εστιάζει σε πληροφορίες σχετικά με τους αποδέκτες (ηλικία, τομέας, είδος καλλιέργειας), τη χρήση ή μη πρακτικών γεωργίας ακριβείας, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ή που θα χρησιμοποιηθούν (RQ3), τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν κατά την υιοθεσία (RQ1), τις πηγές πληροφοριών που έλαβαν σχετικά με την γεωργία ακριβείας (RQ2) και τους φορείς με τους οποίους συνεργάστηκαν για την υιοθέτηση της τεχνολογίας. Τα RQ που χρησιμοποιούνται περιγράφονται στην Ενότητα 4.1.

- Μεταγραφή: στη συνέχεια, απομαγνητοφωνήσαμε ένα διαδικτυακό σεμινάριο για το SmartROOT (Smart farming innOvatiOn Training), ένα εκπαιδευτικό έργο που έχει σχεδιαστεί για να εισαγάγει και να εκπαιδεύει τους αγρότες στις ψηφιακές τεχνολογίες. Στη συνέχεια απομονώσαμε τις πιο σημαντικές και συχνές φράσεις για να απαριθμήσουμε τις πιο σχετικές πτυχές της συζήτησης.

4.4 Ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την έρευνα, τις συνεντεύξεις και την ανάλυση των τεχνουργημάτων του έργου αναλύθηκαν με συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών μεθόδων. Οι απαντήσεις στις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και στις συνεντεύξεις αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας την ποιοτική ανάλυση περιεχομένου (QCA), η οποία είναι μια ερευνητική μέθοδος για την αντικειμενική ερμηνεία του περιεχομένου των δεδομένων κειμένου μέσω της συστηματικής διαδικασίας ταξινόμησης κωδικοποίησης και αναγνώρισης θεμάτων ή προτύπων. Ακολουθήσαμε μια επαγωγική προσέγγιση, όπου προτείνονται θεωρίες προς το τέλος της ερευνητικής διαδικασίας ως αποτελέσματα παρατηρήσεων. Αρχικά μεταγράψαμε το αρχείο

ήχου από το διαδικτυακό σεμινάριο της ερευνητικής ομάδας SmartRoot και στη συνέχεια το αναλύσαμε μαζί με τις σημειώσεις που κρατήσαμε κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων. Διασφαλίσαμε ότι οι ερωτήσεις και τα θέματα συζήτησης της συνέντευξης μας κάλυψαν σφαιρικά το ζήτημα της γεωργίας ακρίβειας και της υιοθέτησης των τεχνικών της στην Ευρώπη και κατά συνέπεια μας βοηθούν να απαντήσουμε στα RQ1, RQ2 και RQ3. Αυτή η πληροφορία ήταν πολύτιμη αφού μέσα από τις συνεντεύξεις, οι συμμετέχοντες μπορούσαν να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις τους παρέχοντας μεγαλύτερη σαφήνεια και πληρότητα. Τέλος, μέσα από την ανάλυση των αντικειμένων εργασίας ήμασταν σε θέση να έχουν μια πιο ξεκάθαρη άποψη για την τρέχουσα θέση της γεωργίας ακριβείας στην Ευρώπη.

Από την άλλη πλευρά, οι απαντήσεις σε ερωτήσεις κλειστού τύπου αναλύθηκαν ακολουθώντας μεθόδους ποσοτικής ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένης της οπτικοποίησης δεδομένων και της στατιστικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, περιγραφικές στατιστικές, συμπεριλαμβανομένων και των ποσοστών, χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του δείγματος και των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει μια επισκόπηση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων. Στη στήλη «Στοιχείο οργάνου» αναφερόμαστε στις ερωτήσεις που τέθηκαν μέσω των ερωτηματολογίων. Πιο αναλυτικά, ο αριθμός υποδηλώνει τον αριθμό της ερώτησης βάσει του αγγλικού ερωτηματολογίου, ενώ το γράμμα αντιπροσωπεύει την ομάδα ερωτήσεων. Το Α αντιστοιχίζεται στις ερωτήσεις που αφορούν τους αγρότες και ερευνητές που υιοθετούν τεχνικές της γεωργίας ακριβείας, το Β αντιστοιχίζεται στις ερωτήσεις που απάντησαν οι αγρότες και οι ερευνητές που δεν εφαρμόζουν έξυπνες τεχνολογίες και το C αφορά τις ερωτήσεις που απάντησαν όσοι εργάζονται σε κάποια τεχνολογική εταιρία.

Για όλα τα ερευνητικά ερωτήματα (RQ) αναλύσαμε τις ερωτήσεις των συνεντεύξεων, που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του διαδικτυακού σεμιναρίου για το SmartROOT, εφαρμόζοντας την τεχνική ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου (QCA).

Πίνακας 3: Ανάλυση δεδομένων

Ερώτηση	Χρησιμοποιημένα σημεία δεδομένων - Μέθοδος συλλογής	Στοιχείο οργάνου	Μέθοδος ανάλυσης
RQ1.1	Ερωτηματολόγιο Συνέντευξη	Q14A, Q10C	στοιβαγμένη μπάρα QCA

RQ1.2	Ερωτηματολόγιο Συνέντευξη	Q9A, Q12A, Q13A, Q9C	στοιβαγμένη μπάρα QCA
RQ1.3	Ερωτηματολόγιο Συνέντευξη	Q12C	στοιβαγμένη μπάρα QCA
RQ2.1	Ερωτηματολόγιο Συνέντευξη	Q15A	στοιβαγμένη μπάρα QCA
RQ2.2	Συνέντευξη		QCA
RQ2.3	Συνέντευξη		QCA
RQ3.1	Ερωτηματολόγιο Συνέντευξη	Q12B	στοιβαγμένη μπάρα QCA
RQ3.2	Συνέντευξη		QCA
RQ3.3	Συνέντευξη		QCA

Κεφάλαιο 5 - Παρουσίαση ερωτηματολογίου και ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το ερωτηματολόγιο το οποίο εστάλη σε αγρότες, ερευνητές και υπαλλήλους τεχνολογικών εταιριών, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στην έρευνα, ενώ παράλληλα συνοδεύονται με τη στατιστική τους ανάλυση σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες απαντήσεις που λάβαμε από τις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν στους συμμετέχοντες του SmartRoot. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα και τις συνεντεύξεις.

5.1 Ερωτηματολόγιο

Για τη διατύπωση του ερωτηματολογίου πραγματοποιήθηκε διαδικτυακή έρευνα κατά την οποία συγκεντρώθηκαν σχετικά ερωτηματολόγια από έρευνες που έγιναν στο παρελθόν σε άλλες χώρες. Για την συγγραφή του παρόντος ερωτηματολογίου χρησιμοποιήθηκαν οι ερωτήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στα αντίστοιχα ερωτηματολόγια προηγούμενων διεθνών ερευνών, καθώς και οι ερωτήσεις που θεωρούνται μείζονος σημασίας για την έκβαση σημαντικών συμπερασμάτων σχετικά με την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας, αλλά και προτερημάτων και μειονεκτημάτων που εμφανίζονται κατά την εφαρμογή της.

Τα άρθρα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή του παρόντος ερωτηματολογίου είναι τα εξής:

- a. V. Das Jithin, S. Sharma, A. Kaushik, Views of Irish Farmers on Smart Farming Technologies: An Observational Study [74]
- b. D. Pivoto, P. D. Waquil, E. Talamini, C. P. S. Finocchio, V. F. D. Corte, G. V. Mores, Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil [30]
- c. A. T. Balafoutis, F. K. V. Evert, S. Fountas, Smart Farming Technology Trends: Economic and Environmental Effects, Labor Impact, and Adoption Readiness [37]
- d. D. Pivotoa, B. Barhamb, P. D. Waquilc, C. R. Foguesattoa, V. F. D. Corted, D. Zhange, E. Talamini, Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers [75]
- e. V. Moysiadis, P. Sarigiannidis, V. Vitsas, A. Khelifi, Smart Farming in Europe [76]
- f. C. B. Silva, M. A. F. Dias de Moraes, J. P. Molin, Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil [77]
- g. J. E. Relf-Eckstein, A. T. Ballantyne, P. W. B. Phillips, Farming Reimagined: A case study of autonomous farm equipment and creating an innovation opportunity space for broadacre smart farming [78]
- h. S. Wolfert, L. G. C. Verdouw, M. J. Bogaardt, Big Data in Smart Farming – A review [79]

*Στις παρενθέσεις αναγράφονται οι αντίστοιχες ερωτήσεις για την περίπτωση των ατόμων που δεν υιοθετούν τεχνολογίες της έξυπνης γεωργίας.

Προσωπικές Πληροφορίες:

1. Σε ποια ηλικιακή ομάδα ανήκετε; [a], [d]
 - ✓ 18-24
 - ✓ 25-44
 - ✓ 45-64
 - ✓ Άνω των 65

2. Ποιο είναι το εκπαιδευτικό σας επίπεδο; [a], [d]
 - ✓ Δευτεροβάθμια εκπαίδευση
 - ✓ Τριτοβάθμια εκπαίδευση
 - ✓ Απόφοιτος σχολής

3. Ποια είναι η δουλειά σας;
- ✓ Αγρότης
 - ✓ Ερευνητής
 - ✓ Υπάλληλος σε τεχνολογική εταιρία

Χαρακτηριστικά της εταιρίας:

4. Η εταιρία: [f]
- ✓ ανήκει σε εταιρικό όμιλο
 - ✓ είναι ανεξάρτητη εταιρία
 - ✓ διοικείται από επαγγελματίες καταρτισμένους σε διοίκηση επιχειρήσεων
 - ✓ η διοίκηση γίνεται από την οικογένεια
5. Ποια είναι η συνολική έκταση (εκτάρια) όπου οι πραγματοποιούνται γεωργικές δραστηριότητες; [d], [f]
- ✓ 0-5
 - ✓ 6-10
 - ✓ 11-50
 - ✓ 51-100
 - ✓ 101-200
 - ✓ 201-500
 - ✓ >500
6. Με τι είδους καλλιέργεια σχετίζεται η εταιρία σας; [a]
7. Σε ποια χώρα βρίσκεται η εταιρία σας; (Μόνο στο αγγλικό ερωτηματολόγιο)

Υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας:

8. Η εταιρία σας υιοθετεί τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας;
- ✓ Ναι
 - ✓ Όχι

Υιοθέτηση Τεχνολογιών Έξυπνης Γεωργίας

9. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας χρησιμοποιείτε στην εταιρία σας για τη συγκέντρωση πληροφοριών; [a], [d], [f]
(Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας θα θέλατε να χρησιμοποιείτε στο μέλλον, στην εταιρία σας για τη συγκέντρωση πληροφοριών;)
- ✓ Μη επανδρωμένο αερόχημα/ δορυφορικά συστήματα [a], [b], [c], [e], [f]
 - ✓ Μη επανδρωμένο όχημα/ ρομποτική [a], [b], [c], [e]
 - ✓ Ασύρματο Δίκτυο αισθητήρων [a], [b], [e]

- ✓ Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) [a], [b], [c], [d], [e], [f]
 - ✓ Δεν χρησιμοποιούμε απομακρυσμένη παρακολούθηση
10. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας χρησιμοποιείτε στην εταιρία σας για την επεξεργασία πληροφοριών; [a], [d], [f]
(Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας θα θέλατε να χρησιμοποιείτε στο μέλλον, στην εταιρία σας για την επεξεργασία πληροφοριών;)
- ✓ Σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων [a], [b], [c], [d]
 - ✓ Μηχανική μάθηση/ μεγάλα δεδομένα [a], [b], [c], [d], [e]
 - ✓ Υπολογισμός δείκτη βλάστησης
 - ✓ Επεξεργασία εικόνας/ τρισδιάστατες (3D) εικόνες/ χαρτογράφηση [a], [b], [c], [e], [f]
 - ✓ Άλλο
11. Έχετε σχέδια να επεκτείνετε, να διατηρήσετε ή να μειώσετε τη χρήση της έξυπνης γεωργίας στα επόμενα 5 χρόνια; [a], [f]
(Έχετε σχέδια να υιοθετήσετε την έξυπνη γεωργία στα επόμενα χρόνια;)
- ✓ Επέκταση
 - ✓ Διατήρηση
 - ✓ Μείωση
12. Προσδιορίστε τους σκοπούς για τους οποίους η εταιρεία σας χρησιμοποιεί έξυπνη γεωργία στις καλλιέργειες; [a]
(Προσδιορίστε τους σκοπούς για τους οποίους η εταιρία σας θα ήθελε να χρησιμοποιήσει την έξυπνη γεωργία στις καλλιέργειες;)
- ✓ Διαχείριση καλλιέργειας [a], [c], [e]
 - ✓ Τεχνολογίες μεταβλητού ρυθμού εφαρμογής (φυτοφάρμακα, λίπασμα, σπορά, άροση) [c], [d], [e], [f]
 - ✓ Αυτόματος ψεκασμός [b], [c], [d], [e]
 - ✓ Ανίχνευση ασθενειών [b], [c], [e], [f]
 - ✓ Συγκομιδή [b], [e], [f]
 - ✓ Κλάδεμα [e]
 - ✓ Διαχείριση νερού [c], [e]
 - ✓ Διαχείριση ζιζανίων [c], [e], [f]
 - ✓ Πρόβλεψη απόδοσης [c], [e], [f]
13. Ποια είναι τα οφέλη της χρήσης της έξυπνης γεωργίας για την επιχείρησή; [f]
(Ποια από τα οφέλη χρήσης της έξυπνης γεωργίας μπορούν να πείσουν την επιχείρησή σας να χρησιμοποιήσει τεχνικές έξυπνης γεωργίας στο μέλλον;)
- ✓ Αύξηση παραγωγής [a], [c], [d], [e], [f]
 - ✓ Αύξηση ποιότητας προϊόντος [a], [d], [e], [f]
 - ✓ Βελτίωση διαχείρισης (Μείωση χρόνου εργασίας και δουλειάς) [a], [c], [d], [e]

- ✓ Μείωση κόστους παραγωγής (Μείωση χρήσης λιπασμάτων/ φυτοφαρμάκων/ ενέργειας, σπατάλης καλλιέργειας/ νερού και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων) [a], [b], [c], [d], [e]
14. Ποια είναι τα εμπόδια που αντιμετωπίζει η αγροτική επιχείρηση στη χρήση της έξυπνης γεωργίας; [a], [b], [f]
(Ποια είναι τα εμπόδια που αναστέλλουν την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας;)
- ✓ Υψηλό κόστος [a], [c], [d], [f]
 - ✓ Έλλειψη δεξιοτήτων/ εκπαίδευσης [a], [b], [c], [d], [f]
 - ✓ Δυσκολία εφαρμογής στις μικρές καλλιέργειες [a], [c]
 - ✓ Αλλαγές στην οργάνωση και στον εξοπλισμό της καλλιέργειας/ πολύπλοκα συστήματα [b], [c], [d]
 - ✓ Κακή τηλεπικοινωνιακή υποδομή σε αγροτικά κτήματα [b], [d],
 - ✓ Ασφάλεια και ιδιωτικότητα των αποθηκευμένων δεδομένων [a], [b], [c], [d], [e]
 - ✓ Ρίσκο υποβάθμισης του εδάφους [c], [d]
15. Ποιες πηγές πληροφοριών χρησιμοποιείτε για να αποκτήσετε γνώσεις για την έξυπνη γεωργία; [a], [f]
(Ποιες πηγές πληροφοριών θα χρησιμοποιούσατε για να αποκτήσετε γνώσεις για την έξυπνη γεωργία για να την προτείνετε στην επιχείρησή σας;)
- ✓ Διαφημίσεις εμπορικών εταιρειών [d], [f]
 - ✓ Ερευνητικά προγράμματα/ πανεπιστήμια [a], [b], [c], [d], [e], [f]
 - ✓ Αγροτικοί Σύλλογοι [d], [f]
 - ✓ Διαδίκτυο (portal γεωργικών ειδήσεων, blogs, μέσα κοινωνικής δικτύωσης κ.λπ.) [a]
 - ✓ Εκθέσεις [f]
 - ✓ Κυβερνητικά προγράμματα που ενθαρρύνουν την έξυπνη γεωργία [a]
16. Με ποιους φορείς συνεργάζεστε για την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας;
(Με ποιους φορείς θα συνεργαζόσασταν για την απόκτηση της τεχνογνωσίας για να εισάγετε τεχνικές έξυπνης γεωργίας στην επιχείρησή σας;)
- ✓ Ερευνητικά προγράμματα/ πανεπιστήμια [a], [b], [c], [d], [e], [f]
 - ✓ Εταιρείες αγροτεχνολογίας [a], [b], [f]
 - ✓ Χρηματοδοτούμενα από την ΕΕ/κυβέρνηση προγράμματα [a], [c]
 - ✓ Συναντήσεις του συλλόγου αγροτών [a], [d]
 - ✓ Εκπαιδευτικά προγράμματα [a]
 - ✓ Οργανισμοί [b]

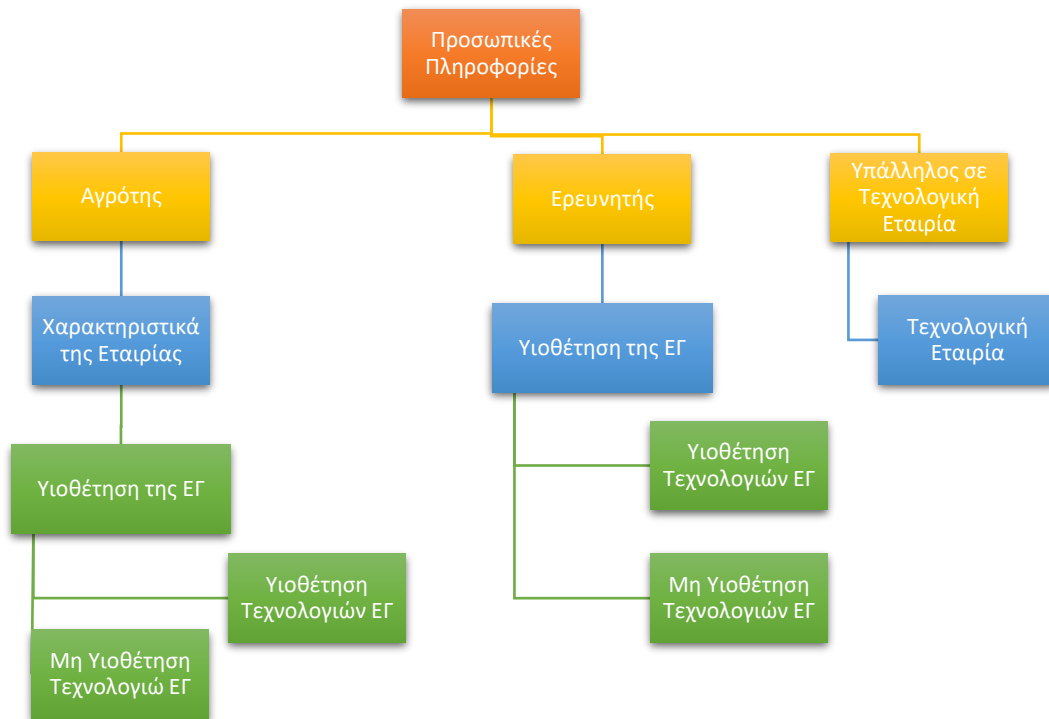
Τεχνολογική Εταιρία

4. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας συγκέντρωσης πληροφοριών αναπτύσσετε στην εταιρία σας;
Απαντήσεις ερώτησης 9

5. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας επεξεργασίας πληροφοριών αναπτύσσετε στην εταιρία σας;
Απαντήσεις ερώτησης 10
6. Οι τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας που αναπτύσσει η εταιρεία σας μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς σημαντικές αλλαγές στα υπάρχοντα συστήματα; [c]
✓ Ναι
✓ Όχι
7. Ποιο συνήθως είναι το μέγεθος της καλλιεργήσιμης έκτασης των πελατών σας;
Απαντήσεις ερώτησης 5
8. Ποιοι είναι οι τομείς προτίμησης στους οποίους θα αναπτυχθούν περισσότερες εφαρμογές που βασίζονται στην έξυπνη γεωργία στα επόμενα χρόνια; [a]
Απαντήσεις ερώτησης 12
9. Ποια είναι τα οφέλη για τους αγροτικούς παραγωγούς από την υιοθέτηση εργαλείων και τεχνολογιών έξυπνης γεωργίας;
Απαντήσεις ερώτησης 13
10. Ποια είναι τα εμπόδια για τους αγροτικούς παραγωγούς που τους αποτρέπει να υιοθετήσουν εργαλεία και τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας;
Απαντήσεις ερώτησης 14
11. Ποια είναι τα εμπόδια στην ανάπτυξη και την εμπορευματοποίηση των τεχνολογιών έξυπνης γεωργίας; [b], [g]
✓ Έλλειψη ολοκλήρωσης μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων εντός των αλυσίδων εφοδιασμού [b]
✓ Αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων [g]
✓ Απόρρητο και ασφάλεια των δεδομένων [h]
✓ Ασυνεπή τελικά αποτελέσματα παραγωγής [d]
✓ Πληθώρα κανονισμών για τις τεχνολογίες στις χώρες ανά τον κόσμο [e]
✓ Έλλειψη διάδοσης σχετικά με την έξυπνη γεωργία
12. Πιστεύετε ότι υπάρχει έλλειψη προγράμματος ευαισθητοποίησης μεταξύ των αγροτών όσον αφορά την υιοθέτηση οποιασδήποτε τεχνολογίας; Εάν ναι, πώς μπορεί να βελτιωθεί στο παρόν σύστημα; [a]
Απαντήσεις ερώτησης 15

13. Με ποιους φορείς συνεργάζεστε για την προώθηση της Έξυπνης Γεωργίας;
Απαντήσεις ερώτησης 16

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η σειρά με την οποία εμφανίζονται οι ερωτήσεις της έρευνας στους συμμετέχοντες, ανάλογα με το επάγγελμα που δηλώνουν και αν υιοθετούν τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας ή όχι.



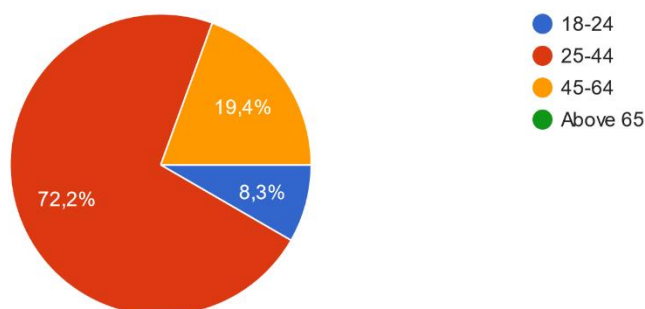
Εικόνα 10: Διάγραμμα ερωτήσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις ερωτήσεις, τόσο από το αγγλικό ερωτηματολόγιο όσο και από το ελληνικό, ενώ παράλληλα συνοδεύονται με σχόλια και συμπεράσματα που προκύπτουν από τη στατιστική ανάλυση τους καθώς και σχετικά σχόλια που προέρχονται από τη συζήτηση στρογγυλής τραπέζης που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του διαδικτυακού σεμιναρίου της ερευνητικής ομάδας SmartRoot, όπου συμμετείχαν ειδικοί της γεωργίας ακριβείας. Στο παρόν ερωτηματολόγιο τα άτομα που απάντησαν στο ελληνικό ερωτηματολόγιο είναι 32 ενώ στο αγγλικό είναι 36.

5.2 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων ερωτηματολογίων

1. What is your age group?

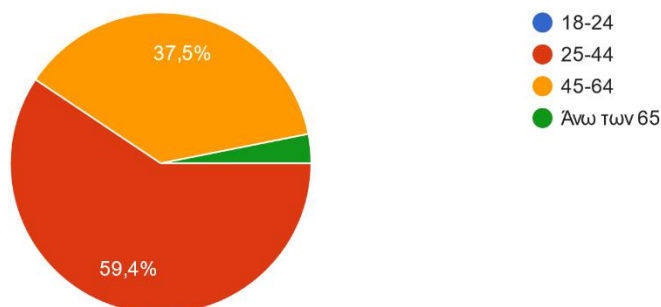
36 απαντήσεις



Εικόνα 11: Ηλικιακή ομάδα συμμετεχόντων (αγγλικό ερωτημ.)

1. Σε ποια ηλικιακή ομάδα ανήκετε;

32 απαντήσεις

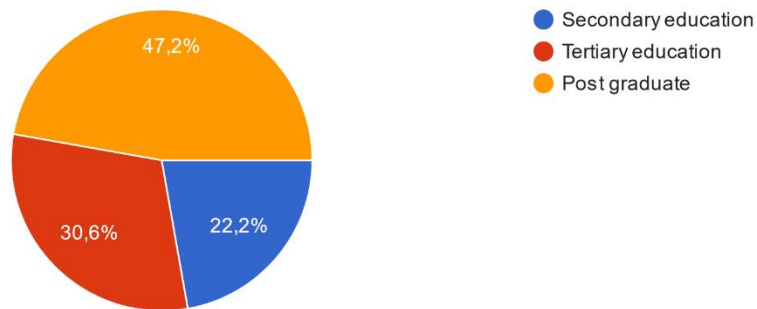


Εικόνα 12: Ηλικιακή ομάδα συμμετεχόντων (ελληνικό ερωτημ.)

Στην ερώτηση σχετικά με την ηλικιακή ομάδα των ατόμων που συμμετείχαν στην έρευνα, οι περισσότεροι απάντησαν μεταξύ 25 και 44 ετών, κάτι το οποίο είναι πολύ θετικό καθώς οι νεότεροι άνθρωποι τείνουν να είναι πιο εξοικειωμένοι με την τεχνολογία αλλά κυρίως με τις γρήγορες εξελίξεις της, κι έτσι η γεωργία ακριβείας είναι πιο εύκολο να ενταχθεί σε μια γεωργική επιχείρηση. Παρατηρούμε πως στην Ελλάδα ένα πολύ μικρό ποσοστό είναι άνω των 65 ετών ενώ στην Ευρώπη δεν υπήρξε μια τέτοια απάντηση, γεγονός που διευκολύνει κι άλλο την ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογιών στον πρωτογενή τομέα, διότι οι αγρότες μεγαλύτερης ηλικίας δεν είναι διατεθειμένοι να αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο σκέφτονται και ενεργούν, ιδίως σε θέματα τεχνολογίας. Επίσης παρατηρούμε πως στην Ελλάδα δεν υπάρχουν απαντήσεις για την ηλικιακή ομάδα 18-24.

2. What is your education level?

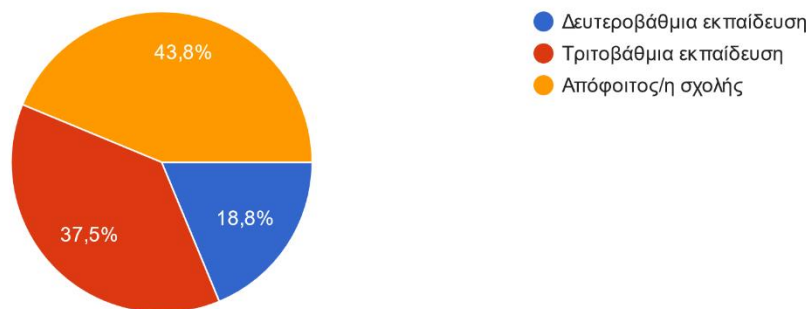
36 απαντήσεις



Εικόνα 13: Εκπαιδευτικό επίπεδο συμμετεχόντων (αγγλικό ερωτημ.)

2. Ποιο είναι το εκπαιδευτικό σας επίπεδο;

32 απαντήσεις



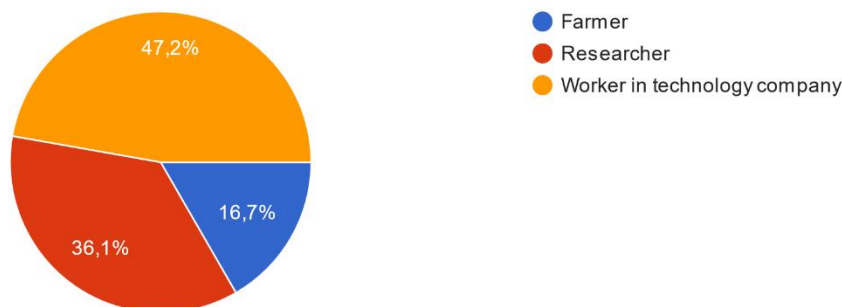
Εικόνα 14: Εκπαιδευτικό επίπεδο συμμετεχόντων (ελληνικό ερωτημ.)

Στην ερώτηση σχετικά με το εκπαιδευτικό επίπεδο των ερωτηθέντων, σχεδόν οι μισοί απάντησαν πως είναι απόφοιτοι κάποιας σχολής, γεγονός που διευκολύνει την υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας, η οποία απαιτεί τεχνολογικές γνώσεις για την πλήρη εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που προσφέρει σε σχέση με τις παραδοσιακές πρακτικές. Παράλληλα ένα ποσοστό κοντά στο 20% έχει ολοκληρώσει μόνο τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, που δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο καθώς η συγκεκριμένη κατηγορία ανθρώπων θα χρειαστεί να παρακολουθήσει σεμινάρια ή εκπαιδευτικά προγράμματα προκειμένου να καλύψει τα κενά γνώσεων και έτσι να μπορεί να χρησιμοποιήσει τις τεχνικές της γεωργίας ακριβείας. Το θετικό της συγκεκριμένης ερώτησης είναι πως το μεγαλύτερο μέρος των συμμετεχόντων βρίσκεται τουλάχιστον στο επίπεδο της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, θέτοντας με τον τρόπο αυτό τις κατάλληλες γνωσιακές βάσεις για την αποδοτική ενσωμάτωση των έξυπνων τεχνολογιών στον πρωτογενή τομέα. Με τη σύγχρονη κοινωνία να έχει υψηλό επίπεδο μόρφωσης και την

πανεπιστημιακή εκπαίδευση να αποτελεί σημαντικό εφόδιο για τους νέους για την επαγγελματική τους αποκατάσταση, η γεωργία ακριβείας προβλέπεται να αναπτυχθεί και να υιοθετηθεί με πιο γρήγορους ρυθμούς σε σχέση με το παρελθόν.

3. What is your job?

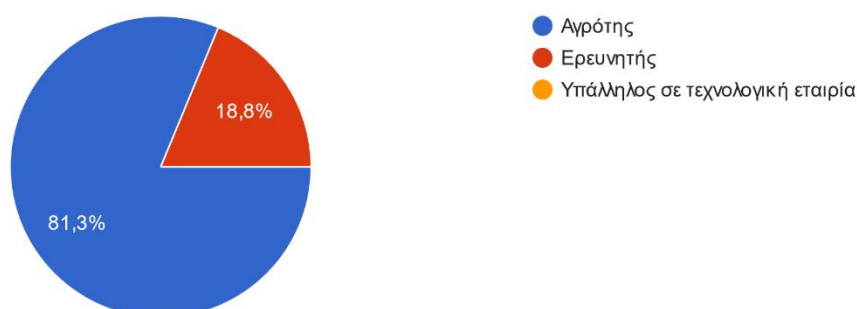
36 απαντήσεις



Εικόνα 15: Δουλειά συμμετεχόντων (αγγλικό ερωτημ.)

3. Ποια είναι η δουλειά σας;

32 απαντήσεις

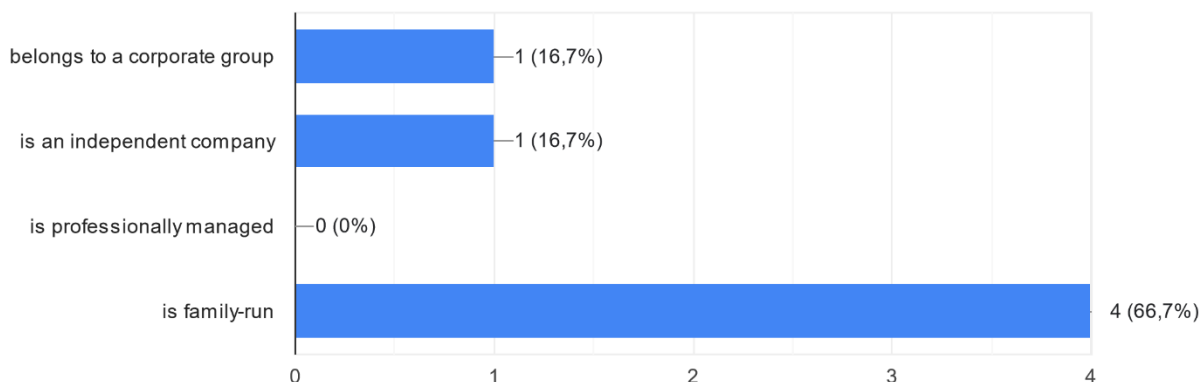


Εικόνα 16: Δουλειά συμμετεχόντων (ελληνικό ερωτημ.)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα, δεν συμμετείχε κανένας που να εργάζεται ως υπάλληλος σε τεχνολογική εταιρία, γεγονός που αποτελεί ένδειξη των τεχνολογικών εταιριών στη χώρα, και έτσι η ενασχόληση με την γεωργία είναι ως επί τον πλείστον άμεση, δηλαδή ως αγρότες ενώ η έμμεση ενασχόληση που περιλαμβάνει έρευνες και τεχνολογικές εταιρίες στον τομέα της γεωργίας είναι πολύ μικρότερη. Το ίδιο όμως δεν ισχύει και στην υπόλοιπη Ευρώπη όπου σχεδόν οι μισοί συμμετέχοντες στην έρευνα, είναι υπάλληλοι σε κάποια τεχνολογική εταιρία και αποτελεί θετικό στοιχείο για την εξέλιξη των τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας.

4. The company

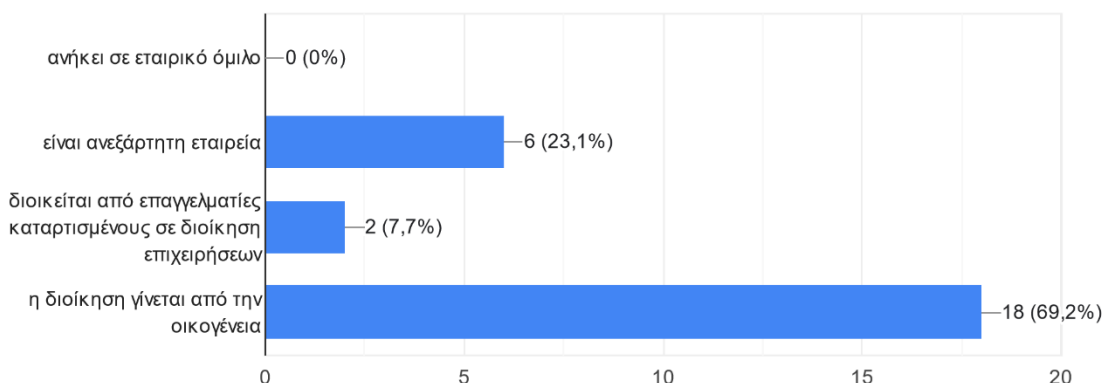
6 απαντήσεις



Εικόνα 17: Πληροφορίες σχετικά με την εταιρία (αγγλικό ερωτημ.)

4. Η εταιρία

26 απαντήσεις

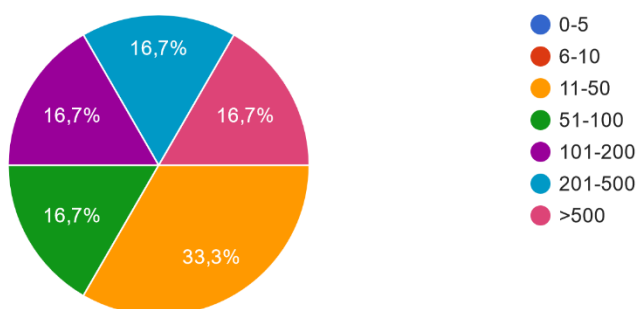


Εικόνα 18: Πληροφορίες σχετικά με την εταιρία (ελληνικό ερωτημ.)

Σχετικά με τον τύπο της εταιρίας στην οποία εργάζονται οι ερωτήσαντες, ένα μεγάλο ποσοστό λειτουργεί υπό την διοίκηση της οικογένειας, ενώ ελάχιστοι είναι αυτοί που προσλαμβάνουν για τη συγκεκριμένη δουλειά κάποιον ειδικό. Οι οικογενειακές επιχειρήσεις είναι σύνηθες φαινόμενο, ειδικά στην Ελλάδα, κάτι το οποίο μπορεί να λειτουργήσει θετικά στην περίπτωση που η νέα γενιά μέσω της κατάλληλης εκπαιδευτικής κατάρτισης, είναι διατεθειμένη να χρησιμοποιήσει τις ευκαιρίες που προσφέρει η γεωργία ακριβείας για την εξέλιξη των καλλιεργειών τους.

5. What is the total area where the agricultural practices take place (hectare)?

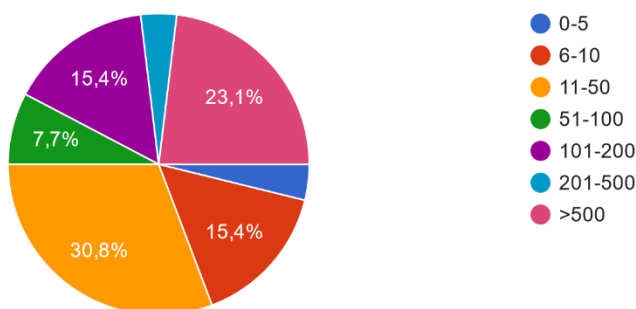
6 απαντήσεις



Εικόνα 19: Έκταση καλλιεργειών (αγγλικό ερωτημ.)

5. Ποια είναι η συνολική έκταση όπου πραγματοποιούνται οι γεωργικές δραστηριότητες;

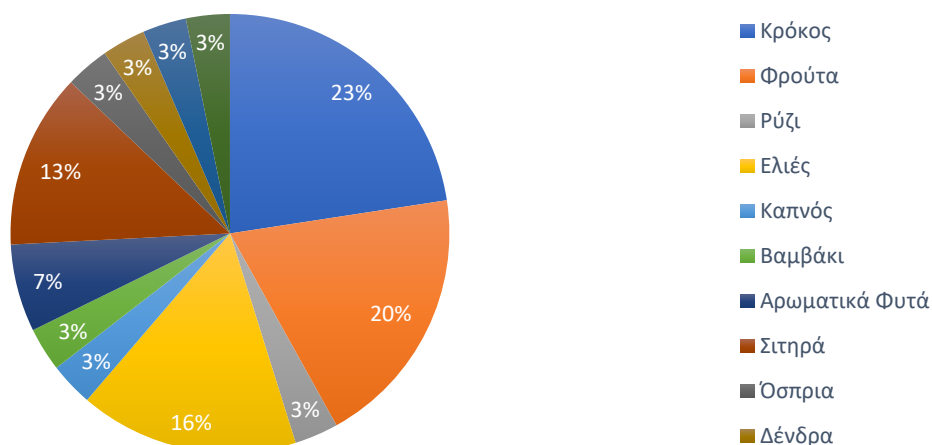
26 απαντήσεις



Εικόνα 20: Έκταση καλλιεργειών (ελληνικό ερωτημ.)

Παρατηρούμε πως η πλειοψηφία των συμμετεχόντων απάντησε πως η επιχείρησή τους περιλαμβάνει καλλιέργειες που η έκτασή τους κυμαίνεται μεταξύ των 11 και των 50 εκταρίων αλλά και ένα ικανοποιητικό ποσοστό απάντησε πως οι γεωργικές του εκτάσεις ξεπερνούν τα 500 εκτάρια. Όσο μεγαλύτερες είναι οι καλλιέργειες τόσο περισσότερες είναι οι απαιτήσεις τους, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανότητες να υιοθετηθούν οι τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας είναι θετικά στο συγκεκριμένο ζήτημα, το οποίο αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την λήψη αποφάσεων από την πλευρά των αγροτών για την υιοθέτηση των έξυπνων τεχνολογιών.

6. Με τι είδους καλλιέργεια σχετίζεται η εταιρία σας;

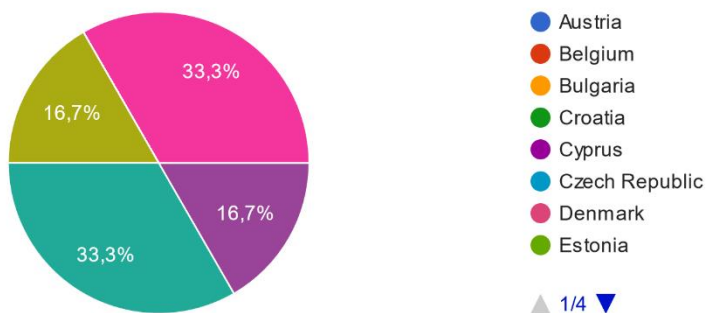


Εικόνα 21: Είδος καλλιεργειών (ελληνικό ερωτημ.)

Στο αγγλικό ερωτηματολόγιο οι συμμετέχοντες απάντησαν τα εξής: σιτάρι (2), βότανα (1), κρασί (1) και λουλούδια (1). Στην Ελλάδα οι περισσότερες απαντήσεις αφορούν τις καλλιέργειες κρόκου και φρούτων.

7. In which country the company is based?

6 απαντήσεις

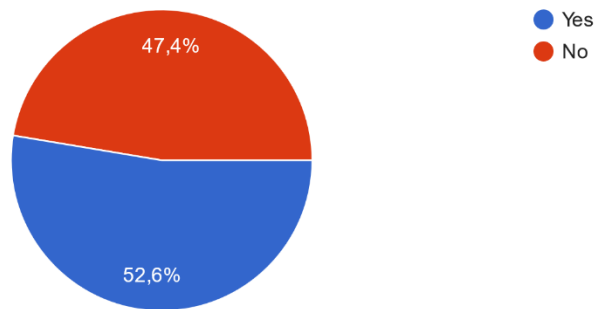


Εικόνα 22: Χώρα-έδρα εταιριών (αγγλικό ερωτημ.)

Στο αγγλικό ερωτηματολόγιο στην ερώτηση για την χώρα όπου εδρεύει η εταιρία/ επιχείρηση ήταν οι εξής απαντήσεις: Ελλάδα (2), Ρουμανία (2), Γερμανία (1) και Ουγγαρία (1).

8. Does your company uses Smart Farming technologies?

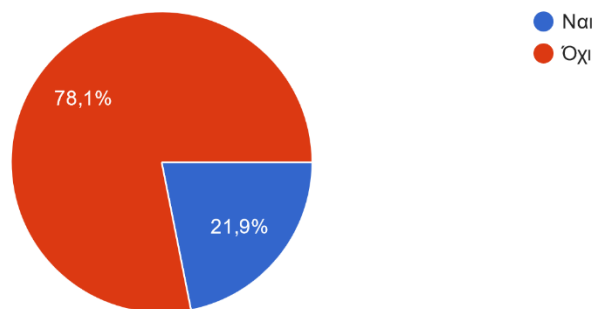
19 απαντήσεις



Εικόνα 23: Υιοθέτηση ή μη της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)

7. Η εταιρεία σας υιοθετεί τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας;

32 απαντήσεις

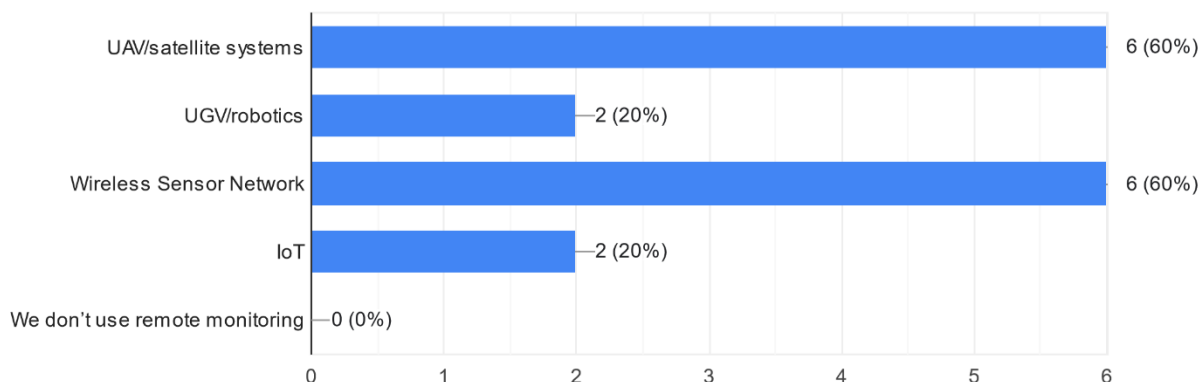


Εικόνα 24: Υιοθέτηση ή μη της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)

Στα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές πως η πορεία της γεωργίας ακριβείας στην Ευρώπη είναι ανοδική καθώς σχεδόν ένας στους δύο αγρότες υιοθετούν τις τεχνικές της. Στην Ελλάδα όμως το μεγαλύτερο ποσοστό δεν χρησιμοποιεί ακόμα τις συγκεκριμένες τεχνολογίες.

9. Which Smart Farming technologies does your company use to gather information?

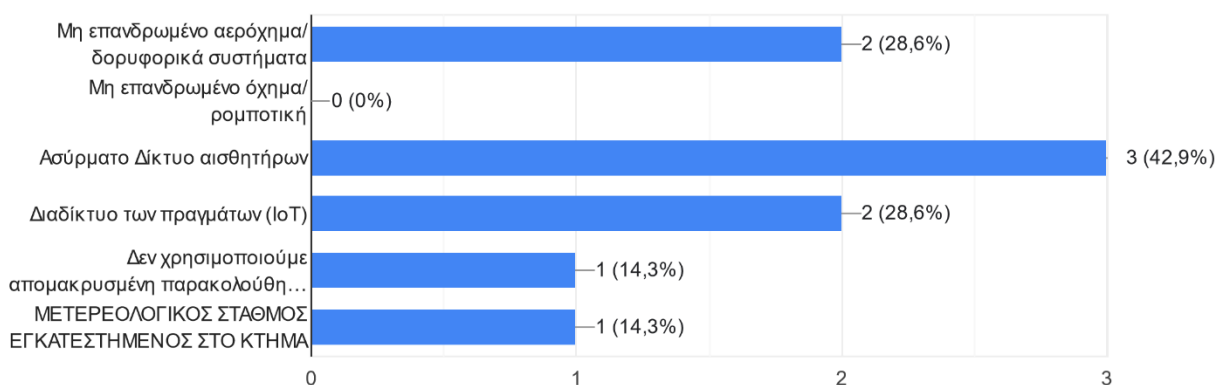
10 απαντήσεις



Εικόνα 25: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών (αγγλικό ερωτημ.)

8. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας χρησιμοποιείτε στην εταιρία σας για τη συγκέντρωση πληροφοριών;

7 απαντήσεις



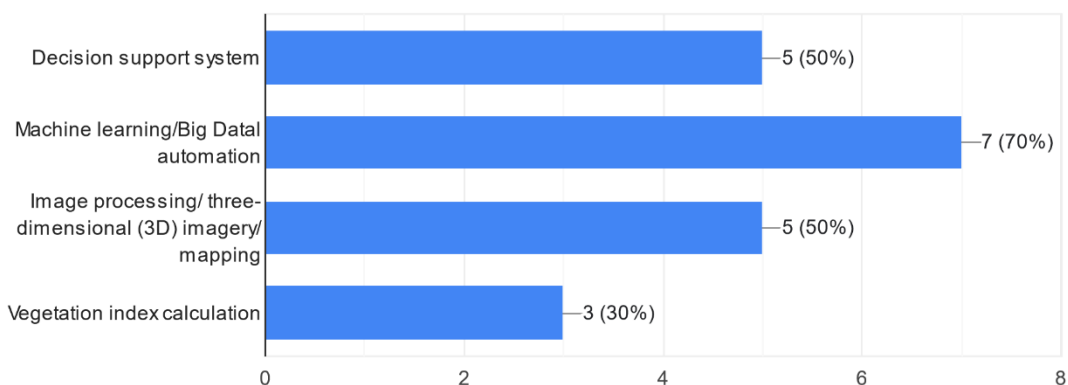
Εικόνα 26: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών (ελληνικό ερωτημ.)

Στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την συγκέντρωση πληροφοριών από μια καλλιέργεια, οι περισσότεροι συμμετέχοντες απάντησαν πως εφαρμόζουν τις μεθόδους του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και αρκετοί απάντησαν τα μη επανδρωμένα αεροχήματα και δορυφορικά συστήματα, κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται στην αύξηση της χρήσης τους σε διάφορες δραστηριότητες εκτός του πρωτογενούς τομέα, με αποτέλεσμα να είναι πιο οικία η χρήση τους από τους αγρότες. Η πρόσβαση σε πληθώρα πληροφοριών είναι εμφανή και στα λεγόμενα ενός συμμετέχοντα της συζήτησης της smartRoot, ο οποίος είναι μηχανολόγος μηχανικός και καλλιεργητής, «Οι ταυτοποιήσεις σε καλλιέργειες είναι ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να σχεδιαστεί ένας χάρτης από drones χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που λαμβάνονται

από τους αισθητήρες τους... Έχουμε την καλύτερη εξάπλωση με ειδικά drones. Η διάδοση με ειδικά drones μπορεί να έχει προφανώς καλύτερα αποτελέσματα. Έχουμε αποτελέσματα από απόσταση με μεγάλη ακρίβεια» (RQ1.2). Το χαμηλό ποσοστό του δικτύου των πραγμάτων ίσως να οφείλεται στην πολυπλοκότητα του, που είναι πιο υψηλή συγκριτικά με τις υπόλοιπες τεχνολογίες.

10. Which Smart Farming technologies does your company use to process information?

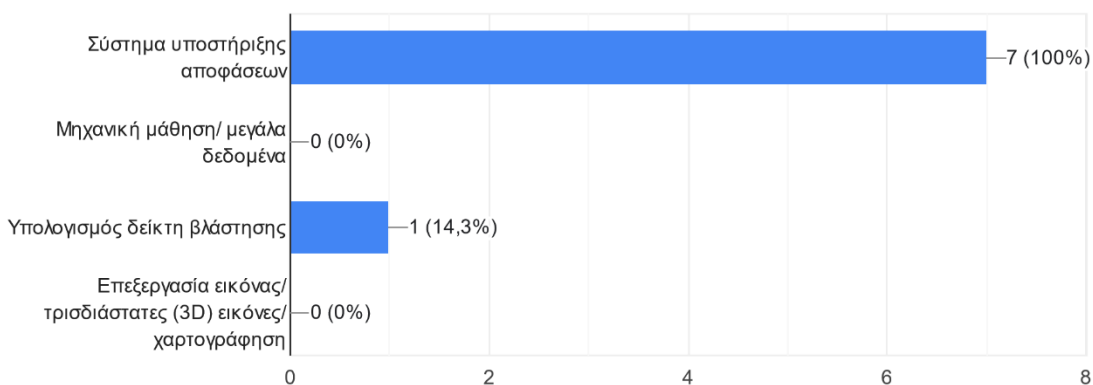
10 απαντήσεις



Εικόνα 27: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών (αγγλικό ερωτημ.)

9. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας χρησιμοποιείτε στην εταιρία σας για την επεξεργασία πληροφοριών;

7 απαντήσεις



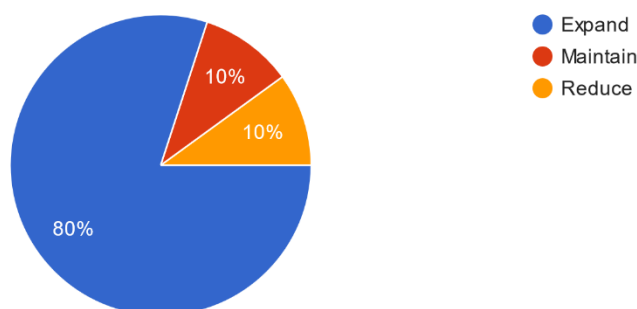
Εικόνα 28: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών (ελληνικό ερωτημ.)

Για την επεξεργασία των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τις καλλιέργειες, η επικρατέστερη απάντηση είναι τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, που μάλιστα στην περίπτωση του ελληνικού ερωτηματολογίου όλοι οι συμμετέχοντες έδωσαν τη συγκεκριμένη

απάντηση. Η μηχανική μάθηση και η επεξεργασία εικόνων απαντήθηκαν επίσης από αρκετούς αγρότες. Βλέπουμε πως προτιμώνται οι αυτοματισμοί στη διαχείριση των πολλών δεδομένων και για τη λήψη αποφάσεων, ενώ η εκμετάλλευση των εικόνων και των πληροφοριών που μπορούν να αντληθούν από αυτές παραμένει σε χαμηλό ποσοστό υιοθέτησης από τους αγρότες.

11. Do you have plans to expand, maintain or reduce Smart Farming use over the next 5 years?

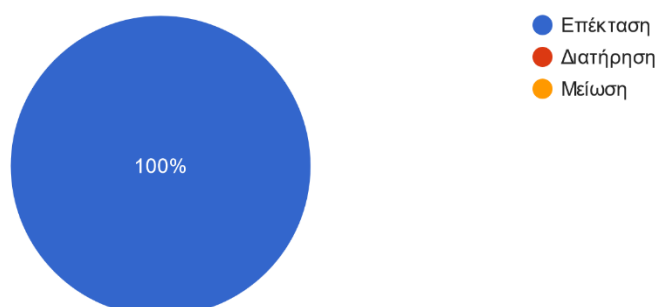
10 απαντήσεις



Εικόνα 29: Μελλοντικά σχέδια σχετικά με την έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.)

10. Έχετε σχέδια να επεκτείνετε, να διατηρήσετε ή να μειώσετε τη χρήση της έξυπνης γεωργίας στα επόμενα 5 χρόνια;

7 απαντήσεις



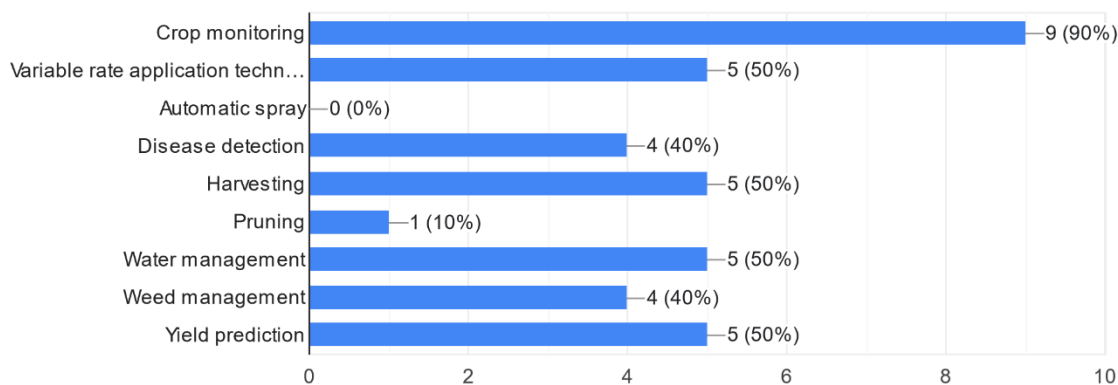
Εικόνα 30: Μελλοντικά σχέδια σχετικά με την έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως σχεδόν όλοι οι αγρότες έχουν σκοπό να επεκτείνουν τη χρήση των τεχνολογιών της έξυπνης γεωργίας, γεγονός που δημιουργεί αισιοδοξία για το μέλλον των έξυπνων τεχνολογιών στον πρωτογενή τομέα και την εξέλιξη του τελευταίου με υψηλούς ρυθμούς. Μέσω της εφαρμογής των συγκεκριμένων τεχνικών οι αγρότες διακρίνουν τις θετικές επιπτώσεις που επιφέρουν στις καλλιέργειες τους και συμπεραίνουν πως είναι επιτακτική ανάγκη, η επέκταση της χρήσης αυτών των τεχνικών προκειμένου να αυξήσουν την απόδοση των επιχειρήσεων τους. Ελάχιστοι είναι οι συμμετέχοντες που απάντησαν πως θα διατηρήσουν ή θα μειώσουν την εφαρμογή των έξυπνων τεχνολογιών στα επόμενα 5 χρόνια,

κάτι το οποίο προέρχεται από τα μικρά μειονεκτήματα που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη χρήση τους ή στο γεγονός πως θεωρούν πως η υψηλή τιμή των συγκεκριμένων τεχνολογιών δεν επιφέρει οικονομικά κέρδη στην επιχείρησή τους.

12. Identify the purposes for which your company uses smart farming?

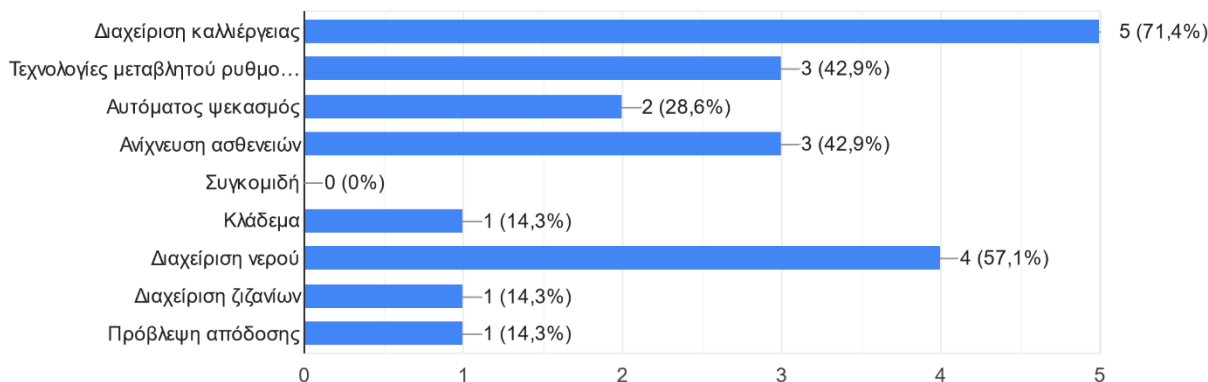
10 απαντήσεις



Εικόνα 31: Γεωργικές πρακτικές όπου εφαρμόζεται η έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.)

11. Προσδιορίστε τους σκοπούς για τους οποίους η εταιρεία σας χρησιμοποιεί έξυπνη γεωργία στις καλλιέργειες;

7 απαντήσεις



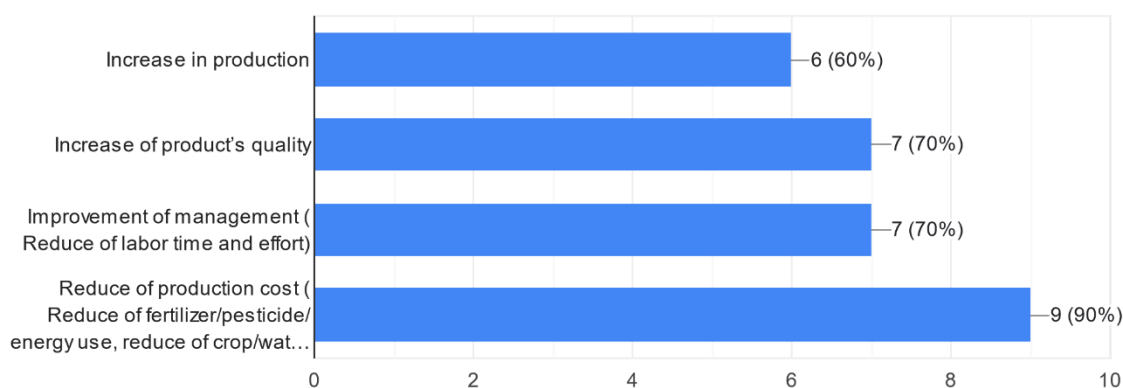
Εικόνα 32: Γεωργικές πρακτικές όπου εφαρμόζεται η έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.)

Παραπάνω βλέπουμε πως η επικρατέστερη απάντηση για την ερώτηση των σκοπών για τους οποίους εφαρμόζονται οι τεχνικές της γεωργίας ακριβείας είναι η διαχείριση της καλλιέργειας, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η γεωργική έκταση τόσο πιο δύσκολη είναι η διαχείριση της από τους αγρότες, οι οποίοι καταφεύγουν στην εφαρμογή αυτοματισμών. Το ίδιο ισχύει και για τη διαχείριση του νερού, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για μια καλλιέργεια και η άσκοπη χρήση του μπορεί να αποβεί κοστοβόρα. Για το λόγο αυτό η διαχείριση του

πραγματοποιείται μέσω των έξυπνων τεχνολογιών, σε πολλές καλλιέργειες. Επίσης μια ακόμα μέθοδος της γεωργίας ακριβείας που χρησιμοποιείται για τις γεωργικές δραστηριότητες είναι οι τεχνολογίες μεταβλητού ρυθμού, κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς η μεταβλητότητα του εδάφους από περιοχή σε περιοχή καθιστά δύσκολη τη διαχείριση των διαφόρων παραμέτρων του, με αποτέλεσμα οι αγρότες να χρησιμοποιούν νέες τεχνολογίες για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα και να επιτύχουν την μέγιστη δυνατή απόδοση μιας καλλιέργειας. Ένα ακόμα στοιχείο που εμφανίζεται στα παραπάνω διαγράμματα, είναι πως οι συμμετέχοντες έδωσαν παραπάνω από μια απάντηση στη συγκεκριμένη ερώτηση, δηλαδή υιοθετούν πολλές τεχνολογίες της έξυπνης γεωργίας ταυτόχρονα, γεγονός που υποδηλώνει την πολυεπίπεδη χρησιμότητα της στις γεωργικές δραστηριότητες. Κάτι το οποίο αποδεικνύεται και από τις δηλώσεις ενός συμμετέχοντα της συζήτησης της SmartRoot, ο οποίος δουλεύει ως μηχανολόγος μηχανικός και καλλιεργητής, «Ο εξοπλισμός παρακολούθησης άρδευσης διαχειρίζεται ταυτόχρονα πολλαπλά σημεία άρδευσης σε μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία, ειδικά για τους αγρότες που έχουν μεγάλη σοδειά διάσπαρτη σε διαφορετικές περιοχές. Επίσης μπορούν να επιβλέπουν το περιβάλλον, επειδή από την αξιολόγηση της θερμοκρασίας του σώματος του ζώου, η κάμερα και οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν βακτήρια, μύκητες ή ασθένειες χρησιμοποιώντας υπέρυθη ακτινοβολία. Οι αγρότες μπορούν να επιθεωρούν τις καλλιέργειες τους περιοδικά, εβδομαδιαία, καθημερινά, ωριαία σε σημεία προβλημάτων και έτσι ο αγρότης μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα των καλλιεργειών και να αυξήσει την παραγωγή». (RQ1.2)

13. What are the benefits of Smart Farming to your business?

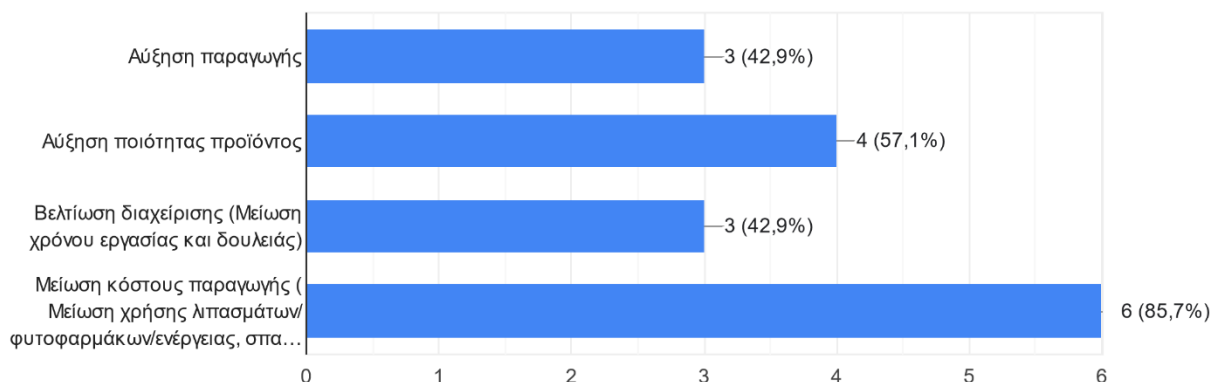
10 απαντήσεις



Εικόνα 33: Οφέλη της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)

12. Ποια είναι τα οφέλη της χρήσης της έξυπνης γεωργίας για την επιχείρηση;

7 απαντήσεις



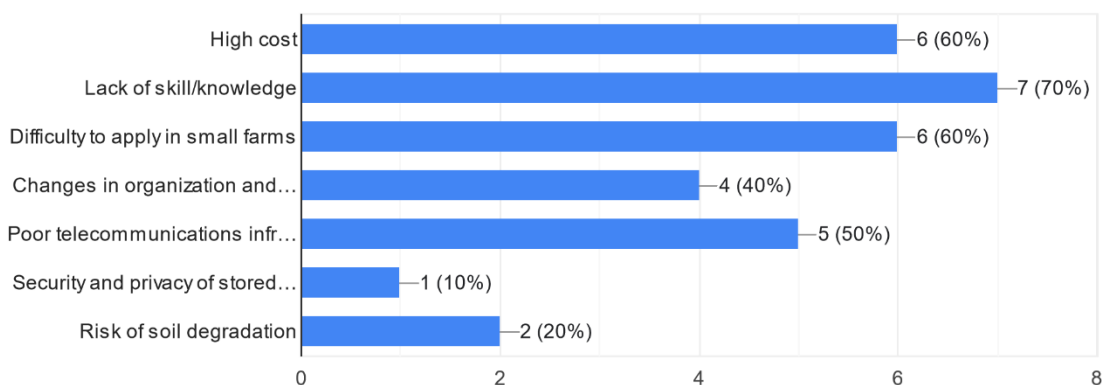
Εικόνα 34: Οφέλη της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)

Σχετικά με τα οφέλη που προσφέρει η έξυπνη γεωργία, η συντριπτική πλειοψηφία των συμμετεχόντων, απάντησε τη μείωση του κόστους παραγωγής, που προέρχεται από τη μείωση διάφορων πόρων όπως λιπάσματα, φυτοφάρμακα, νερό, ενέργεια κλπ. Παρατηρούμε πως στην περίπτωση του ελληνικού ερωτηματολογίου, τα δύο από τα τέσσερα οφέλη που εμφανίζονται ως διαθέσιμες απαντήσεις έχουν ποσοστό πάνω από 50 %, ενώ στο αγγλικό ερωτηματολόγιο το ελάχιστο ποσοστό απάντησης είναι το 60 %, ενώ παράλληλα βλέπουμε πως και σε αυτή την ερώτηση οι συμμετέχοντες συμφωνούσαν με περισσότερες της μιας απάντησης. Οι αγρότες εκμεταλλεύονται τις τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας σε πολύ μεγάλο βαθμό καθώς όπως παρατηρούμε τα θετικά τους στοιχεία είναι εμφανή τόσο στη διαχείριση της καλλιέργειας όσο και στο τελικό προϊόν. Το γεγονός αυτό είναι εμφανές και στις παρατηρήσεις ενός συμμετέχοντα στη συζήτηση της SmartRoot, ο οποίος όντας μηχανολόγος μηχανικός και καλλιεργητής, δήλωσε τα εξής: «*Το αγρόκτημα μπορεί εύκολα να διαφοροποιηθεί σε περιοχές υψηλής έντασης από τις υγιείς καλλιέργειες που καλλιεργούνται δίπλα τους, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των καλλιεργειών. Αυτό βοηθά στην πρόσβαση στην ποιότητα του εδάφους καθώς και στην ακρίβεια της ροής της υγρασίας του νερού. Ο αισθητήρας ανιχνεύει τη θερμότητα της υγρασίας, η οποία είναι πολύ σημαντική για τον προσδιορισμό της υγείας των καλλιεργειών. Επίσης οι δυνατότητες ψηφιακής απεικόνισης μπορούν να δώσουν στους αγρότες μια πλήρη εικόνα της κατάστασης της καλλιέργειας, επιτυγχάνοντας έτσι την αύξηση των φυτικών παραγωγών μέσω της παρακολούθησης της υγείας τους, με τη χρήση αισθητήρων*» (RQ1.2). Επίσης ένας άλλος συμμετέχοντας της συζήτησης της SmartRoot, ο οποίος εργάζεται ως καθηγητής πανεπιστημίου, δήλωσε τα εξής: «*Ο εκσυγχρονισμός και η εφαρμογή νέων τεχνολογιών μπορεί να προσφέρει αναγνωρίσιμα προϊόντα υψηλής ποιότητας, επώνυμα προϊόντα κ.λπ., εξασφαλίζοντας έτσι*

καλύτερα έσοδα και πιο κερδοφόρα παραγωγή» (RQ1.2). Τα οφέλη αυτά πείθουν τους αγρότες για τη βελτίωση που πραγματοποιείται στην παραγωγή καθώς και για το μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα που προκαλούν οι συγκεκριμένες τεχνικές (μείωση φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων κλπ.). Έτσι η υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας φαίνεται ότι θα αυξηθεί τα επόμενα χρόνια τόσο από τους αγρότες που ήδη την εφαρμόζουν όσο και από τους υπόλοιπους που παραμένουν επιφυλακτικοί με τις νέες μεθόδους.

14. What are the barriers the agricultural business is facing in the use of Smart Farming?

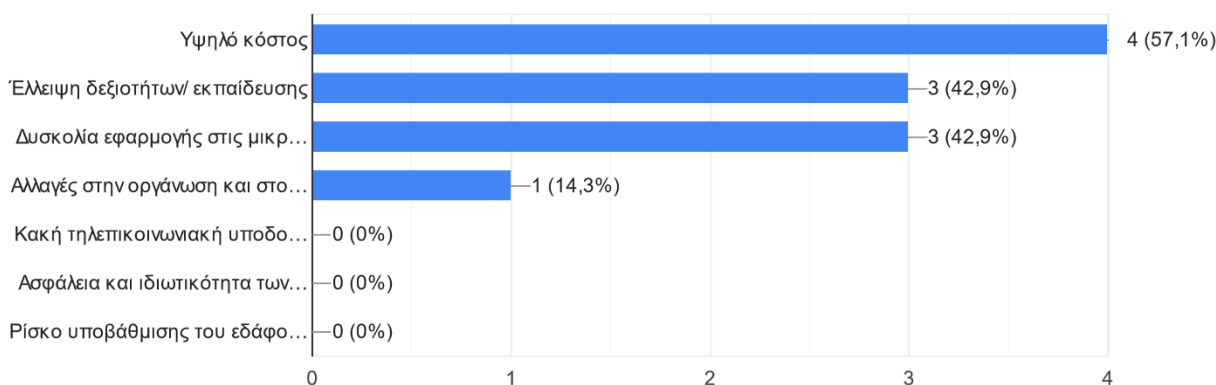
10 απαντήσεις



Εικόνα 35: Εμπόδια της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)

13. Ποια είναι τα εμπόδια που αντιμετωπίζει η αγροτική επιχείρηση στη χρήση της έξυπνης γεωργίας;

7 απαντήσεις



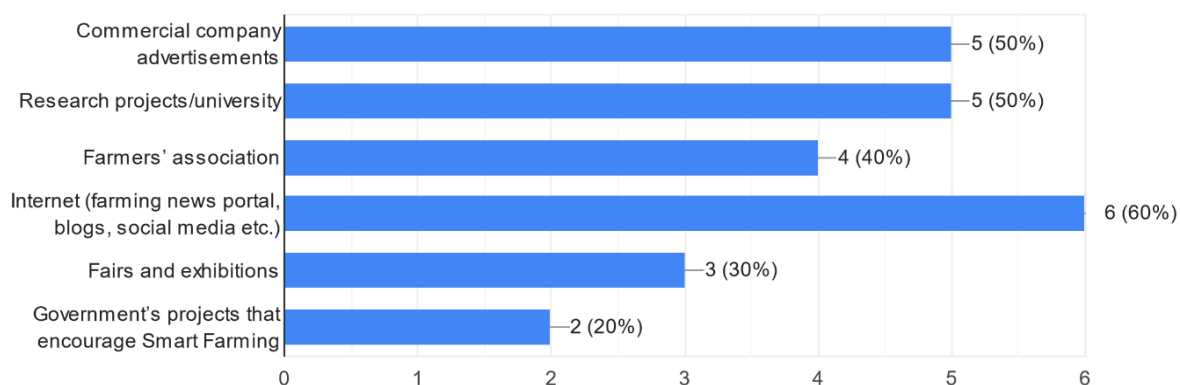
Εικόνα 36: Εμπόδια της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)

Στην ερώτηση για τα εμπόδια που μπορεί να συναντάει κάποιος αγρότης κατά την προσπάθειά του να υιοθετήσει κάποια έξυπνη τεχνολογία, οι περισσότεροι απάντησαν πως η έλλειψη του κατάλληλου γνωσιακού υπόβαθρου καθώς και το υψηλό κόστος είναι τα κύρια αίτια για την αποχή από την εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών. Η έλλειψη του κατάλληλου

εκπαιδευτικού υποβάθρου αναφέρεται και από ένα συμμετέχοντα της συζήτησης που πραγματοποίησε η SmartRoot, ο οποίος είναι μηχανολόγος μηχανικός και καλλιεργητής, «Προκειμένου να υιοθετήσει τις τεχνικές της έξυπνης γεωργίας, ο γεωργός πρέπει να είναι γνώστης ή ειδικός και μάλιστα σε περισσότερους από έναν τομείς» (RQ1.1). Επίσης αρκετοί συμμετέχοντες απάντησαν πως η γεωργία ακριβείας είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε μικρές καλλιέργειες, κάτι το οποίο συνδέεται και με το υψηλό κόστος που συνοδεύει αυτές τις τεχνολογίες, καθώς οι μικρότερες επιχειρήσεις είναι λιγότερο πιθανό να ρισκάρουν να επενδύσουν σε τεχνολογικές μεθόδους που δεν γνωρίζουν και που μπορεί το κόστος αγοράς τους να είναι υψηλότερο από τα κέρδη που θα τους επιφέρει. Επίσης βλέπουμε πως οι αγρότες λαμβάνουν υπόψη ταυτόχρονα πολλές προκλήσεις που παρουσιάζει η γεωργία ακριβείας, κι έτσι συμπεραίνουμε πως η επίλυση ενός εκ των παραπάνω προβλημάτων δεν είναι αρκετό για να αυξηθεί σημαντικά ο ρυθμός υιοθέτησης αυτών των τεχνολογιών, καθώς θα οι ερευνητές και οι εταιρείες ανάπτυξης έξυπνων τεχνολογιών θα πρέπει να βρουν τρόπους να αντιμετωπίσουν σφαιρικά το συγκεκριμένο ζήτημα.

15. Which information sources do you use to acquire knowledge of Smart Farming?

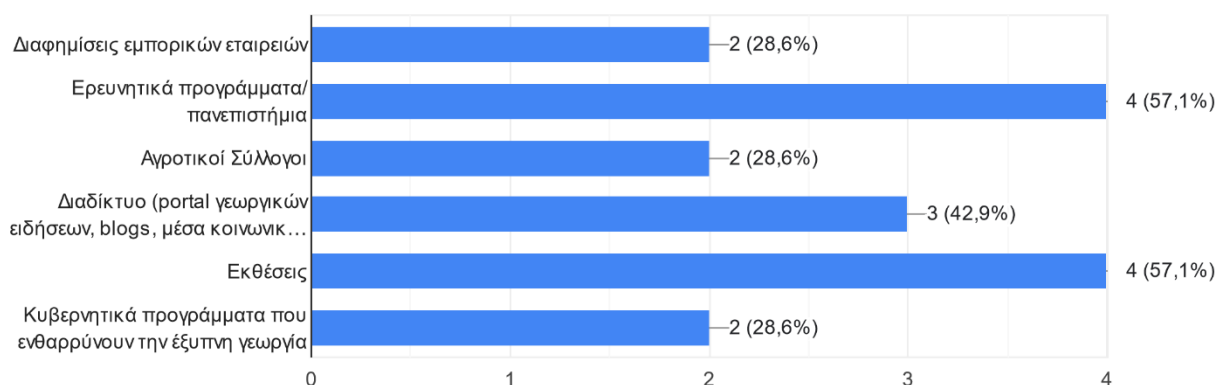
10 απαντήσεις



Εικόνα 37: Πηγές πληροφοριών των αγροτών (αγγλικό ερωτημ.)

14. Ποιες πηγές πληροφοριών χρησιμοποιείτε για να αποκτήσετε γνώσεις για την έξυπνη γεωργία;

7 απαντήσεις

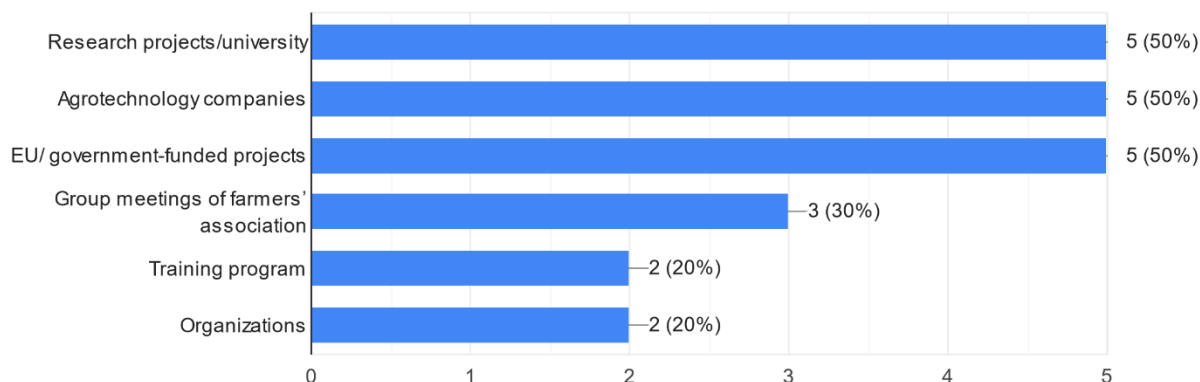


Εικόνα 38: Πηγές πληροφοριών των αγροτών (ελληνικό ερωτημ.)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως για τις πηγές πληροφόρησης οι περισσότεροι αγρότες επιλέγουν την ενημέρωση από τα ερευνητικά προγράμματα και τα πανεπιστήμια. Αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι τα πανεπιστήμια εμπνέουν εμπιστοσύνη και ιδίως για ζητήματα τα οποία δεν είναι οικία στους αγρότες, κι έτσι οι αγρότες μπορούν να αντλούν πληροφορίες από αξιόπιστες πηγές. Το διαδίκτυο, όπως είναι λογικό καθώς πλέον αποτελεί κομμάτι της καθημερινότητας και είναι ένα μέσο που χρησιμοποιείται για ενημέρωση από όλους, συμβάλλει επίσης στη διάδοση της έξυπνης γεωργίας όπως επίσης και οι εκθέσεις, στις οποίες υπάρχει άμεση επαφή με τους εκπροσώπους των τεχνολογικών εταιριών και με τον τρόπο αυτό η ενημέρωση σχετικά με τη γεωργία ακριβείας μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη επιτυχία σε σχέση με ποιο απρόσωπες προσεγγίσεις. Τα κυβερνητικά προγράμματα εμφανίζουν χαμηλά ποσοστά, τα οποία μπορεί να προέρχονται από την έλλειψη ενημέρωσης που υπάρχει από την πλευρά της κυβέρνησης. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τα λεγόμενα ενός συμμετέχοντα της συζήτησης της SmartRoot, ο οποίος εργάζεται ως καθηγητής πανεπιστημίου, «Οι αγρότες παραδοσιακά μαθαίνουν ο ένας από τον άλλο. Μαθαίνουν επίσης μέσα από κάθε είδους σεμινάρια αγροτικών σχολείων, εργαστήρια που οργανώνονται από συμβουλευτικούς φορείς, διάφορα ερευνητικά κέντρα. Θα ήθελα λοιπόν να πω ότι αυτός είναι ένας καλός τρόπος ανταλλαγής γνώσεων, αλλά υπάρχουν και άλλες δυνατότητες μέσω του διαδικτυακού εκπαιδευτικού υλικού που διατίθεται στο διαδίκτυο και επίσης να μαθαίνουν ανάλογα με το ενδιαφέρον τους για προβλήματα στις φάρμες τους που προσπαθούν να αντιμετωπίσουν. Επίσης κάποιοι αγρότες συνεργάζονται με συνεταιρισμούς και ενώσεις παραγωγών προκειμένου να πληροφορηθούν για τις εξελίξεις του τεχνολογικού τομέα» (RQ2.1).

16. With which bodies do you cooperate for the adoption of Smart Farming?

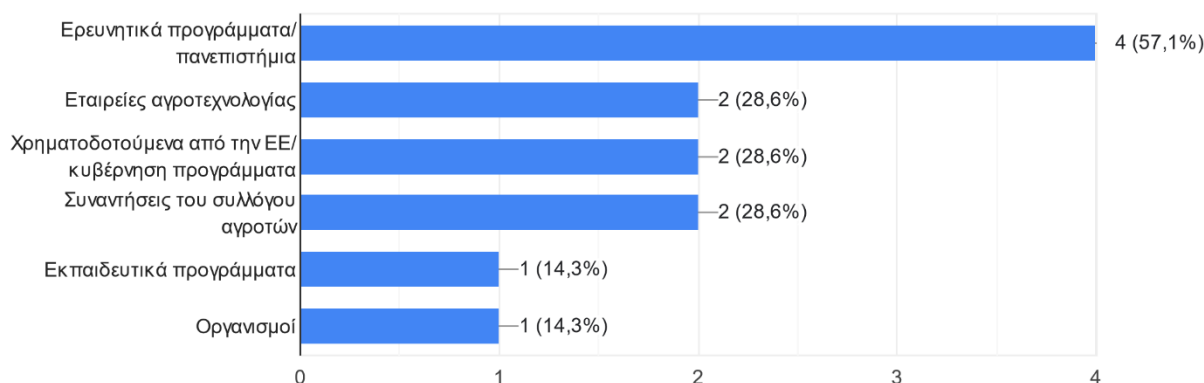
10 απαντήσεις



Εικόνα 39: Φορείς με τους οποίους συνεργάζονται οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)

15. Με ποιους φορείς συνεργάζεστε για την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας;

7 απαντήσεις



Εικόνα 40: Φορείς με τους οποίους συνεργάζονται οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)

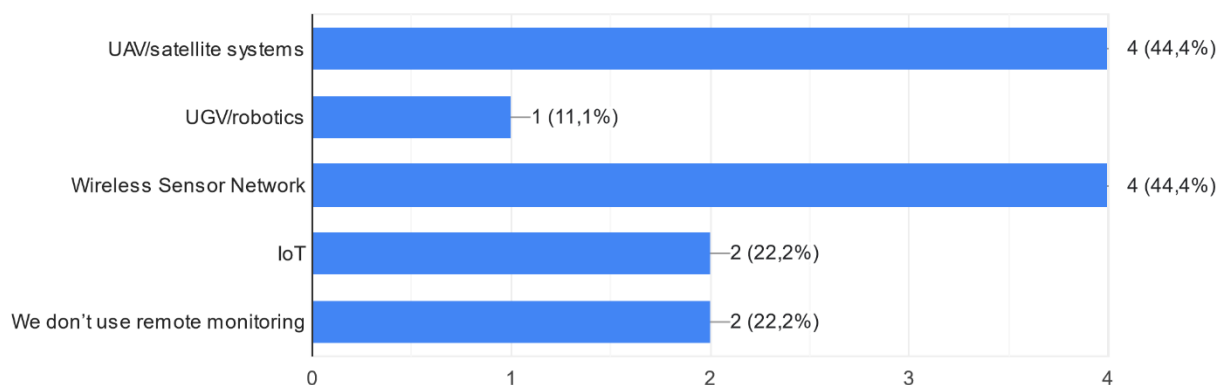
Σχετικά με τους φορείς με τους οποίους συνεργάζονται οι αγρότες, πολλοί απάντησαν τα ερευνητικά προγράμματα και τα πανεπιστήμια, καθώς εκτός από την ενημέρωση σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα μπορούν να προσφέρουν συνεργασία ώστε οι αγρότες να μπορέσουν να ενσωματώσουν τις τεχνικές της γεωργίας ακριβείας στις καλλιέργειες τους με επιτυχία, καθώς το όλο εγχείρημα θα επιβλέπεται από ειδικούς, οι οποίοι με τη σειρά τους πραγματοποιούν τις κατάλληλες έρευνες προκειμένου να αντλήσουν πληροφορίες για την περαιτέρω εξέλιξη του συγκεκριμένου τεχνολογικού τομέα. Επίσης παρατηρούμε πως στην υπόλοιπη Ευρώπη είναι αρκετά διαδεδομένη η συνεργασία με εταιρίες αγροτεχνολογίας αλλά και η εφαρμογή των χρηματοδοτούμενων προγραμμάτων είτε από την Ευρωπαϊκή Ένωση είτε από την εγχώρια κυβέρνηση, καθώς ένας στους δύο συμμετέχοντες του αγγλικού ερωτηματολογίου δήλωσε πως

συνεργάζεται τουλάχιστον με ένα από τους δύο αυτούς φορείς. Στην Ελλάδα οι αγρότες δεν είναι τόσο εξοικειωμένοι ακόμα με αυτές τις μεθόδους. Και στις δύο όμως περιπτώσεις τα εκπαιδευτικά προγράμματα παραμένουν σε χαμηλά ποσοστά, ίσως λόγω του ότι οι αγρότες δεν είναι ακόμα διατεθειμένοι να αποκτήσουν πιο εξειδικευμένες γνώσεις στο θέμα των τεχνολογιών στον πρωτογενή τομέα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και πιο συγκεκριμένα οι απαντήσεις των αγροτών και των ερευνητών που εργάζονται σε εταιρίες/ επιχειρήσεις που δεν υιοθετούν τις τεχνολογίες της γεωργίας ακρίβειας.

9. Which Smart Farming technologies would your company like to use in the future for information gathering?

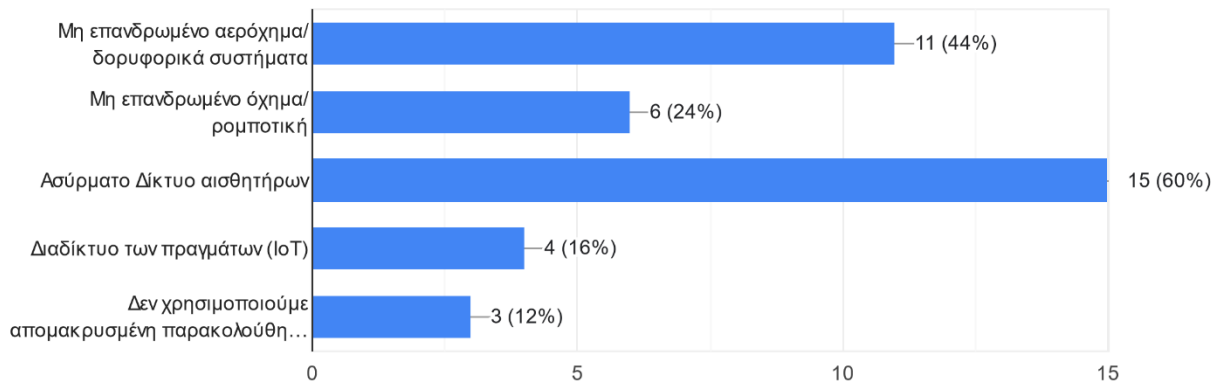
9 απαντήσεις



Εικόνα 41: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)

8. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας θα θέλατε να χρησιμοποιείτε στο μέλλον, στην εταιρία σας για τη συγκέντρωση πληροφοριών;

25 απαντήσεις

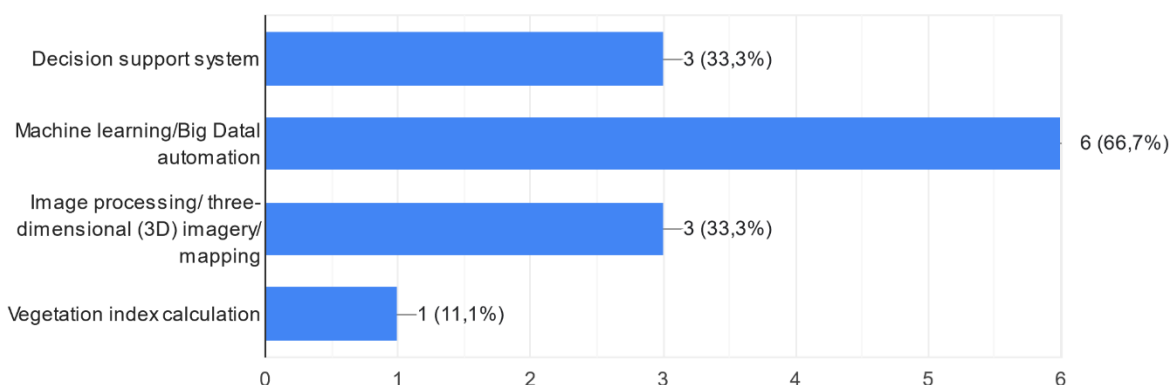


Εικόνα 42: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι η επικρατέστερη απάντηση, στην ερώτηση σχετικά με το ποια τεχνολογία της έξυπνης γεωργίας θα επιθυμούσαν να υιοθετήσουν οι αγρότες, προκειμένου να συγκεντρώνουν τις πληροφορίες από τις καλλιέργειες. Η διαρκής παρακολούθηση των αγροτικών εκτάσεων σε πραγματικό χρόνο και η πληθώρα δεδομένων που μπορούν να συλλεχθούν ίσως είναι κάποια από τα οφέλη που προσφέρει η συγκεκριμένη έξυπνη τεχνολογία και πείθουν τους αγρότες για τις βελτιώσεις που μπορεί να προσφέρει στις καλλιέργειες τους. Επίσης τα μη επανδρωμένα αεροχήματα και δορυφορικά συστήματα απαντήθηκαν από αρκετούς συμμετέχοντες, αποτέλεσμα το οποίο μπορεί να προέρχεται από το γεγονός πως είναι πιο εξοικειωμένοι με τη συγκεκριμένη τεχνολογία καθώς χρησιμοποιείται και στην καθημερινότητα για διάφορες δραστηριότητες. Όπως και στην αντίστοιχη ερώτηση που έγινε στους αγρότες και ερευνητές που η επιχείρηση/εταιρεία τους υιοθετεί τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας, το διαδίκτυο των πραγμάτων καθώς και τα μη επανδρωμένα οχήματα δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλή, ενώ γενικότερα τα ποσοστά των απαντήσεων μεταξύ υιοθέτησης και μη τέτοιων τεχνολογιών συγκλίνουν αρκετά.

10. Which Smart Farming technologies would your company like to use in the future for information processing?

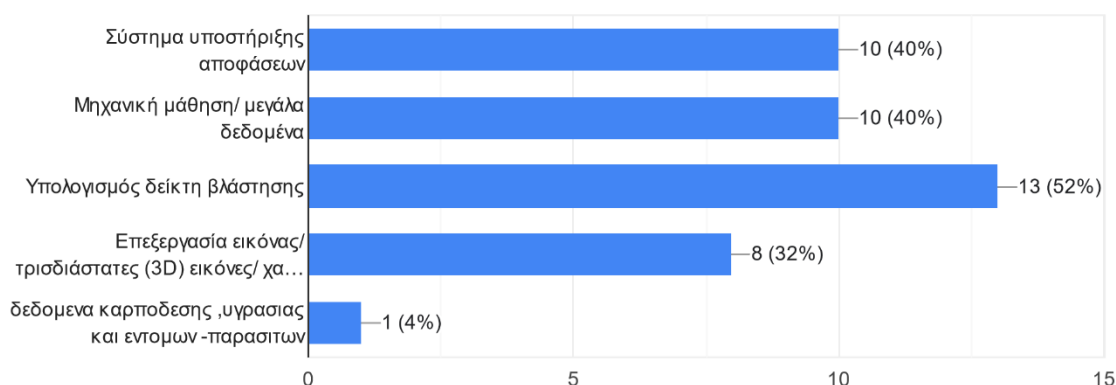
9 απαντήσεις



Εικόνα 43: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)

9. Ποιες τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας θα θέλατε να χρησιμοποιείτε στο μέλλον, στην εταιρία σας για την επεξεργασία πληροφοριών;

25 απαντήσεις



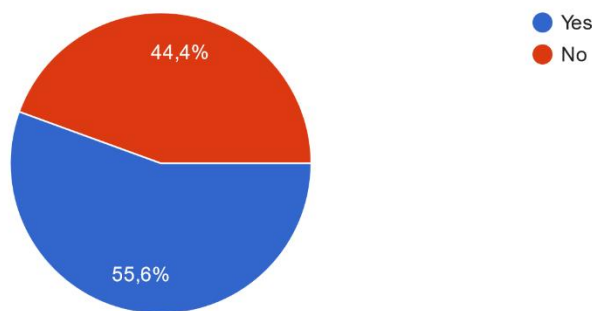
Εικόνα 44: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών για τις οποίες ενδιαφέρονται οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)

Στην ερώτηση σχετικά με τις τεχνολογίες για την επεξεργασία των πληροφοριών, οι περισσότεροι συμμετέχοντες απάντησαν πως ενδιαφέρονται να υιοθετήσουν τις τεχνικές της μηχανικής μάθησης και των αυτοματισμών που προσφέρουν ως προς τη διαχείριση και εκμετάλλευση των δεδομένων που προέρχονται από τις καλλιέργειες. Η αυτόματη επεξεργασία των δεδομένων συμβάλλει στην εξοικονόμηση χρόνου και συμμετοχής του ανθρώπινου δυναμικού, με αποτέλεσμα η μηχανική μάθηση να είναι ψηλά στη λίστα προτιμήσεων των αγροτών. Επίσης στην Ελλάδα είναι πολύ γνωστή η μέθοδος του υπολογισμού του δείκτη

βλάστησης, ο οποίος αποτελεί μια ειδική κατηγορία επεξεργασίας εικόνων και συνδυάζεται είτε με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είτε με τα μη επανδρωμένα αεροχήματα, δύο τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών οι οποίες όπως είδαμε και παραπάνω είναι επίσης πολύ δημοφιλείς τόσο στους αγρότες που ήδη χρησιμοποιούν τεχνικές της γεωργίας ακριβείας όσο και στους αγρότες που ακόμα δεν έχουν υιοθετήσει τέτοιες τεχνολογίες. Η γενικότερη όμως κατηγορία επεξεργασίας εικόνων που αφορά είτε τη δημιουργία τρισδιάστατων εικόνων είτε τη χαρτογράφηση των καλλιεργειών, δεν είναι τόσο γνωστή, κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως οι αγρότες και οι ερευνητές ενδιαφέρονται περισσότερο για την άμεση επεξεργασία των δεδομένων που προσφέρει η τεχνική του υπολογισμού του δείκτη βλάστησης σε σχέση με τη γενική εικόνα που προσφέρουν οι άλλες τεχνικές επεξεργασίας εικόνων. Στην Ελλάδα παρατηρούμε την αντίθεση στις απαντήσεις των αγροτών που ήδη εφαρμόζουν έξυπνες τεχνολογίες στις καλλιέργειες τους και σε αυτούς που δεν έχουν ακόμα υιοθετήσει τέτοιες τεχνικές. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη κατηγορία αγροτών χρησιμοποιεί συστήματα λήψης αποφάσεων ενώ κανένας δεν έδωσε την απάντηση της μηχανικής μάθησης που είναι και η πιο δημοφιλής για τους αγρότες που ακόμα δεν εφαρμόζουν έξυπνες τεχνολογίες. Το ίδιο συμβαίνει και με την περίπτωση του υπολογισμού δείκτη βλάστησης.

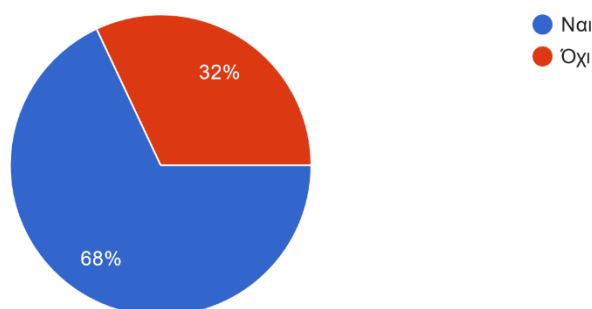
11. Do you have plans to adopt Smart Farming in the next years?

9 απαντήσεις



Εικόνα 45: Μελλοντικά σχέδια υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)

10. Έχετε σχέδια να υιοθετήσετε την έξυπνη γεωργία στα επόμενα χρόνια;
25 απαντήσεις

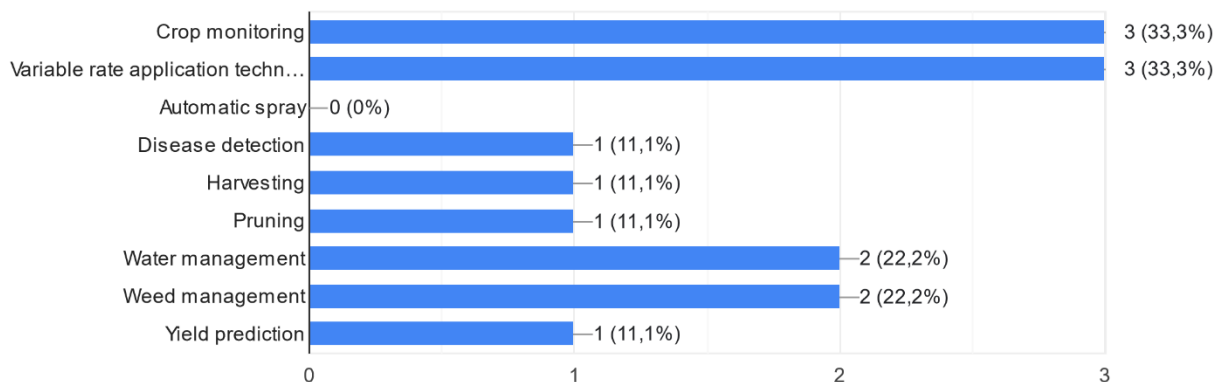


Εικόνα 46: Μελλοντικά σχέδια υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)

Σχετικά με τα μελλοντικά σχέδια των αγροτών που δεν εφαρμόζουν στα χωράφια τους την έξυπνη γεωργία, στο εξωτερικό συνεχίζουν να υπάρχουν αμφιβολίες για την αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών στις γεωργικές εκτάσεις καθώς το ποσοστό των συμμετεχόντων που απάντησαν πως δεν είναι διατεθειμένοι να υιοθετήσουν αυτές τις τεχνικές στα επόμενα χρόνια είναι 44,4 % που δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο. Από την άλλη πλευρά βλέπουμε πως στην Ελλάδα ένα μεγάλο ποσοστό είναι έτοιμο να εκσυγχρονίσει τα συστήματα που χρησιμοποιεί στον πρωτογενή τομέα, κάτι το οποίο είναι θετικό σημάδι για την εδραίωση εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας και την βελτίωση των εγχώριων καλλιεργειών ώστε να είναι ανταγωνιστικές οι αγροτικές επιχειρήσεις με αυτές του εξωτερικού. Στην διάδοση των έξυπνων τεχνολογιών έχει συμβάλει η έντονη ενασχόληση των πανεπιστημίων και των ερευνητικών ομάδων στο συγκεκριμένο τομέα καθώς και η συνεργασία τους με τις αγροτικές επιχειρήσεις.

12. Identify the purposes for which your company would use Smart Farming?

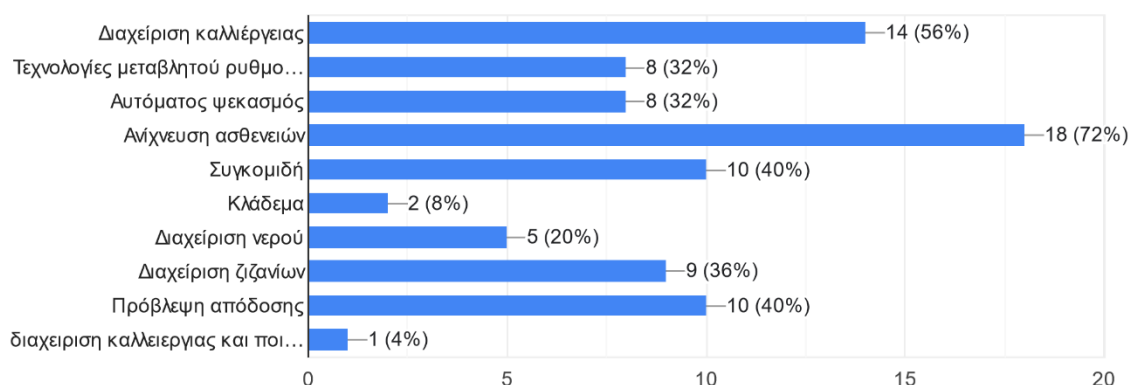
9 απαντήσεις



Εικόνα 47: Γεωργικές πρακτικές για τις οποίες οι αγρότες θα υιοθετούσαν την έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.)

11. Προσδιορίστε τους σκοπούς για τους οποίους η εταιρεία σας θα ήθελε να χρησιμοποιήσει την έξυπνη γεωργία στις καλλιέργειες;

25 απαντήσεις

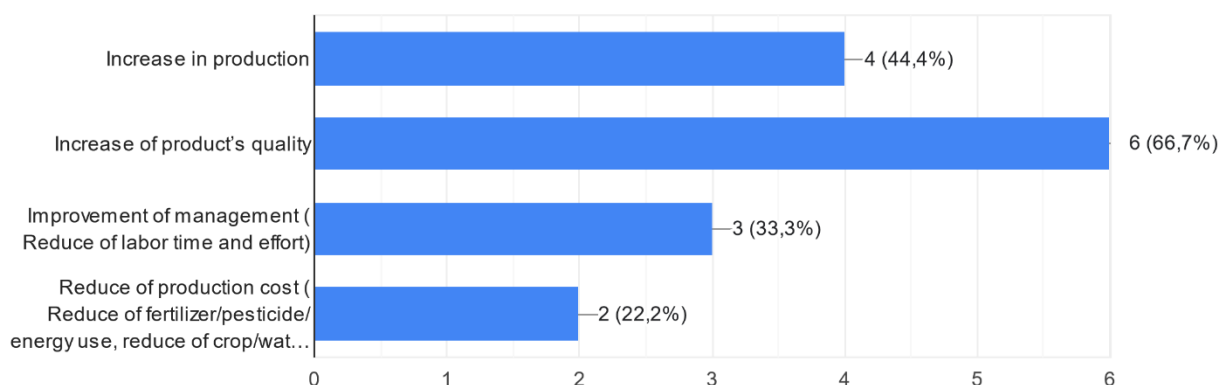


Εικόνα 48: Γεωργικές πρακτικές για τις οποίες οι αγρότες θα υιοθετούσαν την έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι Έλληνες αγρότες είναι η ανίχνευση ασθενειών στα χωράφια και ευελπιστούν να λύσουν το συγκεκριμένο ζήτημα με τη βοήθεια της γεωργίας ακριβείας, μια απάντηση που δεν είχε την ίδια συχνότητα εμφάνισης στην αντίστοιχη ερώτηση που έγινε στους υποστηρικτές της γεωργίας ακριβείας. Το συγκεκριμένο πρόβλημα δεν φαίνεται να απασχολεί ιδιαίτερα τους αγρότες στο εξωτερικό, οι οποίοι παρουσιάζουν ως δημοφιλή απάντηση την διαχείριση της καλλιέργειας καθώς και τις τεχνολογίες μεταβλητού ρυθμού, κάτι το οποίο ακολουθεί τις απαντήσεις της αντίστοιχης ερώτησης που έγινε στους αγρότες που εφαρμόζουν τη γεωργία ακριβείας και επιβεβαιώνεται από τα λεγόμενα ενός συμμετέχοντα της συζήτησης που πραγματοποιήθηκε από τη SmartRoot, ο οποίος εργάζεται ως ειδικός επιτυχίας πελατών (Success Customer Specialist) στο agrivini, «Μέσω του διαδικτύου των πραγμάτων επιτυγχάνεται η εφαρμογή λιπασμάτων και άλλων προϊόντων προστασίας πραγματοποιείται μόνο όταν χρειάζεται και αυτό είναι κάτι που θα βελτιώσει την καλλιέργεια και τη συνολική απόδοση του αγροκτήματος» (RQ3.1). Στο ελληνικό ερωτηματολόγιο έχει επίσης αρκετές απαντήσεις για τη διαχείριση των καλλιεργειών και την πρόβλεψη της απόδοσης τους ενώ γενικά οι απαντήσεις φαίνεται να διαφέρουν αισθητά σε σχέση με την αντίστοιχη ερώτηση που παρουσιάστηκε πιο πάνω.

13. What are the benefits of using Smart Farming that can convince your company to adopt smart farming technologies in the future?

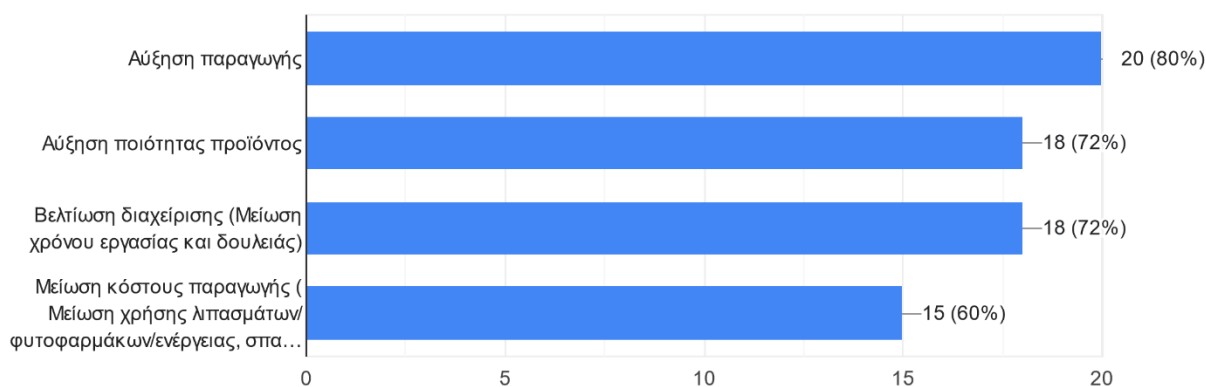
9 απαντήσεις



Εικόνα 49: Οφέλη που πείθουν τους αγρότες να υιοθετήσουν την έξυπνη γεωργία (αγγλικό ερωτημ.)

12. Ποια από τα οφέλη χρήσης της έξυπνης γεωργίας μπορούν να πείσουν την επιχείρησή σας να χρησιμοποιήσει τεχνικές έξυπνης γεωργίας στο μέλλον;

25 απαντήσεις



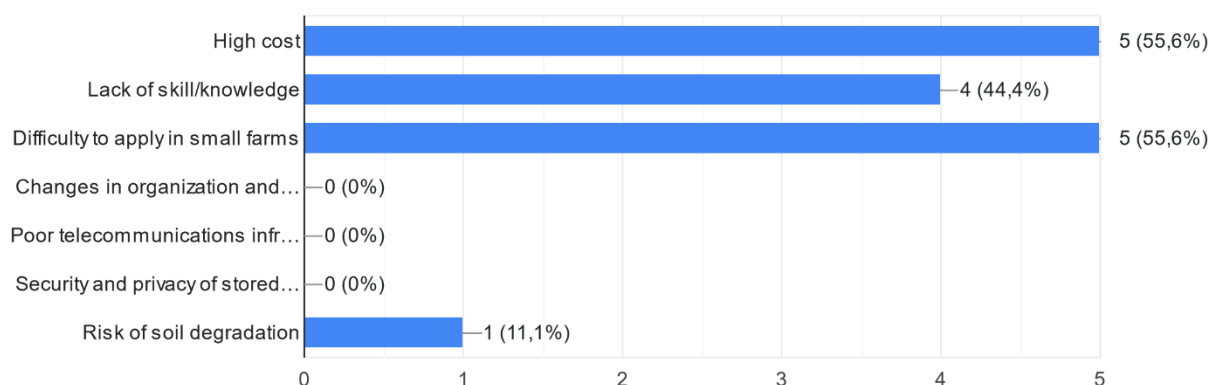
Εικόνα 50: Οφέλη που πείθουν τους αγρότες να υιοθετήσουν την έξυπνη γεωργία (ελληνικό ερωτημ.)

Σχετικά με τα οφέλη που προσφέρει η γεωργία ακριβείας και μπορούν να πείσουν τους αγρότες να υιοθετήσουν τις τεχνικές αυτές, παρατηρούμε πολύ υψηλά ποσοστά στις απαντήσεις και ειδικά στο ελληνικό ερωτηματολόγιο, με τις δύο πιο δημοφιλείς απαντήσεις να είναι η αύξηση της παραγωγής και της ποιότητας του προϊόντος. Τα υψηλά ποσοστά σε όλες τις απαντήσεις υποδηλώνουν το μεγάλο ενδιαφέρον που έχουν οι συμμετέχοντες για τις συγκεκριμένες τεχνολογίες και τον τρόπο με τον οποίο αυτές μπορούν να βελτιώσουν τις καλλιέργειες τους και πιο συγκεκριμένα την παραγωγή και το τελικό προϊόν που αποτελούν πρωταρχικό στόχο των αγροτών. Στην αντίστοιχη ερώτηση που έγινε στους αγρότες που

υιοθετούν την έξυπνη γεωργία, η επικρατέστερη απάντηση είναι η μείωση του κόστους ενώ στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως η συγκεκριμένη απάντηση αποτελεί την λιγότερο δημοφιλή μεταξύ των συμμετεχόντων, κι έτσι εμφανίζεται η αντίθεση μεταξύ των προσδοκιών και των πραγματικών αποτελεσμάτων που έχει η γεωργία ακριβείας.

14. What are the barriers that suspend the adoption of Smart Farming?

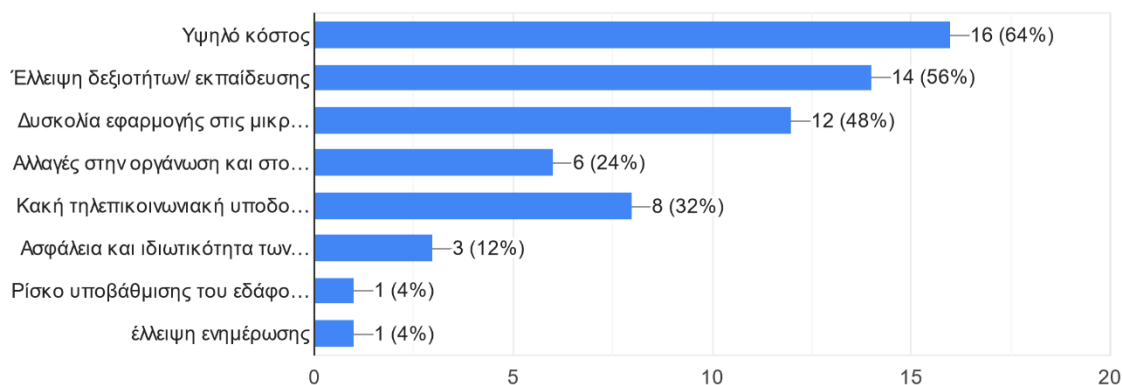
9 απαντήσεις



Εικόνα 51: Εμπόδια που αποτρέπουν την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)

13. Ποια είναι τα εμπόδια που αναστέλλουν την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας;

25 απαντήσεις



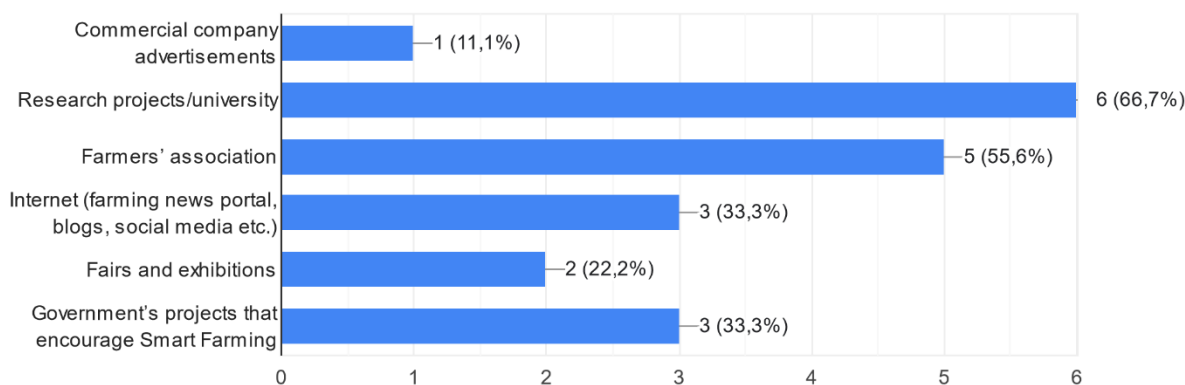
Εικόνα 52: Εμπόδια που αποτρέπουν την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)

Οι προκλήσεις που εμφανίζονται κατά την προσπάθεια υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας, όπως φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα, είναι το υψηλό κόστος που συνοδεύει αυτές τις τεχνολογίες, η έλλειψη των απαραίτητων δεξιοτήτων και η δυσκολία που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένες τεχνολογίες κατά την εφαρμογή τους σε μικρότερης έκτασης καλλιέργειες. Θετικό στοιχείο στην παρούσα ερώτηση αποτελεί το σχετικά χαμηλό ποσοστό στην απάντηση σχετικά με τις τηλεπικοινωνιακές υποδομές, οι οποίες φαίνεται να είναι σε ένα

αρκετά καλό επίπεδο και να μην αποτελούν κύριο εμπόδιο για την έξυπνη γεωργία. Επίσης στην αντίστοιχη ερώτηση που έγινε στους συμμετέχοντες που εφαρμόζουν στις καλλιέργειες τους αυτές τις τεχνολογίες, παρατηρούμε πως υπάρχει πλήρης ταύτιση στις απόψεις τους. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα πως οι τεχνολογικές εταιρίες θα πρέπει να λάβουν υπόψη τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις των καλλιεργειών μικρότερων εκτάσεων κατά την ανάπτυξη των έξυπνων τεχνολογιών, και στη συνέχεια οι αγρότες να αποκτήσουν τις κατάλληλες τεχνολογικές γνώσεις και δεξιότητες προκειμένου να έχουν τη δυνατότητα να υιοθετήσουν την έξυπνη γεωργία στην επιχείρησή τους.

15. What sources of information would you use to gain knowledge on Smart Farming to recommend it to your company?

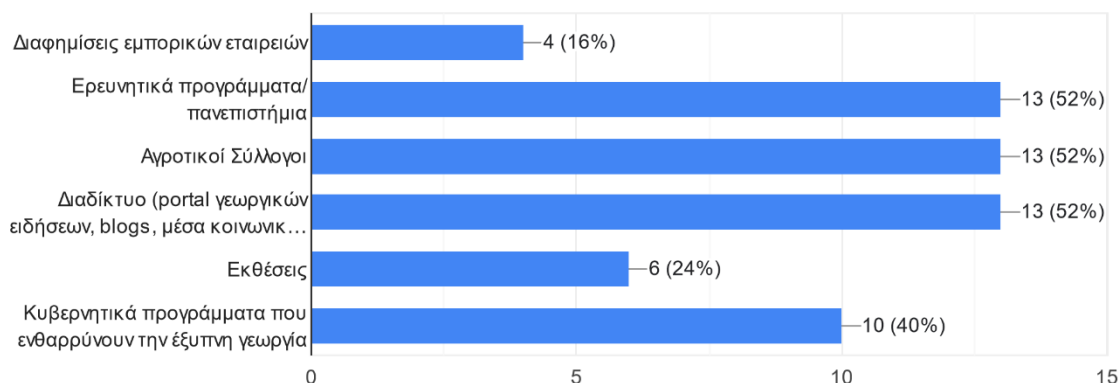
9 απαντήσεις



Εικόνα 53: Πηγές πληροφόρησης για την διάδοση της υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (αγγλικό ερωτημ.)

14. Ποιες πηγές πληροφοριών θα χρησιμοποιούσατε για να αποκτήσετε γνώσεις για την έξυπνη γεωργία για να την προτείνετε στην επιχείρησή σας;

25 απαντήσεις

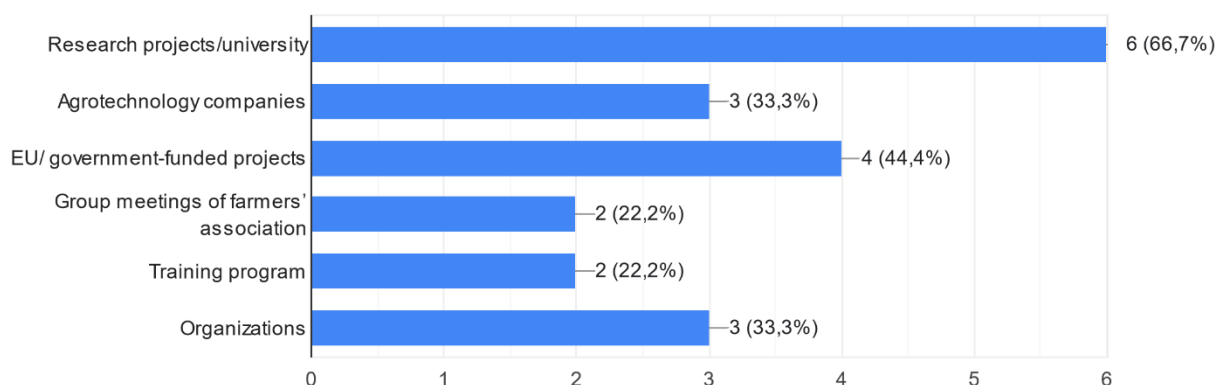


Εικόνα 54: Πηγές πληροφόρησης για την διάδοση της υιοθέτησης της έξυπνης γεωργίας (ελληνικό ερωτημ.)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως οι αγρότες και οι ερευνητές που δεν εφαρμόζουν την έξυπνη γεωργία στην καλλιέργεια τους, χρησιμοποιούν ως πηγή πληροφόρησης προκειμένου να ενημερωθούν για το συγκεκριμένο ζήτημα, κυρίως τα ερευνητικά προγράμματα και τους αγροτικούς συλλόγους. Επίσης βλέπουμε στο ελληνικό ερωτηματολόγιο ένα ικανοποιητικό ποσοστό της τάξης του 40 % σχετικά με τα κυβερνητικά προγράμματα που ενθαρρύνουν την έξυπνη γεωργία, κάτι το οποίο είναι θετικό καθώς είναι σημαντική η συμβολή του κράτους στην επέκταση και εφαρμογή νέων τεχνικών στον πρωτογενή τομέα, ώστε μέσω των προγραμμάτων επιδοτήσεων να βοηθήσει τους αγρότες στη μείωση του κόστους των τεχνολογιών. Από την άλλη πλευρά το διαδίκτυο δεν είναι τόσο δημοφιλής απάντηση και ίσως αυτό να οφείλεται στην αποχή των αγροτών από τη γεωργία ακριβείας, καθώς η συγκεκριμένη κατηγορία αγροτών δεν είναι τόσο εξοικειωμένοι με τη σύγχρονη τεχνολογία και την ενσωμάτωση της στην γεωργία.

16. With which bodies would you cooperate with for acquiring the know- how to introduce Smart Farming techniques into your business?

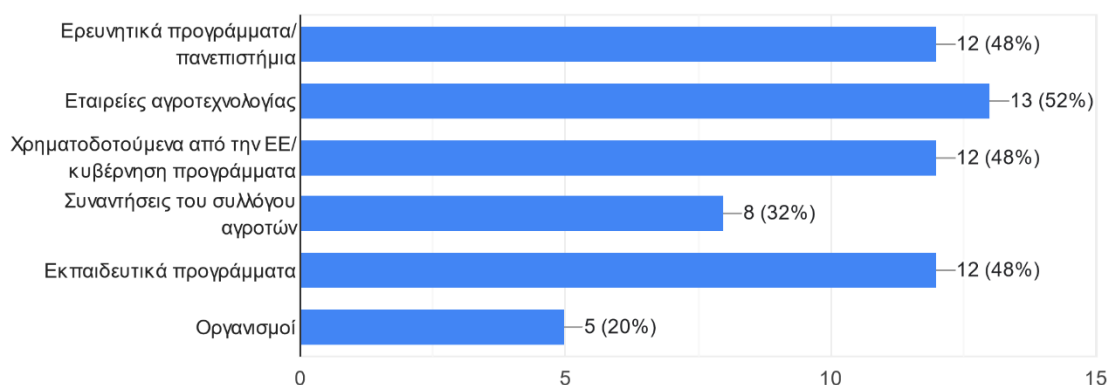
9 απαντήσεις



Εικόνα 55: Φορείς με τους οποίους είναι διατεθειμένοι να συνεργαστούν οι αγρότες (αγγλικό ερωτημ.)

15. Με ποιους φορείς θα συνεργαζόσασταν για την απόκτηση της τεχνογνωσίας για να εισάγετε τεχνικές έξυπνης γεωργίας στην επιχείρησή σας;

25 απαντήσεις



Εικόνα 56: Φορείς με τους οποίους είναι διατεθειμένοι να συνεργαστούν οι αγρότες (ελληνικό ερωτημ.)

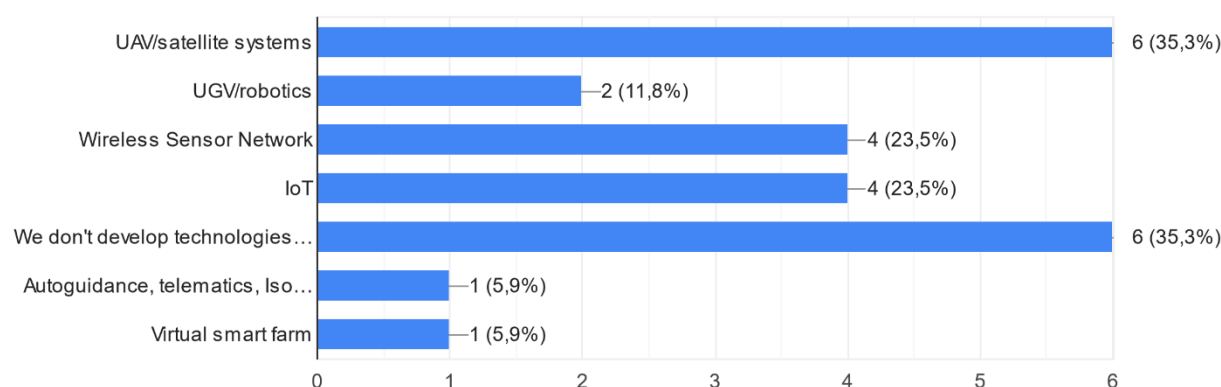
Οι φορείς με τους οποίους φαίνεται είναι διατεθειμένοι οι αγρότες να συνεργαστούν προκειμένου να αποκτήσουν την τεχνογνωσία είναι ως επί τον πλείστον τα ερευνητικά προγράμματα και τα πανεπιστήμια. Παρατηρούμε όμως πως όλες οι απαντήσεις έχουν υψηλά ποσοστά, γεγονός που αποτελεί θετικό στοιχείο διότι δείχνει πως οι αγρότες είναι ανοιχτοί σε διάφορες συνεργασίες με σκοπό τη βελτίωση των επιχειρήσεων τους, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της δημοτικότητας της γεωργίας ακριβείας. Για άλλη μια φορά βλέπουμε την προτίμηση των αγροτών στα πανεπιστήμια και την αξιοπιστία που αυτά εμπνέουν καθώς και τη συνεισφορά τους στην ανάπτυξη των έξυπνων τεχνολογιών και την προώθηση

τους με τρόπο κατανοητό ακόμα και για τους αγρότες που δεν έχουν υψηλό μορφωτικό επίπεδο. Επίσης παρατηρούμε πως είναι αρκετοί οι αγρότες που είναι διατεθειμένοι να συμμετέχουν σε κάποιο εκπαιδευτικό πρόγραμμα ώστε να αποκτήσουν τις κατάλληλες γνώσεις και να μπορούν έτσι να εφαρμόσουν την έξυπνη γεωργία στις καλλιέργειες τους.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και πιο συγκεκριμένα οι απαντήσεις των υπαλλήλων τεχνολογικών εταιριών, και κυρίως σε εταιρίες όπου αναπτύσσονται τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας. Επειδή δεν υπήρξε καμία απάντηση στο σχετικό ελληνικό ερωτηματολόγιο, παρουσιάζονται μόνο τα διαγράμματα των απαντήσεων που προέκυψαν από την έρευνα που διεξήχθη στην υπόλοιπη Ευρώπη.

4. Which Smart Farming technologies for gathering of information does your company develops?

17 απαντήσεις

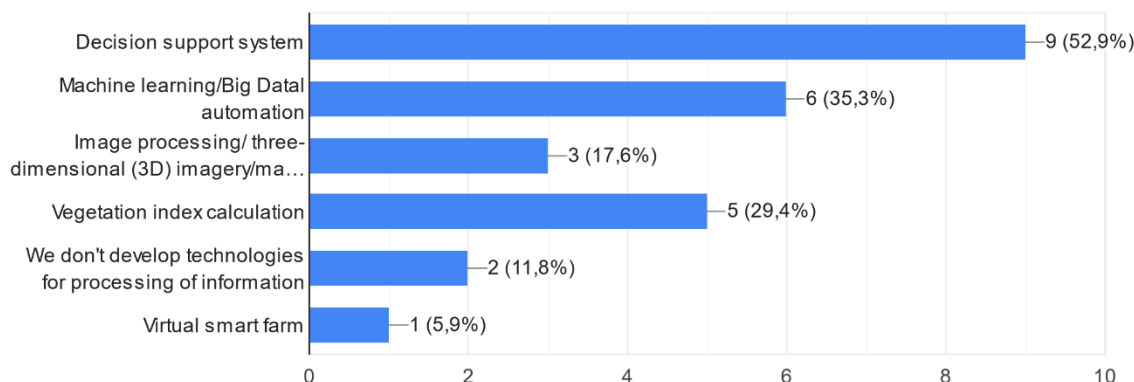


Εικόνα 57: Τεχνολογίες συγκέντρωσης πληροφοριών που αναπτύσσονται στις τεχνολογικές εταιρίες

Στην ερώτηση σχετικά με τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται από τις εταιρίες στις οποίες εργάζονται οι υπάλληλοι, η επικρατέστερη απάντηση είναι τα μη επανδρωμένα αεροχήματα, γεγονός που δικαιολογεί τα αποτελέσματα που είδαμε και σε προηγούμενα διαγράμματα, όπου τα ΜΕΑ αποτελούν δημοφιλή τεχνολογική μέθοδος για την παρακολούθηση και διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων. Στη συνέχεια ακολουθούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία είναι επίσης δημοφιλή μεταξύ των αγροτών και των ερευνητών και το διαδίκτυο των πραγμάτων, το οποίο δεν φαίνεται να έχει την ίδια ζήτηση σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους.

5. Which Smart Farming technologies for processing of information does your company develops?

17 απαντήσεις

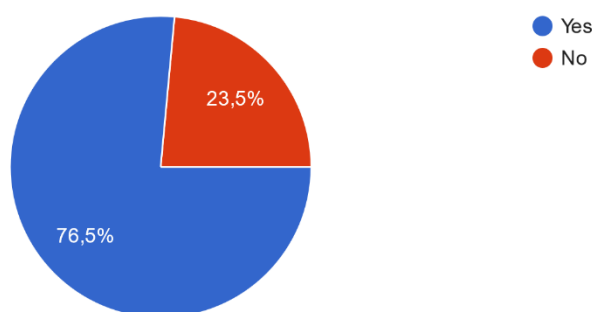


Εικόνα 58: Τεχνολογίες επεξεργασίας πληροφοριών που αναπτύσσονται στις τεχνολογικές εταιρίες

Από την πλευρά τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία πληροφοριών, οι ερωτήσαντες έδωσαν ως πιο δημοφιλή απάντηση το σύστημα λήψης αποφάσεων, το οποίο απαντήθηκε στην ίδια συχνότητα και από τους αγρότες σε αντίστοιχες ερωτήσεις της έρευνας. Το ίδιο ισχύει και για την τεχνική της μηχανικής μάθησης. Επίσης στα δύο παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως από οι συμμετέχοντες δήλωσαν πως η εταιρία στην οποία εργάζονται αναπτύσσουν παραπάνω από μια τεχνολογία της έξυπνης γεωργίας, κάτι το οποίο υποδηλώνει τους υψηλούς ρυθμούς με τους οποίους εξελίσσεται ο συγκεκριμένος τεχνολογικός τομέας σε μεγάλη εμβέλεια.

6. The Smart Farming technologies your company develops can be used without making major changes to the existing systems?

17 απαντήσεις



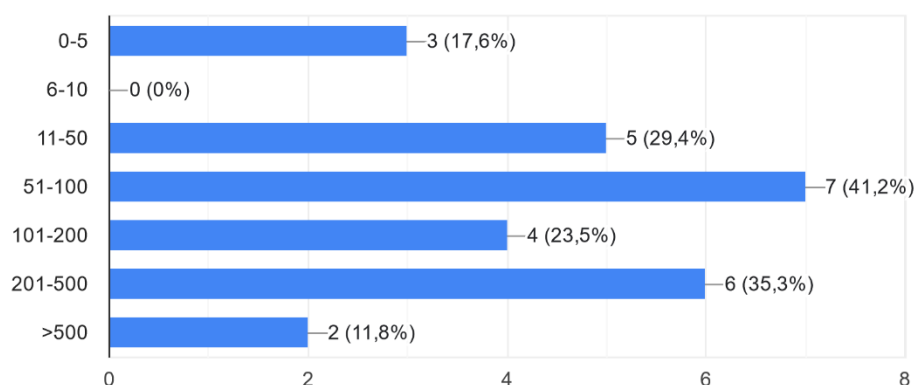
Εικόνα 59: Απαιτήση ή μη αλλαγών στα υπάρχοντα συστήματα

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα ένα μεγάλο ποσοστό των νέων τεχνολογιών δεν απαιτούν πραγματοποίηση αλλαγών στα ήδη υπάρχοντα συστήματα που

εφαρμόζονται στις αγροτικές επιχειρήσεις, κάτι το οποίο λειτουργεί θετικά για τη διάδοση της γεωργία ακριβείας καθώς οι περισσότεροι αγρότες δε θέλουν να πραγματοποιούν αλλαγές στα συστήματα που χρησιμοποιούν καθώς οι αλλαγές αυτές επιφέρουν κόστος και απαιτούν επιπλέον χρόνο για την εκμάθησή τους.

7. What is usually the size of your customers' arable land?

17 απαντήσεις

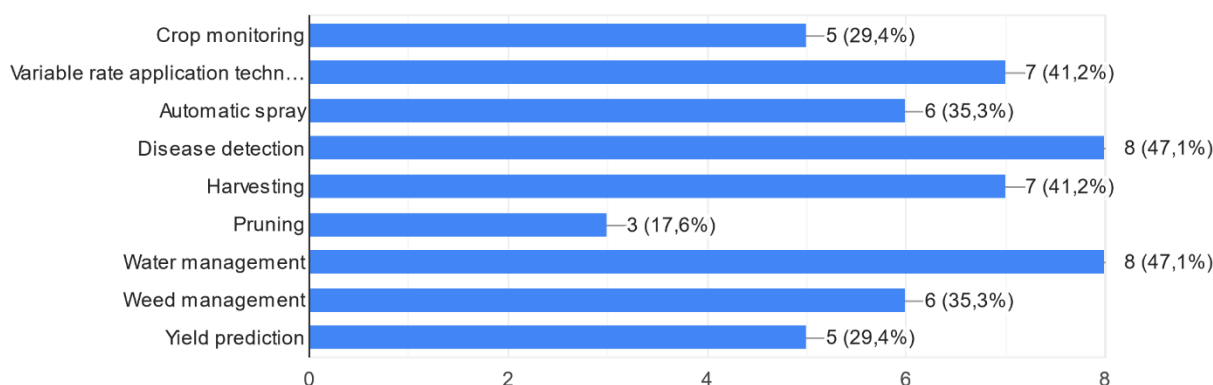


Εικόνα 60: Έκταση καλλιεργειών των πελατών των τεχνολογικών εταιριών

Οι συμμετέχοντες απάντησαν πως οι πελάτες τους έχουν κυρίως μεγάλες γεωργικές εκτάσεις, με το μεγαλύτερο ποσοστό να είναι μεταξύ των 51 και 100 εκταρίων, ενώ ως δεύτερη δημοφιλέστερη απάντηση ακολουθούν τα 201-500 εκτάρια. Η επικράτηση των μεγαλύτερων σε έκταση καλλιεργειών αποτελεί εμπόδιο για την ανάπτυξη έξυπνων τεχνολογιών που σχεδιάζονται βάσει των χαρακτηριστικών που περιλαμβάνουν οι μικρότερες καλλιέργειες. Με τον τρόπο αυτό δυσχεραίνεται η προσπάθεια διάδοσης της γεωργίας ακριβείας, καθώς όπως είδαμε και σε προηγούμενα διαγράμματα της παρούσας έρευνας, οι αγρότες μικρότερων καλλιεργειών αποφεύγουν την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών διότι δεν εφαρμόζουν αποδοτικά σε διαφορετικές απαιτήσεις από αυτές των μεγάλων αγροτικών εκτάσεων.

8. Which are the areas of preference where more applications based on Smart Farming need to be developed in the next years?

17 απαντήσεις

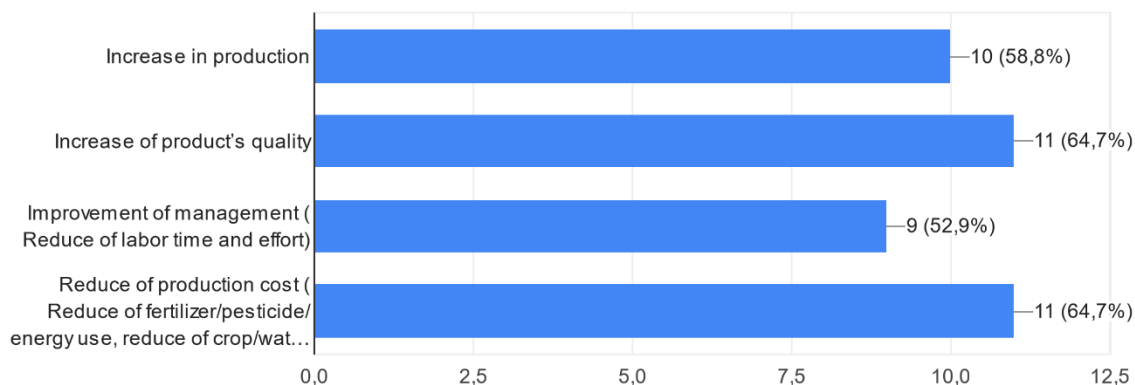


Εικόνα 61: Γεωργικές πρακτικές στις οποίες επικεντρώνονται οι τεχνολογικές εταιρίες κατά την ανάπτυξη της έξυπνης γεωργίας

Στην ερώτηση σχετικά με τις γεωργικές δραστηριότητες για τις οποίες αναπτύσσονται οι περισσότερες τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας, οι συμμετέχοντες έδωσαν ως επικρατέστερη απάντηση την ανίχνευση ασθενειών καθώς και τη διαχείριση του νερού. Η πρώτη δραστηριότητα έρχεται σε ταύτιση με την επικρατέστερη απάντηση που έδωσαν οι αγρότες και οι ερευνητές είτε εφαρμόζουν έξυπνες τεχνολογίες στις καλλιέργειες τους είτε έχουν σκοπό να υιοθετήσουν τις συγκεκριμένες μεθόδους. Η δεύτερη όμως δημοφιλέστερη απάντηση μεταξύ των αγροτών όπως είδαμε και στα προηγούμενα διαγράμματα αποτελεί η διαχείριση της καλλιέργειας, μια πρακτική που παρατηρούμε και στο παραπάνω διάγραμμα πως δεν είναι τόσο δημοφιλής μεταξύ των κατασκευαστών, γεγονός που προκαλεί σύγχυση ανάμεσα στις απαιτήσεις των αγροτών και την προσφορά των τεχνολογικών εταιριών. Γενικότερα παρατηρούμε πως παρόλο που δεν παρουσιάζουν το ίδιο ενδιαφέρον, όλες οι αγροτικές πρακτικές αναπτύσσονται παράλληλα και έτσι οι τεχνολογικές εταιρίες μπορούν να καλύψουν τις διαφορετικές απαιτήσεις των αγροτικών επιχειρήσεων.

9. What are the benefits for rural producers to adopt Smart Farming tools and technologies?

17 απαντήσεις

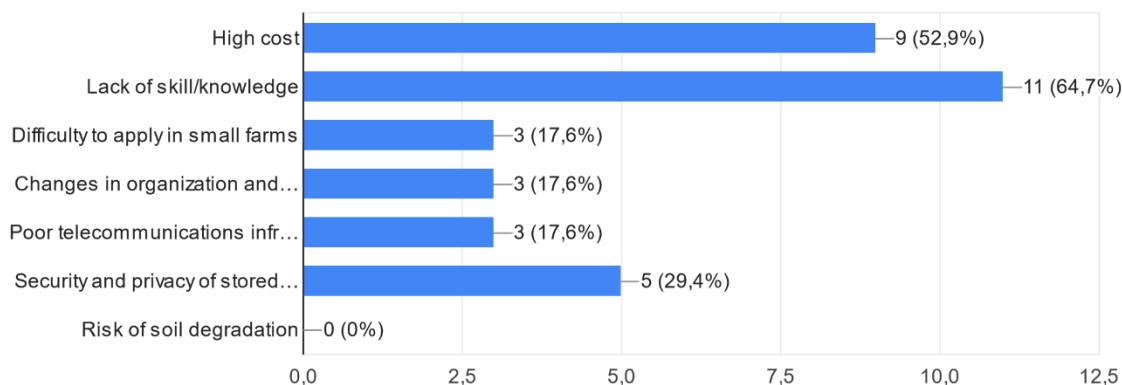


Εικόνα 62: Οφέλη της έξυπνης γεωργίας βάσει των τεχνολογικών εταιριών

Οι υπάλληλοι των τεχνολογικών εταιριών στη ερώτηση για τα οφέλη της έξυπνης γεωργίας, απάντησαν πως τα δύο μεγάλα θετικά στοιχεία που συνοδεύουν αυτές τις τεχνολογίες είναι η αύξηση της παραγωγής και η μείωση του κόστους παραγωγής. Η τελευταία απάντηση έχει δοθεί επίσης από έναν συμμετέχοντα της συζήτησης που πραγματοποιήθηκε από τη SmartRoot, ο οποίος δουλεύει ως μηχανικός λογισμικού σε γεωργικά συστήματα, «Μια ολόενα και πιο υψηλού κινδύνου ανάπτυξη είναι οι ασθένειες και οι υπερβολικές χρήσεις φυτοφαρμάκων, οι οποίες πιστεύω ότι μπορούν επίσης να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μέσω των ψηφιοποιημένων γεωργικών συστημάτων» (RQ1.2). Επίσης παρατηρούμε πως και οι τέσσερις απαντήσεις έχουν σημειώσει μεγάλα ποσοστά από τους συμμετέχοντες, γεγονός που υποδηλώνει τη χρησιμότητα αυτών των τεχνολογιών για τις αγροτικές επιχειρήσεις.

10. What are the barriers for rural producers to adopt Smart Farming tools and technologies?

17 απαντήσεις

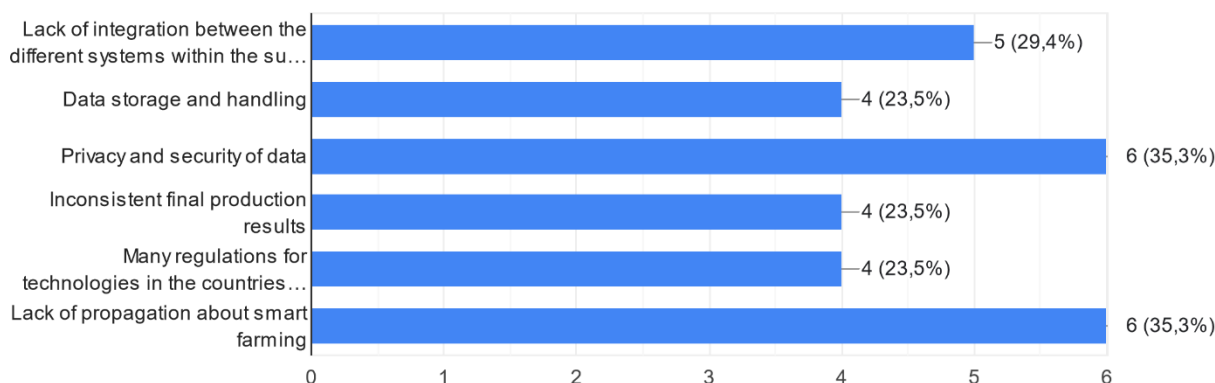


Εικόνα 63: Προκλήσεις για την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας βάσει των τεχνολογικών εταιριών

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως οι λόγοι που ο ρυθμός υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας είναι χαμηλός, είναι το υψηλό κόστος και η έλλειψη των κατάλληλων δεξιοτήτων και γνώσεων για την εφαρμογή των συγκεκριμένων τεχνικών. Επίσης κάποιιοι απάντησαν πως οι αλλαγές που πρέπει να πραγματοποιηθούν τόσο στην οργάνωση όσο και στα ήδη υπάρχοντα τεχνολογικά συστήματα λειτουργεί αποτρεπτικά για την υιοθέτηση της γεωργίας ακροβείας, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από έναν συμμετέχοντα της συζήτησης της SmartRoot, ο οποίος εργάζεται ως μηχανικός λογισμικού σε γεωργικά συστήματα, «*Η κύρια πρόκληση που μπορώ να προσδιορίσω ως μηχανικός που εργάζεται σε αυτόν τον τομέα είναι η διαλειτουργικότητα, η αντιμετώπιση της διαλειτουργικότητας του εξοπλισμού αισθητήρων, κυρίως σε τεχνικό επίπεδο, αλλά ακόμη και σε επίπεδο εφαρμογής για τον τελικό χρήστη, τους αγρότες, όλα είναι εξαιρετικά διαμερισματοποιημένα σε αυτόν τον τομέα. Επίσης λόγω έλλειψης επαρκούς τεχνολογικού και εκπαιδευτικού υποβάθρου, οι αγρότες φοβούνται ότι δεν θα έχουν καλή απόδοση επένδυσης. Πιστεύω λοιπόν ότι όλα εξαρτώνται από την εκπαίδευση, η οποία στη συνέχεια οδηγεί σε ζητήματα χρηματοδότησης, που στη συνέχεια οδηγεί σε τεχνολογικά ζητήματα, τα οποία στη συνέχεια οδηγούν σε ζητήματα αποτελεσματικότητας*» (RQ1.1). Σε αντίθεση με τους αγρότες και τις απαντήσεις που έδωσαν σε αντίστοιχες ερωτήσεις, οι υπάλληλοι των τεχνολογικών εταιριών επισημαίνουν τον κίνδυνο που αφορά τα αποθηκευμένα δεδομένα και πιο συγκεκριμένα την ιδιωτικότητα και ασφάλεια τους. Αυτό σημαίνει πως οι αγρότες δεν γνωρίζουν τους κινδύνους που ελλοχεύουν γύρω από το συγκεκριμένο ζήτημα, κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη ενημέρωσης τους ως προς τη λειτουργία των έξυπνων τεχνολογιών.

11. What are the barriers to the development and commercialization of the Smart Farming technologies?

17 απαντήσεις

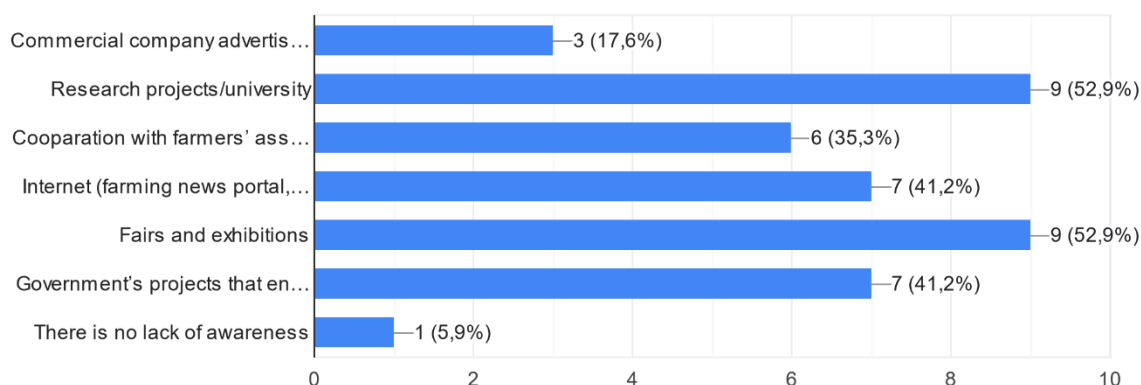


Εικόνα 64: Προκλήσεις κατά την ανάπτυξη της έξυπνης γεωργίας

Κατά την ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση της γεωργίας ακριβείας, οι υπάλληλοι των τεχνολογικών εταιριών έχουν διαπιστώσει πως τα προβλήματα που εμφανίζονται αφορούν κυρίως τη διάδοση των έξυπνων τεχνολογιών καθώς επίσης και η ιδιωτικότητα και ασφάλεια των δεδομένων, ενώ ζητήματα που αφορούν άμεσα τα μηχανήματα όπως η ενσωμάτωση διαφορετικών συστημάτων, η αποθήκευση πολλών δεδομένων και τα ασυνεπή αποτελέσματα δεν έχουν σημειώσει υψηλά ποσοστά, κάτι το οποίο δείχνει πως οι εταιρίες έχουν αντιμετωπίσει σε μεγάλο βαθμό αυτά τα προβλήματα. Η ασφάλεια των δεδομένων είναι σημαντικό πρόβλημα, η λύση του οποίου δεν φαίνεται να έχει βρεθεί από τις τεχνολογικές εταιρίες. Παράλληλα όμως αποτελεί ένα ζήτημα που δεν απασχολεί τους αγρότες, οι οποίοι επικεντρώνονται στο οικονομικό κόστος που επιφέρουν οι νέες τεχνολογίες στις επιχειρήσεις τους καθώς και στην αποδοτικότητά τους στην βελτίωση της παραγωγής.

12. Do you think there is a lack of awareness program between the farmers in embracing any technology? If yes, how it can be improved from the present system?

17 απαντήσεις



Εικόνα 65: Έλλειψη ενημερωτικών προγραμμάτων σχετικά με την έξυπνη γεωργία

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως οι υπάλληλοι των τεχνολογικών εταιριών θεωρούν πως προκειμένου η γεωργία ακριβείας να γίνει πιο γνωστή στον πρωτογενή τομέα, είναι σημαντική η συμβολή των ερευνητικών ομάδων, των πανεπιστημίων καθώς και των εκθέσεων. Τις ίδιες προτάσεις είδαμε και παραπάνω από την πλευρά των ερευνητών και των αγροτών. Επίσης το διαδίκτυο και τα κυβερνητικά προγράμματα μπορούν να βοηθήσουν στην εξάπλωση των έξυπνων τεχνολογιών ενώ για άλλη μια φορά παρατηρούμε το χαμηλό ποσοστό των διαφημίσεων των εμπορικών προϊόντων. Βάσει τα λεγόμενα ενός συμμετέχοντα της συζήτησης που πραγματοποίησε η SmartRoot, ο οποίος εργάζεται ως μηχανικός λογισμικού σε γεωργικά συστήματα, οι φορείς που πρέπει να συμβάλλουν στη διάδοση της γεωργίας ακριβείας είναι η κυβέρνηση και οι τοπικές αρχές. Πιο συγκεκριμένα: «Ο κύριος λόγος πίσω από την καθυστέρηση της υιοθέτησης έξυπνων τεχνολογιών είναι η έλλειψη επαρκούς κατανομής κεφαλαίων από τις κυβερνήσεις και τις τοπικές αρχές. Πιστεύω λοιπόν ότι εάν οι ίδιοι οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων ήταν περισσότερο εκπαιδευμένοι σε αυτόν τον τομέα και είχαν μεγαλύτερη επίγνωση των πιθανών συνεισφορών και του θετικού αντικτύπου των έξυπνων τεχνολογιών σε αυτόν τον τομέα, η κατανομή κεφαλαίων θα ήταν πολύ πιο αποτελεσματική» (RQ1.3).

5.3 Συμπεράσματα έρευνας

Τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας προέρχονται από την ανάλυση των απαντήσεων που έδωσαν οι συμμετέχοντες του διαδικτυακού σεμιναρίου της ερευνητικής

ομάδας SmartRoot, από τις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκειά του. Επίσης συμπεριλαμβάνεται η ανάλυση των απαντήσεων που προέρχονται από το ερωτηματολόγιο.

5.3.1 Συμπεράσματα των συνεντεύξεων των συμμετεχόντων του SmartRoot

Εμπόδια κατά τη χρήση έξυπνων τεχνικών στις καλλιέργειες (RQ1.1): Τα εμπόδια τα οποία δυσκολεύουν τη χρήση των τεχνικών της γεωργίας ακριβείας ή αποτρέπουν την υιοθέτηση τους από τους αγρότες, είναι η διαλειτουργικότητα μεταξύ των έξυπνων συσκευών όπως ο εξοπλισμός των αισθητήρων. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται τόσο σε τεχνικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο εφαρμογής. Μια ακόμη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα, βάσει των συμμετεχόντων, είναι η τεχνολογική αδράνεια στον τομέα της γεωργίας, η οποία οδηγεί στους χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης της γεωργίας ακριβείας.

Γεωργικές πρακτικές που μπορούν να βελτιωθούν με τη χρήση των πρακτικών της γεωργίας ακριβείας (RQ1.2): Στη συγκεκριμένη ερώτηση οι συμμετέχοντες υπογράμμισαν την αξία της γεωργίας ακριβείας και τη σημαντική συμβολή της στη βελτίωση του πρωτογενή τομέα. Πιο αναλυτικά, οι συμμετέχοντες αναφέρθηκαν στη χρήση ψηφιακών απεικονίσεων των καλλιεργειών προκειμένου να δώσουν στους αγρότες μια πλήρη εικόνα της κατάστασης των αγροτικών εκτάσεων. Έτσι γίνονται γνωστά τα σημεία όπου παρουσιάζονται προβλήματα άρδευσης, εμφάνισης παρασιτικών λοιμώξεων και μυκητιάσεων. Οι ψηφιακές τεχνολογίες επιτρέπουν την παρακολούθηση των καλλιεργειών εβδομαδιαία, καθημερινά, ωριαία, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την ποιότητα της παραγωγής, καθώς οι περιοχές διαφοροποιούνται βάσει της υγείας των φυτών. Εκτός όμως από την υγεία των φυτών, οι αγρότες με την εφαρμογή της έξυπνης γεωργίας μπορούν να παρακολουθούν τον εξοπλισμό άρδευσης, διευκολύνοντας έτσι την παράλληλη διαχείριση πολλαπλών αρδευτικών σημείων, που αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία, ειδικά για τους αγρότες που έχουν μεγάλη σοδειά διάσπαρτη σε διαφορετικές περιοχές. Επίσης αναφέρθηκε πως οι έξυπνες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους αγρότες πριν ξεκινήσει ο κύκλος βλάστησης, προκειμένου να έχουν πρόσβαση στην κατάσταση του εδάφους καθώς και στην ακρίβεια της ροής του νερού, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την ποιότητα των προϊόντων και την παραγωγικότητα. Όλες οι προαναφερόμενες πληροφορίες χρησιμοποιούνται επίσης στη διαδικασία εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Η καλύτερη διαχείριση αυτών των ουσιών συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε χημικό και φυσικό επίπεδο.

Λόγοι που οδηγούν στο χαμηλό ρυθμό εφαρμογής έξυπνων τεχνολογιών (RQ1.3): Οι λόγοι που ευθύνονται για τον χαμηλό ρυθμό υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας προέρχονται και από τους αγρότες αλλά και από τους φορείς χάραξης πολιτικών. Πιο αναλυτικά, οι φορείς

χάραξης πολιτικών δεν έχουν τις απαραίτητες γνώσεις ώστε να κατανοήσουν τη σημασία της εφαρμογής των έξυπνων πρακτικών στον πρωτογενή τομέα, κι έτσι υπάρχει έλλειψη επαρκούς κατανομής κεφαλαίων από τις κυβερνήσεις και τις τοπικές αρχές για τέτοιου είδους πρακτικές. Επίσης η αδράνεια που επικρατεί στο τεχνολογικό κομμάτι αποτρέπει τους αγρότες να υιοθετήσουν τις τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας, οι οποίοι λόγω έλλειψης επαρκούς τεχνολογικού και εκπαιδευτικού υποβάθρου, φοβούνται ότι δε θα έχουν καλή απόδοση της συγκεκριμένης επένδυσης. Ένας ακόμα λόγος στον οποίο οφείλεται η αποχή των καλλιεργητών από τις έξυπνες τεχνολογίες είναι η πολυπλοκότητα των νέων ψηφιακών συστημάτων που εκτελούν πολλές διαφορετικές εργασίες ταυτόχρονα, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα διαχείρισης. Επίσης το υψηλό κόστος του νέου εξοπλισμού σε συνδυασμό με την έλλειψη των κατάλληλων ενημερωτικών προγραμμάτων από την πλευρά των κυβερνήσεων λειτουργούν αποτρεπτικά στην εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας από τους αγρότες. Μάλιστα η σημασία της συμβολής των κυβερνήσεων τονίστηκε από έναν συμμετέχοντα, ο οποίος αναφέρθηκε στο παράδειγμα της Ισπανίας όπου τόσο η κυβέρνηση όσο και οι τοπικές αρχές προτρέπουν, μέσω των κατάλληλων προγραμμάτων ενίσχυσης της έξυπνης γεωργίας την υιοθέτηση της από τους αγρότες.

Τρόποι ανταλλαγής γνώσεων σχετικά με τον πρωτογενή τομέα μεταξύ των διάφορων φορέων (RQ2.1): Οι συμμετέχοντες αρχικά αναφέρθηκαν στον εναρμονισμό των σχέσεων όλων των ενδιαφερομένων όπως αγρότες, συμβούλους από συμβουλευτικούς φορείς, εμπειρογνώμονες από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, παραγωγούς εξοπλισμού, υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, κ.λπ. Η ανταλλαγή γνώσεων σχετικά με τον πρωτογενή τομέα μπορεί να επιτευχθεί μέσα από διάφορες διαδικασίες όπως: σεμινάρια αγροτικών σχολείων, εργαστήρια που διοργανώνονται από συμβουλευτικούς φορείς, διάφορα ερευνητικά κέντρα, εκδρομές εκπαιδευτικού περιεχομένου, επισκέψεις σε αγροκτήματα. Επίσης σημαντικό ρόλο μπορεί να έχει το διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα το εκπαιδευτικό υλικό που διατίθεται σε αυτό. Ένας άλλος τρόπος που χρησιμοποιούν οι αγρότες για την κατάρτιση τους στις τεχνολογικές εξελίξεις είναι η συνεργασία τους με συνεταιρισμούς και με την ένωση των παραγωγών. Μια ακόμα πρόταση για τη βελτίωση της ανταλλαγής γνώσεων είναι η ανάπτυξη ενός κεντρικού κόμβου, όπου ειδικοί από όλο τον κόσμο μπορούν να συμμετέχουν και να μοιράζονται γνώσεις σχετικά με τα έξυπνα συστήματα γεωργίας, ενώ παράλληλα θα μπορούν να συμμετέχουν σε ανοιχτές συζητήσεις ή φόρουμ. Επιπλέον, η διοργάνωση ανοιχτών εκδηλώσεων, όπως είναι το SmartRoot, όπου ειδικοί από όλο τον κόσμο μπορούν να συμμετέχουμε σε συζητήσεις, ανταλλάσσοντας έτσι γνώσεις σχετικά με τους τρόπους εφαρμογής των έξυπνων τεχνολογιών στη γεωργία.

Βελτιώσεις που πραγματοποιούνται στην αγορά με την ανταλλαγή γνώσεων (RQ2.2): Με τη βελτίωση της ανταλλαγής γνώσεων, η αγορά μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά. Με τις αποδοτικές γεωργικές πρακτικές να κοινοποιούνται ταχύτερα στην κοινότητα των ειδικών, η αγορά θα αναπτυχθεί σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, οι παραγωγοί μπορούν να προσφέρουν αναγνωρίσιμα προϊόντα υψηλής ποιότητας, επώνυμα προϊόντα κ.λπ., εξασφαλίζοντας μεγαλύτερα έσοδα και μια πιο κερδοφόρα παραγωγή. Με τον τρόπο αυτό οι αγρότες μπορούν να είναι πιο ανταγωνιστικοί στις αγορές.

Μειονεκτήματα χρήσης μιας διαδικτυακής πλατφόρμας ανταλλαγής γνώσεων (RQ2.3): Στη συγκεκριμένη ερώτηση οι συμμετέχοντες επικεντρώθηκαν στους νέους που μπορούν να ασχοληθούν μελλοντικά με τη γεωργία και την προσφορά προοπτικών στις μικρότερες ηλικιακές ομάδες. Πολλοί νέοι αναζητούν ευκαιρίες σε άλλους εργασιακούς τομείς με αποτέλεσμα ο μέσος όρος των αγροτών να αυξάνεται διαρκώς, ενώ παράλληλα πολλά χωριά είναι πρακτικά άδεια χωρίς δραστηριότητες και ανεκμετάλλευτες γεωργικές εκτάσεις. Με την παρότρυνση των νέων στην ενασχόληση τους με τον πρωτογενή τομέα, μπορούν να διατηρηθούν οι αγροτικές περιοχές και να αυξηθεί η ανταλλαγή γνώσεων σχετικά με τα έξυπνα συστήματα της γεωργίας. Επίσης μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανταλλαγή γνώσεων είναι η ενσωμάτωση της γνώσης στις υπάρχουσες διαδικασίες και τα συστήματα πληροφοριών, καθώς επίσης η προσπάθεια των ανθρώπων να συμμορφωθούν με τις νέες πρακτικές και διαδικασίες. Τέλος, είναι πολύ σημαντική η ομαλή και αποτελεσματική μετάβαση από τις παραδοσιακές στις νέες μεθόδους.

Γεωργικές πρακτικές όπου μπορούν να εφαρμοστούν συσκευές του διαδικτύου πραγμάτων (RQ3.1): Βάσει των απαντήσεων των συμμετεχόντων οι καλλιέργειες με την εφαρμογή των έξυπνων τεχνολογιών έχουν τη δυνατότητα να βελτιωθούν. Με τη χρήση έξυπνων συσκευών του διαδικτύου των πραγμάτων, επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της κατάστασης του εδάφους σε πραγματικό χρόνο και ο διαχωρισμός των επιβλαβών από των χρήσιμων μικροοργανισμών, όπως οι μύκητες και τα παθογόνα βακτήρια. Έτσι οι αγρότες διαχειρίζονται καλύτερα τις καλλιέργειες τους, καθώς η εφαρμογή λιπασμάτων και άλλων προϊόντων προστασίας πραγματοποιείται μόνο όταν απαιτείται από την κατάσταση της καλλιέργειας, βελτιώνοντας έτσι τη χρήση αυτών των ουσιών και κατ' επέκταση την συνολική απόδοση της καλλιέργειας. Το διαδίκτυο των πραγμάτων μπορεί να συμβάλει επίσης στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες πληροφορίες όπως οι προβλέψεις του καιρού, η καταγραφή ημερολογίου σχετικά με την κατάσταση του εδάφους κ.λπ. Επίσης μειώνεται το κόστος παραγωγής, ο χρόνος που απαιτείται για την καλλιέργεια των φυτών καθώς και τα ανθρώπινα λάθη στις διάφορες γεωργικές

δραστηριότητες. Η εφαρμογή των συσκευών του διαδικτύου πραγμάτων προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης, από τη διαδικασία έναρξης της παραγωγής μέχρι να βρεθεί στο τραπέζι του καταναλωτή.

Ο ρόλος της τοπικής προσαρμογής λογισμικού για την καλύτερη εφαρμογή των έξυπνων τεχνολογιών (RQ3.2): Η τοπική προσαρμογή του λογισμικού μπορεί να παρέχει στους αγρότες βέλτιστες πρακτικές για τις καλλιέργειες τους στην τοπική τους γλώσσα, κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό καθώς δεν είναι όλοι εξοικειωμένοι με τα αγγλικά.

Απαιτούμενες δεξιότητες για την επιτυχημένη εφαρμογή των τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας (RQ3.3): Οι συμμετέχοντες στην ερώτηση σχετικά με τις δεξιότητες που πρέπει να έχει κάποιος αγρότης, προκειμένου να εφαρμόσει τις έξυπνες τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας με επιτυχία στις καλλιέργειες του είναι οι εξής: διάθεση για χρήση του διαδικτύου και του υπολογιστή, επιθυμία για πρόοδο και ένταξη των ψηφιακών διαδικασιών στη γεωργία, απόκτηση νέων γνώσεων, περισσότερη οργάνωση, χαμηλότερη κατανάλωση χρόνου και επιθυμία για εξοικονόμηση χρημάτων και χρησιμοποίηση χαμηλότερης ενέργειας για μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

5.3.2 Συμπεράσματα της στατιστικής ανάλυσης του ερωτηματολογίου

Εν κατακλείδι, από την παρούσα έρευνα προκύπτουν τα συμπεράσματα πως ένα μεγάλο μέρος των ατόμων που εργάζονται στον πρωτογενή τομέα ανήκουν στην ηλικιακή ομάδα των 25-44 και είναι απόφοιτη πανεπιστημίου, κάτι το οποίο λειτουργεί θετικά για την ανάπτυξη και υιοθέτηση της γεωργία ακριβείας, καθώς τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά θέτουν τις κατάλληλες βάσεις τόσο σε γνωσιακό επίπεδο αλλά όσο και στο ζήτημα της σωστής νοοτροπίας σχετικά με την ενσωμάτωση νέων τεχνικών στις επιχειρήσεις και στις καλλιέργειες. Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό των συμμετεχόντων είναι αγρότες, ενώ δεν υπήρξε καμία συμμετοχή από το χώρο των τεχνολογικών εταιριών, γεγονός που δείχνει την έλλειψη που υπάρχει στο συγκεκριμένο τομέα στην Ελλάδα, σε αντίθεση με την υπόλοιπη Ευρώπη που φαίνεται να βρίσκεται σε πολύ καλό σημείο σχετικά με την ανάπτυξη έξυπνων τεχνολογιών. Επίσης η απάντηση που επικράτησε στην ερώτηση που αφορούσε την έκταση των καλλιεργειών, είναι τα 11-50 εκτάρια, κάτι το οποίο είναι αισιόδοξο για την έξυπνη γεωργία, καθώς οι καλλιέργειες μεγάλων εκτάσεων έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις οι οποίες μπορούν να καλυφθούν μέσω των έξυπνων πρακτικών. Σχετικά με το εάν οι συμμετέχοντες υιοθετούν την γεωργία ακριβείας στις επιχειρήσεις τους ή όχι, στην Ελλάδα οι περισσότεροι απάντησαν πως δεν υιοθετούν τις συγκεκριμένες τεχνικές, σε αντίθεση με την υπόλοιπη Ευρώπη που ένας στους δύο χρησιμοποιεί στις καλλιέργειες του τις έξυπνες τεχνολογίες. Μάλιστα ένα πολύ μεγάλο

ποσοστό όσων εφαρμόζουν την έξυπνη γεωργία, είναι διατεθειμένο να επεκτείνει τη χρήση των συγκεκριμένων τεχνικών μελλοντικά, γεγονός που αποδεικνύει τα οφέλη που προσφέρει έξυπνη γεωργία και η βελτίωση που επιτυγχάνεται στον πρωτογενή τομέα. Πιο συγκεκριμένα οι χρήστες των έξυπνων τεχνολογιών απάντησαν πως έχουν παρατηρήσει αύξηση της ποιότητας των προϊόντων τους ενώ παράλληλα έχει μειωθεί το κόστος τα παραγωγής. Οι προκλήσεις που εμφανίζονται τόσο στους αγρότες που εφαρμόζουν τις έξυπνες τεχνολογίες στις καλλιέργειες τους όσο και στους αγρότες που σκέφτονται να υιοθετήσουν την γεωργία ακριβείας, είναι ως επί τον πλείστον το υψηλό κόστος αυτών των τεχνολογιών αλλά και οι έλλειψη των κατάλληλων γνώσεων για την πλήρη εκμετάλλευση τους. Επίσης οι πιο δημοφιλείς τεχνολογίες για την συγκέντρωση και επεξεργασία των πληροφοριών που προέρχονται από τις γεωργικές καλλιέργειες είναι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, το σύστημα λήψης αποφάσεων και η μηχανική μάθηση, τέσσερις τεχνολογίες οι οποίες είναι αλληλένδετες και η μεταξύ τους συνεργασία προσφέρει πολλούς αυτοματισμούς σε διάφορες γεωργικές δραστηριότητες, όπως η διαχείριση της καλλιέργειας και του νερού, διευκολύνοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό τους αγρότες. Πολύ σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από την έρευνα είναι επίσης το γεγονός πως ένα μεγάλο ποσοστό των αγροτών που δεν εφαρμόζουν την έξυπνη γεωργία είναι διατεθειμένοι μελλοντικά να υιοθετήσουν αυτές τις τεχνικές. Επιπλέον οι περισσότεροι συμμετέχοντες απάντησαν πως ενημερώνονται για τις τεχνολογικές εξελίξεις που αφορούν τον πρωτογενή τομέα μέσω του διαδικτύου και των πανεπιστημίων καθώς και των ερευνητικών τους ομάδων, ενώ ένα μέρος των αγροτών που δεν υιοθετούν την γεωργία ακριβείας ενημερώνονται από τους αγροτικούς συλλόγους. Για την εφαρμογή των έξυπνων τεχνολογιών οι αγρότες συνεργάζονται με τα πανεπιστήμια, τα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του κράτους καθώς και αγροτεχνολογικές εταιρίες. Οι συμμετέχοντες που δήλωσαν πως εργάζονται σε κάποια τεχνολογική εταιρία, απάντησαν πως οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν κατά την ανάπτυξη των έξυπνων τεχνολογιών είναι κυρίως η ιδιωτικότητα και η ασφάλεια των δεδομένων, κάτι ο οποίο δεν αναφέρθηκε καθόλου από τους αγρότες και τους ερευνητές γεγονός που δηλώνει την άγνοια τους για το συγκεκριμένο σημαντικό θέμα. Άλλη μια πρόκληση που αντιμετωπίζουν είναι η έλλειψη διάδοσης της γεωργίας ακριβείας, στο οποίο συμπλήρωσαν πως τα πανεπιστήμια και οι εκθέσεις μπορούν να συμβάλλουν στη διάδοση των έξυπνων τεχνολογιών.

Κεφάλαιο 6 – Βιβλιογραφία

1. Agricultural technology, https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Agricultural_technology, (τελευταία πρόσβαση 30.4.2021)
2. Agricultural technology, https://en.wikipedia.org/wiki/Agricultural_technology, (τελευταία πρόσβαση 15.9.2022)
3. R. Patel, The Long Green Revolution, The Journal of Peasant Studies, τομ. 40(1), pp, 1-63, 2013, <https://doi.org/10.1080/03066150.2012.719224>
4. Green Revolution, https://en.wikipedia.org/wiki/Green_Revolution (τελευταία πρόσβαση 26.9.2022)
5. F. J. Pierce, P. Nowak, Aspects of Precision Agriculture, Advances in Agronomy, τομ. 67, pp 1-85, 1999, [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)
6. H. S. Pathak, P. Brown, T. Best, A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process, Precision Agriculture, τομ. 20, pp 1292–1316, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x>
7. R. R. Shamshiri, C. Weltzien, I. A. Hameed, I. J. Yule, T. E. Grift, S. K. Balasundram, L. Pitonakova, D. Ahmad, G. Chowdhary, Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming, International Journal of Agricultural and Biological Engineering, τομ. 11(4), pp 1-14, 2018, <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>
8. The History of Precision Agriculture | When did precision farming start?, <https://agriculture.trimble.com/blog/the-history-of-precision-agriculture-when-did-precision-farming-start/> (τελευταία πρόσβαση 28.6.2021)
9. J. Lowenberg-DeBoer, B. Erickson, Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption, Agronomy Journal, τομ.111(4), pp 1552-1569, 2019, <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>.
10. Precision agriculture, https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_agriculture (τελευταία πρόσβαση 29.8.2022)
11. K.D. Aggelopoulou, D. Wulfsohn, S. Fountas, T. A. Gemtos, G. D. Nanos, S. Blackmore, Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard, Precision Agriculture τομ. 11, pp 538–556, 2010, <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9146-9>

12. A.D. Aggelopoulou, D. Bochtis, S. Fountas, K. C. Swain, T. A. Gemtos, G. D. Nanos, Yield prediction in apple orchards based on image processing, *Precision Agriculture*, τμ. 12, pp 448–456, 2011, <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9187-0>
13. Farmers' typology on precision agriculture adoption: Evidence from Greece, <http://sparkle-project.eu/farmers-typology-on-precision-agriculture-adoption-evidence-from-greece/> (τελευταία πρόσβαση 30.5.2018)
14. C. Daheim, K. Poppe, R. Schrijver, Precision agriculture and the future of farming in Europe, 2016, <https://doi.org/10.2861/020809>
15. Project SMART-AKIS (European Agricultural Knowledge and Innovation Systems (AKIS) towards innovation-driven research in Smart Farming Technology), <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/news/smart-farming-thematic-network>
16. Project Internet of Food and Farm 2020, <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/projects/internet-food-and-farm-2020>
17. Project NEXTFOOD, <https://www.nextfood-project.eu/about-2/>
18. Project TERRATECH (masTERs course on smARt Agriculture TECHnologies), <https://www.terratechmsc.eu/project/aims-objectives/>
19. Project SmartAgriHubs, <https://www.smartagrihubs.eu/about>
20. Project SmartROOT (Smart faRming innOvatiOn Training), <https://smartroot.eu/project/>
21. Project AGREEN (Cross-Border Alliance for Climate-Smart and Green Agriculture in the Black Sea Basin), <https://agreen-project.eu/el/about-the-project-el/>
22. Project PANtHEOn (Precision Farming of Hazelnut Orchards), <https://pantheonproject.eu/>
23. Project DataBio (Data-driven Bioeconomy), <https://www.databio.eu/el/>
24. Project AFarCloud (Aggregate Farming in the Cloud), <https://cordis.europa.eu/project/id/783221>
25. Project EURAKNOS, <https://euraknos.eu/about>
26. Project ROMI (RObotics for MIcrofarms), <https://romi-project.eu/about>
27. Project GATES (Applying GAMing TEchnologies for training professionals in Smart Farming), <https://www.gates-game.eu/en/project/overview>
28. Project ECHORD++ (European Coordination Hub for Open Robotics Development), <https://echord.eu/the-mission-from-lab-to-market/index.php.html>
29. S. Shams, S. H. S. Newaz, R. R. Karri, Information and Communication Technology for Small-Scale Farmers: Challenges and Opportunities, *Smart Village Technology*, τμ. 17, pp 159–179, 2020, https://doi.org/10.1007/978-3-030-37794-6_8

30. D. Pivoto, P. D. Waquil, E. Talamini, C. P. S. Finocchio, V. F. Dalla, C. G. de Vargas Mores, Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil, *Information Processing in Agriculture*, τμ. 5(1), pp 21-32, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>
31. Y. S. Tey, M. Brindal, Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications, *Precision Agriculture*, τμ. 13, pp 713–730, 2012, <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9273-6>
32. J. H. Chuang, J. H. Wang, Y. C. Liou, Farmers’ Knowledge, Attitude, and Adoption of Smart Agriculture Technology in Taiwan, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, τμ. 17(19), pp 7236, 2020, <https://doi.org/10.3390/ijerph17197236>
33. C. Eastwood, L. Klerkx, M. Ayre, B. Dela Rue, Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation, *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, τμ. 32, pp 741-768, 2019, <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>
34. M. Kernecker, A. Knierim, A. Wurbs, T. Kraus, F. Borges, Experience versus expectation: farmers’ perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe, *Precision Agriculture*, τμ. 21, pp 34–50, 2020, <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09651-z>
35. Information technology, https://en.wikipedia.org/wiki/Information_technology (τελευταία πρόσβαση 1.10.2022)
36. S. Cox, Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability, *Computers and Electronics in Agriculture*, τμ. 36(2-3), pp 93-111, 2002, [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00095-9)
37. A. T. Balafoutis, K. Van Evert, S. Fountas, Smart Farming Technology Trends: Economic and Environmental Effects, Labor Impact, and Adoption Readiness, *Agronomy*, τμ. 10(5), pp 743, 2020, <https://doi.org/10.3390/agronomy10050743>
38. H. S. Abdullahi, F. Mahieddine, R. E. Sheriff, Technology Impact on Agricultural Productivity: A Review of Precision Agriculture Using Unmanned Aerial Vehicles, Wireless and Satellite Systems, τμ. 7, pp 388–400, 2015, https://doi.org/10.1007/978-3-319-25479-1_29
39. K. M. Lind, S. M. Pedersen, Perspectives of Precision Agriculture in a Broader Policy Context, *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*, pp 251–266, 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5_12

40. R. Kumar, D. Sinwar, A. Pandey, T. Tadele, V. Singh, G. Raghuwanshi, IoT Enabled Technologies in Smart Farming and Challenges for Adoption, Internet of Things and Analytics for Agriculture, τoμ. 3, pp 141–164, 2021, https://doi.org/10.1007/978-981-16-6210-2_7
41. S. A. O'Shaughnessy, M. Kim, S. Lee, Y. Kim, H. Kim, J. Shekailo, Towards smart farming solutions in the U.S. and South Korea: A comparison of the current status, Geography and Sustainability, τoμ. 2(4), pp 312-327, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.002>
42. P. Radoglou-Grammatikis, P. Sarigiannidis, T. Lagkas, I. Moscholios, A compilation of UAV applications for precision agriculture, Computer Networks, τoμ. 172, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>
43. D. Tsouros, S. Bibi, P. Sarigiannidis, A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture, Information, τoμ. 10(11), pp 349, 2019, <https://doi.org/10.3390/info10110349>
44. J. del Cerro, C. Cruz Ulloa, A. Barrientos, J. de León Rivas, Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Survey, Agronomy, τoμ. 11(2), pp 203, 2021, <https://doi.org/10.3390/agronomy11020203>
45. N. Delavarpour, C. Koparan, J. Nowatzki, S. Bajwa, X. Sun, A Technical Study on UAV Characteristics for Precision Agriculture Applications and Associated Practical Challenges, Remote Sens., τoμ. 13(6), pp 1204, 2021, <https://doi.org/10.3390/rs13061204>
46. A. Bechara, C. Vigneault, Agricultural robots for field operations: Concepts and components, Biosystems Engineering, τoμ. 149, pp 94-111, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014>
47. K. R. Aravind, P. Raja, M. Pérez-Ruiz, Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review, Spanish Journal of Agricultural Research, τoμ. 15(1), 2017, <https://doi.org/10.5424/sjar/2017151-9573>
48. J. De Baerdemaeker, Precision Agriculture Technology and Robotics for Good Agricultural Practices, IFAC Proceedings Volumes, τoμ. 46(4), pp 1-4, 2013, <https://doi.org/10.3182/20130327-3-JP-3017.00003>
49. D. Thakur, Y. Kumar, A. Kumar, P. K. Singh, Applicability of Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture: A Review, Wireless Personal Communications, τoμ. 107, pp 471–512, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06285-2>

50. H. M. Jawad, R. Nordin, S. K. Gharghan, A. M. Jawad, M. Ismail, Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review, *Sensors*, τoμ. 17(8), pp 1781, 2017, <https://doi.org/10.3390/s17081781>
51. A. D. Boursianis, M. S. Papadopoulou, P. Diamantoulakis, A. Liopa-Tsakalidi, P. Barouchas, G. Salahas, G. Karagiannidis, S. Wan, S. K. Goudos, Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review, *Internet of Things*, τoμ. 18, pp 100187, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>
52. T. Ojha, S. Misraa, N. S. Raghuwanshi, Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges, *Computers and Electronics in Agriculture*, τoμ. 118, pp 66-84, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>
53. A. Abdollahi, K. Rejeb, A. Rejeb, M. M. Mostafa, S. Zailani, Wireless Sensor Networks in Agriculture: Insights from Bibliometric Analysis, *Sustainability*, τoμ. 13(21), pp 12011, 2021, <https://doi.org/10.3390/su132112011>
54. A. Rehman, A. Z. Abbasi, N. Islam, Z. A. Shaikh, A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture, *Computer Standards & Interfaces*, τoμ. 36(2), pp 263-270, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>
55. K. Bhargava, A. Kashyap, T. A. Gonsalves, Wireless Sensor Network Based Advisory System for Apple Scab Prevention, 2014 Twentieth National Conference on Communications (NCC), 2014, <https://doi.org/10.1109/NCC.2014.6811263>
56. E. Navarro, N. Costa, A. Pereira, A Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming, *Sensors*, τoμ. 20(15), pp 4231, 2020, <https://doi.org/10.3390/s20154231>
57. E. S. Mohameda, A. A. Belal, S. K. Abd-Elmabod, M. A. El-Shirbeny, A. Gad, M. B. Zahran, Smart farming for improving agricultural management, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, τoμ. 24(3), pp 971-981, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>
58. M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, T. Umer, Y. B. Zikria, Role of IoT Technology in Agriculture: A Systematic Literature Review, *Electronics*, τoμ. 9(2), pp 319, 2020, <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>
59. J. M. Talavera, L. E. Tobón, J. A. Gómez, M. A. Culman, J. M. Aranda, D. T. Parra, L. A. Quiroz, A. Hoyos, L. E. Garreta, Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields, *Computers and Electronics in Agriculture*, τoμ. 142, pp 283-297, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>

60. Z. Zhai, J. F. Martínez, V. Beltran, N. L. Martínez, Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges, *Computers and Electronics in Agriculture*, τμ. 170, pp 105256, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
61. S. A. Mir, S.M.K. Quadri, Decision Support Systems: Concepts, Progress and Issues – A Review, *Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms (Sustainable Agriculture Reviews)*, τμ. 2, 2009, https://doi.org/10.1007/978-90-481-2716-0_13
62. V. K. Patkar, T. P. Singh, A Comprehensive Study of Application of Decision Support System in Agriculture in Indian Context, *International Journal of Computer Applications* τμ. 63(14), pp 6-11, 2013, <https://doi.org/10.5120/10532-5515>
63. K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, D. Bochtis, Machine Learning in Agriculture: A Review, *Sensors*, τμ. 18(8), pp 2674, 2018, <https://doi.org/10.3390/s18082674>
64. A. Chlingaryan, S. Sukkarieh, B. Whelan, Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review, *Computers and Electronics in Agriculture*, τμ. 151, pp 61-69, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012>
65. P. Maduranga, R. Abeysekera, MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN IOT BASED AGRICULTURE AND SMART FARMING: A REVIEW, *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, τμ. 4(12), pp 24-27, 2020, <https://doi.org/10.33564/IJEAST.2020.v04i12.004>
66. M. R. Puská-Chulde, F. A. Salazar-Fierro, L. Sandoval-Pillajo, E. P. Herrera-Granda, I. D. García-Santillán, A. De Giusti, Image Analysis Based on Heterogeneous Architectures for Precision Agriculture: A Systematic Literature Review, *Advances and Applications in Computer Science, Electronics and Industrial Engineering*, τμ. 1078, pp 51-70, 2020, https://doi.org/10.1007/978-3-030-33614-1_4
67. U. Shafí, R. Mumtaz, J. García-Nieto, S. A. Hassan, A. R. Zaidi, N. Iqbal, Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications, *Sensors*, τμ. 19(17), pp 3796, 2019, <https://doi.org/10.3390/s19173796>
68. K. Prakash, P. Saravanamoorthi, R. Sathishkumar, R. M. Parimala, A Study of Image Processing in Agriculture, *Image Processing*, 2017
69. R. P. Sishodia, R. L. Ray, S. K. Singh, Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review, *Remote Sens.*, τμ. 12(19), pp 3136, 2020, <https://doi.org/10.3390/rs12193136>

70. N. Xu, Image Processing Technology in Agriculture, Journal of Physics: Conference Series, τμ. 1881, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1881/3/032097>
71. A. T. Balafoutis, B. Beck, S. Fountas, Z. Tsiropoulos, J. Vangeyte, T. van der Wal, I. Soto-Embodas, M. Gómez-Barbero, S. M. Pedersen, Smart Farming Technologies – Description, Taxonomy and Economic Impact, Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives, pp 21–77, 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5_2
72. F. Rovira-Más, Q. Zhang, J. F. Reid, Creation of Three-dimensional Crop Maps based on Aerial Stereoimages, Biosystems Engineering, τμ. 90(3), pp 251-259, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.11.013>
73. P. Runeson, M. Host, A. Rainer, B. Regnell, Case Study Research in Software engineering: Guidelines and Examples, John Wiley & Sons, 2012, <https://doi.org/10.1002/9781118181034>
74. V. Das Jithin, S. Sharma, A. Kaushik, Views of Irish Farmers on Smart Farming Technologies: An Observational Study, AgriEngineering, τμ. 1(2), pp 164-187, 2019, <https://doi.org/10.3390/agriengineering1020013>
75. D. Pivotoa, B. Barhamb, P. D. Waquilc, C. R. Foguesattoa, V. F. D. Corted, D. Zhange, E. Talamini, Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers, International Food and Agribusiness Management Association, τμ. 22(4), 2019, <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0086>
76. V. Moysiadis, P. Sarigiannidis, V. Vitsas, A. Khelifi, Smart Farming in Europe, Computer Science Review, τμ. 39, pp 100345, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100345>
77. C. B. Silva, M. A. F. Dias de Moraes, J. P. Molin, Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil, Precision Agriculture, τμ. 12, pp 67–81, 2011, <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9155-8>
78. J. E. Relf-Eckstein, A. T. Ballantyne, P. W. B. Phillips, Farming Reimagined: A case study of autonomous farm equipment and creating an innovation opportunity space for broadacre smart farming, NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, τμ. 90-91, pp 100307, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100307>
79. S. Wolfert, L. G. C. Verdouw, M. J. Bogaardt, Big Data in Smart Farming – A review, Agricultural Systems, τμ. 153, pp 69-80, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>