



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη των σύγχρονων μεθοδολογιών και εφαρμογών ανάλυσης
δεδομένων για γεωργία/υδατοκαλλιέργεια ακριβείας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΪΦΑΝΤΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Επιβλέπων : Ασκούνης Δημήτριος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη των σύγχρονων μεθοδολογιών και εφαρμογών ανάλυσης
δεδομένων για γεωργία/υδατοκαλλιέργεια ακριβείας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΪΦΑΝΤΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Επιβλέπων : Ασκούνης Δημήτριος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27^η Μαΐου 2021.

.....
Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Χάρης Δούκας

Αναπ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάιος 2021

.....

Παπαϋφαντής Βασίλειος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παπαϋφαντής Βασίλειος 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των τεχνολογιών της γεωργίας και τις ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας μέσω της δευτερογενούς ανασκόπησης της σχετικής βιβλιογραφίας στο θέμα των συστημάτων και των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούν η καθεμία, όπως και της συσκευές συλλογής δεδομένων, όπως είναι τα smartphone, το Wi-Fi, το BLE, κ.α., αλλά και άλλα, όπως οι εφαρμογές ασύρματου δικτύου αισθητήρων στη γεωργία, όπως είναι τα συστήματα άρδευσης και λίπανσης, όπως και ελέγχου παρασίτων. Επίσης, στη βιβλιογραφία εξετάζονται τα δεδομένα που παράγονται από τη χρήση εργαλείων ακριβείας αλλά και οι πολιτικές που σχετίζονται με το αντικείμενο. Τέλος, εξετάζεται η μελέτη περίπτωσης των drone, των μεθόδων χαρτογράφησης και της παρακολούθησης απόδοσης στους δύο αυτούς τομείς. Συμπεραίνεται ότι, με την ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων, οι τομείς των καλλιεργειών ακριβείας έχουν μεγάλο μέλλον για ανάπτυξη, αλλά και σαφή βελτίωση της απόδοσής τους.

Λέξεις-Κλειδιά: Γεωργία ακριβείας, ιχθυοκαλλιέργεια ακριβείας, drone, μέτρηση απόδοσης, χαρτογράφηση, τεχνολογίες ακριβείας

Abstract

The purpose of this study is to investigate precision farming and fish farming technologies through the secondary review of the relevant literature on the systems and methodologies used by each, as well as data collection devices such as smartphones, Wi-Fi, BLE, etc., but also others, such as wireless sensor network applications in agriculture, such as irrigation and fertilization systems, as well as pest control. Also, the literature examines the data produced by the use of precision tools and the policies related to the subject. Finally, the case study of drones, mapping methods and performance monitoring in these two areas is examined. It is concluded that, with the development of the Internet of Things, the precision crop sectors have a great future for growth, but also a clear improvement in their performance.

Keywords: Precision farming, precision fish farming, drone, yield measurement, mapping, precision technologies

Πρόλογος

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται ένας πολύ σημαντικός κύκλος της ζωής μου και κλείνει το ιδιαίτερα όμορφο κεφάλαιο των προπτυχιακών σπουδών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Η πορεία αυτή εμπλουτίστηκε από πολλούς ανθρώπους, τους οποίους νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τον κύριο Δημήτριο Ασκούνη που μου έδωσε τη δυνατότητα και την ευκαιρία να εκπονήσω ένα θέμα διπλωματικής άκρως ενδιαφέρον για εμένα. Στην συνέχεια θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου τον υποψήφιο διδάκτορα Ιωάννη Τσαπέλα, ο οποίος συνέβαλε σε σημαντικό βαθμό τόσο στην καλλιέργεια του τρόπου σκέψης μου ως προς την προσέγγιση σχετικών ζητημάτων, όσο και στην καλλιέργεια και ανάπτυξη νέων ιδεών και κατευθύνσεων που αφορούσαν την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Θέλω να τον ευχαριστήσω ιδιαίτερος για τον χρόνο που αφιέρωσε ώστε να ανταλλάξουμε σκέψεις και ιδέες σχετικά με ζητήματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια της διπλωματικής. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που βρίσκονται στο πλευρό μου χρόνια και ομορφαίνουν τη ζωή μου. Τους ευχαριστώ πολύ ιδιαίτερα για την τελευταία περίοδο που υπέμειναν τις ιδιοτροπίες μου και τις ανησυχίες μου σε καθημερινή βάση και με βοήθησαν με τις πολύτιμες συμβουλές τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που από μικρή ηλικία έθεσαν τα θεμέλια για την πορεία μου, με παρότρυναν να αδράξω ευκαιρίες και προσέφεραν καθοδήγηση και ενθάρρυνση σε κάθε βήμα. Στέκονται δίπλα μου στα καλά και τα κακά, πάντα με υπομονή και αγάπη. Μέσα από προσωπικές και καθημερινές θυσίες καλλιέργησαν το περιβάλλον που μου επιτρέπει να κυνηγήσω τα όνειρά μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract.....	9
Πρόλογος.....	11
Κατάλογος Πινάκων	15
Κατάλογος Εικόνων.....	15
1 Εισαγωγή	19
1.1 Σκοπός της Εργασίας	20
1.2 Δομή της Εργασίας.....	20
2 Γεωργία Ακριβείας.....	23
2.1 Ορισμός.....	23
2.2 Μεθοδολογίες.....	25
2.3 Συστήματα.....	26
2.3.1 Γεωαναφορά	27
2.3.2 Παρακολούθηση καλλιεργειών, εδαφών και κλίματος.....	30
2.3.3 Χάρτες Ακριβείας	31
2.3.4 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων	34
2.3.5 Διαφορική δράση	37
2.4 Συσκευές Συλλογής Δεδομένων.....	37
2.4.1 «Εξυπνα» Κινητά Τηλέφωνα.....	38
2.4.2 6LoWPAN	39
2.4.3 ZigBee.....	39
2.4.4 Bluetooth Low Energy - BLE	40
2.4.5 Αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (Radio-frequency identification -RFID)	40
2.4.6 Wi-Fi.....	42
2.4.7 LoRaWAN	42
2.4.8 Τηλεπισκόπηση βασισμένη σε φασματική εικόνα	43
2.5 Εφαρμογές ασύρματου δικτύου αισθητήρων στη γεωργία.....	45

2.5.1	Έξυπνα συστήματα άρδευσης.....	45
2.5.2	Έξυπνο σύστημα λίπανσης	47
2.5.3	Έξυπνο σύστημα ελέγχου παρασίτων και πρώιμης νόσου	49
2.6	Δεδομένα	50
2.7	Πολιτικές	51
3	Υδατοκαλλιέργεια Ακριβείας	57
3.1	Ορισμός	57
3.2	Μεθοδολογίες.....	58
3.3	Συστήματα.....	58
3.4	Τεχνολογίες	60
3.5	Δεδομένα	65
3.6	Μέθοδοι Ανάλυσης	66
3.7	Πολιτικές.....	67
4	Μελέτες Περίπτωσης	71
4.1	Τεχνολογίες στην Γεωργία Ακρίβειας	71
4.2	Τεχνολογίες στην Ιχθυοκαλλιέργεια Ακριβείας.....	85
5	Συμπεράσματα	93
	Βιβλιογραφία	99

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Εξέλιξη του Ορισμού της Γεωργίας Ακριβείας (2012-Σήμερα)24

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Drone, μοντέλο Parrot Bluegrass72

Εικόνα 2 Προγραμματισμένη πορεία πλοήγησης για την αξιολόγηση του εδάφους στο λογισμικό ανοιχτού κώδικα APM Planner.73

Εικόνα 3 Οι λειτουργίες παρακολούθησης μιας καλλιέργειας μέσω πολυφασματικής κάμερας ενσωματωμένης στο drone76

Εικόνα 4 Χάρτης απόδοσης που δείχνει τη χωρική μεταβλητότητα απόδοσης εντός του πεδίου80

Εικόνα 5 Διάγραμμα συμβατικής θεριζοαλωνιστικής μηχανής81

Εικόνα 6 Οθόνες απόδοσης: αισθητήρες μάζας και ροής όγκου82

Εικόνα 7 Τεχνολογίες χαρτογράφησης απόδοσης σε μια θεριστική μηχανή83

Εικόνα 8 Λήψη δεδομένων απόδοσης εντός του πεδίου (μπλε κουκκίδες) με θεριζοαλωνιστική μηχανή.....84

Κεφάλαιο 1^ο – Εισαγωγή

1 Εισαγωγή

Ένα σύστημα γεωργικής παραγωγής είναι το αποτέλεσμα μιας σύνθετης αλληλεπίδρασης σπόρων, νερού και αγροχημικών, συμπεριλαμβανομένων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Επομένως, η προσεκτική διαχείριση όλων των εισόδων είναι απαραίτητη για τη βιωσιμότητα ενός τόσο περίπλοκου συστήματος. Η έμφαση στην ενίσχυση της παραγωγικότητας χωρίς να ληφθούν υπόψη οι οικολογικές επιπτώσεις των εισροών πόρων έχει οδηγήσει σε περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η εφαρμογή τεχνολογιών για τη βελτίωση της διαχείρισης αζώτου έχει αποδειχθεί ότι έχει θετικό αντίκτυπο στη μείωση της εφαρμογής αζώτου, στη βελτίωση της απόδοσης σιτηρών και ζάχαρης σε ζαχαρότευτλα και ζαχαροκάλαμο, καθώς και οδηγεί σε αύξηση της κερδοφορίας και μείωση της αρνητικής επίδρασης από την περίσσεια αζώτου στο περιβάλλον (Chawade et al., 2019). Η παραγωγικότητα μπορεί να αυξηθεί χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητα εισροών πόρων, και επίσης, είναι βέβαιο ότι η διαθεσιμότητα εργατικού δυναμικού για γεωργική δραστηριότητα θα είναι ελλιπής στο μέλλον. Ήρθε η ώρα να ενωθεί η τεχνολογία της πληροφορίας με τη γεωργική επιστήμη για βελτιωμένη οικονομική και περιβαλλοντικά βιώσιμη παραγωγή καλλιεργειών (Banu, 2015).

Η γεωργία ακριβείας αποτελεί βασικό συστατικό του τρίτου κύματος των σύγχρονων γεωργικών επαναστάσεων, με την πρώτη γεωργική επανάσταση να συμβαίνει κατά την έλευση της αυξημένης μηχανοποίησης, από το 1900-1930. Κάθε αγρότης παρήγαγε αρκετό φαγητό για να ταΐσει περίπου 26 άτομα κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, και πιο συγκεκριμένα η δεκαετία του 1990 προκάλεσε την Πράσινη Επανάσταση με νέες μεθόδους γενετικής τροποποίησης, που οδήγησαν σε κάθε αγρότη να τρέφει περίπου 155 άτομα. Αναμένεται ότι έως το 2050, ο παγκόσμιος πληθυσμός θα φθάσει περίπου τα 9,6 δισεκατομμύρια και η παραγωγή τροφίμων πρέπει να διπλασιαστεί αποτελεσματικά από τα τρέχοντα επίπεδα για να «ταΐσει κάθε στόμα». Με νέες τεχνολογικές εξελίξεις στη γεωργική επανάσταση της καλλιέργειας ακριβείας, κάθε αγρότης θα μπορεί να τροφοδοτεί 265 άτομα στην ίδια έκταση. Τα πρόδρομα έθνη ήταν οι Ηνωμένες Πολιτείες, ο Καναδάς και η Αυστραλία. Στην Ευρώπη, το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν το πρώτο που «ακολούθησε αυτό το μονοπάτι», ακολουθούμενο στενά από τη Γαλλία, όπου εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1997-1998. Στη Λατινική Αμερική η χώρα που ηγείται είναι η Αργεντινή, όπου εισήχθη στα μέσα της δεκαετίας του 1990 με την υποστήριξη του Εθνικού Ινστιτούτου Γεωργικής Τεχνολογίας. Η Βραζιλία ίδρυσε μια κρατική επιχείρηση, την Embrapa, για να ερευνήσει και να αναπτύξει βιώσιμη γεωργία. Η ανάπτυξη του GPS και των τεχνικών κατανομής μεταβλητού ρυθμού συνέβαλε στην ενίσχυση των πρακτικών διαχείρισης της γεωργίας ακριβείας (Abobatta, 2020).

Το πρώτο κύμα της γεωργικής επανάστασης ακριβείας θα έρθει με τη μορφή δορυφορικών και εναέριων εικόνων, πρόγνωσης καιρού, εφαρμογής λιπασμάτων μεταβλητού ρυθμού και δεικτών για την υγεία των καλλιεργειών. Το δεύτερο κύμα θα συγκεντρώσει τα δεδομένα της μηχανής για ακόμη πιο ακριβή φύτευση, τοπογραφική χαρτογράφηση και δεδομένα εδάφους (Khanal et al., 2017).

Η γεωργία ακριβείας στοχεύει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης σε τοπικό επίπεδο όσον αφορά:

- Επιστήμη των καλλιεργειών: συνδυάζοντας τις γεωργικές πρακτικές πιο κοντά στις ανάγκες των καλλιεργειών (π.χ. εισροές λιπασμάτων).
- Προστασία του περιβάλλοντος: μειώνοντας τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και το αποτύπωμα της γεωργίας (π.χ. περιορισμός της έκλυσης αζώτου) ·
- Οικονομικά: ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα μέσω πιο αποτελεσματικών πρακτικών (π.χ. βελτιωμένη διαχείριση της χρήσης λιπασμάτων και άλλων εισροών) (Duhan et al., 2017).

1.1 Σκοπός της Εργασίας

Υπό το ανωτέρω πρίσμα, ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι διπλός: σε πρώτο στάδιο θα πραγματοποιηθεί μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση η οποία θα εντοπίσει τα στοιχεία της γεωργίας ακριβείας και συγκεκριμένα τα συστήματα και τις συσκευές που χρησιμοποιούνται σε αυτήν, αλλά και της υδατοκαλλιέργειας ακριβείας. Έπειτα η εργασία θα εξετάσει μελέτες περίπτωσης των θεμάτων με σκοπό να αναδείξει την εφαρμογή της γεωργίας και της υδατοκαλλιέργειας ακριβείας.

1.2 Δομή της Εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας εξετάζεται η γεωργία ακριβείας: συγκεκριμένα, ο ορισμός της, οι μεθοδολογίες της, τα συστήματά της, οι συσκευές συλλογής δεδομένων, τα δεδομένα που χρησιμοποιεί και οι πολιτικές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας εξετάζεται η υδατοκαλλιέργεια ακριβείας: συγκεκριμένα, ο ορισμός της, οι μεθοδολογίες, τα συστήματα, οι τεχνολογίες, τα δεδομένα που χρησιμοποιεί, οι μέθοδοι ανάλυσης των δεδομένων και οι πολιτικές που την επηρεάζουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία της μελέτης περίπτωσης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο εξάγονται συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 2^ο – Γεωργία Ακριβείας

2 Γεωργία Ακριβείας

2.1 Ορισμός

Η γεωργία ακριβείας είναι μια σύγχρονη έννοια της γεωργικής διαχείρισης που χρησιμοποιεί πρωτοποριακά εργαλεία για την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών γεωργικής παραγωγής. Η έννοια της γεωργίας ακριβείας εμφανίστηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες στις αρχές της δεκαετίας του '90, όπου η Βουλή των Αντιπροσώπων (1997) την ορίζει ως «ένα ολοκληρωμένο γεωργικό σύστημα βασισμένο στην πληροφορία και την παραγωγή που έχει σχεδιαστεί για να αυξάνει μακροπρόθεσμα, συγκεκριμένα για κάθε τοποθεσία, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις ακούσιες επιπτώσεις στην άγρια φύση και το περιβάλλον». Αν και είναι μια σχετικά γνωστή ιδέα, υπάρχει ένας χαμηλός ρυθμός υιοθέτησης γεωργίας ακριβείας που αναφέρεται τόσο από ακαδημαϊκές έρευνες όσο και από επαγγελματικές εκθέσεις (Patricio & Rieder, 2018).

Με την πάροδο του χρόνου, υπήρξαν αρκετοί ορισμοί που επέτρεψαν σταδιακά την εμφάνιση στην κατανόηση των στοιχείων που αποτελούν την έννοια και τους τομείς εφαρμογής της, προκειμένου να αναχαιτίσουν, μεταξύ άλλων, τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και τις έννοιες της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Με την πάροδο των ετών η προσοχή της επιστημονικής κοινότητας έχει επίσης επικεντρωθεί σε άλλα στοιχεία, όπως: Γενικά οφέλη, βιωσιμότητα και εφαρμογές (Fulton & Port, 2018).

Ο σκοπός της γεωργίας ακριβείας είναι να ευθυγραμμίσει τη διαχείριση της γης με τις πραγματικές ανάγκες των καλλιεργειών για τη βελτίωση της παραγωγής, την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών ζημιών και την αύξηση των ποιοτικών προτύπων των γεωργικών προϊόντων. Η γεωργία ακριβείας βασίζεται σε μια κυκλική διαδικασία παρατήρησης και απόκτησης δεδομένων, ακολουθούμενη από μια ερμηνεία και αξιολόγηση των πληροφοριών που αποκτήθηκαν και από την εφαρμογή μιας σειράς αποφάσεων που ανταποκρίνονται σε αυτές (Rad et al., 2015). Στις κατευθυντήριες γραμμές του ιταλικού Υπουργείου Γεωργίας και Δασικών Πολιτικών, εντοπίζονται διαφορετικές φάσεις στην εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας:

- Η πρώτη φάση είναι η μέτρηση και ερμηνεία της χωροχρονικής μεταβλητότητας που σχετίζεται με όλες τις πτυχές της γεωργικής παραγωγής, μέσω της απόκτησης περιβαλλοντικών δεδομένων σε αγροοικοσυστήματα, και της επεξεργασίας τους με καινοτόμες μεθοδολογίες. Το τελικό προϊόν είναι η οριοθέτηση του χωραφιού σε περιοχές με αρκετά ομοιογενή χαρακτηριστικά.
- Η δεύτερη φάση χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στην προηγούμενη φάση για την προσαρμογή των αγρονομικών εισροών (για παράδειγμα: νερό, λιπάσματα, φυτοπροστατευτικά προϊόντα) στις

συγκεκριμένες τοπικές συνθήκες, διαφοροποιώντας έτσι τις αγρονομικές παρεμβάσεις στο ίδιο οικόπεδο.

- Η τρίτη φάση συνίσταται στην επικύρωση της μεθοδολογίας για τη βαθμονόμηση των οδηγιών διαχείρισης πριν από τη μεταφορά της στους γεωργούς (Bofnante et al., 2019).

Πίνακας 1 Εξέλιξη του Ορισμού της Γεωργίας Ακριβείας (2012-Σήμερα)

Συντάκτης	Ορισμός	Έτος	Διακριτικά στοιχεία
Y. S. Tey, M. Brindal	Η γεωργία ακριβείας είναι ένα σύστημα παραγωγής που περιλαμβάνει τη διαχείριση των καλλιεργειών σύμφωνα με τη μεταβλητότητα του χωραφιού και τις συγκεκριμένες τοποθεσίες. Οι γεωργικές τεχνολογίες ακριβείας είναι εκείνες οι τεχνολογίες που, είτε χρησιμοποιούνται μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό, ως μέσα για την υλοποίηση της γεωργίας ακριβείας.	2012	Τεχνολογία
E. Pierpaoli, G. Carli, E. Pignatti, M. Canavari	Η γεωργία ακριβείας είναι μια αρκετά νέα ιδέα της διαχείρισης αγροκτημάτων που αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Η γεωργία ακριβείας βασίζει τη δυνατότητα εφαρμογής της στη χρήση τεχνολογιών για τον εντοπισμό και την απόφαση τι είναι «σωστό».	2013	Τεχνολογία
R. Schrijver, K. Poppe, C. Daheim	Η γεωργία ακριβείας είναι μια σύγχρονη ιδέα διαχείρισης της γεωργίας που χρησιμοποιεί ψηφιακές τεχνικές για την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών γεωργικής παραγωγής.	2016	Τεχνολογίες εφαρμογών

Οι νέες τεχνολογίες για υπολογιστές, δορυφόρους, συστήματα GPS, συστήματα εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας και έξυπνους αισθητήρες είναι θεμελιώδεις για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας. Χάρη σε αυτές τις τεχνολογίες, οι αγρότες μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή, να βελτιστοποιήσουν όλους τους χρησιμοποιούμενους πόρους και το εργατικό δυναμικό, το κόστος και τις ποσοτικές και ποιοτικές δυνατότητες παραγωγής, σύμφωνα με τα ειδικά χαρακτηριστικά του εδάφους ή / και της καλλιέργειας. Ορισμένες έρευνες δείχνουν ότι η εφαρμογή της ψηφιακής τεχνολογίας στη γεωργία μπορεί να αυξήσει τη συνολική κερδοφορία από 55 \$ σε 110 \$ ανά στρέμμα (1 στρέμμα = 4046,87 m²) (McConnell, 2019). Στην Ιταλία, η διάδοση της γεωργίας ακριβείας παραμένει πολύ περιορισμένη σε σύγκριση με τη διεθνή κατάσταση, και στην πραγματικότητα, μόνο το 1% της καλλιεργούμενης γεωργικής περιοχής βλέπει τη χρήση μέσων και τεχνολογιών της γεωργίας ακριβείας, ενώ στον ευρωπαϊκό μέσο όρο η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιείται κατά 25% των αγροκτημάτων. Παρά τις δυσκολίες εφαρμογής που συνδέονται με τις υψηλές αρχικές επενδύσεις και την έλλειψη κατάλληλων δεξιοτήτων μεταξύ των αγροτών, σε αυτό το πλαίσιο σε μια μελέτη που διεξάχθηκε, εντοπίζονται οι «μη υιοθετούμενοι» αγρότες, δηλαδή όσοι δεν διαθέτουν επαρκείς δεξιότητες και ικανότητες για τη διαχείριση γεωργικών εργαλείων ακριβείας. Η γεωργία ακριβείας καθίσταται ολοένα και πιο διαδεδομένη έννοια στον πρωτογενή τομέα και η συνεχής εξέλιξη των σχετικών τεχνολογιών φαίνεται να ανοίγει σε ολοένα και πιο καινοτόμες και διεγερτικές προκλήσεις για τον τομέα (Bonfante et al., 2019).

Οι Szolonki & Nabradi (2015) έδειξαν, μέσω μιας μελέτης σχετικά με τη γεωργία ακριβείας που βασίζεται σε έκθεση σε επίπεδο αγροκτήματος, ότι η δορυφορική πλοήγηση παρέχει σημαντική βοήθεια στη συγκομιδή έχει επαληθευτεί με επιτακτικά στοιχεία σε αριθμούς και τιμές, με αποτέλεσμα επίσης μεγάλο κόστος αποτελεσματικότητα ή εξοικονόμηση χρόνου. Παρόλο που η αγορά του τεχνολογικού υποβάθρου που απαιτείται για την εφαρμογή τεχνολογιών χρειάζεται επιπλέον δαπάνες, η αξία των πλεονασματικών επενδύσεων είναι ασήμαντη σε σύγκριση με την ήδη υψηλή τιμή των γεωργικών μηχανημάτων. Τα ευρήματά τους αποκαλύπτουν ότι η επενδυτική αξία των τεχνολογιών ακριβείας αποδίδει σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

2.2 Μεθοδολογίες

Διατίθεται ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών για την υποστήριξη της γεωργίας ακριβείας (Precision Agriculture – PA) (Shannon et al., 2020), οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση αντικειμένων, τη γεωγραφική αναφορά, τη μέτρηση συγκεκριμένων παραμέτρων, το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS), τη συνδεσιμότητα, την αποθήκευση και την ανάλυση δεδομένων, συστήματα

συμβουλευτικής, ρομποτική και αυτόνομη πλοήγηση. Οι πρώτες γεωργικές πρακτικές ακριβείας έχουν ήδη εφαρμοστεί στον τομέα των αροτραίων καλλιεργειών, της κηπουρικής και της γαλακτοκομικής παραγωγής, αλλά οι τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας εφαρμόζονται επίσης σε άλλους τομείς. Μέχρι τώρα, η εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο και τόσο η βιομηχανία όσο και οι επενδυτές χαιρέτισαν την αγορά γεωργίας ακριβείας, αν και οι δυνατότητές της δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί πλήρως (Shannon et al., 2020).

Πέραν της καλλιέργειας φρούτων και λαχανικών, η εφαρμογή γεωργίας ακριβείας εφαρμόζεται στη κηπουρική και επιτρέπει την εφαρμογή παράλληλων συστημάτων οδήγησης ή αυτόματων συστημάτων οδήγησης τόσο για κινητικότητα ανοιχτού πεδίου όσο και περιορισμένα περιβάλλοντα· την εφαρμογή συστημάτων αναγνώρισης καλλιεργειών και διακρίσεων για την εκτέλεση συγκεκριμένων παρεμβάσεων· την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας που στοχεύει στη λειτουργία με βάση τη μεταβλητότητα που βρίσκεται στον τομέα (πλήρης ή σχεδόν πλήρης εφαρμογή της PA)· και την εφαρμογή των αρχών της γεωργίας ακριβείας και ορισμένων από τις τεχνολογίες της για τη δημιουργία drone που μπορούν να λειτουργούν σε περιορισμένα περιβάλλοντα (θερμοκήπιο) και σε ανοιχτό πεδίο (Wachowiak et al., 2017).

Επιπρόσθετα, η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στη βιομηχανία γαλακτοκομικών επιτρέπει την ανάπτυξη της ηλεκτρονικής κτηνιατρικής συνταγής με ψηφιοποίηση της συνταγής σε διαδικτυακή πύλη· την εφαρμογή ιχνηλασιμότητας στη διατροφή των ζώων με ψηφιοποίηση επωνυμιών ζωοτροφών· και την ψηφιακή καινοτομία για την εγγύηση ποιοτικών προϊόντων παρακολουθώντας την κατάσταση του προϊόντος κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, όσον αφορά τον έλεγχο όλων των συνθηκών που ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα του προϊόντος (Tan, 2016).

Η μείωση του κόστους των τεχνολογιών, η ενσωμάτωσή τους με τις παραδοσιακές τεχνικές καλλιέργειας και διάδοσης της έννοιας της Βιομηχανίας 4.0, θα προωθήσει τη διάδοση της Γεωργίας Ακριβείας προκειμένου να υποστηρίξει την καινοτομία στον πρωτογενή τομέα και να αντιμετωπίσει τις νέες προκλήσεις που προκύπτουν από την τρέχουσα κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο (Zhang, 2016).

2.3 Συστήματα

Η καλλιέργεια ακριβείας βασίζεται στη βελτιστοποιημένη διαχείριση των εισροών σε ένα χωράφι σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες καλλιέργειας. Περιλαμβάνει τεχνολογίες που βασίζονται σε δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης όπως GPS, τηλεπισκόπησης και Διαδικτύου, για τη

διαχείριση καλλιεργειών και τη μείωση της χρήσης λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και νερού

Η γεωργία ακριβείας είναι επίσης γνωστή ως δορυφορική καλλιέργεια ή διαχείριση συγκεκριμένων περιοχών. Ο στόχος της γεωργικής έρευνας ακριβείας είναι ο καθορισμός ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για ολόκληρη τη διαχείριση της εκμετάλλευσης με στόχο τη βελτιστοποίηση των αποδόσεων των εισροών διατηρώντας παράλληλα τους πόρους.

Η γεωργία ακριβείας παρέχει στους αγρότες πληθώρα πληροφοριών για:

- Λήψη καλύτερων πληροφοριών σχετικά με τις ανάγκες του φυτού
- Διατήρηση αρχείου παραγωγής
- Βελτίωση της λήψης αποφάσεων
- Έχοντας μεγαλύτερη ιχνηλασιμότητα
- Βελτίωση της ποιότητας των αγροτικών προϊόντων

Υπάρχει μια πληθώρα τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε ολόκληρη την αλυσίδα γεωργικών αξιών που βοηθούν στην καλλιέργεια ακριβείας. Ωστόσο, μερικές από τις βασικές τεχνολογίες και τη χρήση τους περιγράφονται παρακάτω:

- Τεχνολογία βασισμένη σε αισθητήρες
- GPS
- Αυτοματισμός / Ρομπότ
- το διαδίκτυο των πραγμάτων
- Τεχνολογία Drone

Επίσης, η βιώσιμη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια συνεχής στρατηγική διαχείρισης. Αρχικά απαιτείται κάποια μορφή παρακολούθησης και ανάλυσης δεδομένων για τη λήψη απόφασης. Ωστόσο, είναι εξίσου σημαντικό να υπάρχει συνεχής παρακολούθηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων της απόφασης και να τροφοδοτούνται αυτές οι πληροφορίες σε μεταγενέστερες αποφάσεις διαχείρισης (Porovic et al., 2017).

2.3.1 Γεωαναφορά

Η πραγματικά ευνοϊκή τεχνολογία διαχείρισης ειδικών τοποθεσιών στην παρούσα μορφή της. Τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) (εκ των οποίων το GPS είναι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο επί του παρόντος) είναι πλέον συνηθισμένα σε πολλά αγροκτήματα. Οι δέκτες κυμαίνονται με ακρίβεια από 10-20m έως 2-3cm, στην τιμή από 200 \$ έως 60.000 \$, και σε εφαρμογή από την παρακολούθηση καλλιεργειών και τη χαρτογράφηση απόδοσης σε συστήματα

autosteer. Η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνεται και η τιμή των δεκτών να μειώνεται (Reddy, 2017).

Η δυνατότητα γεω-αναφοράς δραστηριοτήτων δίνει στους παραγωγούς τη δυνατότητα χαρτογράφησης και οπτικής προβολής των εκμεταλλεύσεων, και αυτό παρέχει πληροφορίες τόσο για τη μεταβλητότητα της παραγωγής, όσο και για την αναποτελεσματικότητα της παραγωγής των καλλιεργειών και των εκμεταλλεύσεων. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται πιο προηγμένα συστήματα στο αγρόκτημα, καθώς οι καλλιεργητές αγκαλιάζουν τις τεχνολογίες καθοδήγησης και αυτοκινητοδρόμων. Αυτά επιτρέπουν στα μηχανήματα να οδηγούν κατά μήκος επαναλαμβανόμενων διαδρομών καθώς και να μειώνουν την κόπωση του οδηγού και επιτρέπουν την έγκαιρη υλοποίηση των εργασιών (Lakshmisudha et al., 2016).

Η γεωχωρική τεχνολογία δεν μπορεί να είναι επιτυχής εάν τα σωστά δεδομένα δεν συλλέγονται και αναλύονται αποτελεσματικά. Για να επιτευχθεί αυτό, έχουν προχωρήσει πολλές τεχνικές, οι περισσότερες από τις οποίες βασίζονται στην τηλεπισκόπηση. Η τηλεπισκόπηση είναι απαραίτητη για τη διαίρεση ενός μεγάλου αγροκτήματος σε ζώνες διαχείρισης. Κάθε ζώνη έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις που απαιτούν τη χρήση GIS και GPS για την ικανοποίηση των αναγκών της. Επομένως, το πρώτο βήμα της καλλιέργειας ακριβείας είναι ο διαχωρισμός της γης σε ζώνη διαχείρισης. Η διαίρεση αυτής της γης σε ζώνες βασίζεται κυρίως σε :

- Τύπους εδαφών
- Βαθμούς pH
- Προσβολή από παράσιτα
- Διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών
- Περιεκτικότητα υγρασίας εδάφους
- Απαιτήσεις λίπανσης
- Καιρικές προβλέψεις
- Χαρακτηριστικά καλλιέργειας
- Υβριδικές αποκρίσεις (Bendre et al., 2015; Chawade et al., 2019)

Αυτές οι πληροφορίες είναι προσβάσιμες από τον χρήστη με την εξέταση των διαθέσιμων αρχείων. Οι περισσότερες εκμεταλλεύσεις έχουν συνήθως αρχεία χαρτών έρευνας εδάφους, ιστορικά χαρακτηριστικά καλλιεργειών και αρχεία που δείχνουν τις πρακτικές καλλιέργειας των περιοχών. Επιπλέον, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές φωτογραφίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτήν τη διαδικασία. Επιπλέον, μπορεί κανείς να δημιουργήσει ενημερωμένες εναέριες και δορυφορικές φωτογραφίες του αγροκτήματος σε διαφορετικές περιόδους του έτους ή σεζόν. Με αυτές τις πληροφορίες, ο γεωργός μπορεί να καθορίσει την παραγωγικότητα διαφορετικών ζωνών διαχείρισης. Ταυτόχρονα, μπορούν επίσης να προσδιοριστούν τα μοτίβα

ανάπτυξης και απόδοσης διαφορετικών ζωνών μέσα στο αγρόκτημα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές τηλεπισκόπησης για την αύξηση της αποτελεσματικότητας αυτής της διαδικασίας (Banu, 2015). Η πιο κοινή τεχνική τηλεανίχνευσης που έχει εφαρμοστεί με τα χρόνια είναι η παρατήρηση με τη χρήση του ανθρώπινου ματιού. Με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας, κάθε παρατήρηση που γίνεται χρησιμοποιώντας αυτήν τη μέθοδο συνήθως αναφέρεται γεωγραφικά σε μια βάση δεδομένων GIS. Μεγάλο μέρος της γεωργίας ακριβείας βασίζεται σε δεδομένα που βασίζονται σε εικόνα από την τηλεπισκόπηση όπως ο προσδιορισμός της πρασινάδας του πεδίου χρησιμοποιώντας μια τεχνική για τον προσδιορισμό της παραγωγικότητας / απόδοσης διαφορετικών ζωνών διαχείρισης (Abobatta, 2020).

Τα δεδομένα που συλλέγονται από την τηλεπισκόπηση λειτουργεί ως πηγή σημειακών δεδομένων. Από τις τάσεις και τις συχνότητες που έχουν καταγραφεί, αυτό το σύνολο δεδομένων μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε χωρικά δεδομένα που αντικατοπτρίζουν την κατάσταση όλων των ζωνών διαχείρισης εντός του αγροκτήματος με τη χρήση διαφόρων τεχνικών και εργαλείων GIS. Το Kriging είναι ένα παράδειγμα μιας μεθόδου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή σημειακών δεδομένων από την τηλεπισκόπηση σε χωρικά δεδομένα. Στη συνέχεια, χωρικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των πιθανών προβλημάτων που ενδέχεται να υπάρχουν σε διάφορες ζώνες διαχείρισης. Αυτό δίνει στους αγρότες την ευκαιρία να βρουν ενημερωμένες και αποτελεσματικές αποφάσεις για την ανακούφιση των προβλημάτων που επικρατούν, προκειμένου να ενισχυθεί η συνολική παραγωγή της φάρμας (Khanal et al., 2017).

Μόλις συγκεντρωθούν τα σημειακά δεδομένα, πρέπει να αποθηκευτούν και να αναλυθούν για να είναι χρήσιμα στον αγρότη. Σε αυτό το σημείο χρησιμοποιούνται τα εργαλεία GIS. Το λογισμικό GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ψηφιακών χαρτών που μετατρέπουν χωρικές πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί επί τόπου σε ψηφιακή μορφή. Ταυτόχρονα, τα σημειακά δεδομένα που είχαν συλλεχθεί στο χωράφι μπορούν τώρα να μετατραπούν σε χωρικά δεδομένα για να αντικατοπτρίζουν ολόκληρο το αγρόκτημα. Για την αποτελεσματική διαφοροποίηση σημείων με διαφορετικές τιμές εντός των ζωνών διαχείρισης, τα δεδομένα που συλλέγονται παρουσιάζονται κανονικά σε μορφή ράστερ ή φορέα. Σε μορφή ράστερ, αναπτύσσονται φανταστικά πλέγματα σε έναν χάρτη. Τα σημεία εντός του χάρτη που έχουν διαφορετικές τιμές έχουν διαφορετικά χρώματα. Επομένως, με μια ματιά, ένας χρήστης μπορεί να είναι σε θέση να εντοπίσει σημεία που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά και να τα διαφοροποιήσει με σημεία που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Αυτή η μορφή αναπαράστασης δεδομένων είναι χρήσιμη στη χωρική μοντελοποίηση για να δείξει τη σχέση που υπάρχει εντός ομαδοποιημένων δεδομένων. Η διανυσματική μορφή από την άλλη χρησιμοποιεί συντεταγμένες από τον άξονα x και

τον άξονα y για να εκχωρήσει ένα συγκεκριμένο σημείο μέσα σε έναν χάρτη. Τα σημεία που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά σχεδιάζονται και ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια οριακή γραμμή. Αυτή η μορφή παρουσίασης δεδομένων είναι αποτελεσματική στην ηλεκτρονική χαρτογράφηση και τη διαχείριση χωρικών βάσεων δεδομένων (Duhan et al., 2017).

Μόλις χαρτογραφηθούν χωρικά δεδομένα, είναι απαραίτητη η σύγκριση των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται με τις σημειώσεις πεδίου. Αυτή η διαδικασία διεξάγεται για τον προσδιορισμό τυχόν τάσεων και σχέσεων που ενδέχεται να υπάρχουν στο έδαφος. Σε αυτό το σημείο, μπορεί να αναγνωριστεί μια περιοχή με υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά στο έδαφος ή σε μια περιοχή που είναι πολύ μολυσμένη με παράσιτα. Αυτή η κατανομή μπορεί να έχει τη μορφή ομοιόμορφης ή μη ομοιόμορφης μεταβλητότητας. Με αυτές τις πληροφορίες, μπορούν να εφαρμοστούν ευνοϊκές τεχνικές διαχείρισης για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της γεωργίας για τη διασφάλιση της βέλτιστης χρήσης των εισροών και τη μεγιστοποίηση της παραγωγής. Έτσι, οι πληροφορίες που έχουν παρασχεθεί με τη χρήση τηλεπισκόπησης και GIS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη συγκεκριμένων τοποθεσιών αποφάσεων σχετικά με τη χρήση λιπασμάτων, ζιζανιοκτόνων και φυτοφαρμάκων, άρδευσης και ούτω καθεξής. Το πιο σημαντικό, τα δεδομένα που έχουν δημιουργηθεί πρέπει να αποθηκεύονται με συστηματικό τρόπο για μελλοντική αναφορά. Αυτό είναι απαραίτητο, καθώς θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των μελλοντικών ερευνών (Patricio & Rieder, 2018).

Ο κύριος λόγος συλλογής αυτών των δεδομένων είναι για έναν αγρότη να έχει σαφή κατανόηση των αναγκών διαφορετικών σημείων στο αγρόκτημα για να μεγιστοποιήσει την παραγωγή του. Καθώς αυξάνεται αυτή η ανάγκη, η χρήση αυτοματοποιημένων αγροτικών μηχανημάτων είναι αναπόφευκτη. Αυτά τα μηχανήματα αναμένεται να εκτελέσουν τη δουλειά τους ακριβώς σύμφωνα με τις πληροφορίες που τους έχουν τροφοδοτηθεί. Με τη χρήση GIS και GPS, οι αυτοματοποιημένες μηχανές αγροκτημάτων είναι πλέον πιο ακριβείς, ασφαλείς, εξαλείφουν την ανθρώπινη προσπάθεια που απαιτείται για την οδήγησή τους και το πιο σημαντικό, αυξάνουν την παραγωγικότητα των εκμεταλλεύσεων (Fulton & Port, 2018).

2.3.2 Παρακολούθηση καλλιεργειών, εδαφών και κλίματος

Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές στη γεωργία, όπως έξυπνα συστήματα διαχείρισης άρδευσης, έλεγχοι παρασίτων και ασθενειών, παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, παρακολούθηση της κίνησης των βοοειδών, παρακολούθηση ημερολογίων, παρακολούθηση της κατάστασης του θερμοκηπίου, παρακολούθηση του εδάφους, γεωργία ακριβείας με χρήση UAV. Το σύστημα γεωργίας ακριβείας μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση της φάρμας με την ανάπτυξη σύγχρονων τεχνολογιών για την παρατήρηση και την απόκριση στη μεταβλητότητα της εκμετάλλευσης ανάλογα με την υπολογιστική ανάλυση των παρατηρήσεων. Τεχνολογία όπως ο αυτοματισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις εφαρμογές. Ωστόσο, το γεωργικό λειτουργικό περιβάλλον είναι δυναμικό και απαιτούνται πολύπλοκες υποδομές και εγκαταστάσεις με δαπανηρές μηχανές για την αυτοματοποίηση μιας γεωργικής διαδικασίας. Οι κλάδοι και οι δεξιότητες που απαιτούνται σήμερα για τη γεωργία περιλαμβάνουν συστήματα παρακολούθησης, ρομποτική, απεικόνιση μέσω υπολογιστή, τεχνολογία GPS και επιστημονικές λύσεις, πρόβλεψη κλίματος, τεχνολογικές λύσεις, περιβαλλοντικούς ελέγχους και άλλα (Rad et al., 2015).

Υπάρχουν ήδη πολλοί αισθητήρες και οθόνες για επιτόπια και εν κινήσει μέτρηση για μια ποικιλία καλλιεργειών, εδάφους και κλιματικών μεταβλητών. Αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρες απόδοσης, αισθητήρες βιομάζας και απόκρισης καλλιέργειας (εναέριες και διαστημικές κάμερες πολλαπλών και υπερ-φασματικών καμερών), ραδιοφωνικούς ή κινητούς τηλεφωνικούς σταθμούς μετεωρολογικών σταθμών, αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας φαινομενικά εδάφους (ECa) και γ-ραδιομετρικούς αισθητήρες εδάφους λίγιοι (Shannon et al., 2020). Η άλλη πρόκληση για τη διαχείριση καλλιεργειών ειδικής τοποθεσίας είναι η προσαρμογή in-situ αισθητήρων και η ανάπτυξη νέων on-the-go αισθητήρων, ενώ το εμπορικό δυναμικό αυτών των αισθητήρων, ήτοι η αμεσότητα με την οποία μπορεί να γίνει η προμήθειά τους, αλλά και η τιμή τους, θα σημαίνει ότι η ιδιωτική βιομηχανία θα είναι πρόθυμη να αναλάβει τις μηχανικές πτυχές της έρευνας και ανάπτυξης, οι ερευνητικοί φορείς πρέπει να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της επιστήμης πίσω από τους αισθητήρες (McConnell, 2019). Οι ανησυχίες της αγοράς οδηγούν συχνά την ιδιωτική βιομηχανία να πουλάει αισθητήρες πρόωρα για να εξασφαλίσει μερίδιο αγοράς. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κατώτερους ποιοτικά αισθητήρες και σε αποτυχία να κατανοήσει το ευρύ κοινό επαρκώς τις δυνατότητες του αισθητήρα. Οι επιστήμονες της γεωργίας πρέπει επίσης να συνεχίσουν να αξιολογούν πώς μπορούν να μετρηθούν πολλαπλοί δείκτες καλλιέργειας και παραγωγής (Bonfante et al., 2019).

2.3.3 Χάρτες Ακριβείας

Οι χάρτες ακριβείας είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο στη γεωργία ακριβείας και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στη γεωργική βιομηχανία. Οι χάρτες ακριβείας βοηθούν τους αγρότες δείχνοντάς τους ακριβείς τοποθεσίες στον αγρό και παρέχοντάς τους συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με αυτήν την τοποθεσία. Ένας χάρτης ακριβείας είναι ένας χάρτης που αποτελείται από γεωαναφερόμενα δεδομένα που

μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν πληροφορίες σχετικά με μια ακριβή τοποθεσία σε ένα χωράφι, καθώς και πληροφορίες για τα επίπεδα υγρασίας των καλλιεργειών, τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών του εδάφους, την απόδοση των καλλιεργειών και πολλά άλλα (Jawad et al., 2017).

Οι χάρτες ακριβείας λειτουργούν χρησιμοποιώντας μια ποικιλία διαφορετικών φυσικών αισθητήρων μαζί με πληροφορίες GPS για την ανάλυση μεταβλητών όπως υγρασία καλλιέργειας ή εδάφους, απόδοση καλλιέργειας και πολλά άλλα. Το πλεονέκτημα των χαρτών ακριβείας είναι ότι ένας αγρότης μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτόν τον τύπο πληροφοριών για να εντοπίσει με ακρίβεια περιοχές ανάγκης, χαμηλή απόδοση καλλιέργειας ή χαμηλά επίπεδα υγρασίας και να αντιδράσει ανάλογα. Οι χάρτες ακριβείας μπορούν να βοηθήσουν στην εξοικονόμηση χρημάτων από τους αγρότες, αποτρέποντας τον υπερβολικό ψεκασμό, εάν ένας αγρότης χρησιμοποιεί χάρτες ακριβείας, αυτός ή αυτή θα είναι σε θέση να μετριάσει τον ψεκασμό του ψεκάζοντας μόνο φυτοφάρμακα, λιπάσματα ή αναφύτευση σπόρων σε περιοχές ανάγκης Αυτό βοηθά όχι μόνο να εξοικονομήσει χρήματα στον αγρότη, αλλά και να βοηθήσει το περιβάλλον (Wachowiak et al., 2017).

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι χαρτών ακριβείας που μπορούν να δημιουργηθούν από τους αγρότες και αυτοί οι διαφορετικοί τύποι χαρτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν το ένα δίπλα στο άλλο για να δείξουν πολλά διαφορετικά πράγματα σχετικά με τις συνθήκες πεδίου που ένας αγρότης δεν θα μπορούσε διαφορετικά να δει εύκολα με τους δικούς του. μάτι. Οι χάρτες ακριβείας μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες με διάφορους διαφορετικούς τρόπους, ένας τρόπος είναι στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Όταν ένας αγρότης χρησιμοποιεί και χρησιμοποιεί χάρτες ακριβείας στο μέγιστο των δυνατοτήτων του, μπορεί να κάνει λιγότερες εικασίες σχετικά με το τι σκέφτονται για τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών του εδάφους ή τη δυνητική απόδοση των καλλιεργειών και να χρησιμοποιήσει χάρτες ακριβείας για να κάνει εκπαιδευμένες και στρατηγικές επιλογές για τα χωράφια τους. Αυτοί οι χάρτες θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων, του εδάφους ή της εναλλαγής καλλιεργειών (Tan, 2016).

Οι αισθητήρες καλλιέργειας, εδάφους και κλίματος παράγουν συχνά μεγάλο μέγεθος σύνολα δεδομένων. Πρέπει να γίνει επεξεργασία αυτών των δεδομένων προκειμένου να είναι προσβάσιμα για ανάλυση. Για αρκετές δεκαετίες οι γεωστατιστικοί ερευνούν τρόπους περιγραφής και αναπαράστασης χωρικών δεδομένων που αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια τα ανεπεξέργαστα δεδομένα. Ιστορικά, τα περισσότερα από αυτά έχουν γίνει με αραιά σύνολα δεδομένων. Τα σύνολα δεδομένων που δημιουργούνται από τεχνολογίες διαχείρισης καλλιέργειας για συγκεκριμένους ιστότοπους έχουν δημιουργήσει νέες προκλήσεις για χαρτογράφηση, αλλά τα περισσότερα από αυτά είναι πλέον καλά κατανοητά στην κοινότητα γεωργικής ακρίβειας, αν και οι

απαντήσεις γενικά δεν διαδίδονται καθόλου μέσω της ευρύτερης γεωργικής κοινότητας (Zhang, 2016). Για παράδειγμα, παρόλο που τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles – UAV, ή drone) μπορούν να τραβήξουν φωτογραφίες πεδίων και να δείξουν μια ποικιλία διαφορετικών πληροφοριών, αυτοί δεν είναι χάρτες ακριβείας λόγω της έλλειψης ακρίβειας. Ενώ από την άλλη πλευρά, ορισμένοι συνδυαστές θεριστικών μηχανών που είναι εξοπλισμένοι με την κατάλληλη τεχνολογία μπορούν να συλλέξουν συγκεκριμένα δεδομένα για την περιοχή που είναι ακριβή σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο χωράφι και όχι στο ίδιο το χωράφι (Kaushal & Wani, 2017).

Το λογισμικό για χαρτογράφηση και εμφάνιση δεδομένων από διαφορετικές πηγές σε μια κοινή πλατφόρμα βελτιώνεται ετησίως. Η ανάπτυξη των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS) ειδικά για τη γεωργία επιτρέπει να συμβεί αυτό, ωστόσο η προσαρμογή και υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας για χρήση στη Διαχείριση Ειδικών Περιοχών σε μεμονωμένες εκμεταλλεύσεις είναι ακόμη σε πρώιμα στάδια. (Bendre et al., 2015)

Προκειμένου ένας αγρότης να αναπτύξει με ακρίβεια και ακρίβεια έναν χάρτη ακρίβειας, απαιτείται μια ποικιλία διαφορετικών εργαλείων και εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων που συνδέονται απευθείας με τα γεωργικά μηχανήματα. Αυτά τα κομμάτια εξοπλισμού βοηθούν στην ανάγνωση και την αξιολόγηση πολλών διαφορετικών πτυχών των συνθηκών των καλλιεργειών και του εδάφους και συμβάλλουν στην παροχή στον αγρότη πολύτιμων πληροφοριών για τα χωράφια τους (McConnell, 2019).

Ορισμένα εργαλεία τυπικής χαρτογράφησης ακριβείας περιλαμβάνουν:

- Αισθητήρας υγρασίας κόκκων - Αυτός ο αισθητήρας ανιχνεύει τα επίπεδα υγρασίας των κόκκων και μπορεί να πει στον αγρότη εάν μια περιοχή καλλιεργειών χρειάζεται περισσότερο ή λιγότερο άρδευση.
- Κεραία GPS - κεραία GPS ή καθολικού εντοπισμού θέσης είναι ένα κομμάτι εξοπλισμού που λαμβάνει σήματα από δορυφόρους καθολικής θέσης για την παροχή και καταγραφή συγκεκριμένων τοποθεσιών.
- Αισθητήρας ροής κόκκου - Αυτός ο αισθητήρας βοηθά στον προσδιορισμό του όγκου των κόκκων που έχουν συλλεχθεί.
- Δέκτης GPS και Παρακολούθηση απόδοσης - Ο Παρακολούθηση απόδοσης και ο δέκτης GPS συνεργάζονται για να συλλέξουν τις πληροφορίες που συλλέγονται από τους αισθητήρες και να τις συλλέγουν σε μια κεντρική τοποθεσία, ενώ γεωγραφικά αναφέρονται τα δεδομένα.
- Αισθητήρας ταχύτητας ανελκυστήρα σιταριού- αυτός ο αισθητήρας είναι πολύ παρόμοιος με έναν αισθητήρα ροής κόκκων και συλλέγει δεδομένα

μετρήσεων ροής κόκκων, αν και οι δύο αισθητήρες στη θέση τους βοηθούν στη βελτίωση της ακρίβειας των μετρήσεων (Shannon et al., 2020).

2.3.4 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

Τα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν τους χρήστες να λαμβάνουν πιο αποτελεσματικές αποφάσεις οδηγώντας τους σε σαφή στάδια αποφάσεων και παρουσιάζοντας την πιθανότητα διαφόρων αποτελεσμάτων που προκύπτουν από διαφορετικές επιλογές. Αυτά μπορεί να είναι δυναμικά εργαλεία λογισμικού, των οποίων οι προτάσεις διαφέρουν ανάλογα με τις εισόδους του χρήστη, και μπορεί να προτείνουν μια βέλτιστη διαδρομή απόφασης. Για τους αγρότες και τους συμβούλους τους, τα εργαλεία λογισμικού μπορούν να διευκολύνουν την αποτελεσματική διαχείριση των εκμεταλλεύσεων καταγράφοντας δεδομένα αποτελεσματικά, αναλύοντάς τα και δημιουργώντας μια σειρά συστάσεων βάσει τεκμηρίων. Άλλα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων μπορεί να μην είναι δυναμικά αλλά να λειτουργούν περισσότερο ως πηγές πληροφοριών. Ωστόσο, παρά την προφανή αξία τους, η πρόσληψη εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων από αγρότες και συμβούλους στο Ηνωμένο Βασίλειο και αλλού, ήταν περιορισμένη (Shannon et al., 2020). Οι μέτοχοι, τα ενδιαφερόμενα μέρη, και οι αγρότες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στη λήψη σωστών αποφάσεων σχετικά με τη γεωργική διαχείριση με την εκρηκτική ποσότητα πληροφοριών (π.χ. περιβαλλοντικά, σχετικά με τις καλλιέργειες και οικονομικά δεδομένα) επειδή είναι δύσκολο για αυτούς να μεταφέρουν αυτά τα δεδομένα σε πρακτικές γνώσεις. Έτσι, απαιτούνται πλατφόρμες όπως συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (“Decision Support Systems” – DSS) για να τους βοηθήσουν στη λήψη τεκμηριωμένων και ακριβών αποφάσεων (Rad et al., 2015).

Όσον αφορά τον ορισμό των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, οι ερευνητές έχουν περιγράψει αυτόν τον όρο από διάφορες απόψεις. Το 1980, ο Jones (1980) περιέγραψε τον όρο «σύστημα υποστήριξης αποφάσεων» ως «ένα σύστημα υποστήριξης που βασίζεται στον υπολογιστή για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων που αντιμετωπίζουν ημι-δομημένα προβλήματα για τη βελτίωση της ποιότητας των αποφάσεων». Οι Sheng και Zhang (2009) τα όρισαν ως «ένα σύστημα ανθρώπου-υπολογιστή που είναι σε θέση να συλλέγει, να επεξεργάζεται και να παρέχει πληροφορίες με βάση τους υπολογιστές». Οι Yazdani et al. (2017) το θεώρησαν ως «μια συγκεκριμένη κατηγορία μηχανογραφημένου συστήματος πληροφοριών, που επιτρέπει τη διαχείριση των δραστηριοτήτων λήψης αποφάσεων». Οι Terribile et al. (2015) το εξήγησαν ως ένα έξυπνο σύστημα που παρέχει λειτουργικές απαντήσεις και υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σε συγκεκριμένες απαιτήσεις και προβλήματα με βάση τα συλλεγόμενα δεδομένα. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω ορισμούς,

ένα σύστημα υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων μπορεί να οριστεί ως ένα σύστημα ανθρώπινου υπολογιστή που χρησιμοποιεί δεδομένα από διάφορες πηγές, με στόχο να παρέχει στους αγρότες έναν κατάλογο συμβουλών για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων τους υπό διαφορετικές συνθήκες. Ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων είναι ότι δεν δίνει άμεσες οδηγίες ή εντολές στους αγρότες. Επειδή οι αγρότες είναι σε θέση να λάβουν τις τελικές αποφάσεις (Rad et al., 2015).

Ένα σύστημα υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων δεν είναι μόνο ικανό να παρέχει μια λίστα επιλογών για συνεχιζόμενες δραστηριότητες, αλλά μπορεί επίσης να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να επιτύχουν καλύτερες επιδόσεις σε μελλοντικές εργασίες ((Khanal et al., 2017)). Ορισμένα επιτυχημένα παραδείγματα έχουν δείξει πώς η γεωργία ακριβείας μπορεί να επωφεληθεί από τα συστήματα στήριξης των γεωργικών αποφάσεων. Για παράδειγμα, η πλατφόρμα απόφασης Watson για τη γεωργία κυκλοφόρησε από την IBM Watson και την The Weather Company, συνδυάζοντας τη γεωργία με τις προηγμένες δυνατότητες της IBM στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης, του Διαδικτύου των πραγμάτων και της Υπολογιστικής Νέφους (Cloud). Αυτή η πλατφόρμα παρέχει μια σειρά από λύσεις που εκτείνονται στο οικοσύστημα από το αγρόκτημα στο πιρούνι και είναι σε θέση να αναλύσει τυχόν παράγοντες που έχουν πιθανές επιπτώσεις στις καλλιέργειες. Οι αγρότες μπορούν να αποκτήσουν εικόνες περικοπής με την ανάπτυξη μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων. Στη συνέχεια, αυτές οι εικόνες μεταφορτώνονται στο IBM Cloud για περαιτέρω αναλύσεις βάσει αλγορίθμων όρασης υπολογιστή. Τα αναλυτικά αποτελέσματα ενημερώνουν τους αγρότες με τις συνθήκες υγείας των καλλιεργειών. Έτσι, η αποτελεσματικότητα εργασίας και η ακρίβεια της ανίχνευσης ασθενειών των καλλιεργειών βελτιώνονται σημαντικά. Από την άλλη, οι ιδιοκτήτες αγροκτημάτων μεγάλης κλίμακας μπορούν να χρησιμοποιήσουν την πλατφόρμα απόφασης Watson για να εκτιμήσουν την τάση των τιμών στις εμπορικές αγορές. Υπό αυτήν την περίπτωση, ο χρόνος άρδευσης, επικονίασης, φαινολογίας, λίπανσης, συγκομιδής και πώλησης μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια προκειμένου να επιτευχθούν τα μέγιστα κέρδη. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εισόδους στην πλατφόρμα απόφασης Watson αφορούν διάφορες πηγές, όπως δεδομένα καιρού (παρέχονται από την Weather Company), δεδομένα εδάφους (υγρασία σε πολλαπλά βάθη, περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά, γονιμότητα και τύπος), δεδομένα εξοπλισμού (συλλέγονται από αισθητήρες σε συσκευές), δεδομένα ροής εργασίας (ημερομηνίες φύτευσης και συγκομιδής, ποσοστά εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και εξόδους συγκομιδής) και οπτικές εικόνες υψηλής ευκρίνειας (συλλέγονται από δορυφόρους, drone και αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας) (Jawad et al., 2017).

Αν και τα συστήματα υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων είναι αρκετά χρήσιμα στη διαχείριση των εκμεταλλεύσεων, το ανεπιθύμητο γεγονός είναι ότι η χρήση συστημάτων υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων έχει περιοριστεί λόγω ορισμένων κρίσιμων ζητημάτων, όπως η ελλιπής λειτουργικότητα, η ανεπαρκής προσοχή στο σχεδιασμό τους, η ανεπαρκής ανάλυση απαιτήσεων και η κακή διεπαφές γραφικών (Patricio & Rieder, 2018). Πιο συγκεκριμένα:

Οι αγρότες σπάνια έχουν εμπειρία ή γνώση της χρήσης συστημάτων υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων. Η τυπική γραφική διεπαφή των συστημάτων υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων μερικές φορές δεν είναι φιλική προς τον χρήστη και μπορεί να προκαλεί σύγχυση στους αγρότες να εκτελούν τις επιθυμητές εργασίες.

Οι προγραμματιστές συστημάτων υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων ενδέχεται να αγνοήσουν τις αναλύσεις απαιτήσεων από τους τελικούς χρήστες, οδηγώντας στο γεγονός ότι οι εισροές και τα αποτελέσματα των συστημάτων υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων ενδέχεται να μην ταιριάζουν στις ανάγκες και τις μορφές λήψης αποφάσεων των αγροτών.

Οι λειτουργίες των τρεχόντων συστημάτων υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων είναι περιορισμένες και ειδικές για κάθε εργασία. Ένα σύστημα στήριξης γεωργικών αποφάσεων μπορεί να επικεντρωθεί μόνο σε μία μόνο προοπτική. Κατά συνέπεια, οι αγρότες πρέπει να χρησιμοποιούν διάφορα συστήματα στήριξης γεωργικών αποφάσεων για τη διαχείριση των γεωργικών δραστηριοτήτων.

Κατά τη δημιουργία των συμβουλών, τα τρέχοντα συστήματα υποστήριξης των γεωργικών αποφάσεων ενδέχεται να χάσουν ορισμένους θεμελιώδεις παράγοντες, όπως η κλιματική αλλαγή, η χωρική μεταβλητότητα του εδάφους, οι ασθένειες των καλλιεργειών κ.λπ.

Στη βιβλιογραφία, τα γεωργικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων έχουν καλύψει τις γεωργικές εφαρμογές στους εξής τομείς: 1. Διαχείριση αποστολών 2. διαχείριση υδάτινων πόρων, 3. προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, και 4. έλεγχος των αποβλήτων (τροφίμων και λοιπών). Τα γεωργικά δεδομένα πρέπει να συλλέγονται πρώτα και να αντιμετωπίζονται ως εισροές στα εργαλεία λήψης αποφάσεων (δηλαδή στις μονάδες). Οι συμβουλές για τη διαχείριση των γεωργικών δραστηριοτήτων παράγονται σύμφωνα με τα υπολογιστικά αποτελέσματα. Οι αγρότες μπορούν στη συνέχεια να επιλέξουν την καταλληλότερη επιλογή και να την υιοθετήσουν για την επίλυση των προβλημάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περιορισμοί πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη διασφάλιση της ποιότητας των παρεχόμενων συμβουλών (Duhan et al., 2017).

Τα συστήματα υποστήριξης γεωργικών αποφάσεων επιτρέπουν κυρίως τον σχεδιασμό αποστολών, τον σχεδιασμό διαδρομών σε χωράφια ευαίσθητα στο έδαφος, τη διαχείριση υδατικών πόρων και τον έξυπνο έλεγχο άρδευσης.

2.3.5 Διαφορική δράση

Η εφαρμογή μεταβλητού ρυθμού (Variable Rate Application - VRA), για την γεωργία ακριβείας αναφέρεται στην εφαρμογή ενός υλικού, έτσι ώστε ο ρυθμός εφαρμογής να βασίζεται στην ακριβή τοποθεσία ή στις ποιότητες της περιοχής στην οποία εφαρμόζεται το υλικό, είναι ένας τομέας τεχνολογίας που εστιάζει στην αυτοματοποιημένη εφαρμογή υλικών σε ένα δεδομένο χώρο. Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται τα υλικά βασίζεται σε δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες, χάρτες και GPS. Αυτά τα υλικά περιλαμβάνουν πράγματα όπως λιπάσματα, χημικά και σπόρους και όλα βοηθούν στη βελτιστοποίηση της παραγωγής καλλιεργειών (Rad et al., 2015).

Υπάρχουν πολλές μορφές τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή μεταβλητού ρυθμού για τη γεωργία ακριβείας. Περιλαμβάνουν τα πάντα, από drone και δορυφόρους, έως τεχνητή νοημοσύνη (AI) και υπερφασματική απεικόνιση. Ανεξάρτητα από το ποια τεχνολογία εφαρμογών μεταβλητού ρυθμού χρησιμοποιείται, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τον γενικό τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται αυτή η τεχνολογία (Khanal et al., 2017).

Η διαφορική εφαρμογή των εισόδων που χρησιμοποιούν τεχνολογία VRA είναι ουσιαστικά ένα πρόβλημα μηχανικής. Λόγω του εμπορικού δυναμικού της τεχνολογίας VRA, μεγάλο μέρος αυτής της μηχανικής ανάπτυξης καθοδηγείται από τον ιδιωτικό τομέα. Ο εξοπλισμός VRA θα πρέπει επίσης να καταγράφει την πραγματική διαδικασία εφαρμογής για έλεγχο ποιότητας. Η τεχνολογία διαφορικών εφαρμογών ήταν πιθανώς το πιο ανεπτυγμένο μέρος του κύκλου διαχείρισης ειδικών τοποθεσιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και η ανάπτυξη νέων μεθόδων για διαφορική εφαρμογή παραμένει έργο πολλών ερευνητικών και εμπορικών οντοτήτων σε όλο τον κόσμο (Chawade et al., 2019).

2.4 Συσκευές Συλλογής Δεδομένων

Διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας έχουν εισαχθεί τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της ταχείας αύξησης των συσκευών IoT και των τεχνολογιών WSN. Κάθε πρωτόκολλο έχει τις δικές του προδιαγραφές ανάλογα με το εύρος ζώνης, τον αριθμό των ελεύθερων καναλιών, τον ρυθμό δεδομένων, το χρονοισμό της μπαταρίας, την τιμή και άλλους παράγοντες. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα για ασύρματη επικοινωνία σε εφαρμογές που βασίζονται σε IoT στη γεωργία είναι (Abobatta, 2020):

2.4.1 «Έξυπνα» Κινητά Τηλέφωνα

Οι επαγγελματίες της γεωργίας συνέχισαν να επωφελούνται από άποψη κερδοφορίας και παραγωγικότητας χρησιμοποιώντας εξελίξεις τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας. Από τη συλλογή δεδομένων και την παρακολούθηση της απόδοσης της μηχανής, έως την καταγραφή των δραστηριοτήτων εντοπισμού καλλιεργειών και τον έλεγχο των drone, οι εφαρμογές για κινητά αποτελούν πλέον βασικό στοιχείο στον κόσμο της γεωργίας ακριβείας. Οι έξυπνες γεωργικές τεχνολογίες διευκόλυναν και βοήθησαν τους καλλιεργητές να μειώσουν σημαντικά το λειτουργικό κόστος των εκμεταλλεύσεών τους, ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν την απόδοση και παράγουν κομμάτια γης. Αυτό μεταφράζεται τελικά σε αυξημένη κερδοφορία αυτών των αγροκτημάτων. Τα τελευταία χρόνια, ένα από τα κρίσιμα στάδια, όπως η επανάσταση και οι κορυφαίες έξυπνες τεχνολογίες γεωργίας που έχουν ενισχύσει σημαντικά τις γεωργικές πρακτικές και τον τρόπο με τον οποίο οι γεωργοί ασκούν τις δραστηριότητές τους είναι οι γεωργικές εφαρμογές για κινητά (Duhan et al., 2017).

Επιπλέον, οι γεωργικές εφαρμογές για κινητά έχουν αποκτήσει ευρεία αποδοχή μεταξύ των σύγχρονων καλλιεργητών λόγω της ευέλικτης φύσης τους. Αυτές οι εφαρμογές για κινητές συσκευές μπορούν να εκτελέσουν πολλές εργασίες στο αγρόκτημα που περιλαμβάνουν τη δημιουργία χαρτών αγροκτήματος, τον εντοπισμό του αγροκτήματος, τη διαχείριση των δεδομένων αγροκτήματος, τη μεταφορά γεωργικών κηφώνων πάνω από το πεδίο μεταξύ πολλών άλλων θέσεων εργασίας που απαιτούνται από τον αγρότη. Η βολική και εύχρηστη φύση των γεωργικών εφαρμογών για κινητές συσκευές είναι αυτό που τους επέτρεψε να αποκτήσουν δημοτικότητα μεταξύ των αγροτών (Fulton & Port, 2018). Μερικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι το FieldNET Mobile, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να ελέγχουν και να παρακολουθούν τους άξονες άρδευσης από οπουδήποτε, το PureSense Irrigation Manager το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν τις συνθήκες πεδίου σε πραγματικό χρόνο και τη δραστηριότητα άρδευσης από τα τηλέφωνα τους και το SoilWeb το οποίο παρέχει πρόσβαση σε δεδομένα έρευνας εδάφους USDA-NRCS σε πραγματικό χρόνο με βάση το GPS.

Για να συνεχίσουν να ανταποκρίνονται στην αυξανόμενη ζήτηση και ανάγκες των παγκόσμιων καλλιεργητών, οι προγραμματιστές εφαρμογών για κινητά στον γεωργικό τομέα συνέχισαν να βελτιώνουν τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά των αγροτικών εφαρμογών. Αυτοί οι προγραμματιστές είναι πρόθυμοι να διασφαλίσουν ότι οι γεωργικές εφαρμογές καλύπτουν σχεδόν όλες τις ανάγκες του στοχευμένου αγρότη και φιλικό προς τον χρήστη (Rad et al., 2015).

Επομένως, οι γεωργικές εφαρμογές για κινητές συσκευές που είναι διαθέσιμες στους αγρότες αναμένεται να είναι εύχρηστες και θα πρέπει επίσης να παρέχουν τόσο βασικά

όσο και κατασχεθέντα αναλυτικά εργαλεία με όλες τις πληροφορίες και τα βοηθητικά προγράμματα που χρειάζονται για χρήση από τον αγρότη (McConnell, 2019).

Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας είναι πιο κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικό ρυθμό δεδομένων. Μπορεί να χρησιμοποιήσει τις δυνατότητες κινητής επικοινωνίας GSM, 3G και 4G παρέχοντας αξιόπιστη συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας στο Διαδίκτυο, απαιτώντας υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Απαιτεί την ανάπτυξη της υποδομής και το κόστος λειτουργίας και τη δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας του προσωπικού με κεντρική διαχείριση. Η τεχνολογία 4G απαιτεί περισσότερη ισχύ μπαταρίας, αλλά η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας είναι μια καλή επιλογή σε υπόγεια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, όπως συστήματα ασφαλείας σε έργα έξυπνων σπιτιών και εφαρμογές γεωργίας. Η ανάγνωση που καταγράφηκε από τα πεδία μεταδόθηκε μέσω του cloud χρησιμοποιώντας το κινητό δίκτυο 4G LTE (Shannon et al., 2020).

2.4.2 6LoWPAN

Το 6LoWPAN είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που βασίζεται σε IP, το οποίο ήταν το πρώτο πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία IoT. Το 6LoWPAN έχει επίσης χαμηλό κόστος λόγω του χαμηλού εύρους ζώνης και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Το 6LoWPAN υποστηρίζει πολλαπλές τοπολογίες όπως τοπολογίες αστεριών και ματιών. Για τον χειρισμό της διαλειτουργικότητας μεταξύ IPv6 και IEEE 802.15.4, υπάρχει ένα επίπεδο προσαρμογής μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου MAC. Οι εφαρμογές του 6LoWPAN στην γεωργία ακριβείας παρακολουθούν την κατάσταση του εξοπλισμού, τον αγρό, τα λοιπά συστήματα παρακολούθησης και τα συστήματα αυτοματισμού. Το 6LoWPAN επιτρέπει μια ευρεία γκάμα τεχνολογιών για τη λήψη δεδομένων, τη συστηματοποίησή τους σε χρόνο και χώρο, τα στατιστικά χαρακτηριστικά, την αποθήκευση και τη συγχώνευσή τους και, τέλος, την ανάλυσή τους για σκοπούς λήψης αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένης της δειγματοληψίας εδάφους πλέγματος, της παρακολούθησης απόδοσης και του εντοπισμού καλλιεργειών. Η RS σε συνδυασμό με συντεταγμένες GPS παρήγαγαν ακριβείς χάρτες και μοντέλα των γεωργικών πεδίων (Jawad et al., 2017).

2.4.3 ZigBee

Το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται ευρέως στη γεωργία ακριβείας για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών που σχετίζονται με την υγεία των καλλιεργειών. Βασίζεται στο ασύρματο πρότυπο 802.15.4. Έχει ευέλικτη δομή δικτύου, μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας, υποστηρίζει τοπολογία πλέγματος, αστεριών και δέντρων με μετάδοση δεδομένων πολλαπλών λυκίσκων, εγκαθίσταται εύκολα και υποστηρίζει μεγάλους κόμβους. Έχει ένα μικρό εύρος με περιορισμένη ταχύτητα δεδομένων και είναι λιγότερο ασφαλές σε σύγκριση

με τα συστήματα που βασίζονται σε Wi-Fi. Το ZigBee είναι πολύ κοινό σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας, όπως έξυπνα θερμοκήπια και έξυπνα συστήματα άρδευσης. Παρατηρείται ένα έξυπνο σύστημα άρδευσης με βάση το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee, όπου αυτό το σύστημα αποτελείται από δύο κόμβους, δηλαδή έναν κόμβο αισθητήρα και έναν κόμβο ενεργοποιητή. Ο κόμβος αισθητήρα αποτελείται από αισθητήρες υγρασίας εδάφους, οι οποίοι παρακολούθησαν τη στάθμη του νερού στο έδαφος. Η μονάδα ενεργοποίησης ήταν υπεύθυνη για τη λήψη ενεργειών σύμφωνα με τη στάθμη του νερού στο έδαφος. Όλη η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε μέσω του πρωτοκόλλου ZigBee (Wachowiak et al., 2017).

2.4.4 Bluetooth Low Energy - BLE

Το BLE είναι τόσο διάσημο όσο η έξυπνη τεχνολογία Bluetooth, η οποία είναι ένα κατάλληλο πρωτόκολλο για εφαρμογές IoT συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας. Είναι ειδικά σχεδιασμένο για χαμηλό εύρος ζώνης, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και σύντομο εύρος για εφαρμογές IoT. Τα κύρια πλεονεκτήματα του BLE σε σχέση με το τυπικό Bluetooth περιλαμβάνουν χαμηλότερο χρόνο εγκατάστασης, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και απεριόριστη υποστήριξη για κόμβους σε αστρολογία. Έχει πολύ περιορισμένη εμβέλεια 10 μέτρων. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα είναι ότι μπορεί να παρέχει επικοινωνία μόνο μεταξύ δύο συσκευών, παρουσιάζει χαμηλή ασφάλεια και μπορεί να χάσει τη σύνδεση κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας. Παρατηρείται μια υποδομή βασισμένη στο BLE για τη συλλογή δεδομένων των αισθητήρων, όπου το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποίησε ένα έξυπνο τηλέφωνο για να συλλέξει τα δεδομένα των αισθητήρων χρησιμοποιώντας το BLE, όπου αναπτύχθηκαν αισθητήρες στις εγκαταστάσεις, δηλαδή αισθητήρες υγρασίας εδάφους και αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους. (Zhang, 2016)

2.4.5 Αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (Radio-frequency identification -RFID)

Τα συστήματα RFID αποτελούνται από έναν αναγνώστη και έναν αναμεταδότη, οι οποίοι έχουν πολύ μικρή ραδιοσυχνότητα, που ονομάζεται RF tag. Αυτή η ετικέτα προγραμματίζεται ηλεκτρονικά με διακριτικές πληροφορίες που έχουν χαρακτηριστικό ανάγνωσης. Το RFID έχει δύο τεχνολογίες για το σύστημα ετικετών, η πρώτη είναι το ενεργό σύστημα ετικέτας αναγνώστη και η άλλη είναι η ετικέτα παθητικής ανάγνωσης. Τα ενεργά συστήματα ετικετών ανάγνωσης είναι πιο ακριβά, καθώς χρησιμοποιούν περισσότερη ισχύ μπαταρίας και χρησιμοποιούν υψηλές συχνότητες. Ωστόσο, τα συστήματα παθητικής ετικέτας ανάγνωσης έχουν χαμηλή ισχύ. Ορισμένες εφαρμογές IoT που χρησιμοποιούν RFID περιλαμβάνουν έξυπνες αγορές, υγειονομική περίθαλψη, εθνική ασφάλεια και εφαρμογές έξυπνης γεωργίας. Παρατηρείται ένα έξυπνο σύστημα άρδευσης με βάση το IoT βασισμένο σε RFID, όπου το σύστημα αποτελείται από αισθητήρες υγρασίας εδάφους και θερμοκρασίας εδάφους μαζί με σύστημα ελέγχου

νερού, οπότε συνέλεξε την ανάγνωση των αισθητήρων και έστειλε αυτές τις μετρήσεις στο cloud χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα επικοινωνίας RFID, όπου ο χρήστης έλεγχε μια αντλία νερού με βάση τη στάθμη του νερού του εδάφους (Kaushal & Wani, 2017).

Υπάρχουν πολλές χρήσεις για την τεχνολογία RFID στη γεωργία ακριβείας. Τα δέματα των προϊόντων μπορούν να επισημανθούν, καταγράφοντας την ημερομηνία συγκομιδής, το πεδίο όπου συλλέχθηκε, τη θερμοκρασία, το βάρος, το επίπεδο υγρασίας και τις διατροφικές πληροφορίες που πρέπει να συλλαμβάνονται και να αποθηκεύονται. Το RFID έχει πολλές δυνατότητες: Έχει υψηλό ρυθμό αναγνώρισης, μνήμη μάζας, ασφαλή πρόσβαση και μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα υπάρχον σύστημα χωρίς δυσκολία. Η συλλογή δεδομένων σε θερμοκήπια γίνεται επίσης με εξειδικευμένες ετικέτες RFID και αναγνώστες, οι οποίες είναι σχεδιασμένες για ζεστές και υγρές συνθήκες. Τοποθετώντας ετικέτες RFID στα πακέτα γεωργικών προϊόντων, οι αγρότες μπορούν να προσδιορίσουν την κατάσταση υγείας του προϊόντος, καθιστώντας βολικό για τις εταιρείες επεξεργασίας να προσθέτουν ταυτόχρονα πληροφορίες στην ετικέτα, όπως κωδικοί επιχείρησης, ημερομηνία επεξεργασίας, επεξεργασία παρτίδας και βάρος συσκευασίας. Η χρήση του RFID επιτρέπει την παρακολούθηση της αλυσίδας ευπαθών τροφίμων και την επέκταση νέων εφαρμογών σε τομείς όπως η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η άρδευση, οι ειδικές καλλιέργειες και τα αγροτικά μηχανήματα (Palazzi et al., 2019).

Οι αγρότες μπορούν να παρακολουθούν τα προϊόντα τους μέσω δικτύου υπολογιστών. Το προϊόν μπορεί να εξεταστεί μέσω μιας ετικέτας, μετακινώντας γρήγορα την επιθεώρηση. Με την ανάγνωση των πληροφοριών που είναι αποθηκευμένες σε μια ετικέτα RFID, θα μπορούσε να ληφθεί απόφαση εάν μια αλλαγή θερμοκρασίας θα βλάψει ένα φρέσκο γεωργικό προϊόν ή όχι. Το RFID μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών κατά τη μεταφορά (Ruiz-Garcia & Lunadeim, 2011).

Το RFID μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό μη εξουσιοδοτημένων ανοιγμάτων αποστολών κατά τη μεταφορά, αποθήκευση, διανομή και πώληση. Πριν εισέλθουν γεωργικά προϊόντα σε αποθήκη, τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στην ετικέτα RFID μπορούν να μεταδοθούν σε υπολογιστή. Ο υπολογιστής θα εκδώσει οδηγίες αποθήκευσης σχετικά με το κατάλληλο ράφι και υποδοχές (Palazzi et al., 2019).

Το σωστό σχέδιο αποθέματος μπορεί να επιλεγεί ανάλογα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις του προϊόντος. Ένα σύστημα πληροφοριών θα δημιουργήσει την παραγγελία παραλαβής και αυλακώσεων μόλις λάβει την αίτηση ενός πελάτη. Ο χειριστής μπορεί να επιλέξει το σωστό προϊόν αμέσως αντιστοιχίζοντας τις πληροφορίες στην ετικέτα RFID με την αίτηση. Πρόσθετες πληροφορίες, όπως το

όχημα μεταφοράς, η διαδρομή διανομής και το πρόγραμμα, έχουν ενσωματωθεί στην ετικέτα RFID κατά τη διαδικασία διανομής (Palazzi et al., 2019).

Οι καταναλωτές μπορούν επίσης να επωφεληθούν από την εφαρμογή RFID στις πωλήσεις. Οι καταναλωτές μπορούν να αποκτήσουν βασικές πληροφορίες κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού από την προέλευση έως τον προορισμό. Το RFID μπορεί να βοηθήσει τους καταναλωτές να ελέγξουν την ασφάλεια των γεωργικών προϊόντων (Ruiz-Garcia & Lunadeim, 2011).

2.4.6 Wi-Fi

Το Wi-Fi είναι το πιο κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας που επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν μέσω ασύρματου σήματος. Το Wi-Fi παρέχει σύνδεση ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN) σε εκατομμύρια τοποθεσίες, δηλαδή σπίτια, γραφεία και δημόσιες τοποθεσίες, όπως καφετέριες, ξενοδοχεία και αεροδρόμια με υψηλή ταχύτητα. Το πρωτόκολλο Wi-Fi υποστηρίζει IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g και 802.11n. Το Wi-Fi χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές που βασίζονται σε IoT, συμπεριλαμβανομένων γεωργικών συστημάτων, δηλαδή έξυπνης άρδευσης, παρακολούθησης της υγείας των καλλιεργειών και θερμοκηπίων. Υπάρχει μια υποδομή για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων εντός του θερμοκηπίου, όπως θερμοκρασία, ένταση φωτός και επίπεδο υγρασίας του εδάφους. Αυτή η πλατφόρμα αποτελείται από αισθητήρες που συλλέγουν τα δεδομένα που σχετίζονται με την περιβαλλοντική παραλλαγή και αποστέλλονται στο cloud χρησιμοποιώντας Wi-Fi. Παρομοίως, υπάρχει ένα άλλο σύστημα έξυπνης γεωργίας που βασίζεται σε πρωτόκολλα επικοινωνίας Wi-Fi, όπου αυτό αποτελούνταν από ένα Raspberry Pi συνδεδεμένο με πολλούς αισθητήρες, οι οποίοι συνέλεξαν τα δεδομένα. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μεταδόθηκαν περαιτέρω στο cloud χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα επικοινωνίας Wi-Fi (Reddy et al., 2017).

Το Wi-Fi και, κατ' επέκταση, το Internet of Things (IoT) μπορεί να βοηθήσει τους αγρότες με πολλούς τρόπους. Με τους ενεργοποιημένους αισθητήρες / ενεργοποιητές σε όλα τα αγροκτήματα και τα μηχανήματα, οι αγρότες μπορούν να κερδίσουν ως πληθώρα διορατικών δεδομένων, όπως θερμοκρασία, λιπάσματα, νερό, κ.λπ. Μόλις τεθεί σε λειτουργία ένα έξυπνο σύστημα με δυνατότητα IoT, οι αγρότες μπορούν εύκολα να παρακολουθούν μια ποικιλία περιβαλλοντικές παραμέτρους και κάντε αναλυτική (Lakshmisudha et al., 2016).

2.4.7 LoRaWAN

Το LoRaWAN λειτουργεί στο δίκτυο LoRa. Το LoRaWAN ορίζει την αρχιτεκτονική του συστήματος και το πρωτόκολλο επικοινωνίας του δικτύου, ενώ το φυσικό επίπεδο του LoRa επιτρέπει τη σύνδεση για επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας. Το LoRaWAN διαχειρίζεται τις συχνότητες στην επικοινωνία, το ρυθμό δεδομένων και την

κατανάλωση ισχύος για όλες τις συσκευές. Το LoRaWAN είναι κοινό στις γεωργικές εφαρμογές λόγω της μεγάλης έκτασης κάλυψης και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Μεταξύ όλων των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας, τα 6LoWPAN και ZigBee θεωρούνται πιο κατάλληλα για εφαρμογή ακριβείας γεωργίας, καθώς και τα δύο βασίζονται σε δίκτυα πλέγματος, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για κάλυψη μεγάλων εκτάσεων (Bendre et al., 2015). Το LoRaWAN επιτρέπει την ανίχνευση, παρακολούθηση και έλεγχο σε πολύ μεγάλη απόσταση (πάνω από 15 χλμ.) Μιας μεγάλης ποικιλίας βασικών γεωργικών δεδομένων: θερμοκρασία εδάφους και υγρασία. καιρός, βροχόπτωση και ποιότητα νερού · ατμοσφαιρική ρύπανση · ανάπτυξη των καλλιεργειών; θέση, κατάσταση και επίπεδα ζωοτροφών · έξυπνοι συνδεδεμένοι θεριστές και εξοπλισμός άρδευσης · ανίχνευση πυρκαγιάς, κλοπής και πλημμύρας. Διαθέτει επίσης ασύρματες ιδιότητες μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής ισχύος που επιτρέπουν τη χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους για την αποστολή δεδομένων από το αγρόκτημα στο Cloud όπου μπορούν να αναλυθούν για τη βελτίωση των λειτουργιών. Το Actility επιτρέπει στις γεωργικές εταιρείες να παρέχουν διάφορες υπηρεσίες χρησιμοποιώντας μια κοινή πλατφόρμα ενεργοποίησης IoT, παρέχοντας διακομιστή δικτύου LoRaWAN και λογισμικό για τη διαχείριση δημόσιων ή ιδιωτικών δικτύων, σε μια ενοποιημένη, επεκτάσιμη, πολλαπλής χρήσης υποδομή δικτύου IoT (Kaushal & Wani, 2017).

2.4.8 Τηλεπισκόπηση βασισμένη σε φασματική εικόνα

Η τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη γεωργία ακριβείας για την παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η τηλεπισκόπηση είναι ένα φαινόμενο στο οποίο οι φυσικές συνθήκες της Γης παρατηρούνται από απόσταση υπολογίζοντας την εκπεμπόμενη και ανακλώμενη ακτινοβολία από κάποια απόσταση. Υπάρχουν ειδικές κάμερες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη εικόνων για περαιτέρω ανάλυση για την εύρεση των χαρακτηριστικών μιας συγκεκριμένης περιοχής. Χρησιμοποιούνται πολλές πλατφόρμες για την τοποθέτηση αυτών των καμερών που τραβούν εικόνες των αντικειμένων (Tan, 2016).

2.4.8.1 Πλατφόρμες φασματικής εικόνας

Οι εκτιμήσεις της πλατφόρμας τηλεπισκόπησης για φασματικές εικόνες βασίζονται σε αερομεταφερόμενα, δορυφορικά και μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV). Κάθε πλατφόρμα έχει το δικό της εύρος κάλυψης, το οποίο καθορίζεται από τρεις παράγοντες: (i) Απόσταση δειγματοληψίας εδάφους (GSD), η οποία υπολογίζεται σε όρους χωρικής ανάλυσης, (ii) ρυθμός συλλογής δεδομένων ή συχνότητα και (iii) μέση απόσταση μεταξύ αντικείμενο και αισθητήρα (Jawad et al., 2017)

2.4.8.2 Δορυφορικές πλατφόρμες

Οι δορυφορικές πλατφόρμες για τηλεπισκόπηση θεωρούνται οι πιο σταθερές πλατφόρμες μεταξύ όλων των άλλων. Αυτές οι πλατφόρμες αποτελούνται από δορυφόρους, πυραύλους και διαστημικά λεωφορεία. Οι διαστημικές πλατφόρμες κατηγοριοποιούνται με βάση τις τροχιές και το χρονοδιάγραμμα. Τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης μέσω δορυφόρου περιλαμβάνουν υψηλή χωρική ανάλυση, γεγονός που το καθιστά υποσχόμενο να εξαγάγει εκτεταμένα δεδομένα χρονοσειρών. Οι εικόνες που λαμβάνονται από δορυφορικές πλατφόρμες καλύπτουν μεγάλη περιοχή και είναι σταθερές χωρίς θόρυβο, ο οποίος συνήθως προκαλείται λόγω παρεμβολών κατά τη λήψη εικόνας. Ωστόσο, το κύριο πρόβλημα με δορυφορικές πλατφόρμες είναι το υψηλό κόστος τους στην περίπτωση εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης. Το δεύτερο πρόβλημα είναι το αυστηρά καθορισμένο χρονοδιάγραμμα τους, επομένως δεν είναι δυνατή η συλλογή δεδομένων σε κρίσιμα χρονικά διαστήματα. Οι χρόνοι επίσκεψης ποικίλλουν από δύο φορές σε μία ημέρα έως 16 ημέρες, ανάλογα με την τροχιά του δορυφόρου. Το άλλο μεγάλο πρόβλημα είναι ότι οι δορυφορικές πλατφόρμες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις καιρικές συνθήκες, οπότε αν ο καιρός είναι νεφελώδης, η ληφθείσα εικόνα θα έχει λιγότερο λεπτομερείς πληροφορίες. (McConnell, 2019).

2.4.8.3 Αερομεταφερόμενες πλατφόρμες

Η αερομεταφερόμενη πλατφόρμα είναι ευέλικτη σε σύγκριση με τις δορυφορικές πλατφόρμες, αλλά εξακολουθεί να είναι ακριβή. Ο χρόνος επανεξέτασης βρίσκεται στον ανθρώπινο έλεγχο, ο οποίος μπορεί να αλλάξει ανά πάσα στιγμή. Η περιοχή κάλυψης από αυτήν την πλατφόρμα είναι πολύ μικρότερη από τις δορυφορικές, αλλά σχετικά μεγαλύτερη από τις πλατφόρμες UAV (Bonfante et al., 2019)

2.4.8.4 Πλατφόρμες UAV

Οι πλατφόρμες UAV είναι μια εναλλακτική λύση έναντι των δορυφορικών και των αερομεταφερόμενων, οι οποίες είναι αρκετά ευέλικτες και οικονομικά αποδοτικές. Μια τυπική πλατφόρμα UAV αποτελείται από ένα σύστημα επικοινωνίας και πλοήγησης που ενσωματώνει ένα σύνολο αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι σε αυτό. Σε γενικές γραμμές, ένας μεγαλύτερος χρόνος πτήσης επιτυγχάνεται από συστήματα σταθερής πτέρυγας, τα οποία απαιτούν ελαφρύτερα ωφέλιμα φορτία. Για παράδειγμα, οι κάμερες υψηλής ευκρίνειας που ζυγίζουν λιγότερο από 300 γραμμάρια ως το ωφέλιμο φορτίο ενός UAV σταθερής πτέρυγας του επιτρέπουν να πετά για περίπου δύο ώρες χρησιμοποιώντας την τρέχουσα διαθέσιμη ισχύ μπαταρίας. Αντίθετα, το πολυδύναμο UAV με μπαταρία με υψηλότερη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου έχει μειωμένο χρόνο πτήσης, δηλαδή περίπου 15-25 λεπτά. (McConnell, 2019).

2.5 Εφαρμογές ασύρματου δικτύου αισθητήρων στη γεωργία

Πολλές εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων χρησιμοποιούνται σήμερα στον γεωργικό τομέα. Μερικές πολύ συχνές εφαρμογές είναι η έξυπνη άρδευση, η έξυπνη λίπανση, ο έξυπνος έλεγχος παρασίτων και η παρακολούθηση του θερμοκηπίου (Maloku, 2020).

2.5.1 Έξυπνα συστήματα άρδευσης

Η έξυπνη άρδευση είναι μια τεχνητή εφαρμογή άρδευσης που ελέγχει την ποσότητα νερού λαμβάνοντας μια απόφαση σχετικά με το πού χρειάζεται νερό. Είναι το πιο σημαντικό συστατικό της γεωργίας, το οποίο έχει μεγάλο αντίκτυπο στην υγεία, το κόστος και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Μια σημαντική πτυχή της έξυπνης άρδευσης είναι να αποφευχθεί η σπατάλη νερού, καθώς οι περισσότερες χώρες στον κόσμο αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας (Drashna et al, 2015).

Επίσης, η αλατότητα του εδάφους είναι ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς για τη γεωργία, καθώς ο τύπος της καλλιέργειας εξαρτάται μόνο από την αλατότητα του εδάφους. Για ξηρό και ημι-ξηρό περιβάλλον η αλατότητα του εδάφους είναι ένας σημαντικός σχεδιαστικός περιορισμός που δείχνει το βάθος του αλατιού σε ένα καθορισμένο βάθος εδάφους. Για την ανίχνευση της αλατότητας του εδάφους χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι απόκτησης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων και σύντηξης πολλαπλών αισθητήρων (Namala et al, 2016).

Τα αυτόματα συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται σε πολλά σημεία. Αυτά τα συστήματα αυτόματου ελέγχου χρησιμοποιούνται για τη λήψη του νερού από την πηγή (ποτάμια, υποβρύχια ρεύματα κ.λπ.). Σε ορισμένα μέρη υπάρχουν ξηρασίες που θα συμβούν περιφερειακά και αυτό θα παρατηρηθεί από τον κάθετο δείκτη ξηρασίας, ο οποίος μπορεί να γίνει εύκολα σε συνθήκες πυκνής βλάστησης. . Για κάθε αγρότη, είναι πολύ δύσκολο να διατηρηθεί η σωστή ποσότητα νερού κατά την άρδευση. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση ασύρματων αισθητήρων στην άρδευση και αυτή η διαδικασία διευκολύνει τον αγρότη στην άρδευση. Μέσω της χρήσης της τεχνολογίας έξυπνων συστημάτων άρδευσης, γίνεται να ξεπεραστούν πολλά προβλήματα και η τεχνολογία διευκόλυνε την προσαρμογή εναντίον οποιωνδήποτε καιρικών συνθηκών (Harishankar et al, 2014).

Στην έξυπνη άρδευση χρησιμοποιούνται ορισμένα εννοιολογικά μοντέλα για την επίλυση των προβλημάτων και την αύξηση της αποτελεσματικής χρήσης του νερού. Το πρώτο βήμα το χρησιμοποιούμε για να ελέγξουμε το επίπεδο υγρασίας στη γύρω περιοχή και αυτό βοηθά να μάθουμε πώς να τροφοδοτούμε νερό σε αυτό το αγροτικό πεδίο. Εάν η υγρασία είναι μικρότερη από την τιμή κατωφλίου, το νερό αρχίζει να

αντλείται σε αυτό το πεδίο και εάν η υγρασία είναι υψηλή, θα φτάσει στο αρχικό του στάδιο.

Ένας άλλος τρόπος γεωργίας με αποτελεσματικό τρόπο είναι να χρησιμοποιήσετε μερικούς αισθητήρες εδάφους. Χρησιμοποιώντας αυτούς τους αισθητήρες, είναι γνωστή η περιεκτικότητα σε νερό στο έδαφος. Ένας άλλος τρόπος είναι να διατηρηθούν μερικοί αισθητήρες εδάφους σε τρία διαφορετικά μέρη για τριγωνομετρία. Εάν παρατηρηθεί υγρασία από τον επάνω αισθητήρα του συστήματος, θα απενεργοποιηθεί και δεν παρέχεται νερό στον αγρό. Εάν παρατηρηθεί υγρασία τόσο από τον αισθητήρα κορυφής όσο και από τον μεσαίο αισθητήρα, το σύστημα δεν θα ενεργοποιηθεί και δεν θα τροφοδοτηθεί νερό στον αγρό. Εάν παρέχεται μεγάλη ποσότητα νερού ή εάν δεν υπάρχει παροχή νερού στο πεδίο, ο ιδιοκτήτης θα λάβει ένα μήνυμα στο κινητό του μέσω της εφαρμογής Android μέσω του κοινού Wi-Fi μεταξύ του συστήματος και του κινητού (Sahu et al, 2015).

Μια άλλη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί διατηρώντας διαφορετικούς αισθητήρες σε διαφορετικά μέρη στο πεδίο για να καθοριστεί η θερμοκρασία του εδάφους, η υγρασία του εδάφους, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα. Τα διάφορα στοιχεία συνδέονται με έναν ελεγκτή, συνήθως Arduino. Με αυτό, οι πληροφορίες σχετικά με το χωράφι αποστέλλονται στον αγρότη χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή Android. Υπάρχουν τρία στάδια στη διαδικασία αποστολής πληροφοριών στους αγρότες και τα τρία στάδια εξηγούνται ως 1. Χρήση Αισθητήρων, 2. Επεξεργασία, 3. Διανομή πληροφοριών (Rawal, 2017).

Υπάρχουν πολλές αρχές στον αυτοματισμό της έξυπνης άρδευσης και οι αρχές είναι η μηχανική, η επικοινωνία και τα ηλεκτρονικά. Τα διαφορετικά συστήματα είναι το σύστημα γερανού, ο αισθητήρας υπερύθρων, ο οπτοσυζεύκτης και ο έξυπνος ποτιστής (Zhao et al, 2017).

Οι αγρότες χρησιμοποιούν κυρίως τις τρεις σημαντικές τεχνικές για την άρδευση της καλλιέργειας, η οποία μπορεί να βοηθηθεί μέσω των έξυπνων συστημάτων. Οι τρεις μέθοδοι είναι σύστημα καναλιών, σύστημα ψεκασμού, και το σύστημα στάγδην (Saraf et al, 2017).

Στο σύστημα καναλιών, οι αγρότες δημιουργούν μονοπάτι για τη ροή του νερού χειροκίνητα προς τα φυτά αυτής της καλλιέργειας και επιτρέπουν στο νερό να ρέει μέσω του καναλιού. Το έξυπνο σύστημα άρδευσης μπορεί να παρακολουθεί τη ροή του νερού μέσω αισθητήρων και, μέσω «πυλών» στο κανάλι, να διοχετεύει τη ροή στα σημεία που χρειάζεται ή και να σταματάει / ξεκινάει την άρδευση (Darshna et al, 2015).

Το σύστημα στάγδην εξηγεί ότι αρκετοί σωλήνες με πολλές τρύπες σε αυτό τρέχουν γύρω από το κάτω μέρος κάθε φυτού της καλλιέργειας και ρέει νερό. Η διαδικασία έξυπνης άρδευσης λειτουργεί όπως και στο σύστημα καναλιών, με τους αισθητήρες να

μετρούν τα επίπεδα υγρασίας και να παραμετροποιούν τη ροή του νερού (Namala et al, 2016).

Το σύστημα ψεκασμού λειτουργεί με διατεταγμένους ψεκαστήρες σε διαφορετικές θέσεις της καλλιέργειας και ότι το νερό ψεκάζεται σε όλη τη σοδειά. Παρομοίως με τα ανωτέρω συστήματα, η ροή καθορίζεται από τους αισθητήρες, οι οποίοι ωστόσο μετρούν την άρδευση με υψηλότερα επίπεδα υγρασίας, λόγω των παφλασμών που προκαλούνται από τη φύση του συστήματος (Harishankar et al, 2014).

Η έξυπνη άρδευση αποτελείται από πολλά βήματα και εξηγούνται από την απόκτηση δεδομένων αισθητήρα, την ασύρματη μετάδοση δεδομένων, την επεξεργασία δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων, την αυτοματοποίηση του συστήματος άρδευσης. Όλα τα δεδομένα σχετικά με όλες τις τεχνικές ανίχνευσης αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων MySQL. Με αυτό, τα δεδομένα αποθηκεύονται και εκτελούνται με αυτόν τον τρόπο (Sahu et al, 2015).

Σε αυτήν την τεχνική έξυπνης άρδευσης, υπάρχουν τρία βήματα και είναι μονάδα μικροελεγκτή, είσοδοι, έξοδος. Στην ενότητα εξόδου, εμπλέκονται πολλά εξαρτήματα και είναι αισθητήρας υγρασίας, αισθητήρας καπνού και αισθητήρας θερμοκρασίας. Με αυτό, ο αγρότης μπορεί εύκολα να γνωρίζει τη χρήση μιας εφαρμογής Android (Rawal, 2017).

Οι κύριοι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται στην έξυπνη άρδευση είναι το Arduino και το Raspberry Pi, με το Arduino να είναι το πιο δημοφιλές. Οι αισθητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο στην έξυπνη άρδευση. Τα έξυπνα συστήματα, ενσωματωμένα με αισθητήρες, επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με τον φυσικό κόσμο χάρη στο Διαδίκτυο των πραγμάτων. (Paustian & Theuvsen, 2017).

Ένα δημοφιλές παράδειγμα συστήματος έξυπνης άρδευσης στις ΗΠΑ, Ευρώπη και Ινδία είναι το Smart Watering. Το Smart Watering επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο του συστήματος άρδευσης ή/και εφαρμογής λιπάσματος μέσω μίας εφαρμογής, παρέχει δεδομένα και αναλύσεις ως σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, και βελτιστοποιεί την παραγωγή των φυτών χάρη στην κατάλληλη εφαρμογή νερού και λιπάσματος. Λειτουργεί μέσω της τοποθέτησης ενός κεντρικού επεξεργαστή στο προ-υπάρχον σύστημα άρδευσης και αισθητήρων για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, του pH, του κλίματος και του κρύου (smart-watering.com, 2021)

2.5.2 Έξυπνο σύστημα λίπανσης

Το λίπασμα είναι μια τεχνητή ή φυσική ουσία που έχει ορισμένα χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των φυτών. Ο χειροκίνητος ψεκασμός είναι μια κοινή τεχνική που χρησιμοποιείται για τη

λίπανση. Ωστόσο, ο βέλτιστος τρόπος λίπανσης απαιτεί ικανότητες ανίχνευσης για να βρει το ακριβές μέρος όπου χρειάζεται το λίπασμα, ποια χημικά συστατικά λείπουν και την ποσότητα λιπάσματος που απαιτείται. Είναι σημαντικό να παρέχονται λιπάσματα σε πολύ ακριβή ποσότητα προκειμένου να βελτιωθεί η παραγωγικότητα. (Vecchio et al., 2020).

Ένα λίπασμα είναι μια φυσική ή χημική ουσία που μπορεί να παρέχει σημαντικά θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη και τη γονιμότητα των φυτών. Τα φυτά χρειάζονται κυρίως τρία βασικά μακροθρεπτικά συστατικά: άζωτο (N) για την ανάπτυξη των φύλλων, φωσφόρος (P) για ρίζα, άνθη και ανάπτυξη φρούτων, κάλιο (K) για ανάπτυξη βλαστών και κίνηση του νερού (Vecchio et al., 2020).

Οποιαδήποτε έλλειψη θρεπτικών συστατικών ή η ακατάλληλη εφαρμογή τους μπορεί να είναι σοβαρά επιβλαβής για την υγεία των φυτών. Το πιο σημαντικό, η υπερβολική χρήση λιπασμάτων όχι μόνο οδηγεί σε οικονομικές απώλειες, αλλά επίσης δημιουργεί επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος και το περιβάλλον μειώνοντας την ποιότητα του εδάφους, δηλητηριάζοντας τα υπόγεια ύδατα και συμβάλλοντας στις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές. Συνολικά, οι καλλιέργειες απορροφούν λιγότερο από το μισό άζωτο που εφαρμόζεται ως λίπασμα, ενώ παραμένουν είτε εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είτε χάνονται ως απορροή. Η μη ισορροπημένη χρήση λιπασμάτων οδηγεί σε ανισορροπία τόσο στα επίπεδα θρεπτικών συστατικών του εδάφους όσο και στο παγκόσμιο κλίμα, καθώς, σύμφωνα με πληροφορίες, περίπου το 80% της παγκόσμιας αποψίλωσης των δασών οφείλεται μόνο στις γεωργικές πρακτικές (Prabha et al, 2018).

Η λίπανση στο πλαίσιο της έξυπνης γεωργίας συμβάλλει στον ακριβή υπολογισμό της απαιτούμενης δόσης θρεπτικών ουσιών, ελαχιστοποιώντας τελικά τις αρνητικές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Η λίπανση απαιτεί μετρήσεις επιπέδου θρεπτικών ουσιών στο έδαφος με βάση διάφορους παράγοντες, όπως τύπο καλλιέργειας, τύπος εδάφους, ικανότητα απορρόφησης εδάφους, απόδοση προϊόντος, τύπο γονιμότητας και ποσοστό χρησιμοποίησης, καιρικές συνθήκες κ.λπ. Ο λόγος είναι ότι η μέτρηση του επιπέδου θρεπτικών συστατικών του εδάφους δεν είναι μόνο ακριβό, αλλά και χρονοβόρο, καθώς, συνήθως, απαιτούνται έρευνες δειγμάτων εδάφους σε κάθε τοποθεσία (Guimaraes et al, 2018).

Οι νέες προσεγγίσεις λίπανσης με βάση το IoT βοηθούν στον υπολογισμό των χωρικών προτύπων των απαιτήσεων θρεπτικών ουσιών με μεγαλύτερη ακρίβεια και ελάχιστες απαιτήσεις εργασίας. Για παράδειγμα, ο δείκτης βλάστησης Normalized Difference χρησιμοποιεί κεραίες / δορυφορικές εικόνες για την παρακολούθηση της κατάστασης των θρεπτικών συστατικών των καλλιεργειών. Βασικά, το NDVI βασίζεται στην αντανάκλαση του ορατού και σχεδόν υπέρυθρου φωτός από τη βλάστηση και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της υγείας των καλλιεργειών, της βαρύτητας της

βλάστησης και της πυκνότητας, συμβάλλοντας περαιτέρω στην εκτίμηση του επιπέδου των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Αυτή η ακριβής εφαρμογή μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των λιπασμάτων, μειώνοντας ταυτόχρονα τις παρενέργειες στο περιβάλλον. Πολλές πρόσφατες τεχνολογίες ενεργοποίησης, όπως ακρίβεια GPS (Pezol, et al, 2020) χαρτογράφηση (Bacenetti et al, 2020) τεχνολογία μεταβλητού ρυθμού (Yousif et al, 2018) και αυτόνομα οχήματα (Sun et al, 2020) συμβάλλουν σημαντικά στην έξυπνη λίπανση που βασίζεται στο IoT.

Εκτός από τη λίπανση ακριβείας, η λίπανση και η χημειοποίηση είναι άλλα οφέλη του IoT. Σε αυτές τις μεθόδους, υδατοδιαλυτά λιπάσματα, τροποποιήσεις εδάφους και φυτοφάρμακα, μπορούν να εφαρμοστούν μέσω του συστήματος άρδευσης. Αν και, αυτές οι μέθοδοι δεν είναι νέες για τη γεωργία και έχουν εφαρμοστεί τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, η ακριβής χρήση τους με πραγματικά αποτελέσματα έχει γίνει αντιληπτή μόνο με την ολοκλήρωση του IoT (Prabha et al, 2018).

Με βάση τα πρόσφατα αποτελέσματα, η λίπανση θεωρείται ως η καλύτερη πρακτική διαχείρισης για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας πολλών γεωργικών θεμάτων. το πιο σημαντικό, μπορεί να ενσωματωθεί απρόσκοπτα με έξυπνη γεωργική υποδομή βασισμένη σε IoT (Pezol et al, 2020)

Δημοφιλές σύστημα λίπανσης είναι το Smart Fertilizer, το οποίο χρησιμοποιεί αλγόριθμους για να υπολογίζει το λίπασμα σε άνω των 200 σοδειών, τα οποία κάποιος μπορεί να παρακολουθήσει από την ίδια εφαρμογή και να ρυθμίσει ανάλογα με το είδος καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, το Smart Fertilizer παρέχει πληροφορίες και προτάσεις βάσει των ειδών καλλιέργειας για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Το Smart Fertilizer λειτουργεί βάσει συνδρομής, όπου αφού εγκατασταθεί ο κεντρικός ελεγκτής, παρακολουθούνται τα προαναφερθέντα δεδομένα, όπως και η ποιότητα του νερού και το pH του εδάφους. Οι μετρήσεις γίνονται ανά λεπτό (smart-fertilizer.com, 2021)

2.5.3 Έξυπνο σύστημα ελέγχου παρασίτων και πρόωμης νόσου

Οι επιθέσεις παρασίτων είναι η βασική αιτία της χαμηλής παραγωγικότητας στον γεωργικό τομέα, και αυτά τα παράσιτα έχουν ως αποτέλεσμα αρκετές σοβαρές ασθένειες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του φυτού. Ωστόσο, η πρόβλεψη της νόσου παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση στους αγρότες, γεγονός που τους επιτρέπει να λαμβάνουν κατάλληλες αποφάσεις για τον έγκαιρο έλεγχο της νόσου. Τα συστήματα ελέγχου παρασίτων αποτελούνται από ηλεκτρονικές συσκευές που επιτρέπουν στους ανθρώπους να εντοπίζουν παγίδες σε ένα συγκεκριμένο εύρος αυτών των ηλεκτρονικών συσκευών. Αυτές οι ηλεκτρονικές συσκευές είναι αισθητήρες που μπορούν να υπολογίσουν τις περιβαλλοντικές παραμέτρους για περαιτέρω ανάλυση (Pivoto et al., 2018).

Έχουν γίνει πολλές έρευνες στον τομέα της γεωργίας για συστήματα έγκαιρης ανίχνευσης και καταπολέμησης παρασίτων χρησιμοποιώντας πιο προηγμένες και εξελιγμένες τεχνολογίες. Πολλοί αισθητήρες εικόνων έχουν χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς ερευνητές για τη συλλογή δεδομένων εικόνων, όπως: Αισθητήρες RGB, αισθητήρες εικόνων φθορισμού, αισθητήρες φάσματος και θερμικοί αισθητήρες. Οι θερμικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της κατάστασης του νερού στην εγκατάσταση μέσω μέτρησης της θερμοκρασίας. Οι εικόνες RGB έχουν τρία χρωματικά κανάλια, δηλαδή κόκκινο, πράσινο και μπλε, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να γίνει αντιληπτό το βιομετρικό αποτέλεσμα στα φυτά. Οι πολλαπλοί και υπερ-φασματικοί αισθητήρες αποτυπώνουν εικόνες που περιέχουν τις χωρικές πληροφορίες των αντικειμένων σε πολλές ζώνες κυμάτων, και η χωρική ανάλυση εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του αισθητήρα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι δορυφορικές εικόνες περιέχουν λιγότερη χωρική ανάλυση σε σύγκριση με πλατφόρμες χαμηλού υψομέτρου, όπως drones. Οι αισθητήρες φθορισμού χρησιμοποιούνται για τη διάκριση των φωτοσυνθετικών δραστηριοτήτων στα φυτά. Διάφορες τεχνικές επεξεργασίας εικόνας εφαρμόζονται σε αυτά τα δεδομένα εικόνων για τον εντοπισμό των ασθενειών στα φυτά (Sekhar & Muthuvel, 2020).

2.6 Δεδομένα

Στις εφαρμογές μπορούν να εισαχθούν ή να δημιουργηθούν αρκετά χρήσιμα δεδομένα. Αυτά είναι γεωγραφικά δεδομένα ή πληροφορίες που έχουν μια γνωστή τοποθεσία μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν. Αυτοί οι τύποι δεδομένων περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε:

- Έρευνα εδάφους (SSURGO),
- Απόδοση καλλιεργειών,
- Υψόμετρο, χαρακτηριστικά εδάφους, τοπογραφία,
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους (EC), οργανική ύλη και υγρασία,
- Νιτρικά εδάφη, pH, P, K, S, Mg και άλλα μικροθρεπτικά συστατικά,
- Εικόνες που συλλέγονται από δορυφόρους, αεροπλάνα ή μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα,
- Χάρτες,
- Πληροφορίες μηχανήματος που περιλαμβάνουν χρήση καυσίμου, φορτίο κινητήρα και rpm., και
- Αναζήτηση για παράσιτα και ασθένειες (Sekhar & Muthuvel, 2020).

Αυτά τα επίπεδα χωρικών δεδομένων μαζί με άλλα, επιτρέπουν στους ειδικούς της γεωργίας ακριβείας να δημιουργήσουν μια βάση δεδομένων επιπέδου πεδίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση της παραγωγικότητας, των θρεπτικών

συστατικών, του εδάφους, των παρασίτων και της μεταβλητότητας των κερδών. Τα δεδομένα μπορούν να είναι είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά αρχεία. Καθώς τα δεδομένα μετρώνται, συλλέγονται και αναλύονται, συλλέγονται χρήσιμες πληροφορίες από τις οποίες μπορούν να ληφθούν και να εφαρμοστούν αποφάσεις. Τα δεδομένα μπορούν να οπτικοποιηθούν ή / και να χρησιμοποιηθούν χρησιμοποιώντας εργαλεία διαχείρισης δεδομένων ακριβείας (Zhou et al., 2017).

Οι παράγοντες που πρέπει να παρακολουθούνται για να διασφαλιστούν ακριβή δεδομένα περιλαμβάνουν:

- Μέτρηση εισροών,
- Τοποθέτηση εισροών,
- Χρονοδιάγραμμα των εισροών (επηρεάζεται από το περιβάλλον) ((Vecchio et al., 2020)

Οι ακριβείς πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς σκοπούς, όπως:

- Σχεδιασμός θρεπτικών συστατικών,
- Επιτόπια τεκμηρίωση ή / και επαλήθευση,
- Τήρηση αρχείων,
- Αναλύσεις στο τέλος της σεζόν,
- Συγκριτική αξιολόγηση,
- Βιωσιμότητα και περιβαλλοντική επαλήθευση (El Bilali et al., 2020).

Καθώς οι τεχνικές γεωργίας ακριβείας αναπτύσσονται περαιτέρω, είναι εύκολο να κατανοηθεί πώς τα δεδομένα θα αποτελέσουν προνόμιο για τη γεωργική βιομηχανία. Για παράδειγμα, το Google Earth δείχνει πώς τα χωρικά δεδομένα έχουν εξελιχθεί σε ένα εμπόρευμα παρόμοιο με το πετρέλαιο, το χρυσό, το καλαμπόκι και το σιτάρι. Επιπλέον, τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς που δεν προορίζονταν ποτέ (Eastwood et al., 2017).

2.7 Πολιτικές

Η ζήτηση για ψηφιακό μετασχηματισμό οφείλεται εν μέρει στις κυβερνητικές στρατηγικές ΤΠΕ. Πολλές χώρες προχωρούν σε διαδικασίες όπως πληρωμές παροχών, αρχειοθέτηση φόρων και αιτήσεις διαβατηρίων στο διαδίκτυο και οι προσπάθειες προετοιμάζονται για την ψηφιοποίηση της εκπαίδευσης, της υγείας και των δημόσιων υπηρεσιών. Ο γεωργικός τομέας εξακολουθεί να υστερεί στη διαδικασία, αλλά υπάρχουν ήδη πρωτοβουλίες βάσης. Οι κυβερνήσεις επικεντρώνονται συνήθως στις προσπάθειές τους για ψηφιοποίηση σε τέσσερις δυνατότητες: υπηρεσίες, διαδικασίες, αποφάσεις και ανταλλαγή δεδομένων. Όμως δεν έχουν επιτύχει όλες οι χώρες στη διαδικασία ψηφιοποίησης, επειδή ο σχεδιασμός και η διαχείριση ενός προγράμματος ψηφιακής κυβέρνησης απαιτεί υψηλό επίπεδο διοικητικής ικανότητας. Οι

αναπτυσσόμενες χώρες, εκείνες που χρειάζονται περισσότερο την ψηφιακή κυβέρνηση, είναι επίσης εκείνες με τη λιγότερη ικανότητα διαχείρισης της διαδικασίας (Blasch et al., 2020).

Σήμερα, οι δημόσιες δαπάνες στο Διαδίκτυο ανέρχονται περίπου σε 2 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, κάτι που σημαίνει μόλις κάτω από 3 δολάρια ΗΠΑ κατά κεφαλήν. Εάν οι κυβερνήσεις εφαρμόσουν τις εθνικές τους στρατηγικές ΤΠΕ, μετακινήσουν διάφορες υπηρεσίες στο διαδίκτυο και εισαγάγουν ψηφιακές πρωτοβουλίες υγείας και εκπαίδευσης, αυτό θα μπορούσε να αυξηθεί στα 60 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ ή 50 δολάρια ΗΠΑ κατά κεφαλήν. Το πιθανό αυτό άλμα θα ξεπεράσει τις τρέχουσες δαπάνες της Βραζιλίας (32 δολάρια ΗΠΑ κατά κεφαλήν), αλλά θα παραμείνει σημαντικά κάτω από τα επίπεδα στις ανεπτυγμένες χώρες. Για να υλοποιήσουν τις στρατηγικές τους, οι κυβερνήσεις ενδέχεται να χρειαστεί να ανακατευθύνουν ορισμένες από τις υπάρχουσες δαπάνες τους και να δημιουργήσουν πρόσθετα κεφάλαια για αυξημένες δαπάνες (Kumar et al., 2017).

Η ηλεκτρονική διακυβέρνηση είναι ο όρος που δίνεται στη χρήση των ΤΠΕ για τη διευκόλυνση της εγγραφής στο Διαδίκτυο, της παροχής διαδικτυακών υπηρεσιών, των υπηρεσιών ηλεκτρονικής δημόσιας υπηρεσίας, της υπηρεσίας ηλεκτρονικών εσόδων και της ενιαίας εξυπηρέτησης ή της ενσωμάτωσης όλων των κυβερνητικών υπηρεσιών σε πολίτες και επιχειρήσεις. Για το σκοπό αυτό, ο δείκτης ηλεκτρονικής συμμετοχής στοχεύει στην αξιολόγηση της χρήσης online υπηρεσιών από κυβερνήσεις σε πολίτες («ανταλλαγή ηλεκτρονικών πληροφοριών»), στην αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων («ηλεκτρονική διαβούλευση») και στην εμπλοκή στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η ζήτηση για ηλεκτρονικές υπηρεσίες λείπει, τόσο εντός όσο και εκτός της κυβέρνησης. Η εξωτερική ζήτηση από τους πολίτες συχνά σιωπάται από τον λαϊκό κυνισμό για τον δημόσιο τομέα και από ανεπαρκή κανάλια επικοινωνίας, και ως αποτέλεσμα, δεν ασκούνται αρκετές πιέσεις για αλλαγή των ηγετών του δημόσιου τομέα από τους πολίτες (Pi et al., 2019).

Δεδομένης της προόδου της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, οι υπάρχουσες ψηφιακές διαφορές εντός των χωρών πρέπει να γεφυρωθούν για να επιτρέψουν σε όλους να επωφεληθούν πλήρως από την ψηφιακή κοινωνία. Οι χώρες σε όλες τις περιοχές αγκαλιάζουν όλο και περισσότερο την καινοτομία και χρησιμοποιούν ΤΠΕ για την παροχή υπηρεσιών και την εμπλοκή των ανθρώπων σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Μία από τις πιο σημαντικές νέες τάσεις είναι η ανάπτυξη υπηρεσιών που βασίζονται σε ανθρώπους. Αυτό αντιμετωπίζει την αυξανόμενη ζήτηση για πιο εξατομικευμένες υπηρεσίες που ανταποκρίνονται στις ατομικές ανάγκες, καθώς και τη φιλοδοξία των ανθρώπων να συμμετέχουν πιο στενά στον σχεδιασμό και την παροχή υπηρεσιών. Αυτές οι νέες απαιτήσεις μεταμορφώνουν τον τρόπο λειτουργίας του δημόσιου τομέα (Andronovic et al., 2018).

Παρόμοια με την έννοια της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, οι υπηρεσίες ηλεκτρονικής γεωργίας περιλαμβάνουν τη σύλληψη, το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την αξιολόγηση και την εφαρμογή καινοτόμων τρόπων χρήσης των ΤΠΕ στον αγροτικό τομέα, με πρωταρχική εστίαση στα τρόφιμα και τη γεωργία. Η ευρύτερη έννοια της ηλεκτρονικής γεωργίας αποτελείται από τεχνολογική εφαρμογή, διευκόλυνση, υποστήριξη προτύπων και κανόνων, ανάπτυξη ικανοτήτων, εκπαίδευση και επέκταση. Οι πιο συνηθισμένες υπηρεσίες ηλεκτρονικής γεωργίας που παρέχονται από τις κυβερνήσεις είναι κατάλογοι σπόρων και λιπασμάτων, διαδικτυακές επιδοτήσεις καθώς και μικροχρηματοδότηση για τη γεωργία (Shruthi et al., 2018).

Η εγγραφή νέων προϊόντων λιπασμάτων είναι καλή πρακτική, διότι διασφαλίζει ότι μια χώρα έχει τον έλεγχο των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται εντός των συνόρων της. Επίσης, η ενεργοποίηση της διαδικτυακής πρόσβασης σε καταλόγους μπορεί να ενημερώνει καλύτερα τους αγρότες και τους λιανοπωλητές για τη λίστα των διαθέσιμων και καταχωρισμένων λιπασμάτων στη χώρα (Baylis, 2017).

Η παρακολούθηση της ασθένειας των φυτών σε κυβερνητικούς ιστότοπους εφαρμόζεται λιγότερο συχνά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ορισμένες χώρες υψηλού εισοδήματος του ΟΟΣΑ, και προσφάτως το Μεξικό και η Τουρκία, έχουν σημειώσει πρόοδο όσον αφορά τις διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τα παράσιτα και τις ασθένειες των φυτών. Στην υποσαχάρια Αφρική, 7 από τις 21 χώρες που συμμετείχαν στην έρευνα δεν είχαν σαφώς καθορισμένο κυβερνητικό οργανισμό για τη διεξαγωγή επιτήρησης παρασίτων και μόνο η Σενεγάλη και η Τανζανία διαθέτουν δημόσια βάση δεδομένων με πληροφορίες σχετικά με τα παράσιτα και τις ασθένειες των φυτών (Gusev et al., 2020).

Για να εφαρμόσουν τις κατάλληλες εισροές, οι αγρότες πρέπει να έχουν πρόσβαση σε κατάλληλα δεδομένα, αλλά μπορούν να κάνουν χρήση των δεδομένων μόνο εάν μπορούν να ακολουθήσουν τις συστάσεις με τις κατάλληλες εισροές και το αντίστροφο, ωστόσο, η διαθεσιμότητα των εισροών δεν δίνεται πάντα, ειδικά στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες (Griffin et al., 2018).

Κεφάλαιο 3^ο – Υδατοκαλλιέργεια Ακριβείας

3 Υδατοκαλλιέργεια Ακριβείας

3.1 Ορισμός

Η υδατοκαλλιέργεια ακριβείας περιλαμβάνει μια ποικιλία αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση πληροφοριών για το αγροτικό περιβάλλον, τη λήψη αποφάσεων που βελτιστοποιούν την υγεία των ψαριών, την ανάπτυξη και την οικονομική απόδοση και μειώνουν τον κίνδυνο για το περιβάλλον. Αυτή η τάση συμπίπτει με τις εξελίξεις στη γεωργία, όπου οι αισθητήρες και άλλες τεχνολογίες παρατήρησης οδηγούν σε βελτιωμένη εικόνα της υγείας των καλλιεργειών και της καλής μεταχείρισης των ζώων. Οι κύριοι στόχοι της ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας (Precision Fish Farming- PFF) είναι:

- 1) η βελτίωση της ακρίβειας και της επαναληψιμότητας στις γεωργικές δραστηριότητες
- 2) η διευκόλυνση της αυτόνομης και συνεχούς παρακολούθησης της βιομάζας / των ζώων.
- 3) η παροχή πιο αξιόπιστης υποστήριξης αποφάσεων και
- 4) η μείωση των εξαρτήσεων από τη χειρωνακτική εργασία και υποκειμενικές αξιολογήσεις και, συνεπώς, βελτίωση της ασφάλειας του προσωπικού.

Μέσω αυτών των στόχων, η PFF θα βελτιώσει την υγεία και την καλή διαβίωση των ζώων, αυξάνοντας παράλληλα την παραγωγικότητα, την απόδοση και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στην εμπορική εντατική υδατοκαλλιέργεια. Κατά τον ορισμό της PFF, η ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να θεωρηθεί ως πολλές κυκλικές επιχειρησιακές διαδικασίες που πραγματοποιούνται σε τέσσερις φάσεις όπου παρατηρούνται βιοαποκρίσεις στο κλουβί (φάση παρατήρησης) και ερμηνεύονται (φάση ερμηνείας), με αποτέλεσμα τη βάση για τη λήψη αποφάσεων (φάση απόφασης) σε ποιες ενέργειες προς επιβολή (φάση πράξης) που με τη σειρά τους προκαλούν βιοαπόκριση στα ψάρια. Παρόμοιες κυκλικές έννοιες έχουν χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή διαδικασιών και προϊόντων σε άλλες μεταποιητικές βιομηχανίες (Fore et al., 2018).

Πρώτον, ο αγρότης παρατηρεί τα ψάρια μέσω άμεσης οπτικής επαφής ή με εργαλεία συλλογής δεδομένων όπως κάμερες, το αποτέλεσμα των οποίων είναι ποιοτικές ή ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις βιοαποκρίσεις του ψαριού. Ο αγρότης στη συνέχεια χρησιμοποιεί κυρίως υποκειμενική εμπειρία για να ερμηνεύσει αυτές τις πληροφορίες, αποδίδοντας μια αντίληψη για την τρέχουσα κατάσταση και την κατάσταση των ψαριών. Αυτές οι ερμηνείες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως θεμέλιο για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις γεωργικές δραστηριότητες και τη διαχείριση, οι οποίες στη συνέχεια τίθενται σε δράση με χειροκίνητες ενέργειες. Τέτοιες αποφάσεις μπορούν να ληφθούν με βάση τις εκτιμώμενες τρέχουσες

καταστάσεις ή τις αναμενόμενες μελλοντικές καταστάσεις του συστήματος, που αντιπροσωπεύουν μη αυτόματες εκδόσεις των αρχών ανατροφοδότησης και τροφοδοσίας στην μηχανική ελέγχου αντίστοιχα (Royer et al., 2020).

3.2 Μεθοδολογίες

Τα δεδομένα που παράγονται σε σύγχρονες εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας εκτείνονται σε μια μεγάλη ποικιλία μορφών. Οι επιτόπιοι αισθητήρες λαμβάνουν δείγμα μεγάλου αριθμού περιβαλλοντικών μεταβλητών όπως η θερμοκρασία, η τρέχουσα ταχύτητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η χλωροφύλλη και η αλατότητα. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα που ανιχνεύονται εξ αποστάσεως μπορούν να πάρουν δείγματα πολύ μεγαλύτερων χωρικών τομέων και μπορεί να βρίσκονται στην κλίμακα του κόλπου - από αισθητήρες εδάφους όπως ραντάρ ή σε παγκόσμια κλίμακα από ένα δορυφορικό σύστημα παρακολούθησης. Η ενημέρωση για τις εκμεταλλεύσεις απαιτεί επίσης δειγματοληψία μεταβλητών ζώων όπως το μέγεθος, η συμπεριφορά ομαδοποίησης και η κίνηση, και αυτό γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας υποβρύχιες τεχνολογίες όπως παρακολούθηση βίντεο, υδροακουστική τεχνολογία και αεροφωτογραφήσεις αεροπλάνων.

Περαιτέρω, υπάρχουν μεγάλα σύνολα δεδομένων σχετικών μεταβλητών που δημιουργούνται από αριθμητικά μοντέλα όπως προϊόντα κυκλοφορίας καιρού ή ωκεανών. Αυτά τα σύνολα δεδομένων αποτελούν τεράστιους όγκους δεδομένων με ξεχωριστά χαρακτηριστικά. Η ολοκλήρωση και η εξαγωγή πληροφοριών από αυτές τις διαφορετικές πηγές δεδομένων είναι το κλειδί για την ενθυλάκωση της πλήρους δυναμικής του περιβάλλοντος της φάρμας και για την αποτελεσματική διαχείριση. Σχετικά δεδομένα από μαθηματικά μοντέλα είναι εκτιμήσεις της ανάπτυξης ψαριών και της συμπεριφοράς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοδηγήσουν τις αναμενόμενες συνθήκες και αποφάσεις.

Οι βασικές απαιτήσεις της υδατοκαλλιέργειας ακριβείας είναι:

Συνεχής παρακολούθηση των μεταβλητών των ζώων (δηλαδή, παραμέτρων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά ή τη φυσιολογική κατάσταση του ψαριού)

Ένα αξιόπιστο μοντέλο για την πρόβλεψη του τρόπου με τον οποίο οι μεταβλητές των ζώων ποικίλουν δυναμικά σε απόκριση σε εξωτερικούς παράγοντες

Παρατηρήσεις και προβλέψεις ενσωματωμένες σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα λήψης αποφάσεων ή ελέγχου.

3.3 Συστήματα

Η "Υδατοκαλλιέργεια Ακριβείας" ασκείται ρυθμίζοντας τα συστήματα διαχείρισης πόρων τόσο στο εσωτερικό όσο και στο υφάλμυρο νερό, εκτός από τη ρύθμιση ή τη

σίτιση τακτικά με τον καθορισμένο ή συνιστώμενο ρυθμό τροφής για τα είδη που επιλέγονται για πρακτικές υδατοκαλλιέργειας. Συνήθως, η υδατοκαλλιέργεια ακριβείας ασκείται για την παραγωγή γαρίδας. Τα συστήματα διαχείρισης πόρων είναι καλά καθορισμένα και παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό όπως το "Xpircount" που απεικονίζει την ανάπτυξη και τον αριθμό των υδρόβιων πληθυσμών τακτικά. Η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια των ΗΠΑ παράγει κυρίως στρείδια, μύδια, μύδια, γαρίδες και σολομό, καθώς και μικρότερες ποσότητες σε γάδο, γιγαντόπερκα, λαβράκι και τσιπούρα. Η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια μπορεί να πραγματοποιηθεί στον ωκεανό ή στην ξηρά, ή σε χειροποίητα συστήματα όπως λίμνες ή δεξαμενές (O'Donncha & Grant, 2019).

Η εκτροφή ψαριών υφάλμυρου νερού είναι ένα σύστημα υδατοκαλλιέργειας που εστιάζει στην παραγωγή ποιοτικών ψαριών και κοχυλιών που βρίσκονται στους κολπίσκους, τις λιμνοθάλασσες και τις εκβολές μέσω της ορθολογικής εκτροφής, και έχει την ικανότητα να γεφυρώσει το ευρύ χάσμα μεταξύ ζήτησης και προσφοράς ψαριών. Για να αυξηθεί η παραγωγή από τους υδρόβιους πόρους, με τη μορφή γαρίδων, καβουριών, και ψαριών από τα παράκτια αλατούχα εδάφη, άγονα, μη παραγωγικά ή οριακά παραγωγικά, βάλτους και άλλα υφάλμυρα υδάτινα σώματα πρέπει να τεθούν υπό παράκτια υδατοκαλλιέργεια. Η σύγχρονη παράκτια υδατοκαλλιέργεια αποτελεί παρακλάδι της παραδοσιακής υδατοκαλλιέργειας και περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό στην υδατοκαλλιέργεια γαρίδας (Cruz et al., 2019).

Τα συστήματα ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας περιλαμβάνουν συστήματα παρακολούθησης για σύνθετες περιβαλλοντικές συνθήκες (παλίρροιες, άνεμοι, μάζες νερού, πάγος) που επηρεάζουν τις εκμεταλλεύσεις, την ασφάλεια και την υγεία των ψαριών. Οι δορυφορικές παρατηρήσεις, τα δεδομένα καιρού και τα αριθμητικά μοντέλα του ωκεανού παράγουν όλες πληροφορίες που επηρεάζουν την κλίμακα του αγροκτήματος. Η ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και η λήψη αποφάσεων απαιτούν τη δυνατότητα γρήγορης αναζήτησης και εξαγωγής σχετικών μεταβλητών από αυτά τα σύνολα δεδομένων (Fore et al, 2018).

Επίσης, τα συστήματα ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας διαχειρίζονται διάφορα μοντέλα μηχανικής εκμάθησης και ενσωμάτωσης των διαφορετικών ροών δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες, δεδομένα καιρού και άλλες ανοιχτές πηγές. Μια γκάμα μηχανικής μάθησης και μηχανιστικών μοντέλων σχετίζονται με τη διαχείριση των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας. Μεταξύ αυτών είναι:

- Μηχανιστικά και βασισμένα σε δεδομένα μοντέλα για την πρόβλεψη της υγείας των ψαριών, της βιομάζας και της θνησιμότητας με βάση πληροφορίες σχετικά με τις ζωοτροφές και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες

- Προγνωστικά μοντέλα για ενημέρωση σχετικά με τα κρούσματα παρασιτικών λοιμώξεων
- Μοντέλα βαθιάς μάθησης (“deep learning” για πρόβλεψη ωκεανογραφικών συνθηκών πολλές ημέρες / εβδομάδες νωρίτερα (Fore et al, 2018)

Οι ιχθυοτροφές είναι το πιο ακριβό μέρος της υδατοκαλλιέργειας και προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα όταν το υπερβολικό προϊόν βυθίζεται στο βυθό. Η βέλτιστη παροχή τροφής είναι μια πολύπλοκη επιλογή που περιλαμβάνει τη σύνθεση της τροφής, το στάδιο ανάπτυξης, τους βιοδείκτες και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ενώ έχουν αναπτυχθεί μηχανιστικά μοντέλα που προσομοιώνουν ρυθμούς ανάπτυξης με βάση το καθεστώς σίτισης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οι μη γραμμικές σχέσεις και η ευαισθησία σε εξωτερικά γεγονότα όπως ασθένειες ή παράσιτα έχουν κάνει την πρόβλεψη δύσκολη (Fore et al, 2018).

3.4 Τεχνολογίες

Οι οπτικές τεχνολογίες υπολογιστών χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές υδατοκαλλιέργειας για ποικίλες εργασίες επιθεώρησης, όπως μέτρηση, μέτρηση μεγέθους και εκτίμηση μάζας, ανίχνευση φύλου και ποιοτική επιθεώρηση, αναγνώριση ειδών και αποθεμάτων και παρακολούθηση της ευημερίας και της συμπεριφοράς. Οι εφαρμογές του είναι πολύ δύσκολες, καθώς τα επιθεωρούμενα θέματα είναι ευαίσθητα, και ελεύθερα να κινούνται σε περιβάλλον όπου ο φωτισμός, η ορατότητα και η σταθερότητα δεν είναι γενικά ελεγχόμενοι και οι αισθητήρες πρέπει να λειτουργούν υποβρύχια ή σε υγρή τοποθεσία (Embug et al., 2019).

Η μέτρηση των αυγών, των προνυμφών, και των ψαριών σε διάφορα στάδια ανάπτυξης μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας. Όπως ανέφεραν παλαιότεροι μελετητές, στη ζωοτεχνία, η έμμεση πολυπαραμετρική εκτίμηση βάρους σώματος επιτυγχάνεται καλύτερα λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες από μία μετρήσεις σώματος σε σχέση με μία παραμετρική. Η στερεοοπτική (stereovision) αποτελείται από πολλαπλή οπτική αρχιτεκτονική βίντεο που σχετίζεται με τριγωνομετρικούς τύπους για την εξαγωγή της χωρικής θέσης του σημείου και έτσι μέτρα μεγέθους ή βάρη. Η προσέγγιση stereovision ενδέχεται να είναι πολύ κατάλληλη για αυτόν τον σκοπό, καθώς παρατηρεί την αφθονία και τη συμπεριφορά των ψαριών στην υδατοκαλλιέργεια. Σε παλαιότερη μελέτη, αναπτύχθηκε ένα σύστημα βασισμένο σε βίντεο, βασισμένο σε αρχές απλής στερεοφωνικής γεωμετρίας, για τη μέτρηση του μέσου μεγέθους τόνου με μη παρεμβατικό τρόπο. Η μελέτη απέδειξε τη χρήση τεχνικών στερεοσκοπίας για τη μέτρηση μεμονωμένων διαστάσεων και θέσεων ψαριών σε κλουβιά που περιέχουν πολλά ψάρια. Άλλες έρευνες χρησιμοποίησαν μια διπλή παράλληλη μονάδα κάμερας για την καταμέτρηση και την εκτίμηση του μήκους τόνου. Σε αυτή την περίπτωση, οι έρευνες χρησιμοποίησαν ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ANN) για να διερευνήσουν

τα πιθανά πλεονεκτήματα της χρήσης ενός διπλού υποβρύχιου συστήματος κάμερας συνδεδεμένο, συγχρονισμένο και τροφοδοτούμενο μέσω καλωδίου σε έναν αδιάβροχο μεταφερόμενο υπολογιστή, για να εκτιμήσει τον αριθμό και το μέγεθος των ψαριών κατά τη διάρκεια της μεταφοράς σε μεγάλα κλουβιά (Poronic et al., 2017).

Η αυτόματη αναγνώριση σε πραγματικό χρόνο της σεξουαλικής κατηγορίας ψαριών με τεχνολογία οπτικής όρασης υπολογιστή θα μπορούσε να είναι πολύ σημαντική από οικονομικής άποψης. Για παράδειγμα, παλαιότερες έρευνες παρουσίασαν έναν αλγόριθμο επεξεργασίας εικόνας που αναπτύχθηκε για την αυτόματη αναγνώριση του βιολογικού φύλου του ψαριού με όνομα λεβιστής ο δικτυωτός. Οι έρευνες χρησιμοποίησαν ένα σύστημα έγχρωμης μηχανής όρασης για τη μέτρηση του χρώματος του δέρματος ως απόκριση σε διαφορετικές τροφές χρυσόψαρου (Csobrai & Urbanyi, 2019).

Η οπτική επιθεώρηση μπορεί να δώσει πρώιμες ενδείξεις για προβλήματα υγείας και να δώσει τη δυνατότητα στον γεωργό να εκτιμήσει, και ενδεχομένως να ρυθμίσει τους ρυθμούς ανάπτυξης. Η οπτική επιθεώρηση της εμφάνισης των ζώων μπορεί να προσφέρει στον αγρότη μια ποικιλία πληροφοριών σχετικά με την υγεία και την ανάπτυξή τους. Ο αποδεκατισμός των αποθεμάτων είναι μια κοινή πρακτική υδατοκαλλιέργειας, στην οποία συλλέγονται ψάρια έτοιμα για εμπορία, συνήθως τα μεγαλύτερα ψάρια ενός είδους. Η ανάπτυξη μέσων και μεθόδων για συνεχή, αυτοματοποιημένη, υποβρύχια επιλεκτική συλλογή ψαριών θα ήταν ενδιαφέρον για αυτόν τον τομέα. Παλαιότερη μελέτη ανέπτυξε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα απεικόνισης για την καταμέτρηση των ψαριών ανά είδος, με ένα σύνολο υπέρυθρων διόδων και αισθητήρων που δημιουργούν περίγραμμα καθώς τα ψάρια κολυμπούν. Σε προηγούμενη μελέτη, οι εικόνες σε πραγματικό χρόνο αποκτήθηκαν ενώ τα ψάρια κολυμπούν προς την πλευρά της κάμερας. Ο φωτισμός του φόντου χρησιμοποιήθηκε για να ξεπεραστεί η ασάφεια του νερού και να δημιουργηθεί αντίθεση υψηλής εικόνας. Παλαιότερος μελετητής ανέλυσε βίντεο που αποκτήθηκε από ένα μόνιμο παρατηρητήριο βαθέων υδάτων (1100 μ.) στην Ιαπωνία, χρησιμοποιώντας βιντεοκάμερα και σταθερό λευκό φωτισμό. Σε αυτήν την περίπτωση, τα συστήματα LiDAR που χρησιμοποιούνται είναι κατάλληλα για την αναγνώριση των ειδών και την εκτίμηση του πληθυσμού (Li et al., 2020).

Όπως αναφέρθηκε από παλαιότερους ερευνητές, ορισμένα μη υποβρύχια συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή παρακολούθηση των χαρακτηριστικών και των συμπεριφορών των ψαριών, όπως η δραστηριότητα κατανάλωσης ψαριών, και η ανίχνευση περίσσειας σίτισης. Επίσης, σε αυτήν την περίπτωση, το σύστημα LiDAR χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ψαριών. Σε προηγούμενη μελέτη, η παρακολούθηση βίντεο ψαριών χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων τους με την επεξεργασία των ακολουθιών

εικόνας, και επιπλέον, τεχνικές ανάλυσης εικόνας και ανάλυση κίνησης έχουν χρησιμοποιηθεί για τον αυτόματο προσδιορισμό των παραμέτρων συμπεριφοράς. Για να εντοπιστούν παράγοντες άγχους που αλλάζουν τη συμπεριφορά των ψαριών, παλαιότερη μελέτη κατέγραψε τη δραστηριότητα τόνου Bluefin χρησιμοποιώντας ψηφιακό σύστημα λήψης βίντεο για τη μελέτη της συσχέτισης μεταξύ της ταχύτητας των ψαριών και αυτών των πιθανών πιέσεων. Άλλη μελέτη ανέπτυξε έναν αλγόριθμο που βασίζεται στην αλλοίωση της προβαλλόμενης περιοχής που προκαλείται από την κίνηση μεμονωμένων ψαριών κατά τη διάρκεια της ακολουθίας πλαισίου που καταγράφεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Προηγούμενη έρευνα έδειξε μια σχέση μεταξύ της συμπεριφοράς των ψαριών και της πυκνότητας εκτροφής χρησιμοποιώντας συστήματα μηχανικής όρασης. Όπως αναφέρθηκε από παλαιότερους μελετητές, επίσης, η παρακολούθηση ζώων σε 3D χρησιμοποιώντας συστήματα όρασης υπολογιστή έχει χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των υδρόβιων ζώων. Για παράδειγμα, βιντεοκάμερες ανοιχτού πεδίου, στις οποίες χρησιμοποιούνται σύνθετα οπτικά για ταυτόχρονη λήψη εικόνας που εστιάζουν σε διαφορετικές αποστάσεις από το φακό, επιτρέπουν την αναδημιουργία σκηνής σε 3D. Παλαιότερη έρευνα χρησιμοποίησε ένα σύστημα stereovision για την παρακολούθηση τεσσάρων έως έξι ομάδων διακοσμητικών ψαριών γίγας Danio (*Danio aequipinnatus*). Προηγούμενη μελέτη περιγράφει προκαταρκτικά ευρήματα που ελήφθησαν μέσω λογισμικού ηλεκτρονικής όρασης για αυτόματη ανάλυση της κίνησης και των συμπεριφορών των ψαριών σε θαλάσσια κλουβιά υδατοκαλλιέργειας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα ανίχνευσε σχήματα ψαριών σε εγγραφές βίντεο και, από αυτά τα σχήματα, ποσοτικοποιούσαν τις αλλαγές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση κολύμβησης συνεχώς, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (Maloku et al., 2020).

Τέλος, για την ακουστική τηλεμετρία, αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ψαριών σε πραγματικό χρόνο σε εμπορικές ιχθυοκαλλιέργειες με τυπική βιομηχανική βιομάζα (έως 1000 t ανά κλουβί). Η μελέτη εξέτασε την έκταση της απώλειας δεδομένων λόγω παραγόντων όπως ο ακουστικός θόρυβος, ή ο διασκορπισμός με βάση την αλληλεπίδραση βιομάζας που επηρεάζει την ακουστική λήψη, και το πώς η επιτυχία της ακουστικής λήψης διέφερε ανάλογα με το χρόνο, τον αριθμό των δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν, και την τοποθέτηση των δεκτών μέσα σε κλουβιά. Επίσης, σε παλαιότερη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε η ακουστική τηλεμετρία για την παρακολούθηση των θέσεων συμπεριφοράς των ψαριών. Η κολύμβηση αναλύθηκε ως προς τις τροχιές: αυτές διέφεραν μεταξύ της θέσης συγκράτησης (υψηλές γωνίες στροφής), της χαοτικής τροχιάς (ίση χρήση όλων των γωνιών στροφής) και της κυκλικής κολύμβησης. Επιπλέον, τόσο οι ετικέτες αποθήκευσης δεδομένων (DST) όσο και οι ετικέτες πομπού ενδέχεται να είναι

εξοπλισμένες με διαφορετικούς τύπους αισθητήρων για τη μέτρηση των μεταβλητών συμπεριφοράς. Τέλος, τα συστήματα σόναρ μπορούν να παράγουν δεδομένα για την τρισδιάστατη κατανομή και τις κινήσεις των ψαριών, και επιπλέον, αυτά τα συστήματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση μεμονωμένων μεγεθών ψαριών: σε προηγούμενη μελέτη καθιερώθηκε μια σχέση μεταξύ της δύναμης στόχου των ψαριών και της μάζας ή του μήκους τους (Shyam, 2019).

Τα κινητά τηλέφωνα έχουν μειώσει σημαντικά το κόστος επικοινωνίας και ενημέρωσης. Περισσότερο από απλό υλικό, το smartphone εγκαινίασε μια νέα εποχή για προγραμματιστές λογισμικού παγκοσμίως. Ο αλιευτικός τομέας δεν έχει μείνει ανέγγιχτος από αυτήν την ψηφιακή επανάσταση. Περίπου δέκα χρόνια πριν, ο FAO (2007) ανέφερε ότι χρησιμοποιούνται νέες ΤΠΕ στον τομέα της αλιείας. Οι Ayobami et al., (2013) έχουν αναφέρει τις λειτουργικές απαιτήσεις των κινητών εφαρμογών για τους αλιείς. Σύμφωνα με τους Amrita και Karthickumar (2016) η χρήση κινητών εφαρμογών γίνεται δημοφιλής στον τομέα της αλιείας στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ωστόσο, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αποκαλύπτει ότι παρόλο που έχει αναφερθεί σημαντική έρευνα σχετικά με τη χρήση των ΤΠΕ στην αλιεία, αλλά δεν υπάρχει μεγάλη βιβλιογραφία σχετικά με τη χρήση εφαρμογών για κινητά στον τομέα (Awofolaju et al., 2019).

Από εμπορική άποψη, παρουσιάστηκε από την εφαρμογή "Aqquatech" ένα έξυπνο σύστημα για οπτικές εφαρμογές υπολογιστή για υδατοκαλλιέργεια ακριβείας. Το σύστημα, εξοπλισμένο με έξυπνα εργαλεία (δηλαδή, ενσωματωμένο GPS υπολογιστή, μικρή κεραία, ανθεκτικά όργανα χάρη στη δομή κατά των κραδασμών, την υγρασία, τη δυνατότητα χειρισμού, με το σύστημα στήριξης ζεύξης RAM και λογισμικό πλοήγησης σχεδιασμένο να είναι φιλικό προς το χρήστη και βολικό για χειριστές χαμηλής εμπειρίας), παρακολούθησαν, με υψηλό επίπεδο ακρίβειας, τη συγκομιδή και διαχείριση του *Tapes philippinarum*, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές απαιτήσεις και ανάγκες της περιοχής συλλογής και των ομοιογενών μερών της (Parra et al., 2018).

Η τεχνική ανάλυσης εικόνας χρησιμοποιείται ευρέως στο υδατοπολιτισμικό πλαίσιο εδώ και δεκαετίες. Γενικά, οι τεχνολογίες όρασης υπολογιστών επιτρέπουν τη βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια μέσω της συνεχούς παρακολούθησης της καλής μεταχείρισης των ζώων, των συνθηκών τους και του περιβάλλοντος, μειώνοντας έτσι τη χρήση αποβλήτων και φαρμάκων. Χάρη στα εργαλεία ανάλυσης εικόνων, η αυτόματη μέτρηση του αριθμού των αυγών, των προνυμφών, και των ψαριών, για παράδειγμα, μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας το σφάλμα του χειριστή. Αυτό επέτρεψε επίσης μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση της κατανομής μεγέθους, που μεταφράζεται σε ένα καλύτερο προϊόν που φθάνει στις αγορές. Για μελλοντικές υποθέσεις, αυτές οι νέες τεχνολογίες πρέπει να ξεπεράσουν ορισμένα προβλήματα όπως περιορισμένη ορατότητα χρονικών και χωρικών παραλλαγών φωτισμού,

διαφορετικές αποστάσεις και σχετικούς προσανατολισμούς μεταξύ κάμερας και αντικειμένων, κίνηση και πυκνότητα των επιτηρούμενων στόχων και ακόμη και έλλειψη φυσικής σταθερότητας (Mouzakitis et al., 2020).

Στην υδατοκαλλιέργεια ακριβείας, ορισμένες εγκαταστάσεις αναπτύσσονται στη θάλασσα, ενώ άλλες εγκαταστάσεις τοποθετούνται στην ενδοχώρα. Σε εγκαταστάσεις που εκτελούν εντατική υδατοκαλλιέργεια, καταβάλλονται πολλές προσπάθειες για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των ψαριών. Όπως αναφέρθηκε σε παλαιότερη έρευνα, με την πρόοδο που έχει ενσωματωθεί σε υπολογιστές τσιπ, η τεχνολογία φτάνει στο αρχικό επίπεδο με την εφαρμογή της στην υδατοκαλλιέργεια. Η ποιότητα του νερού είναι ένας κρίσιμος παράγοντας κατά την καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών και θα μπορούσε να παρακολουθείται συνεχώς με τη βοήθεια αισθητήρων για να διασφαλιστεί η ανάπτυξη και η επιβίωση της υδρόβιας ζωής. Επιπλέον, τα δεδομένα θα μπορούσαν να μεταφερθούν στο κινητό του αγρότη μέσω cloud. Η απόδοση των ψαριών εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες: το περιβάλλον, την παραγωγή και το βιοτικό επίπεδο. Επιπλέον, ορισμένα είδη παρατηρούνται ότι είναι πολύ ευαίσθητα στο χαμηλό διαλυμένο οξυγόνο στο νερό, τη θερμοκρασία, την αλατότητα και το επίπεδο pH του νερού. Στις εγκαταστάσεις, είναι δυνατόν να ελεγχθούν ορισμένοι από αυτούς τους παράγοντες. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται σε ένα σύστημα υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, την αμμωνία, τα νιτρικά άλατα, την αλατότητα και την αλκαλικότητα, δεδομένου ότι επηρεάζουν άμεσα την υγεία των ζώων, τη χρήση τροφών, τους ρυθμούς ανάπτυξης και τη φέρουσα ικανότητα. Γενικά, η χρήση αισθητήρων είναι κοινή για χειρσαίες εφαρμογές, αλλά όχι για υποβρύχια περιβάλλοντα, επειδή τα χαρακτηριστικά του υποβρύχιου και, ιδιαίτερα, του αλατούχου περιβάλλοντος μπορεί να προκαλέσουν αλλοιώσεις σε αυτά. Η χρήση αισθητήρων δεν είναι μόνο σημαντική για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων αλλά και για την έγκαιρη προειδοποίηση για τη ρύπανση των υδάτων (Takeshima & Joshi, 2019).

Στην υδατοκαλλιέργεια, το κόστος εργασίας για την καθημερινή συντήρηση του αγροκτήματος, ειδικά εκείνο για τη δραστηριότητα σίτισης, είναι το υψηλότερο λειτουργικό κόστος. Γενικά, περισσότερο από το 60% της τροφής που εφαρμόζεται σε ένα υδατοκαλλιεργητικό σύστημα καταλήγει ως σωματιδιακή ύλη και η αποσύνθεσή της οδηγεί σε τοξικές ενώσεις που βλάπτουν την υδρόβια ζωή. Η διαχείριση της διατροφής είναι μια πολύ σημαντική πτυχή για επαλήθευση στο σύστημα υδατοκαλλιέργειας. Η εισαγωγή της ρομποτικής μπορεί να δημιουργήσει μια επανάσταση βελτιστοποιώντας την ακρίβεια, την προσπάθεια και αυξάνοντας επίσης την παραγωγή και το κέρδος. Για παράδειγμα, η αυτοματοποίηση της δραστηριότητας σίτισης χρησιμοποιώντας τεχνολογία drone μπορεί να διασφαλίσει την τακτική

τροφοδοσία επιτρέποντας ότι η τροφή κατανέμεται ομοιόμορφα στους κλωβούς έτσι ώστε όλα τα ζώα να τρέφονται εξίσου. Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να παρέχει άλλες εισροές στην φάρμα, όπως φάρμακα, εμβόλια και λιπάσματα. Σε προηγούμενη έρευνα, αναπτύχθηκε ένα ρομποτικό σύστημα για τη διατροφή υδρόβιων οργανισμών και τη μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων νερού σε πειραματικές λίμνες υδατοκαλλιέργειας. Μια μονάδα αποστολέα διανέμει μια ακριβή ποσότητα φαγητού και ένα λογισμικό πίνακα ελέγχου προγραμματίζει τις εργασίες και χειρίζεται το ρομπότ που ταξιδεύει αυτόματα σε ένα μονότροχο σιδηρόδρομο, διανέμει το φαγητό και μετρά τις παραμέτρους του νερού. Τα δεδομένα μεταδίδονται στον πίνακα ελέγχου και το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει εξ αποστάσεως μέσω του Διαδικτύου μέσω ενός πλαισίου λογισμικού πελάτη-διακομιστή. Σε παλαιότερη μελέτη, αναπτύχθηκε ένα ρομποτικό σύστημα Διαδικτύου βασισμένο σε εκδηλώσεις για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού και την τροφοδοσία καραβίδων. Το ρομποτικό σύστημα αποτελείται από ένα κινητό ρομπότ για τη μεταφορά ενός καθετήρα πολλαπλών παραμέτρων νερού και έξι δοχείων για τη διανομή τροφίμων στην επιφάνεια της λίμνης, μια μονάδα αποστολέα για τη διανομή μιας ακριβούς ποσότητας φαγητού από τα δοχεία και έναν υπολογιστή που λειτουργεί ως διακομιστής για να ορίσει, πέρα από το Διαδίκτυο, το πρόγραμμα τροφοδοσίας και παρακολούθησης μέσω μιας εφαρμογής πελάτη. Παλαιότερη έρευνα εγκατέστησε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα σίτισης ψαριών με μια πνευματική μονάδα μηχανοκίνητης διανομής με βάση την αρχή του Bernoulli. Ένας άλλος ερευνητής δημιούργησε έναν φθινό αυτόματο τροφοδότη ψαριών που αποτελείται από μια χοάνη (ανοξείδωτο ατσάλι), έναν αμφίδρομο κινητήρα, μια πλατφόρμα τροφοδοσίας και ένα ηλεκτρικό κουτί ελέγχου (Bag et al., 2020).

3.5 Δεδομένα

Γενικά, η υδατοκαλλιέργεια είναι ένας τομέας στον οποίο οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων αντιμετωπίζουν τέτοιες αποφάσεις, δεδομένου ότι περιλαμβάνουν παράγοντες από πολλούς διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς, που περιλαμβάνουν πτυχές όπως ερμηνεία δεδομένων, IoT και εφαρμογή αναλυτικών αλγορίθμων. Για παράδειγμα, ένα decision support systems που αναπτύχθηκε από παλαιότερες έρευνες διευκόλυνε τη συλλογή, τον χειρισμό και την ανάλυση φυσικοχημικών και βιολογικών δεδομένων που ενσωματώνουν πακέτα υλικού και λογισμικού για να διευκολύνουν τη λειτουργική διαδικασία λήψης αποφάσεων μέσω φιλικής προς το χρήστη και οπτικής διαδραστικής διεπαφής μοντελοποίησης. Παλαιότερες έρευνες, σύμφωνα με τις αναπτυξιακές ανάγκες του εκσυγχρονισμού της υδατοκαλλιέργειας, ανέπτυξαν ένα σύστημα χρησιμοποιώντας ασύρματους κόμβους αισθητήρων που ακολουθούν το πρωτόκολλο ZigBee και το τερματικό συλλογής δεδομένων με αισθητήρα υψηλής ακρίβειας, για τη συλλογή δεδομένων του περιβάλλοντος, και για την επίτευξη

παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο περιβάλλοντος υδατοκαλλιέργειας. Επιπλέον, εφαρμόστηκε ένας ασαφής αλγόριθμος ελέγχου για την επεξεργασία περιβαλλοντικών παραμέτρων, και για τη βελτίωση της ακρίβειας των δεδομένων δοκιμής (Uwimana et al., 2018).

Επιπλέον, ένα ελεγχόμενο decision support systems για την επίτευξη ενός βέλτιστου περιβάλλοντος για πεδία αναπαραγωγής. Σε παλαιότερη μελέτη προτάθηκε η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού που βασίζεται σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και στο IoT για την ανάπτυξη περιοχών που μοιράζονται διαφορετικές συνθήκες στην αναπαραγωγή υδρόβιων οργανισμών μεταξύ διαφορετικών κτηνοτρόφων και οργανισμών. Αυτό το σύστημα, παρακολουθώντας περιβαλλοντικές παραμέτρους, θα μπορούσε να αποτρέψει πιθανούς κινδύνους, βελτιστοποιώντας έτσι τους πόρους για τη φροντίδα των λιμνών (Fore et al., 2018).

Παλαιότερη μελέτη ανέπτυξε ένα δυναμικό μοντέλο εκτροφής γαρίδας στο οποίο οι γαρίδες συλλέγονται σε αρκετούς ενδιάμεσους χρόνους κατά τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής για την επίλυση μη γραμμικών βέλτιστων προβλημάτων ελέγχου στα οποία η αντικειμενική συνάρτηση είναι μια ασυνεχής λειτουργία του κράτους. Από εμπορικής άποψης, το "Sintef" παρουσίασε μια έννοια ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας που χρησιμοποίησε τεχνολογία για να εξασφαλίσει τον έλεγχο των καταστάσεων των ψαριών, μειωμένες απώλειες, βελτιωμένη απόδοση παραγωγής και ελαχιστοποιημένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην εμπορική ιχθυοκαλλιέργεια. Αυτή η νέα προσέγγιση που βασίζεται στην τεχνολογία εφαρμόστηκε στην εκτροφή σολομού. Επιπλέον, με ειδίκευση στην τεχνολογία ακουστικής και οπτικής ανίχνευσης, τα «συστήματα AQ1» παρείχαν λύσεις για τον έλεγχο της τροφοδοσίας και το μέγεθος των συστημάτων σε υδατοκαλλιέργειες και ερευνητές σε περίπου 25 είδη ψαριών και γαρίδων (Royer et al., 2020).

3.6 Μέθοδοι Ανάλυσης

Οι ιχθυοκαλλιέργειες εξετάζουν τη χρήση των δεδομένων συσκευής IoT τους για:

- παρακολούθηση της ποιότητα του νερού
- βελτιστοποίηση των προγραμμάτων τροφοδοσίας
- αύξηση των συναγερμών όταν οι συνθήκες πέσουν κάτω από το βέλτιστο
- καθοδήγηση του εξοπλισμού υδατοκαλλιέργειας
- μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (Kristiansen et al., 2020)

Οι περιπτώσεις χρήσης έχουν καθοριστεί ξεκινώντας από μια σειρά από συχνά επιχειρηματικά σενάρια που περιγράφονται από τους ναυτικούς μηχανικούς και τους διαχειριστές επιχειρήσεων.

- Ανίχνευση ανωμαλιών - Η βλάβη της αντλίας νερού μπορεί να υποδηλώνει πιθανή απόφραξη, οπότε πρέπει να ειδοποιηθεί ο διαχειριστής των εκμεταλλεύσεων ώστε να μπορεί να επέμβει αμέσως.
- Ανίχνευση ακραίων τιμών / ανωμαλιών - Τα ξαφνικά χαμηλά επίπεδα pH του νερού υποδηλώνουν αυξημένη οξύτητα και πρέπει να ωθήσουν την αντλία να αντλήσει αυτόματα περισσότερο οξυγόνο στο νερό μέχρι να φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα.
- Σχέδιο εποχικότητας - Αλλαγές στις φυσιολογικές καθημερινές διακυμάνσεις των επιπέδων pH του νερού, όπως επηρεάζονται από τα επίπεδα φωτός, μπορεί να υποδηλώνουν ένα μεγαλύτερο ζήτημα που μπορεί να επηρεάσει την υγεία των ψαριών. Σε αυτήν την περίπτωση, οι μηχανικοί θα πρέπει να ειδοποιούνται για περαιτέρω διερεύνηση των δεξαμενών ψαριών.
- Πρόβλεψη χρόνου-στόχου - Για τις αυτόματες μηχανές τροφοδοσίας που χρησιμοποιεί το αγρόκτημα για κάθε δεξαμενή ψαριών, θα ήταν χρήσιμο να γνωρίζουμε πότε πρέπει να αναπτυχθούν οι μηχανές έτσι ώστε οι νέες παραγγελίες να γίνουν εγκαίρως και να μην υπάρχει κίνδυνος για διακοπή αποθεμάτων (Kristiansen et al., 2020).

3.7 Πολιτικές

Η εξισορρόπηση των αλιευτικών συμφερόντων με περιβαλλοντικά ζητήματα δεν είναι εύκολη, αλλά η προηγμένη ανάλυση - η χρήση εξελιγμένων μεθόδων για τη συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία μεγάλων δεδομένων - μπορεί να αποτελέσει αναξιόποιτη λύση σε αυτό το πρόβλημα. Ενώ οι αλιευτικές εταιρείες, οι ρυθμιστικές αρχές και οι περιβαλλοντολόγοι εφαρμόζουν τώρα αυτά τα εργαλεία, η χρήση τους περιορίζεται συνήθως σε πιλότους μικρής κλίμακας. Εκτός από την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που υποστηρίζουν αναλυτικά στοιχεία σε αυτόν τον τομέα, τόσο οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής όσο και οι ηγέτες των αλιευτικών εταιρειών έχουν αυξημένη αίσθηση για την επείγουσα ανάγκη λόγω της μείωσης των αποθεμάτων ιχθύων. Επιπλέον, τα άτομα που εισέρχονται στον κλάδο της αλιείας ή συμμετέχουν σε ρυθμιστικές εξελίξεις έχουν καλύτερη αντίληψη των πραγμάτων από τους προκατόχους τους, κατέχοντας μεγαλύτερη κατανόηση των προηγμένων αναλυτικών στοιχείων και άλλων ψηφιακών εργαλείων (O'Donncha et al., 2019).

Δεδομένου ότι μόνο οι κανονισμοί δεν μπορούν να εξαλείψουν την υπεραλίευση, η αλιεία χρειάζεται άλλες λύσεις για να παραμείνει σε μια βιώσιμη τροχιά ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Για τα περισσότερα ζητήματα, συμπεριλαμβανομένης της αναφοράς αλιευμάτων, της ανταλλαγής πληροφοριών για το εμπόριο, των επιδοτήσεων, των δασμολογικών πολιτικών και της επιβολής των κανονισμών, θα βοηθήσει η μεγαλύτερη εθνική και

διεθνής συνεργασία. Όμως η αλιεία και το κοινό θα μπορούσαν επίσης να επωφεληθούν από την αυξημένη χρήση προηγμένων αναλυτικών στοιχείων. Αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν γίνει δημοφιλείς σε όλους τους κλάδους τα τελευταία χρόνια, καθώς οι τεχνολογικές βελτιώσεις έχουν αυξήσει τη διαθεσιμότητα δεδομένων, διευκόλυναν την ανάπτυξη πληροφοριών και διευρυμένες δυνατότητες απορρόφησης δεδομένων (Antonucci et al., 2020).

Κεφάλαιο 4^ο – Μελέτες Περίπτωσης

4 Μελέτες Περίπτωσης

Οι καλλιέργειες ακριβείας εν γένει χρησιμοποιούν τη τεχνολογία για να βελτιστοποιήσουν την απόδοση τους και να αποκτήσουν καλύτερη απόδοση παραγωγής, να μετρούν αυτόματα την απόδοση με την απόκτηση σχετικών δεδομένων, να διατηρήσουν την οικονομική και την περιβαλλοντική βιωσιμότητά τους, και να προβλέψουν και να αντιδράσουν στις κλιματικές αλλαγές.

Το θεωρητικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες ενότητες θα χρησιμοποιηθεί ως εφαλτήριο για να εξετάσει τις –πλέον- εν χρήσει τεχνολογίες στις καλλιέργειες ακριβείας, τα drone, τις τεχνολογίες χαρτογράφησης, και τα συστήματα παρακολούθησης απόδοσης.

4.1 Τεχνολογίες στην Γεωργία Ακρίβειας

Τα μη επανδρωμένα εναέρια ή/και υποβρύχια οχήματα (drone) είναι διαθέσιμα σε προσιτές τιμές και μπορούν να απεικονίσουν δεδομένα εδάφους με αντίστοιχες γεωγραφικές τοποθεσίες. Αυτό βοηθά τον χρήστη να έχει μια πλήρη και σαφέστερη εικόνα των πληροφοριών εδάφους ή της περιοχής προς καλλιέργεια εν γένει καλύπτοντας ένα εύρος δεδομένων το οποίο συντάσσει τη χαρτογράφηση. Για παράδειγμα, οι πολυφασματικές και RGB κάμερες εξοπλισμένες στα drone προσφέρουν το πλεονέκτημα της απεικόνισης του κοντινού υπέρυθρου τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος πάνω από τις καλλιέργειες, παρέχοντας έτσι τις συνθήκες υγείας των καλλιεργειών.

Οι εικόνες και τα δεδομένα που παράγονται από drone και αισθητήρες εδάφους αναμένεται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη γεωργία ακριβείας, παρέχοντας ευρύ χώρο για επιστημονική έρευνα και ανάπτυξη. Επιπλέον, αρκετές μετρολογικές πτυχές πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάπτυξη τέτοιων πλατφορμών· από τους αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε αυτές έως την οργάνωση και τις διαδικασίες βαθμονόμησης για τη δοκιμή τους.

Παρά την αποτελεσματικότητα και τη χρησιμότητά τους, το κύριο μειονέκτημά τους έγκειται στο γεγονός ότι αυτά τα συστήματα βαθμονομούνται μόνο για μια συγκεκριμένη εργασία (π.χ. ταξινόμηση διαφορετικών ειδών βλάστησης, υδάτινων σωμάτων, αστικών πεδίων, άγονων εδαφών κ.λπ.), χωρίς τη δυνατότητα δημιουργίας ολιστικής εικόνας των γεωργικών διεργασιών. Αυτή η έλλειψη διαλειτουργικότητας προκαλεί πρόσθετη εργασία για τους ανθρώπινους χειριστές, καθώς πρέπει να τροφοδοτούν την τράπεζα δεδομένων με μη-αυτόματο τρόπο τα δεδομένα που παράγονται από το σύστημα. Για όλους αυτούς τους λόγους, οι μονάδες (modules) λογισμικού, τα drones και ο λοιπός εξοπλισμός αποτελούν αντικείμενο έρευνας

προκειμένου να αναπτυχθεί ένα κοινό ενδιάμεσο λογισμικό πληροφοριών και μία κοινή διεπαφή εφαρμογών.

Η βασική αρχιτεκτονική ενός drone, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι αισθητήρες ωφέλιμου φορτίου, αποτελείται από:

- πλαίσιο,
- κινητήρες,
- ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου ταχύτητας (“Electronic Speed Control),
- πίνακα ελέγχου,
- σύστημα αδρανούς πλοήγησης (inertial navigation system) και
- μονάδες πομπού και δέκτη.



Εικόνα 1 Drone, μοντέλο Parrot Bluegrass

Στη γεωργία ακριβείας τα drone που χρησιμοποιούνται είναι ημι-αυτόνομα. Σε αυτήν την περίπτωση, το drone πρέπει να πετάξει σύμφωνα με τον ορισμό μιας διαδρομής πτήσης βάσει καθορισμένων σημείων και υψομέτρου πτήσης. Έτσι, στο drone πρέπει να ενσωματωθεί ένα σύστημα μέτρησης εντοπισμού θέσης (π.χ. Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης) για να γνωρίζει τη θέση του σε σχέση με τα σημεία που έχει καθορίσει ο χρήστης. Επιπλέον, πρέπει να ενσωματωθεί στο drone ένα υψόμετρο (π.χ. βαρόμετρο, υψόμετρο λέιζερ, αισθητήρας υπερήχων) για πτήση σε σταθερά υψόμετρα. Ένα παράδειγμα λογισμικού για τον ορισμό της πορείας της αποστολής είναι το APM Planner.



Εικόνα 2 Προγραμματισμένη πορεία πλοήγησης για την αξιολόγηση του εδάφους στο λογισμικό ανοιχτού κώδικα APM Planner.

Στην παραπάνω εικόνα, απεικονίζεται η διεπαφή χρήστη αυτού του εργαλείου.

Το ωφέλιμο φορτίο ενός drone περιλαμβάνει όλους τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που δεν χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της πτήσης του (π.χ. το αντίζυγο –Gimbal- με την κάμερα RGB). Στην περίπτωση της γεωργίας ακριβείας, οι αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι στα drone είναι: πολυφασματική κάμερα, θερμική κάμερα, κάμερα RGB και συστήματα ανίχνευσης φωτός και εύρους (Light Detection and Ranging - LiDAR).

Οι πολυφασματικές κάμερες χρησιμοποιούνται για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατάστασης της παρακολουθούμενης βλάστησης όσον αφορά:

1. περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη,
2. περιεκτικότητα σε φύλλα σε νερό,
3. κάλυψη εδάφους και δείκτη περιοχής φύλλων (Leaf Area Index - LAI) και τον δείκτη διαφοροποίησης βλάστησης (“Normalized Difference Vegetation Index” - NDVI). Οι θερμικές κάμερες έχουν δείξει υψηλό δυναμικό για την ανίχνευση της πίεσης του νερού στις καλλιέργειες λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας της καταπονημένης βλάστησης.

Για παράδειγμα, οι Moghli & Deepak (2018) προτείνουν ένα drone για παρακολούθηση βλάστησης χρησιμοποιώντας θερμικές και πολυφασματικές κάμερες. Η θερμική κάμερα είναι η Thermovision A40M, με 320×240 pixels και φασματική απόκριση εύρους από 7,5 μm έως 13 μm . Επιπλέον, κάθε pixel έχει ανάλυση 16 bit και δυναμικό εύρος από 233 K έως 393 K. Ο πολυφασματικός αισθητήρας είναι η πολυφασματική

κάμερα έξι ζωνών MCA-6 Tetracam. Η κάμερα αποτελείται από έξι ανεξάρτητους αισθητήρες εικόνας και οπτικά με ρυθμιζόμενα από το χρήστη φίλτρα, με κεντρικά μήκη κύματος στα 490, 550, 670, 700, 750 και 800 nm, αντίστοιχα.

Οι κάμερες RGB και τα συστήματα LiDAR συνήθως υιοθετούνται για την ψηφιοποίηση της επιφάνειας του εδάφους για να παρέχουν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Terrain Model - DTM) ή το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (Digital Surface Model - DSM) της παρακολουθούμενης περιοχής. Το DSM αντιπροσωπεύει την επιφάνεια της γης και περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα πάνω της, ενώ το DTM αντιπροσωπεύει το επίπεδο εδάφους του εδάφους χωρίς να λαμβάνει υπόψη το ύψος της βλάστησης. Για παράδειγμα, οι Murugan et al (2017) χρησιμοποιούν το Swinglet CAM drone με ενσωματωμένη τη συμπαγή κάμερα Canon IXUS 220 HS για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών ενός αμπελώνα. Πραγματοποίησαν πτήση αποκτώντας τις εικόνες που σχετίζονται με έναν αμπελώνα σε διάφορα σημεία.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα παραδείγματα, για να χρησιμοποιηθεί ένα drone στη γεωργία ακριβείας, απαιτούνται τουλάχιστον οι ακόλουθες δυνατότητες:

1. το drone πρέπει να πετάει σύμφωνα με τον ορισμό των σημείων στη διαδρομή πτήσης,
2. το drone πρέπει να ελέγξει το υψόμετρο πτήσης του,
3. το drone πρέπει να αισθάνεται και να αποφεύγει εμπόδια κατά τη διάρκεια της πτήσης,
4. το drone πρέπει να προσγειώνεται αυτόματα σύμφωνα με την κατάσταση της μπαταρίας του, και
5. οι ληφθείσες εικόνες πρέπει να σταθεροποιηθούν με αντίζυγο (gimbal).

Ένα παράδειγμα drone που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γεωργία ακριβείας και πληροί τις προαναφερθείσες απαιτήσεις είναι το Parrot Bluegrass. Συγκεκριμένα, μπορεί να οδηγηθεί σύμφωνα με προκαθορισμένα καθορισμένα σημεία και τιμές υψόμετρο πτήσης. Επιπλέον, ενσωματώνει μια κάμερα RGB, τον πολυφασματικό αισθητήρα Parrot Sequoia και έναν αισθητήρα για τη μέτρηση της περιβαλλοντικής φωτεινότητας.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί ότι η γεωργία έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Προσθέτει σημαντικές και περιβαλλοντικά επιβλαβείς ποσότητες αζώτου και φωσφόρου στα χερσαία οικοσυστήματα (Puri et al, 2017). Επίσης, η υπερβολική εφαρμογή λιπασμάτων μπορεί να προκαλέσει κινδύνους ρύπανσης για το περιβάλλον, ενώ το ανεπαρκές λίπασμα που χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση του αζώτου και του φωσφόρου που χάνονται μέσω της εντατικής καλλιέργειας μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση του εδάφους και απώλεια ευφορίας. Επιπλέον, η ρύπανση των υδάτων και των σωμάτων, και η επακόλουθη υποβάθμιση

των σχετικών με το νερό οικοσυστημάτων αυξάνονται λόγω των γεωργικών χημικών ουσιών που εισχωρούν στο κοντινό νερό. Επιπλέον, σε ολόκληρη την Ευρώπη παρατηρείται σοβαρή υποβάθμιση του εδάφους, η οποία απειλεί την παραγωγικότητα των διαφόρων εδαφών (Puri et al, 2017). Εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, πρέπει να ληφθεί υπόψη η πτυχή του κινδύνου για την υγεία από τη χρήση χημικών στη γεωργία. Πράγματι, οι χημικές ουσίες ενδέχεται να απειλήσουν τους εργαζόμενους στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις, καθώς και τις οικογένειες και ενδεχομένως τους κατοίκους των περιοχών που περιβάλλουν τις καλλιέργειες, τους αμπελώνες και τους χώρους καλλιέργειας. Επιπλέον, τα φυτοφάρμακα απορροφώνται από καλλιέργειες και φυσικούς πόρους (δηλ. νερό και έδαφος) και καταλήγουν ως ουσίες στην τροφική αλυσίδα, με τον αυξανόμενο κίνδυνο τόσο για τα ζώα όσο και για τον άνθρωπο, με τεράστιες αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Μέσω της αυτόνομης καλλιέργειας ακριβείας, αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να μετριαστούν, καθώς χημικές ουσίες, όπως λιπάσματα και φυτοφάρμακα, χορηγούνται μόνο όπου απαιτείται αντί να εφαρμόζονται σε μια μεγάλη έκταση.

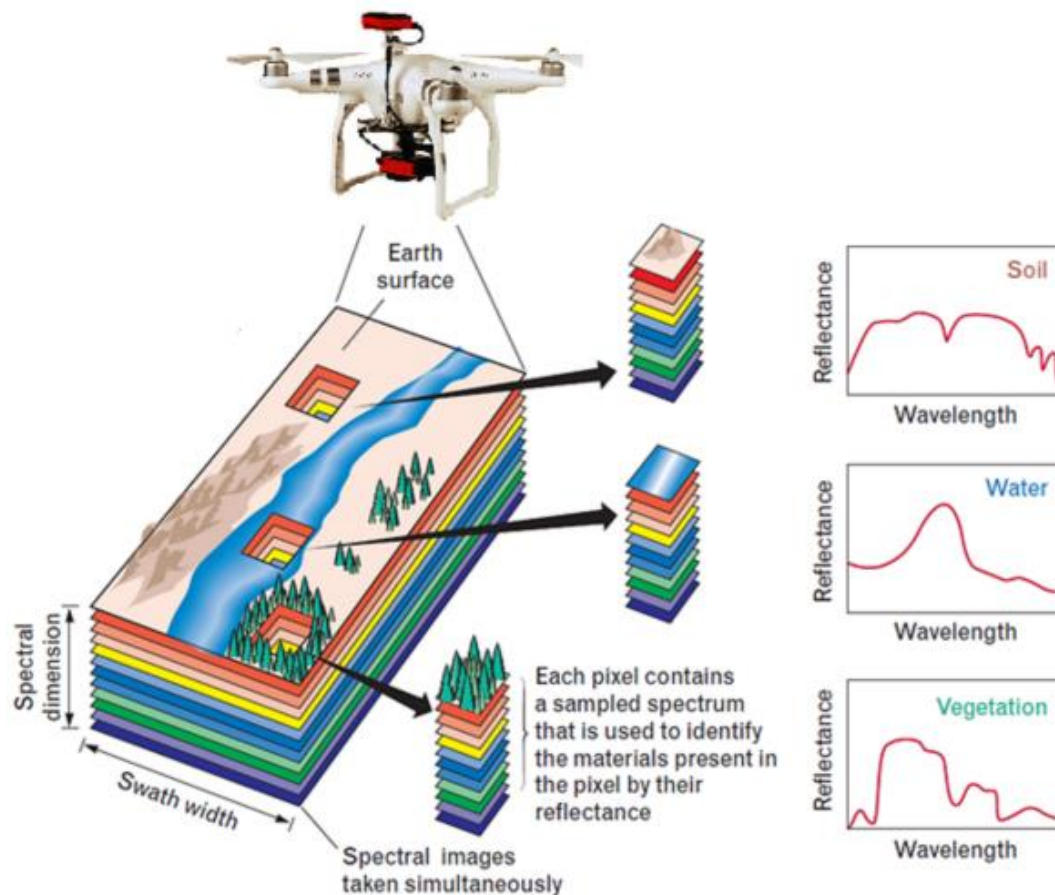
Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η χρήση drone στη γεωργία εισήχθη πρόσφατα στην επιθεώρηση μεγάλων περιοχών και την έξυπνη (smart) στοχευμένη άρδευση και λίπανση (Stehr, 2015). Η δυνατότητα ανίχνευσης, με drone και υπέρυθρης κάμερας, των περιοχών όπου απαιτείται μεγάλη άρδευση ή όπου εξαπλώνεται μια ασθένεια φυλλώματος, μπορεί να βοηθήσει τους γεωπόνους να εξοικονομήσουν χρόνο και υδατικούς πόρους και να μειώσουν τα αγροχημικά προϊόντα. Ταυτόχρονα, τέτοιες προηγμένες τεχνικές καλλιέργειας μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένη παραγωγικότητα και ποιότητα των καλλιεργειών.

Συγκεκριμένα, η έλλειψη νερού, το θρεπτικό στρες ή οι ασθένειες μπορούν να εντοπιστούν και να μετρηθούν και να ληφθεί απόφαση για την επίλυση του προβλήματος. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί δείκτες βλάστησης που περιλαμβάνουν διάφορα χαρακτηριστικά δεδομένων, όπως το NDVI. Τα ειδικά συστήματα κάμερας μπορούν να αποκτήσουν δεδομένα από ένα αόρατο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που ονομάζεται Near-Infrared (NIR) και να εξαγάγουν ποιοτικές πληροφορίες, όπως η είναι η παρουσία άλγης στα ποτάμια ή πετρελαιοκηλίδες κοντά στο ακτές (20).

Οι τρέχουσες εφαρμογές των drone γεωργίας (Saha et al, 2018) είναι: (i) παρακολούθηση της βιομάζας, της αύξησης της καλλιέργειας και της ποιότητας των τροφίμων, (ii) καλλιέργεια ακριβείας, όπως ο προσδιορισμός του βαθμού ζιζανίων για εφαρμογές ζιζανιοκτόνων σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, (iii) συγκομιδή και βελτιστοποίηση λογιστικής. Όλες αυτές οι εφαρμογές απαιτούν την επεξεργασία των εικόνων που αποκτήθηκαν από μια κάμερα ενσωματωμένη στο drone.

Σύμφωνα με τους αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι στα drone, είναι δυνατό να οριστούν τρεις τύποι εφαρμογών για γεωργία ακριβείας: (i) εφαρμογές που βασίζονται σε πολυφασματικές και θερμικές κάμερες και (ii) εφαρμογές που βασίζονται σε κάμερες RGB.

Συνήθως, για τη γεωργία, το έδαφος σαρώνεται χρησιμοποιώντας δορυφόρους με πολυφασματικές και θερμικές κάμερες. Για τη γεωργία ακριβείας, λόγω της απαιτούμενης υψηλής χωρικής ανάλυσης, τα drone είναι πιο κατάλληλες πλατφόρμες από τους δορυφόρους για σάρωση. Προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη ευελιξία στον προγραμματισμό αποστολών από τους δορυφόρους. Οι πολυφασματικοί και θερμικοί αισθητήρες του drone ελέγχουν ταυτόχρονα φασματικές ζώνες κυμάτων σε μια μεγάλη περιοχή σε μια επίγεια σκηνή.



Εικόνα 3 Οι λειτουργίες παρακολούθησης μιας καλλιέργειας μέσω πολυφασματικής κάμερας ενσωματωμένης στο drone

Μετά την επεξεργασία, κάθε εικονοστοιχείο στην προκύπτουσα εικόνα περιέχει ένα δείγμα φασματικής μέτρησης της ανάκλασης, η οποία μπορεί να ερμηνευθεί για να προσδιορίσει το υλικό που υπάρχει στη σκηνή. Στη γεωργία ακριβείας, από τις

μετρήσεις ανακλαστικότητας, είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί η απορρόφηση της χλωροφύλλης, η απορρόφηση φυτοφαρμάκων, η έλλειψη νερού, το θρεπτικό στρες ή οι ασθένειες.

Υπάρχουν τέσσερις λειτουργίες δειγματοληψίας που εμπλέκονται στη συλλογή δεδομένων φασματικής εικόνας: χωρικές, φασματικές, ραδιομετρικές και χρονικές. Η χωρική δειγματοληψία αντιστοιχεί στην απόσταση δείγματος εδάφους (“Ground Sample Distance” - GSD). Το GSD είναι η απόσταση σε μέτρα μεταξύ δύο διαδοχικών κέντρων pixel που μετρώνται στο έδαφος. Εξαρτάται από το διάφραγμα του αισθητήρα και το ύψος της πτήσης. Η φασματική δειγματοληψία πραγματοποιείται αποσυνθέτοντας την ακτινοβολία που λαμβάνεται σε κάθε χωρικό εικονοστοιχείο σε έναν πεπερασμένο αριθμό ζωνών κυμάτων. Η ραδιομετρική ανάλυση αντιστοιχεί στην ανάλυση του Αναλογικού σε Ψηφιακό Μετατροπέα (“Analog to Digital Converter” - ADC) που χρησιμοποιείται για τη δειγματοληψία της ακτινοβολίας που μετράται σε κάθε φασματικό κανάλι. Επιπλέον, η χρονική δειγματοληψία αναφέρεται στη διαδικασία συλλογής πολλαπλών φασματικών εικόνων της ίδιας σκηνής σε διαφορετικές στιγμές (Murugan et al, 2016).

Αυτές οι τέσσερις διαδικασίες δειγματοληψίας πρέπει να ληφθούν υπόψη για το σχεδιασμό μιας αποστολής πτήσης και για τη σωστή επιλογή της πολυφασματικής κάμερας και της πλατφόρμας drone. Συγκεκριμένα, οι εικόνες που αποκτήθηκαν από το drone παρέχουν μετρήσεις που σχετίζονται με την ακτινοβολία σε κάθε pixel. Για να μετρηθεί η ανακλαστικότητα, εφαρμόζεται αλγόριθμος επεξεργασίας εικόνας για την αντιστάθμιση των επιπτώσεων λόγω της απορρόφησης της ατμόσφαιρας και του φάσματος του ηλιακού φωτισμού. Από τις τιμές ανάκλασης, είναι δυνατό να ανιχνευθούν διάφορα υλικά και η κατάσταση της βλάστησης σύμφωνα με γνωστές φασματικές αποκρίσεις (Veroustraete, 2015).

Σε συνδυασμό με τα drone, οι χάρτες ακριβείας είναι πολύ σημαντικό εργαλείο στη γεωργία ακριβείας. Βοηθούν τους καλλιεργητές δείχνοντάς τους τις ακριβείς τοποθεσίες στο αγρόκτημα και δίνουν συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με τη συγκεκριμένη τοποθεσία. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ενός χάρτη ακριβείας είναι ότι αποτελείται από γεωαναφερόμενα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για να δείξουν πληροφορίες σχετικά με μια ακριβή τοποθεσία σε ένα αγρόκτημα, καθώς και πληροφορίες ή χαρακτηριστικά ενός εδάφους ή μιας καλλιέργειας όπως τα επίπεδα υγρασίας, η απόδοση της καλλιέργειας επίπεδα θρεπτικών συστατικών του εδάφους και πολλά άλλα (Bansod et al, 2017).

Το Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας (Global Positioning System - GPS) χρησιμοποιείται επί του παρόντος για την επίτευξη ακριβείας καλλιέργειας που διευκολύνει τη χαρτογράφηση χωραφιών, τον σχεδιασμό αγροκτημάτων, τον

εντοπισμό καλλιεργειών, τη χαρτογράφηση απόδοσης και τη δειγματοληψία εδάφους. Επιπλέον, το GPS επιτρέπει στους καλλιεργητές να εργάζονται καλά κάτω από συνθήκες πεδίου χαμηλής ορατότητας όπως σκόνη, ομίχλη, βροχή και σκοτάδι. Η χαρτογράφηση είναι απαραίτητη για τη συσχέτιση των αποδόσεων των καλλιεργειών και των τεχνικών παραγωγής με τη μεταβλητότητα της γης. Αυτός ο συσχετισμός επιτρέπει στη συνέχεια στους καλλιεργητές να βρουν τις πιο κατάλληλες και αποτελεσματικές στρατηγικές επεξεργασίας φυτών ή εδάφους, αυξάνοντας την παραγωγή της φάρμας. Οι χάρτες που δημιουργούνται μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την ακριβή εφαρμογή νερού, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων. Η εφαρμογή και η διασπορά τέτοιων χημικών επιφέρει τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος και μειώνει τα έξοδα ή το κόστος εισόδου ενώ μεγιστοποιεί τις αποδόσεις (Agarwal et al, 2018).

Η χαρτογράφηση στη γεωργία ακριβείας συνεπάγεται την έγκαιρη συλλογή γεωχωρικών πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες και τις απαιτήσεις των φυτών ή του εδάφους, και αργότερα εφαρμόζει και συνταγογραφεί ειδικές τοποθεσίες για την αύξηση των προϊόντων, προστατεύοντας ταυτόχρονα το περιβάλλον. Πρόκειται για τη μικροδιαχείριση αγροκτημάτων. Ο λόγος για τον οποίο η χαρτογράφηση ως ένα από τα εργαλεία στη γεωργία ακριβείας κερδίζει δυναμική οφείλεται στο γεγονός ότι διευκολύνει τη χρήση εργαλείων υψηλής τεχνολογίας στη γεωργική βιομηχανία που είναι πιο ακριβείς, φιλικές προς το χρήστη και οικονομικά αποδοτικές. Τα περισσότερα από τα εργαλεία γεωργικής ακρίβειας απαιτούν συγχρονισμό και καλή ερμηνεία με αισθητήρες συλλογής δεδομένων, υπολογιστές και συστήματα εντοπισμού θέσης και αναφοράς παγκόσμιου συστήματος (Pederer et al, 2015).

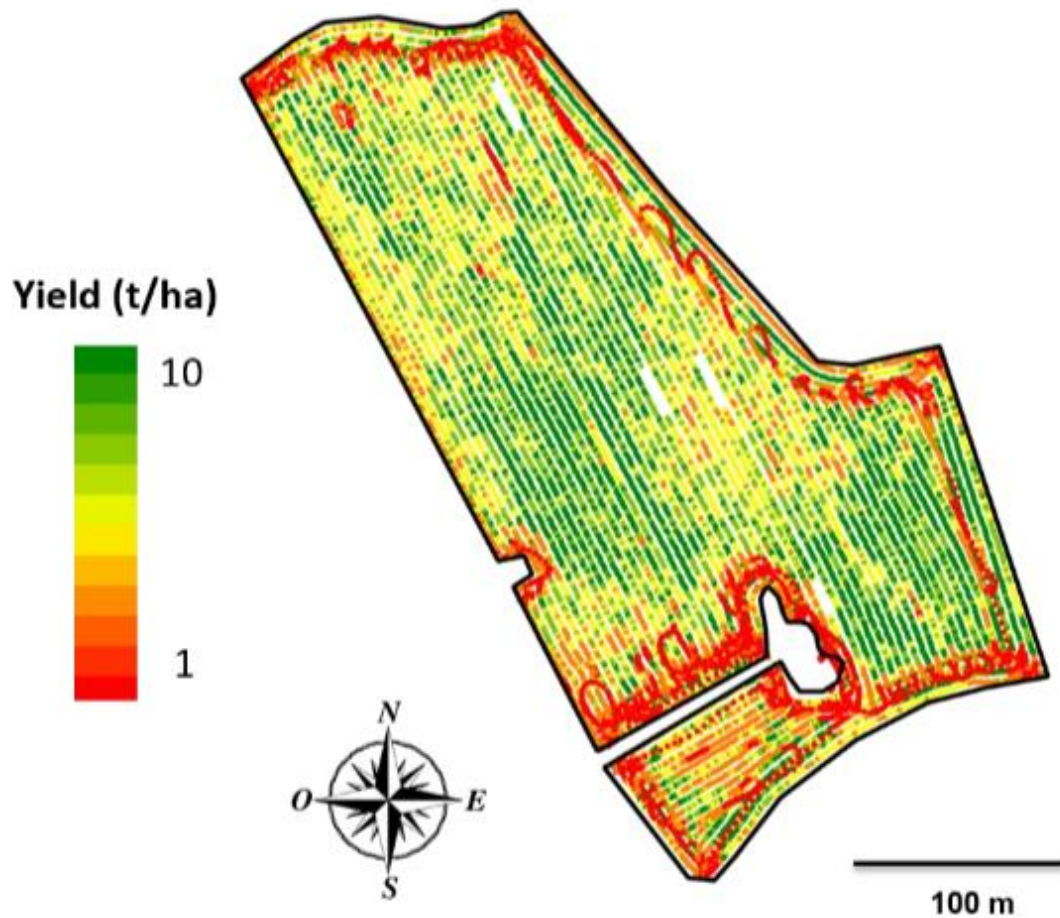
Οι χάρτες ακριβείας λειτουργούν πρακτικά σε μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών άλλων φυσικών αισθητήρων μαζί με τις πληροφορίες του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης για την ανάλυση διαφορετικών χαρακτηριστικών γνωστών ως μεταβλητών όπως η υγρασία των καλλιεργειών και του εδάφους, η απόδοση των καλλιεργειών και πολλά άλλα. Αυτές οι πληροφορίες είναι κρίσιμες για τον εντοπισμό διαφόρων σημείων ανάγκης. Έτσι, εξοικονομεί χρόνο και χρήμα στον αγρότη αποτρέποντας την υπερβολική εφαρμογή λιπασμάτων, νερού ή φυτοφαρμάκων μεταξύ πολλών άλλων εισροών αγροκτημάτων.

Συνήθως, οι πληροφορίες σχετικά με μια τοποθεσία συλλέγονται από παγκόσμιους δέκτες συστήματος εντοπισμού θέσης που χαρτογραφούν τα όρια του χωραφιού, τα συστήματα άρδευσης, τους δρόμους και τις προβληματικές περιοχές στο χωράφι ή τις καλλιέργειες όπως ανεπαρκή υγρασία, ζιζάνια, παράσιτα ή ασθένειες. Αυτή η ακρίβεια του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης επιτρέπει στους αγρότες να δημιουργούν χάρτες πεδίου με μεγάλη ακρίβεια ανά εκτάριο για περιοχές πεδίου, αποστάσεις μεταξύ σημείων ενδιαφέροντος και τοποθεσιών δρόμου. Το παγκόσμιο

σύστημα εντοπισμού θέσης επιτρέπει στους αγρότες να πλοηγούνται με ακρίβεια σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός χωραφιού, συλλέγοντας δεδομένα ταυτόχρονα με το χρόνο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι χαρτών ακριβείας που μπορεί να δημιουργήσει ο farmer. Τους επιτρέπει να βλέπουν πράγματα που δεν μπορούσαν να εντοπίσουν χρησιμοποιώντας τα δικά τους γυμνά μάτια, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να λαμβάνουν γρήγορες αποφάσεις που είναι ακριβείς. Οι τύποι χαρτών ακριβείας περιλαμβάνουν:

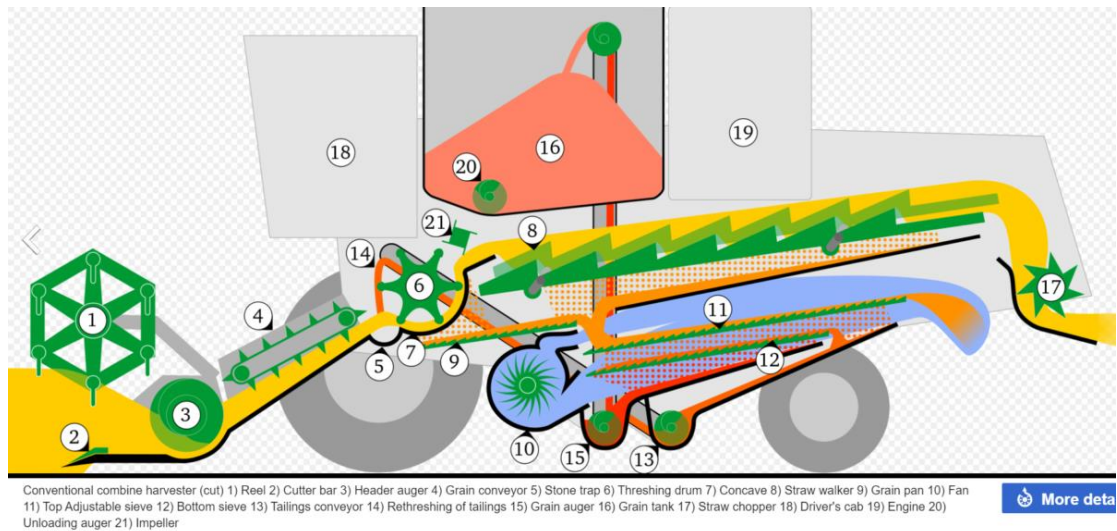
- Χάρτες εδάφους: Αυτοί οι χάρτες με γεωγραφική αναφορά συλλέγονται με διαφορετικούς τρόπους, όπως ο διαχωρισμός του πεδίου σε μπλοκ πλέγματος ή η λήψη δειγμάτων ζωνών πεδίου που δημιουργούνται από χάρτες απόδοσης ή χάρτες τοπογραφίας.
- Χάρτες απόδοσης: Ένας χάρτης απόδοσης εστιάζει κυρίως στην απόδοση των καλλιεργειών. Για παράδειγμα, πόση παραγωγικότητα υπάρχει σε μια περιοχή του πεδίου σε σύγκριση με την άλλη.

Οι νέες τεχνολογίες επιτρέπουν πολύ ανώτερη παρακολούθηση απόδοσης από ποτέ, αναβαθμίζοντας την τεχνολογία των αισθητήρων απόδοσης που υπήρχαν από τη δεκαετία του 1990. Έχουν καθοριστική σημασία για την ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας, επειδή ήταν ένα από τα πρώτα μέσα για τον καθορισμό, τον ποσοτικό προσδιορισμό και τον χαρακτηρισμό της μεταβλητότητας εντός του πεδίου στην καλλιέργεια.



Εικόνα 4 Χάρτης απόδοσης που δείχνει τη χωρική μεταβλητότητα απόδοσης εντός του πεδίου

Αυτές οι οθόνες είναι τοποθετημένες σε θεριζοαλωνιστικές μηχανές και μετρούν σε πραγματικό χρόνο την ποσότητα του σιταριού που περνά μέσω του συνδυασμού κατά τη συγκομιδή. Σημειώστε ότι ο τύπος μέτρησης απόδοσης που πραγματοποιείται εξαρτάται από τη θέση αυτών των αισθητήρων μέσα στο μηχάνημα. Όταν ο συνδυασμός διέρχεται από το χωράφι, η συγκομιδή (μίσχοι και κόκκοι) κόβεται στο επίπεδο της κεφαλίδας και ρέει στον συνδυασμό μέσω του μεταφορέα τροφοδοσίας. Τα συστήματα αλώνισμα στη συνέχεια διαχωρίζουν τους κόκκους από τους μίσχους. Οι κόκκοι καθαρίζονται με τα τραπέζια του ανεμιστήρα και του κόσκινου και φτάνουν μέχρι τη δεξαμενή αποθήκευσης, το hopper, που ρέει μέσα από τη γούρνα τρυπανιών και τον ανελκυστήρα. Τα στελέχη απορρίπτονται από το συνδυασμό.

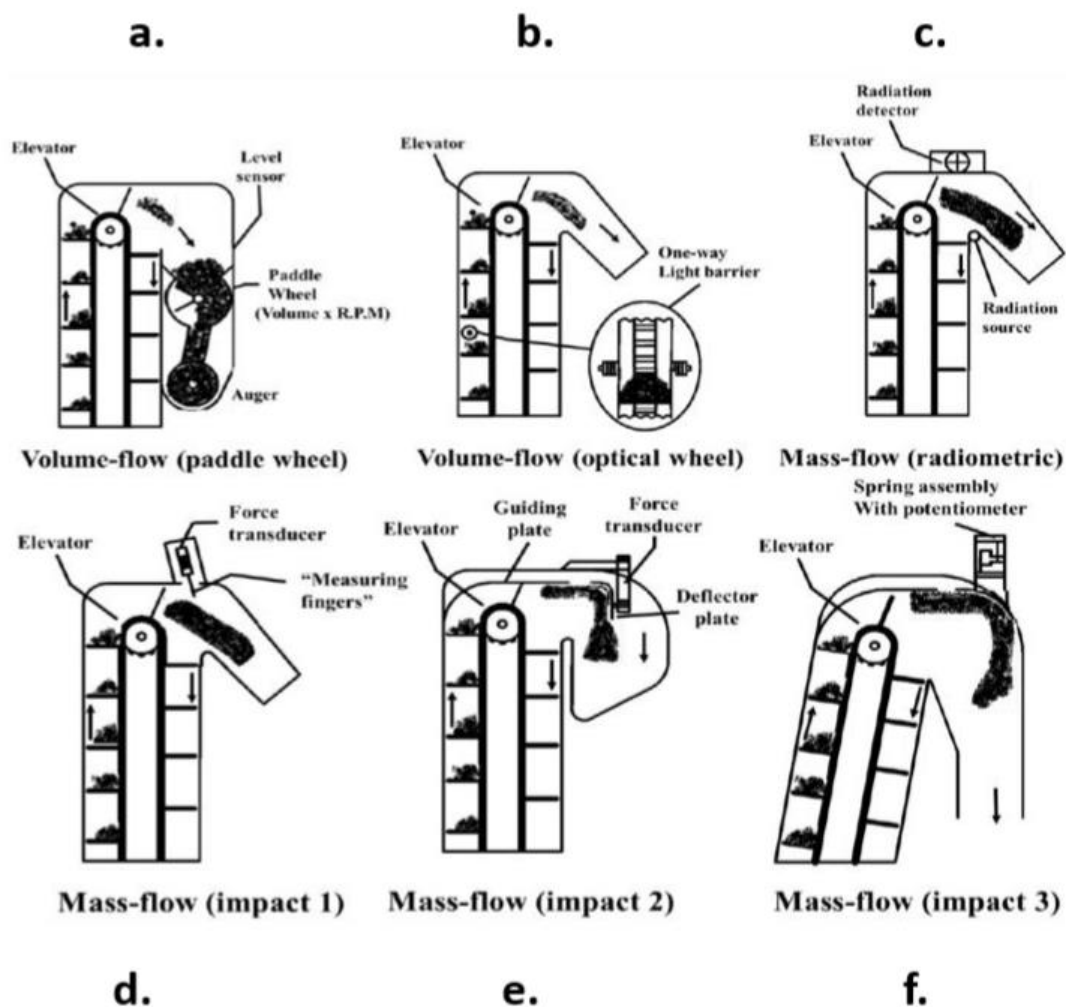


Εικόνα 5 Διάγραμμα συμβατικής θεριζοαλωνιστικής μηχανής

Οι οθόνες απόδοσης συνήθως εγκαθίστανται κοντά στον ανελκυστήρα σιτηρών. Συνήθως αναφέρονται δύο κύρια συστήματα: οι μετρητές όγκου-ροής και μετρητές ροής μάζας.

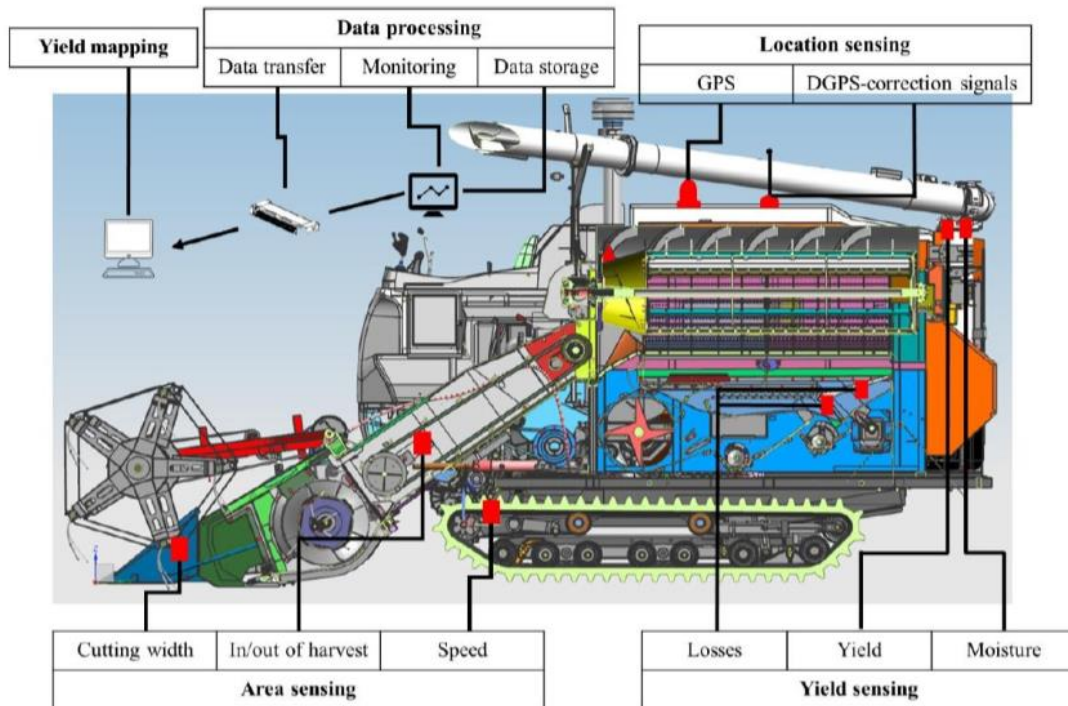
Οι αισθητήρες ροής όγκου εκτιμούν τον όγκο των κόκκων είτε σε έναν τροχό κωπηλασίας που βρίσκεται ακριβώς μετά τον ανελκυστήρα κόκκων ή απευθείας μέσα στον ανελκυστήρα κόκκων χρησιμοποιώντας ένα μονόδρομο φραγμό. Στην πρώτη περίπτωση, ένας αισθητήρας στάθμης μετρά το επίπεδο των κόκκων που ρέει μέσω του τροχού. Στη δεύτερη περίπτωση, ο όγκος των κόκκων εκτιμάται κατά τη διάρκεια της διακοπής του φωτός καθώς ο κόκκος ρέει μέσω του ανελκυστήρα κόκκων. Οι όγκοι των κόκκων στη συνέχεια μετατρέπονται σε μάζα κόκκων χρησιμοποιώντας το ειδικό βάρος του κόκκου.

Οι αισθητήρες ροής μάζας βασίζονται είτε στην αρχή της μέτρησης δύναμης είτε στην απορρόφηση των ακτίνων γάμμα κατά μάζα. Στην πρώτη περίπτωση, το βάρος του κόκκου εκτιμάται χρησιμοποιώντας έναν μορφοτροπέα δύναμης που μετρά τη δύναμη πρόσκρουσης του κόκκου στο τέλος του ανελκυστήρα κόκκων. Στη δεύτερη περίπτωση, ένας ανιχνευτής ακτινοβολίας μετρά την απορρόφηση των ακτίνων γάμμα (που εκπέμπεται από την πηγή ιόντων ακτινοβολίας) από τον κόκκο, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βάρους του κόκκου.



Εικόνα 6 Οθόνες απόδοσης: αισθητήρες μάζας και ροής όγκου

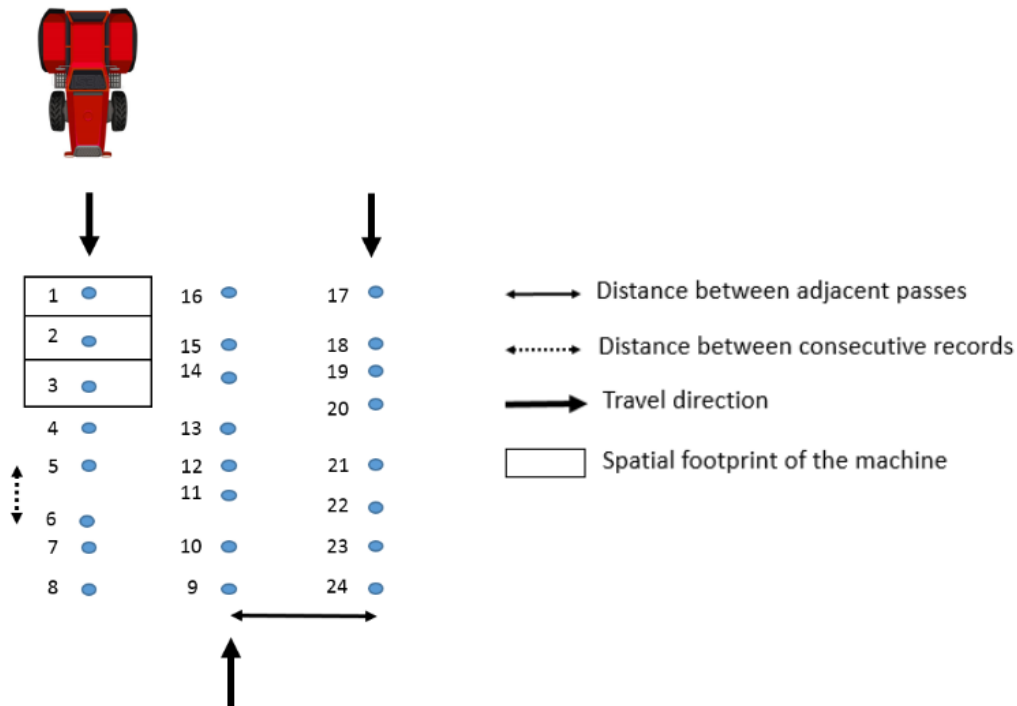
Όλα τα συστήματα συνδυασμένης θεριστικής μηχανής που συμμετέχουν στο παιχνίδι για τον υπολογισμό της απόδοσης της καλλιέργειας εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα. Οι αισθητήρες υγρασίας χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ένα ρεκόρ απόδοσης σε επίπεδο υγρασίας αναφοράς. Αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται γενικά κοντά στο τρυπάνι κόκκων ή στον ανελκυστήρα κόκκων για να εκτιμηθεί η υγρασία του κόκκου χρησιμοποιώντας τις διηλεκτρικές ιδιότητες του συλλεχθέντος κόκκου. Σημειώστε ότι τα συστήματα εντοπισμού θέσης επιτρέπουν τη συσχέτιση μιας θέσης στο διάστημα για την παραγωγή εγγραφών και κατά συνέπεια τη δυνατότητα δημιουργίας χαρτών απόδοσης.



Εικόνα 7 Τεχνολογίες χαρτογράφησης απόδοσης σε μια θεριστική μηχανή

Το μηχάνημα μπορεί απλά να μοντελοποιηθεί από ένα δομικό στοιχείο που κινείται μέσω του πεδίου, δηλαδή, ένα ορθογώνιο του οποίου οι διαστάσεις καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του συνδυασμού και των συναφών αισθητήρων επί του σκάφους (παρακολούθηση απόδοσης σε αυτήν την περίπτωση). Οι μετρήσεις απόδοσης εν κινήσει είναι ακριβείς παρατηρήσεις και κάθε σημείο συνθέτει την απόκριση απόδοσης πάνω από το αντίστοιχο δομικό στοιχείο. Η χωρική ανάλυση της απόδοσης ελέγχεται από την απόσταση μεταξύ διαδοχικών εγγραφών και καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ γειτονικών περασμάτων του μηχανήματος. Η χωρική απόσταση μεταξύ διαδοχικών παρατηρήσεων σχετίζεται με την ταχύτητα του μηχανήματος και τη συχνότητα δειγματοληψίας του αισθητήρα. Σε ένα δεδομένο πεδίο, αυτή η συχνότητα απόκτησης είναι γενικά σταθερή, πράγμα που σημαίνει ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών εγγραφών βασίζεται μόνο στην ταχύτητα ταξιδιού του συνδυασμού. Από την άλλη πλευρά, όταν ένας συνδυαστής θεριστικής μηχανής με ένα ενσωματωμένο όργανο παρακολούθησης απόδοσης περνά μέσα από ένα χωράφι, η απόσταση μεταξύ γειτονικών περασμάτων σχετίζεται με το πλάτος της ράβδου κοπής επειδή πρέπει να συλλεχθεί ολόκληρο το αγρό.

Η απόκτηση δεδομένων απόδοσης εντός πεδίου μπορεί να γίνει κατανοητή ως μια διαδοχική διαδικασία μέσω του χρόνου κατά τον οποίο ένας συνδυασμός αποκτά απόδοση χωρικών πληροφοριών. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων ακολουθεί μια χρονική δυναμική, δηλαδή, οι παρατηρήσεις καταγράφονται με μια συγκεκριμένη σειρά κάθε φορά καθώς η μηχανή περνά μέσα από το πεδίο.



Εικόνα 8 Λήψη δεδομένων απόδοσης εντός του πεδίου (μπλε κουκκίδες) με θεριζοαλωνιστική μηχανή

Επομένως, αυτές οι παρατηρήσεις κατανέμονται παράνομα στο διάστημα επειδή:

- οι αποστάσεις μεταξύ γραμμών και μεταξύ γραμμών είναι διαφορετικές και
- οι συνθήκες απόκτησης, όπως η ακρίβεια GNSS ή η μεταβλητή ταχύτητα συνδυασμού, μπορούν να επηρεάσουν τη χωρική κατανομή των παρατηρήσεων και
- ορισμένες παρατηρήσεις μπορεί να λείπουν (απώλεια σήματος εντοπισμού, πλήρης κάρτα μνήμης)

Οι πληροφορίες απόδοσης είναι επίσης πολύ πυκνές (χιλιάδες μονάδες ανά εκτάριο) και πολύ θορυβώδεις λόγω στοχαστικού σφάλματος στη λειτουργία του αισθητήρα, της εγγενούς τοπικής μεταβλητότητας στην παραγωγή και σφαλμάτων που σχετίζονται με τη θεριστική μηχανή που διέρχεται από το χωράφι. Παρ' όλα αυτά, τα δεδομένα απόδοσης εντός του πεδίου συνήθως εμφανίζουν αρκετά ισχυρή χωρική δομή, δηλαδή, οι χωρικές παρατηρήσεις είναι καλά δομημένες εντός των πεδίων και τα χωρικά σχέδια απόδοσης είναι σαφώς ορατά. Καθώς οι περισσότερες αροτραίες καλλιέργειες πρέπει να συλλέγονται κάθε χρόνο, οι ιστορικές βάσεις δεδομένων χαρτογράφησης απόδοσης είναι πιθανό να είναι διαθέσιμες σε πολλά αροτραία συστήματα. Ωστόσο, πρέπει να ειπωθεί ότι τα χρονικά δεδομένα απόδοσης εντός του πεδίου ενδέχεται να μην συστέλλονται στο διάστημα (η οθόνη απόδοσης δεν μετρά τις πληροφορίες απόδοσης στην ίδια ακριβώς θέση κάθε χρόνο).

Συμπερασματικά, στη γεωργία ακριβείας, τα δεδομένα απόδοσης χρησιμοποιούνται γενικά για (i) ποσοτικοποίηση και χαρακτηρισμό της μεταβλητότητας εντός του πεδίου, (ii) συσχέτιση της απόδοσης με μια βοηθητική μεταβλητή και (iii) επικύρωση της καταλληλότητας μιας εφαρμογής διαμόρφωσης.

4.2 Τεχνολογίες στην Ιχθυοκαλλιέργεια Ακριβείας

Η αγορά γεωργικών drone για την ιχθυοκαλλιέργεια ακριβείας αναμένεται να αυξηθεί στο υψηλότερο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης κατά τη διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης. Η αυξανόμενη ζήτηση για διάφορες συσκευές υλικού όπως το GPS / GNSS και διάφορους αισθητήρες συμβάλλει στην ανάπτυξη της αγοράς κηφώνων γεωργίας για την ιχθυοκαλλιέργεια ακριβείας.

Τα δεδομένα που παράγονται σε σύγχρονες εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας εκτείνονται σε μια μεγάλη ποικιλία μορφών. Οι in situ αισθητήρες λαμβάνουν δείγμα μεγάλου αριθμού περιβαλλοντικών μεταβλητών όπως η θερμοκρασία, η τρέχουσα ταχύτητα, το διαλυμένο οξυγόνο (“dissolved oxygen” - DO), η χλωροφύλλη και η αλατότητα. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα που ανιχνεύονται από απόσταση μπορούν να δείξουν πολύ μεγαλύτερους χωρικούς τομείς και μπορεί να βρίσκονται στην κλίμακα του κόλπου - από επίγειους αισθητήρες όπως ραντάρ HF τύπου CODAR - ή σε παγκόσμια κλίμακα από ένα δορυφορικό σύστημα παρακολούθησης.

Σήμερα, οι περισσότερες λύσεις για την περιβαλλοντική παρακολούθηση των ιχθυοτροφείων βασίζονται σε υποβρύχιους αισθητήρες τοποθετημένους σε σταθερά βάθη χρησιμοποιώντας σημαντήρες, σύρματα ή σχοινιά. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις, οι μετρήσεις λαμβάνονται στην επιφάνεια χειροκίνητα, χρησιμοποιώντας μετρητές χειρός. Επειδή οι συνθήκες μπορεί να ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το βάθος, αυτές οι μέθοδοι μπορεί να παρέχουν μια κακή, ή ακόμη και εσφαλμένη, εικόνα των συνθηκών στο δίχτυ-κλωβό.

Στην υδατοκαλλιέργεια ακριβείας, ο αισθητήρας του drone μετρά όλες τις σημαντικές παραμέτρους, όπως οξυγόνο, αλατότητα, θερμοκρασία και φως. Διαθέτει επίσης ενσωματωμένους ηχοσυσσωρευτές που επιτρέπουν την παρακολούθηση των ψαριών. Οι αισθητήρες πίεσης μετρούν το βάθος και το GPS διασφαλίζει ότι η μέτρηση είναι πάντα ανιχνεύσιμη στο σημείο που συλλέχθηκε. Το drone δημιουργεί ένα πλήρες προφίλ του κλωβού, από πάνω προς τα κάτω, κάθε ώρα, παρέχοντας έτσι μια πιο λεπτομερή και αξιόπιστη κατανόηση του τι βιώνουν τα ψάρια στο κλουβί. Λειτουργεί συνέχεια και μπορεί να λειτουργήσει για έξι μήνες με μία μόνο μπαταρία. Τα drone λειτουργούν πρακτικά χωρίς συντήρηση. Η ρύθμιση των drone πραγματοποιείται όταν αλλάζει η μπαταρία και η εγκατάσταση είναι επίσης πολύ απλή.

Τα δεδομένα που συλλέγονται από το drone παρέχει πληροφορίες για τις κινήσεις των ψαριών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν τους ιχθυοκαλλιεργητές να αυξήσουν την ακρίβεια των ζωοτροφών, μειώνοντας έτσι τα απόβλητα και αυξάνοντας την ανάπτυξη. Επιπλέον, τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των επιπέδων στρες στα ψάρια, μειώνοντας έτσι τα κρούσματα και τη θνησιμότητα των ασθενειών. Εν τω μεταξύ, η ανάλυση των συνθηκών φωτός μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο της ωριμότητας και στη βελτίωση της ποιότητας της συγκομιδής.

Επειδή το θαλάσσιο περιβάλλον δεν είναι δομημένο και είναι επικίνδυνο, η ανάπτυξη της τεχνολογίας των drone θα αντιμετωπίσει πολλά απαιτητικά επιστημονικά και μηχανικά προβλήματα και οι ερευνητές έχουν καταβάλει μεγάλες προσπάθειες για να ξεπεράσουν αυτά τα προβλήματα μέχρι τώρα (Reshma & Kumar, 2016). Η πρόοδος στα νέα υλικά, η τεχνολογία αισθητήρων, τεχνολογία υπολογιστών και προηγμένους αλγόριθμους έχει συμβάλει σημαντικά στην έρευνα και ανάπτυξη δραστηριοτήτων στην κοινότητα των drone. Η πλοήγηση είναι μια από τις βασικές τεχνολογίες drone επειδή ο εντοπισμός, η παρακολούθηση διαδρομής και ο έλεγχος του οχήματος βασίζονται σε ακριβείς παραμέτρους πλοήγησης. Ορισμένες μέθοδοι πλοήγησης που χρησιμοποιούνται συνήθως για την ξηρά και τον αέρα δεν είναι κατάλληλες για υποβρύχια λόγω της επίδρασης εξασθένησης του νερού στα ηλεκτρομαγνητικά σήματα και η υποβρύχια πλοήγηση έχει γίνει ένα προκλητικό ζήτημα στην έρευνα drone. Ανάμεσα στα πολλά διαθέσιμα υποβρύχια συστήματα πλοήγησης, το αδρανειακό σύστημα πλοήγησης που χρησιμοποιεί αδρανειακούς αισθητήρες συνήθως λειτουργεί ως το κεντρικό σύστημα πλοήγησης του drone λόγω της αυτονομίας του.

Γενικά, το εσωτερικό σύστημα πλοήγησης περιέχει μια αδρανειακή μονάδα μέτρησης, η οποία αποτελείται από επιταχυνσιόμετρα μέτρησης γραμμικής επιτάχυνσης και γυροσκόπια μέτρησης γωνιακής ταχύτητας, τα επιταχυνσιόμετρα και τα γυροσκόπια αποτελούνται συνήθως από τρία αμοιβαία κάθετα επιταχυνσιόμετρα και τρία αμοιβαία κάθετα γυροσκόπια, αντίστοιχα. Για αδρανειακή πλοήγηση, η στιγμιαία ταχύτητα και η θέση του οχήματος επιτυγχάνονται ενσωματώνοντας τις μετρούμενες τιμές των επιταχυνσιόμετρων και των γυροσκοπίων. Τα σφάλματα της αδρανούς μονάδας μέτρησης αυξάνονται με την αύξηση του χρόνου που έχει παρέλθει λόγω της μετατόπισης των επιταχυνσιόμετρων και των γυροσκοπίων. Θεωρητικά, τα σφάλματα ταχύτητας και κατεύθυνσης συσσωρεύονται γραμμικά με την πάροδο του χρόνου και το σφάλμα θέσης συσσωρεύεται εκθετικά με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, το εσωτερικό σύστημα πλοήγησης μπορεί να παρέχει σχετικά ακριβείς πληροφορίες πλοήγησης σε σύντομο χρονικό διάστημα, αλλά είναι φυσικά αδύνατο για ένα καθαρό αδρανειακό σύστημα πλοήγησης να διατηρήσει το επίπεδο υψηλής ακρίβειας καθ' όλη τη διάρκεια μιας αποστολής. Η βοήθεια του εσωτερικού συστήματος πλοήγησης με

εξωτερικές πληροφορίες ή μετρήσεις είναι ένα αποτελεσματικό μέσο βελτίωσης της ακρίβειας πλοήγησης και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως. Στην αυτόνομη πλοήγηση υποβρύχιου οχήματος, βοηθητικοί αισθητήρες ή άλλα συστήματα πλοήγησης, όπως ένα ημερολόγιο ταχύτητας Doppler, πυξίδα, αισθητήρας πίεσης, παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης, σύστημα ακουστικής τοποθέτησης ή σύστημα γεωφυσικής πλοήγησης, συνήθως συνδυάζονται με το εσωτερικό σύστημα πλοήγησης για να σχηματίσουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα πλοήγησης. Το αυτόνομο υποβρύχιο όχημα με αισθητήρες ποιότητας νερού πολλαπλών παραμέτρων επιτρέπει την παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας του νερού υδατοκαλλιέργειας σύμφωνα με τις προγραμματισμένες διαδρομές. Κατά την επιθεώρηση του κλωβού, είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί η θέση του αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος σε σχέση με το καθαρό στυλό. Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω λειτουργίες, το αυτόνομο υποβρύχιο όχημα πρέπει να έχει ακριβείς δυνατότητες πλοήγησης και τοποθέτησης και η ολοκληρωμένη πλοήγηση είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για την επίτευξη πλοήγησης υψηλής ακρίβειας του Αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος.

Οι Antonucci & Costa (2020) παρουσίασαν ένα σύστημα εσωτερικής πλοήγησης χαμηλού κόστους, υποβοηθούμενο από ένα αρχείο καταγραφής ταχύτητας Doppler και το σύστημα διαφορικής καθολικής τοποθέτησης για ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα με το όνομα Morpheus. Χρησιμοποιήθηκε ένα EKF και ένα συμπληρωματικό φίλτρο για την εκτίμηση θέσης και την εκτίμηση της στάσης του αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος, αντίστοιχα. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα της δοκιμής επιβεβαιώνουν ότι το σφάλμα θέσης είναι 0,1% της απόστασης που διανύθηκε σε μια ώρα. Οι O'Doncha & Grant (2019) εισήγαγε ένα αυτόνομο υποθαλάσσιο όχημα κατηγορίας ALTEX που λειτουργεί στην Αρκτική. Ο εξοπλισμός πλοήγησης του αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος αποτελείται κυρίως από ένα εσωτερικό σύστημα πλοήγησης με γυροσκόπια δακτυλίου-λείζερ, ένα ημερολόγιο ταχύτητας Doppler και ένα GPS. η συσκευή πλοήγησης δοκιμάστηκε σε κατάστρωμα, σε ανοιχτό νερό και κάτω από πάγο, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έχουν αποδείξει ότι το αρχείο καταγραφής ταχύτητας του εσωτερικού συστήματος πλοήγησης / Doppler ήταν ακριβές και αξιόπιστο. Το αυτόνομο υποβρύχιο όχημα χαρτογράφησης MBARI μπορεί να παρέχει εικόνες υψηλής ανάλυσης του πυθμένα και της ρηχής υπόγειας δομή με δεδομένα από ένα εσωτερικό σύστημα πλοήγησης βασισμένο σε RLG που συμπληρώνεται από ένα σόναρ καταγραφής ταχύτητας Doppler. Στην επιφάνεια, το εσωτερικό σύστημα πλοήγησης δέχεται τακτικά διορθώσεις GPS. Το σφάλμα εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο του συστήματος είναι 0,05% της απόστασης που διανύθηκε (66Mahajan & Raj, 2016 Ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα κατηγορίας Gavia για τις έρευνες κάτω από το καπάκι της Αρκτικής ήταν εξοπλισμένο με μια μονάδα καταγραφής ταχύτητας του

εσωτερικού συστήματος πλοήγησης / Doppler που μπορεί να παρέχει δεκάδες εκατοστά ακρίβειας θέσης και ρυθμό μετατόπισης περίπου 1 m ανά ώρα. Μόλις το αυτόνομο υποβρύχιο όχημα *Gavia* επιπλέει στην επιφάνεια, τα σήματα GPS αποστέλλονται στο εσωτερικό σύστημα πλοήγησης για την παροχή διόρθωσης θέσης (Buffi et al, 2017). Οι Bell et al. (2020) εκτιμήθηκαν οι παράμετροι του τρέχοντος μοντέλου του ωκεανού χρησιμοποιώντας ένα εσωτερικό σύστημα πλοήγησης / Doppler speed log / GPS ολοκληρωμένη μέθοδο πλοήγησης. Στη συνέχεια, ελήφθη η ταχύτητα του ρεύματος του ωκεανού σε σχέση με τον πυθμένα και το ημερολόγιο ταχύτητας Doppler πήρε μια πιο ακριβή ταχύτητα σε σχέση με τον πυθμένα της θάλασσας που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει το εσωτερικό σύστημα πλοήγησης λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα ταχύτητα του ωκεανού. Οι Chen & Juang (2020) πρότειναν ένα μοντέλο κινητικού οχήματος που παρέχει εξωτερική ταχύτητα για να βοηθά το εσωτερικό σύστημα πλοήγησης για αυτόνομο υποβρύχιο όχημα. Το EKF επιλέχθηκε για να συντήξει την έξοδο του μοντέλου και τις μετρήσεις του ημερολογίου ταχύτητας Doppler. Τα πειραματικά αποτελέσματα μέσω αρκετών σεναρίων επιβεβαιώνουν τη σκοπιμότητα του εσωτερικού συστήματος πλοήγησης με τη βοήθεια μοντέλου με μόνο μια προσθήκη λογισμικού.

Οι Porovic et al. (2017) πρότειναν ένα σύστημα εντοπισμού βάσει εδάφους για ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα που ονομάζεται TUNA-SAND με ένα προφίλ σόναρ. Τα αποτελέσματα εντοπισμού εδάφους συντήχθηκαν με τις εκτιμήσεις του εσωτερικού συστήματος πλοήγησης / καταγραφής ταχύτητας Doppler χρησιμοποιώντας το Particle Filter. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τη συλλογή δεδομένων δείχνουν τον πραγματικό χρόνο και την ευρωστία του σχήματος. Αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε μια μέθοδος πλοήγησης εδάφους με βάση φίλτρο σωματιδίων με στόχο τη διόρθωση σφαλμάτων μετατόπισης σε ένα εσωτερικό σύστημα πλοήγησης ενός αυτόνομου υποβρυχίου οχήματος και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το αυτόνομο υποβρύχιο όχημα MARV μπορεί να επιτύχει συνεχώς μια διόρθωση θέσης κατά τη διάρκεια μιας αποστολής μεγάλων αποστάσεων (Reshma et al, 2016). Περιγράφηκε ένας τύπος συστήματος πλοήγησης εδάφους που χρησιμοποιείται για την παροχή ενημερώσεων βυθισμένης θέσης για το εσωτερικό σύστημα πλοήγησης που είναι τοποθετημένο στο αυτόνομο υποβρύχιο όχημα HUGIN. Εφαρμόστηκε μια γεννήτρια χαρτών σε πραγματικό χρόνο για τη δημιουργία ενός τοπικού χάρτη. Ως εκ τούτου, το όχημα μπόρεσε να φτιάξει το δικό του χάρτη κατά τη διάρκεια της αποστολής και ο χάρτης χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη διορθώσεων θέσης κατά την επιστροφή στην χαρτογραφημένη περιοχή. Στη θαλάσσια δοκιμή, το πραγματικό σφάλμα πλοήγησης μειώθηκε από περισσότερα από 50 μέτρα σε περίπου 10 μέτρα όταν επανήλθε στην προηγούμενη χαρτογραφημένη περιοχή (Antonucci & Costa, 2020). Προτάθηκε ένα σύστημα πλοήγησης βάσει εδάφους με αισθητήρες πλοήγησης χαμηλού κόστους για

ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα. Ο αλγόριθμος πλοήγησης βασίστηκε σε φίλτρα σωματιδίων. Συζητήθηκαν επίσης οι επιρροές διαφορετικών παραμέτρων στο φίλτρο σωματιδίων στην απόδοση του αλγορίθμου πλοήγησης (O'Doncha & Grant, 2019).

Για να είναι βιομηχανικής αξίας, μια μέθοδος ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας πρέπει να επηρεάζει θετικά την καθημερινή κατάσταση εκτροφής. Οι μέθοδοι εκτροφής ψαριών ακριβείας πρέπει επομένως να αξιολογηθούν για να ελεγχθεί η συμβολή τους στη βελτίωση της καλής διαβίωσης και της υγείας των ψαριών, στη μείωση των απωλειών των ψαριών (π.χ. μέσω του χειρισμού, της διαφυγής και της ασθένειας), στη βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγής και της ποιότητας των προϊόντων ή / και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εκμετάλλευσης, πριν από την έναρξη καινοτόμων δράσεων με σκοπό την εμπορευματοποίηση. Αν και θα ήταν πιο πρακτικό να διεξαχθούν αποδείξεις εννοιολογικών μελετών για μεθόδους ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, η απόδειξη των επιδράσεών τους σε συνθήκες εκτροφής πλήρους κλίμακας είναι κρίσιμη, καθώς τα αποτελέσματα κλίμακας καλλιέργειας τροποποιούν την απόδοση των ψαριών. Οι ιδιότητες του πληθυσμού του κλουβιού, όπως η συνολική βιομάζα, ο αριθμός των ψαριών και η κατανομή του μεγέθους των ψαριών σε ένα κλουβί αποτελούν βασικές εισροές σε πολλές σημαντικές αποφάσεις στη διαδικασία παραγωγής σολομού, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού των φαρμακευτικών δοσολογιών, της εκχώρησης των κατάλληλων ποσοστών τροφής και της εκτίμησης της συνολικής απόδοσης παραγωγής όταν πώληση των ψαριών πριν από τη σφαγή. Αν και υπάρχουν συστήματα για την εκτίμηση μεμονωμένων μεγεθών ψαριών και κατανομής μεγέθους ψαριού (π.χ. πλαίσια βιομάζας, συστήματα στερεοσκοπικής όρασης), αυτά παρέχουν μόνο δεδομένα σχετικά με τη θέση τους στο κλουβί, και ως εκ τούτου δεν μπορούν να παραδώσουν αντιπροσωπευτικά δεδομένα για ολόκληρο τον πληθυσμό του κλουβιού. Αυτό σημαίνει ότι οι αποφάσεις στις οποίες η συνολική βιομάζα, η κατανομή βιομάζας ή ο αριθμός ψαριών σε ένα κλουβί χρησιμοποιούνται ως είσοδοι εν μέρει πρέπει να βασίζονται σε εκτιμήσεις βάσει εμπειρίας που παρέχονται από τους αγρότες και όχι σε μια αντικειμενική πηγή βασισμένη στη γνώση.

Λόγω της σημασίας τους στις αποφάσεις διαχείρισης κεντρικών εκμεταλλεύσεων, η ικανότητα πρόβλεψης και ποσοτικοποίησης τέτοιων ιδιοτήτων πληθυσμού σε θαλάσσια κλουβιά έχει γίνει «ιερό δισκοπότηρο» στη βιομηχανία σολομού. Ένας τρόπος εφαρμογής των αρχών της ιχθυοκαλλιέργειας ακριβείας σε αυτήν την πρόκληση είναι ο πρώτος προσδιορισμός των σχετικών μεταβλητών χαρακτηριστικών. Οι μεταβλητές χαρακτηριστικών σε αυτήν την περίπτωση θα μπορούσαν να είναι η συνολική βιομάζα στο κλουβί, ο συνολικός αριθμός ψαριών στον πληθυσμό και η μεμονωμένη κατανομή μεγέθους του πληθυσμού. Αν και πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει τη δυνατότητα χρήσης λύσεων με βάση το σόναρ για την παρακολούθηση της

μεμονωμένης μάζας ψαριών, καμία υπάρχουσα τεχνολογική λύση για την εκτροφή σολομού δεν είναι σε θέση να παρέχει δεδομένα για όλες αυτές τις μεταβλητές χαρακτηριστικών. Είναι επομένως απαραίτητο να αναπτυχθούν λύσεις που αντλούν τέτοια δεδομένα συνδυάζοντας δεδομένα για διαφορετικές μεταβλητές ζώων, πιθανώς λαμβανόμενες με πολλές διαφορετικές τεχνολογίες. Μία πιθανή επιλογή μεταβλητών ζώων για αυτό το σκοπό θα μπορούσε να είναι η κατακόρυφη κατανομή (σόναρ) και οι μετρήσεις σημείων της ατομικής κατανομής μεγέθους (πλαίσια βιομάζας και συστήματα στερεοφωνικής όρασης). Αυτές οι μεταβλητές θα μπορούσαν να συνδυαστούν σε μια μεταβλητή που υπολογίζει την κατανομή του μεγέθους του πληθυσμού, χρησιμοποιώντας ηχογράμματα από το σόναρ για τον προσδιορισμό της κατακόρυφης κατανομής της βιομάζας στο πλαίσιο του κλουβιού και της βιομάζας ή / και των συστημάτων στερεοσκοπικής όρασης που τοποθετούνται σε διαφορετικά βάρη για να παρατηρηθούν κάθετες παραλλαγές ατομικό μέγεθος ψαριού. Ωστόσο, αν και αυτό το σχήμα θα παρέχει νέες γνώσεις σχετικά με τις διακυμάνσεις σε μέγεθος πληθυσμού και κάθετες παραλλαγές στις ιδιότητες της βιομάζας που είναι χρήσιμες ιδιότητες από μόνα τους, κανένας συνδυασμός αυτών των δύο ζωικών μεταβλητών δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του συνολικού αριθμού ψαριών ή βιομάζας στο κλουβί άμεσα. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτή η γνώση θα μπορούσε να είναι ο συνδυασμός των εισερχόμενων ροών δεδομένων μεταβλητών ζώων με μαθηματικά μοντέλα της συμπεριφοράς και της δυναμικής ανάπτυξης του σολομού σε μια δομή εκτιμητή, όπως ένα φίλτρο Kalman. Εάν το μοντέλο τροφοδοτείται επαρκώς λεπτομερή δεδομένα σχετικά με τους εξωτερικούς παράγοντες που συνδέονται με το περιβάλλον (π.χ. επίπεδα θερμοκρασίας, καταστάσεις θάλασσας) και καταστάσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση (π.χ. ρυθμός παράδοσης ζωοτροφών) στο κλουβί που επηρεάζουν την ανάπτυξη των ψαριών, μπορεί να εκτιμήσει τη δυναμική ανάπτυξης στο κλουβί. Με την προσαρμογή της εκτιμώμενης κατανομής μεγέθους και των κατακόρυφων κατανομών βάσει των παρακολουθούμενων μεταβλητών των ζώων, η δομή του εκτιμητή θα διασφαλίσει ότι το μέγεθος του πληθυσμού και οι δυναμικές έξοδοι από τον εκτιμητή συμμορφώνονται τόσο με τις ιστορικές γνώσεις που περιλαμβάνονται στο μοντέλο όσο και σε δεδομένα πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται από Αισθητήρες. Παρόλο που αυτή η προσέγγιση είναι ευαίσθητη τόσο σε σφάλματα μέτρησης όσο και σε ανακρίβειες στις εξισώσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου, οι εκτιμήσεις πιθανότατα θα είναι πιο αξιόπιστες από αυτές που αποκτήθηκαν από αυτόνομες προσομοιώσεις μοντέλων.

Κεφάλαιο 5^ο - Συμπεράσματα

5 Συμπεράσματα

Η υιοθέτηση τεχνολογιών για συστήματα βιώσιμης γεωργίας είναι ένα προκλητικό και δυναμικό ζήτημα για τους αγρότες, τις υπηρεσίες επέκτασης, τους γεωργικούς τομείς και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Η ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας παρουσιάζει ορισμένες κρίσιμες προκλήσεις, οι οποίες απαιτούν μια σαφή στρατηγική για την υποστήριξη μιας ομαλής μετάβασης. Αν και η γεωργία ακριβείας δεν αποτελεί ξεχωριστό τεχνολογικό πεδίο καθαυτό, τίθεται το ερώτημα εάν πρέπει να εξεταστεί με ολιστικό τρόπο, δηλαδή ως εντελώς νέα νομική κατηγορία, ή αντ' αυτού πρέπει να αναλυθεί αποκλειστικά σε σχέση με τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούνται στο δομή. Στην πραγματικότητα, οι προκλήσεις που αφορούν τη γεωργία ακριβείας μπορούν να χωριστούν σε δύο ευρείες κατηγορίες: αυτές που είναι εγγενείς στα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας (drone, ρομπότ, GPS κ.λπ.), όπως θέματα τεχνολογικού ελέγχου, ανθρώπινη ασφάλεια, πολιτική ευθύνη και προστασία της ιδιωτικής ζωής και εκείνα που προκύπτουν παράλληλα με την ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας ως αυτόνομου τεχνολογικού πεδίου. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν το κόστος τεχνολογικού εξοπλισμού γεωργίας ακριβείας, τους οικονομικούς περιορισμούς των αγροτών και την πρόσβαση στην πίστωση, καθώς και την εξοικείωση των αγροτών με ορισμένα εργαλεία ψηφιοποίησης.

Η έλλειψη ευρυζωνικής υποδομής σε αγροτικές περιοχές, καθώς και η έλλειψη προτύπων και οι περιορισμοί στην ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων, αποτελούν περαιτέρω εμπόδια και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η γεωργία ακριβείας εγείρει επίσης ερωτήματα σε σχέση με τους όρους αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπων και μηχανών - ιδίως όσον αφορά την έλλειψη ανεξάρτητων συμβουλευτικών / συμβουλευτικών υπηρεσιών, ώθηση τεχνολογίας, επισιτιστική ασφάλεια και κατά πόσον η γεωργία ακριβείας θα επιδεινώσει περαιτέρω την κατάσταση της απασχόλησης στον τομέα της γεωργίας.

Η τεχνολογία γεωργίας ακριβείας, που κυριαρχείται από την ανταλλαγή δεδομένων, μπορεί να δημιουργήσει δεδομένα τεράστιου μεγέθους, τα οποία μπορούν να περιλαμβάνουν συγκεκριμένες πληροφορίες για το πεδίο σχετικά με τη φύτευση, τις επιλογές και τις επενδύσεις πριν από την σεζόν και την περίοδο της εποχής, τις στρατηγικές διαχείρισης και τις πρακτικές συγκομιδής. Μια σημαντική νομική πρόκληση που σχετίζεται με τη συστηματική εισαγωγή της γεωργίας ακριβείας στην Ευρώπη οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον τρόπο επεξεργασίας μεγάλου όγκου πληροφοριών (κυρίως αγρονομικών δεδομένων) που συσσωρεύονται μέσω ποικίλων τεχνικών μέσων που έχουν μεγάλη σημασία για τους αγρότες και τις αγροτικές οργανώσεις, και χρήση αλγορίθμων αποφάσεων.

Ενώ είναι σαφές ότι ο γεωργός κατέχει τα δεδομένα που παράγονται στα χωράφια του, με αυξανόμενες ποσότητες δεδομένων που δημιουργούνται για τη γεωργία και από τους αγρότες, ο προσδιορισμός των διαφορετικών μορφών δεδομένων επιπέδου πεδίου σχετικά με την απόδοση εισροών που παράγεται από την τεχνολογία έχει γίνει ένα σημαντικό ζήτημα που παραμένει σχετικά ανεξερεύνητο. Η ποιότητα των δεδομένων, η οποία ήταν πάντα βασικό ζήτημα στα συστήματα πληροφοριών διαχείρισης αγροκτημάτων, είναι πιο δύσκολη με μεγάλα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η έξυπνη επεξεργασία και ανάλυση για μεγάλα δεδομένα είναι επίσης πιο δύσκολη, λόγω του μεγάλου όγκου συχνά μη δομημένων, ετερογενών δεδομένων που απαιτεί έξυπνη αλληλεπίδραση μεταξύ ειδικευμένων επιστημόνων δεδομένων και ειδικών του κλάδου / παραγωγής.

Επιπλέον, η γεωργία είναι πολύ ετερογενής. Υπάρχει, σε γενικές γραμμές, μια μεγάλη διαφορά μεταξύ των προσεγγίσεων που εφαρμόζονται σε αγροκτήματα μεγάλου και μικρού μεγέθους. Υπάρχει επίσης έλλειψη ανεξάρτητων συμβούλων, ενώ η συντριπτική πλειονότητα των εκμεταλλεύσεων ανήκει σε μοναδικούς κατόχους, οι οποίοι είναι οικογενειακοί αγρότες και επίσης οι κύριοι εργοδότες γεωργικών προϊόντων (και εκατομμύρια κάτοικοι της υπαίθρου βασίζονται στην οικογενειακή γεωργία για τα προς το ζην). Το μέγεθος των εκμεταλλεύσεων και οι τεχνικές καλλιέργειας που χρησιμοποιούν συχνά σχετίζεται με περιβαλλοντικά θέματα, βιοποικιλότητα, υγεία και άλλα θέματα. Σε συνδυασμό με την υψηλή ποικιλομορφία των παραδοσιακών γεωργικών τοπίων που αποτελούν μέρος της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς, αυτό από μόνο του αποτελεί πηγή πολλών πολιτικών προκλήσεων. Μεταξύ των κύριων προκλήσεων που σχετίζονται με τη γεωργία ακριβείας, μπορεί κανείς να αναφερθεί στην τεχνική προσβασιμότητα και προσιτή τιμή της. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένης της έλλειψης προτύπων διαλειτουργικότητας και τεχνικών πρωτοκόλλων που θα επέτρεπαν την επικοινωνία μεταξύ μηχανημάτων και εργαλείων / οργάνων, τους σοβαρούς περιορισμούς στην ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της επικοινωνίας μεταξύ εξοπλισμού με άλλα στοιχεία του υλικού γεωργίας ακριβείας, και τις ειδικές απαιτήσεις υποδομής, συνδεσιμότητας και συμβατότητας.

Η γεωργία ακριβείας συνδέεται επίσης με τη χρήση ακριβών βαρέων μηχανημάτων που αντιπροσωπεύουν σημαντικό αρχικό επενδυτικό κόστος για τους αγρότες. Το υψηλό κόστος εκκίνησης που συνδέεται, σε ορισμένες περιπτώσεις, με κίνδυνο ανεπαρκούς απόδοσης της επένδυσης, μπορεί να αποτελέσει σοβαρή πρόκληση όσον αφορά την οικονομική προσιτότητα του τεχνολογικού στοιχείου της γεωργίας ακριβείας. Η υπόθεση θα αμφισβητηθεί περαιτέρω εάν το εξωτερικό κόστος της γεωργίας ακριβείας, έστω και δυνητικά μειωμένο, θα ενσωματωθεί μέσω αυτής της μορφής γεωργίας (π.χ. ρύπανση, υπερβολική άντληση υδάτων). Μια άλλη κοινωνική

πρόκληση είναι ότι, ενώ οι εταιρείες που παρέχουν τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας γίνονται «μεγαλύτερες», μειώνονται σε αριθμό. Βραχυπρόθεσμα, ενδέχεται να προκύψουν μονοπώλια ως αποτέλεσμα της συγκέντρωσης των δεδομένων στα χέρια ενός μεγάλου «παίκτη». Αυτό θα άφηνε τους αγρότες και τις αρχές ελάχιστα περιθώρια για διαπραγμάτευση τιμών για την απόκτηση τεχνολογιών και συναφών υπηρεσιών, ενώ η εξάρτηση, ο έλεγχος και οι αθέμιτες πρακτικές θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντική απειλή για τη βιωσιμότητα των αγροτών.

Επιπλέον, δεδομένης της τεχνικής πολυπλοκότητας της γεωργίας ακριβείας, η χρήση και η λειτουργία της απαιτούν την παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών εξειδικευμένων στη διαχείριση δεδομένων. Τέτοιες συγκεκριμένες υπηρεσίες πιθανότατα δεν θα είναι ανεξάρτητες και ενδέχεται να δημιουργήσουν ανταγωνισμό και κατακερματισμό όσον αφορά τις τρέχουσες συμβουλευτικές υπηρεσίες αγροκτημάτων που παρέχουν ολοκληρωμένες και αμερόληπτες συμβουλές στους αγρότες. Επιπλέον, οι πολύ διαφορετικοί τύποι γεωργικών ενδιαφερομένων, που κυμαίνονται από μεγάλες επιχειρήσεις, χρηματοοικονομικές, μηχανολογικές και χημικές εταιρείες και λιανοπωλητές τροφίμων έως βιομηχανικές ενώσεις και ομάδες μικρών προμηθευτών εμπειρογνωμοσύνης σε ειδικούς τομείς, μπορεί να αποτελέσει από μόνη της μια πρόκληση, δεδομένης της τρέχουσας έλλειψης κοινά πρότυπα που επιτρέπουν πραγματική διαλειτουργικότητα και σαφή και διαφανή επικοινωνία. Μακροπρόθεσμα, αυτό μπορεί να επηρεάσει ακόμη και την επισιτιστική ασφάλεια στην Ευρώπη. Οι εταιρείες που παρέχουν τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας ενδέχεται τελικά να συγχωνευθούν με μεγάλες εταιρείες που ήδη ενσωματώνουν την αλυσίδα των ζώων ή συνδυάζουν την προσφορά σπόρων με την παραγωγή φυτοπροστατευτικών προϊόντων κ.λπ., επηρεάζοντας άμεσα την πρωτογενή παραγωγή και τις τιμές των τροφίμων.

Στη παρούσα μελέτη, παρουσιάστηκε μια ανασκόπηση σχετικά με τη χρήση των drones για τη γεωργία ακριβείας και την υδατοκαλλιέργεια. Συγκεκριμένα, έχει συζητηθεί η γενική αρχιτεκτονική ενός drone για πολυφασματική / θερμική ανίχνευση. Παρέχονται επίσης ορισμένες τεχνικές λεπτομέρειες σχετικά με την αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου. Επιπλέον, και για τις δύο εφαρμογές, περιγράφονται οι κύριοι περιορισμοί και οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν από την εκτέλεση μιας πτήσης. Οι μελλοντικές τάσεις σε αυτόν τον τομέα έρευνας προορίζονται για τη χρήση φθηνών εμπορικών μίνι- ή μικρο-drone. Ωστόσο, με αυτόν τον τρόπο, οι προδιαγραφές ακρίβειας μέτρησης είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν και προκύπτουν πολλά προβλήματα. Για παράδειγμα, για το drone, η επίδραση του ανέμου, η χαμηλή ακρίβεια GPS και η έντονη μετατόπιση του εσωτερικού συστήματος πλοήγησης παίζουν ριζικά αποτελέσματα στη σταθερότητα της πτήσης και στην απόκτηση εικόνας.

Η χρήση drones στη λήψη δεδομένων είναι μια προφανής εφαρμογή της αερομεταφερόμενης τεχνολογίας η οποία προσαρμόζεται και στις ανάγκες της

γεωργίας ακριβείας. Η συνοδευτική ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης για την ανάλυση εικόνων και την ερμηνεία βασικών πληροφοριών που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των ψαριών και την υγεία είναι άλλος ένας ενεργός τομέας έρευνας. Ενώ τα οφέλη από αυτές τις εξελίξεις στην κτηνοτροφία είναι εμφανή, η εφαρμογή τους σε δείκτες βιωσιμότητας είναι κρίσιμη. Η επέκταση των μεγάλων δεδομένων στην ιχθυοκαλλιέργεια θα πρέπει να έχει αποτελέσματα για μια μεγαλύτερη συζήτηση σχετικά με τους δείκτες αειφορίας στην υδατοκαλλιέργεια.

Λόγω του σκληρού και μη δομημένου υποβρύχιου περιβάλλοντος, η αυτόνομη πλοήγηση του αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος είναι ένα δύσκολο ζήτημα. Οπτική ταυτόχρονη τοπική προσαρμογή και χαρτογράφηση μιας νέας τεχνολογίας πλοήγησης και εντοπισμού θέσης τα τελευταία χρόνια και έχει γίνει σημείο πρόσβασης στην έρευνα της αυτόνομης πλοήγησης των χερσαίων ρομπότ. Λόγω της πολυπλοκότητας του υποβρύχιου περιβάλλοντος, ο συνδυασμός οπτικής ταυτόχρονης τεχνολογίας εντοπισμού και χαρτογράφησης με αδρανειακούς αισθητήρες για την επίτευξη αυτόνομης πλοήγησης υψηλής ακρίβειας του αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος είναι ένα προκλητικό ερευνητικό θέμα. Με τις εξελίξεις τόσο στις τεχνολογίες όσο και στους αλγόριθμους της ολοκληρωμένης πλοήγησης, η βελτιωμένη αυτόνομη πλοήγηση υποβρύχιου οχήματος θα συνεχίσει να καθιστά διαθέσιμες νέες αποστολές που προηγουμένως θεωρήθηκαν ανέφικτες ή ανέφικτες.

Τα drone έχουν φέρει επανάσταση στη γεωργία προσφέροντας στους αγρότες σημαντική εξοικονόμηση κόστους, βελτιωμένη απόδοση και περισσότερη κερδοφορία. Με γρήγορη επιθεώρηση τεράστιων εκτάσεων καλλιεργήσιμων εκτάσεων, τα drones μπορούν να χαρτογραφήσουν την ιδιοκτησία, να αναφέρουν την υγεία των καλλιεργειών, να βελτιώσουν την ακρίβεια του ψεκασμού, να παρακολουθούν τα ζώα και τα συστήματα άρδευσης και πολλά άλλα.

Η ικανότητα συλλογής και ανάλυσης αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχει απτά αποτελέσματα για τους αγρότες, όπως καλύτερη απόδοση των καλλιεργειών, λιγότεροι πόροι που δαπανώνται για ζιζάνια και ζιζανιοκτόνα και γενικά βελτιωμένες αποφάσεις διαχείρισης.

Η ψηφιακή γεωργία μπορεί να γίνει κατανοητή ως ένα σύνολο τεχνολογιών για την επικοινωνία, την ενημέρωση και την ανάλυση που επιτρέπει στους αγρότες να σχεδιάζουν, να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται τις επιχειρησιακές και στρατηγικές δραστηριότητες των συστημάτων γεωργικής παραγωγής, από την παραγωγή, την παραγωγή και μετά παραγωγή. Η συνδεσιμότητα, οι εφαρμογές για κινητά, οι ψηφιακές πλατφόρμες, το λογισμικό, τα παγκόσμια συστήματα τοποθέτησης δορυφόρων, η τηλεπισκόπηση και οι αισθητήρες πεδίου είναι οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας και στην υδατοκαλλιέργεια ακριβείας.

Τα οφέλη συνδέονται με την αυξημένη παραγωγικότητα, το υψηλότερο δυναμικό πώλησης προϊόντων, τον καλύτερο σχεδιασμό και τη διαχείριση των συστημάτων παραγωγής. Η χρήση τέτοιων ψηφιακών τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων (έδαφος και νερό) και να μειώσει τη χρήση των γεωργικών εισροών, καθιστώντας τις γεωργικές περιοχές πιο παραγωγικές και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθούν σημαντικές δυσκολίες για την ενίσχυση της χρήσης του. Το κόστος αγοράς μηχανημάτων, εξοπλισμού και εφαρμογών, προβλήματα με / ή έλλειψη συνδεσιμότητας σε αγροτικές περιοχές είναι τα κύρια θέματα που παρουσιάζονται.

Τα κύρια θέματα της υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας περιλαμβάνουν:

Ταχεία υιοθέτηση ορισμένων τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας παγκοσμίως: Η καθοδήγηση του GNSS και οι συναφείς τεχνολογίες, όπως ο έλεγχος της έκρηξης του ψεκαστήρα και η διακοπή της σειράς ή του τμήματος καλλιεργητών γίνονται τυπική πρακτική για τη μηχανοποιημένη γεωργία. Υιοθετούνται τόσο γρήγορα όσο οποιαδήποτε γεωργική τεχνολογία στην πρόσφατη μνήμη, εξίσου γρήγορα με τους ΓΤ σπόρους και σε μια ευρύτερη περιοχή, επειδή η καθοδήγηση του GNSS δεν αντιμετώπισε τα ρυθμιστικά εμπόδια και την πολιτική / κοινωνική ανησυχία που έχει περιορίσει τη χρήση ΓΤ σε ορισμένα μέρη του κόσμου.

Αργή υιοθέτηση τεχνολογίας μεταβλητού ρυθμού: Ο κύριος λόγος για την αντίληψη ότι η υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας είναι αργή είναι ότι η γεωργία ακριβείας μερικές φορές θεωρείται ως αυστηρά τεχνολογία μεταβλητού ρυθμού. Παρά το γεγονός ότι το λίπασμα τεχνολογίας μεταβλητού ρυθμού ήταν μέρος της κλασικής γεωργίας ακριβείας που εισήχθη στο εμπόριο στη Βόρεια Αμερική στις αρχές της δεκαετίας του 1990, η υιοθέτηση σε περιφερειακό επίπεδο σπάνια υπερβαίνει το 20% των εκμεταλλεύσεων. Αυτό το επίπεδο υιοθέτησης υποδηλώνει ότι οι αγρότες αρέσουν στην ιδέα της τεχνολογίας μεταβλητού ποσοστού και την δοκιμάζουν, αλλά δεν έχουν πειστεί για την αξία της. Οι εκτιμήσεις υιοθέτησης της τεχνολογίας μεταβλητού ποσοστού για συγκεκριμένες ομάδες αγροτών ενδέχεται να υπερβαίνουν το 50% και να πλησιάζουν το τυπικό επίπεδο πρακτικής. Οι εκτιμήσεις υιοθέτησης υψηλής τεχνολογίας μεταβλητού ποσοστού συμβαίνουν επίσης επειδή η δειγματοληψία της έρευνας δεν είναι αντιπροσωπευτική. Για παράδειγμα, οι αγρότες που παρακολουθούν εργαστήριο ακριβείας στη γεωργία ή σε μια έκθεση τεχνολογίας γεωργικών εκμεταλλεύσεων μπορεί να επιλέγουν μόνο τους για το ενδιαφέρον της γεωργίας ακριβείας και κατά συνέπεια ένα υψηλό ποσοστό από αυτούς μπορεί να έχουν δοκιμάσει τεχνολογία μεταβλητού ποσοστού.

Και τέλος, πολύ λίγη χρήση της γεωργίας ακριβείας σε μη μηχανοκίνητα αγροκτήματα στον αναπτυσσόμενο κόσμο: Το μεγαλύτερο χάσμα στην υιοθέτηση γεωργίας

ακριβείας είναι για μεσαίες και μικρές εκμεταλλεύσεις στον αναπτυσσόμενο κόσμο που δεν χρησιμοποιούν μηχανοκίνητη μηχανοποίηση. Δεν χρησιμοποιούν τεχνολογία γεωργίας ακριβείας για τη βελτίωση της χωρικής και χρονικής διαχείρισης, επειδή η έρευνα έχει αναπτύξει πολύ λίγες τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας που μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικές σε μη μηχανοκίνητα μεσαία και μικρά αγροκτήματα και επειδή οι επιχειρηματίες δεν έχουν εμπορευματοποιήσει αυτές τις λίγες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για αυτές τις χρήσεις. Η τυπική εμπορική στρατηγική των πολυεθνικών επιχειρήσεων είναι να προσπαθήσουμε να πουλήσουμε απλουστευμένες, φθηνότερες εκδόσεις τεχνολογίας βιομηχανικών χωρών στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η τεχνολογική ιστορία δείχνει ότι σπάνια είναι επιτυχής. Τις περισσότερες φορές οι επιχειρηματίες πρέπει να επιστρέψουν στην επιστήμη και να επανασχεδιάσουν τεχνολογίες που επιλύουν τα προβλήματα των αναπτυσσόμενων χωρών.

Η ιχθυοκαλλιέργεια είναι μια σχετικά νέα βιομηχανία, αλλά, από κάποιους τρόπους, ήταν πιο γρήγορη για να προσαρμοστεί σε δύσκολες συνθήκες από την κτηνοτροφία λόγω της σύγχρονης τεχνολογίας. Η επόμενη φάση της εκβιομηχάνισης εξαρτάται από τη χρήση δεδομένων για την ενημέρωση των αποφάσεων. Υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που σχετίζονται με τη θέση του στον ωκεανό - απαιτούν ισχυρούς, χαμηλού κόστους αισθητήρες ικανούς για υποβρύχια και ασύρματη συνδεσιμότητα. Ωστόσο, η βιομηχανία έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο σε αυτό το θέμα, με πολλές εκμεταλλεύσεις να είναι εξοπλισμένες με ένα πυκνό δίκτυο αισθητήρων που μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Παρόμοια με άλλες βιομηχανίες, η τρέχουσα εστίαση είναι η εξαγωγή ενεργών πληροφοριών από τα δεδομένα IoT.

Προτείνεται ότι οι μελλοντικές μελέτες επικεντρώνονται στα νέα ερευνητικά ερωτήματα αυτού του έργου, πιο συγκεκριμένα στην κοινωνική και οικονομική συμπεριφορά των αγροτών απέναντι στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και εάν αυτές που υιοθετούν τις τεχνολογίες έχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με αυτές που δεν το κάνουν.

Περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε επίσης να εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η υιοθέτηση της τεχνολογίας από τη νέα γενιά, ανάλογα με το επίπεδο πρόσβασης στο Διαδίκτυο στις αγροτικές περιοχές.

Βιβλιογραφία

- Abobatta, W.F., 2020. Precision Agriculture Age. *Open Acc J Agri Res*.
- Ahmadzai, S. (2017). AFG: Energy Supply Improvement Investment Program (Tranche 4).
- Ahmed, I., Reshi, Q. M., & Fazio, F. (2020). The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review. *Aquaculture International*, 1-31.
- Andonovic, I., Michie, C., Cousin, P., Janati, A., Pham, C. and Diop, M., 2018, June. Precision livestock farming technologies. In *2018 Global Internet of Things Summit (GloTS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Antonucci, F. and Costa, C., 2020. Precision aquaculture: a short review on engineering innovations. *Aquaculture International*, 28(1), pp.41-57.
- Aune, J.B., Coulibaly, A. and Giller, K.E., 2017. Precision farming for increased land and labour productivity in semi-arid West Africa. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37(3), p.16.
- Awofolaju, T.T., Ogbeide, K. and Adebayo, S., 2019. Smart Automation of Precision Fish Farming Using Internet Of Things (IoT). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27(2), pp.499-507.
- Bacenetti, J., Paleari, L., Tartarini, S., Vesely, F.M., Foi, M., Movedi, E., Ravasi, R.A., Bellopede, V., Durello, S., Ceravolo, C. and Amicizia, F., 2020. May smart technologies reduce the environmental impact of nitrogen fertilization? A case study for paddy rice. *Science of The Total Environment*, 715, p.136956.
- Bag, H. and Chaurasiya, D.K., 2020. Precision Farming: The Bright Future for Indian Agriculture. *Biotica Research Today*, 2(5 Spl.), pp.362-364.
- Banu, S., 2015. Precision agriculture: tomorrow's technology for today's farmer. *Journal of Food Processing & Technology*, 6(8), p.1.
- Baylis, A., 2017. Advances in precision farming technologies for crop protection. *Outlooks on Pest Management*, 28(4), pp.158-161.
- Bell, T.W., Nidzieko, N.J., Siegel, D.A., Miller, R.J., Cavanaugh, K.C., Nelson, N.B., Reed, D.C., Fedorov, D., Moran, C., Snyder, J.N. and Cavanaugh, K.C., 2020. The utility of satellites and autonomous remote sensing platforms for monitoring offshore aquaculture farms: A case study for canopy forming kelps. *Frontiers in Marine Science*.
- Bendre, M.R., Thool, R.C. and Thool, V.R., 2015, September. Big data in precision agriculture: Weather forecasting for future farming. In *2015 1st International*

Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT) (pp. 744-750). IEEE.

Blasch, J., van der Kroon, B., van Beukering, P., Munster, R., Fabiani, S., Nino, P. and Vanino, S., 2020. Farmer preferences for adopting precision farming technologies: a case study from Italy. *European Review of Agricultural Economics*.

Bolaji, A. B., Olalekan, A. W., & Olanrewaju, O. E. (2020). Precision Farming Model for Optimum Catfish Production. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 8(2), 51-59.

Buffi, A., Nepa, P. and Cioni, R., 2017, September. SARFID on drone: Drone-based UHF-RFID tag localization. In *2017 IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA)* (pp. 40-44). IEEE.

Calleja-Cabrera, J., Boter, M., Oñate-Sánchez, L., & Pernas, M. (2020). Root growth adaptation to climate change in crops. *Frontiers in Plant Science*, 11, 544.

Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J. and Lacuesta, R., 2018. Smart system for bicarbonate control in irrigation for hydroponic precision farming. *Sensors*, 18(5), p.1333.

Chang, C. L., Chang, K. P., & Fu, W. L. (2019). Testing of Various Monochromatic LED Lights Used in Supplemental Irradiation of Lettuce in Modern Urban Rooftop Polytunnels. *Applied Engineering in Agriculture*, 35(3), 439-452.

Chawade, A., van Ham, J., Blomquist, H., Bagge, O., Alexandersson, E. and Ortiz, R., 2019. High-throughput field-phenotyping tools for plant breeding and precision agriculture. *Agronomy*, 9(5), p.258.

Chen, C.X. and Juang, J.G., 2020. VISION BASED TARGET RECOGNITION FOR CAGE AQUACULTURE DETECTION. *Journal of Marine Science and Technology*, 28(6), pp.480-490.

Couvreur, V., Rothfuss, Y., Meunier, F., Bariac, T., Biron, P., Durand, J. L., ... & Javaux, M. (2020). Disentangling temporal and population variability in plant root water uptake from stable isotopic analysis: when rooting depth matters in labeling studies. *Hydrology and earth system sciences*, 24(6), 3057-3075.

Cruz, F.C., Mahmudov, K., Marouchos, A. and Bilton, A., 2019, August. A Feasibility Study on the Benefits of Feedback Aerator Control in Precision Aquaculture Applications for the Developing World. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 59193, p. V02BT03A004). American Society of Mechanical Engineers.

Csorbai, B. and Urbányi, B., 2019. Investigations on the wastewater of a flow-through fish farming system. *COLUMELLA: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES*, 6(2), pp.11-16.

Darshna, S., Sangavi, T., Mohan, S., Soundharya, A. and Desikan, S., 2015. Smart irrigation system. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 10(3), pp.32-36.

De la Cruz Jiménez, J., Cardoso, J. A., Kotula, L., Veneklaas, E. J., Pedersen, O., & Colmer, T. D. (2020). Root length is proxy for high-throughput screening of waterlogging tolerance in *Urochloa* spp. grasses. *Functional Plant Biology*.

Delaide, B., Delhaye, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. H. (2017). Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, 78, 130-139.

Ding, G. C., Bai, M., Han, H., Li, H., Ding, X., Yang, H., ... & Li, J. (2019). Microbial taxonomic, nitrogen cycling and phosphorus recycling community composition during long-term organic greenhouse farming. *FEMS microbiology ecology*, 95(5), fiz042

Dolci, R., 2017, July. IoT solutions for precision farming and food manufacturing: Artificial intelligence applications in digital food. In *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)* (Vol. 2, pp. 384-385). IEEE.

Duhan, J.S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K. and Duhan, S., 2017. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, pp.11-23.

Eastwood, C., Klerkx, L. and Nettle, R., 2017. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. *Journal of Rural Studies*, 49, pp.1-12.

El Bilali, H. and Khairullina, O.I., CONTRIBUTION OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES TO AGRICULTURAL SUSTAINABILITY: CASE OF PRECISION FARMING.

El-Gayar, S., Negm, A., & Abdrabbo, M. (2018). Greenhouse Operation and Management in Egypt. In *Conventional Water Resources and Agriculture in Egypt* (pp. 489-560). Springer, Cham.

Embug, A.J., Ibrahim, A.A.A., Hamzah, M. and Asli, M.F., 2019. A Review on Visual Water Quality Monitoring System in Precision Aquaculture. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 892, pp. 23-30). Trans Tech Publications Ltd.

Finger, R., Swinton, S.M., El Benni, N. and Walter, A., 2019. Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment.

Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J.A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M. and Schellewald, C., 2018. Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. *biosystems engineering*, 173, pp.176-193.

Fulton, J.P. and Port, K., 2018. Precision agriculture data management. *Precision agriculture basics*, pp.169-187.

Griffin, T.W., Shockley, J.M. and Mark, T.B., 2018. Economics of precision farming. *Precision agriculture basics*, pp.221-230.

Gu, F., Zhang, W., Guo, J., & Hall, P. (2019). Exploring “Internet+ Recycling”: Mass balance and life cycle assessment of a waste management system associated with a mobile application. *Science of the Total Environment*, 649, 172-185.

Guimarães, G.G., Klaic, R., Giroto, A.S., Majaron, V.F., Avansi Jr, W., Farinas, C.S. and Ribeiro, C., 2018. Smart fertilization based on sulfur–phosphate composites: synergy among materials in a structure with multiple fertilization roles. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(9), pp.12187-12196.

Gusev, A.S., Beznosov, G.A., Ziablitckaia, N.V., Kholmanskikh, M.V., Novopashin, L.A., Denyozhko, L.V. and Sadov, A.A., 2019. An analysis of research areas in precision agriculture. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 10(10).

Gusev, A.S., Skvortsov, E.A. and Vashukevich, N.V., 2020. Identification of the features of the regions that are most preferable for the use of precision farming technologies in agricultural production. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 222, p. 05023). EDP Sciences.

Hakkim, V.A., Joseph, E.A., Gokul, A.A. and Mufeedha, K., 2016. Precision farming: the future of Indian agriculture. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. [Online] (November), pp.068-072.

Harishankar, S., Kumar, R.S., Sudharsan, K.P., Vignesh, U. and Viveknath, T., 2014. Solar powered smart irrigation system. *Advance in electronic and electric engineering*, 4(4), pp.341-346.

Hernandez, E. R. (2019). Horticultural Applications of LEDS with Lettuce and Tomato and Training the Next Generation of Scientists.

Hilarydoss, S. (2021). Suitability, sizing, economics, environmental impacts and limitations of solar photovoltaic water pumping system for groundwater irrigation—a brief review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.

Izmaylov, A.Y., Smirnov, I.G., Kolesnikova, V.A. and Marchenko, L.A., 2017. SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR PESTICIDES AND FERTILIZERS APPLICATION IN PRECISION FARMING SYSTEM. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, 63(5), pp.168-170.

Jawad, H.M., Nordin, R., Gharghan, S.K., Jawad, A.M. and Ismail, M., 2017. Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*, 17(8), p.1781.

Kaushal, M. and Wani, S.P., 2017. Nanosensors: frontiers in precision agriculture. In *Nanotechnology* (pp. 279-291). Springer, Singapore.

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

Kounalakis, T., Triantafyllidis, G.A. and Nalpantidis, L., 2019. Deep learning-based visual recognition of rumex for robotic precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, p.104973.

Kristiansen, T.S., Madaro, A., Stien, L.H., Bracke, M.B. and Noble, C., 2020. Theoretical basis and principles for welfare assessment of farmed fish. In *Fish Physiology* (pp. 193-236). Elsevier Inc..

Kumar, S., Karaliya, S.K. and Chaudhary, S., 2017. Precision farming technologies towards enhancing productivity and sustainability of rice-wheat cropping system. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(3), pp.142-151.

Lakshmisudha, K., Hegde, S., Kale, N. and Iyer, S., 2016. Smart precision based agriculture using sensors. *International Journal of Computer Applications*, 146(11), pp.36-38.

Li, D., Hao, Y. and Duan, Y., 2020. Nonintrusive methods for biomass estimation in aquaculture with emphasis on fish: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), pp.1390-1411.

Li, G., Tao, L., Li, X. L., Peng, L., Song, C. F., Dai, L. L., ... & Xie, L. (2018). Design and performance of a novel rice hydroponic biofilter in a pond-scale aquaponic recirculating system. *Ecological Engineering*, 125, 1-10.

Lottes, P. and Stachniss, C., 2017, September. Semi-supervised online visual crop and weed classification in precision farming exploiting plant arrangement. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 5155-5161). IEEE.

Lottes, P., Behley, J., Chebrolu, N., Milioto, A. and Stachniss, C., 2020. Robust joint stem detection and crop-weed classification using image sequences for plant-specific treatment in precision farming. *Journal of Field Robotics*, 37(1), pp.20-34.

Lottes, P., Behley, J., Milioto, A. and Stachniss, C., 2018. Fully convolutional networks with sequential information for robust crop and weed detection in precision farming. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4), pp.2870-2877.

Lottes, P., Hoferlin, M., Sander, S., Müter, M., Schulze, P. and Stachniss, L.C., 2016, May. An effective classification system for separating sugar beets and weeds for precision farming applications. In *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 5157-5163). IEEE.

Lottes, P., Hörferlin, M., Sander, S. and Stachniss, C., 2017. Effective vision-based classification for separating sugar beets and weeds for precision farming. *Journal of Field Robotics*, 34(6), pp.1160-1178.

Mahajan, U. and Raj, B., 2016, October. Drones for normalized difference vegetation index (NDVI), to estimate crop health for precision agriculture: A cheaper alternative for spatial satellite sensors. In *Proceedings of the International Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Ecological Sciences and Climate Change (AFHABEC-2016), Delhi, India (Vol. 22)*.

Maldonado, A. I. L., Reyes, J. M. M., Breceda, H. F., Fuentes, H. R., Contreras, J. A. V., & Maldonado, U. L. (2019). Automation and robotics used in hydroponic system. In *Urban Horticulture-Necessity of the Future*. IntechOpen.

Maloku, D., 2020. Adoption Of Precision Farming Technologies: Usa And Eu Situation. *SEA-Practical Application of Science*, (22), pp.7-14.

Maloku, D., Balogh, P., Bai, A., Gabnai, Z. and Lengyel, P., 2020. Trends in scientific research on precision farming in agriculture using science mapping method. *International Review of Applied Sciences and Engineering*.

Manda, R. R., Addanki, V. A., & Srivastava, S. (2021). ROLE OF DRIP IRRIGATION IN PLANT HEALTH MANAGEMENT, ITS IMPORTANCE AND MAINTENANCE. *Plant Archives*, 21(1), 1294-1302.

- Martinez, S., Alvarez, S., Capuano, A., & del Mar Delgado, M. (2020). Environmental performance of animal feed production from *Camelina sativa* (L.) Crantz: Influence of crop management practices under Mediterranean conditions. *Agricultural Systems*, 177, 102717.
- Martínez-Blanco, J., Muñoz, P., Antón, A., & Rieradevall, J. (2011). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of cleaner production*, 19(9-10), 985-997.
- Martinez-Mate, M. A., Martin-Gorriz, B., Martínez-Alvarez, V., Soto-García, M., & Maestre-Valero, J. F. (2018). Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1298-1310.
- Marx, K. K., Sundaray, J. K., Rathipriya, A., & Abishag, M. M. (2020). *Broodstock Management and Fish Seed Production*. CRC Press.
- McConnell, M.D., 2019. Bridging the gap between conservation delivery and economics with precision agriculture. *Wildlife Society Bulletin*, 43(3), pp.391-397.
- Mishra, V., Kumar, T., Bhalla, K., & Patil, M. M. (2018, October). SuJAL: Design and Development of IoT-Based Real-Time Lake Monitoring System. In *2018 3rd International Conference on Circuits, Control, Communication and Computing (I4C)* (pp. 1-4). IEEE.
- Mogili, U.R. and Deepak, B.B.V.L., 2018. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia computer science*, 133, pp.502-509.
- Mouzakitis, S., Tzapelas, G., Pelekis, S., Ntanopoulos, S., Askounis, D., Osinga, S. and Athanasiadis, I.N., 2020, February. Investigation of Common Big Data Analytics and Decision-Making Requirements Across Diverse Precision Agriculture and Livestock Farming Use Cases. In *International Symposium on Environmental Software Systems* (pp. 139-150). Springer, Cham.
- Murugan, D., Garg, A. and Singh, D., 2017. Development of an adaptive approach for precision agriculture monitoring with drone and satellite data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(12), pp.5322-5328.
- Murugan, D., Garg, A., Ahmed, T. and Singh, D., 2016, December. Fusion of drone and satellite data for precision agriculture monitoring. In *2016 11th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)* (pp. 910-914). IEEE.

- Namala, K.K., AV, K.K.P., Math, A., Kumari, A. and Kulkarni, S., 2016, December. Smart irrigation with embedded system. In *2016 IEEE Bombay Section Symposium (IBSS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Norton, T., Chen, C., Larsen, M.L.V. and Berckmans, D., 2019. Precision livestock farming: building ‘digital representations’ to bring the animals closer to the farmer. *animal*, *13*(12), pp.3009-3017.
- O'Donncha, F. and Grant, J., 2019. Precision Aquaculture. *IEEE Internet of Things Magazine*, *2*(4), pp.26-30.
- Palazzi, V., Gelati, F., Vaglioni, U., Alimenti, F., Mezzanotte, P. and Roselli, L., 2019, January. Leaf-compatible autonomous RFID-based wireless temperature sensors for precision agriculture. In *2019 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet)* (pp. 1-4). IEEE.
- Parra, L., Lloret, G., Lloret, J. and Rodilla, M., 2018. Physical sensors for precision aquaculture: A Review. *IEEE Sensors Journal*, *18*(10), pp.3915-3923.
- Patrício, D.I. and Rieder, R., 2018. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and electronics in agriculture*, *153*, pp.69-81.
- Paustian, M. and Theuvsen, L., 2017. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision agriculture*, *18*(5), pp.701-716.
- Pickthall, T. and Trivett, E., 2017. An investigation into the barriers that prevent the adoption of precision farming technologies in combinable cropping in the UK. *Aspects of applied biology*, (135), pp.29-37.
- Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Finocchio, C.P.S., Dalla Corte, V.F. and de Vargas Mores, G., 2018. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information processing in agriculture*, *5*(1), pp.21-32.
- Pooja, S., Uday, D.V., Nagesh, U.B. and Talekar, S.G., 2017, December. Application of MQTT protocol for real time weather monitoring and precision farming. In *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICECCOT)* (pp. 1-6). IEEE.
- Popović, T., Latinović, N., Pešić, A., Zečević, Ž., Krstajić, B. and Djukanović, S., 2017. Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and electronics in agriculture*, *140*, pp.255-265.
- Potena, C., Khanna, R., Nieto, J., Siegwart, R., Nardi, D. and Pretto, A., 2019. AgriColMap: Aerial-ground collaborative 3D mapping for precision farming. *IEEE Robotics and Automation Letters*, *4*(2), pp.1085-1092.

- Prabha, R., Sinitambirivoutin, E., Passelaigue, F. and Ramesh, M.V., 2018, March. Design and development of an IoT based smart irrigation and fertilization system for chilli farming. In *2018 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)* (pp. 1-7). IEEE.
- Puri, V., Nayyar, A. and Raja, L., 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4), pp.507-518.
- Rad, C.R., Hancu, O., Takacs, I.A. and Olteanu, G., 2015. Smart monitoring of potato crop: a cyber-physical system architecture model in the field of precision agriculture. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, pp.73-79.
- Rath, R. K. (2018). *Freshwater aquaculture*. Scientific publishers.
- Rawal, S., 2017. IOT based smart irrigation system. *International Journal of Computer Applications*, 159(8), pp.7-11.
- Reddy, P.P., 2017. Precision agriculture. In *Agro-ecological Approaches to Pest Management for Sustainable Agriculture* (pp. 295-309). Springer, Singapore.
- Rekha, P., Rangan, V.P., Ramesh, M.V. and Nibi, K.V., 2017, October. High yield groundnut agronomy: An IoT based precision farming framework. In *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (pp. 1-5). IEEE.
- Reshma, B. and Kumar, S.S., 2016, March. Precision aquaculture drone algorithm for delivery in sea cages. In *2016 IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH)* (pp. 1264-1270). IEEE.
- Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Rosamaha Yu.O. Blesnyuk O.V., and Ohiienko A.V., 2019. Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 58(2).
- Royer, E., Faccenda, F. and Pastres, R., 2020. Estimating oxygen consumption of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a raceway: a Precision Fish Farming approach. *Aquacultural Engineering*, p.102141.
- Ruiz-Garcia, L. and Lunadei, L., 2011. The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79(1), pp.42-50.
- Sa, I., Popović, M., Khanna, R., Chen, Z., Lottes, P., Liebisch, F., Nieto, J., Stachniss, C., Walter, A. and Siegwart, R., 2018. Weedmap: a large-scale semantic weed mapping framework using aerial multispectral imaging and deep neural network for precision farming. *Remote Sensing*, 10(9), p.1423.

- Saha, A.K., Saha, J., Ray, R., Sircar, S., Dutta, S., Chattopadhyay, S.P. and Saha, H.N., 2018, January. IOT-based drone for improvement of crop quality in agricultural field. In *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 612-615). IEEE.
- Sahu, C.K. and Behera, P., 2015, February. A low cost smart irrigation control system. In *2015 2nd International conference on electronics and communication systems (ICECS)* (pp. 1146-1152). IEEE.
- Saraf, S.B. and Gawali, D.H., 2017, May. IoT based smart irrigation monitoring and controlling system. In *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)* (pp. 815-819). IEEE.
- Sekhar, C. and Muthuvel, I., An Overview of Precision Farming Technologies. *ECONOMICS OF PRECISION FARMING*, p.1.
- Shannon, D.K., Clay, D.E. and Kitchen, N.R., 2020. *Precision agriculture basics* (Vol. 176). John Wiley & Sons.
- Sharu, E. H., & Ab Razak, M. S. (2020). Hydraulic Performance and Modelling of Pressurized Drip Irrigation System. *Water*, 12(8), 2295.
- Shruthi, K., Hiremath, G.M. and Joshi, A.T., 2018. An overview of use of precision farming technologies by the farmers-A case study of North Eastern Karnataka. *Indian Journal of Agricultural Research*, 52(1), pp.93-96.
- Shyam, S.S., 2019. Assessing Economic Efficiency in Precision Farming: Tools and Techniques.
- Sigurnjak, I. (2017). Animal manure derivatives as alternatives for synthetic nitrogen fertilizers (Doctoral dissertation, Ghent University).
- Singh, H., Poudel, M. R., Dunn, B. L., Fontanier, C., & Kakani, G. (2020). Effect of greenhouse CO₂ supplementation on yield and mineral element concentrations of leafy greens grown using nutrient film technique. *Agronomy*, 10(3), 323.
- Srivastava, K., Bhutoria, A. J., Sharma, J. K., Sinha, A., & Pandey, P. C. (2019). UAVs technology for the development of GUI based application for precision agriculture and environmental research. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100258.
- Stehr, N.J., 2015. Drones: The newest technology for precision agriculture. *Natural Sciences Education*, 44(1), pp.89-91.

- Stillitano, T., Spada, E., Iofrida, N., Falcone, G., & De Luca, A. I. (2021). Sustainable Agri-Food Processes and Circular Economy Pathways in a Life Cycle Perspective: State of the Art of Applicative Research. *Sustainability*, 13(5), 2472.
- Sukrismon, Y., Hidayatullah, N., Mufti, N., Handayani, A. N., & Horng, G. J. (2019, October). Smart Fish Pond for Economic Growing in Catfish Farming. In *2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE)* (pp. 49-53). IEEE.
- Sun, J., Abdulghani, A.M., Imran, M.A. and Abbasi, Q.H., 2020, April. IoT Enabled Smart Fertilization and Irrigation Aid for Agricultural Purposes. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Computing, Networks and Internet of Things* (pp. 71-75).
- Takeshima, H. and Joshi, P.K., 2019. Protected agriculture, precision agriculture, and vertical farming: Brief reviews of issues in the literature focusing on the developing region in Asia (Vol. 1814). Intl Food Policy Res Inst.
- Tan, L., 2016. Cloud-based decision support and automation for precision agriculture in orchards. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), pp.330-335.
- Tchernyshev, N.I., Sysoev, O.E., Solovev, D.B. and Kiselyov, E.P., 2018. Basic robotecnical platform for implementation of accurate farming technologies. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 7(4), pp.522-528.
- Uwimana, A., van Dam, A.A. and Irvine, K., 2018. Effects of conversion of wetlands to rice and fish farming on water quality in valley bottoms of the Migina catchment, southern Rwanda. *Ecological Engineering*, 125, pp.76-86.
- Vecchio, Y., Agnusdei, G.P., Miglietta, P.P. and Capitanio, F., 2020. Adoption of precision farming tools: the case of italian farmers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), p.869.
- Vecchio, Y., De Rosa, M., Adinolfi, F., Bartoli, L. and Masi, M., 2020. Adoption of Precision Farming Tools: A context-related analysis. *Land Use Policy*, 94, p.104481.
- Vitali, G., Francia, M., Golfarelli, M., & Canavari, M. (2021). Crop Management with the IoT: An Interdisciplinary Survey. *Agronomy*, 11(1), 181.
- Wachowiak, M.P., Walters, D.F., Kovacs, J.M., Wachowiak-Smolíková, R. and James, A.L., 2017. Visual analytics and remote sensing imagery to support community-based research for precision agriculture in emerging areas. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, pp.149-164.

- Wada, I. (2018). Cloud computing implementation in libraries: A synergy for library services optimization. *International journal of library and Information Science*, 10(2), 17-27.
- Xiaoxiao, S., Wang, Y., Wang, Y., Yang, M., Mingxin, M., Yunpu, Z., ... & Christos, N. (2021). Response of soil N₂O emission and nitrogen utilization to organic matter in the wheat and maize rotation system. *Scientific Reports (Nature Publisher Group)*, 11(1).
- Yang, T., & Kim, H. J. (2020). Effects of hydraulic loading rate on spatial and temporal water quality characteristics and crop growth and yield in aquaponic systems. *Horticulturae*, 6(1), 9.
- Yousif, M.E.R., Ghafar, K., Zahari, R. and Lim, T.H., 2018, April. A rule-based smart automated fertilization and irrigation systems. In *Ninth International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2017)* (Vol. 10615, p. 106155J). International Society for Optics and Photonics.
- Zhang, Q., 2016. Precision agriculture technology for crop farming (p. 374). Taylor & Francis.
- Zhao, W., Lin, S., Han, J., Xu, R. and Hou, L., 2017, December. Design and implementation of smart irrigation system based on LoRa. In *2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)* (pp. 1-6). IEEE.
- Zhou, X., English, B.C., Larson, J.A., Lambert, D.M., Roberts, R.K., Boyer, C.N., Velandia, M., Falconer, L.L. and Martin, S.W., 2017. Precision farming adoption trends in the southern US. *Journal of Cotton Science*, 21(2), pp.143-155.