



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
MASTER IN INFORMATION SYSTEMS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα Εργασίας:

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
INFORMATION SYSTEMS FOR SMART CROPS

Όνομα Φοιτητή: Σάββας Παναγιώτου

A.M: mis21028

Υποβλήθηκε ως προ-απαιτούμενο για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος ειδίκευσης στα Πληροφοριακά Συστήματα.

Επιβλέπων Καθηγητής : Ιάσωνας Παπαθανασίου

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2023

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών στα Πληροφοριακά Συστήματα που υλοποιείται στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή Ιάσωνα Παπαθανασίου για την ανάθεση του θέματος και για τη βοήθεια του για την εκπόνηση της εργασίας.

Αφιερώνω αυτήν την εργασία στην οικογένεια και τους φίλους μου, τους οποίους και θα ήθελα να ευχαριστήσω για την στήριξή τους σε κάθε μου βήμα όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περιεχόμενα	2
Πίνακας Σχημάτων	4
Περίληψη / Abstract	7
Εισαγωγή	7
1. Οι βασικοί πυλώνες και μέθοδοι Έξυπνης Γεωργίας	11
1.1. Ιστορική αναδρομή	11
1.2. Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Έξυπνη Γεωργία	12
1.3. Πλεονεκτήματα Έξυπνης Γεωργίας	12
2. Internet of Things στην Έξυπνη Γεωργία	14
2.1. Hardware	14
2.1.1. Αισθητήρες	14
2.1.2. Wearables	21
2.1.3. Drones	23
2.2. Υπολογιστές	25
2.3. Πλακέτες	25
2.4. Software	26
3. Πρωτόκολλα Επικοινωνίας	29
3.1. Πρωτόκολλα επικοινωνίας στην Έξυπνη Γεωργία	29
4. Δίκτυο 5G & Ανίχνευση στην Έξυπνη Γεωργία	32
4.1. Δίκτυο 5G	32
4.2. Έξυπνη ανίχνευση στη Γεωργία	37
5. Ρομποτική στη Γεωργία	42
5.1. Farmbot	42
5.2. Γεωργικό ρομπότ IoT	43
6. Γεωργία Ακριβείας στην Ελλάδα	46
6.1. Εισαγωγή	46
6.2. Υλοποιημένα προγράμματα στην Ελλάδα	46
6.2.1. Πρόγραμμα FutureFarm	46
6.2.2. Πρόγραμμα Eco-pest	47
6.3. Υλοποιημένες εφαρμογές στην Ελλάδα	47
6.3.1. Εφαρμογές στο Βαμβάκι	47
6.3.2. Εφαρμογή στα Σιτηρά	48
6.3.3. Εφαρμογή στα Μήλα	48
6.3.4. Εφαρμογή στα Αχλάδια	50
6.3.5. Εφαρμογή σε Ελιές	50
6.3.6. Εφαρμογή σε Αμπέλι	51

6.3.7. Εφαρμογή σε Ροδάκινα	51
6.3.8. Εφαρμογή σε Καρπούζια	52
6.4. Είναι εφικτή η έξυπνη Γεωργία στην Ελλάδα?	52
6.5. Προοπτικές έξυπνης Γεωργίας στην Ελλάδα	53
6.6. Lessons Learnt	54
7. Μελέτη περίπτωσης Τηλεμετρικού Δικτύου Μέτρησης Υγρασίας Εδάφους	55
7.1. Εισαγωγή	55
7.2. Παρουσίαση του συστήματος	55
7.3. Τρόπος εγκατάστασης των αισθητήρων	60
7.4. Οργάνωση παρουσίασης των μετρήσεων	61
7.5. Απόδοση του συστήματος	63
7.6. Αποτελέσματα - Συμπεράσματα	64
8. Ανάλυση κενών στην Έξυπνη Γεωργία	66
9. Συμπεράσματα	69
Βιβλιογραφία	72

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1.1	Εξέλιξη της γεωργίας	11
Σχήμα 1.2	Έξυπνη γεωργία	13
Σχήμα 2.1	Αισθητήρας πίεσης	15
Σχήμα 2.2	Αισθητήρας φωτός	16
Σχήμα 2.3	Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας	17
Σχήμα 2.4	Αισθητήρας νερού	18
Σχήμα 2.5	Αισθητήρας επιταχυνσιόμετρο	19
Σχήμα 2.6	Αισθητήρας εικόνας	19
Σχήμα 2.7	Αισθητήρας καπνού	20
Σχήμα 2.8	GPS για τρακτέρ	21
Σχήμα 2.9	Smartwatch	22
Σχήμα 2.10	Drone ραντίσματος	24
Σχήμα 2.11	Raspberry Pie και Arduino	25
Σχήμα 2.12	Διάγραμμα ροής DSS	27
Σχήμα 3.1	MQTT logo	29
Σχήμα 3.2	XMPP logo	30
Σχήμα 3.3	CoAP logo	30
Σχήμα 3.4	Zigbee logo	31
Σχήμα 3.5	Bluetooth logo	31
Σχήμα 4.1	Δίκτυο 5G στην έξυπνη γεωργία	36
Σχήμα 4.2	Αισθητήρας τοποθεσίας	36
Σχήμα 4.3	Αισθητήρας ανίχνευσης	36
Σχήμα 4.4	Αισθητήρας ηλεκτροχημικός	37
Σχήμα 4.5	Αισθητήρας μέτρησης συμπίεσης εδάφους	37
Σχήμα 4.6	Αισθητήρας διηλεκτρικός	38
Σχήμα 4.7	Αισθητήρας ροής αέρα	38
Σχήμα 4.8	Αγροτικός μετεωρολογικός σταθμός	39
Σχήμα 5.1	Farmbot	43
Σχήμα 5.2	Γεωργικό ρομπότ IoT	45
Σχήμα 6.1	Χάρτες οπωρώνα μηλιάς για τρία χρόνια. Πτολεμαίδα	49
Σχήμα 6.2	Χαρτογράφηση παραγωγής μήλων	49
Σχήμα 6.3	Χαρτογράφησης της ποιότητας των καρπών	49

Σχήμα 6.4	Χάρτες παραγωγής καρπουζιών σε αγρό	52
Σχήμα 7.1	Set up του συστήματος	55
Σχήμα 7.2	Σύνθεση ασύρματων αισθητήρων υγρασίας	57
Σχήμα 7.3	Αιθητήρας υγρασίας εδάφους μοντέλο Single Point Sensor	57
Σχήμα 7.4	Ασύρματος μεταδότης μετρήσεων, μοντέλο SensorSat	58
Σχήμα 7.5	Τοποθέτηση αισθητήρων	61
Σχήμα 7.6	Απεικόνιση διαγράμματος	61
Σχήμα 7.7	Απεικόνιση πίνακα	62
Σχήμα 7.8	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	62
Σχήμα 7.9	Απεικόνιση βροχής	64
Σχήμα 7.10	Irrigation every 2 days	64
Σχήμα 7.11	Διαστήματα ποτίσματος	65
Σχήμα 9.1	ΙΟΤ στις έξυπνες καλλιέργειες	71

Περίληψη

Η ευφυής γεωργία αντιπροσωπεύει την εφαρμογή των σύγχρονων τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) στη γεωργία. Μετά τις επαναστάσεις αναπαραγωγής φυτών και τη γενετική, η Τέταρτη Πράσινη Επανάσταση, η εφαρμογή τεχνολογιών που αναφέρεται παραπάνω, ξεκινά και επιβάλλεται στον αγροτικό κόσμο με βάση τη συνδυασμένη εφαρμογή λύσεων ΤΠΕ. Ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες είναι τα εργαλεία ακριβείας, το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), οι αισθητήρες και ενεργοποιητές, τα συστήματα γεωεντοπισμού, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) κ.λπ. Η Ευφυής Γεωργία προσφέρει πραγματικές δυνατότητες για την επίτευξη πιο παραγωγικής και βιώσιμης γεωργικής παραγωγής, βασιζόμενη σε μια πιο αποδοτική και αποτελεσματική προσέγγιση των πόρων.

Λέξεις Κλειδιά: Ευφυής Γεωργία, Τέταρτη Πράσινη Επανάσταση, ΤΠΕ.

Abstract

Smart agriculture represents the application of modern information and communication technologies (ICTs) in agriculture. Following the revolutions in plant breeding and genetics, the Fourth Green Revolution, the application of the aforementioned technologies is starting and being imposed on the rural world based on the combined application of ICT solutions. Some of these technologies include precision tools, the Internet of Things (IoT), sensors and actuators, geolocation systems, unmanned aerial vehicles (UAVs), etc. Smart agriculture offers real possibilities for achieving more productive and sustainable agricultural production, based on a more efficient and effective approach to resources.

Key Words: ICT, Forth Green Revolution, Smart farming,

Εισαγωγή

Η αύξηση του πληθυσμού συνοδεύεται από αύξηση της ζήτησης για την παραγωγή τροφίμων. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να φτάσει τα 9,73 δισεκατομμύρια έως το 2050 και αυτή η αύξηση αναμένεται να συνεχιστεί έως το 2100, όπου αναμένεται να φτάσει τα 11,2 δισεκατομμύρια (FAO, 2017).

Πολλές προκλήσεις επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγή και μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Αυτές περιλαμβάνουν την αλατότητα του εδάφους υπό ξηρές συνθήκες καθώς και τις αλλαγές στο κλίμα, οι οποίες επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα των καλλιεργειών και μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της ευαισθησίας του εδάφους στην ερημοποίηση (Hammam & Mohamed, 2018).

Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να επικεντρωθούμε στην έρευνα των πόρων γης που θα χρησιμοποιηθούν στη γεωργική ανάπτυξη σε άνυδρες περιοχές (El Nahry, E.S. Mohamed, 2011). Στις χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου, ο γεωργικός τομέας είναι ένας από τους σημαντικότερους πυλώνες του εθνικού εισοδήματος. Η εφαρμογή νέων τεχνολογιών για τη βελτίωση του γεωργικού τομέα αποτελεί σημαντικό ζήτημα για τη στήριξη της εθνικής οικονομίας σε αυτές τις χώρες (Mohamed et al., 2016).

Η γεωργική παραγωγή συνίσταται στην παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο και το ζωικό κεφάλαιο εκτός από τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για τη βιομηχανική διαδικασία. Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, υπήρξαν αρκετές επαναστάσεις γεωργικής ανάπτυξης. Η πρώτη γεωργική επανάσταση πραγματοποιήθηκε από τους αρχαίους πολιτισμούς της Αιγύπτου και της Ελλάδας, γεγονός που αντανάκλουσε το ενδιαφέρον των αρχαίων λαών για την ανάπτυξη γεωργικών μεθόδων, όπου οι Πάπυροι προέρχονταν από Π.Χ. Οι Αιγύπτιοι και οι Έλληνες ανέπτυξαν διάφορα γεωργικά μηχανήματα και εργαλεία, όπως τύμπανο, αντλίες (Ahmed et al., 2020).

Η δεύτερη αγροτική επανάσταση παρουσιάστηκε τον 17ο αιώνα μετά το τέλος της φεουδαρχίας στην Ευρώπη. Επιπλέον, η Τρίτη Γεωργική Επανάσταση (Πράσινη Επανάσταση) ενεργοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1930-1960 του περασμένου αιώνα, όπου η γεωργία χρησιμοποιεί την επέκταση των ορυκτών λιπασμάτων για την αύξηση της παραγωγής, καθώς και την αύξηση της χρήσης φυτοφαρμάκων παράλληλα με την ανάπτυξη διαφόρων

γεωργικών μηχανημάτων (Bochtis et al., 2019). Η Τέταρτη Γεωργική Επανάσταση συνέβη τις τελευταίες δύο δεκαετίες και αποτελεί σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) και την τεχνητή νοημοσύνη.

Οι τεχνολογίες αυτές έχουν διευκολύνει τον έλεγχο του εξοπλισμού και των συσκευών από απόσταση, όπου τα ρομπότ έχουν χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές εργασίες όπως η συγκομιδή και το ξεχορτάρισμα. Τα drones έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για τη λίπανση των καλλιεργειών και την παρακολούθηση των σταδίων ανάπτυξης τους. Η Έξυπνη Γεωργία είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στην εφαρμογή της χρήσης ΑΙ και IoT στη διαχείριση γεωργικών εκμεταλλεύσεων στον κυβερνοχώρο (Bacco et al., 2019).

Η Έξυπνη Γεωργία αντιμετωπίζει πολλά σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με τη φυτική παραγωγή και απαιτεί την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων όπως οι κλιματικοί παράγοντες, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, η υγρασία του εδάφους και πολλά άλλα. Η τεχνολογία Internet of Things (IoT) αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την υλοποίηση της έξυπνης γεωργίας και επιτρέπει τη σύνδεση διαφόρων απομακρυσμένων αισθητήρων όπως ρομπότ, αισθητήρες εδάφους και drones. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στις συσκευές να συνδέονται ασύρματα μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο, προκειμένου να λειτουργούν αυτόνομα και να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την παραγωγή τροφίμων (AlMetwally et al., 2020).

Η γεωργία ακριβείας στοχεύει στη βελτίωση της χωρικής διαχείρισης με σκοπό την αύξηση της παραγωγής, τη μείωση του χρόνου και του κόστους παραγωγής και την αποφυγή της κατάχρησης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες έρευνες για τη χρήση των μοντέλων ANN (Τεχνικά Νευρωνικά Δίκτυα) στην έξυπνη διαχείριση νερού άρδευσης, καθώς η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET₀) αποτελεί βασική παράμετρο για τον προγραμματισμό άρδευσης.

Η χρήση του GIS επιτρέπει την αποδοτικότερη διαδικασία άρδευσης, συνδυάζοντας την τηλεπισκόπηση, την τεχνητή νοημοσύνη, την τεχνολογία GPS και άλλες τεχνολογίες. Οι Mohd et al. (2014) δημιούργησαν το SWAMP (Διαχείριση Εδαφικών Υδάτων), ένα διαδικτυακό σύστημα υποστήριξης γεωχωρικών αποφάσεων (ΣΥΓΑ) και ένα γραφικό περιβάλλον εργασίας χρήστη βασισμένο στην τεχνολογία widget για ευκολότερη πρόσβαση σε διάφορες λειτουργίες. Το σύστημα παρέχει δεδομένα για τη ζήτηση και προσφορά νερού άρδευσης, την αποδοτικότητα της άρδευσης και έναν δείκτη παραγωγικότητας του νερού. Η παροχή

πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων αποτελούν σημαντικές πτυχές αυτού του συστήματος.

Η κλιματικά Έξυπνη Γεωργία δημιουργήθηκε για να αντιμετωπίσει τρία βασικά ζητήματα: την επισιτιστική ασφάλεια, την προσαρμογή και τον μετριασμό (Palombi & Sessa, 2013). Ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, έχει λάβει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της δυνατότητάς της να βελτιώσει την επισιτιστική ασφάλεια και την ανθεκτικότητα του γεωργικού συστήματος, ενώ παράλληλα μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Palombi & Sessa, 2013). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην Αφρική, όπου η οικονομική ανάπτυξη βασίζεται στη γεωργική επέκταση, η οποία και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή (Vermeulen et al., 2012).

Η Έξυπνη Γεωργία αποτελεί μια προηγμένη μορφή γεωργίας ακριβείας που χρησιμοποιεί καινοτόμες μεθόδους για να επιτύχει πολυλειτουργικές εργασίες. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση εναλλακτικών λύσεων διαχείρισης της εκμετάλλευσης σε πραγματικό χρόνο από απόσταση. Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι τα ρομπότ θα μπορούσαν να εκπληρώσουν βασικούς ρόλους στον έλεγχο της γεωργικής διαδικασίας και να προβλέψουν την αυτόματη ανάλυση και τον προγραμματισμό, ώστε ο ηλεκτρονικός κυβερνο-φυσικός κύκλος να γίνει ημιαυτόνομος (Wolfert et al., 2014).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει τονίσει τη σημασία των τεχνολογιών δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), των γεωργικών ρομπότ και των κόμβων αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν στις μελλοντικές στρατηγικές της ευρωπαϊκής έξυπνης γεωργίας (Bacco et al., 2019). Παρόλα αυτά, ο όγκος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στη γεωργική διαχείριση έχει γίνει πολύ μεγάλος, με αποτέλεσμα να μην επαρκεί το δίκτυο 4G. Πρόσφατα, μετά τη λειτουργία του εξαιρετικά γρήγορου δικτύου 5G, η διαδικασία μεταφοράς και επεξεργασίας δεδομένων έχει γίνει αρκετά πιο εύκολη (Tang et al., 2021). Η τεχνολογία έξυπνης γεωργίας βασίζεται στις τεχνολογίες Internet of Things (IoT) και έχει πολλά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με όλες τις γεωργικές διαδικασίες και πρακτικές σε πραγματικό χρόνο, όπως η άρδευση και φυτοπροστασία, η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, έλεγχος της διαδικασίας λίπανσης και πρόβλεψη ασθενειών κ.λπ. (Adamides et al., 2020).

Τα πλεονεκτήματά της μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

αύξηση του όγκου των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την καλλιέργεια

απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος των αγροτών

έλεγχος του νερού και άλλων φυσικών πόρων

βελτίωση της διαχείρισης του ζωικού κεφαλαίου

ακριβής αξιολόγηση του εδάφους και των καλλιεργειών

βελτίωση της γεωργικής παραγωγής.

Η εργασία αυτή στοχεύει στην ανασκόπηση δημοσιευμένων άρθρων σχετικά με τις διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται στην ευφυή γεωργία. Επιπλέον, αναφέρονται ορισμένες προσεγγίσεις για την εφαρμογή της Έξυπνης Γεωργίας στις αναπτυσσόμενες χώρες.

1

Οι βασικοί πυλώνες και μέθοδοι Έξυπνης Γεωργίας

1.1. Ιστορική αναδρομή

Η εφαρμογή της ευφυούς γεωργίας έχει ιστορία που ξεκινά από το 1929, όταν οι Linsley και Bauer ανέπτυξαν τον πρώτο συντακτικό χάρτη (Stafford 2000) για τη μελέτη της διακύμανσης του pH του εδάφους. Ωστόσο, οι πραγματικές ερευνητικές δραστηριότητες στην Έξυπνη Γεωργία πραγματοποιήθηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980. Το 1984, δημιουργήθηκε ο πρώτος μετρητής απόδοσης καλλιέργειας σε μια ολοκληρωμένη μηχανή συγκομιδής και δημιουργήθηκαν αισθητήρες εδάφους. Στη συνέχεια, βασικά εργαλεία όπως συστήματα εντοπισμού θέσης παραγωγής (GPS) και τεχνολογίες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιήθηκαν σε πανεπιστήμια σε όλο τον κόσμο. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 αναπτύχθηκαν ειδικά συστήματα ανίχνευσης εδάφους για τη μέτρηση της περιεκτικότητας των καλλιεργειών σε χλωροφύλλη. Το 1997 και το 2005 πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα ευρωπαϊκά και ασιατικά συνέδρια για την ευφυή γεωργία, τα οποία έκτοτε έχουν γίνει τα πιο εξέχοντα στον κόσμο. Τέλος, το 2015 εισήχθη το πρώτο ρομποτικό σύστημα σε καλλιέργειες υψηλής αξίας.



Σχήμα 1.1 Εξέλιξη της γεωργίας

1.2. Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Έξυπνη Γεωργία

Η Έξυπνη Γεωργία είναι ένα σύγχρονο μοντέλο ολοκληρωμένης γεωργικής διαχείρισης που στοχεύει στην αύξηση των αποδόσεων με τη χρήση ΤΠΕ, στην τυποποίηση των γεωργικών εργασιών, στην αύξηση της κερδοφορίας και στη μείωση του κόστους. Παρά τα σημαντικότερα οφέλη που προσφέρει η ευφυής γεωργία, οι εφαρμογές της δεν υιοθετούνται από τους περισσότερους αγρότες, οι οποίοι θέλουν να συνεχίσουν το παραδοσιακό μοντέλο καλλιέργειας. Αρχικά, λόγω του σχετικά υψηλού κόστους απόκτησης τεχνικού εξοπλισμού, οι αγρότες δεν επενδύουν σε μια μέθοδο που έχει ουσιαστικές διαφορές από την κλασική γεωργία που τους είναι γνωστή και εφαρμόζεται μέχρι σήμερα. Μια άλλη προκλητική πτυχή είναι ότι οι γεωργοί/επιχειρηματίες και το ανθρώπινο δυναμικό πρέπει να εκπαιδευτούν σε νέες τεχνολογίες δεδομένων και συστήματα έξυπνης γεωργίας.

Αφενός, χρειάζεται αρκετός χρόνος προκειμένου να κατανοήσουν και να εξοικειωθούν με την εφαρμογή που επιλέγουν οι άνθρωποι που έχουν θεμελιώδη σχέση με την τεχνολογία και αφετέρου ο επιχειρηματίας θα πρέπει να επιλέξει μια εταιρεία που παρέχει μια τεχνική λύση και να τους εκπαιδεύσει με βάση τις επιχειρηματικές του ανάγκες και τον προϋπολογισμό του. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι, λόγω απομακρυσμένων τοποθεσιών όπου βρίσκεται συνήθως η γεωργική γη, η πρόσβαση στο διαδίκτυο δεν είναι πάντα δυνατή.

Επιπλέον, πρέπει να ξεπεραστούν οι δυσκολίες που συνδέονται με το νομικό πλαίσιο γύρω από τις τηλεπικοινωνίες που καθορίζει την ισχύ μετάδοσης που μπορούμε να έχουμε με τη μορφή εκπομπής και λήψης από τις διάφορες κεραίες που απαιτούνται.

1.3. Πλεονεκτήματα Έξυπνης Γεωργίας

Στις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας, οι αγρότες αναγκάζονται να δαπανούν πολύ χρόνο και ενέργεια για να ελέγχουν και να παρακολουθούν την καλλιέργεια και τις συνθήκες που επικρατούν στο χωράφι τους. Όταν οι εκτάσεις καλλιέργειας αυξάνονται, το κόστος και η πολυπλοκότητα αυξάνονται σημαντικά, ιδίως όταν οι καλλιέργειες είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους και έχουν διαφορετικές ανάγκες σε ό,τι αφορά την ποσότητα και τη συχνότητα της ποτίστρας.

Η χρήση αισθητήρων επιτρέπει την αυτόματη παρακολούθηση και ανάλυση των συνθηκών του χωραφιού σε πραγματικό χρόνο. Μπορούν να μετρούν την ποσότητα και την ποιότητα του νερού, τη θερμοκρασία και την υγρασία και να ειδοποιούν αυτόματα τους χρήστες τους για πιθανά προβλήματα. Ως αποτέλεσμα, οι αγρότες λαμβάνουν άμεσα δράση όταν απαιτείται και μπορούν να επικεντρώνονται στην επίλυση άλλων σοβαρών προβλημάτων, όπως τα ζιζάνια, τις ασθένειες των φυτών και στην προώθηση των προϊόντων τους σε νέες αγορές. Ταυτόχρονα, μειώνονται κάθε είδους απόβλητα, όπως διάφορες επαναλαμβανόμενες καθημερινές εργασίες ή ανθρωποώρες, υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων κ.α. Για παράδειγμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες για να παρακολουθούμε τα επίπεδα υγρασίας στο έδαφος και να ποτίζουμε με κατάλληλη ποσότητα νερού μόνο όταν είναι απαραίτητο. Έτσι προστατεύονται οι πολύτιμοι φυσικοί πόροι που είναι αναγκαίοι για τη γεωργία. Ένα άλλο πλεονέκτημα που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι, χάρη στη συνεχή παρακολούθηση των δεδομένων και των τιμών, μπορούμε να έχουμε συνεχώς τις κατάλληλες συνθήκες για βέλτιστη απόδοση. Για παράδειγμα, σε ένα θερμοκήπιο όπου χρησιμοποιούνται αυτοματισμοί μπορούμε πάντα να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία, το φως και την υγρασία σε ιδανικό επίπεδο.

Τέλος, τα προβλήματα υγείας που προκαλούν τα φυτοφάρμακα στον άνθρωπο κατά τη διάρκεια του ψεκασμού, μπορούν πλέον να αποφευχθούν εφόσον μπορούν να γίνουν εξ αποστάσεως με τη χρήση ειδικών drones σχεδιασμένων ακριβώς για το σκοπό αυτό. Με αυτόν τον τρόπο, ο άνθρωπος και το περιβάλλον προστατεύονται κατά το μέγιστο.



Σχήμα 1.2 Έξυπνη γεωργία

2

Internet of Things στην Έξυπνη Γεωργία

2.1. Hardware

Για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και αξιόπιστα οι εφαρμογές του Internet of Things στην ευφυή γεωργία και σε οποιονδήποτε άλλο τομέα, πρέπει να εφαρμοστεί μια αρχιτεκτονική λογισμικού σε κατάλληλο υλικό. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται πίνακες όπως επιτάχυνσης υλικού, νερού και καπνού, τεχνολογίες εντοπισμού θέσης όπως GPS και wearables όπως smartwatches και έξυπνα απόβλητα, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, επιτραπέζιους υπολογιστές με υψηλή επεξεργαστική ισχύ, πίνακες όπως Arduino που λειτουργούν τους αισθητήρες και ρομπότ εξειδικευμένα για γεωργικές εργασίες. Παρακάτω εξετάζουμε το καθένα ξεχωριστά και εξετάζουμε παραδείγματα χρήσης τους στην ευφυή γεωργία.

2.1.1. Αισθητήρες

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετές δεκαετίες σε καθημερινές συσκευές όπως θερμόμετρο, αλτίμετρο και μαγνητόμετρο. Ο ρόλος του αισθητήρα είναι να αναγνωρίζει, να μετρά και να αναφέρει την τιμή σε μια δεδομένη στιγμή. Για παράδειγμα, ο αισθητήρας ταχύτητας ενός οχήματος θα ειδοποιήσει τον χρήστη για την ταχύτητα του οχήματος ανά πάσα στιγμή χρησιμοποιώντας έναν ψηφιακό ή αναλογικό μετρητή, έτσι ώστε ο οδηγός να διατηρήσει την ταχύτητα που χρειάζεται για να επιταχύνει. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο αισθητήρας αποθέματος καυσίμου, ο οποίος εκτιμά την ποσότητα καυσίμου που απομένει από την επίπλευση, έτσι ώστε ο οδηγός να μπορεί να ανεφοδιάσει το βυτιοφόρο εγκαίρως.

Οι αισθητήρες Του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι διαφορετικοί από τους «παραδοσιακούς» αισθητήρες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, δεν εμφανίζουν μόνο τις οδηγίες σε ένα είδος οθόνης περιμένοντας τον χρήστη να τις ελέγξει. Τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες, πέρα από απλές μετρήσεις σε οθόνες, αποστέλλονται σε πλατφόρμες ανάλυσης μεγάλων δεδομένων μέσω του Διαδικτύου, για την κεντρική ενημέρωση των χρηστών μέσω ενός πίνακα ελέγχου στον υπολογιστή τους. Οι αισθητήρες έχουν επίσης τη δυνατότητα να επικοινωνούν με άλλους αισθητήρες, απαιτώντας επακόλουθη ανθρώπινη παρέμβαση δίνοντας και λαμβάνοντας αυτόματα εντολές σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που έχουν ορίσει οι χρήστες εκ των προτέρων. Παρακάτω αναλύουμε τους κύριους αισθητήρες που έχουν οφέλη στην ευφυή γεωργία.

Ο αισθητήρας πίεσης μετρά την πίεση του αερίου και των υγρών στοιχείων, τη δύναμη δηλαδή που απαιτείται για να σταματήσει η διαστολή του στοιχείου. Τα συναντάμε σε διαφορετικά μεγέθη και σχήματα ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Οι αισθητήρες πίεσης χωρίζονται σε δύο τύπους:

- **Αισθητήρες βαρομετρικής πίεσης:** Ειδικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των διακυμάνσεων της πίεσης του αέρα και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μετεωρολογικούς σταθμούς.
- **Αισθητήρες πίεσης αερίου:** Ειδικοί αισθητήρες που ανιχνεύουν μεταβολές στην πίεση του αερίου και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εργοστάσια που σχετίζονται με την ενέργεια ή το καύσιμο. Στην ευφυή γεωργία χρησιμοποιούνται κυρίως για τη συντήρηση του εξοπλισμού. Εάν ο αισθητήρας πίεσης μετρήσει τη μακροπρόθεσμη πίεση που αποκλίνει από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, θα σταματήσει τη λειτουργία του μηχανήματος, γεγονός που θα αποτρέψει περαιτέρω βλάβες ή ατυχήματα. Ταυτόχρονα, θα στείλει αυτόματα μια ειδοποίηση στο κινητό τηλέφωνο του χειριστή με λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το περιστατικό, όπως μια χρονοσήμανση και ένα αναγνωριστικό εξαρτήματος.



Σχήμα 2.1 Αισθητήρας πίεσης

Ο αισθητήρας φωτός είναι ένας οικονομικός αισθητήρας που μετατρέπει τα φωτόνια σε ηλεκτρικό σήμα. Χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικές συσκευές όπως smartphones για τον αυτόματο έλεγχο του φωτισμού της οθόνης σύμφωνα με το φως του περιβάλλοντος, σε αυτοκίνητα για αυτόματη ρύθμιση των προβολέων σύμφωνα με το φως του περιβάλλοντος και σε συστήματα ασφαλείας όπως τα εμπορικά σκάφη για να υποδεικνύεται άμεσα η ασφάλεια του πλοίου.

Ακόμη και στον τομέα της γεωργίας, οι δυνατότητες που παρέχουν είναι ποικίλες και χρήσιμες. Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή είναι ο αισθητήρας φωτός που δίνει εντολή στο σύστημα ποτίσματος να ξεκινά όταν είναι σκοτεινό, οπότε οι άνθρωποι δεν χρειάζεται να ρυθμίζουν το χρόνο ποτίσματος της νύχτας ανάλογα με την εποχή.

Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υγείας της καλλιέργειας μετρώντας το φως που απορροφούν τα φυτά καθημερινά, απαραίτητη προϋπόθεση για τη φωτοσύνθεση και τελικά την ανάπτυξη των φυτών.



Σχήμα 2.2 Αισθητήρας φωτός

Στην ευφυή γεωργία χρησιμοποιούνται επίσης **αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας**, οι οποίοι συμβάλλουν στην παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών και τη λειτουργία οργάνων όπως ο αισθητήρας πίεσης που αναλύσαμε παραπάνω. Όσον αφορά τα οφέλη της παρακολούθησης των καιρικών συνθηκών, η ανάπτυξη αισθητήρων υγρασίας σε όλη την καλλιέργεια επιτρέπει στον αγρότη να αναγνωρίσει τον λόγο για τον οποίο ορισμένα μέρη δεν έχουν επαρκή υγρασία πριν από την ξήρανση ή την πλημμύρα και να δράσει αναλόγως.

Αντίστοιχα, όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τα μακροπρόθεσμα επίπεδα, οι αισθητήρες θερμοκρασίας δίνουν εντολή στο drone άρδευσης να ψεκάσει lingams με νερό, ώστε να

μπορούν να προστατεύσουν την καλλιέργεια από τη θερμότητα. Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα στη συντήρηση της υλικοτεχνικής υποδομής της γεωργικής μονάδας, η θερμοκρασία λειτουργίας των διαφόρων μηχανημάτων παρακολουθείται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Εάν ο αισθητήρας ανιχνεύσει υπερθέρμανση, θα σταματήσει το μηχάνημα και θα ενημερώσει τον χειριστή του μηχανήματος ή την εταιρεία που έχει αναλάβει την υπηρεσία για την επίλυση της ζημιάς. Επιπλέον, με τη χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο, ο αγρότης θα γνωρίζει συνεχώς ότι η θερμοκρασία που επικρατεί είναι κατάλληλη. Σε περίπτωση οποιασδήποτε αλλαγής, θα λάβει αμέσως ειδοποίηση και θα μπορέσει αναλόγως.



Σχήμα 2.3 Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας

Η ρύθμιση του νερού ήταν πάντα μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τους αγρότες, καθώς ο έλεγχος είναι πιο περίπλοκος. Το νερό πρέπει να είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και ταυτόχρονα δεν πρέπει να περιέχει επιβλαβείς ουσίες που προκαλούν ασθένειες στην καλλιέργεια. Παρόλο που το νερό μιας περιοχής φαίνεται να έχει προδιαγραφές που υποστηρίζουν την καλλιέργεια, η αστοχία στο σύστημα χλωρίωσης της ΔΕΥΑΠ αλλάζει τα δεδομένα πολύ γρήγορα.

Ως εκ τούτου, κατά τον έλεγχο περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και τα παράσιτα, είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί η ποιότητα του νερού. Οι **αισθητήρες νερού IoT** έχουν διάφορες προηγμένες τεχνολογικές δυνατότητες, όπως τηλεχειριστήριο, παρακολούθηση μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητα ειδοποίησης του κινητού ενός χρήστη ενώ ανιχνεύει επιβλαβή στοιχεία, εξοικονόμηση πόρων ως ειδικό προσωπικό κ.λπ. Συνοψίζοντας, οι αισθητήρες νερού επιτρέπουν στους σύγχρονους αγρότες να εξασφαλίζουν καλύτερη ποιότητα παραγωγής, με ελάχιστες ζημιές από περιβαλλοντικούς παράγοντες σε λογικό κόστος ελέγχοντας την ποιότητα του νερού.

Οι αισθητήρες νερού εξετάζουν τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Επίπεδο pH: Το υψηλό pH είναι ένας δείκτης οξύτητας που εμποδίζει την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους σε ορισμένους τύπους καλλιεργειών. Αυτή είναι η πιο σημαντική μέτρηση καθώς το έδαφος πρέπει να διατηρήσει ένα ορισμένο επίπεδο pH για καλύτερη ποιότητα καλλιέργειας.
- Οργανικός Άνθρακας: Το νερό περιέχει μια ποικιλία οργανικών στοιχείων, τα οποία πρέπει να ελέγχονται για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή ποιότητα νερού.
- Χλώριο: Το νερό πρέπει να περιέχει μια ορισμένη ποσότητα χλωρίου για να σκοτώσει επιβλαβείς μικροοργανισμούς. Ωστόσο, θα πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς από τον καλλιεργητή, καθώς μια υψηλή ποσότητα χλωρίου προκαλεί ζημιά.



Σχήμα 2.4 Αισθητήρας νερού

Οι **αισθητήρες επιταχυνσιόμετρου** είναι αισθητήρες που μετρούν την επιτάχυνση της κίνησης του αντικειμένου στο οποίο είναι τοποθετημένοι. Στην έξυπνη γεωργία, οι αισθητήρες επιταχυνσιόμετρου χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την κίνηση των φορτηγών και των μηχανημάτων κατά την καλλιέργεια και τη συγκομιδή των καλλιεργειών. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους αγρότες να παρακολουθούν την απόδοση των μηχανημάτων και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών καλλιέργειας.

Επιπλέον, οι αισθητήρες επιταχυνσιόμετρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση δονήσεων στα φυτά, τα οποία μπορεί να υποδεικνύουν την παρουσία ζητημάτων όπως οι ασθένειες ή η καταπόνηση από την καλλιέργεια. Με αυτό τον τρόπο, οι αγρότες μπορούν να ανιχνεύσουν τα προβλήματα νωρίς και να προλάβουν την εξάπλωσή τους σε ολόκληρη τη φύτευση, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και πόρους.



Σχήμα 2.5 Αισθητήρας επιταχυνσιόμετρου

Οι **αισθητήρες εικόνας** είναι μικρού μεγέθους ευρυγώνιοι φακοί και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση θέσεων. Ο φακός του αισθητήρα εικόνας λειτουργεί μετατρέποντας τις ληφθείσες εικόνες σε ηλεκτρικό σήμα, έτσι ώστε οι εικόνες να μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία αργότερα και να αποθηκευτούν σε υπολογιστές. Οι κάμερες αυτές διαθέτουν απλό σχεδιασμό και προσφέρουν δυνατότητα νυχτερινής λήψης, ανίχνευσης κίνησης και απομακρυσμένης ρύθμισης και παρακολούθησης. Επιπλέον, είναι συμβατές με άλλες έξυπνες συσκευές, γεγονός που επιτρέπει τη σύνδεσή τους για περισσότερες εξειδικευμένες λειτουργίες και ευκολότερη χρήση. Υπάρχουν δύο τύποι αισθητήρων εικόνας, CDD (συσκευή διπλού φορτίου) και CMOS (ένας συμπληρωματικός ημιαγωγός μεταλλικού οξειδίου). Το CMOS είναι μια ισχυρή τεχνολογία λόγω του χαμηλού κόστους και της εξαιρετικά ικανοποιητικής ποιότητας εικόνας. Με τη χρήση αισθητήρων εικόνας, οι γεωργοί αντιμετωπίζουν ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα στη γεωργία. Ανιχνεύοντας ανεπιθύμητα παράσιτα σε πραγματικό χρόνο, μπορούν να δράσουν άμεσα εναντίον τους, χωρίς να βλάψουν τα χρήσιμα έντομα που βοηθούν στην ανάπτυξη των φυτών. Σε συνδυασμό με το σύστημα προειδοποίησης χρησιμοποιούνται επίσης για την ασφάλεια των χωραφιών εντοπίζοντας ανεπιθύμητους εισβολείς.



Σχήμα 2.6 Αισθητήρας εικόνας

Οι **αισθητήρες καπνού** παρακολουθούν μικρά σωματίδια στον αέρα ως αποτέλεσμα κάποιας καύσης, όπως η τέφρα. Η κύρια χρήση τους βρίσκεται σε χώρους και καταστήματα για άμεση ανίχνευση πυρκαγιάς. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, υπάρχουν οπτικοί ανιχνευτές που ανιχνεύουν φωτόνια και ανιχνευτές ιόντων που λειτουργούν βάσει της αρχής του ιονισμού, πράγμα που σημαίνει ότι η ύπαρξη φλόγας εκπέμπει ιονισμένα σωματίδια. Με το IoT οι συσκευές μιλούν μεταξύ τους και λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, προκειμένου να περιοριστούν ή και να αποφευχθούν πυρκαγιές.

Αφού ο αισθητήρας ανιχνεύσει πυρκαγιά στην καλλιέργεια, θέτει σε λειτουργία το συναγερμό, ενεργοποιεί το σύστημα άρδευσης και ταυτόχρονα ενημερώνει τις αρμόδιες αρχές, τους ιδιοκτήτες και τις αρχές ασφαλείας του αγροκτήματος. Επιπλέον, εφόσον ο χρήστης έχει ορίσει το παραπάνω σενάριο, συλλέγονται δεδομένα από το σημείο του συμβάντος και συνδυάζοντάς το με δεδομένα άλλων αισθητήρων, διερευνώνται τα αίτια του συμβάντος.



Σχήμα 2.7 Αισθητήρας καπνού

Το GPS (Global Positioning System) είναι μια τεχνολογία που ανιχνεύει τη θέση ενός αντικειμένου στη Γη μέσω συντεταγμένων. Το 1973, η κυβέρνηση των ΗΠΑ ανέθεσε στο Υπουργείο Αμύνης τη δημιουργία του GPS, προκειμένου να ξεπεράσει τους περιορισμούς των συστημάτων πλοήγησης εδάφους. Επικεφαλής της επιστημονικής ομάδας ήταν ο Ρότζερ Λι Ίστρον, ο οποίος και θεωρείται ο πατέρας του GPS.

Όταν ένα κινητό τηλέφωνο αλληλοεπιδρά με κεραία κινητής τηλεφωνίας, η επικοινωνία είναι αμφίδρομη, πράγμα που σημαίνει ότι η συσκευή λαμβάνει και στέλνει δεδομένα στην κεραία. Ωστόσο, στην πλοήγηση GPS, η επικοινωνία είναι μονόδρομος, με τους δέκτες GPS να λαμβάνουν μόνο σήματα από δορυφόρους. Περισσότεροι από 30 δορυφόροι έχουν τοποθετηθεί σε διαφορετικές τροχιές γύρω από τη Γη. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει συνεχώς ραδιοκύματα στη Γη που περιέχουν μόνο δύο βασικές πληροφορίες, τη θέση του δορυφόρου

και την ώρα κατά την οποία το σήμα στάλθηκε με ακρίβεια. Ο δέκτης πρέπει να έχει οπτική επαφή με τουλάχιστον 4 δορυφόρους ανά πάσα στιγμή, κάτι που είναι δυνατό εάν δεν υπάρχουν πολύ μεγάλα κτίρια, γέφυρες ή σήραγγες.

Όσο αναφορά στις αγροτικές δραστηριότητες, το GPS κάνει το όργωμα πολύ πιο εύκολο, καθώς βοηθά τους αγρότες να οργώνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια σύμφωνα με τις προδιαγραφές της καλλιέργειας. Η μεταφύτευση και η γονιμοποίηση των σπόρων με καθοδήγηση GPS γίνεται πιο αποτελεσματική, μιας και οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται με ακρίβεια στα σωστά σημεία.. Με το GPS ο ιδιοκτήτης χαρτογραφεί το ακίνητό του με απόλυτη ακρίβεια, ταχύτητα και ευκολία. Ως εκ τούτου, σταματά να βασίζεται σε οπτικά σημάδια ορίων, όπως σημάδια σε σίδερα, ρυάκια ή τοπία με παλιά καρφιά, τα οποία είναι αναξιόπιστα. Μια επέκταση του χάρτη είναι η geofencing, η οποία δίνει τη δυνατότητα καθορισμού ψηφιακών ορίων, έτσι ώστε αν ο αγρότης βρεθεί έξω από τα όρια της γης του να ειδοποιηθεί αυτόματα. Αυτό θα βοηθήσει τους αγρότες να επικεντρωθούν μόνο σε αποτελεσματικά καθήκοντα και θα δώσει ανάπτυξη στον γεωργικό κλάδο, αποτρέποντας παράλληλα τις συγκρούσεις μεταξύ ιδιοκτητών γειτονιών.



Σχήμα 2.8 GPS για τρακτέρ

2.1.2. Wearables

Τα wearables αποτελούν μια κατηγορία ηλεκτρονικών συσκευών που φοριούνται από τον χρήστη και συνήθως συνδέονται με ένα smartphone ή άλλη συσκευή για τη μεταφορά και ανάλυση δεδομένων. Στην έξυπνη γεωργία τα wearables μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη

συλλογή και ανάλυση δεδομένων που σχετίζονται με την υγεία και τη συμπεριφορά των ζώων, την παρακολούθηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του εδάφους, καθώς και την παρακολούθηση της παραγωγικότητας των φυτών. Επεκτείνονται αργά και σταδιακά σε παγκόσμιο επίπεδο και πλέον η φορητή τεχνολογία παρέχει πλατφόρμες για την προσέλκυση καταναλωτών και επιχειρήσεων. Εταιρείες τεχνολογίας, λιανοπωλητές, διαφημιστικές πλατφόρμες και σχεδιαστές διερευνούν νέες ιδέες για την κατασκευή έξυπνων wearables που μπορούν να ωφελήσουν ένα ευρύ φάσμα χρηστών.

Τα έξυπνα επαυξημένα γυαλιά είναι ένα παράδειγμα φορητής τεχνολογίας και δείχνουν πραγματικές πληροφορίες στους αγρότες, όπως ο άνεμος και ο χρόνος που απομένει στο νερό, χωρίς να απαιτείται οθόνη υπολογιστή ή κάποιο κινητό τηλέφωνο. Τα έξυπνα ρολόγια είναι επίσης κατάλληλα για την παρακολούθηση της κατάστασης των φυτών. Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν smartwatches με ενσωματωμένους αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του επιπέδου ηλιακής ακτινοβολίας στο χωράφι. Ο αγρότης μπορεί να φοράει το smartwatch του κατά τη διάρκεια της εργασίας του στο χωράφι και να παρακολουθεί τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να ελέγχει την κατάσταση των φυτών και να αντιδράσει γρήγορα σε οποιαδήποτε αλλαγή που ενδέχεται να επηρεάσει την παραγωγή. Επιπλέον, ο αγρότης μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα για να προσαρμόσει τις πρακτικές του στο χωράφι και να βελτιώσει την παραγωγή του.



Σχήμα 2.9 Smartwatch

2.1.3. Drones

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στη βιομηχανία των drones έχουν ανοίξει νέους ορίζοντες στην αγροτική παραγωγή. Συγκεκριμένα, τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες λειτουργίες, όπως η πρόβλεψη του καιρού, η καταγραφή υψομέτρων σε ένα περιβάλλον και η παρακολούθηση των καλλιεργειών. Όσο αναφορά στην παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών, οι αισθητήρες στα drones μπορούν να ανιχνεύσουν τα σημάδια ξηρασίας ή ασθενειών στα φυτά. Με αυτόν τον τρόπο, οι αγρότες μπορούν να πάρουν ένα ακριβές μέτρο για το πότε και πόσο νερό θα πρέπει να χορηγήσουν στις καλλιέργειές τους, για την εφαρμογή λιπασμάτων καθώς και για τον ψεκασμό φυτοφαρμάκων που εμποδίζουν την εξάπλωση ασθενειών των καλλιεργειών (Yallappa, et al., 2017).

Επιπλέον, εάν προστεθούν περισσότεροι αισθητήρες στο drone, μπορεί να παρέχει ακριβείς καιρικές προβλέψεις.

Χρησιμοποιώντας ένα drone, εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα μπορούν να ψεκαστούν στο αγρόκτημα σε πολύ λιγότερο χρόνο. Η παρακολούθηση των καλλιεργειών (Reinecke & Prinsloo, 2017), ο γεωργικός χάρτης, η φωτογραμμετρία γης, η έρευνα και η συλλογή δεδομένων μπορούν να γίνουν με τη βοήθεια μιας κάμερας. Δεδομένου ότι η γη είναι πολύ μεγάλη και τα drones διευκολύνουν τη διατήρηση του φυτού ανά πάσα στιγμή, βοηθούν στη χαρτογράφηση και στη σωστή συλλογή όλων των πληροφοριών. Η άρδευση μπορεί να γίνει πλέον με πολύ εύκολο τρόπο σύμφωνα με τις ανάγκες της κάθε περίπτωσης. Για να αναπτυχθούν τα φυτά, πρέπει γίνει μια σειρά πολλών διαφορετικών διαδικασιών. Με τη βοήθεια των drones, η διαχείριση του νερού και του ψεκασμού είναι πιο εύκολη από κάθε άλλη φορά, όπως ειπώθηκε παραπάνω τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψεκαστήρες.

Η εύρεση καλής τοποθεσίας φύτευσης και οι ιδανικές καιρικές συνθήκες ορισμένων φυτών έχει γίνει επίσης πολύ πιο εύκολη. Το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε drones για να βρει ένα μέρος ιδανικό για τη φύτευση διαφορετικών ειδών. Για να προετοιμαστεί και να προηγηθεί ένα drone στον ουρανό πρέπει πρώτα έχει γίνει μελέτη για το πόσο μεγάλα και πυκνά είναι τα φυτά.

Η χρήση drones στη σπορά και διασπορά φυτών έχει αναδειχθεί ως μια αποτελεσματική και αποδοτική μέθοδος, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση προβλημάτων και στην εξοικονόμηση πολύτιμου χρόνου. Η χρήση τους είναι πολύ πιο φιλική προς το περιβάλλον από τις παραδοσιακές μεθόδους, καθώς μειώνει την ανάγκη χρήσης φυτοφαρμάκων και αυξάνει

την αποτελεσματικότητα της αναπαραγωγής των φυτών. Ένα drone ψεκασμού σπόρων έχει πολλές λειτουργίες, όπως ψεκασμό, διασπορά καθώς και αφαίρεση σκόνης.

Μερικά παραδείγματα όπου μπορούν να χρησιμοποιήσουν drones για τη σπορά και διασπορά φυτών είναι τα εξής:

Σπορά με ακρίβεια: Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν drones για την ακριβή σπορά στα χωράφια, ελέγχοντας την απόδοση της σποράς και εξασφαλίζοντας ομοιόμορφο ανάπτυγμα των φυτών.

Φύτευση δασών: Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν drones για τη διασπορά φυτών σε μεγάλες εκτάσεις για την αναδάσωση και την αποκατάσταση του εδάφους.

Παρακολούθηση της υγείας των φυτών: Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν drones για να παρακολουθήσουν την υγεία των φυτών τους, ελέγχοντας την ανάπτυξη τους, την ποιότητα του εδάφους και των φυτοφαρμάκων και την υγρασία του εδάφους.

Αποτίμηση καλλιεργειών: Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν drones για να αποτιμήσουν την παραγωγή των καλλιεργειών τους, μειώνοντας το χρόνο και την κόπωση που απαιτούνται για την εκτίμηση με τα παραδοσιακά μέσα.

Οι συσκευές υπερήχων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε Drones για να κρατήσουν τα έντομα έξω. Τα ζώα και τα έντομα ακούν ήχους με μεγάλη ταχύτητα. Κατά μέσο όρο, οι υπερηχητικές συσκευές εκπέμπουν συχνότητα 65.000 Hz η οποία, σύμφωνα με τους κατασκευαστές υπερηχητικών ελέγχων φυτοφαρμάκων, απωθεί τα έντομα. Με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών που τραβήχτηκαν από drones, οι αγρότες μπορούν να βρουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα φυτά, και να υπάρξει αναδιάταξη των διαδικασιών για καλύτερο αποτέλεσμα.



Σχήμα 2.10 Drone ραντίσματος[Text Wrapping Break]

2.2. Υπολογιστές

Οι εφαρμογές IoT απαιτούν από τους υπολογιστές να επεξεργάζονται τον τεράστιο όγκο δεδομένων που παράγονται από αισθητήρες. Οι επιτραπέζιοι υπολογιστές πρέπει να διαθέτουν ισχυρή επεξεργαστική ισχύ, η οποία μπορεί να επεξεργαστεί τον τεράστιο όγκο δεδομένων που συλλέγονται, χρησιμοποιώντας λογισμικό επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων. Στη συνέχεια, οι πληροφορίες μοιράζονται μέσω ενός δικτύου, το οποίο λειτουργεί ως διακομιστής.

Με τον τρόπο αυτό, οι υπηρεσίες Ανάλυσης Μεγάλων Δεδομένων χρησιμοποιούν υπολογιστές υψηλής επεξεργαστικής ισχύος για τη συγκέντρωση δεδομένων, την εκτέλεση υπολογισμών και την απάντηση στις ερωτήσεις των χρηστών σε δευτερόλεπτα, χωρίς την ανάγκη βαριάς επεξεργασίας από την πλευρά του χρήστη. Οι χρήστες από συσκευές με σύνδεση στο διαδίκτυο, όπως smartphone, tablet, laptop ή Raspberry Pie έχουν πρόσβαση στα δεδομένα τους μέσω του ιστότοπου ή της εφαρμογής της πλατφόρμας Big Data Analytics, η οποία τους συνδέει με τα προσωπικά τους στοιχεία χωρίς να χρειάζεται να αγοράσουν επιπλέον εργαλεία ή να αλλάξουν τις συσκευές τους.

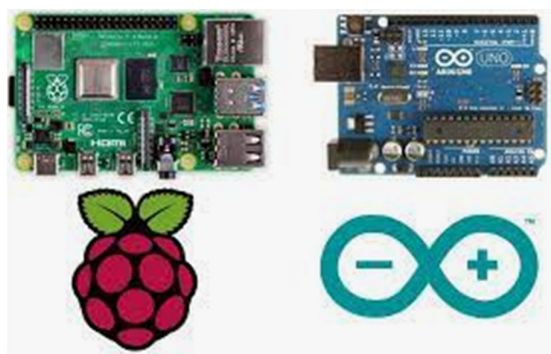
2.3. Πλακέτες

Οι αισθητήρες IoT μπορούν να λειτουργήσουν μονάχα εάν συνδεθούν με ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, μια γνωστή πλακέτα. Οι πλακέτες των εφαρμογών IoT ποικίλλουν σε ισχύ επεξεργασίας, μνήμη, τύπο υποδοχών για αισθητήρες, μέγεθος, θύρες εισόδου-εξόδου, μέγεθος, και κόστος εκπαίδευσης. Υπάρχουν πίνακες που λειτουργούν σε πολύ περίπλοκες καταστάσεις, όπως ο αυτοματισμός της πόρτας γκαράζ που αναβοσβήνει περιοδικά.

Ο πιο δημοφιλής πίνακας ανάπτυξης εφαρμογών IoT είναι ο Arduino. Στο Arduino, ο χρήστης φορτώνει κώδικα που του επιτρέπει να αντιδράσει σε δεδομένα που παρέχονται από αισθητήρες εισόδου, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιήσει αισθητήρες εξόδου, όπως μία οθόνη μήτρας, και να γράψει προγράμματα για τη λήψη ενεργειών βάσει των δεδομένων που λαμβάνονται από αυτούς τους αισθητήρες. Στη συνέχεια εκτελεί συνεχώς τον κώδικα έως ότου σταματήσει η ισχύς Arduino ή ο χρήστης φορτώσει κάποιο διαφορετικό κωδικό. Η κύρια διαφορά μεταξύ του Arduino και των κλασικών υπολογιστών είναι ότι, επειδή δεν διαθέτει λειτουργικό σύστημα, σε αντίθεση με τους υπολογιστές που έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν πολλά προγράμματα ταυτόχρονα, μπορούν να εκτελούν μόνο ένα πρόγραμμα κάθε φορά.

Το Arduino είναι πολύ διαδεδομένο επειδή έχει ανοιχτό κώδικα, πολύ οικονομική, ανθεκτική κατασκευή, μικρό μέγεθος, είναι στον κώδικα λήψης C++ και οι δυνατότητές του μπορούν να επεκταθούν με πρόσθετες μονάδες θωράκισης όπως πομποδέκτες Wi-Fi και Bluetooth. Δεδομένου ότι είναι ένας υπολογιστής μεγέθους πιστωτικής κάρτας, μια εναλλακτική λύση που είναι υψηλού κόστους αλλά εξακολουθεί να έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά είναι το Raspberry Pie.

Το Raspberry Pie τρέχει έναν ισχυρό επεξεργαστή, μεγάλη μνήμη, μερικά gigabyte αποθήκευσης, Bluetooth, USB, Ethernet, θύρες HDMI, υποδοχές για αισθητήρες, Wi-Fi και ένα λειτουργικό σύστημα Raspian που βασίζεται στο Unix. Χρησιμοποιείται κυρίως για πολύπλοκες εφαρμογές που απαιτούν παραλληλισμό, όπως ένας εγκέφαλος ρομπότ ή ένας διακομιστής ιστού. Το Raspberry Pie έχει διαφορετικές εκδόσεις που κυμαίνονται από οικονομικά μοντέλα με σχετικά λίγους πόρους και δυνατότητες έως τα πιο εξελιγμένα και πιο ακριβά μοντέλα που μπορούν να αντικαταστήσουν τον υπολογιστή σε ορισμένες περιπτώσεις.



Σχήμα 2.11 Raspberry Pie και Arduino

2.4. Software

Στη βιομηχανία ευφυούς γεωργίας, το Internet of Things χρησιμοποιεί λογισμικό που παρακολουθεί ένα ευρύ φάσμα μεγάλων δεδομένων, το οποίο παρέχει κρίσιμες πληροφορίες για το έδαφος σε πραγματικό χρόνο, ώστε οι αγρότες να μπορούν να ενεργούν γρήγορα και αποτελεσματικά. Το λογισμικό που βασίζεται στην έξυπνη καλλιέργεια επιτρέπει τη χρήση συστημάτων λήψης αποφάσεων. Διαφορετικές παραμέτρους πεδίου, όπως το νερό του εδάφους και το φως του ήλιου, επιτρέπουν την εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών καλλιέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο, γεγονός που βελτιώνει τον όγκο και την ποιότητα της παραγωγής. Παρακάτω αναλύουμε τα μεγάλα δεδομένα και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων,

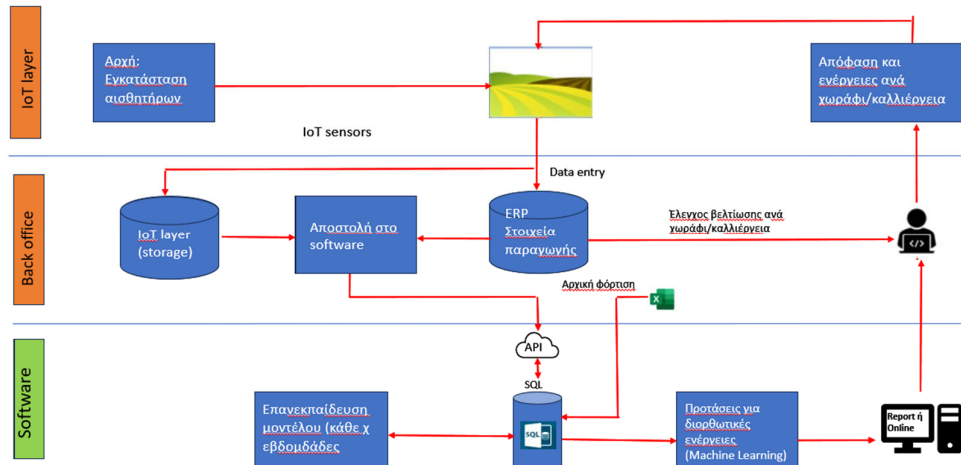
εστιάζοντας σε νέους ορίζοντες που ξεκλειδώνουν την αξιοπιστία και τη χρήση των δεδομένων στον κορυφαίο τομέα.

Τα τελευταία χρόνια, η γεωργία έχει επωφεληθεί από προηγμένες τεχνολογικές δυνατότητες και έχει ανοίξει νέους ορίζοντες για τους αγρότες μέσω καινοτόμων γεωργικών μεθόδων που προσφέρουν σημαντικά οφέλη, βελτιώνουν την ποιότητα και μειώνουν το κόστος. Οι συνθήκες στα γεωργικά μηχανήματα είναι ιδιαίτερα δύσκολες λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, των κραδασμών, της σκόνης και του λαδιού συντήρησης .

Η γεωργία ακριβείας είναι ένα σύστημα γεωργικής παρακολούθησης που βασίζεται σε δεδομένα που συλλέγονται, αναλύονται και τελικά οδηγούν σε λήψεις αποφάσεων.

Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) αποτελούν μέρος ενός έργου γεωργίας ακριβείας που επιτρέπει στους αγρότες να ξεπεράσουν πολύπλοκες προκλήσεις καλλιεργειών χρησιμοποιώντας δεδομένα και βέλτιστες επιστημονικές τεχνικές. Τα DSS συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την παροχή νερού, την κλιματική κατάσταση, τη γενετική, τη μορφολογία του εδάφους, την ενέργεια, το υγρό και το άζωτο και τους ανθρώπινους πόρους. Εκτός από τα δεδομένα αισθητήρων, χρησιμοποιούν δεδομένα από συστήματα γεωεντοπισμού όπως GIS, GLONASS, αεροφωτογραφίες από drones και εικόνες από δορυφόρους Sentinel.

Τα συστήματα υποστήριξης πρέπει να διαθέτουν τα πιο σύγχρονα εργαλεία για να ανταποκριθούν στις πραγματικές απαιτήσεις του σήμερα και ταυτόχρονα να είναι εύχρηστα και ευέλικτα, ώστε ο γεωργός να μπορεί να τα προσαρμόσει στις ανάγκες των καλλιεργειών του. Ένα παράδειγμα DSS είναι αισθητήρες με οθόνες σε συνδεδεμένες περιοχές του Διαδικτύου που μεταδίδουν πληροφορίες σχετικά με την ψύξη του εδάφους, τη θερμοκρασία, την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου, το φως του ήλιου και τη βροχή. Αυτά τα δεδομένα παρουσιάζονται σε όλες τις δραστηριότητες από τις οθόνες που εμφανίζονται στο κινητό, στον υπολογιστή ή στο tablet του αγρότη.



Σχήμα 2.12 Διάγραμμα ροής DSS

Τέλος ένα άλλο παράδειγμα είναι οι βασικοί τομείς για τη διαχείριση και επεξεργασία των καλλιεργειών, οι οποίοι βοηθούν τους αγρότες να αυξήσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών, να μειώσουν τις τιμές των λιπασμάτων και να προστατεύσουν το περιβάλλον. Με βάση αυτές τις δραστηριότητες, οι αγρότες χρησιμοποιούν προϊόντα ακριβείας σε κάθε χωράφι και στο στάδιο ανάπτυξης εφαρμόζουν μια πολυεπίπεδη ανάλυση παραγωγής που βελτιώνει τη λίπανση.

3

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

3.1. Πρωτόκολλα Επικοινωνίας στην Έξυπνη Γεωργία

Το πρωτόκολλο αποτελεί ένα σύνολο κανόνων και διαδικασιών που καθορίζουν την επικοινωνία μεταξύ διαφόρων συσκευών ή υπολογιστικών συστημάτων σε ένα δίκτυο. Καθορίζουν τις λειτουργίες που μπορούν να εκτελέσουν οι συσκευές, τις εντολές που μπορούν να ανταλλάξουν και τον τρόπο που θα γίνεται η επικοινωνία.

Στην Έξυπνη Γεωργία, χρησιμοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα για τη διαχείριση δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και του cloud. Τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά μηνυμάτων μεταξύ συσκευών στο διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Είναι ένα πρωτόκολλο ελαφρύ και αξιόπιστο, που επιτρέπει στις συσκευές να ανταλλάσσουν δεδομένα με ασφάλεια και ευκολία.



Σχήμα 3.1 MQTT logo

XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol): Το XMPP είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά μηνυμάτων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαφόρων συσκευών και εφαρμογών. Χρησιμοποιείται συνήθως για την ανταλλαγή μηνυμάτων ή την παρακολούθηση της παρουσίας συσκευών και αισθητήρων στο δίκτυο. Στην Έξυπνη Γεωργία, το XMPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία μεταξύ

διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης αισθητήρων και εφαρμογών ελέγχου, για την παρακολούθηση και έλεγχο των συνθηκών του περιβάλλοντος και των φυτών.



Σχήμα 3.2 XMPP logo

CoAP (Constrained Application Protocol): Το CoAP είναι ένα πρωτόκολλο διαδικτύου που είναι σχεδιασμένο για τις συσκευές IoT με περιορισμένους πόρους. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη μεταφορά δεδομένων αισθητήρων και συσκευών πράγματος (IoT) στο διαδίκτυο. Μπορεί να λειτουργήσει πάνω από διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφοράς, όπως το UDP και το SMS. Η χρήση του CoAP στην Έξυπνη Γεωργία μπορεί να βοηθήσει στη συλλογή και τη μεταφορά δεδομένων από αισθητήρες στο διαδίκτυο.



Σχήμα 3.3 CoAP logo

ZigBee: Το πρωτόκολλο ZigBee είναι ένα ασύρματο πρωτόκολλο δικτύωσης που χρησιμοποιείται συνήθως για την επικοινωνία μικρο-ελεγκτών και αισθητήρων σε εφαρμογές IoT. Το πρωτόκολλο ZigBee λειτουργεί στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων με το WiFi (2,4 GHz), αλλά χρησιμοποιεί μικρότερη ενέργεια και έχει μεγαλύτερη απόσταση κάλυψης. Το ZigBee είναι ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, όπως στην Έξυπνη Γεωργία, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση αισθητήρων που επιτρέπουν την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους, της θερμοκρασίας και της ποιότητας του αέρα.



Σχήμα 3.4 Zigbee logo

Bluetooth: Το Bluetooth είναι ένα ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται ευρέως για τη σύνδεση συσκευών που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο τύπο ραδιοκυμάτων για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των συσκευών και λειτουργεί στη συχνότητα των 2.4 GHz. Στην Έξυπνη Γεωργία, το Bluetooth μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ασύρματη σύνδεση συσκευών όπως αισθητήρες, συσκευές παρακολούθησης ζώων, κλπ. Με αυτό τον τρόπο, μπορούν να μεταδίδονται δεδομένα σε ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης ή ελέγχου. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση φορητών συσκευών, όπως smartphones ή tablets, με συσκευές στο περιβάλλον, όπως είναι πχ οι αισθητήρες



Σχήμα 3.5 Bluetooth logo

Δίκτυο 5G & Ανίχνευση στην Έξυπνη Γεωργία

4.1. Δίκτυο 5G

Οι τρέχουσες τεχνολογίες επικοινωνίας δικτύου, όπως το 3G/4G, το WiFi, το LoRAWAN και το NB-IOT, έχουν περιορισμένη διαθεσιμότητα και εύρος ζώνης, προκαλώντας καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων και εμποδίζοντας την αποτελεσματική μεταφορά δεδομένων (Dangi et al., 2022). Για τις ανάγκες της έξυπνης γεωργίας, απαιτείται πρόσθετη χωρητικότητα λόγω του αυξανόμενου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών. Για παράδειγμα, ένας αγρότης που ενημερώνεται από μια εφαρμογή στο smartphone του για τα επίπεδα υγρασίας του εδάφους, βασισμένος σε δεδομένα από αισθητήρες εδάφους και ταυτόχρονα ειδοποιείται για έντονες βροχοπτώσεις την ίδια ημέρα από αναλυμένα καιρικά δεδομένα, πρέπει να λάβει γρήγορα απόφαση σχετικά με τα τμήματα του χωραφιού που δεν χρειάζονται πρόσθετη άρδευση.

Στις αγροτικές περιοχές, κάθε καθυστέρηση ή απώλεια σύνδεσης μεταξύ αισθητήρων, συσκευών ή διακομιστών δεδομένων επηρεάζει απευθείας τις γεωργικές δραστηριότητες. Για αυτό το λόγο, η γεωργία ακριβείας απαιτεί την άμεση ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να υποστηρίξει τους γεωργούς στη λήψη αποφάσεων κατά τις καθημερινές τους δραστηριότητες. Επιπλέον, η αξιόπιστη και ασφαλής ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ αισθητήρων και συσκευών είναι επιτακτική.

Η τεχνολογία της Έξυπνης Γεωργίας απαιτεί υψηλής ταχύτητας συνδεσιμότητα, καθώς ο αριθμός των συσκευών IoT που χρησιμοποιούνται αυξάνεται διαρκώς. Επομένως, η χρήση τρέχοντων 3G / 4G συνδέσεων αντιμετωπίζει προβλήματα στον χειρισμό αυτού του μεγάλου αριθμού συσκευών και απαιτεί τη χρήση συνδεσιμότητας υψηλής ταχύτητας.

Η ψηφιακή γεωργία αποτελεί μια σειρά τεχνολογικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται σε όλη την αλυσίδα της αγροτικής παραγωγής ή σε όλες τις δραστηριότητες του πρωτογενούς τομέα. Στόχος της είναι η βελτίωση της παραγωγής τροφίμων μέσω της συλλογής,

αποθήκευσης, ανάλυσης και ανταλλαγής πληροφοριών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η γεωργία, αν και δεν περιλαμβάνει την κτηνοτροφία, την αλιεία και άλλες δραστηριότητες του πρωτογενούς τομέα, συνδέεται άμεσα με τη χωρική διάσταση, αφού ασκείται σε συγκεκριμένες περιοχές. Επιπλέον, η γεωργική παραγωγή παρουσιάζει περιφερειακές διακυμάνσεις λόγω των διαφορετικών συντελεστών που επηρεάζουν την παραγωγή, όπως το έδαφος και το κλίμα, που διαφέρουν από τόπο σε τόπο.

Εξ αυτών, οι γεωργικές δραστηριότητες είναι ποικίλες και εξευγενίζονται από τόπο σε τόπο. Οι ψηφιακές τεχνολογίες που διαχειρίζονται πλήρως ικανοποιητικά τη χωρική διάσταση της γεωργίας και του πρωτογενούς τομέα γενικότερα είναι τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) ή η Γεωπληροφορική. Όλα τα δεδομένα που ορίζονται ως γεωχωρικά, επειδή συνδυάζονται με συντεταγμένες, μεταφέρονται με οποιοδήποτε τεχνολογικό μέσο από όπου λαμβάνονται. Είτε προέρχονται από γεωλογικούς και εναέριους αισθητήρες μετεωρολογικών και εδαφικών παραμέτρων, ορατούς - αόρατους - υπέρυθρους, θερμικούς, δορυφόρους, drones, ασύρματα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών - κινητά, ευρυζωνικά, χαμηλής ισχύος, δίκτυα ευρείας περιοχής, είτε από αναλυμένα δεδομένα, τοπολογικές αναλύσεις, χωρικές στατιστικές αναλύσεις και χωρική μοντελοποίηση.

Όσοι ασχολούνται με γεωργικές δραστηριότητες γνωρίζουν πάντα τις περιφερειακές διαφορές στην αγροτική παραγωγή, προσπαθούν να τις κατανοήσουν και να τις εξηγήσουν και στη συνέχεια να εφαρμόσουν κάθε γεωργική δραστηριότητα με ακρίβεια - πού (περιφερειακή), πότε (χρονική) και με ποια ένταση ή ποσότητα (ποσοτική) ειδικότερα. Η χωροχρονική και ποσοτική ακρίβεια βελτιώνεται συνεχώς, καθώς οι τεχνολογίες αισθητήρων πληροφοριών και τα συστήματα λήψης χωρικών αποφάσεων εξελίσσονται και παρέχουν γεωχωρικά δεδομένα υψηλής ποιότητας. Τα δεδομένα αυτά υπόκεινται σε αναλυτική επεξεργασία, τοπολογικές αναλύσεις, χωρικές στατιστικές αναλύσεις και χωρική μοντελοποίηση, με στόχο την παραγωγή πληροφοριών που βελτιώνουν την κατανόηση του χώρου και του χρόνου. Μετά την επεξεργασία τους, αυτές οι πληροφορίες εξέρχονται από τις γεωγραφικές βάσεις και χρησιμοποιούνται για τη λήψη χωρικών αποφάσεων.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της βελτίωσης είναι η ραγδαία αύξηση του όγκου των ψηφιακών γεωχωρικών δεδομένων που μετακινούνται από και προς το πεδίο. Αυτή η συλλογή σε πραγματικό χρόνο και η αμφίδρομη διάδοση ψηφιακών γεωχωρικών πληροφοριών (IoT - Georgia 4.0) και η εφαρμογή του Agriculture 5.0 (Τεχνητή Νοημοσύνη και Ρομποτική) υπήρξαν βασικοί σύμμαχοι στην καταλυτική συμβολή της τεχνολογίας 5G.

Έξυπνοι αισθητήρες, αυτόνομα τρακτέρ και drones ψεκασμού είναι σήμερα παραδείγματα ψηφιοποίησης της αγροδιατροφικής βιομηχανίας, που χρησιμοποιούνται με στόχο να ολοκληρωθούν βιώσιμα συστήματα τροφίμων. Αυτός ο ψηφιακός μετασχηματισμός περιλαμβάνει μία ή περισσότερες τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα Μεγάλα Δεδομένα, το Blockchain, το Digital Twin και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από αλγόριθμους Τεχνητής Νοημοσύνης (AI). Το IoT, για παράδειγμα, θεωρείται πραγματικός παράγοντας αλλαγής στο αγροδιατροφικό σύστημα, καθώς μπορεί να βελτιώσει δραστικά την παραγωγικότητα και τη βιωσιμότητα (Verdouw et al., 2016b).

Η παραγωγικότητα δεν αυξάνεται μόνο με την αυτοματοποίηση της εργασίας στο χωράφι, αλλά και μέσω της βελτίωσης της λήψης αποφάσεων βασισμένων σε δεδομένα καλλιέργειας, προϊόντος και ιχνηλασιμότητας σε πραγματικό χρόνο. Αυτό εφαρμόζεται σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων και συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας των προϊόντων (<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/traceability-data>). Η τεχνολογία αλυσίδας συστοιχιών στα συστήματα βιολογικών τροφίμων για παράδειγμα, μπορεί να βελτιώσει την ιχνηλασιμότητα της χρήσης φυτοφαρμάκων και τη διαφάνεια των πληροφοριών για τα τρόφιμα και της θέσης των προϊόντων, καθώς τα είδη διατροφής μετακινούνται μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού από το αγρόκτημα στο πιάτο (Hiltner, 2020).

Στο αγρόκτημα, η συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις καλλιέργειες, το ζωικό κεφάλαιο, το χωράφι, το έδαφος και το περιβάλλον (καιρός και νερό) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο από τους αγρότες για καλύτερη λήψη αποφάσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν απαιτείται καν χειροκίνητος έλεγχος των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα πλήρως αυτοματοποιημένα κλιματικά συστήματα που εφαρμόζονται σε θερμοκήπια (Li et al., 2021). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται συστήματα κυβερνο-φυσικής διαχείρισης (CPMS). Τα CPMS είναι ενσωματωμένοι υπολογιστές και δίκτυα που παρακολουθούν και ελέγχουν φυσικές διεργασίες, παρέχοντας παράλληλα δεδομένα για υπολογισμούς και αναλύσεις και αντίστροφα σε τρεις φάσεις (Lee & Seshia, 2017, Wolfert et al., 2014). Η πρώτη φάση «Παρακολούθηση» (με τη χρήση αισθητήρων για δεδομένα σχετικά με την κατάσταση των καλλιεργειών ή την υγεία των ζώων) και η δεύτερη φάση «Ανάλυση και προγραμματισμός» (των γεωργικών δραστηριοτήτων) εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στις εκμεταλλεύσεις. Εάν αυτοί οι τύποι

γεωργικών συστημάτων χρησιμοποιούσαν την πλήρη τεχνολογική ικανότητα ενός CPMS, η τρίτη φάση της πλήρους κλίμακας έξυπνου ελέγχου των εκμεταλλεύσεων θα μπορούσε ακόμη και να περιλαμβάνει πλήρως αυτόνομες και τηλεχειριζόμενες εκμεταλλεύσεις που χρησιμοποιούν ρομποτική (Millard et al., 2019).

Μια κρίσιμη τεχνολογική προϋπόθεση για τη διευκόλυνση αυτού του ψηφιακού μετασχηματισμού είναι η μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ, για παράδειγμα, αισθητήρων εδάφους, νερού ή καιρού και ψηφιακών εργαλείων ή ρομποτικών συσκευών που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων για τον γεωργό. Η μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο απαιτεί συνεχή επικοινωνία δεδομένων, η οποία με τη σειρά της απαιτεί συνδέσεις δεδομένων υψηλής ταχύτητας.

Ο γενικός όρος «5G» αντιπροσωπεύει τις νέες τεχνολογίες επικοινωνίας πέμπτης γενιάς που εξασφαλίζουν χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, υψηλότερες ταχύτητες ανερχόμενης ζεύξης και λήψης και μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών. Τα φάσματα μεταξύ 2,4 και 3,5 GHz έχουν παρόμοια κάλυψη με το τρέχον δίκτυο μακροπρόθεσμης εξέλιξης (LTE), τη λεγόμενη μεσαία ζώνη 5G. Υψηλότερες ταχύτητες επιτυγχάνονται με τη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων, π.χ. 3,5 GHz ή υψηλότερες. Η έλλειψη σταθερής και ισχυρής ασύρματης σύνδεσης στις αγροτικές περιοχές θα μπορούσε να επιλυθεί με αυτήν τη συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας και χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (Dangi et al., 2022).

Η συνεχής ανάπτυξη των τεχνολογιών 5G και 6G υπόσχεται να παρέχει αυτόν τον τύπο συνδεσιμότητας. Σε σύγκριση με το 5G, οι εξαιρετικά υψηλοί ρυθμοί δεδομένων και η υψηλή ενεργειακή απόδοση με τη χρήση ευρύτερων φασμάτων είναι μόνο μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το 6G (Abdel Hakeem et al., 2022). Οι τεχνολογίες συνδεσιμότητας έκτης γενιάς συνδυάζουν διαφορετικά επίπεδα, συμπεριλαμβανομένου του διαστήματος, του εδάφους, του αέρα, του υποβρύχιου και του υπόγειου (AbdelSalam, 2020).

Τον Απρίλιο του 2019 η Νότια Κορέα ήταν η πρώτη χώρα που υιοθέτησε το 5G σε μεγάλη κλίμακα. Η GSMA, ο βιομηχανικός οργανισμός Global System for Mobile Communications που εκπροσωπεί τα συμφέροντα των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως, αναμένει ότι το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού θα έχει πρόσβαση σε 5G μέχρι το 2025, σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρείας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η κάλυψη των δικτύων 5G εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Κάποιοι από αυτούς είναι η χρηματοδότηση, η πολιτική υποστήριξη και η ετοιμότητα των εταιρειών τηλεπικοινωνιών.

Τα τελευταία παγκόσμια δεδομένα για το φάσμα που κατανέμεται στο 5G δείχνουν ότι έχουν αναπτυχθεί περισσότερα δίκτυα και περισσότερες συσκευές 5G γίνονται εμπορικά διαθέσιμες (GSA, 2021). Οι εφαρμογές του 5G σε εφοδιαστικές αλυσίδες και περιβάλλοντα κατασκευής περιλαμβάνουν κινητά ρομπότ στην παραγωγή, αυτόνομα οχήματα στις μεταφορές και τα logistics, Βιομηχανικό IoT (IIoT), εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας για τεχνικούς σέρβις και συντήρησης και εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας για χρήστες (Industrial 5G. Voor de industrie van morgen, n.d.). Άλλα παραδείγματα υπάρχουν στην αυτοκινητοβιομηχανία, τους σιδηροδρόμους, την υγεία, τις δημόσιες υπηρεσίες και την εκπαίδευση (Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ, 2019).

Αλλά παρόλο που οι υπηρεσίες 5G γίνονται πλέον διαθέσιμες παγκοσμίως, αυτές οι εφαρμογές εξακολουθούν να είναι αρκετά νέες. Αν και ο ψηφιακός μετασχηματισμός λαμβάνει χώρα στον αγροδιατροφικό τομέα, ο αντίκτυπος του 5G στα συστήματα γεωργίας και τροφίμων μένει να φανεί. Τα περιορισμένα παραδείγματα εφαρμογής του 5G στη γεωργία και τα συστήματα τροφίμων δεν έχουν ερευνηθεί μέχρι στιγμής για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις.



Σχήμα 4.1 Δίκτυο 5G στην έξυπνη γεωργία

4.2. Έξυπνη ανίχνευση στη γεωργία

Τα τελευταία χρόνια, η γεωργία έχει μετατραπεί από ένα σχετικά συντηρητικό σύνολο πολιτιστικών πρακτικών σε μια δυναμική βιομηχανία που παράγει τρόφιμα και άλλα βιοϊλικά σε μια εξαιρετικά ανταγωνιστική αγορά. Τα απρόβλεπτα καιρικά μοτίβα και οι ανησυχίες του κοινού σχετικά με τη βιωσιμότητα της προσφοράς τροφίμων και το περιβάλλον παρακινούν τους αγρότες και άλλες αγροτικές επιχειρήσεις να εξετάσουν διάφορες τεχνολογικές εξελίξεις. Έτσι, οι εξελίξεις στη γεωργία ακριβείας και η σχετική επιστημονική έρευνα οδηγούν σε νέα μέσα διαχείρισης των καλλιεργειών και των ζώων με πιο αποτελεσματικό και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Πολλές αναδυόμενες πρακτικές βασίζονται σε νέους αισθητήρες και νέες εφαρμογές αισθητήρων για να καταστήσουν αυτόν τον στόχο εφικτό και οικονομικά βιώσιμο.

Η Έξυπνη Γεωργία, γνωστή και ως γεωργία ακριβείας, επιτρέπει στους αγρότες να μεγιστοποιούν τις αποδόσεις χρησιμοποιώντας ελάχιστους πόρους όπως νερό, λίπασμα και σπόρους. Με την ανάπτυξη αισθητήρων και τη χαρτογράφηση των αγρών, οι αγρότες μπορούν να αρχίσουν να κατανοούν τις καλλιέργειές τους σε μικροκλίμακα, να διατηρούν πόρους και να μειώνουν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η Έξυπνη Γεωργία έχει ρίζες που χρονολογούνται από τη δεκαετία του 1980, όταν η δυνατότητα του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS) έγινε προσβάσιμη για μη στρατιωτική χρήση.

Μόλις οι αγρότες απέκτησαν τη δυνατότητα να χαρτογραφήσουν ακριβώς τα χωράφια τους, μπόρεσαν να επιτύχουν αποδοτικότερη χρήση λιπασμάτων και καλύτερο έλεγχο της καταπολέμησης των ζιζανίων, εφαρμόζοντας τις απαραίτητες διαδικασίες μόνο στις περιοχές που το απαιτούσαν. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, οι πρώτοι χρήστες γεωργίας ακριβείας χρησιμοποίησαν την παρακολούθηση της απόδοσης των καλλιεργειών για την παραγωγή λιπασμάτων και συστάσεων διόρθωσης του pH. Καθώς περισσότερες μεταβλητές μπόρεσαν να μετρηθούν και να εισαχθούν σε ένα μοντέλο καλλιέργειας, οι συστάσεις για την εφαρμογή λιπασμάτων, το πότισμα και ακόμη και η συγκομιδή μπόρεσαν να γίνουν πιο ακριβείς για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης.

Μια σειρά τεχνολογιών ανίχνευσης χρησιμοποιούνται πλέον στη γεωργία ακριβείας, παρέχοντας δεδομένα που βοηθούν τους αγρότες να παρακολουθούν και να βελτιστοποιούν τις καλλιέργειες, καθώς και να προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενους περιβαλλοντικούς παράγοντες:

- **Οι αισθητήρες τοποθεσίας** χρησιμοποιούν σήματα από δορυφόρους GPS για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους, του γεωγραφικού μήκους και του υψομέτρου σε απόσταση αναπνοής. Απαιτούνται τουλάχιστον τρεις δορυφόροι για τον τριγωνισμό μιας

θέσης. Η ακριβής τοποθέτηση είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της γεωργίας ακριβείας. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα GPS όπως το NJR (New Japan Radio NJG115xP) είναι ένα καλό παράδειγμα αισθητήρων τοποθεσίας.



Σχήμα 4.2 Αισθητήρας τοποθεσίας

- **Οι οπτικοί αισθητήρες** χρησιμοποιούν το φως για να μετρήσουν τις ιδιότητες του εδάφους. Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν με τη μέτρηση των διαφορετικών συχνοτήτων ανάκλασης του φωτός σε φάσματα εγγύς υπέρυθρου, μέσου υπέρυθρου και πολωμένου φωτός. Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε οχήματα ή εναέριες πλατφόρμες όπως drones ή ακόμα και δορυφόρους. Τα δεδομένα ανάκλασης εδάφους και χρώματος φυτών είναι μόνο δύο μεταβλητές από οπτικούς αισθητήρες που μπορούν να συγκεντρωθούν και να υποβληθούν σε επεξεργασία. Έχουν αναπτυχθεί οπτικοί αισθητήρες για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του εδάφους σε άργιλο, οργανική ύλη και υγρασία. Η εταιρεία Vishay για παράδειγμα, προσφέρει εκατοντάδες φωτοανιχνευτές και φωτοдиодους, ένα βασικό δομικό στοιχείο για οπτικούς αισθητήρες.



Σχήμα 4.3 Αισθητήρας ανίχνευσης

- **Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες** παρέχουν βασικές πληροφορίες που απαιτούνται στη γεωργία ακριβείας. Αυτά είναι το pH και τα επίπεδα θρεπτικών ουσιών στο έδαφος. Τα ηλεκτρόδια αισθητήρων λειτουργούν ανιχνεύοντας συγκεκριμένα ιόντα στο έδαφος. Επί του παρόντος, οι αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε ειδικά σχεδιασμένα "έλικθρα"

βοηθούν στη συλλογή, επεξεργασία και χαρτογράφηση των χημικών δεδομένων του εδάφους.



Σχήμα 4.4 Αισθητήρας ηλεκτροχημικός

- **Οι μηχανικοί αισθητήρες** μετρούν τη συμπίεση του εδάφους ή τη "μηχανική αντίσταση". Χρησιμοποιούν έναν καθετήρα που διεισδύει στο έδαφος και καταγράφει τις δυνάμεις αντίστασης μέσω της χρήσης κυψελών φορτίου ή μετρητών τάσης. Μια παρόμοια μορφή αυτής της τεχνολογίας χρησιμοποιείται σε μεγάλους ελκυστήρες για την πρόβλεψη απαιτήσεων έλξης για εξοπλισμό εμπλοκής στο έδαφος. Οι μετρητές τάσης, όπως το Honeywell FSG15N1A, ανιχνεύουν τη δύναμη που χρησιμοποιείται από τις ρίζες στην απορρόφηση νερού και είναι πολύ χρήσιμοι για αρδευτικές παρεμβάσεις.



Σχήμα 4.5 Αισθητήρας μέτρησης συμπίεσης εδάφους

- **Οι διηλεκτρικοί αισθητήρες υγρασίας εδάφους** αξιολογούν τα επίπεδα υγρασίας μετρώντας τη διηλεκτρική σταθερά (μια ηλεκτρική ιδιότητα που αλλάζει ανάλογα με την ποσότητα υγρασίας που υπάρχει) στο έδαφος.



Σχήμα 4.6 Αισθητήρας διηλεκτρικός

- **Οι αισθητήρες ροής αέρα** μετρούν τη διαπερατότητα του αέρα του εδάφους. Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε μοναδικές θέσεις ή δυναμικά ενώ ο χρήστης βρίσκεται σε κίνηση. Η επιθυμητή έξοδος είναι η πίεση που απαιτείται για την ώθηση μιας προκαθορισμένης ποσότητας αέρα στο έδαφος σε καθορισμένο βάθος. Διάφοροι τύποι ιδιοτήτων του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της συμπίκνωσης, της δομής, του τύπου του εδάφους και του επιπέδου υγρασίας, παράγουν μοναδικές υπογραφές αναγνώρισης.



Σχήμα 4.7 Αισθητήρας ροής αέρα

- **Οι αγροτικοί μετεωρολογικοί σταθμοί** είναι αυτόνομες μονάδες που τοποθετούνται σε διάφορα σημεία σε όλα τα χωράφια καλλιέργειας. Αυτοί οι σταθμοί διαθέτουν συνδυασμό αισθητήρων κατάλληλων για τις τοπικές καλλιέργειες και το κλίμα. Πληροφορίες όπως η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία του εδάφους σε διάφορα βάθη, η βροχόπτωση, η υγρασία των φύλλων, η χλωροφύλλη, η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία του σημείου δρόσου, η διεύθυνση του ανέμου, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ατμοσφαιρική πίεση μετρούνται και καταγράφονται σε προκαθορισμένα τακτά διαστήματα. Αυτά τα δεδομένα συγκεντρώνονται και αποστέλλονται ασύρματα σε ένα κεντρικό καταγραφικό δεδομένων σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα. Η φορητότητά τους και οι μειωμένες τιμές καθιστούν τους μετεωρολογικούς σταθμούς ελκυστικούς για αγροκτήματα όλων των μεγεθών.



Σχήμα 4.8 Αγροτικός μετεωρολογικός σταθμός

Τα GIS (Geographic Information System) Σύστημα Πληροφοριών Γεωγραφικών Πόρων αποτελεί μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση γεωγραφικών δεδομένων. Τα γεωγραφικά δεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες για τη θέση, το σχήμα και τα χαρακτηριστικά των γεωγραφικών αντικειμένων, όπως είναι τα κτίρια, οι δρόμοι, οι ποταμοί και οι λόφοι. Πιο συγκεκριμένα, το ΣΓΠ αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- συλλογή χωρικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή,
- διατήρηση και να ενσωμάτωση χωρικών δεδομένων που συλλέγονται από διάφορες πηγές στο σύστημα GIS,
- ανάκτηση και μετατροπή χωρικών δεδομένων στις απαιτούμενες μορφές,
- ανάλυση δεδομένων για την μετατροπή των δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες και
- ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων που βασίζονται στην πληροφορία.

Η τεχνολογία GIS έχει αναπτυχθεί εκθετικά τις τελευταίες δεκαετίες και θεωρείται πλέον ως ένα πιθανό εργαλείο. Το GIS αλλάζει τον γεωργικό τομέα με θαυμάσιο τρόπο. Οι υπερφασματικές και πολυφασματικές εικόνες που λαμβάνονται χρησιμοποιώντας γεωχωρικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την ανάλυση παραμέτρων όπως η υγεία των καλλιεργειών και η υγρασία του εδάφους. Το GIS χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως είναι η γεωργία, η δασοκομία, η υδρολογία, η περιβαλλοντική προστασία, οι μεταφορές, η αστυνομία και η στρατιωτική ανάλυση. Τα GIS μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων, στην ανίχνευση προβλημάτων, στο σχεδιασμό και στην ανάπτυξη έργων και στη διαχείριση των φυσικών πόρων.

5

Ρομποτική στη Γεωργία

5.1. Farmbot

Μια επιπλέον τεχνολογία που υποστηρίζει την ευφυή γεωργία είναι η ρομποτική. Πολλές γεωργικές εργασίες περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες και τυποποιημένες εργασίες, γεγονός που επιτρέπει την ανάπτυξη διαφόρων ρομποτικών εφαρμογών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το FarmBot.

Το FarmBot είναι ένα έργο γεωργίας CNC ακριβείας ανοιχτού κώδικα που περιλαμβάνει μια μηχανή καλλιέργειας ρομπότ, λογισμικό και τεκμηρίωση, συμπεριλαμβανομένου ενός αποθετηρίου δεδομένων γεωργίας. Τα μηχανήματα της FarmBot χρησιμοποιούν τεχνολογία IoT για να διευκολύνουν τους αγρότες να διαχειρίζονται εξ αποστάσεως τους κήπους τους. Ο Connor Rigby, πρώην μηχανικός ενσωματωμένων συστημάτων στο Farmbot, δημιούργησε μια εφαρμογή Farmbot χρησιμοποιώντας Ruby. Αφού ολοκλήρωσε την απόδειξη της ιδέας, ήξερε ότι χρειαζόταν έναν τρόπο να κάνει την ενσωματωμένη διαδικασία ανάπτυξης πιο αποτελεσματική, αξιόπιστη και ασφαλή. Ο Connor είχε χρησιμοποιήσει το Nerves στο παρελθόν ώντας τακτικός συνεργάτης ανοιχτού κώδικα στο Nerves, οπότε ήξερε ότι η πλατφόρμα θα τον βοηθούσε να επιτύχει αυτούς τους στόχους.

Ειδικότερα, το Nerves Project και αυτό που τελικά έγινε το NervesHub ήταν μια εξαιρετική επιλογή για το Farmbot επειδή:

Τα Nerves υποστηρίζουν άπαχα συστήματα και λειτουργούν καλά σε περιοχές χαμηλού εύρους ζώνης. Ομαδοποιούν ολόκληρες εφαρμογές σε σχετικά μικρά αρχεία όσον αφορά τις εικόνες υλικολογισμικού για πλήρη συστήματα Linux και με τη βοήθεια του Farmbot χρησιμοποιούν το NervesHub για να στείλουν ενημερώσεις πιο γρήγορα. Οι χρήστες με τη σειρά τους μπορούν να κατεβάσουν τα δεδομένα πιο γρήγορα (για λόγους σύγκρισης, μια ενημέρωση Android είναι γενικά περίπου 4 GB, ενώ μια ενημέρωση νευρών μπορεί

να συσκευαστεί σε μόλις 12 MB). Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για χρήστες Farmbot που λειτουργούν σε πιο απομακρυσμένες τοποθεσίες με χαμηλότερο εύρος ζώνης και λιγότερο αξιόπιστη πρόσβαση σε WiFi. Όταν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση στο διαδίκτυο, το NervesHub θα συνδεθεί, θα ελέγξει αν υπάρχει ενημέρωση, και αν χρήζει αναβάθμιση θα πραγματοποιηθεί αυτόματα, εφόσον έχει ήδη ρυθμιστεί στο NervesHub.

Τα Nerves προσθέτουν ευκολία με χαμηλά γενικά έξοδα. Για συσκευές που είναι ήδη συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, η σύνδεση στο Nerves δεν απαιτεί πρόσθετη διαμόρφωση, επειδή το NervesHub είναι συμβατό με την τρέχουσα υποδομή δημόσιου κλειδιού για επικοινωνία συσκευής προς cloud.

Τα Nerves έχουν όλα τα οφέλη του Elixir και του Erlang. Επειδή είναι γραμμένο σε Elixir και ενσωματωμένο στο σύστημα χρόνου εκτέλεσης Erlang, το Nerves διατηρεί τις ιδιότητες αυτής της γλώσσας και του πλαισίου. Είναι κατανεμημένα, ανεκτικά σε σφάλματα, μαλακά σε πραγματικό χρόνο και εξαιρετικά διαθέσιμα. Σύμφωνα με τον Connor, με τη χρήση των Nerves αποφεύγονται περιττές πολυπλοκότητες ή απρόβλεπτες ευπάθειες και εντοπίζονται σφάλματα χωρίς διακοπή στην εμπειρία του χρήστη.



Σχήμα 5.1 Farmbot

5.2. Γεωργικό ρομπότ IoT

Ακόμη ένα παράδειγμα ρομποτικής στη γεωργία είναι τα ρομπότ αγροκτήματος, γνωστά και ως agrobots, τα οποία εκτελούν ποικίλες λειτουργίες όπως η φύτευση, άρδευση, συγκομιδή. Παρά την ανάπτυξη της τεχνολογίας η ρομποτική εξακολουθεί να έχει υψηλό κόστος.

Στην Ολλανδία, η οποία είναι πρωτοπόρος στη γεωργία ακριβείας, εκτιμάται ότι περίπου το 30% των εκμεταλλεύσεων χρησιμοποιούν ρομποτική τεχνολογία για αυτές τις εργασίες (Brewster et al., 2018). Τα ρομπότ αγροκτήματος χρησιμοποιούν επίσης τεχνολογία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και εφαρμόζοντας ένα σύστημα ετικετών που τοποθετείται σε φυτά ή ζώα, παράγει δεδομένα εξ αποστάσεως. Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται επί του παρόντος ευρέως σε χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης, Γερμανία, Δανία, Σουηδία (Bach et al., 2016). Η τεχνολογία Internet of Things (IoT) βιώνει παρόμοια εξέλιξη, με σχετικές συσκευές να χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία, αποθήκευση και αποστολή δεδομένων. Αυτές οι συσκευές όπως προαναφέρθηκε έχουν διαφορετικές μορφές, αισθητήρες, ρολόγια κ.λπ (Anand et al, 2016).

Πολλά γεωργικά (επίγεια) ρομπότ έχουν αναπτυχθεί για να εκτελούν εργασίες γεωργίας ακριβείας και να αντικαθιστούν ή να αυξάνουν τους ανθρώπους σε ορισμένες εργασίες. Αυτά τα ρομπότ έρχονται σε δύο κύριους τύπους: I) αυτοκινούμενα κινητά ρομπότ και II) ρομποτικά «έξυπνα» εργαλεία που μεταφέρονται από ένα όχημα. Τα ρομπότ τύπου I καλύπτουν ευρύ φάσμα μεγεθών και σχεδίων. Τα συμβατικά γεωργικά αυτοκινούμενα μηχανήματα όπως τρακτέρ, ψεκαστές και θεριζοαλωνιστικές μηχανές έχουν «ρομποτοποιηθεί» την τελευταία δεκαετία μέσω της εισαγωγής συστημάτων αυτόματης καθοδήγησης GPS / GNSS. Αυτά τα μηχανήματα είναι εμπορικά διαθέσιμα σήμερα και αποτελούν τη μεγάλη πλειοψηφία των "γεωργικών ρομπότ". Μπορούν να οδηγούνται αυτόνομα σε παράλληλες σειρές μέσα σε χωράφια, ενώ ένας ανθρώπινος χειριστής επιβλέπει και εκτελεί εργασίες που σχετίζονται με την καλλιέργεια και τον συντονισμό των εργασιών τους (π.χ. εκφόρτωση θεριζοαλωνιστικής μηχανής).

Τα αυτόνομα «ρομπότ τρακτέρ» γενικής χρήσης χωρίς καμπίνα που είναι συμβατά με τυποποιημένα εργαλεία καλλιέργειας, εισήχθησαν πρόσφατα από αρκετές εταιρείες. Αυτά τα μεγαλύτερα ρομπότ έχουν σχεδιαστεί κυρίως για δραστηριότητες που σχετίζονται με την καλλιέργεια αροτραίων καλλιεργειών που απαιτούν υψηλότερη ισχύ και απόδοση, όπως όργωμα, σπορά πολλαπλών σειρών, λίπανση και ψεκασμό, συγκομιδή και μεταφορά.

Ένας μεγάλος αριθμός μικρότερων κινητών ρομπότ ειδικού σκοπού τύπου I έχουν επίσης εισαχθεί για εφαρμογές χαμηλότερης ισχύος, όπως η ανίχνευση και το ξεσκόνισμα μικρότερου αριθμού σειρών κάθε φορά. Τα περισσότερα από αυτά τα ρομπότ είναι ερευνητικά πρωτότυπα που εισήχθησαν από διάφορες ερευνητικές ομάδες. Μερικά εμπορικά ή σχεδόν εμπορικά

κινητά ρομπότ έχουν εμφανιστεί σε εφαρμογές όπως ο χειρισμός εμπορευματοκιβωτίων σε φυτώρια και σπορά (Xaver)(Monteiro, et al., 2021). Ειδικότερα, συναντώνται τα παρακάτω:

Ρομπότ συγκομιδής: Τα ρομπότ συγκομιδής έχουν εφαρμοστεί πρακτικά στη μηχανοποιημένη συγκομιδή μανιταριών, γλυκών πιπεριών, ντομάτας, σμέουρων και φραουλών. Αυτή η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί περισσότερο σε μονάδες παραγωγής όπως τα θερμοκήπια, όπου είναι πιο επιθυμητή η πρόσθετη εργασία για τη συγκομιδή. Η εφαρμογή καμερών με ρομποτικούς βραχίονες για τρισδιάστατη τοποθέτηση έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στον αυτοματισμό συγκομιδής (Gorjian, et al., 2021).

Μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα (AGVs): Τα επίγεια αγροτικά ρομπότ μπορούν να ταξινομηθούν ως αυτοκινούμενα κινητά ρομπότ και έξυπνες ρομποτικές συσκευές που μπορούν να μεταφερθούν με κινητό μηχανήμα. Υπάρχουν διαφορετικά σχέδια, διαφορετικών μεγεθών για αυτοκινούμενα κινητά ρομπότ. Μερικά από τα εκτεταμένα συστήματα περιλαμβάνουν έξυπνα τρακτέρ, ολοκληρωμένα μηχανήματα συγκομιδής και καταιωτιστήρες, τα οποία λειτουργούν με βάση το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS) και αυτοματοποιημένα συστήματα καθοδήγησης. (Gorjian, et al., 2021).

Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV): Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), κοινώς γνωστά ως drones, έχουν επιδείξει σημαντικές δυνατότητες στον τομέα της γεωργίας λόγω της εφαρμογής τους σε μακροπρόθεσμες επιχειρήσεις. Δεδομένου ότι η φύση τους είναι ημιαυτόνομη, χρησιμοποιούν σημεία πορείας για να πετάξουν σε μια συγκεκριμένη διαδρομή πτήσης και υψόμετρο. Ως αποτέλεσμα, τα περισσότερα γεωργικά drones διαθέτουν σύστημα μέτρησης θέσης (Gorjian, et al., 2021).



Σχήμα 5.2 Γεωργικό ρομπότ IoT

6

Γεωργία Ακριβείας στην Ελλάδα

6.1. Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, μια χώρα με εκτεταμένη ποικιλομορφία, οι συνθήκες στον γεωργικό τομέα υφίστανται συνεχείς μεταβολές. Τα Ελληνικά Πανεπιστήμια, σε συνεργασία με τα Ερευνητικά Κέντρα της χώρας, έχουν προχωρήσει σε πειράματα σε φυτείες, μήλων, αχλαδιών, ροδάκινων, ελιάς, καρπουζιών, αμπελώνων, καθώς και σε καλλιέργειες βαμβακιού και σιτηρών, με εξαιρετικά θετικά αποτελέσματα.

6.2 Υλοποιημένα προγράμματα στην Ελλάδα

6.2.1. Πρόγραμμα *FutureFarm*

Το πρόγραμμα Future Farm, χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του Προγράμματος Πλαισίου 7. Είχε σαν στόχο την ανάπτυξη των τεχνικών της γεωργίας ακριβείας για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης αγροκτημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, δημιουργήθηκαν βάσεις δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των αγροκτημάτων. Ο συντονιστής του προγράμματος ήταν ο Καθηγητής Blackmore και το Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης Θεσσαλίας (ΚΕΤΕΑΘ). Κατά τη διάρκεια του προγράμματος μελετήθηκαν οι στρατηγικές των αγροτών και εξετάστηκαν νέες τεχνολογίες που μπορούν να συνδυαστούν με τις απαιτήσεις των πολιτικών της ΕΕ. Επιπλέον, μέρος του προγράμματος επικεντρώθηκε σε θέματα ρομποτικής και χρήσης βιοκαυσίμων για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του αγροκτήματος.

Στο πρόγραμμα αυτό συμμετείχε και ένα αγρόκτημα της Θεσσαλίας, το οποίο εφάρμοσε μερικές από τις τεχνικές της γεωργίας ακριβείας.

6.2.2. Πρόγραμμα *Eco-pest*

Το πρόγραμμα *Eco-pest* αξιοποιεί αισθητήρες για την πρόγνωση της ρύπανσης και τον εντοπισμό της χλωροφύλλης στη λίμνη Κωπαΐδα με σκοπό τον εντοπισμό των ζιζανίων. Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας επιτρέπει στο ζιζανιοκτόνο να επικεντρώνεται μόνο στα βλαβερά για την καλλιέργεια χόρτα, εξοικονομώντας έτσι τη χρήση φυτοφαρμάκων στην ευρύτερη περιοχή. Αυτή η προσέγγιση συνεισφέρει στη βελτίωση της αποδοτικότητας της γεωργίας και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος από τα φυτοφάρμακα.

Το πρόγραμμα αυτό αναγνωρίστηκε ως το "Καλύτερο ανάμεσα στα καλύτερα" περιβαλλοντικό πρόγραμμα για το 2012 από τα κράτη-μέλη και τιμήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με το βραβείο LIFE+ ανάμεσα σε εκατό παρόμοια προγράμματα.

6.3. Υλοποιημένες εφαρμογές στην Ελλάδα

6.3.1. Εφαρμογές στο βαμβάκι

Στην περιοχή της Καρδίτσας και σε άλλες περιοχές της Θεσσαλίας, η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε φυτείες βαμβακιού ξεκίνησε πριν από 15 χρόνια. Με τη χρήση GPS και ειδικών αισθητήρων στις βαμβακοσυλλεκτικές μηχανές, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και ανάγκη για διαφοροποιημένη διαχείριση. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας, εδαφικής υγρασίας και εξατμισοδιαπνοής, εκτιμήθηκε ο χρόνος άρδευσης και η ποσότητα αρδευτικού νερού. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις εδάφους και χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες για την εκτίμηση των απαιτήσεων σε θρεπτικά στοιχεία. Με τη χρήση αντίστοιχης τεχνολογίας, καταγράφηκαν είδη ζιζανίων και η πυκνότητά τους πριν και μετά τη φύτευση.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, δημιουργήθηκαν χάρτες απαίτησης εισροών για την εφαρμογή διαφοροποιημένων ποσοτήτων νερού, φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, με αποτέλεσμα εντυπωσιακές εξοικονομήσεις σε νερό, λίπασμα και ζιζανιοκτόνα. (Farmacorn, 2016)

6.3.2. Εφαρμογή στα Σιτηρά

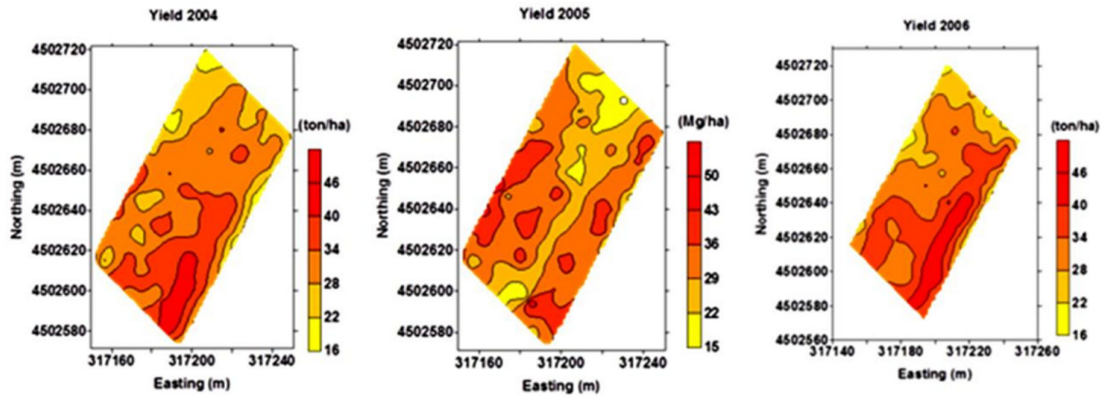
Στην περιοχή Σοφάδες Καρδίτσας, η συγκομιδή αραβόσιτου και χειμερινών σιτηρών εξαρτάται από το ποσοστό υγρασίας του σπόρου. Τα τελευταία 5 χρόνια, οι παραγωγοί εφάρμοσαν ειδικούς αισθητήρες στις θεριζοαλωνιστικές μηχανές για χαρτογράφηση της παραγωγής και της υγρασίας των σπόρων. Αυτή η πρακτική επέτρεψε στους αγρότες να συγκεντρώσουν δεδομένα για τις ζώνες των αγρών με παραλλακτικότητα στην παραγωγή και την υγρασία των σπόρων, επιτρέποντας καλύτερη διαχείριση της συγκομιδής και του αγρού. (Farmacorn, 2016)

6.3.3. Εφαρμογή στα Μηλα

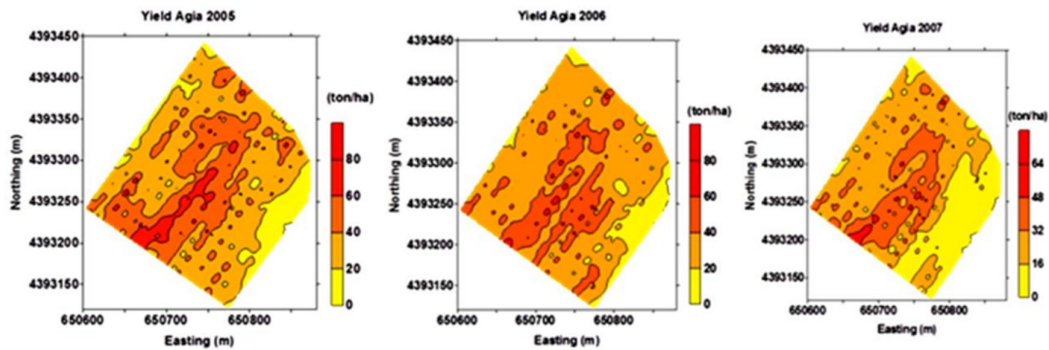
Τα τελευταία 15 χρόνια, οι τεχνικές της γεωργίας ακριβείας εφαρμόζονται σε οπωρώνες μηλιάς, κυρίως στην περιοχή της Πτολεμαΐδας και αργότερα στην περιοχή Αγιάς Λάρισας. Η χαρτογράφηση της παραγωγής και της ποιότητας των καρπών πραγματοποιήθηκε με βάση το βάρος των κιβωτίων συγκέντρωσης και τα χαρακτηριστικά τους.

Τα αποτελέσματα (Σχήμα 6.1) έδειξαν σημαντική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και την ποιότητα των καρπών εντός του ίδιου οπωρώνα. Η χρήση φωτογραφιών κατά την ανθοφορία καθώς και μετρήσεις του δείκτη βλάστησης σε όλη τη βλαστική περίοδο οδήγησε στη δημιουργία χαρτών συσχετιζόμενων με την παραγωγή.

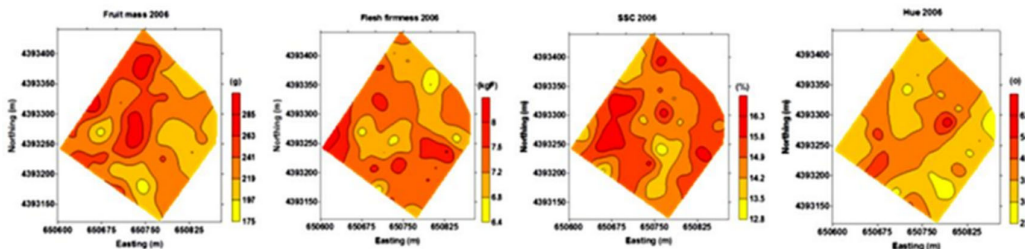
Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, οι αγρότες προχώρησαν σε αναλύσεις εδάφους και μετρήσεις φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τη διαχείριση του οπωρώνα. Έτσι, η εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων προσαρμόστηκε στην ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται σε κάθε τμήμα του οπωρώνα. Ως αποτέλεσμα, παρατηρήθηκε μείωση του λίπασματος κατά 32,4%, ενώ το κέρδος των παραγωγών αυξήθηκε κατά 21% λόγω μείωσης των εισροών και βελτίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών.



Σχήμα 6.1 Χάρτες σορών μηλιάς για τρία χρόνια. Πτολεμαίδα (Αγγελοπούλου 2008)



Σχήμα 6.2 Χαρτογράφηση παραγωγής μήλων σε αγρό 50 στρεμμάτων, Αγιά (Αγγελοπούλου 2008)



Σχήμα 6.3. Χαρτογράφησης της ποιότητας των καρπών στον αγρό 50 στρεμμάτων με σειρά μέγεθος καρπού, συνεκτικότητα σάρκας, διαλυτά στερεά και χρώμα (Αγγελοπούλου 2008)

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών του οπωρώνα περιλάμβανε διερεύνηση του εδάφους και μετρήσεις της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, χρησιμοποιώντας το μηχάνημα VERIS 3000. Τα αποτελέσματα κατέληξαν σε μια πρόταση για τη μεταβλητή εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα θρεπτικά στοιχεία που απομακρύνονταν από την παραγωγή των καρπών, καθώς και τα κλαδέματα που αφαιρούνταν από το χωράφι και υποβάλλονταν σε διαδικασία καύσης.

Αυτή η προσέγγιση στη γεωργία παρέχει ένα εξατομικευμένο και πιο αποδοτικό σύστημα λίπανσης, προσαρμοσμένο στις ιδιαιτερότητες του εδάφους και τις ανάγκες των φυτών. Η εκμετάλλευση των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από την παραγωγή των καρπών συμβάλλει στη διατήρηση της εδαφικής υγείας, ενώ η ανακύκλωση των κλαδεμάτων μέσω της καύσης συμβάλλει στη διαχείριση των αποβλήτων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. (Aggelopoulou, 2011)

6.3.4 Εφαρμογή στα Αχλάδια

Σε οπωρώνα αχλαδιάς στον Τύρναβο Λάρισας πραγματοποιήθηκε αντίστοιχη μελέτη με την προηγούμενη. Η χαρτογράφηση της παραγωγής ανέδειξε σημαντική παραλλακτικότητα τόσο στην ποσοτική παραγωγή όσο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, δημιουργήθηκαν χάρτες εφαρμογής λιπασμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές ανάγκες των δέντρων σε θρεπτικά στοιχεία. Ως αποτέλεσμα, επιτεύχθηκε εξοικονόμηση λιπάσματος κατά 50%. (Farmacorn, 2016)

6.3.5. Εφαρμογή σε Ελιές

Στην περιοχή Γαργαλιάνοι Μεσσηνίας, σε ελαιώνες ελαιοπαραγωγής, πραγματοποιήθηκε διάρκειας 4 ετών, χαρτογράφηση της παραγωγής με ζύγισμα των σάκων και καθορισμό της θέσης των δέντρων με χρήση GPS. Επίσης πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις εδάφους με βάση τη μηχανική σύσταση, το pH, την οργανική ουσία και τα θρεπτικά στοιχεία για 3 συνεχόμενα έτη. Τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία χαρτών διαχείρισης φωσφόρου, καλίου και ασβέστη για τη διόρθωση του pH του εδάφους. Η εφαρμογή

αυτής της μεθόδου οδήγησε στη βελτίωση του pH του εδάφους και στη σημαντική εξοικονόμηση λιπάσματος. (Farmacorn, 2016)

6.3.6. Εφαρμογή σε Αμπέλι

Στην περιοχή Νέα Αγχιάλο του νομού Μαγνησίας, η γεωργία ακριβείας εφαρμόζεται εδώ και 10 χρόνια σε αμπελώνες, επεκτείνοντας την εφαρμογή της και σε αμπελώνες στο νομό Κορινθίας και στη Βόρεια Ελλάδα.

Για την αξιολόγηση της ορθολογικής χρήσης του νερού, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παραλλακτικότητας στην παραγωγή και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, καθώς επίσης και μετρήσεις της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του βάθους του εδάφους.

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη το δείκτη βλάστησης και το υδατικό δυναμικό σε συνδυασμό με τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, δημιουργήθηκαν χάρτες αναγλύφου εδάφους και καθορίστηκαν ζώνες διαφοροποιημένης άρδευσης στον αμπελώνα. Ως αποτέλεσμα, παρατηρήθηκε εξοικονόμηση νερού κατά περίπου 20%. (Farmacorn, 2016).

6.3.7. Εφαρμογή σε ροδάκινα

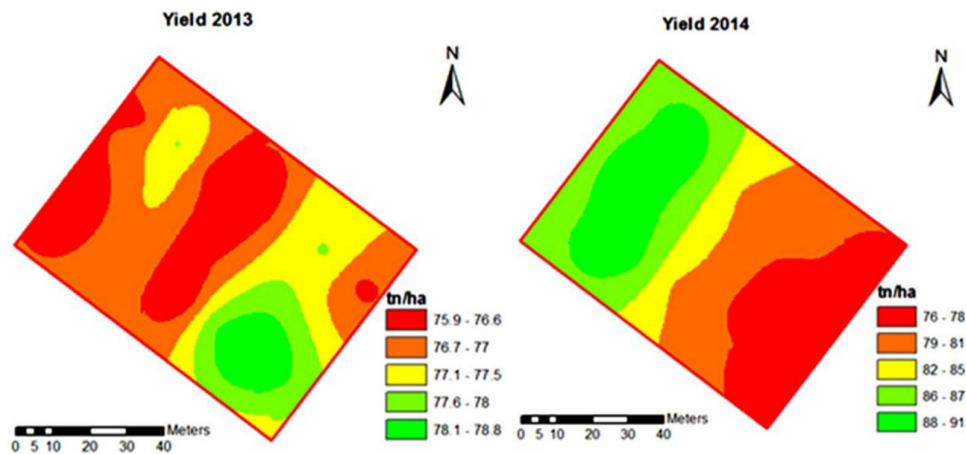
Στην περιοχή της Ημαθίας, σε οπωρώνα ροδακινιάς, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής βάσει του βάρους των κιβωτίων συγκέντρωσης των καρπών, σε συνδυασμό με τη χρήση GPS για τον εντοπισμό του σημείου φόρτωσης των κιβωτίων.

Επιπλέον, αναπτύχθηκε ένα σύστημα μελέτης των κινήσεων των εργατών με στόχο τη βελτίωση της απόδοσής τους.

Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν όχι μόνο μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή αλλά και βελτιωμένο προγραμματισμό των κινήσεων των εργατών, οδηγώντας σε αύξηση της παραγωγικότητάς τους. (Farmacorn, 2016)

6.3.8. Εφαρμογή σε καρπούζια

Η εφαρμογή στα καρπούζια πραγματοποιήθηκε σε έναν αγρό της Πελοποννήσου 8 στρεμμάτων για διάστημα δύο ετών. Καταγράφηκαν η παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, καθώς επίσης και η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του αγρού. Όπως φαίνεται στην Στο Σχήμα 6.4, παρατηρήθηκε παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στα δύο έτη, με το τμήμα που εμφάνισε τη μεγαλύτερη παραγωγή να βρίσκεται σε διαφορετική θέση.



Σχήμα 6.4. Χάρτες παραγωγής καρπουζιών σε αγρό

Το 2015 εγκαταστάθηκε στον αγρό ένα σύστημα μέτρησης της υγρασίας του εδάφους. Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των μετρήσεων, υιοθετήθηκε μια διαφοροποιημένη πρακτική άρδευσης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του εδαφικού υδατικού ισοζυγίου. Αυτή η μέθοδος παρουσίασε θετικά αποτελέσματα στην ποιότητα των καρπών και συνέβαλλε στην εξοικονόμηση νερού κατά 10%. Αυτή η πρακτική οδήγησε σε αύξηση της απόδοσης του εμπορεύσιμου προϊόντος. (Fountas, 2015)

6.4. Είναι εφικτή η έξυπνη Γεωργία στην Ελλάδα?

Παρόλο που η έξυπνη γεωργία έχει γίνει δημοφιλής σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ, Ινδία, Κίνα, Ισπανία, Γερμανία, Γαλλία, Μεξικό, Αργεντινή και άλλων η Ελλάδα δεν έχει ακόμη ενταχθεί πλήρως στον παγκόσμιο χάρτη γεωργίας ακριβείας. Παρ' όλα αυτά, οι προσπάθειες για την υιοθέτηση της έξυπνης γεωργίας στην Ελλάδα αυξάνονται.

Ένα βασικό προαπαιτούμενο για την αποτελεσματική εφαρμογή της έξυπνης γεωργίας στην Ελλάδα είναι η ύπαρξη παραλλακτικότητας στα αγροτεμάχια. Αυτό σημαίνει ότι είναι σημαντική η ύπαρξη χωρικής διαφοροποίησης στα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους της καλλιέργειας εντός του ίδιου χωραφιού κάτι το οποίο συμβαίνει στην Ελλάδα. Στην Ελλάδα, τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια κατά βάση τα πανεπιστημιακά ιδρύματα έχουν υλοποιήσει εφαρμογές της έξυπνης γεωργίας.

Τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών αναδुकνεύουν μείωση της κατανάλωσης αρδευτικού νερού κατά 30-50% σε βαμβάκι, καλαμπόκι, σιτηρά, ελιές και άλλα καλλιεργούμενα φυτά. Αυτό θεωρείται πλέον εφικτό για την εφαρμογή σε επιχειρησιακή βάση σε διεθνές επίπεδο. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μείωση της κατανάλωσης λιπασμάτων μέσω της χρήσης συστήματος μεταβλητής λίπανσης κατά 30-40% σε βαμβάκι και καλαμπόκι, με ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγής κατά μέσο όρο 10%. Αυτή η αύξηση παραγωγής βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα παραπάνω αποτελέσματα υποστηρίζονται από επιστημονικές δημοσιεύσεις σε περιοδικά και πρακτικά συνέδρια.

6.5. Προοπτικές έξυπνης Γεωργίας στην Ελλάδα

Το υψηλό κόστος των εξελιγμένων συστημάτων γεωργίας αντιπροσωπεύει μία σημαντική αδυναμία, ιδίως για τους Έλληνες αγρότες που διαθέτουν περιορισμένες γεωργικές εκτάσεις. Η απόσβεση αυτού του κόστους αποτελεί πρόκληση, λόγω της μικρής κλίμακας παραγωγής. Θα ήταν ουσιώδες για το πολιτικό σύστημα να υποστηρίξει τους νέους αγρότες με επιδοτήσεις στα πρώτα τους βήματα.

Παρόλα αυτά, η διανομή επιδοτήσεων σε αγρότες χωρίς επίδοση στη βελτίωση της παραγωγής οδήγησε σε αδράνεια σε όλα τα επίπεδα. Κατά τη διάρκεια της πρόσφατης οικονομικής κρίσης, οι επιδοτήσεις μειώθηκαν και οι αγρότες υποχρεώθηκαν να τηρούν λογαριασμούς για φορολογικούς σκοπούς, όπως και οι υπόλοιπες επιχειρήσεις. Είναι προφανές ότι ο αγροτικός τομέας θα υποχρεωθεί να προσαρμοστεί σε αυτές τις νέες συνθήκες, ενδεχομένως καταφεύγοντας σε πιο σύγχρονες τεχνολογίες. Είναι λογικό να περιμένουμε ότι η υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών στη γεωργία θα είναι πιο εφικτή από νεότερους αγρότες, ιδίως αυτούς που είναι εξοικειωμένοι με τη χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών.

Επιπλέον, το ακριβό κόστος παραμένει μία πρόκληση. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί αν υπάρξει αυξημένη ζήτηση και, κατά συνέπεια, αυξημένος ανταγωνισμός, προκειμένου να

υποχρεωθούν οι προμηθευτές να προσφέρουν πιο οικονομικές λύσεις. Ο ανταγωνισμός μπορεί να οδηγήσει σε πιο προσιτές επιλογές, καθώς οι προμηθευτές πρέπει να προσαρμοστούν στις ανάγκες της αγοράς.

Από τις παρουσιαζόμενες έρευνες, φαίνεται ότι υπάρχουν τεχνικές, όπως η μεταβλητή δόση λιπασμάτων, που μπορούν να εφαρμοστούν με μικρή χρήση πολύπλοκου εξοπλισμού. Η δυνατότητα εξοικονόμησης 20-50% λιπασμάτων είναι σημαντική τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά, προσφέροντας ελπίδες για αποδοτικότερες και περιβαλλοντικά φιλικές παραγωγές στο μέλλον.

6.6. Lessons Learnt

Είναι πράγματι εμφανές ότι στην Ελλάδα υπάρχει σημαντική έρευνα στον γεωργικό τομέα, και τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας θα μπορούσαν να φέρουν σημαντικά οφέλη για τους ελληνικούς αγρότες και τη γεωργία της χώρας. Ακόμη και μικρά αγροκτήματα μπορούν να επωφεληθούν από τις νέες τεχνολογίες, όπως έχει αποδειχθεί.

Για να επιτευχθεί αυτή η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών, όμως, χρειάζεται η προώθηση από την πλευρά της πολιτείας. Τα προγράμματα βελτίωσης και οι προμήθειες εξοπλισμού μπορούν να διαδραματίσουν καίριο ρόλο σε αυτήν τη διαδικασία. Η προώθηση της προμήθειας εξοπλισμού για νέες τεχνολογίες μπορεί να αναζωογονήσει τον γεωργικό τομέα, ειδικά για τους νέους αγρότες που είναι πιο πρόθυμοι να υιοθετήσουν τις καινοτόμες πρακτικές.

Είναι σημαντικό το πολιτικό σύστημα να μην περιορίζεται στη δήλωση της σημασίας του γεωργικού τομέα για την ανάπτυξη της χώρας, αλλά να λαμβάνει πρακτικά μέτρα για την υποστήριξη και ενίσχυση των αγροτών στην υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών.

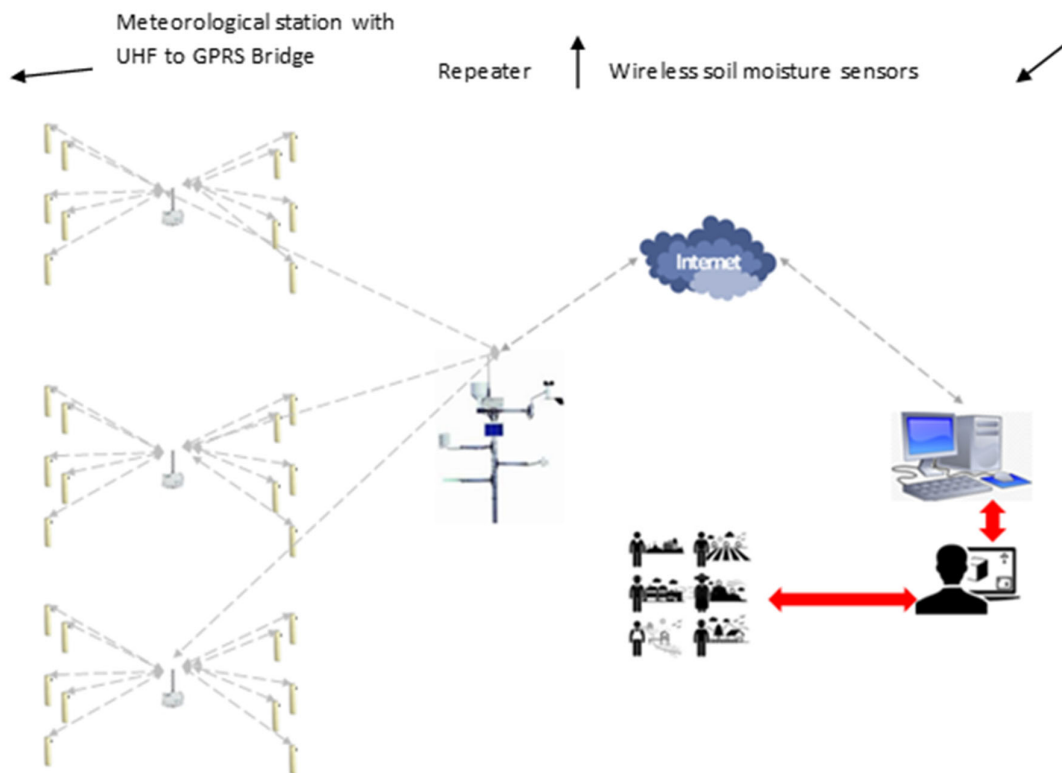
Μελέτη περίπτωσης Τηλεμετρικού Δικτύου Μέτρησης Υγρασίας εδάφους

7.1. Εισαγωγή

Γνωστή τεχνολογική εταιρία που έχει ως αντικείμενο δραστηριότητας την κατασκευή και την τοποθέτηση αισθητήρων (το όνομα παρέχεται ιδιωτικά) ολοκλήρωσε με απόλυτη επιτυχία την πρώτη περίοδο χρήσης του τηλεμετρικού συστήματος μέτρησης και καταγραφής της εδαφικής υγρασίας. Παρότι το σύστημα εγκαταστάθηκε, σχεδόν στο μέσο της καλλιεργητικής περιόδου, εντούτοις τα αποτελέσματα ήταν εξόχως εντυπωσιακά. Παράλληλα αποκτήθηκε η εμπειρία για την βελτιστοποίηση της χρήσης του ώστε να γίνει πλήρη ιδιοποίηση του και αξιοποίηση των μετρήσεων στις επόμενες καλλιεργητικές περιόδους. Θεωρούμε πλέον απολύτως δεδομένο ότι η χρήση του συστήματος θα συμβάλει άμεσα στην εξοικονόμηση νερού στην ποιοτική βελτίωση του προϊόντος, και στην καλύτερη απόδοση των μετασυλλεκτικών χειρισμών.

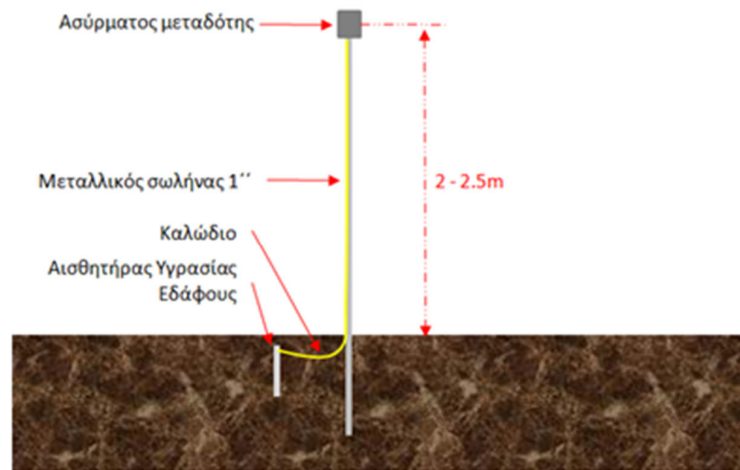
7.2 Παρουσίαση του συστήματος

Εγκαταστάθηκαν συνολικά 30 αισθητήρες υγρασίας εδάφους σε 30 αγροτεμάχια συνολικής επιφάνειας 730 στρεμμάτων. Η τοποθέτηση έγινε με την συναίνεση των παράγων, μετά από πλήρη ενημέρωσή τους. Για την μετάδοση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ασύρματες τεχνολογίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.



Σχήμα 7.1. Set up του συστήματος

Οι μετρήσεις αυτόματα μεταδίδονται κάθε 10 λεπτά σε web λογισμικό, όπου γίνεται αυτόματη επεξεργασία των μετρήσεων. Όλα τα συστήματα λειτουργούν με πολύ μικρούς ηλιακούς συλλέκτες, ή με μπαταρίες Δεν απαιτείται κανένας χειρισμός από την πλευρά του χρήστη. Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζεται η σύνθεση του κάθε ασύρματου αισθητήρα υγρασίας εδάφους.



Σχήμα 7.2 Σύνθεση ασύρματων αισθητήρων υγρασίας

α) Αιθητήρας υγρασίας εδάφους μοντέλο Single Point Sensor:

- Κατάλληλος για μόνιμη τοποθέτηση μέσα στο έδαφος, σε οποιοδήποτε βάθος
- Ενεργό μήκος μέτρησης της υγρασίας 10cm
- Διάμετρος πάνω μέρους 24.5mm, διάμετρος κάτω μέρους 24mm
- Ανάλυση μέτρησης 0.001% κατ' όγκο
- Ακρίβεια μέτρησης $\pm 0.03\%$ vol
- Θερμοκρασία λειτουργίας -20°C to 60°C



Σχήμα 7.3 Αιθητήρας υγρασίας εδάφους μοντέλο Single Point Sensor

β) Ασύρματος μεταδότης μετρήσεων, μοντέλο SensorSat:

- Το SensorSat δέχεται εξωτερικούς αισθητήρες. Η ασύρματη επικοινωνία RF με τον Master, γίνεται στην ζώνηISM των 868MHz.
 - Modbus rtu: master/slave
 - Sdi-12: master/slave
 - 7 αναλογικές εισόδους
 - 1 είσοδος απαριθμητή: ac/ttl/διακόπτη
 - Προστασία: υπέρταση, ανάποδη σύνδεση.
 - Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 ~ +70
 - Πιστοποίηση: CE
 - Πιστοποίηση κατασκευαστή: ISO 9001
- Ενσωματωμένο RF modem, 500 mW (+27 dBm), με ακτίνα έως 10 km, Δεν απαιτείται άδεια λειτουργίας.



Σχήμα 7.4 Ασύρματος μεταδότης μετρήσεων, μοντέλο SensorSat

γ) Αναμεταδότης - repeater μοντέλο A723 του οίκου ADCON:

Πρόκειται για μια ευέλικτη ασύρματη τηλεμετρική μονάδα με ενσωματωμένο πομποδέκτη ισχύος 10mW. Η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ισχύος επιτρέπει την λειτουργία της μονάδας με την χρήση ηλιακού συλλέκτη. Η μονάδα μπορεί να στείλει τα δεδομένα μετρήσεων σε απόσταση έως και 1000 μέτρων . Ο ρυθμός μέτρησης και καταγραφής των μετρήσεων είναι προγραμματιζόμενος (από 10sec έως 12 hours). Η μονάδα είναι κατάλληλη για μόνιμη τοποθέτηση σε συνθήκες περιβάλλοντος (IP 66)

- Διαστάσεις 100 X 70 X 40mm
- Βάρος 450g
- Τάση τροφοδοσίας από ηλιακό συλλέκτη ή 6 – 10 V εξωτερική πηγή
- Διαθέτει εσωτερική επαναφορτιζόμενη μπαταρία 6V
- Κατανάλωση ισχύος 6mW
- Διαθέτει 6 αναλογικές εισόδους στα 12bit. Οι εισοδοι διαθέτουν
- προγραμματιζόμενο εύρος 0-1 V DC και 0 – 2.5 V DC, Οι 3 από αυτές μπορούν να έχουν εύρος 0 – 150 mV
- Διαθέτει 2 εισόδους παλμών (16bit) και 2 ψηφιακές I/O
- Διαθέτει SDI 12 είσοδο για 40 αισθητήρες
- Διαθέτει δυνατότητα ρύθμισης της τάσης διέγερσης των αισθητήρων στην περιοχή 3.3 – 5.5 V
- Διαθέτει 2 συνδέσμους για τα αισθητήρια και έναν για την τροφοδοσία
- Ισχύς εκπομπής 10 mW, max
- Απολαβή λήψης -110dbm
- Εσωτερική μνήμη 64 KB (επαρκεί για 20000 τιμές)

δ) Μονάδα σύζευξης UHF / GPRS και νέα μονάδα A723 για τον μετεωρολογικό σταθμό του οίκου ADCON:

Στην μονάδα αυτή θα καταλήγουν όλες οι μετρήσεις από τους αισθητήρες υγρασίας και από εκεί μέσω GPRS στον υπολογιστή, στα γραφεία, όπου θα λειτουργεί το λογισμικό, συλλογής των μετρήσεων. Πρόκειται για μια γέφυρα μεταξύ ασύρματου δικτύου GPRS και ασύρματου δικτύου UHF. Μπορεί να εξυπηρετήσει έως και 20 ασύρματους data logger. Διαθέτει εσωτερικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, οι οποίες μπορούν να φορτίζονται από ηλιακό συλλέκτη.

- Η μονάδα δέχεται SIM κάρτα
- Διαστάσεις 227 X 168 X 117mm
- Βάρος 3300 γραμμάρια
- Προστασία IP 67
- Θερμοκρασία λειτουργίας -200C έως +750C

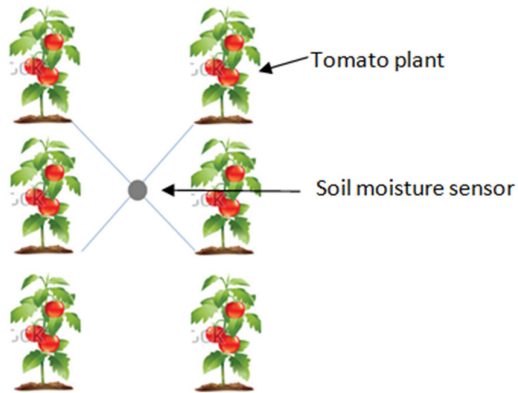
- Συχνότητα GSM δικτύου 800 / 900 / 1800 / 1900 Mhz
- Απόσταση εκπομπής GSM σύμφωνα με το GSM standard
- Απόσταση κάλυψης UHF έως 20 Km ανάλογα με την τοπογραφία και τον τρόπο εγκατάστασης

ε) Λογισμικό μοντέλο addVANTAGE Pro οίκου ADCON

- Λογισμικό μεταφοράς των μετρήσεων και προγραμματισμού του καταγραφικού
- Το λογισμικό διαθέτει ενσωματωμένο web server
- Προβολή με την μορφή οργάνων (πχ θερμομέτρων) των τρεχουσών μετρήσεων.
- Η πρόσβαση στο λογισμικό μπορεί να γίνει από όλους τους γνωστούς browser
- Δυνατότητα προγραμματισμού καταστάσεων συναγερμού με προγραμματιζόμενα όρια
- Αυτόματη αποστολή email σε περιπτώσεις υπέρβασης ορίων
- Αυτόματος υπολογισμός ωριαίων, ημερήσιων, μηνιαίων, ετήσιων τιμών για όλες τις παραμέτρους
- Παρουσίαση των ορίων των παραμέτρων πάνω στις γραφικές παραστάσεις
- Υπολογίζει αυτόματα την δυναμική εξατμισοδιαπνοή ΕΤο.

7.3. Τρόπος εγκατάστασης των αισθητήρων

Οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους τοποθετήθηκαν σε βάθος 10cm. Το μήκος του αισθητήρα – ενεργό μήκος μέτρησης, είναι 10cm. Με τον παραπάνω τρόπο ο αισθητήρας μετρά τον μέσο όρο της υγρασίας από τα 10 έως και τα 20cm. Αυτό το μήκος είναι απολύτως αντιπροσωπευτικό του ενεργού ριζοστρώματος. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε ανάμεσα σε δύο σειρές και μεταξύ δύο φυτών, όπως στο παρακάτω σχήμα



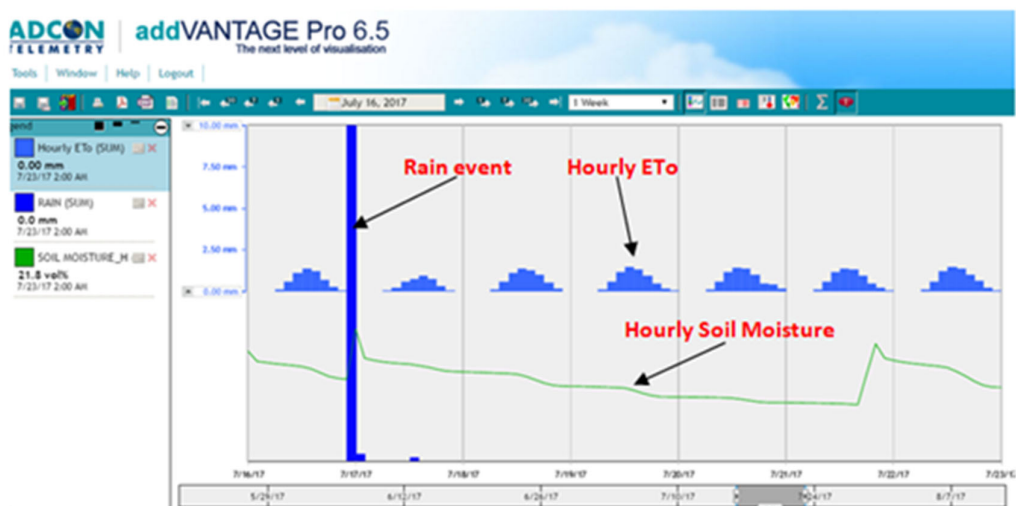
Σχήμα 7.5. Τοποθέτηση αισθητήρων

7.4. Οργάνωση παρουσίασης των μετρήσεων

Για κάθε αισθητήρα δημιουργήθηκε μια αυτόματη απεικόνιση μέσα στο λογισμικό, στην οποία εμφανίζονται ταυτόχρονα

- Η υγρασία εδάφους
- Η Εξατμισοδιαπνοή
- Το ύψος βροχής

Η απεικόνιση γίνεται τόσο σε μορφή διαγράμματος όσο και σε μορφή πίνακα



Σχήμα 7.6 Απεικόνιση διαγράμματος

ADCON TELEMETRY | addVANTAGE Pro 6.5
The next level of visualisation

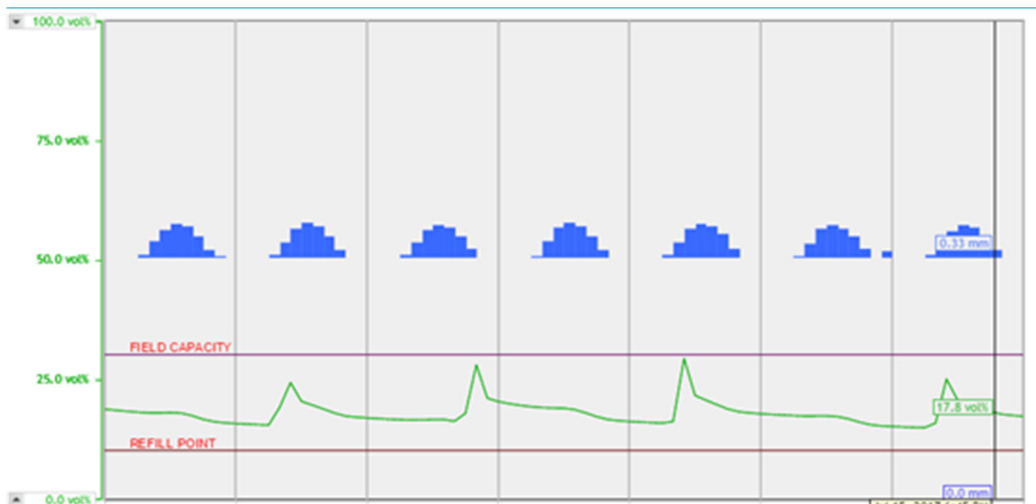
Tools | Window | Help | Logout

July 16, 2017 | 1 Week

Date	Hourly ET ₀ (20k)	RAIN (20k)	SOIL MOISTURE_H (ΒΙΛΑΦΗ 1) (RAI)
Jul 22, 2017 8:00 AM	0.09 mm	0.0 mm	28.5 vol%
Jul 22, 2017 10:00 AM	0.59 mm	0.0 mm	28.2 vol%
Jul 22, 2017 12:00 PM	1.21 mm	0.0 mm	27.8 vol%
Jul 22, 2017 2:00 PM	1.49 mm	0.0 mm	26.7 vol%
Jul 22, 2017 4:00 PM	1.36 mm	0.0 mm	25.3 vol%
Jul 22, 2017 6:00 PM	1.00 mm	0.0 mm	23.7 vol%
Jul 22, 2017 8:00 PM	0.63 mm	0.0 mm	22.5 vol%
Jul 22, 2017 10:00 PM	0.20 mm	0.0 mm	22.0 vol%
Jul 23, 2017 12:00 AM	0.05 mm	0.0 mm	21.9 vol%

Σχήμα 7.7 Απεικόνιση πίνακα

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το διάστημα παρουσίασης (πχ, μια βδομάδα, μία μέρα, ένα μήνα, 6 ώρες, κτλ). Για κάθε αισθητήρα ο χρήστης μπορεί να ορίσει το field capacity όπως και το refill point. Όταν οι μετρήσεις των αισθητήρων περάσουν τα παραπάνω όρια, τότε αυτόματα το λογισμικό στέλνει email. Καθώς στην περασμένη καλλιεργητική περίοδο, τα αισθητήρια τοποθετηθήκαν στο μέσο της περιόδου, οι μετρήσεις έδειξαν πολύ καλή προσέγγιση.



Σχήμα 7.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

7.5. Απόδοση του συστήματος

Το σύστημα κρίνεται απόλυτα λειτουργικό, χωρίς απαίτηση συντήρησης, βαθμονόμησης, ή άλλης παρόμοιας διαδικασίας.

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και η απόδοση του συστήματος από την ημέρα έναρξης λειτουργίας (16/06/2017), ως και την ημέρας έναρξης σταδιακής απεγκατάστασης (02/08/2017) .

Λειτουργικό Χαρακτηριστικό	Απόδοση
Διαθεσιμότητα πρόσβασης στα δεδομένα	100%
Πληρότητα δεδομένων	100%
Αξιοπιστία δεδομένων	100%
Αριθμός βλαβών	0
Εργατοημέρες υποστήριξης λειτουργίας	2

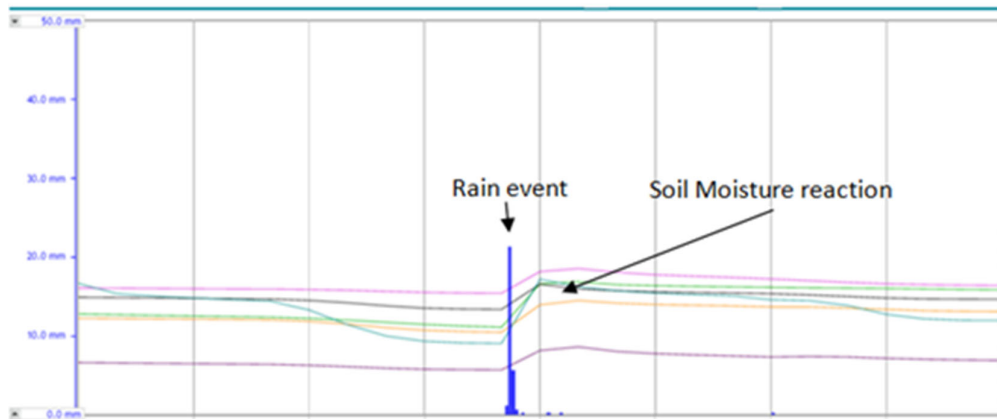
Σε όλη την διάρκεια λειτουργίας, δεν παρουσιάστηκαν προβλήματα δυσλειτουργίας.

Πραγματοποιήθηκαν δύο διορθωτικές επεμβάσεις από την εταιρεία εγκατάστασης:

- α) Αλλαγή δύο κεραιών στους αναμεταδότες με καλύτερης απόδοσης, για την ταχύτερη επικοινωνία των συστημάτων και εξοικονόμηση ενέργειας
- β) Αναβάθμιση του firmware των μεταδοτών στην τελευταία έκδοση του κατασκευαστή

Κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος και συγκεκριμένα στις 16/07/2017 και από τις 10:20pm έως 10:50pm σημειώθηκε βροχή εξαιρετικά μεγάλης έντασης. Στα 30 λεπτά της βροχής καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του συστήματος, 29 mm βροχής

Το παραπάνω φαινόμενο έγινε αντιληπτό από όλους τους αισθητήρες ενώ παράλληλα δεν προκλήθηκε καμία βλάβη στα συστήματα

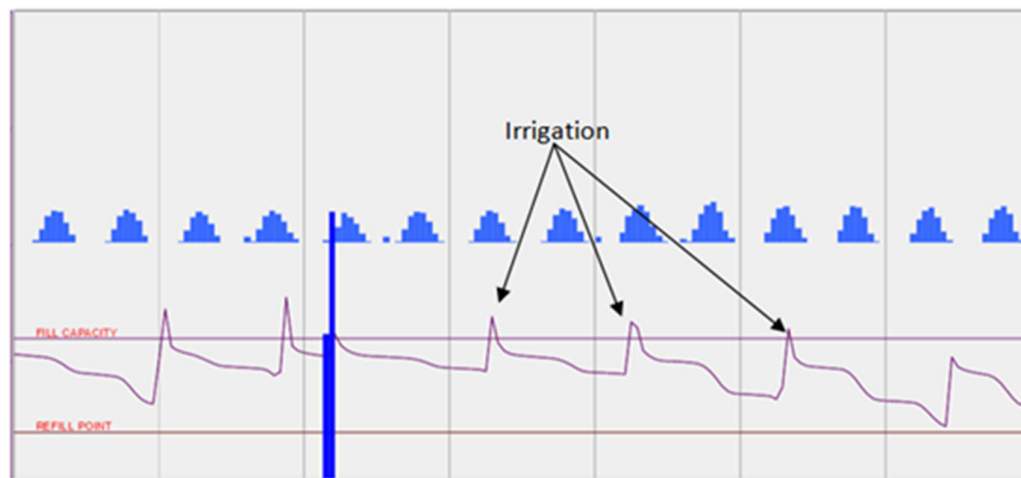


Σχήμα 7.9. Απεικόνιση βροχής

7.6. Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Παρότι το σύστημα εγκαταστάθηκε, σχεδόν στο μέσο της καλλιεργητικής περιόδου, εντούτοις τα αποτελέσματα ήταν εξόχως εντυπωσιακά. Το σύστημα κατέγραψε με ακρίβεια 10 λεπτών την κάθε άρδευση και την διάρκεια της. Από τα δεδομένα είναι εμφανές ότι οι αρδεύσεις γίνονται με χρονικό προγραμματισμό (ανά ημέρα, δύο, ή τρεις ημέρες). Η συχνότητα άρδευσης διαφέρει από παραγωγό σε παραγωγό, χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψη οι διαφορετικές απαιτήσεις νερού του φυτού λόγω φαινολογικού σταδίου και φυσικά της εδαφικής υγρασίας

Στο παρακάτω παράδειγμα ο παραγωγός ποτίζει ανά δύο μέρες, με την ίδια ποσότητα, χωρίς όμως αυτό να είναι αναγκαίο, καθώς δεν παρατηρείται καμία μείωση της διαθεσιμότητας νερού. Σίγουρα μεγάλο ποσοστό των αρδεύσεων δεν χρειάζονταν.



Σχήμα 7.10. Irrigation every 2 days



Σχήμα 7.11. Διαστήματα ποτίσματος

Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι το σύνολο των 30 παραγωγών αρδεύουν συχνότερα από ότι απαιτείται, καθώς σε κανένα από τα σημεία μέτρησης δεν καταγράφηκε αλλαγή της κλίσης ελάττωσης νερού κατά την διάρκεια της ημέρας .

Επίσης σχεδόν στο σύνολο των σημείων μέτρησης, το βράδυ έχουμε μικρή αλλά υπαρκτή ελάττωση του νερού, γεγονός που σημαίνει, ότι τα σημεία συνέχισαν να στραγγίζουν, άρα η ποσότητα νερού, ήταν πάνω από το field capacity.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα και τελικά το κέρδος από τη χήση του Τηλεμετρικού δικτύου είναι :

- Καλύτερη παραγωγή με λιγότερη χρήση νερού
- Λιγότερα παράσιτα στην καλλιέργεια
- Αισθητήρες αντοχής στην πάροδο του χρόνου
- Κεντρικός έλεγχος από την εταιρεία των εδαφικών συνθηκών και καλύτερη εκτίμηση για την παραγωγή
- Καλύτερη ποιότητα προϊόντων, λόγω της ακριβούς και έγκαιρης χρήσης του νερού

8

Ανάλυση Κενών στην Έξυπνη Γεωργία

Οι Chatterjee και Sankar Kumar Acharya (2021) παρουσιάζουν μια γενική επισκόπηση των προηγμένων τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στον τομέα της γεωργίας. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι πολλές από τις νέες τεχνολογίες αντιμετωπίζουν οικονομικούς φραγμούς λόγω των υψηλών τιμών τους. Η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως σε τεχνολογίες όπως το Internet of Things (IoT), η μάθηση μηχανών (Machine Learning), η επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων και διάφοροι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται σε αυτές τις τεχνολογίες.

Στη μελέτη των Oliveira et al. (2021), αναφέρεται η χρήση των πιο πρόσφατων τεχνολογιών στον τομέα της γεωργίας, εστιάζοντας κυρίως στα κινητά ρομπότ που χρησιμοποιούνται για διάφορες εργασίες. Οι συγγραφείς καλύπτουν τα πολλά υπάρχοντα ρομπότ που εκτελούν εργασίες όπως η προετοιμασία του εδάφους πριν από τη φύτευση, η φύτευση, η σπορά, η επεξεργασία των φυτών, η συγκομιδή κ.λπ. Σχεδόν όλα αυτά τα ρομπότ / έργα χρησιμοποιούν μία από τις τελευταίες τεχνολογίες, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, το IoT ή η μηχανική όραση. Ωστόσο, επισημαίνουν ότι πολλά από αυτά τα έργα βρίσκονται ακόμα στη φάση της έρευνας και δεν έχουν εφαρμοστεί πλήρως.

Οι Long et al. (2016) εστιάζουν και εντοπίζουν τα βασικά κοινωνικοοικονομικά εμπόδια όσον αφορά τόσο την προσφορά όσο και τη ζήτηση. Τα ποιοτικά δεδομένα συλλέχθηκαν από βασικούς πληροφοριοδότες και των δύο πλευρών με τη μορφή συνεντεύξεων και στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε επεξεργασία για τη δημιουργία τελικών αποτελεσμάτων. Οι απαντήσεις από τους παρόχους τεχνολογίας δείχνουν ότι ένα από τα πρώτα εμπόδια είναι να πείσουν τους πελάτες ότι η τεχνολογία αιχμής αξίζει τον κόπο και είναι επωφελής για αυτούς. Άλλα εμπόδια περιλαμβάνουν την έλλειψη γνώσεων και πρόσβασης σε επενδύσεις, τις μη φιλικές ρυθμιστικές αρχές, την υψηλή τιμή του τελικού προϊόντος και την πρόσβαση στους πελάτες.

Σημαντικό εμπόδιο λοιπόν, είναι η χαμηλή ευαισθητοποίηση. Ως αποτέλεσμα υπάρχει έλλειψη έρευνας και ανάπτυξης και κατανόησης των ανεπτυγμένων τεχνολογιών. Ακολουθεί το υψηλό κόστος, η έλλειψη επαληθευμένου αντίκτυπου των τεχνολογιών, τα ρυθμιστικά ζητήματα, τα ζητήματα πολιτικής που δεν ανταποκρίνονται στην «επιτόπια» πραγματικότητα (ακόμα και σε ανεπτυγμένες χώρες όπως η Γερμανία) και οι δυσπρόσιτοι και μη καταρτισμένοι γεωργοί. Απόρροια αυτών είναι η χαμηλή ζήτηση των καταναλωτών και τελικά η άνιση κατανομή κόστους/οφέλους σε όλες τις αλυσίδες εφοδιασμού (Gandorfer, et al., 2018).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι κύριοι παράγοντες που εμποδίζουν τους αγρότες να εφαρμόσουν νέες τεχνολογίες είναι η προστασία των δεδομένων και η ασυμβατότητα μεταξύ διαφορετικού υλικού και λογισμικού. Ενώ (Barnesa, et al., 2018) συζητώνται τα ίδια ζητήματα που υπάρχουν σε πέντε χώρες, Βέλγιο, Γερμανία, Ελλάδα, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο, είναι ξεκάθαρο ότι το κύριο εμπόδιο για την προσαρμογή των τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας είναι το υψηλό κόστος, το οποίο καταλήγει επίσης στο συμπέρασμα ότι οι μεγαλύτεροι αγρότες τείνουν να υιοθετούν αυτές τις τεχνολογίες περισσότερο από τους μικρότερους αγρότες (Antwi-Agyei, et al., 2021).

Ακόμα και με τη χρήση ερωτηματολογίων, τα δεδομένα που συλλέγονται αποδεικνύουν τη σημαντικότητα και τη βαρύτητα που δίνεται στα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των ανταποκριτών, τις κλιματικά έξυπνες γεωργικές πρακτικές και τα εμπόδια για την εφαρμογή τους. Οι αγρότες δήλωσαν ότι τα παράσιτα και οι ασθένειες αυξάνουν το κόστος της γεωργίας και, ως εκ τούτου, περιορίζουν την απόφασή τους να επενδύσουν στην Έξυπνη Γεωργία. Άλλα εμπόδια είναι η ανεπαρκής πρόσβαση σε γεωργικές πιστώσεις, ακολουθούμενη από το υψηλό κόστος των βελτιωμένων ποικιλιών καλλιεργειών και την περιορισμένη κρατική στήριξη με γεωργικές εισροές.

Οι συγγραφείς Jellason, et al, (2021) εφάρμοσαν μεθόδους συμμετοχικής μάθησης και δράσης (PLA) ως εργαλείο για την κατάρτιση και τη διδασκαλία των αγροτών σχετικά με τις κλιματικά έξυπνες γεωργικές πρακτικές. Ως τελικό αποτέλεσμα, διαπίστωσαν ότι η πρακτική με το υψηλότερο ποσοστό μη προσαρμογής ήταν η συλλογή νερού και η άρδευση μικρής κλίμακας. Το κύριο εμπόδιο σε αυτό ήταν η έλλειψη υποδομών (χωρίς δομές συλλογής νερού) και η έλλειψη χρηματοδότησης και στήριξης. Οι Yameogo, et al., (2017) βρήκαν παρόμοια εμπόδια, δηλώνοντας το υψηλό κόστος του υλικού ως σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή των τελευταίων τεχνολογιών. Τα ίδια εμπόδια συνοψίζονται επίσης και σε διαφορετικές αναπτυσσόμενες χώρες και περιοχές σε όλο τον κόσμο (Mizik, 2021).

Σημειώνεται ότι υπάρχουν ήδη στην αγορά πολύ οικονομικά ενσωματωμένα υλικά, όπως οι πλακέτες ESP, Raspberry Pi και ακόμη και ορισμένοι πίνακες Arduino που υποστηρίζουν την ανάπτυξη αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης, όπως νευρωνικά δίκτυα ή επεξεργασία εικόνας μέσα σε μια πλακέτα (Chen & Ran, 2019). Με αυτές τις επιλογές, μπορεί να κατασκευαστεί μια έξυπνη και οικονομική ενσωματωμένη συσκευή η οποία θα είναι πρακτική και θα βοηθήσει τους αγρότες στις καθημερινές τους εργασίες, ενώ ταυτόχρονα θα έχει πιο γρήγορο και ορατό αντίκτυπο από άλλες ακριβές εξελίξεις που βρίσκονται κυρίως στο στάδιο της έρευνας.

9

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τη συζήτηση που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, η ευφυής γεωργία δημιουργεί αυτοματοποιημένη και συνδεδεμένη γεωργία, μέσω της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας. Αυτό αποτελεί σημαντικό βήμα για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών παραγωγικότητας και ταυτόχρονα τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την περιττή χρήση - αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και διατήρηση της βιοποικιλότητας. Για την επίτευξη αυτών των στόχων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές προσεγγίσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση ποικίλων αισθητήρων που μετρούν διαφορετικές παραμέτρους στη γεωργία. Είναι σημαντικό λοιπόν να διαπιστώσουμε ότι η χρήση τεχνολογικών εφαρμογών στη γεωργία έχει τεράστια δυνατότητα βελτίωσης της αποδοτικότητας και της αειφορίας των καλλιεργειών.

Τα πληροφοριακά συστήματα για έξυπνες καλλιέργειες, μπορούν να βοηθήσουν στην πρόβλεψη του καιρού και των κλιματικών συνθηκών, στον καθορισμό των βέλτιστων στιγμών φύτευσης και συγκομιδής, στην παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών και στην αναγνώριση των ασθενειών και των εντόμων.

Αξιοσημείωτη είναι η προσπάθεια που καταβάλλεται σε σχέση με τη λήψη κατάλληλων μέτρων κατανάλωσης καλλιεργειών προκειμένου να επιτευχθούν οι βέλτιστες αποδόσεις. Η χρήση της νέας τεχνολογίας οδηγεί σε μικρότερο κόστος μικροαισθητήρων και αυξημένη ενεργειακή απόδοση. Συγκεκριμένα, η χρήση αισθητήρων και δεδομένων IoT μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση των συνθηκών του εδάφους και της υγρασίας, καθώς και στον έλεγχο της ποιότητας του νερού και των χημικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια.

Η συνεχώς μεταβαλλόμενη τεχνολογία έχει οδηγήσει στη δημιουργία φορητών νανοαισθητήρων και αισθητήρων, οι οποίοι αποτελούν αντικείμενο συνεχούς έρευνας. Κλειδί για την επιτυχία της έξυπνης γεωργίας είναι η τηλεπαρακολούθηση. Με τη χρήση εναέριων χώρων όπως δορυφόρους, αεροσκάφη και UAV, επιτυγχάνεται η κάλυψη μεγάλων αγροτικών περιοχών χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης αισθητήρων. Έτσι, η έγκαιρη μέτρηση διαφορετικών παραμέτρων πεδίου και η μετάδοση δεδομένων σε ελάχιστο χρόνο, είναι γεγονός. Για τον σκοπό αυτό, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα πρωτόκολλα δικτύου με κύριο άξονα χαμηλής χρήσης. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ατελούς δικτύωσης και να καλυφθούν μεγαλύτερες αγροτικές περιοχές, χρησιμοποιούνται δίκτυα μεγάλης εμβέλειας.

Ένας άλλος τεχνολογικός άξονας που βασίζεται στην ευφυή γεωργία είναι το ενδιάμεσο λογισμικό. Παρόλο που δεν υπάρχουν ακόμη βασικές επιλογές για την ευφυή γεωργία, ορισμένες εφαρμογές μεσαίου λογισμικού έχουν χρησιμοποιηθεί από άλλες εφαρμογές. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές είναι ευαίσθητες στο πλαίσιο, ενώ άλλες όχι. Όλα αυτά έχουν μεγάλη δυναμική και απαιτούν επίγνωση του πλαισίου για τη δημιουργία έξυπνων εφαρμογών για τη γεωργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT).

Από την πρακτική πλευρά, η εμπειρία από την παρούσα μελέτη κατέδειξε ότι η έξυπνη γεωργία πρέπει να είναι προσανατολισμένη στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό και την ανθρώπινη παρέμβαση. Η συνεργασία μεταξύ των αγροτών, των κατασκευαστών τεχνολογίας και των ερευνητικών ιδρυμάτων είναι απαραίτητη τόσο για την επιτυχή ανάπτυξη κατάλληλων πληροφοριακών συστημάτων όσο και για τη σωστή εκπαίδευση και κατάρτιση των αγροτών. Η αξιοποίηση δεδομένων από διαφορετικές πηγές, όπως αισθητήρες και προγνωστικά μοντέλα και η εφαρμογή μεθόδων μηχανικής μάθησης και ανάλυσης δεδομένων είναι επίσης απαραίτητη για τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος.

Το μέλλον της έξυπνης γεωργίας είναι εξαιρετικά υποσχόμενο, καθώς η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται και οι δυνατότητες που προσφέρει για τη βελτίωση της γεωργικής παραγωγής δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί πλήρως. Οι τάσεις που αναμένονται να διαμορφώσουν το μέλλον της έξυπνης γεωργίας περιλαμβάνουν:

Αύξηση της χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της μηχανικής μάθησης στη γεωργία, για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της επίδοσης των καλλιεργειών.

Εφαρμογή της οικολογικής γεωργίας, όπου η χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων μειώνεται στο ελάχιστο και η έμφαση δίνεται στη χρήση φυσικών λύσεων και στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των φυτών στις ασθένειες και τους εχθρούς τους.

Προσαρμογή της γεωργίας στις κλιματικές αλλαγές, ώστε να ανταποκριθεί στις αυξανόμενες ανάγκες της ανθρωπότητας για τρόφιμα, ενώ παράλληλα προστατεύεται το περιβάλλον.

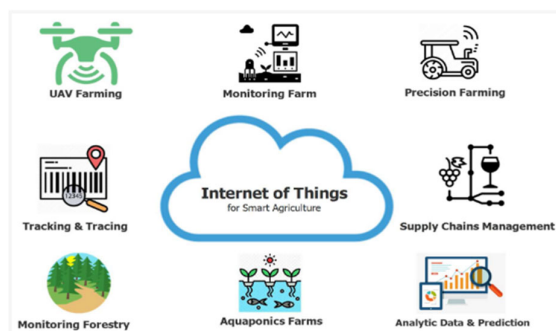
Ανάπτυξη της ψηφιακής αγροτικής τεχνολογίας, που περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων, drones, ρομποτικής και άλλων καινοτόμων τεχνολογιών για την παρακολούθηση, τη διαχείριση και τη βελτίωση των καλλιεργειών και της παραγωγής.

Ανάπτυξη της κτηνοτροφίας με βιώσιμο τρόπο, με μεγαλύτερη εστίαση στην ευημερία των ζώων, την παρακολούθηση της υγείας τους και τη μείωση των αποβλήτων.

Ενσωμάτωση της αγροτικής παραγωγής σε ένα πιο ευρύτερο σύστημα κυκλικής οικονομίας, που περιλαμβάνει τη διαχείριση των αποβλήτων και την αξιοποίηση των παραπονητικών προϊόντων ως πηγή ενέργειας.

Συνολικά, το μέλλον της έξυπνης γεωργίας είναι ενθαρρυντικό και προσφέρει μεγάλες δυνατότητες για τη βελτίωση της γεωργικής παραγωγής και της βιωσιμότητας του πλανήτη. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι προκλήσεις που προκύπτουν, όπως η προσαρμογή σε νέες τεχνολογίες και η εξάλειψη των κοινωνικών και οικονομικών ανισοτήτων στον τομέα της γεωργίας. Πρέπει επίσης να δοθεί προσοχή στη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων και της ποιότητάς τους.

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η έξυπνη γεωργία πρέπει να ενσωματώνει την ανθρώπινη παρέμβαση και την επιστημονική έρευνα και ανάπτυξη. Η γεωργία παραμένει μια ανθρώπινη δραστηριότητα και η συνεργασία μεταξύ αγροτών, επιστημόνων και τεχνολογικών εταιρειών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη μιας βιώσιμης και αποδοτικής γεωργίας. Συνολικά, το μέλλον της έξυπνης γεωργίας είναι φωτεινό και αναμένεται να συνεχίσει να αναπτύσσεται και να προοδεύει, παρέχοντας λύσεις για τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο πλανήτης.



Σχήμα 7.1 IOT στις έξυπνες καλλιέργειες

Βιβλιογραφία

- Abdel Hakeem et al., 2022: Shima A. Abdel Hakeem, Hanan H. Hussein, HyungWon Kim, Vision and research directions of 6G technologies and applications, <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.03.019>
- Chatterjee, Sankar Kumar Acharya, 2021, Dynamics of Conservation Agriculture: a societal perspective
- Gorjian, S., Ebadi, H., Trommsdorff, M., Sharon, H., Demant, M., & Schindele, S. (2021). The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126030.
- Jellason, et al., 2021: Jellason, N. P., Conway, J. S. and Baines, R. N. (2021) Understanding impacts and barriers to adoption of climatesmart agriculture (CSA) practices in North-western Nigerian drylands. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 27 (1). pp. 55-72. ISSN 1750-8622, doi: <https://doi.org/10.1080/1389224X.2020.1793787>
- Stafford, J.V. (2000). Implementing Precision Agriculture in the 21 st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research* 76(3): 267-275
- Millard et al., 2019: Millard, A.G., Ravikanna, R., Groß, R., Chesmore, D. (2019). Towards a Swarm Robotic System for Autonomous Cereal Harvesting. In: Althoefer, K., Konstantinova, J., Zhang, K. (eds) *Towards Autonomous Robotic Systems. TAROS 2019. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 11650. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25332-5_40
- Mohamed et al., 2016: Mohamed, E.S., Ali, A.M., El Shirbeny, M.A., Abd El Razek, A.A., & Savin, I.Y., 2016. Near infrared spectroscopy techniques for soil contamination assessment in the Nile Delta. *Eurasian soil science*, 49(6), p. 632-639
- Mohd et al. 2014: Mohd, M.M., Soom, M., Amin, M., Kamal, R. and Wayayok, A. (2014). Application of Web Geospatial Decision Support System for Tanjung Karang Rice Precision Irrigation Water Management. In *International Conference on Agriculture, Food and Environmental Engineering (ICAFEE'2014)* Jan. 15- 16, 2014, pp.24–28

- Monteiro, et al., 2021: Monteiro, A. P.; Cepêda, C.; Silva, A. F.; Leite, E.; Camacho, 2021. The role of accounting information in decision-making and companies' sustainability development: the Portuguese accountants' perspective, *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 9(1), p. 486-501
- A.H. El Nahry, E.S. Mohamed Potentiality of land and water resources in African Sahara: a case study of south Egypt *Environmental Earth Sciences*, 63 (6) (2011), p. 1263-1275
- Oliveira et al. (2021): Oliveira, L.F.P.; Moreira, A.P.; Silva, M.F. Advances in Agriculture Robotics: A State-of-the-Art Review and Challenges Ahead. *Robotics* 2021, 10, 52. <https://doi.org/10.3390/robotics10020052>
- L. Palombi and R. Sessa 2013, *Climate-smart agriculture: sourcebook*
- Reinecke, M. and Prinsloo, T. (2017) The Influence of Drone Monitoring on Crop Health and Harvest Size. *IEEE 1st International Conference in Next Generation Computing Applications (Next Comp)*, Mauritius, 19-21 July 2017, 5-10. <https://doi.org/10.1109/NEXTCOMP.2017.8016168>
- Verdouw et al. 2016b: C. Verdouw, S. Wolfert, B. Tekinerdogan. *Internet of Things in agriculture*. CABI Rev., 2016 (2016), pp. 1-12 <https://cabidigitalibrary.org/doi/10.1079/PAVSNNR201611035>
- Li et al. 2021: H. Li, Y.u. Guo, H. Zhao, Y. Wang, D. Chow. Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things. *Comput. Electron. Agric.*, 191 (2021), [10.1016/J.COMPAG.2021.106558](https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2021.106558)
- E.A. Lee, S.A. Seshia. *To embedded Systems*, vol. 195, A CYBER-PHYSICAL SYS (2017) <https://books.google.co.uk/books?hl=en&lr=&id=chPiDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=INTRODUCTION+TO+EMBEDDED+SYSTEMS+A+CYBER-PHYSICAL+SYSTEMS+APPROACH&ots=wWyCt2IKDK&sig=Gbp7bueYwN1ShTL9HQBqTC6l6VA#v=onepage&q=INTRODUCTION>
- Gupta, M., AbdelSalam, M., Khorsandroo, S., & Mittal, S. (2020). Security and privacy in smart farming: Challenges and opportunities. *IEEE Access*, 8, 34564-34584
- G. Adamides, N. Kalatzis, A. Stylianou, N. Marianos, F. Chatzipapadopoulos, M. Giannakopoulou, G. Papadavid, V. Vassiliou, D. Neocleous *Smart Farming Techniques for Climate Change Adaptation in Cyprus Atmosphere*, 11 (6) (2020), 557, [10.3390/atmos11060557](https://doi.org/10.3390/atmos11060557)

- A.T. Ahmed, F. El Gohary, V.A. Tzanakakis, A.N. Angelakis Egyptian and Greek Water Cultures and Hydro-Technologies in Ancient Times Sustainability, 12 (22) (2020), p. 9760
- S.A.H. AlMetwally, M.K. Hassan, M.H. Mourad Real Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Management System Procedia CIRP, 91 (2020), pp. 478-485
- Anand, N., & Vikram, P. (2016). Smart Farming: IoT Based Smart Sensors Agriculture Stick for Live Temperature and Moisture Monitoring using Arduino Cloud Computing & Solar Technology. The International Conference on Communication and Computing Systems (ICCCS-2016).
- Bach, M. P., Zoroja, J., & Loupis, M. (2016). RFID usage in European enterprises and its relation to competitiveness: Cluster analysis approach. International Journal of Engineering Business Management, 8, 1-12.
- M. Bacco, P. Barsocchi, E. Ferro, A. Gotta, M. Ruggeri The digitisation of agriculture: a survey of research activities on smart farming Array, 3-4 (2019), p. 100009, [10.1016/j.array.2019.100009](https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009)
- Brewster, C., Jan, E., Raymond, K. F. M., Rakers, P., Iver, T., Jürgen, V., & Astrid, W. (2018). Strategic Research and Innovation Agenda. Brussels: ETIP Wind.
- D. Bochtis, C.A.G. Sørensen, D. Kateris Operations Management in Agriculture, Elsevier (2019), pp. 1-18, [10.1016/B978-0-12-809786-1.00001-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809786-1.00001-1)
- R. Dangi, P. Lalwani, G. Choudhary, I. You, G. Pau Study and investigation on 5g technology: A systematic review Sensors, 22 (1) (2022), p. 26.
- FAO, 2017. The future of food and agriculture—Trends and challenges. Annual Report
- A.A. Hammam, E.S. Mohamed Mapping soil salinity in the East Nile Delta using several methodological approaches of salinity assessment. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. (2018)
- Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, C., Guo, Q., Luo, S., & He, Y., 2021. A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105895

- Vermeulen, S.J., Campbell, B.M., & Ingram, J.S., 2012. Climate change and food systems. Annual review of environment and resources, 37, 195-222
- Wolfert, S., Goense, D., & Sørensen, C.A.G., 2014. A future internet collaboration platform for safe and healthy food from farm to fork. In 2014 annual SRII global conference (pp. 266-273). IEEE
- Yallappa, D., Veerangouda, M., Maski, D., Palled, V., Bheemanna, M., (2017). Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops, IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), pp. 1-7.
- Lencses, E., Takacs, I. and Takacs-Gyoergy, K. 2014. Farmers' Perception of Precision Farming Technology among Hungarian Farmers. Sustainability, 6, 8452-8465
- Farmacorn : Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα, ανά καλλιέργεια , Χαρού Αναστασία , (τελευταία ενημέρωση 2016) <https://blog.farmacon.gr/>
- Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ., 2015. Γεωργία ακριβείας. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2670>
- Farmacorn : Γεωργία ακριβείας: βασικές τεχνολογίες και έννοιες , Χαρού Αναστασία , (τελευταία ενημέρωση 2016) <https://blog.farmacon.gr/>
- Blackmore, B. S., Griepentrog, H. W., Nielsen, H., Nørremark, M. and Resting-Jeppersen, J. 2004
- Smart-akis : Interactive map , site , (τελευταία ενημέρωση 2019) <https://www.smart-akis.com/>
- Qiao, J., Sasao, A., Shibusawa, S., Kondo, N. and Morimoto, E., 2005. Mapping yield and quality using the mobile fruit grading robot, Biosystems Engineering, 90
- Jahns, G. 2000. Navigating of agricultural field machinery. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 25, p.: 1-2
- Griffin, T.W. and Lowenberg-Deboer, J. 2005. Worldwide adoption and profitability of precisionagriculture. Implications for Brazil. In: Revista de Politica Agricola. Brazil. Nr. 4/2005
- Gandorfer, M., 2014. Economics of Precision Agriculture Technologies at the Farm Level. TransAtlantic PA Consortium, USA Workshops

FAO, 2009. 2050: A third more mouths to feed: Food production will have to increase by 70 percent. Available at: <http://www.fao.org/news/story/en/item/35571/icode/>

Fountas, S., Anastasiou, E., Xanthopoulos, G., Lambrinos, G., Manolopoulou, E., Apostolidou, S., Lentzou, D. and Tsiropoulos, Z. 2015. Precision agriculture in watermelons. 10th European Conference on Precision Agriculture. Tel Aviv, Israel, July, 2015.

Aggelopoulou, K., Bochtis, D., Koutsostathis, A., Fountas, S., Gemtos, T. and Nanos, G., 2011. Flower spatial variability in an apple orchard. Journal of Precision Agriculture 12, 118–129

