



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ
ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

ΔΙΚΤΥΟ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Σωτηρία Γουρνά

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Επιβλέπουσα
Περιστέρα Μπαζιάνα

Λαμία, 2022



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF SCIENCE
INFORMATICS AND COMPUTATIONAL
BIOMEDICINE

**WIRELESS SENSOR NETWORK IN PRECISION
AGRICULTURE**

Sotiria Gourna

Master thesis

Peristera Baziana

Lamia

2022

2



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ
«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ,
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ»
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΚΤΥΟ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ
ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Σωτηρία Γουρνά

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπουσα

Περιστέρα Μπαζιάνα

Λαμία, 2022

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο [«τίτλος εργασίας»] αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Η ΔΗΛΟΥΣΑ

Σωτηρία Γουρνά

Ημερομηνία
.../11/2022

Υπογραφή

**ΔΙΚΤΥΟ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ**

Σωτηρία Γουρνά

Τριμελής Επιτροπή:

Ονοματεπώνυμο, Βαρζάκας Παναγιώτης

Ονοματεπώνυμο, Μπαζιάνα Περιστέρα

Ονοματεπώνυμο, Ξενάκης Απόστολος

Επιστημονικός Σύμβουλος:

Ονοματεπώνυμο, Μπαζιάνα Περιστέρα

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος Πληροφορική και Υπολογιστική Βιοιατρική στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Θα ήθελα να εκφράσω την εγκάρδια ευγνωμοσύνη στην καθηγήτρια μου Μπέττυ Μπαζιάνα, για τις πολύτιμες συμβουλές της και την άριστη καθοδήγηση και συνεργασία που μου προσέφερε ως αρωγός καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο και ανιδιοτελές ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τον αγαπημένο μου σύζυγο Δημοσθένη και τα λατρεμένα μου παιδιά, Θεοδώρα, Ματρώνα και Νικόλα, γιατί χωρίς αυτούς δεν θα είχα καταφέρει όσα έχω κατακτήσει μέχρι στιγμής.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία με τίτλο Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων στη Γεωργία Ακριβείας αποτελείται από 7 Κεφάλαια, που διαπραγματεύονται και αναλύουν τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης αλλά και το διαδίκτυο των πραγμάτων IoT στον αγροδιατροφικό τομέα. Με την εφαρμογή συσκευών, βιομηχανικών μηχανημάτων και οχημάτων συνδεδεμένα στο διαδίκτυο καθίσταται δυνατή η άμεση και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων με σκοπό τη βελτίωση του τρόπου εργασίας και του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου. Η βασική ιδέα αυτής της διπλωματικής είναι η χρήση αισθητήρων στη γεωργία ακριβείας, στοχεύοντας στη μελέτη των δικτύων που καθιστούν δυνατή τη διασυνδεσιμότητα των αισθητήρων αλλά και άλλων συσκευών, με σκοπό να διευκολυνθεί η ζωή του αγρότη.

Μετά από εκτενή έρευνα διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αισθητήρες που μετράνε την υγρασία, τη θερμοκρασία εδάφους και άλλες βιοχημικές μεταβλητές, στην περιοχή Κομποτάδες Σπερχειού, όπου είναι τοποθετημένοι σε χωράφι με καρυδιές. Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με το πως οι αισθητήρες αυτοί παρέχουν απαραίτητα δεδομένα στον ιδιοκτήτη του χωραφιού, ώστε να μπορεί από απόσταση να εξετάζει τις ανάγκες του χωραφιού του.

Σκοπός της επικείμενης διπλωματικής εργασίας είναι να αναλυθούν τρόποι συλλογής, μεταφοράς και αξιοποίησης δεδομένων, μέσα από τη χρήση νέων τεχνολογιών με ιδιαίτερη έμφαση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) στην έξυπνη γεωργία. Επίσης, παρουσιάζονται ορθές πρακτικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να αναβαθμιστούν οι καλλιεργητικές ικανότητες των αγροτών με τη διαχείριση των πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, για να γίνει εκσυγχρονισμός του αγροδιατροφικού τομέα σε όλο το ευρύ φάσμα της γεωργίας.

Σε αυτή την διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα των γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (QGIS) για τον χωρικό προσδιορισμό του χωραφιού με τις καρυδιές που θα μελετηθεί. Καθώς επίσης, έγινε χρήση του λογισμικού MATLAB για τον προσδιορισμό των κατανομών που ακολουθούν τα δεδομένα. Επίσης,

έγινε εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων στην R- project απ' όπου προέκυψαν και τα γραφήματα του 6^{ου} Κεφαλαίου.

Λέξεις Κλειδιά

Γεωργία Ακρίβειας, Τεχνητή Νοημοσύνη, Αισθητήρες, LoRaWAN, Καρδιές

Abstract

This dissertation entitled *Wireless Sensor Network in Precision Agriculture* consists of 7 Chapters, which discuss and analyze the use of artificial intelligence and the Internet of Things IoT in the Agri-Food sector. With the application of machines, industrial machines and vehicles connected to the internet, the immediate and valid transfer of data becomes possible with the aim of improving the way of working and the standard of living of man. The basic idea of this diploma is the use of sensors in precision agriculture, aiming to study the networks that make possible the interconnectivity of sensors and other devices, with the aim of facilitating the farmer's life.

After extensive research it was found that there are sensors that measure soil moisture in the Kobotades area of Sperchiou, where they are placed in a field of walnut trees. In this case, information is presented about how these sensors provide the necessary information to the owner of the field, so that he can remotely examine the needs of his field.

The purpose of the upcoming diploma thesis is to analyze ways of collecting, transferring, and exploiting data, using new technologies with special emphasis on wireless sensor networks (WSN) in smart agriculture. It also informs about the good practices that can be used to upgrade farmers' farming capabilities by managing real-time information to modernize the agri-food sector across the wide spectrum of agriculture.

In this thesis, the geographic information systems (QGIS) program was used for the spatial identification of the walnut field to be studied. Also, MATLAB software was used to determine the distributions that the data are relied on. Also, data was imported and processed in the R-project, from which the graphs of the 6th Chapter emerged.

Key Words

Precision Agriculture, Artificial Intelligence, Sensors, LoRaWAN, Walnut

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	7
Περίληψη.....	8
Abstract	10
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος Εικόνων.....	14
Κατάλογος Πινάκων	15
Κατάλογος Ακρωνυμίων	16
Κεφάλαιο 1ο - Ευφυής γεωργία/ Γεωργία ακριβείας- Εισαγωγή	19
1.1 Ορισμοί.....	19
1.1.1 Γεωργία.....	19
1.1.2 Γεωργία ακριβείας.....	20
1.2 Οφέλη της γεωργίας ακριβείας.....	22
1.2.1 Μείωση κόστους- Μείωση καλλιεργητικών εισροών	23
1.2.2 Ενισχυμένη βιωσιμότητα.....	23
1.2.3 Προστασία του περιβάλλοντος.....	23
1.2.4 Ανασυγκρότηση και υψηλή ποιότητα παραγόμενων προϊόντων	24
1.2.5 Άμεση και αποτελεσματική κατανόηση των αναγκών του εδάφους	24
1.2.6 Ελαχιστοποίηση χρόνου	24
1.3 Καινοτόμα βήματα στη γεωργία ακριβείας.....	25
Κεφάλαιο 2ο - IoT στην ευφυή Γεωργία	28
2.1 Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT.....	28
2.2 Ορισμοί για το διαδίκτυο των πραγμάτων	28
2.3 Τεχνολογίες στη γεωργία ακριβείας.....	30
2.3.1 Παγκόσμια συστήματα καθορισμού/εντοπισμού θέσης (GPS).....	30
2.3.2 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS)	30
2.3.3 Συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA/VRT).....	32
2.3.4 Συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων χωραφίου (YMS- Yield Monitoring System)	33
2.3.5 Τηλεπισκόπηση	34
2.4 Εφαρμογές των νέων τεχνολογιών στη γεωργία ακριβείας.....	34

2.4.1 Παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών (monitoring)- Μετεωρολογικοί σταθμοί	34
2.4.2 Αυτοματισμοί σε θερμοκήπια.....	35
2.4.3 Αυτοματοποιημένη λίπανση/Ψεκασμός ακριβείας	35
2.4.4 Αυτοματοποιημένη άρδευση	36
2.4.5 Μη επανδρωμένα γεωργικά αεροσκάφη (UAV).....	37
2.4.6 FarmBeats.....	39
2.4.7 Farmbots	40
2.4.8 Virtual- augmented reality	41
Κεφάλαιο 3^ο – Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στη γεωργία ακριβείας	42
3.1 Artificial Intelligence.....	42
3.2 Στρατηγικές ελέγχου άρδευσης	46
Κεφάλαιο 4^ο – Αισθητήρες.....	48
4.1 Τύποι αισθητήρων	48
4.1.1 Αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας περιβάλλοντος.....	59
4.1.2 Αισθητήρες ανίχνευσης φλόγας	60
4.1.3 Αισθητήρας υπολογισμού Ph εδάφους.....	60
4.1.4 Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας	61
4.1.5 Αισθητήρας ανίχνευσης ζιζανίων	63
4.1.6 Αισθητήρας λίπανσης.....	64
4.1.7 Αισθητήρες διαχείρισης συστημάτων άρδευσης.....	64
4.2 Εφαρμογές έξυπνης γεωργίας σε smartphone	65
Κεφάλαιο 5^ο – Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	71
5.1 Ορισμός ασύρματου δικτύου αισθητήρων	72
5.2 Δικτυακές οντότητες.....	72
5.3 Αρχιτεκτονικές Δικτύου IoT	74
5.3.1 Μοντέλο αναφοράς OSI	74
5.3.2 Αρχιτεκτονικές IoT.....	74
5.4 Ασύρματες τεχνολογίες δικτύωσης στη γεωργία	78
Κεφάλαιο 6^ο- Μελέτη περίπτωσης (Κομποτάδες Σπερχειού).....	85
6.1 Η καλλιέργεια της καρδιάς και οι απαιτήσεις της σε νερό.....	85
6.2 Τοποθεσία μετρήσεων και συλλογή δεδομένων	86
6.2 Επεξεργασία δεδομένων στο MATLAB	93
6.4 Επεξεργασία δεδομένων στο R-Studio.....	95

6.5 Εξαμυσοδιαπνοή.....	97
Κεφάλαιο 7ο - Συμπεράσματα.....	99
7.1 Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η γεωργία ακριβείας.....	99
7.2 Στόχος του έργου OpenEliot.....	100
7.3 Συμπεράσματα της έρευνας.....	101
Βιβλιογραφία.....	102
A. Ελληνική βιβλιογραφία	102
B. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	104
Γ. Διαδίκτυο.....	110

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1:Πηγή: blog.farmacon.gr	24
Εικόνα 2: Καινοτόμα βήματα στη Γεωργία Ακριβείας	25
Εικόνα 3: Logo Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	31
Εικόνα 4: Agribot	31
Εικόνα 5:Variable Rate Application and Mapping System.....	33
Εικόνα 6: Yield Monitoring System.....	34
Εικόνα 7: Smart Monitoring Pycno Platform.....	35
Εικόνα 8: Σύστημα Ψεκασμού σε Θερμοκήπιο	36
Εικόνα 9: Σύστημα Ποτίσματος σε Θερμοκήπιο	37
Εικόνα 10: Drone κατά τον ψεκασμό χωραφιού	38
Εικόνα 11: Διάφοροι τύποι Drone.....	39
Εικόνα 12: Farmbot	41
Εικόνα 13: Διάγραμμα ασύρματων αισθητήρων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης για παρακολούθηση και έλεγχο γεωργικών παραμέτρων	43
Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής για την παρακολούθηση φυτού σε μια καλλιέργεια.....	44
Εικόνα 15: Ταξινόμηση συστήματος ελέγχου ποτίσματος[28].....	47
Εικόνα 16: Δομή κόμβου ασύρματου αισθητήρα. Πηγή: Προσομοίωση ασύρματου δικτύου αισθητήρων με εφαρμογή στη γεωργία ακριβείας (2017) Κων/νος- Ιωάννης Μαγκούφης.....	48
Εικόνα 17:Αρχιτεκτονική WSN [97]	50
Εικόνα 18: Επίγειοι και υπόγειοι αισθητήρες	51
Εικόνα 19: Γενική Ιεραρχία Πιθανών Εφαρμογών, Υπηρεσιών και Αισθητηρίων για Έξυπνη Γεωργία	52
Εικόνα 20: Αισθητήρας υγρασίας/θερμοκρασίας	60
Εικόνα 21: Αισθητήρας pH	61
Εικόνα 22: Γεωργικός ελκυστήρας με σύστημα ηλεκτρικής αγωγιμότητας Πηγή: https://blog.farmacon.gr/	62
Εικόνα 23: Λήψη και μετάδοση ηλεκτροδίων Πηγή: https://blog.farmacon.gr/	63
Εικόνα 24: Σύστημα ψεκασμού για ζιζάνια Πηγή: https://blog.farmacon.gr/	63
Εικόνα 25: Σύστημα διαχείρισης άρδευσης Πηγή: https://blog.farmacon.gr/	64
Εικόνα 26:Μοντέλο έξυπνης γεωργίας[22].....	73
Εικόνα 27: Τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας στο IoT	79
Εικόνα 28: Τριμερής σχέση IoT	80
Εικόνα 29: Απαιτούμενη ευρυζωνικότητα	81
Εικόνα 30: Ταξινόμηση των ασύρματων τεχνολογιών βάσει της ευρυζωνικότητας	82
Εικόνα 31: Τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης στη γεωργία ακριβείας.....	83
Εικόνα 32: Οπωρώνας καρδιάς. Πηγή: Best practice management for establishing a walnut orchard- Department of primary industries Tatura Centre, Harold H.Adem	85
Εικόνα 33: Χωράφι με αισθητήρες στους Κομποτάδες- χρήση QGIS	87
Εικόνα 34:LSE01 -- LoRaWAN Soil Moisture & EC Sensor	88
Εικόνα 35: Αισθητήρας 523	89
Εικόνα 36: Μετεωρολογικός σταθμός.....	89
Εικόνα 37: Διασυνδεσιμότητα αισθητήρων	90
Εικόνα 38:Τελική διεπαφή χρήστη	91
Εικόνα 40:Τελική διεπαφή χρήστη- Dragino523 real time- Ιούλιος2021.....	91
Εικόνα 41: Soil Temperature- Dragino523 real time- Ιούλιος 2021	92

Κατάλογος Ακρωνυμίων

4G	4th generation
ADC	Analog to Digital Converter
AI	Artificial Intelligence
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
ANN	Artificial Neural Network
BLE	Bluetooth Low Energy
Bps	Bits per Second
CaO	Calcium Oxide
CDMA	Code-Division Multiple Access
CoAP	Constrained Application Protocol
CPU	Computer Processing Unit
FTP	File Transfer Protocol
FTP	File Transfer Protocol
GB	Gigabyte
Gbps	Gigabits per second
GHz	Gigahertz Mbps Megabits per second
GIS	Geographic Information System
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile (communications)
HTTP	Hyper-Text Transfer Protocol
HTTP	Hyper-Text Transfer Protocol
HTTPS	Hyper-Text Transfer Protocol Secure
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
ISO	International Organization for Standardization
Kbps	Kilobits per second
KHz	Kilohertz

Εικόνα 42: Διεπαφή χρήστη	92
Εικόνα 43: Μέση μηνιαία θερμοκρασία εδάφους	97
Εικόνα 47: Διάγραμμα Αλυσίδας Αξίας- πηγή: https://www.openeliot.com	100

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ιστορική αναδρομή της γεωργίας	22
Πίνακας 2: Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας	58
Πίνακας 3: Επιπλέον αισθητήρες	59
Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά σε τεχνολογίες ασύρματης σύνδεσης	80
Πίνακας 5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία εδάφους	96
Πίνακας 9: Αποτελέσματα εξατμισοδιαπνοής	98

KPIs	Key Performance Indicators
LCD	Liquid Crystal Display
LoRa	Long-Range
LoRaWAN	Long-Range Wide Area Network
LPWAN	Lower-power Wide Area Network
LTE	Long-Term Evolution
LTE	Long-Term Evolution
M2M	Machine-to-Machine
mA	micro-Ampere
MAC	Medium Access Control
MCU	Microcontroller Unit
Mg	Magnesium
MHz	Megahertz
MIMO	Multiple-input and Multiple-output
MIRS	Mid-Infrared Spectroscopy
ML	Machine Learning
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MQTT	Message Queuing Telemetry
N	Nitrogen
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NFC	Near Field Communication
P	Phosphorus
P2O5	Phosphorus Pentoxide
PA	Precision Agricultural
PDF	Probability Density Function
pH	potential of Hydrogen
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
RFID	Radio-Frequency Identification
SO3	Sulfur Trioxide
SQL	Structured Query Language
SVM	Support Vector Machine

TCP	Transmission Control Protocol
TVWS	Television White Space
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra Hi Frequency
UWB	Ultra-Wideband
VHF	Very Hi Frequency
VPN	Virtual Private Network
VRA/VRT	Variable Rate Technology
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WSN	Wireless Sensor Network
WSNs	Wireless Sensor Networks
YMS	Yield Monitoring System

Κεφάλαιο 1ο - Ευφυής γεωργία/ Γεωργία ακρίβειας- Εισαγωγή

1.1 Ορισμοί

1.1.1 Γεωργία

Η Γεωργία ορίζεται ως ένα σύνολο ανθρώπινων εργασιών/δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την καλλιέργεια του εδάφους της γης, με απώτερο σκοπό την πρωτογενή παραγωγή προϊόντων για τη διατροφή των ανθρώπων και των ζώων, καθώς και την παραγωγή βιοκαυσίμων. Επιπλέον, στη γεωργία εντάσσεται η συλλογή και επεξεργασία πρώτων φυτικών υλών. Οι κύριοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η γεωργία είναι η μορφολογία του εδάφους και το κλίμα. Η γεωργία είναι άρρηκτα συνυφασμένη με τις έννοιες της γεωπονίας, της κτηνοτροφίας, της υδατοκαλλιέργειας, αλλά και της αλιείας, αφού είναι ο βασικός πυλώνας για τη διατήρηση και την αύξηση του πληθυσμού στον πλανήτη, και την ανάπτυξη του πολιτισμού. Ανά τους αιώνες, η ανάπτυξη της γεωργίας καθορίστηκε από την ανθρώπινη κουλτούρα, τις κλιματικές διαφορές αλλά και την τεχνολογία. Βεβαίως, η ιστορία του γεωργικού τομέα αναδύεται πίσω χιλιάδες χρόνια βασιζόμενη στην αύξηση των τεχνικών διαχείρισης και επέκτασης εδάφους κατάλληλων για την ανάπτυξη πολλών ειδών φυτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τεχνικών άρδευσης, αποστράγγισης και προστασίας καλλιεργούμενων εκτάσεων[2].

Η γεωργία είναι ο πιο αντιπροσωπευτικός όρος που μπορεί να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο οι καλλιέργειες παρέχουν αγαθά στον ανθρώπινο πληθυσμό. Ο αγγλικός όρος agriculture προέρχεται από τις λατινικές λέξεις ager που σημαίνει αγρόκτημα και colō που σημαίνει καλλιέργεια, οι οποίες μαζί σχηματίζουν τη λατινική λέξη agricultura, που σημαίνει όργανο χωραφιού ή εδάφους. Ωστόσο, ο όρος γεωργία περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα γεωργικών πρακτικών, όπως δασοκομία, κηπουρική, δενδροκομία, λαχανοκομία [43].

Η γεωργία είναι το θεμέλιο της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας της οικονομίας. Αν και είναι σημαντική για τη μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη καθώς και για τις συστημικές αλλαγές, διαφέρει ανά χώρα. Οι γεωργικές εργασίες περιορίζονταν κυρίως

στα τρόφιμα και στην επεξεργασία καλλιεργειών, όμως τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει επεκταθεί και χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη συγκομιδή, τη μεταποίηση, την εμπορία καθώς και τη διανομή καλλιεργειών και ζώων [20].

1.1.2 Γεωργία ακριβείας

“Οι Whelan and McBratney το 2000 διατύπωσαν τον εξής ορισμό: Η Γεωργία Ακριβείας είναι μια νέα διαδικασία διαχείρισης των αγρών, σύμφωνα με την οποία οι εισροές (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, σπόρος, νερό άρδευσης) και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών, καθώς αυτές διαφοροποιούνται στον χώρο και στον χρόνο.” [68]

“Σύμφωνα με τον Blackmore et al., (2002) με τον όρο Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών, προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την μη ορθολογική χρήση των εισροών. Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων το οποίο χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά εφαρμοσμένα στη γεωργία, βοηθά τον γεωργό στη λήψη αποφάσεων για την καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος.”[45]

Ιστορική αναδρομή

Η γεωργία ακριβείας είναι κύριο χαρακτηριστικό της τέταρτης γενιάς των σύγχρονων αγροτικών επαναστάσεων. Η πρώτη γεωργική επανάσταση ήρθε με την αύξηση της μηχανοποιημένης γεωργίας, από το 1900 έως το 1930. Κάθε αγρότης παρήγαγε αρκετά τρόφιμα για να καλύψει τη σίτιση περίπου 26 ατόμων κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου [3]. Στη δεκαετία του 1960 ήρθε η Πράσινη Επανάσταση με νέες μεθόδους γενετικής τροποποίησης, όπου κάθε αγρότης μπορεί να ταΐζει περίπου 156 άτομα. Αναμένεται ότι μέχρι το 2050, ο παγκόσμιος πληθυσμός θα φτάσει τα 9,6 δισεκατομμύρια περίπου και η παραγωγή τροφίμων πρέπει ουσιαστικά να διπλασιαστεί σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα για να τροφοδοτήσει κάθε άτομο. Με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις στη γεωργική επανάσταση της γεωργίας ακριβείας, κάθε αγρότης έχει τη δυνατότητα να καλλιεργήσει ένα χωράφι που θα μπορεί να ταΐσει 265 άτομα σε έκταση του ίδιου χωραφίου. Το 1929, οι Linsley και Bauer [47]δημιούργησαν για πρώτη

φορά έναν χάρτη για να μελετήσουν της μεταβολές του pH στο έδαφος. Έπειτα, οι επόμενες ερευνητικές μελέτες/δραστηριότητες στην έξυπνη γεωργία, άρχισαν στα μέσα της δεκαετίας του 1980 όπου δημιουργήθηκε ο πρώτος μετρητής απόδοσης καλλιέργειας σε μία θεριζοαλωνιστική μηχανή με σύστημα εντοπισμού θέσης. Στην επόμενη δεκαετία του 1990, διακεκριμένοι επιστήμονες ανέπτυξαν ειδικά συστήματα για τη μέτρηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη. Έως και το έτος 2002 έγιναν λήψεις δορυφορικών εικόνων, μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, και μια απόπειρα ανίχνευσης ζιζανίων στις γεωργικές καλλιέργειες. Στη συνέχεια, σε Ευρώπη και Ασία πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα συνέδρια στην ευφυή γεωργία. Το έτος 2015 έγινε και η πρώτη εισαγωγή ρομποτικών συστημάτων σε γεωργικές καλλιέργειες. [38]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η χρονολογική εξέλιξη της γεωργίας από την προϊστορική αγροτική επανάσταση όπου ο άνθρωπος δεν είχε πολλά εργαλεία για την καλλιέργεια της γης, φτάνοντας στο σήμερα, όπου η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της γεωργίας[14].

<p><u>Προϊστορική αγροτική επανάσταση (12.000 π.Χ.)</u></p>	<p>Ο άνθρωπος συνήθιζε να καλλιεργεί και να κυνηγάει ζώα, χρησιμοποιώντας τσάπες και δρεπάνια. Αυτή ήταν η αρχή της νεολιθικής επανάστασης, όπου το όργανο αγροτικής γης με ζυγούς ξεκίνησε από τους Αιγύπτιους. Υιοθετήθηκε επίσης η άρδευση.</p>
<p><u>Εξέλιξη της γεωργία στις Αραβικές χώρες (8ος-13ος αιώνας)</u></p>	<p>Βελτιωμένα συστήματα γεωργίας, εφαρμογή αμειψισποράς (εναλλαγή καλλιέργειας), χρήση κοπριάς από ζώα, το ρωμαϊκό σύστημα άρδευσης αναπτύχθηκε στα αγροκτήματα των μουσουλμάνων, νερόμυλοι για την τροφοδοσία των αγροκτημάτων.</p>
<p><u>Γεωργική Επανάσταση στη Βρετανία (17^{ος}- 19^{ος} αιώνας)</u></p>	<p>Παραγωγή τεχνητού λιπάσματος, υιοθέτηση τεχνικών φύτευσης σπόρων, κατασκευή αμερικάνικων τρακτέρ σε βρετανικές φάρμες.</p>
<p><u>3^η Γεωργική Επανάσταση (1930- 1960)</u></p>	<p>Βιολογική γεωργία, συλλογική γεωργία, εισαγωγή λιπάσματος νιτρικής αμμωνίας, εισαγωγή γεωργικών</p>

	τρακτέρ, υδροπονία, βιοκαύσιμα, πειραματισμοί γονιδίων καλλιεργειών, θεριζοαλωνιστικές μηχανές, συστήματα φύτευσης χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.
<u>1960-1980</u>	Η Πράσινη επανάσταση και η γεωργική έρευνα αναπτύχθηκε στα αγροκτήματα με χρήση καινοτόμων τεχνολογιών, αύξηση της απόδοσης των γεωργικών καλλιεργειών, στρατηγικές διαχείρισης αγροκτημάτων, βελτιωμένοι σπόροι και δημιουργία ζιζανιοκτόνων.
<u>1980-2022</u>	Ανάπτυξη υβριδικών σπόρων. Εισαγωγή τεχνητής νοημοσύνης στη γεωργία, drones, τεχνικές υδροπονίας (καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους), βελτιωμένες φυλές ζώων, γενετικά βελτιωμένη εκτροφή ζώων και ψαριών, καινοτόμος ανάλυση εδάφους, καλύτερες στρατηγικές αποθήκευσης, IoT στην τεχνολογία cloud.

Πίνακας 1: Ιστορική αναδρομή της γεωργίας

Από αυτή την ιστορική αναδρομή διαφαίνεται η ταχύτατη εξέλιξη της γεωργίας. Ο σκοπός αυτής της εξέλιξης είναι να μπορεί ο άνθρωπος να κάνει τη ζωή του πιο εύκολη και πιο αποτελεσματική.

1.2 Οφέλη της γεωργίας ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας αναπτύσσεται για πάνω από μία δεκαετία, η οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως μηχανισμός προσαρμογής της χρήσης λιπασμάτων που περιβάλλουν ζώνες υψηλής, μεσαίας ή χαμηλής παραγωγής ενός χωραφιού. Καθώς η τεχνολογία και η γεωπονική έρευνα έχει βελτιωθεί, παρατηρείται αύξηση χρήσης γεωργικών εργαλείων που σχετίζονται με την εφαρμογή υπερσύγχρονων τεχνικών και πρακτικών. Παρακάτω παρουσιάζονται τα οφέλη της ευφυούς γεωργίας[27].

1.2.1 Μείωση κόστους- Μείωση καλλιεργητικών εισροών

Είναι ευρέως γνωστό ότι το έδαφος είναι μια σημαντική πηγή θρεπτικών ουσιών και συστατικών στοιχείων που συμβάλουν στην ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών. Η χρήση οργανικών και χημικών λιπασμάτων λειτουργεί ως συμπλήρωμα των ελλειπόντων θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Όμως, η απρόσκοπτη χρήση τους υποβόσκει κινδύνους ρύπανσης του περιβάλλοντος μέσω των υπόγειων υδάτων. Έτσι, είναι αναγκαία η χρήση των απολύτως απαραίτητων ποσοτήτων οργανικών ή και χημικών λιπασμάτων σύμφωνα με ένα πρόγραμμα λίπανσης βασισμένο σε αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των φύλλων και του εδάφους, στην εκάστοτε καλλιέργεια. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση κόστους κατά τη χρήση συγκεκριμένης ποσότητας λιπασμάτων σε κάθε περίπτωση [32].

1.2.2 Ενισχυμένη βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα στη γεωργία ακριβείας δεν είναι απλά ένα μέρος μιας στρατηγικής αλλά η ουσία της ύπαρξης του ανθρώπινου είδους και η διατήρηση του ζωικού βασιλείου. Η άρδευση ακριβείας είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος άρδευσης καλλιεργειών, όπου οι παραγωγοί καλλιεργούν με έναν πιο βιώσιμο τρόπο [17].

1.2.3 Προστασία του περιβάλλοντος

Ένα θέμα που μας απασχολεί τις τελευταίες δεκαετίες είναι η αλόγιστη χρήση νερού με αποτέλεσμα τη μείωση υδάτινων πόρων στον πλανήτη Γη. Η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων προκαλούν πολύ σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον με την αλάτωση και τη ρύπανση εδάφους, με αποτέλεσμα να παράγονται προϊόντα με χαμηλότερη θρεπτική αξία. Η γεωργία ακριβείας έχει μια αλληλένδετη και αμφίδρομη σχέση με το περιβάλλον, η οποία σχέση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως άμεση και δυναμική. Είναι ευνόητο ότι, η σωστή διαχείριση εισροών στις καλλιέργειες θα μπορούσε ξεκάθαρα να μειώσει στο ελάχιστο τις δραματικές, αρνητικές επιπτώσεις της γεωργίας στο περιβάλλον, αλλά και στην υγεία του ανθρώπου [51].



Εικόνα 1: Πηγή: blog.farmacon.gr

1.2.4 Ανασυγκρότηση και υψηλή ποιότητα παραγόμενων προϊόντων

Καθώς γίνεται ο διαχωρισμός ενός αγροτεμαχίου σε ζώνες σύμφωνα με τις ανάγκες του οδηγούμαστε στην ανάπτυξη πιο υγιών και παραγωγικών φυτών. Και αυτό γιατί κάθε ζώνη εξετάζεται εξονυχιστικά με αποτέλεσμα τη συλλογή μεγάλου όγκου πληροφοριών και δεδομένων, όπου μετά από ανάλυση οδηγούμαστε σε πιο έγκυρα αποτελέσματα.

1.2.5 Άμεση και αποτελεσματική κατανόηση των αναγκών του εδάφους

Με την άμεση και αποτελεσματική κατανόηση των αναγκών του εδάφους, ο αγρότης θα έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει τα προβλήματα ή τις ελλείψεις που μπορεί να έχει το χωράφι του. Έτσι, δύναται να επιλύσει άμεσα τα θέματα που προκύπτουν για τη βελτίωση της καλλιέργειάς του.

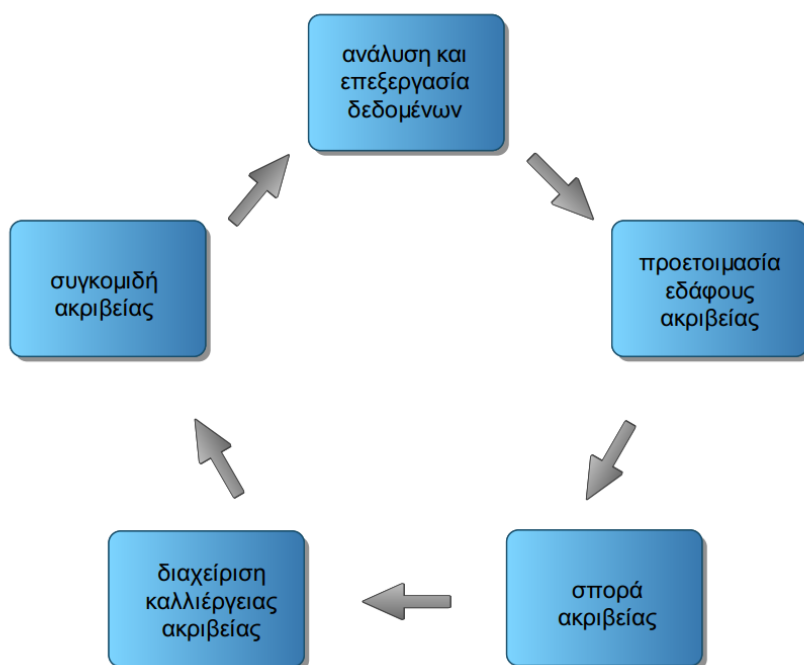
1.2.6 Ελαχιστοποίηση χρόνου

Με τα νέα συστήματα στην ευφυή γεωργία συλλέγονται τα δεδομένα ενός αγροτεμαχίου και μέσα σε μόλις λίγα λεπτά και μέσω της μηχανικής μάθησης με

αλγόριθμους μπορεί ο αγρότης να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο τις κλιματολογικές συνθήκες του χωραφιού αλλά και την κατάσταση των φυτών/δέντρων. Τα δεδομένα αυτά αφορούν ακόμα και τον πληθυσμό ζιζανίων, όπως και τις ανωμαλίες του εδάφους. Έτσι, ακόμα και κατά την απουσία του αγρότη από το χωράφι μπορεί να υπάρξει ενημέρωση και επιτήρηση μέσω εφαρμογών IoT για μια περιοχή που έχει οριστεί.

1.3 Καινοτόμα βήματα στη γεωργία ακριβείας

Υπάρχουν τέσσερα βασικά βήματα του κύκλου μιας καλλιέργειας στις καινοτομίες της γεωργίας ακριβείας.



Εικόνα 2: Καινοτόμα βήματα στη Γεωργία Ακριβείας

1. Ακρίβεια προετοιμασίας του εδάφους (Precision Soil Preparation)

Είναι αναγκαία η αξιολόγηση και η ανάλυση του εδάφους μιας καλλιέργειας καθώς αποτελεί βασικό πυλώνα στις πρακτικές της γεωργίας ακριβείας. Ο αγρότης αναθέτει σε μια εταιρεία να αναλάβει τη μέτρηση και την ανάλυση των συστατικών του εδάφους για να αξιολογήσει όλα τα θρεπτικά συστατικά και στη συνέχεια, τα δείγματα αυτά θα καθορίσουν τη διαχείριση των εισροών για την αναπτυσσόμενη καλλιέργεια. Τα κύρια στοιχεία που πρέπει να μελετηθούν είναι το Άζωτο (N), το Φώσφορο (P), το Κάλιο

(K), το Οξείδιο του Ασβεστίου (CaO) και το Πεντοξείδιο του Φωσφόρου (P₂O₅). Αυτές τις πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τον καλύτερο υπολογισμό της ποσότητας λιπάσματος που πρέπει να εφαρμόσει ο γεωργός για να επιτύχει τις βέλτιστες αποδόσεις με βιώσιμο τρόπο.

2. Σπορά ακριβείας (Precision Seeding)

Η σπορά ακριβείας είναι το βασικότερο βήμα για την καλλιέργεια. Κατά τη φύτευση των σπόρων καταγράφεται η ημερομηνία φύτευσης και η ποσότητα του σπόρου.

3. Διαχείριση καλλιέργειας ακριβείας

Κατά τη φάση της ανάπτυξής τους, τα φυτά χρειάζονται:

- **Λίπανση** - Η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών

Η ημερομηνία κατά την οποία εφαρμόστηκαν τα λιπάσματα και τα μέταλλα όπως N, P, K, Mg και SO₃ στα προϊόντα λιπάσματος καταγράφονται για κάθε χωράφι. Η επένδυση σε εφαρμογές λιπασμάτων με βάση τη χαρτογράφηση θρεπτικών στοιχείων του εδάφους και τις απαιτήσεις των καλλιεργειών είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Αυτό βοηθά στη βελτίωση της διαχείρισης των θρεπτικών ουσιών στην αύξηση της αποδοτικότητας πρόσληψης θρεπτικών συστατικών μέσω της χορήγησης των λιπασμάτων, η οποία αποτελεί σημαντικό παράγοντα εξοικονόμησης κόστους και μείωσης των χημικών ουσιών που εισέρχονται στα υπόγεια ύδατα. Υπάρχουν πολλά οφέλη αυτής της τεχνολογίας. Η δυνατότητα μέτρησης της φυτικής βιομάζας σημαίνει ότι η εταιρεία είναι σε θέση να εφαρμόσει εισροές με βάση μια συγκεκριμένη ανάγκη ή απαίτηση αυτής της μονάδας[15].

- **Προστασία καλλιεργειών/ψεκασμός** - Προστασία από παράσιτα και ασθένειες

Ο αγρότης είναι σε θέση να παρακολουθεί την κατάσταση της υγείας των καλλιεργειών και να ανιχνεύει πρώιμα στάδια ασθένειας των φυτών, γεγονός που του επιτρέπει να ενεργήσει έγκαιρα. Σε κάποια σημεία στο χωράφι όπου μπορεί να αναπτύσσεται ένα συγκεκριμένο ζιζάνιο, μπορούν να εφαρμόσουν ένα

ζιζανιοκτόνο μόνο σε αυτήν την περιοχή χωρίς να χρειαστεί να το εφαρμόσουν σε ολόκληρο το χωράφι.

- Άρδευση - Οι ποσότητες νερού

Ο στόχος είναι να αυξηθούν οι αποδόσεις της καλλιέργειας με ταυτόχρονη μείωση του όγκου άρδευσης. Υπάρχει ένα σύστημα παρακολούθησης νερού το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί εκ των υστέρων σε κάθε αντλία νερού και να μετρήσει την ποσότητα χρήσης ανά λεπτό.

- Ανίχνευση και παρακολούθηση- Μετρήσεις της πραγματικής απόδοσης των διαδικασιών στο αγρόκτημα

Η ανίχνευση και η παρακολούθηση μπορεί να γίνει χειροκίνητα από έναν ανθρώπινο παρατηρητή ή από ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που χρησιμοποιεί τεχνολογίες ανίχνευσης όπως αισθητήρες ή δορυφόρους. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται αισθητήρες υγρασίας εδάφους για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της άρδευσης.

Κεφάλαιο 2ο - ΙοΤ στην ευφυή Γεωργία

2.1 Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του ΙοΤ

Ο όρος Διαδίκτυο των πραγμάτων (ΙοΤ) εκφράστηκε από τον Βρετανό Kevin Ashton [78], ο οποίος θεωρείται πρωτοπόρος στην τεχνολογία, καθώς στόχος του ήταν να μελετήσει ένα σύστημα διασυνδεδευσμότητας του πραγματικού/φυσικού κόσμου με το διαδίκτυο.

Βάσει της συνεχόμενης τεχνολογικής ανάπτυξης το ΙοΤ βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς κλάδους της τεχνολογίας και των σύγχρονων συστημάτων. Το ΙοΤ είναι το δίκτυο που επιτρέπει την επικοινωνία οποιουδήποτε αντικείμενου που έχει ενσωματωμένο ηλεκτρονικό λογισμικό, όπως υπολογιστές, οικιακές συσκευές, αλλά και πολύπλοκες βιομηχανικές μηχανές [7]. Βασική προϋπόθεση αυτής της διαδικασίας είναι, να γίνει ο απαραίτητος συγχρονισμός μεταξύ τους ώστε μέσα από την παραγωγή δεδομένων/πληροφοριών να μπορεί ο χρήστης να κατέχει τον απόλυτο έλεγχο των συσκευών αυτών μέσα από το κινητό του ή τον ηλεκτρονικό υπολογιστή [73].

2.2 Ορισμοί για το διαδίκτυο των πραγμάτων

“Σύμφωνα με τον Haller (2008) το ΙοΤ αποτελεί ένα συνεκτικό σύστημα, μέσα στο οποίο τα φυσικά αντικείμενα είναι ολιστικά ενσωματωμένα στα δίκτυα πληροφοριών και με την βοήθεια του οποίου τα φυσικά αυτά αντικείμενα συμμετέχουν ενεργά στις επιχειρηματικές διαδικασίες. Μέσα σε αυτό το σύστημα, οι υπηρεσίες έχουν την ικανότητα να αλληλεπιδρούν με ευκολία σε φυσικά αντικείμενα, να εξετάζουν την κατάσταση τους και να αντλούν αρκετές πληροφορίες από αυτά, λαμβάνοντας υπόψη θέματα ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής[22].”

“Στο Vision and Challenges for Realising the Internet of Things (2010) αναφέρθηκε ότι μια παγκόσμια υποδομή για τον κόσμο της πληροφορίας η οποία ενεργοποιεί εξελιγμένες υπηρεσίες μέσω της διαδικτύωσης εικονικών και πραγματικών πραγμάτων βασιζόμενη στις υπάρχουσες και εξελισσόμενες διαλειτουργικές τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών[72].”

“Σύμφωνα με το Council of Europe Secretariat (2009) Αδιάκοπη σύνδεση συσκευών, οχημάτων, αντικειμένων, μηχανών και αισθητήρων μέσω σταθερών και ασύρματων δικτύων. Οι συνδεδεμένοι αισθητήρες και συσκευές μπορούν να αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον και να στέλνουν πληροφορίες σε άλλα αντικείμενα μέσω της μηχανής-προς-μηχανή (M2M) επικοινωνίας[36].”

Είναι απολύτως ξεκάθαρο ότι το IoT κατέχει σημαντικό ρόλο στον τομέα των γεωργικών επιχειρήσεων. Η αυτοματοποίηση των γεωργικών συστημάτων προέρχεται από την ενσωμάτωση του διαδικτύου των πραγμάτων στη γεωργία με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος, πάντα με γνώμονα την αειφόρο ανάπτυξη και τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος. Έτσι, τα συστήματα άρδευσης που έχουν ενσωματώσει το IoT μπορούν να συμβάλλουν στην αξιοποίηση των υδάτινων πόρων και της εξοικονόμησης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών σε συνδυασμό με την απουσία της γεωργίας ακριβείας, ο γεωργικός τομέας είχε οδηγηθεί στην συνεχή πτώση της παραγωγής αλλά και στην χαμηλή απόδοση της ποιότητας, παρά την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Στόχος της εφαρμογής του IoT στη γεωργία δεν είναι μόνο οι συμβατικές ή οι μεγάλες γεωργικές επιχειρήσεις, αλλά και η ανάπτυξη του τομέα της βιολογικής γεωργίας[6].

Βασικά χαρακτηριστικά του IoT

- **Συνδεσιμότητα (Connectivity)**
Η συνδεσιμότητα IoT είναι ένας όρος που εκφράζει τη σύνδεση μεταξύ όλων των οντοτήτων του οικοσυστήματος IoT, όπως αισθητήρες, πύλες, δρομολογητές, εφαρμογές, πλατφόρμες και άλλα συστήματα.
- **Ετερογένεια (Heterogeneity)**
Ετερογένεια είναι η ιδιότητα ενός συστήματος IoT που εκφράζει την ανομοιογένεια που επικρατεί στις οντότητες που περιέχονται μέσα στο σύστημα αυτό.
- **Things-related services**
Το IoT έχει τη δυνατότητα να παρέχει υπηρεσίες, όπως η προστασία των προσωπικών δεδομένων και η ασφάλεια αυτών.
- **Μεγάλη κλίμακα χρηστών (Enormous Scale)**

Υπάρχει η δυνατότητα σε ένα δίκτυο IoT να μπορούν πολλοί χρήστες να συνδεθούν την ίδια στιγμή.

- **Ασφάλεια (Safety)**

Η ασφάλεια και η ακεραιότητα κατά τη μεταφορά δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική για έναν χρήστη αλλά και για ολόκληρο το IoT, καθώς διασφαλίζεται η προσωπική ζωή κάθε χρήστη.

2.3 Τεχνολογίες στη γεωργία ακριβείας

2.3.1 Παγκόσμια συστήματα καθορισμού/εντοπισμού θέσης (GPS)

“Σύμφωνα με τον Παντέλη (2004) δορυφορικός εντοπισμός θέσης είναι ο προσδιορισμός των απόλυτων και σχετικών συντεταγμένων των σημείων πάνω στη Γη, προς επεξεργασία μετρήσεων από ή προς τεχνητών δορυφόρων[19]”

Το GPS είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης, το οποίο συνδέεται με ένα πλέγμα εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με ειδικές συσκευές εντοπισμού, τους πομποδέκτες. Από τους πομποδέκτες λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τη θέση του σημείου, την ταχύτητα του, το υψόμετρο και την κατεύθυνση της κίνησης του. Τα συστήματα αυτά δημιουργήθηκαν από την Αμερικάνικη Αεροπορία και το Ναυτικό για στρατιωτικούς σκοπούς. Στην πορεία όμως φάνηκαν χρήσιμα και σε άλλους τομείς καθώς παρέχουν το πλεονέκτημα της πολύωρης κάλυψης και τον εντοπισμό θέσης με μεγάλη χωρική και χρονική ακρίβεια. Το βασικό σύστημα στη Γεωργία Ακριβείας είναι η διαμόρφωση των ζωνών διαχείρισης σε μία καλλιέργεια με σκοπό την εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις. Ουσιαστικά, η ζώνη διαχείρισης είναι ένα κομμάτι του αγρού.

2.3.2 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS)

Το GIS είναι ένα σύστημα το οποίο δημιουργεί, διαχειρίζεται, αναλύει και χαρτογραφεί πολλούς τύπους δεδομένων. Το GIS συνδέει δεδομένα με έναν χάρτη, ενσωματώνοντας δεδομένα τοποθεσίας με όλους τους τύπους περιγραφικών πληροφοριών. Αυτό παρέχει μια βάση για χαρτογράφηση και ανάλυση που

χρησιμοποιείται στην επιστήμη και σχεδόν σε κάθε κλάδο. Το GIS βοηθά τους χρήστες να κατανοήσουν τα μοτίβα, τις σχέσεις και το γεωγραφικό πλαίσιο, παρέχοντας στον γεωργό τον απόλυτο έλεγχο του χωραφιού παρακολουθώντας με ακρίβεια την παραγωγή του, καταγράφοντας τις εισροές της χωρικής έκτασης[10].



Εικόνα 3: Logo Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών



Εικόνα 4: Agribot

2.3.3 Συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA/VRT)

Τα VRA/VRT (Variable Rate Technology) είναι μια τεχνολογία που αφορά την γεωργία ακριβείας, καθώς βοηθά τους αγρότες να αξιοποιήσουν πληροφορίες σχετικά με τις γεωργικές τους δραστηριότητες ώστε να τις διαχειριστούν με αυτόματο τρόπο. Τέτοιες δραστηριότητες θα μπορούσαν να είναι η σποροφύτευση, η λίπανση, η άρδευση[85].

Το VRT έχει πολλά τεχνικά χαρακτηριστικά, με βασικότερο στοιχείο ένα υπολογιστή, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με ένα λογισμικό, έναν ενεργοποιητή και ένα GPS που βοηθά στη γεωγραφική αναφορά, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τη θέση του οχήματος. Αφού ληφθούν οι πληροφορίες μέσω GPS, ο υπολογιστής στέλνει ένα σήμα στον ενεργοποιητή για να εκτελέσει τις απαιτούμενες ενέργειες.

Ο ενεργοποιητής είναι μια συσκευή που η βασική του λειτουργία είναι η μετατροπή ενός σήματος ελέγχου σε ένα είδος κίνησης. Πρώτα απ' όλα η συσκευή αυτή λαμβάνει ένα σήμα ελέγχου σε μορφή ρεύματος, υδραυλικής πίεσης ή ηλεκτρικής τάσης, και έπειτα μετατρέπει αυτό το σήμα ελέγχου σε μηχανική κίνηση. Βασικά στοιχεία της απόδοσης της λειτουργίας του ενεργοποιητή είναι η δύναμη, η ταχύτητα, η ανθεκτικότητα και οι συνθήκες λειτουργίας.



Εικόνα 5: Variable Rate Application and Mapping System

2.3.4 Συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων χωραφιού (YMS- Yield Monitoring System)

Τα YMS είναι συστήματα που μετρούν και καταγράφουν την απόδοση μιας καλλιέργειας την περίοδο της συγκομιδής. Τα δεδομένα συλλέγονται μέσω συστημάτων GPS και χαρτογραφούνται με τα συστήματα GIS, παρουσιάζοντας την παραλλακτικότητα της παραγωγής ενός αγρού με σκοπό να ληφθούν οι απαραίτητες αποφάσεις για τη σωστή διαχείριση της καλλιέργειας.



Εικόνα 6: Yield Monitoring System

2.3.5 Τηλεπισκόπηση

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας αφορούν αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται σε δορυφόρους, σε εναέρια ή επίγεια συστήματα δηλαδή, εναέρια συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν αεροσκάφη και μη επανδρωμένα οχήματα (UAV)

2.4 Εφαρμογές των νέων τεχνολογιών στη γεωργία ακριβείας

2.4.1 Παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών (monitoring)- Μετεωρολογικοί σταθμοί

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση κλιματικών μεταβλητών είναι κυρίως οι μετεωρολογικοί σταθμοί, οι οποίοι τοποθετούνται σε όλη τη γεωργική έκταση της καλλιέργειας με σκοπό να γίνει συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων, και έπειτα αποστέλλονται στο νέφος ή σε κάποιον Server. Υπάρχουν μετεωρολογικοί σταθμοί που μετρούν και καταγράφουν τα ποσοστά βροχόπτωσης, ηλιοφάνειας, της ατμοσφαιρικής

υγρασίας, την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία του αέρα. Μεγάλο πλεονέκτημα έχουν οι αγρότες της χώρας μας, αφού υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία στις μεταβολές του μικροκλίματος που αυτό σημαίνει πολλά δεδομένα. Τέτοιοι μετεωρολογικοί σταθμοί είναι οι Smart Elements και Pycno [82].



Εικόνα 7: Smart Monitoring Pycno Platform

2.4.2 Αυτοματισμοί σε θερμοκήπια

Καθώς η εποχές αλλάζουν και η τεχνολογία βελτιώνεται με ρυθμούς εκθετικής συνάρτησης, έτσι και τα θερμοκήπια που όλοι ξέραμε πλέον γίνονται «έξυπνα». Για να πάρει ένα θερμοκήπιο τον τίτλο «έξυπνο» πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις, όπως την αυτόματη ρύθμιση θερμοκρασίας, της υγρασίας του αέρα στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων, την εφαρμογή συστήματος στάγδην άρδευσης και τον αυτόματο αερισμό του [34].

2.4.3 Αυτοματοποιημένη λίπανση/Ψεκασμός ακριβείας

Μεγάλη απήχηση για τη λίπανση των καλλιεργειών έχει η λεγόμενη «υδρολίπανση». Πρακτικά, γίνεται μίξη λιπάσματος και νερού, και με μορφή «ένεσης» διοχετεύοντας το μείγμα μέσω ενός πρωτότυπου συστήματος ύδρευσης και λίπανσης. Το σύστημα αυτό, επιτρέπει στον αγρότη να ποτίζει αλλά και να βάζει λιπάσματα

ταυτόχρονα, γεγονός που προσφέρει τεράστια οφέλη. Η διαδικασία αυτή γίνεται με τη χρήση αισθητήρων οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να μελετούν/διαβάζουν τα συστατικά του εδάφους, κυρίως την ποσότητα νιτρικών και φωσφορικών αλάτων, καλίου και αμμωνίας. Σκοπός είναι το σύστημα αυτό να μπορεί να αποφασίζει μόνο του ποια είναι η κατάλληλη στιγμή ποτίσματος ή λίπανσης και ποια είναι η σωστή ποσότητα. Τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων υδρολίπανσης είναι εξαιρετικά σημαντικά, καθώς μπορεί ο αγρότης να κερδίσει χρόνο, αφού μπορεί μέσα από εφαρμογή κινητού/υπολογιστή, από την άνεση του γραφείου του, να ελέγξει την καλλιέργειά του. Επίσης, η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων μπορεί να περιοριστεί συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και στην εξοικονόμηση χρημάτων.



Εικόνα 8: Σύστημα Ψεκασμού σε Θερμοκήπιο

2.4.4 Αυτοματοποιημένη άρδευση

“Τα συστήματα άρδευσης είναι κατά κύριο λόγο διάφοροι τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες [16].”

Οι κατηγορίες που διακρίνεται η μέθοδος άρδευσης είναι:

- Επιφανειακή
- Υπόγεια
- Άρδευση με καταιονισμό

- Άρδευση με σταγόνες

Το σύστημα άρδευσης που χρησιμοποιείται περισσότερο τα τελευταία χρόνια είναι η μέθοδος με τις σταγόνες. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι το χαμηλό κόστος. Οι ευφυείς ρυθμιστές άρδευσης εκτός από τη βασική λειτουργία του ποτίσματος, έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν δεδομένα για τις συνθήκες του καιρού και του εδάφους, για την εξαμυσοδιαπονή σε πραγματικό χρόνο. Ένα παράδειγμα είναι, ότι κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ή τη μείωση των βροχοπτώσεων, οι έξυπνοι ελεγκτές άρδευσης συνυπολογίζουν τις περιβαλλοντικές/κλιματολογικές μεταβλητές στη θέση του χωραφιού, και έτσι μπορούν να μεταβάλλουν τον ρυθμό εφαρμογής ψεκασθήρων ή τα χρονοδιαγράμματα του ποτίσματος ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας.



Εικόνα 9: Σύστημα Ποτίσματος σε Θερμοκήπιο

2.4.5 Μη επανδρωμένα γεωργικά αεροσκάφη (UAV)

Ένα από τα σημαντικότερα και πιο hi-tech εργαλεία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία ακριβείας είναι τα μη επανδρωμένα γεωργικά αεροσκάφη ή πιο απλά drones. Τα drones διαφόρων τύπων συμβάλουν αφενός στην επόπτευση της έκτασης της καλλιέργειας από αρκετά μεγάλη απόσταση, αφετέρου, μπορούν επέμβουν στο χωράφι χωρίς να είναι αναγκαία η φυσική παρουσία του αγρότη. Δηλαδή μπορούν

να κάνουν καταμέτρηση των φυτών, να τα διαχωρίσουν ανάλογα με το ποσοστό ανάπτυξής τους ή της καρποφορίας τους, να εντοπίσουν ασθένειες και ζιζάνια, αλλά και να συνεισφέρουν στην καταπολέμηση αυτών. Επιπρόσθετα, υπάρχουν drones που μπορούν να χαρτογραφήσουν σε τρισδιάστατη μορφή την έκταση του αγρού με σκοπό να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την ανάλυση και τη μορφολογία του εδάφους, δεδομένα, που θα βοηθήσουν στη σωστή φύτευση, άρδευση και λίπανση.

Τα πιο εξελιγμένα μοντέλα μη επανδρωμένων γεωργικών αεροσκαφών φέρουν υπέρυθρες ή και θερμικές κάμερες, και αρκετούς αισθητήρες με σκοπό να γίνει συλλογή δεδομένων και εικόνων που δεν θα μπορούσε σε καμία περίπτωση να εντοπίσει το ανθρώπινο μάτι. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στον αγρότη να έχει στην κατοχή του πληροφορίες όπως για την ποσότητα θερμότητας ή ενέργειας που εκπέμπουν τα φυτά ή ακόμα και για το αν κάποιο τμήμα του χωραφιού δεν ποτίζεται σωστά.

Υπάρχουν drones που είναι εξοπλισμένα με συστήματα αεροψεκασμών με μεγάλη ακρίβεια, εξασφαλίζοντας τη μέγιστη προστασία του περιβάλλοντος, με μηδενικές απώλειες, μέγιστη αποτελεσματικότητα, διασφαλίζοντας ομοιόμορφη κάλυψη.



Εικόνα 10: Drone κατά τον ψεκασμό χωραφιού

Όλες αυτές οι διαδικασίες γίνεται με τη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, σε μια τελική εφαρμογή χρήστη σε ένα smartphone, tablet ή υπολογιστής ανά πάσα ώρα και στιγμή. Βέβαια, μπορεί η χρήση των drones να μοιάζει με σενάριο επιστημονικής φαντασίας, όμως σε αρκετές προηγμένες χώρες τα συστήματα αυτά βρίσκουν εφαρμογή κάνοντας τη ζωή των αγροτών καλύτερη και ξεκούραστη.



Εικόνα 11: Διάφοροι τύποι Drone

2.4.6 FarmBeats

Το FarmBeats [74] είναι μια ψηφιακή πλατφόρμα, η οποία ενσωματώνει δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Το σύστημα αυτό διαχειρίζεται και αναλύει τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες σε μία καλλιέργεια. Χρησιμοποιεί την πλατφόρμα cloud Microsoft Azure για τη συλλογή, αποθήκευση και διαμόρφωση δεδομένων. Επίσης, το FarmBeats ενισχύει τις απομακρυσμένες επικοινωνίες σε αγροτικά περιβάλλοντα μέσω της χρήσης της τεχνολογίας Television White Space (TVWS). Το TVWS αφορά κανάλια με πολύ υψηλή συχνότητα (VHF) και υπέρ υψηλή συχνότητα (UHF) και μπορεί να μεταδώσει 100 φορές την απόσταση του Wi-Fi. Αυτή η νέα τεχνολογία του διαδικτύου των πραγμάτων βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης, οι ερευνητές το χρησιμοποιούν για να αποθηκεύσουν εικόνες «φαινοκάμερας» για να παρακολουθούν την ξηρασία στο καλαμπόκι, τη σόγια και το βαμβάκι. Η Phenocam [83] είναι μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή που καταγράφει

εικόνες από το φύλλωμα του φυτού ώστε να παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη και την υγεία του φυτού της καλλιέργειας.

2.4.7 Farmbots

Το Farmbot [75] είναι ένα αγροτικό Project στον τομέα της γεωργίας ακριβείας που αποτελείται από μία γεωργική μηχανή ρομπότ με ενσωματωμένο λογισμικό και καρτεσιανά δεδομένα. Το έργο αυτό στοχεύει στη δημιουργία μιας ανοιχτής και προσβάσιμης τεχνολογίας που θα βοηθά όλους όσους θέλουν να καλλιεργούν λαχανικά στο σπίτι τους. Το Farmbot κατασκευάστηκε το 2011 από τον Αμερικανό Rory Aronson κατά τη διάρκεια των σπουδών του στο Πολιτειακό Πολυτεχνείο της Καλιφόρνιας.

Το ρομπότ έχει τη δυνατότητα να φυτέψει πάνω από 30 είδη φυτών, όπως πατάτες, μπιζέλια, κολοκύθια, αγκινάρες, σε μία έκταση εμβαδού 2,9m επί 1,4m και ύψους 0,5m. Μπορεί να εκτελέσει σχεδόν όλες τις απαραίτητες εργασίες πριν τη συγκομιδή, συμπεριλαμβανομένης της σποράς, του μηχανικού ελέγχου ζιζανίων και του ποτίσματος. Για τη λειτουργία του απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια, σύνδεση το διαδίκτυο και παροχή νερού. Το Farmbot είναι σε θέση να συλλέγει δεδομένα που αφορούν την ανάπτυξη του φυτού αλλά και τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες, τόσο από τοπικούς αισθητήρες, όσο και από εξωτερικά δεδομένα από το διαδίκτυο. Ο έλεγχος των δραστηριοτήτων του ρομπότ γίνεται με απομακρυσμένη πρόσβαση από οποιαδήποτε τοποθεσία, οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών.



Εικόνα 12: Farmbot

2.4.8 Virtual- augmented reality

Η επαυξημένη πραγματικότητα που χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή, έχει επιδείξει αποτελεσματικές λύσεις για επικοινωνία πληροφοριών, απομακρυσμένη παρακολούθηση και αυξημένη αλληλεπίδραση. Ωστόσο, η τεχνολογία μόλις πρόσφατα άρχισε να βρίσκει βάση δίπλα σε λύσεις γεωργίας ακριβείας, παρά τα πολλά οφέλη που είναι δυνατά για τους αγρότες μέσω της αύξησης του φυσικού κόσμου με ψηφιακά αντικείμενα.

Κεφάλαιο 3^ο – Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στη γεωργία ακριβείας

3.1 Artificial Intelligence

Καθώς ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται είναι πιο σημαντικό από ποτέ να επανεξετάσουμε τις γεωργικές πρακτικές προκειμένου να βρεθούν νέοι τρόποι διατήρησης και βελτίωσης των γεωργικών δραστηριοτήτων. Διάφορες τεχνικές όπως η ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, το διαδίκτυο των πραγμάτων, η ρομποτική και άλλα, επιτρέπουν την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στη γεωργία. Τέτοια συστήματα τεχνητής νοημοσύνης είναι σε θέση να προσδιορίζουν τη σωστή χρονική στιγμή για τη σπορά ή τη φύτευση μιας καλλιέργειας, καθώς και για τη συγκομιδή. Η διαδικασία αυτή γίνεται με την αξιολόγηση δεδομένων διαχείρισης εδάφους και κλιματολογικών μεταβλητών, όπως θερμοκρασία, ατμοσφαιρική υγρασία, ανάλυση εδάφους, συμπεριλαμβανομένης και της ιστορικής αποδοτικότητας κάθε καλλιέργειας. Με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης είναι δυνατό να βελτιωθούν οι αποδόσεις των καλλιεργειών καθώς γίνεται μείωση της χρήσης νερού, λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

Η ιατρική επιστήμη, η εκπαίδευση, η οικονομική επιστήμη, η γεωργία έχουν επηρεαστεί από την τεχνητή νοημοσύνη, όπου για την εφαρμογή της απαιτείται μια μέθοδος μηχανικής μάθησης (Machine Learning- ML) συνδυάζοντας δεδομένα και μαθηματικούς τύπους με σκοπό την επίλυση ενός προβλήματος, για παράδειγμα την σωστή άρδευση μιας καλλιέργειας.

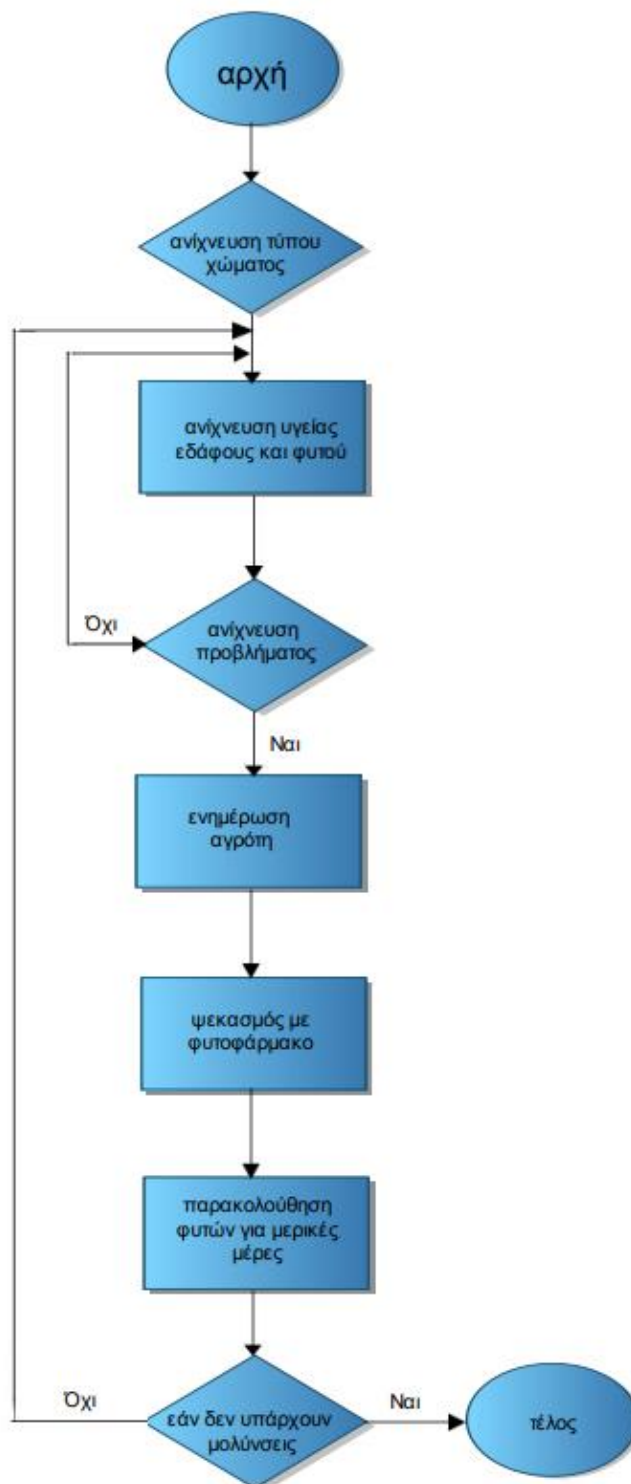
Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) είναι μια από τις σημαντικότερες λύσεις στην ανάπτυξη λογισμικού με εφαρμογή στη γεωργία ακριβείας. Η βασική ιδέα του AI είναι η ευελιξία, η αποδοτικότητα, η ακρίβεια και η εξοικονόμηση κόστους. Η τεχνολογία που βασίζεται στη τεχνητή νοημοσύνη στους ασύρματους αισθητήρες ενισχύει την αποτελεσματική λειτουργία όλων των τομέων της γεωργίας όπως η συγκομιδή, η άρδευση, η διάγνωση φυτικών ασθενειών, παρασίτων.

Το σύστημα που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, υγρασίας εδάφους, αισθητήρα pH εδάφους και μία κάμερα για συλλογή δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας απεικονίζονται σε οθόνες LCD και σε mobile application. Μία εικόνα του φυτού λαμβάνεται μέσω της κάμερας η

οποία ανιχνεύει κάποια πάθηση του φυτού και αφού ακολουθηθούν τα κατάλληλα βήματα γίνεται αναγνώριση της ασθένειας. Μια ψεκαζόμενη χημική ουσία ελέγχεται μέσω μιας βαλβίδας. Με τη βοήθεια ενός αισθητήρα, οι αγρότες μπορούν επίσης να ελέγχουν τη στάθμη του νερού σε μία δεξαμενή η οποία διοχετεύει με νερό τα συστήματα ψεκασμού στα φυτά. Για τη λειτουργία αυτή χρησιμοποιούνται αισθητήρες οι οποίοι έχουν μια πλακέτα Raspberry Pi.



Εικόνα 13: Διάγραμμα ασύρματων αισθητήρων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης για παρακολούθηση και έλεγχο γεωργικών παραμέτρων



Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής για την παρακολούθηση φυτού σε μια καλλιέργεια

Οι κόμβοι IoT/αισθητήρες διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη γεωργία ακριβείας για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτοί οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να κάνουν το σύστημα πιο πρακτικό συλλέγοντας τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από

τα χωράφια των καλλιεργειών για να κάνουν το σύστημα γεωργίας ακριβές. Με την ενσωμάτωση της ανάλυσης δεδομένων και της μηχανικής μάθησης, το σύστημα γεωργίας γίνεται πιο λειτουργικό. Όλες αυτές οι τεχνολογίες έχουν τεράστιες εφαρμογές σε άλλους τομείς. Στη γεωργία ακριβείας αναπτύσσονται διάφορες εφαρμογές για τους αγρότες για την έγκαιρη ενημέρωση τους σχετικά με την κατάσταση των καλλιεργειών. Η αρχιτεκτονική για τη γεωργία ακριβείας αποτελείται συνήθως από τρεις κύριες φάσεις όπως φαίνεται στην Εικόνα 15. Το πρώτο μέρος του συστήματος αποτελείται από τους αισθητήρες/κόμβους IoT για την παρακολούθηση των φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών, των συνθηκών του εδάφους, των συνθηκών των φυτών, π.χ. ο αισθητήρας υγρασίας του εδάφους καταγράφει την ένδειξη υγρασίας του εδάφους ή ο αισθητήρας θρεπτικών στοιχείων του εδάφους θα ελέγξει τη γονιμότητα του. Στη δεύτερη φάση πρέπει να συλλέξουμε αυτά τα ακριβή δεδομένα, μπορούμε είτε να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα τοπικά στον πλησιέστερο κόμβο είτε μπορούμε να τα στείλουμε στο cloud.

Στην τρίτη φάση της αρχιτεκτονικής εφαρμόζονται οι μέθοδοι ανάλυσης για τη γνώση της κατάστασης των πεδίων καλλιέργειας. Στη συνέχεια, αυτές οι πληροφορίες κοινοποιούνται στους τελικούς χρήστες (αγρότες) που τους βοηθούν να προσδιορίσουν εάν η ένδειξη είναι ικανοποιητική για την καλλιέργεια, αναλόγως με τί θεωρεί σωστό ο αγρότης. Αντίστοιχα, γίνεται η επικοινωνία με τον ενεργοποιητή που θα ενεργοποιούσε (ή θα απενεργοποιούσε) το σύστημα ποτίσματος για να ρίχνει νερό στο έδαφος ή ο αγρότης (τελικός χρήστης) μπορεί να χρειαστεί να ψεκάσει λιπάσματα με κάλιο, άζωτο και φώσφορο για να εξισορροπήσει τη γονιμότητα του εδάφους. Ο ενεργοποιητής όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι μια συσκευή η οποία μετατρέπει ένα σήμα ελέγχου σε κίνηση. Ένα παράδειγμα ενός συστήματος που περιέχει και ενεργοποιητές αλλά και αισθητήρες είναι ένα σύστημα ελέγχου της υγρασίας εδάφους. Δηλαδή ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει την υγρασία εδάφους σε ηλεκτρικό σήμα. Έτσι, ένας ηλεκτρικός κινητήρας που λειτουργεί ως ενεργοποιητής μετατρέπει το ηλεκτρικό αυτό σήμα σε κίνηση. Χρησιμοποιώντας αναλυτικά στοιχεία ενεργοποιείται ένας μηχανισμός απόκρισης κατά την αναγνώριση (ανίχνευση/πρόβλεψη) οποιουδήποτε σεναρίου [95].

3.2 Στρατηγικές ελέγχου άρδευσης

Για να είναι βιώσιμη η άρδευση σε μία καλλιέργεια θα πρέπει να υιοθετηθούν στρατηγικές ελέγχου που εφαρμόζουν ακριβώς την ποσότητα νερού κατά την άρδευση. Ένας ελεγκτής άρδευσης είναι ένα ουσιαστικό μέρος του συστήματος άρδευσης και βοηθά στην εξοικονόμησης εργασίας και σε υψηλή εξοικονόμηση νερού, ενέργειας και χρήσης λιπασμάτων. Οι στρατηγικές ελέγχου της άρδευσης χωρίζονται σε συστήματα ανοιχτού βρόχου και συστήματα κλειστού βρόχου. Ενώ τα συστήματα ανοιχτού βρόχου εφαρμόζουν μια προκαθορισμένη ενέργεια όπως στα απλά χρονόμετρα άρδευσης, τα συστήματα κλειστού βρόχου λαμβάνουν ανατροφοδότηση από αισθητήρες, λαμβάνουν αποφάσεις και εφαρμόζουν τις αποφάσεις αυτές ύστερα από εκτενή ανάλυση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τους αισθητήρες [4].

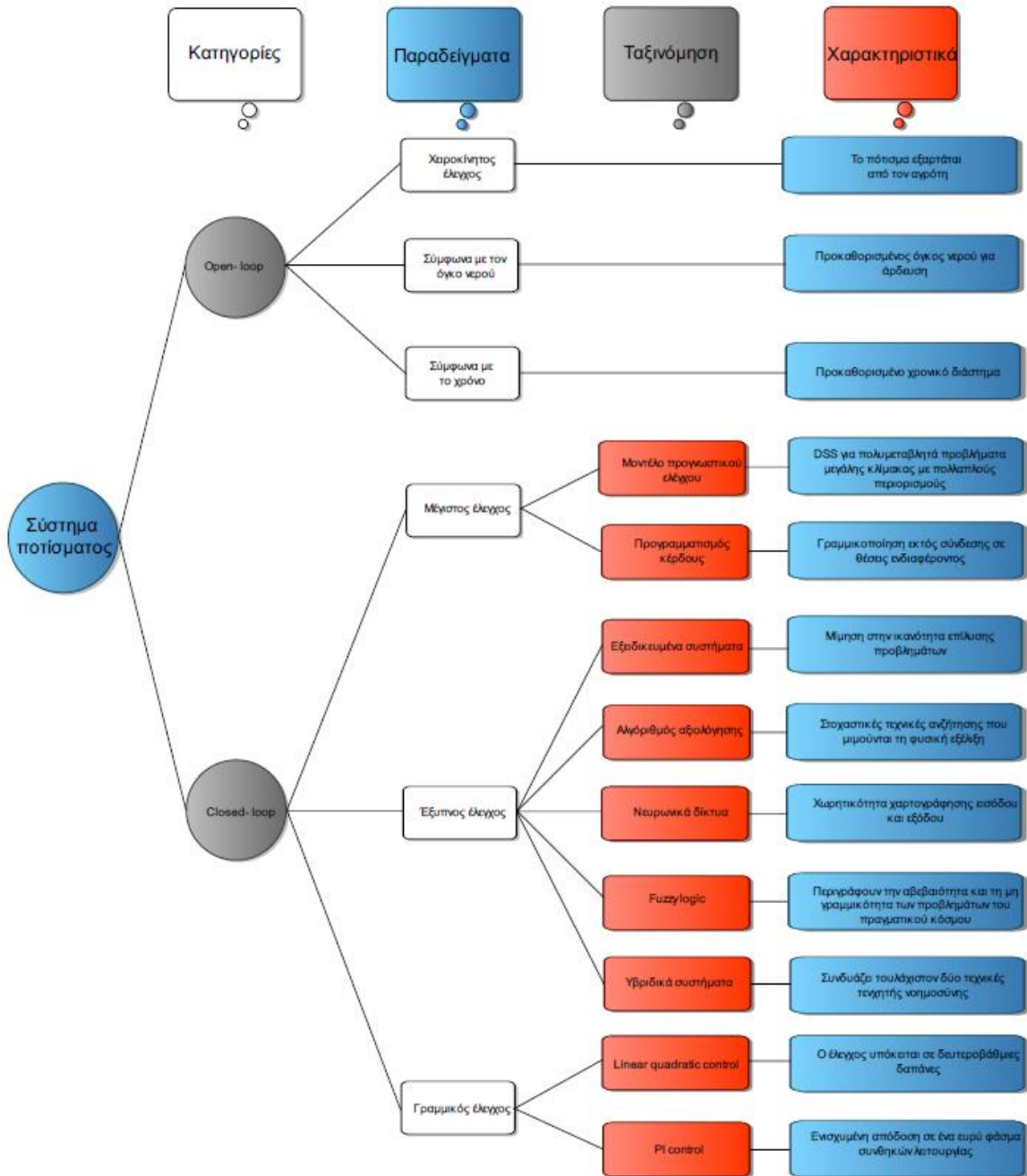
Έλεγχος άρδευσης ανοιχτού βρόχου

Σε ένα σύστημα ανοιχτού βρόχου, ο αγρότης αποφασίζει για την ποσότητα νερού που θα εφαρμοστεί και τότε θα γίνει η άρδευση. Αυτές οι πληροφορίες στη συνέχεια προγραμματίζονται στον ελεγκτή και το νερό εφαρμόζεται σύμφωνα με το επιθυμητό πρόγραμμα. Τα συστήματα βασίζονται είτε στον χρόνο είτε στον όγκο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου έχουν ένα ρολόι που χρησιμοποιείται για την έναρξη και τη διακοπή της άρδευσης. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους και του καιρού σε ένα σύστημα ανοιχτού βρόχου, δεν απαιτούνται αισθητήρες. Αυτό, καθιστά το σύστημα φθινό, ωστόσο, με περιορισμούς ανταπόκρισης σε ποικίλες εδαφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Έλεγχος άρδευσης κλειστού βρόχου

Στα συστήματα κλειστού βρόχου, αναπτύσσεται μια στρατηγική ελέγχου για τις αποφάσεις άρδευσης. Έχοντας καθορίσει τη στρατηγική, το σύστημα ελέγχου λαμβάνει αποφάσεις για τον προγραμματισμό της άρδευσης. Οι αισθητήρες βοηθούν στην παροχή ανατροφοδότησης στον ελεγκτή στον οποίο βασίζονται οι αποφάσεις άρδευσης. Η ανάδραση και ο έλεγχος σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου γίνονται συνεχώς και ως εκ τούτου απαιτούνται δεδομένα που λαμβάνονται όπως η υγρασία του εδάφους, η θερμοκρασία του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η υγρασία της ταχύτητας του ανέμου και

η βροχόπτωση, καθώς και οι παράμετροι του συστήματος όπως η πίεση και η ροή, από συσκευές παρακολούθησης. Στον έλεγχο κλειστού βρόχου, η απόφαση για το αν θα ξεκινήσει μια ενέργεια βασίζεται στη σύγκριση μεταξύ της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος και της καθορισμένης επιθυμητής κατάστασης.



Εικόνα 15: Ταξινόμηση συστήματος ελέγχου ποτίματος[28]

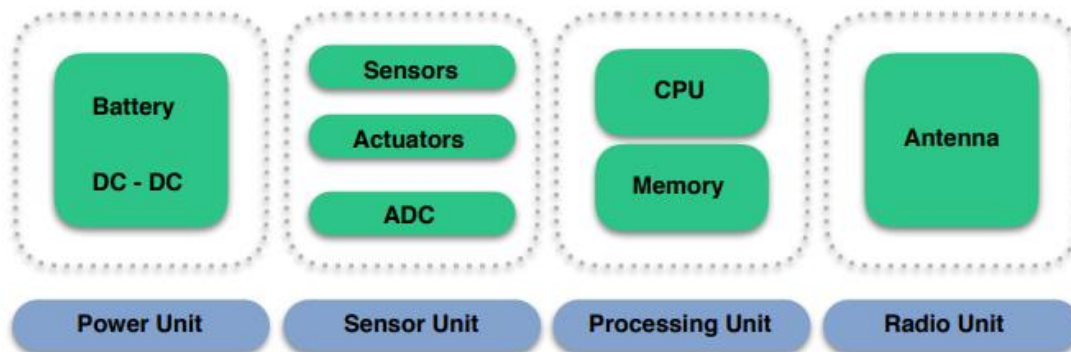
Κεφάλαιο 4^ο – Αισθητήρες

4.1 Τύποι αισθητήρων

Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή με δυνατότητα ανίχνευσης των μεταβολών ενός φυσικού μεγέθους, όπως για παράδειγμα θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης κτλ., με σκοπό τη μετατροπή του σε μια πιο χρήσιμη μορφή εξόδου, όπως τάση, ένταση, ηλεκτρική αντίσταση, που προκύπτει από κάθε αλλαγή της τιμής του φυσικού μεγέθους [96].

Τα βασικά μέρη ενός αισθητήρα είναι:

- Πηγή ενέργειας
- Μικροεπεξεργαστή
- Μνήμη
- Πομποδέκτη
- Αισθητήρες και ενεργοποιητές

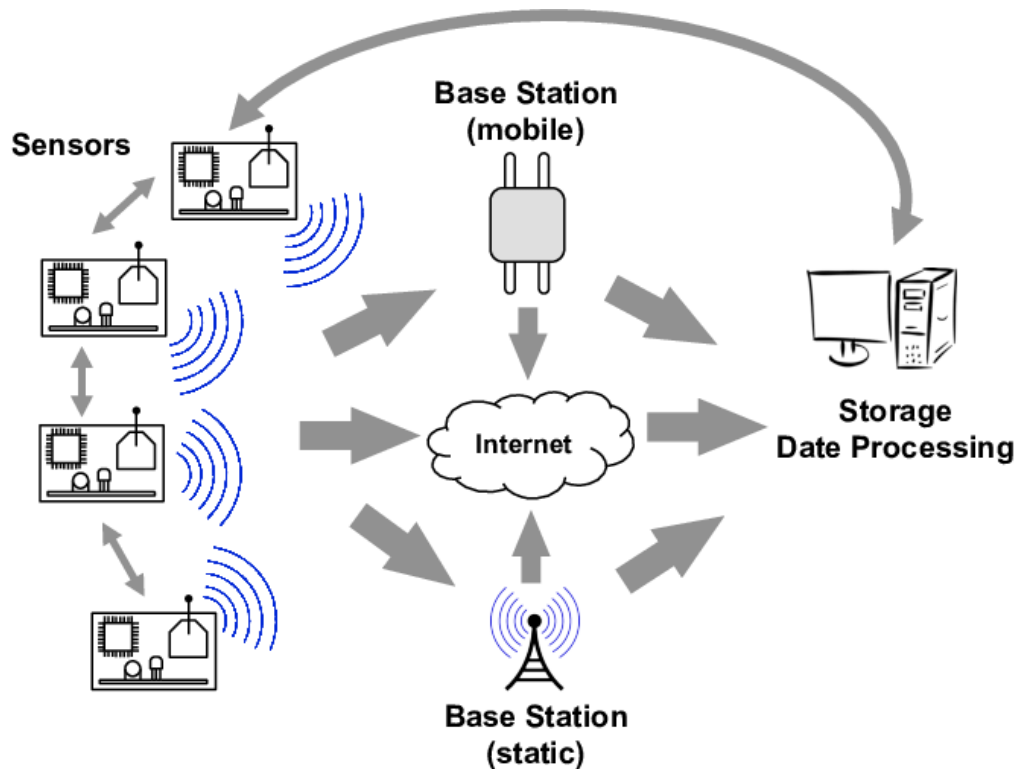


Εικόνα 16: Δομή κόμβου ασύρματου αισθητήρα. Πηγή: Προσομοίωση ασύρματου δικτύου αισθητήρων με εφαρμογή στη γεωργία ακριβείας (2017) Κων/νος- Ιωάννης Μαγκούφης

Αρχικά, η μονάδα ισχύος δίνει την απαραίτητα ενέργεια για τη λειτουργία του αισθητήρα, η οποία συνήθως διοχετεύεται από μπαταρίες, κάποιες φορές, λίγο πιο σπάνια, από φωτοβολταϊκά πάνελ. Επίσης, στη δομή του αισθητήρα περιλαμβάνεται και η μονάδα αισθητήρα, η οποία αποτελείται από τους μετατροπείς σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό. Αφού γίνει η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, τότε το ψηφιακό αποστέλλεται στη μονάδα επεξεργασίας η οποία δίνει εντολές στον κόμβο

αισθητήρα να εκτελέσει διάφορες διεργασίες. Άλλη μια λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας είναι η επικοινωνία πολλών αισθητήρων. Στην μονάδα επεξεργασίας υπάρχει αρκετός χώρος για τα πρωτόκολλα και τους αλγορίθμους που αφορούν την εφαρμογή του αισθητήρα. Τέλος, η μονάδα του πομποδέκτη αναλαμβάνει τη διασύνδεση του αισθητήρα με το δίκτυο, μέσω του οποίου θα μεταφερθούν τα δεδομένα.

Οι αισθητήρες/κόμβοι αισθητήρων είναι μικρού μεγέθους, φθινοί και εύκολα διαθέσιμοι. Ένας κόμβος αισθητήρα αποτελείται από έναν μικροελεγκτή, πομποδέκτη, πηγή ισχύος, μνήμη, ADC μετατροπέα (από αναλογικό σε ψηφιακό) και τέλος έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Ο μικροελεγκτής είναι ο εγκέφαλος του κόμβου αισθητήρα που επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα που συλλέγονται και ελέγχει τη λειτουργικότητα όλων των στοιχείων που είναι τοποθετημένα στον κόμβο. Ο πομποδέκτης μεταδίδει τα δεδομένα καθώς και λαμβάνει τα δεδομένα από και προς το σταθμό βάσης όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα ή το τμήμα ελέγχου χρησιμοποιώντας ασύρματα μέσα μετάδοσης όπως RF (ραδιοσυχνότητα), οπτική επικοινωνία (λέιζερ) και υπέρυθρες. Οι κόμβοι αισθητήρων παράγουν μια μετρήσιμη απόκριση σε οποιαδήποτε φυσική αλλαγή συμβαίνει γύρω τους. Συνθήκες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση κ.λπ. μπορούν να ανιχνευθούν εύκολα από τους αισθητήρες. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις λεπτομέρειες σχετικά με τους αισθητήρες που είναι επικρατέστεροι και με πιο συχνή χρήση. Από τον πίνακα μπορεί κανείς να γνωρίζει τη δυνατότητα χρήσης αισθητήρων και τύπου μικροελεγκτών σε εφαρμογές έξυπνης γεωργίας.



Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική WSN [97]

Οι αισθητήρες κατατάσσονται σε τρεις διακριτές κατηγορίες:

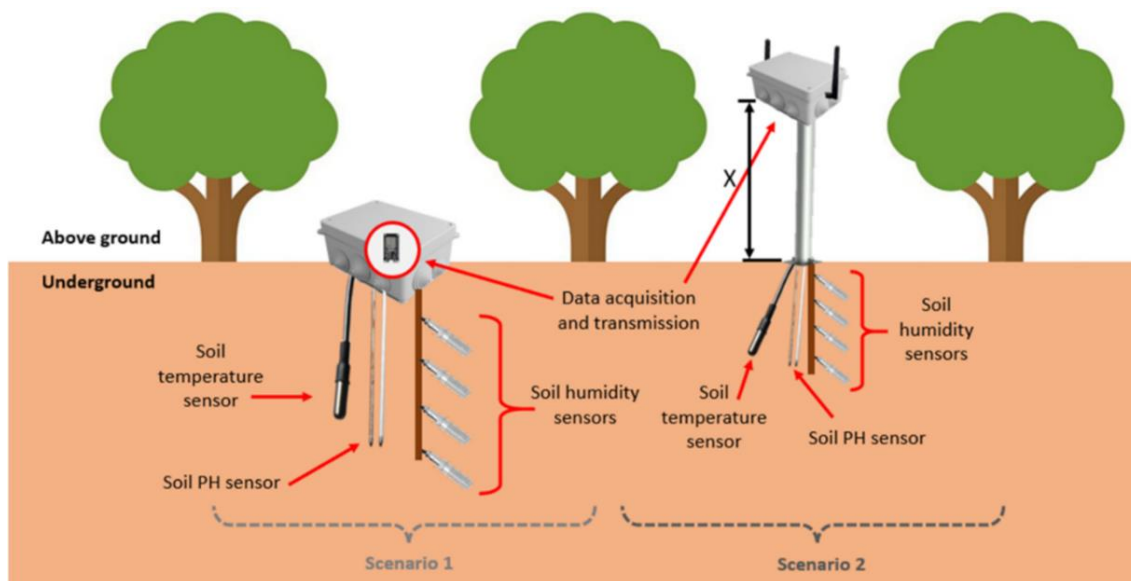
- Απεικόνιση και μη απεικόνιση
Ένας αισθητήρας απεικόνισης είναι στην ουσία ένας αισθητήρας εικόνας που ανιχνεύει και μεταφέρει όλες τις πληροφορίες που αντλούνται από μια εικόνα. Τέτοιοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε συσκευές αναλογικών αλλά και ψηφιακών τύπων και αποτελούνται από ψηφιακές κάμερες, εξοπλισμό νυχτερινής όρασης, ραντάρ, σόναρ, συσκευές θερμικής απεικόνισης, εξοπλισμό ιατρικής απεικόνισης και άλλα.
- Ενεργητικοί και παθητικοί
Ως ενεργός αισθητήρας ή ενεργός μορφοτροπέας ορίζεται ο μετατροπέας που δίνει την ηλεκτρική έξοδο (δηλαδή με τη μορφή τάσης και ρεύματος) χωρίς να απαιτείται καμία εξωτερική πηγή ενέργειας. Ο παθητικός αισθητήρας ή παθητικός μορφοτροπέας είναι ο μετατροπέας που απαιτεί πρόσθετη πηγή ενέργειας. Στον ενεργό αισθητήρα, το σήμα λαμβάνεται από το σημείο

μέτρησης, ενώ στον παθητικό αισθητήρα το σήμα εξόδου λαμβάνεται παίρνοντας ενέργεια από την εξωτερική πηγή ενέργειας [98].

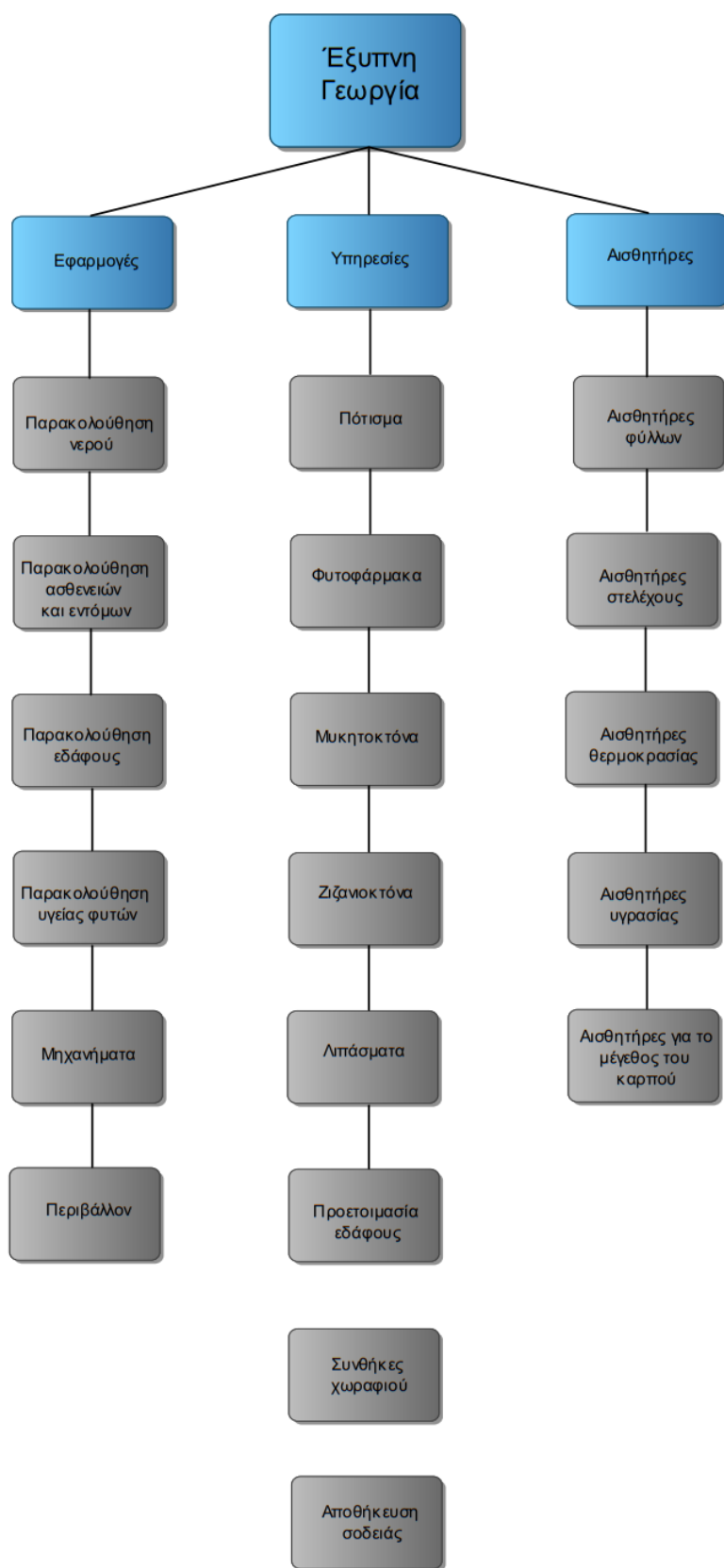
- Φασματόμετρα και ραδιόμετρα

Φασματόμετρο ορίζεται ως ένα όργανο μέτρησης και μελέτη των ιδιοτήτων του φωτός. Πολλές φορές αποκαλείται και φασματογράφος ή φασματοσκόπιο. Ραδιόμετρο είναι το όργανο που απαιτείται για τη μέτρηση της ροής της ακτινοβολίας ηλεκτρομαγνητικών μέσων ακτινοβολία [99].

Οι αισθητήρες επίσης διακρίνονται σε υπόγειους και σε επίγειους. Οι επίγειοι είναι κατά κύριο λόγο οι αισθητήρες που τοποθετούνται πάνω από το έδαφος ώστε το μέρος που λαμβάνει τα δεδομένα να βρίσκεται εκτός χώματος, δηλαδή είναι στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Απ' την άλλη μεριά, οι υπόγειοι αισθητήρες βρίσκονται μέσα στο έδαφος ώστε το μέρος που λαμβάνει δεδομένα να έρχεται σε επαφή με το χώμα.



Εικόνα 18: Επίγειοι και υπόγειοι αισθητήρες



Εικόνα 19: Γενική Ιεραρχία Πιθανών Εφαρμογών, Υπηρεσιών και Αισθητηρίων για Έξυπνη Γεωργία

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται διάφοροι τύποι αισθητήρων οι οποίοι αναφέρονται σε διάφορες βιβλιογραφίες που σχετίζονται με τη γεωργία ακριβείας.

Αισθητήρας	Μικροελεγκτής	Ευρήματα- Λειτουργίες
<p>DHT11, Standard Soil Sensor [100]</p>	<p>ATMEL ATmega328P, Raspberry Pi3</p>	<p>Το κύριο υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Arduino, το λογισμικό του μοντέλου Raspberry Pi 3 που χρησιμοποιείται είναι το Django Web Framework, για λόγους επικοινωνίας χρησιμοποιείται τυπική σύνδεση RF 433 MHz. Κατά τη χρήση παρατηρήθηκε σημαντικό πρόβλημα στο σύστημα επικοινωνίας, ο τρόπος που χρησιμοποιήσαν είναι μισής αμφίδρομης λειτουργίας.</p>
<p>LM35 Temp, humidity, moisture, and motion sensor [101]</p>	<p>Arduino Uno R3, ESP8266 Node MCU, GSM Module</p>	<p>Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι Arduino UNO R3, ESP8266 Node MCU, GSM Module, χωρητικός αισθητήρας εδάφους LM35 αισθητήρας θερμοκρασίας, αισθητήρας υγρασίας, αισθητήρας κίνησης, αφού συλλέξει όλες τις επιθυμητές πληροφορίες από τον αισθητήρα, μεταδίδει τα δεδομένα στη συσκευή IoT όπου ο αγρότης θα ειδοποιηθεί μέσω SMS και τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες αποστέλλονται στον</p>

		διακομιστή Web cloud και διατηρούνται σε μια βάση δεδομένων.
Rain Gauge, Wind Speed and Direction, Temperature and Humidity, Pyranometer, Leaf Wetness [102]	Raspberry Pi 3B+	Από τον αισθητήρα αυτό, οι αγρότες μπορούν να λάβουν διάφορες πληροφορίες κυρίως σχετικά με την καλλιέργεια, το έδαφος και τον καιρό για να παρακολουθήσουν τις καλλιέργειές τους. Με τη βοήθεια συγκεκριμένων αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν με χρήση Python τα δεδομένα αναλύονται και αποστέλλονται στην πλατφόρμα cloud. Τα επεξεργασμένα αποτελέσματα θα σταλούν πίσω στους αγρότες για τη βελτίωση της γεωργικής διαδικασίας. Αυτό το σύστημα θα επιτρέψει στους αγρότες να έχουν απομακρυσμένη πρόσβαση στο σύστημα άρδευσης στα χωράφια τους. Επιπλέον, η ίδια συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη διαχείριση καταστροφών. Το ADCON RTU χρησιμοποιείται για τη μετάδοση.
Water Volume Sensor, Soil pH sensor, Soil Moisture Sensor, Air Temperature Sensor,	ESP8266 Node MCU	Το σύστημα αυτό συμβάλλει στην εξοικονόμηση νερού και ηλεκτρικής ενέργειας. Ο αισθητήρας ροής νερού χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της άρδευσης στα χωράφια και μπορεί επίσης να μετρήσει και τη ροή του

<p>Motion detector Sensor [103]</p>		<p>νερού. Άλλο θέμα που έχουν αντιμετωπίσει είναι τα εντομοκτόνα, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα. Σε αυτή την εργασία οι συγγραφείς έχουν προτείνει την εφαρμογή του αισθητήρα σε ένα θερμοκήπιο ώστε να γίνει μείωση στην εμφάνιση των εντόμων. Χρησιμοποιούν αισθητήρα εδάφους, αισθητήρα pH όλες οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε ένα σύννεφο που μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την ισχύ λήψης αποφάσεων με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες.</p>
<p>Temperature Sensor, Pressure Sensor, Illuminance Control, Wind speed, Air Control CO2, Pressure Control, Pollution Control Moisture Water Control, Smoke, Fire Control, PH Control Node [104]</p>		<p>Αισθητήρας θερμοκρασία, πίεσης, ελέγχου αέρα κτλ.</p>
<p>SHT71 Sensirion Temperature humidity sensor, Solar radiation sensor BH1603FVC,</p>	<p>Arduino Ethernet, Raspberry Pi</p>	<p>Το σύστημα αυτό μπορεί να λάβει αποφάσεις σύμφωνα με τις ανάγκες των αγροτών, αποφάσεις που στηρίζονται στις πολύτιμες</p>

Soil moisture content sensor WD-3-W-5E, Night Vision Camera [105]		<p>πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στην κάρτα SD.</p>
Soil moisture sensor HL-01, HL-69 [106]	<p>Node MCU</p>	<p>Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται όταν απαιτείται ανάλυση του χρησιμοποιημένου νερού και του κύκλου άρδευσης. Σύμφωνα με πειραματικά αποτελέσματα, ο αγρότης μπορεί εύκολα να αποφασίσει να ποτίσει τα χωράφια του σε μια εποχή.</p>
4 Cloud-based stations and 1 Davis Vantage Pro2 [107]	<p>PIC24FJ64, Raspberry Pi</p>	<p>Χαμηλού κόστους αξιόπιστο μετεωρολογικό σταθμό μικροκλίματος που βασίζεται στο σύννεφο. Η κατασκευή έγινε μεταξύ δύο εγκατεστημένων μετεωρολογικών σταθμών που βασίζονται στο cloud και στο Davis vantage pro2. Αυτός ο μετεωρολογικός σταθμός είναι εξίσου αποτελεσματικός στη μέτρηση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και η κατεύθυνση του ανέμου.</p>
Temperature, humidity, pH, soil moisture and thermocouple [108]	<p>Fuzzy Controller MIMO. Simulation on LabVIEW</p>	<p>Έγινε προσομοίωση χρησιμοποιώντας το LabVIEW και με το σύστημα «AgriSys». Η λειτουργία των συστημάτων</p>

		<p>βασίζεται στην είσοδο πολλών αισθητήρων όπως θερμοκρασία, υγρασία και pH. Το σύστημα παρέχει υψηλή αύξηση της παραγωγικότητας</p>
<p>Temperature, humidity, moisture, soil pH and soil nitrogen sensor [109]</p>	<p>ARM 9 Processor</p>	<p>Αυτόματο σύστημα άρδευσης με σταγόνες χρησιμοποιώντας μικροελεγκτή ARM και GSM. Το σύστημά παρέχει ανατροφοδότηση R-T που είναι χρήσιμη για τον αποτελεσματικό έλεγχο των δραστηριοτήτων του συστήματος άρδευσης. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία, το σύστημα ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αυτόματα. Το σύστημα παρέχει τις απαιτούμενες πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα σε pH του εδάφους, επιπλέον, είναι προσαρτημένος ένας αισθητήρας μέτρησης αζώτου του εδάφους που παρέχει στους αγρότες πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο του εδάφους.</p>
<p>Temperature and Relative Humidity, Light Intensity, Barometric Pressure, Proximity sensing</p>	<p>WINGZ</p>	<p>Οι ληφθείσες ενημερωμένες πληροφορίες επιτρέπουν στους κτηνοτρόφους να λαμβάνουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με</p>

and Buzzer UbiSense mote (M) [110]		τον καιρό, τη θερμοκρασία, την υγρασία, την πίεση.
Soil moisture sensor (VH400), soil temperature sensor (THERM200) [15]	Arduino Board	Σύστημα για έλεγχο της άρδευσης στη γεωργία, μέτρηση υγρασίας και θερμοκρασίας. Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται ως συνάρτηση των καιρικών παραμέτρων και με βάση τον έξυπνο αλγόριθμο που αναπτύχθηκε, το σύστημα αποφασίζει ποιος από τους ψεκαστήρες πρέπει να είναι ενεργοποιημένος και ποιος πρέπει να απενεργοποιηθεί. Επιτρέπει στους κτηνοτρόφους να ποτίζουν τις καλλιέργειές τους πιο αποτελεσματικά και μειώνει τη σπατάλη νερού.

Πίνακας 2: Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται επιπρόσθετα κάποια μοντέλα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας.

Μοντέλο αισθητήρα	Ιστοσελίδα	Λειτουργία
SHT7X by Sensirion	https://www.utmel.com/	Ψηφιακός αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας
DHT22 by Aosong	https://www.driesen-kern.com/	Ψηφιακός αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας

EC-5 by Meter Group (formerly Decagon)	https://www.metergroup.com/	Ψηφιακός αισθητήρας υγρασίας εδάφους και ογκομετρικό περιεχόμενο νερού
FC-28, YL-69, and HL-69 modules for Arduino	https://randomnerdtutorials.com/	Ψηφιακός αισθητήρας υγρασίας εδάφους
LM-35 by various manufacturers	https://sensorelement.en.taiwantrade.com/	Ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας
DS18B20 by various manufacturers	https://www.ariat-tech.gr/parts/maxim-integrated/DS18B20-PAR-T-R	Ψηφιακό θερμόμετρο

Πίνακας 3: Επιπλέον αισθητήρες

4.1.1 Αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας περιβάλλοντος

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι συστήματα που δίνουν τη δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στην τοποθεσία που βρίσκεται η καλλιέργεια. Οι μετρήσεις αυτές είναι πολύ σημαντικές, αφού βάσει αυτών κρίνεται πότε είναι κατάλληλη η εποχή λίπανσης. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικές και οι μετρήσεις της υγρασίας του περιβάλλοντος. Οι αισθητήρες θερμοκρασία και υγρασίας περιβάλλοντος προσαρτώνται κυρίως σε αυτόματος μετεωρολογικούς σταθμούς και αγρό- μετεωρολογικούς σταθμούς.



Εικόνα 20: Αισθητήρας υγρασίας/θερμοκρασίας

4.1.2 Αισθητήρες ανίχνευσης φλόγας

Ο αισθητήρας ανίχνευσης φλόγας χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό παρουσίας φωτιάς ή φλόγας. Συνήθως ανταποκρίνεται με ένα σύστημα συναγερμού ήχου, αλλά και με διάφορους τύπους συστημάτων πυρόσβεσης. Συνήθως οι ανιχνευτές φλόγας είναι αρκετά πιο γρήγοροι από τους αισθητήρες θερμότητας ή καπνού. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων φλόγας, όπως:

- Υπέρυθροι αισθητήρες
- Αισθητήρες υπεριώδους ακτινοβολίας
- Ανιχνευτές φλόγας IR3
- Ορατοί αισθητήρες

Ο αισθητήρας αυτός μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμος σε περίπτωση πυρκαγιάς σε μία καλλιεργητική έκταση, για παράδειγμα σε έναν ελαιώνα. Ο σκοπός είναι ο αισθητήρας να ανιχνεύσει τη φωτιά και να σταλεί σήμα/ειδοποίηση στην εφαρμογή του τελικού χρήστη ώστε να προβεί στην άμεση κατάσβεση της φωτιάς και στον περιορισμό της.

4.1.3 Αισθητήρας υπολογισμού Ph εδάφους

Το pH του εδάφους παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του φυτού μιας καλλιέργειας και κατά συνέπεια επηρεάζει την παραγωγή. Το pH του εδάφους είναι ένα μέτρο μέτρησης της οξύτητας. Για παράδειγμα, αν το pH σε ένα εδαφικό διάλυμα

είναι χαμηλό τότε υπάρχουν πολλά κατιόντα υδρογόνου που αντιδρούν με τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους και έτσι δεν επαρκούν για τη σωστή ανάπτυξη του φυτού. Οι αγρότες για να βελτιώσουν τα όξινα εδάφη προσθέτουν σε μορφή λιπάσματος ασβέστιο ή δολομιτικό ασβέστη (ασβέστης και μαγνήσιο) με σκοπό να κάνουν το έδαφος πιο αλκαλικό.

Γενικότερα, τα περισσότερα φυτά έχουν ανεκτικότητα σέ ένα ευρύ φάσμα pH εδάφους, αλλά δεν είναι ιδιαίτερα ανεκτικά στην υψηλή οξύτητα του εδάφους. Όταν γίνεται μεταβολή της οξύτητας του εδάφους, επηρεάζεται και η διαλυτότητα των μεταλλικών ιόντων. Η τιμή του pH επηρεάζει διάφορους παράγοντες σε μία καλλιέργεια όπως:

- τα βακτήρια του εδάφους
- η έκπλυση με θρεπτικά συστατικά
- η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών
- τα τοξικά στοιχεία, και
- η δομή του εδάφους



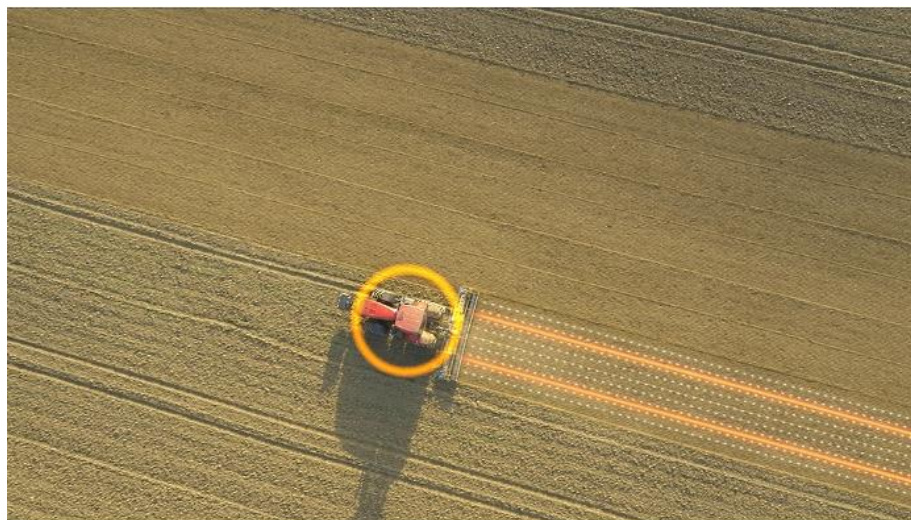
Εικόνα 21: Αισθητήρας pH

4.1.4 Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας

“Με τον όρο ηλεκτρική αγωγιμότητα αναφερόμαστε στην ικανότητα ενός υλικού να μεταδίδει ηλεκτρικό ρεύμα [69].”

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αντιπροσωπεύουν διάφορες ιδιότητες του εδάφους, όπως για παράδειγμα η ικανότητα συγκράτησης του νερού και η υφή του. Τα αμμώδη εδάφη έχουν χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα απ’ ότι τα αργιλώδη. Άλλες πληροφορίες που μπορεί να δίνει η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η μεταβλητότητα του

εδάφους μεταξύ διαφόρων ετών για παραμέτρους όπως η αλατότητα και η συμπίεση του εδάφους. Με αυτές τις πληροφορίες δίνεται η δυνατότητα στον αγρότη να λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τις δόσεις ζιζανιοκτόνων και αζωτούχων λιπασμάτων. Στην ουσία η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ταυτότητα του εδάφους.



Εικόνα 22: Γεωργικός ελκυστήρας με σύστημα ηλεκτρικής αγωγιμότητας Πηγή: <https://blog.farmacon.gr/>

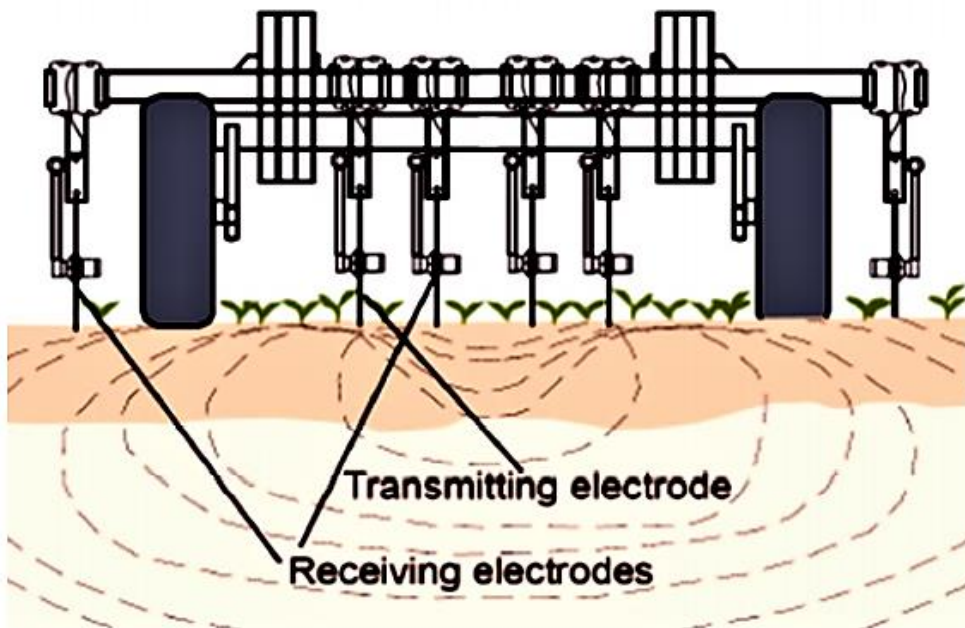
Τρόποι μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας:

Εξ' αποστάσεως

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτρομαγνητικής απαγωγής, αφού το όργανο μέτρησης δεν ακουμπά καθόλου στο έδαφος. Στη συσκευή είναι τοποθετημένος ένας πομπός που εκπέμπει ηλεκτρικό φορτίο και ένας δέκτης ο οποίος απορροφά το ηλεκτρομαγνητικό φορτίο. Όση μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει το έδαφος τόσο πιο ισχυρό είναι το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Με επαφή

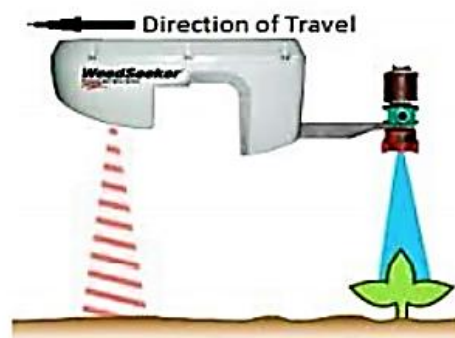
Σε έναν εργαλειοδοκό που είναι προσαρτημένος σε έναν γεωργικό ελκυστήρα είναι τοποθετημένα ηλεκτρόδια σε 2 ή 3 ζεύγη δίσκων. Οι δύο δίσκοι ηλεκτροδίων αποτελούν φορείς τους ηλεκτρικού ρεύματος και έτσι δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος, και οι άλλοι δίσκοι με τα ηλεκτρόδια παίρνουν ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται ανάλογα με την απόσταση των δίσκων. Μεγαλύτερη απόσταση ηλεκτροδίων σημαίνει και μεγαλύτερο πλάτος ηλεκτρικού πεδίου [70].



Εικόνα 23: Λήψη και μετάδοση ηλεκτροδίων Πηγή: <https://blog.farmacon.gr/>

4.1.5 Αισθητήρας ανίχνευσης ζιζανίων

Οι αισθητήρες ανίχνευσης ζιζανίων και ενεργοποιητές προσαρτώνται σε ελκυστήρες ή είναι ανεξάρτητες και αυτόνομες μηχανές με δυνατότητα ανίχνευσης ζιζανίων, ασθενειών και εντόμων. Με ένα εξειδικευμένο σύστημα ο αισθητήρας μπορεί να ανιχνεύει μόνο τα ζιζάνια και όχι το έδαφος ψεκάζοντας μόνο τα ζιζάνια καθώς προχωράει στον αγρό [28].



Εικόνα 24: Σύστημα ψεκασμού για ζιζάνια Πηγή: <https://blog.farmacon.gr/>

4.1.6 Αισθητήρας λίπανσης

Ένα σημαντικό στάδιο στην εκτίμηση των απαιτήσεων μιας καλλιέργειας σε Άζωτο (N) είναι η δημιουργία ενός χάρτη με το δείκτη χλωροφύλλης του φυτού. Μια απ' τις πιο σημαντικές μεθόδους χρήσης αισθητήρων φυλλώματος για τη λίπανση είναι τα συστήματα μεταβλητής παροχής Αζώτου για λίπανση σε πραγματικό χρόνο. Το άζωτο είναι ιδιαίτερα σημαντικό συστατικό για τα περισσότερα φυτά. Η λίπανση με άζωτο πρέπει να γίνεται την κατάλληλη εποχή όπου είναι αναγκαίο για κάθε φυτό.

4.1.7 Αισθητήρες διαχείρισης συστημάτων άρδευσης

Οι αισθητήρες διαχείρισης συστημάτων άρδευσης έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει δεδομένα υγρασίας σε πραγματικό χρόνο για να προσδιορίσει ποια είναι η κατάλληλη χρονική στιγμή να ποτιστεί η καλλιέργεια, και σε ποια ποσότητα. Στο σύστημα αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης.



Εικόνα 25: Σύστημα διαχείρισης άρδευσης Πηγή: <https://blog.farmacon.gr/>

4.2 Εφαρμογές έξυπνης γεωργίας σε smartphone

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές που μπορεί κάποιος να εγκαταστήσει σε ένα smartphone, με σκοπό την παρακολούθηση ενός χωραφιού εξ' αποστάσεως. Υπάρχουν εφαρμογές που λαμβάνουν δεδομένα από το χρώμα της επιφάνειας των φύλλων ενός φυτού, και άλλες που παρουσιάζουν τις καταγραφές των δεδομένων από τους αισθητήρες για βιοχημικές μεταβλητές. Όλες είναι χρήσιμες και εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς η κάθε μια, κάνοντας τη ζωή του αγρότη πιο εύκολη και ξεκούραστη.

Mobile apps	Application	Features/Achievements
AgriMaps	Διαχείριση γης	Αυτή η εφαρμογή ακολουθεί μια βασισμένη σε τεκμηριωμένα στοιχεία, προσέγγιση συγκεκριμένης τοποθεσίας για να κάνει συστάσεις για τη διαχείριση των καλλιεργειών και της γης. Παρέχει μια πλατφόρμα για οπτικοποίηση χωρικών δεδομένων με μεγαλύτερο εύρος γεωργικών πληροφοριών σε σύγκριση με άλλες παρόμοιες εφαρμογές.
AgroDecisor EFC	Μυκητοκτόνα	Βασικά, αυτή η εφαρμογή παρουσιάζει ένα σύστημα βαθμολόγησης με βάση τον καιρό, την πίεση και άλλους παράγοντες που είναι χρήσιμοι για την εκτίμηση της πιθανότητας για την αναμενόμενη καθαρή απόδοση της θεραπείας με μυκητοκτόνο. Συνολικά, βοηθά τους αγρότες να μειώσουν τον αριθμό των απαιτήσεων μυκητοκτόνου παρέχοντας επίπεδα βαθμολόγησης για τη σωστή εφαρμογή του μυκητοκτόνου.

AMACA	Machinery/εργαλεία	<p>Το κόστος εξοπλισμού είναι ένα σημαντικό κομμάτι των δαπανών των καλλιεργειών. Αυτή η εφαρμογή είναι πολύ χρήσιμη για την εκτίμηση του κόστους των μηχανημάτων και της υλοποίησής τους σε διάφορες επιτόπιες επιχειρήσεις. Ακολουθείται μια προσέγγιση ανάπτυξης λειτουργιών ποιότητας με γνώμονα τον πελάτη για τη σύνδεση των προσδοκιών του χρήστη με τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της εφαρμογής.</p>
BioLeaf	Παρακολούθηση υγείας	<p>Αυτή η εφαρμογή βοηθά στην παρακολούθηση της κατάστασης του φυλλώματος των καλλιεργειών. Ανιχνεύει τη φθορά των φύλλων, ειδικά ως αποτέλεσμα των εντόμων. Με βάση τις απεικονιστικές μεθόδους, χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές (segmentation Otsu και Bezier curves) για την εκτίμηση της απώλειας φυλλώματος σε φύλλα με ή χωρίς ζημιά στα όρια.</p>
Ecofert	Διαχείριση λιπασμάτων	<p>Το Ecofert βοηθά στη διαχείριση του λιπάσματος για την επίτευξη της βέλτιστης χρήσης του. Υπολογίζει τον καλύτερο συνδυασμό λιπασμάτων με βάση το απαιτούμενο θρεπτικό διάλυμα και λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες διαφόρων καλλιεργειών. Επιπλέον, λαμβάνει υπόψη το κόστος του λιπάσματος με βάση τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.</p>

eFarm	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)	Το e Farm είναι ένα εργαλείο ανθρώπινης αντίληψης που συλλέγει πληροφορίες γεωργικής γης με γεωγραφικές ετικέτες σε επίπεδο αγροτεμαχίου. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για αντίληψη, χαρτογράφηση και μοντελοποίηση μελετών συστημάτων γεωργικής γης.
eFertigUAL	Λίπανση	Η εφαρμογή υπολογίζει την ποσότητα λιπάσματος και νερού που απαιτείται για τους κύριους τύπους καλλιεργειών με βάση διάφορα συστήματα καλλιέργειας καλλιεργειών και την ποικιλία των τεχνολογιών υδρολίπανσης. Οι αγρότες μπορούν να επιτύχουν την ακριβή εφαρμογή του νερού και άλλων θρεπτικών συστατικών στη γεωργία θερμοκηπίου.
EVAPO	Άρδευση	Το EVAPO αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της πιθανής εξατμισοδιαπνοής σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του κλιματικού δικτύου από τη NASA. Αυτή η εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε τοποθεσία στον κόσμο για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της άρδευσης μέσω πληροφοριών εξοικονόμησης νερού.
LandPKS	Εκτίμηση εδάφους	Το Land Management έχει δυνατότητα ανάλογα με το κλίμα, την τοπογραφία και τις σχετικά στατικές ιδιότητες του εδάφους (όπως η υφή του εδάφους, το βάθος και η ορυκτολογία). Αυτή η εφαρμογή βοηθά στη

		βελτίωση της κατανόησης των δυνατοτήτων της γης από τους αγρότες, καθώς και στις δραστηριότητες προσαρμογής και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.
PETEFA	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)	Παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς διαφόρων καλλιεργειών σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής. Επιπλέον, παρέχει μια γεωαναφερόμενη ανάλυση εδάφους οργανωμένη ανά αγροτεμάχια.
Pocket LAI	Άρδευση	Αυτή η εφαρμογή διαβάζει την επιφάνεια φύλλων (LAI), έναν βασικό παράγοντα για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων ενός φυτού σε νερό. Χρησιμοποιεί την κάμερα του κινητού και τον αισθητήρα επιταχυνσιόμετρου για λήψη εικόνων, ενώ ο χρήστης συνεχίζει να περιστρέφει τη συσκευή κατά μήκος του κύριου άξονά της.
SafReg	Διαχείριση δασών	Αυτή η εφαρμογή υποστηρίζει την παραγωγή ξυλείας και τη διαχείριση φυσικής αναγέννησής της σε συστήματα αγροδασοκομίας. Για το σκοπό αυτό, οι προγραμματιστές στόχευσαν 20 αγροκτήματα από την Κόστα Ρίκα, τη Νικαράγουα και την Ονδούρα. Συνολικά, αυτή η εφαρμογή βοηθά στην εξοικονόμηση χρημάτων για την επεξεργασία δεδομένων.
SnapCard	Εφαρμογές ψεκασμού	Η εφαρμογή SnapCard αναπτύχθηκε για επιτόπια ανάλυση συλλεκτών ψεκασμού

		<p>βάση αναλύσεων απεικόνισης. Χρησιμοποιεί διάφορους αισθητήρες κινητών τηλεφώνων και ακολουθεί πέντε τεχνικές απεικόνισης για να ποσοτικοποιήσει την εναπόθεση και το μέγεθος των σταγονιδίων του λιπάσματος.</p>
SWapp	Άρδευση	<p>Ο προγραμματιστής αυτής της εφαρμογής στοχεύει ειδικά σε ξηρές και χερσαίες περιοχές, καθώς τα προβλήματα άρδευσης είναι πιο συνηθισμένα σε αυτές τις περιοχές. Η εφαρμογή παρέχει μια ισχυρή, αξιόπιστη και οικονομική λύση για την παρακολούθηση της υγρασίας του νερού του εδάφους και λαμβάνει ακόμη και υπόψη το ιστορικό του καιρού.</p>
Village Tree	Διαχείριση παρασίτων	<p>Το VillageTree προσφέρει έξυπνες λύσεις διαχείρισης παρασίτων συλλέγοντας αναφορές εμφάνισης παρασίτων από αγρότες. Χρησιμοποιεί μια προσέγγιση crowdsourcing και στέλνει τις εικόνες κατά μήκος των πληροφοριών τοποθεσίας για να ειδοποιήσει άλλους αγρότες που μπορεί να επηρεαστούν.</p>
Weedsmart	Διαχείριση ζιζανίων	<p>Αυτό το εργαλείο είναι ικανό να βελτιώσει τη διαχείριση των ζιζανίων για μια συγκεκριμένη μάντρα. Με βάση τις απαντήσεις που δόθηκαν για εννέα ερωτήσεις σχετικά με το σύστημα εκτροφής μιας μάντρας, η εφαρμογή αξιολογεί την</p>

		αντοχή στα ζιζανιοκτόνα και τον κίνδυνο τράπεζας σπόρων ζιζανίων.
WheatCam	Ασφάλεια φυτών	Βασίζεται στην ιδέα της ασφάλισης με βάση την εικόνα που βοηθά στη βελτίωση της ποιότητας και της οικονομικής προσιτότητας της ασφάλισης των καλλιεργειών. Η κάμερα ενός smartphone χρησιμοποιείται για τη λήψη φωτογραφιών πριν και μετά από κατεστραμμένες ασφαλισμένες περιοχές. Συνολικά, ελαχιστοποιεί τις ασύμμετρες πληροφορίες και το κόστος της επαλήθευσης των ζημιών σε σύγκριση με τις μεθόδους ασφάλισης αποζημίωσης.
WISE	Άρδευση	Το WISE είναι ένα εργαλείο προγραμματισμού άρδευσης βασισμένο στο cloud που χρησιμοποιεί τη μέθοδο του εδαφικού ισοζυγίου υδάτων και επιτρέπει στους χρήστες να βλέπουν γρήγορα τις μετρήσεις ελλείμματος εδαφικής υγρασίας και καιρού, καθώς και να επιτρέπουν στους χρήστες να εισάγουν τις εφαρμοζόμενες ποσότητες άρδευσης.

Κεφάλαιο 5^ο – Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Οι αισθητήρες είναι τα βασικά στοιχεία των WSN, και επομένως, του συνολικού συστήματος για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του περιβάλλοντος. Καθώς οι συνθήκες καλλιέργειας εντός των θερμοκηπίων είναι μέτριες και δεν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από φυσικούς παράγοντες, η εφαρμογή τεχνολογιών ασύρματων αισθητήρων είναι ευκολότερη από ό,τι σε εφαρμογές εξωτερικού χώρου. Η ανάπτυξη των WSNs στη γεωργία ακριβείας αναφέρεται στην ανάπτυξη κόμβων αισθητήρων που βρίσκονται σε θερμοκήπια ή κήπους [58] για την παροχή πληροφοριών για περιβαλλοντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την ανάπτυξη των γεωργικών καλλιεργειών. Τα δεδομένα μέτρησης που λαμβάνονται από τους κόμβους αισθητήρων μεταδίδονται ασύρματα σε έναν κεντρικό σταθμό βάσης για συλλογή δεδομένων. Ο σταθμός βάσης λαμβάνει μια απόφαση σύμφωνα με την οποία οι κόμβοι εκτελούν τις κατάλληλες εργασίες. Οι χρήστες μπορούν να ελέγξουν τις πληροφορίες ανάπτυξης του προϊόντος μέσω των WSN, να λάβουν κατάλληλα μέτρα διαχείρισης, όπως τηλεχειριστήριο για στάγδην άρδευση και εγκαταστάσεις ανεμιστήρα με την καθοδήγηση του έμπειρου συστήματος για τη βελτίωση του μικροπεριβάλλοντος για το προϊόν τους. Επομένως, στη σύγχρονη γεωργία ακριβείας [59] ειδικά σε δίκτυο αισθητήρων μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιούνται δεδομένα παρακολούθησης για την εξαγωγή της βέλτιστης απόφασης για τον έλεγχο και την προσαρμογή των περιβαλλοντικών παραμέτρων με στόχο την απόκτηση καλύτερη απόδοση παραγωγής με παράλληλη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων [57].

Τρεις εργασίες είναι απαραίτητες για την επίτευξη ελέγχου ακριβείας του περιβάλλοντος παραγωγής [23]:

- 1) παρακολούθηση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και ο φωτισμός, καθώς αυτές οι παράμετροι είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση και την ποιότητα του προϊόντος.
- 2) αναλύσεις των παρακολουθούμενων δεδομένων και λήψη αποφάσεων που υποστηρίζονται από τη βελτιστοποίηση. και
- 3) την εφαρμογή των ελεγκτικών μηχανισμών.

Στόχος είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου της φυτικής παραγωγής που θα είναι προσαρμοσμένο στις ανάγκες των αγροτών και ως εκ τούτου, θα πρέπει να είναι εύκολο στην κατασκευή, χρήση, συντήρηση και αναβάθμιση, κατασκευασμένο από εξαρτήματα χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος και ανθεκτικό σε αστοχίες και απώλεια δεδομένων. Όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 1, το πρώτο στάδιο θα ακολουθήσει ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του συστήματος και τέλος, η δοκιμή και η βελτιστοποίηση του αναπτυγμένου συστήματος [46].

5.1 Ορισμός ασύρματου δικτύου αισθητήρων

“Ως ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ορίζεται ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από ασύρματους κόμβους- αισθητήρες, οι οποίοι βρίσκονται χωρικά κατανεμημένοι σε έναν ορισμένο χώρο. Οι αισθητήρες αυτοί λαμβάνουν και επεξεργάζονται δεδομένα με σκοπό την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών, για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου. Οι κόμβοι αυτοί μεταδίδουν πληροφορίες επικοινωνώντας μεταξύ τους, είτε με ένα κεντρικό κόμβο πύλη (gateway), ο οποίος στη συνέχεια είτε εκτελεί τις απαραίτητες ενέργειες, είτε μεταδίδει τις πληροφορίες στην εκάστοτε διεπαφή δικτύου [49].”

5.2 Δικτυακές οντότητες

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από πολλές δικτυακές οντότητες, όμως τα βασικά στοιχεία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι [49]:

- Δικτυακός κόμβος
- Κεντρικός κόμβος πύλη (gateway)
- Δικτυακός δρομολογητής
- Εξυπηρετητής δικτύου

Είδη κόμβων:

Κόμβος συλλογής δεδομένων

Ο κόμβος συλλογής δεδομένων έχει ως λειτουργία την συλλογή δεδομένων και την προσωρινή αποθήκευση τους, με ταυτόχρονη αποθήκευση των δεδομένων σε

πραγματικό χρόνο. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτοέλεγχο με σκοπό τη συντήρησή τους.

Κόμβος δρομολογητής

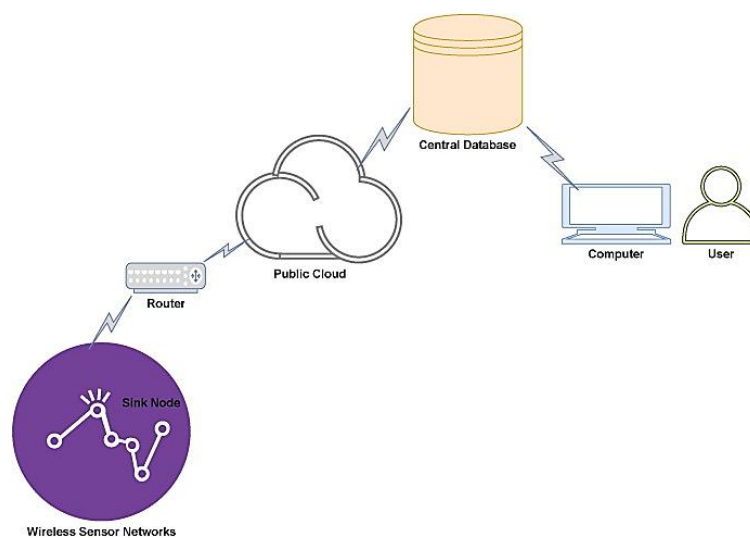
Ο κόμβος δρομολογητής συμβάλλει στη λήψη , μετάδοση και προώθηση των δεδομένων, καθώς επιτελεί και στον συντονισμό των λειτουργιών των κόμβων.

Κόμβος εξυπηρετητής

Ο κόμβος εξυπηρετητής αναλαμβάνει την αποθήκευση δεδομένων και πιθανόν, ανάλογα με τις κατασκευαστικές του προδιαγραφές, μπορεί να προωθή τα δεδομένα σε εφαρμογές του δικτύου.

Κεντρικός κόμβος- πύλη (gateway)

Ο κεντρικός κόμβος λειτουργεί ως είσοδος δεδομένων, μπορεί να διαχειριστεί από όλους τους κόμβους- συλλέκτες τα δεδομένα που συλλέγουν και βρίσκεται ακριβώς στη μέση της διαδρομής που ακολουθούν τα δεδομένα για να φτάσουν στον τελικό χρήστη μέσω της διεπαφής της εφαρμογής. Υπάρχουν πολλοί κόμβοι που μπορούν να εκτελέσουν αρκετές λειτουργίες οι οποίες όμως εξαρτώνται από την εφαρμογή από την οποία θα χρησιμοποιηθούν . Τέλος, το gateway χρειάζεται μεγάλα αποθέματα ενέργειας για να καλύψει τις δικτυακές απαιτήσεις[10].



Εικόνα 26: Μοντέλο έξυπνης γεωργίας[22]

5.3 Αρχιτεκτονικές Δικτύου IoT

5.3.1 Μοντέλο αναφοράς OSI

Το μοντέλο αναφοράς OSI είναι υπεύθυνο για τη διασύνδεση διάφορων συστημάτων. Αποτελείται από επτά επίπεδα: φυσικό επίπεδο, επίπεδο σύνδεσης δεδομένων, επίπεδο δικτύου, επίπεδο μεταφοράς, επίπεδο συνόδου, επίπεδο παρουσίασης, επίπεδο εφαρμογής.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι στη γεωργία ακριβείας, ένα δίκτυο αισθητήρων συγκροτεί ένα IoT δίκτυο. Στις αρχιτεκτονικές δικτύου η πιο συνηθισμένη είναι η διαστρωμάτωση OSI, όπου το επίπεδο αντίληψης που βλέπουμε στο IoT1 ταυτίζεται με επίπεδο εφαρμογής. Το πρώτο επίπεδο του OSI που είναι το ανθρωποκεντρικό είναι το frontend που βλέπει ο κάθε χρήστης, μόνο που στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής το επίπεδο αυτό αφορά τον αισθητήρα και όχι τον άνθρωπο. Είναι το επίπεδο στο οποίο γίνεται η λήψη των δεδομένων. Για δεδομένα τηλεμετρίας (text data) τα 250Kbps επαρκούν πλήρως για τη μετάδοσή τους, παρόλο που γενικότερα είναι ένας χαμηλός ρυθμός μετάδοσης, περίπου το 1/6 της ευρυζωνικότητας.

Το IoT2 παραπέμπει στην κλασική αρχιτεκτονική του OSI, ενώ το IoT1 αντί για φυσικό επίπεδο έχει το επίπεδο αντίληψης, με λιγότερες διαστρωματώσεις και συμπυκνώνει αντιστοιχίσεις του OSI. Στη γεωργία ακριβείας ανάλογα με τις απαιτήσεις και την τοπολογία του δικτύου μπορεί να εφαρμοστεί ένα από τα δύο. Στο IoT3, αντί να έχει το data link, έχει το cloud layer, οπότε εδώ δεν έχουμε OSI layer, αλλά cloud layer. Αυτό μας βοηθάει στο να μπορούμε να ανεβάσουμε δεδομένα στο cloud και να γίνει απευθείας αποθήκευση δεδομένων σε κάποιο server του cloud.

5.3.2 Αρχιτεκτονικές IoT

Αρχιτεκτονική του IoT1[18]

1. Επίπεδο Αντίληψης (Perception Layer)

Είναι το κατώτατο επίπεδο σε αυτή την αρχιτεκτονική, το οποίο εμπεριέχει διάφορες τεχνολογίες δικτύωσης και ηλεκτρονικές συσκευές, όπως αισθητήρες, μικροελεγκτές και πύλες δικτύου. Τις προσαρμογές στα δίκτυα τις αναλαμβάνουν οι μικροελεγκτές ώστε να μπορούν οι συσκευές που συνδέονται σε αυτά να

συλλέγουν δεδομένα. Άρα στο επίπεδο αυτό λαμβάνονται δεδομένα και έπειτα γίνεται η μετάδοσή τους στα ανώτερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής.

2. Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)

Το επίπεδο δικτύου εξασφαλίζει τη βέλτιστη επικοινωνία μέσα στις πλατφόρμες με τη χρήση τεχνολογιών επικοινωνίας, όπως η Ταυτοποίηση Ραδιοσυχνοτήτων (Radio-Frequency Identification/RFID), το Bluetooth Εξαιρετικά ευρείας Ζώνης (Ultra-Wideband Bluetooth/UWB Bluetooth), η Πολλαπλή Πρόσβαση με διαίρεση Κώδικα (Code-Division Multiple Access/CDMA), η Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη (Long-Term Evolution/LTE), το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile (Communications)/GSM), το ZigBee, η Ασύρματη Πιστότητα (Wireless Fidelity/Wi-Fi), η τεχνολογία μεγάλης εμβέλειας (Long Range/LoRa), και η Επικοινωνία Κοντινού Πεδίου (Near-Field Communication/NFC).

3. Επίπεδο Ενδιάμεσου Λογισμικού (Middleware Layer)

Στο επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού παρέχεται η διαλειτουργικότητα και η ασφάλεια μεταξύ των παρατεταγμένων συσκευών λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες των χαρακτηριστικών του χώρου στο οποίο εμφανίζεται το επίπεδο αυτό.

4. Επίπεδο Εξυπηρέτησης (Service Layer)

Το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς, αναλαμβάνει την παρακολούθηση των συσκευών, τη συγκέντρωση και τη δημοσίευση δεδομένων από αυτές. Επίσης, επιτελεί στην υποστήριξη αποθήκευσης στο υπολογιστικό νέφος.

5. Επίπεδο Ανάλυσης (Analytics Layer)

Στο συγκεκριμένο επίπεδο γίνεται η επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων που λαμβάνονται από τις διασυνδεδεμένες συσκευές. Επιτελείται η λήψη αποφάσεων και προβλέψεων με σκοπό την ενδυνάμωση της παρακολούθησης μιας καλλιέργειας.

6. Επίπεδο Τελικών Χρηστών (End- User Layer)

Το επίπεδο τελικών χρηστών βρίσκεται στην κορυφή αυτής της αρχιτεκτονικής. Στην ουσία είναι μια πλατφόρμα που χειρίζεται ο τελικός χρήστης, η οποία εκτελεί αποφάσεις.

Αρχιτεκτονική του ΙοΤ2

1. Φυσικό Επίπεδο και Επίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσου (Physical and MAC Layer)

Στο επίπεδο αυτό εμπεριέχεται το πρότυπο IEE 802.15.4, με βασικό πλεονέκτημα τη χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση για τα συστήματα επιτυγχάνοντας ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250Kbps, τα οποία επαρκούν πλήρως για τη μετάδοση των δεδομένων που θα παρουσιαστούν σε παρακάτω Κεφάλαιο, διότι τα δεδομένα είναι δεδομένα τηλεμετρίας, τα οποία δεν απαιτούν μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης.

2. Επίπεδο Προσαρμογής (Adaptation Layer)

Στο επίπεδο Προσαρμογής υποστηρίζεται η δυνατότητα στις διασυνδεδεμένες ηλεκτρονικές συσκευές να λειτουργούν χωρίς περιορισμούς.

3. Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)

Στο επίπεδο αυτό γίνεται μετάδοση δεδομένων με χρήση 4^{ης} και 6^{ης} έκδοσης πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol version 4/IPv4 και 6/IPv6).

4. Επίπεδο Μεταφοράς (Host-to-Host Transport Layer)

Στο επίπεδο Μεταφοράς γίνεται λήψη και αποθήκευση δεδομένων από τους αισθητήρες. Χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα όπως Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol/TCP) και Πρωτόκολλο Δεδομένων Χρηστών (User Datagram Protocol/UDP). Στο TCP εξασφαλίζεται η αξιοπιστία των απεσταλμένων δεδομένων όμως με χαμηλή ταχύτητα.

5. Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)

Στο επίπεδο Εφαρμογών χρησιμοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα, όπως: το Προηγμένο Πρωτόκολλο Ουράς Μηνυμάτων (Advanced Message Queuing Protocol/AMQP), το Πρωτόκολλο Περιορισμένων Εφαρμογών (Constrained Application Protocol/CoAP), το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου (Hypertext Transfer Protocol/HTTP), και η Μεταφορά Τηλεμετρίας Ουράς Μηνυμάτων (Message Queuing Telemetry Transport/MQTT).

Αρχιτεκτονική του IoT3

1. Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)

Στο επίπεδο αυτό βρίσκονται οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους για την ανίχνευση και την καταγραφή δεδομένων. Αφού γίνει η συλλογή των δεδομένων, ανεβαίνουν σε συστήματα υπολογιστικού νέφους ώστε να διενεργούνται οι αυτόματες εργασίες των αγροτών.

2. Επίπεδο Άκρου (Edge Layer)

Στο επίπεδο άκρου εκτελούνται υπολογισμοί σε real time μειώνοντας τον υπολογιστικό φόρτο.

3. Επίπεδο Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Layer)

Η επικοινωνία με τα υπόλοιπα επίπεδα πραγματοποιείται με το διαδίκτυο.

4. Επίπεδο Επικοινωνιών Δικτύου (Network Communication Layer)

Το επίπεδο αυτό, έχει τη δυνατότητα να παρέχει μία στοίβα δικτύου (network stack) στην οποία ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα επικοινωνούν μεταξύ τους επιτυγχάνοντας την απαιτούμενη προσαρμοστικότητα.

Αρχιτεκτονική του IoT4

1. Επίπεδο Ανίχνευσης (Sensing Layer)

Στο επίπεδο ανίχνευσης περιλαμβάνονται αισθητήρες που συνδέονται με τις τεχνολογίες General Packet Radio Service/GPRS, Wi-Fi και ZigBee ώστε να γίνει η μετάδοση δεδομένων.

2. Επίπεδο Προσπέλασης (Access Layer)

Στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνονται gateways και λογισμικά που συμβάλλουν στην μείωση της πολυπλοκότητας των συστημάτων.

3. Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)

Με τη χρήση πρωτοκόλλου διαδικτύου (Internet Protocol/IP) γίνεται η μετάδοση των δεδομένων.

4. Επίπεδο Διαμοιρασμού Δεδομένων (Data Sharing Layer)

Στο επίπεδο διαμοιρασμού δεδομένων γίνεται η χρήση των πρωτοκόλλων TCP και UDP.

5. Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)

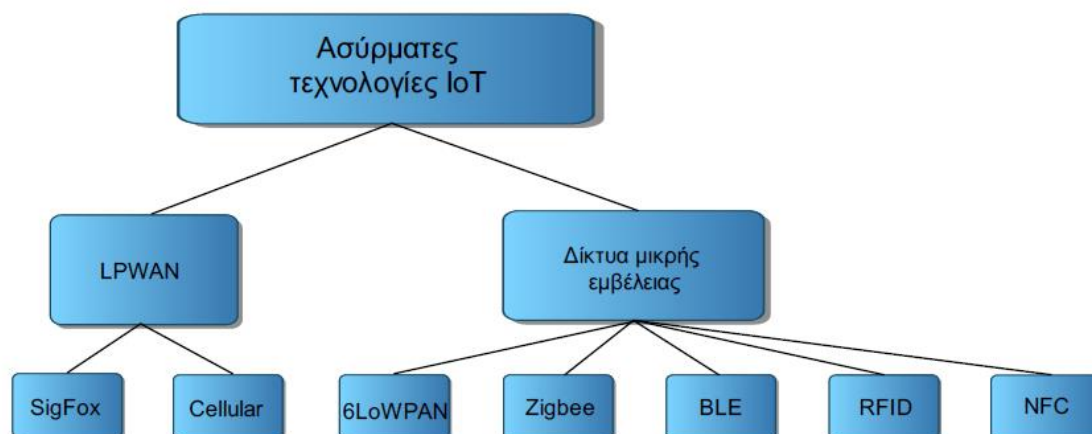
Στο επίπεδο αυτό λαμβάνονται τα δεδομένα από το ακριβώς προηγούμενο επίπεδο με τη χρήση του πρωτοκόλλου HTTP αλλά και του πρωτοκόλλου μεταφοράς δεδομένων (File Transfer Protocol/FTP).

5.4 Ασύρματες τεχνολογίες δικτύωσης στη γεωργία

Οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων αισθητήρων IoT σε συνδυασμό με τις υπηρεσίες cloud. Μερικές από τις τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας που έχουν αναπτυχθεί με επιτυχία στο IoT είναι οι ZigBee, RFID, NFC, Bluetooth, BLE, LTE, 6LoPWAN, Sigfox και LoRa. Κάθε τεχνολογία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Η γεωργία ακριβείας απαιτεί παρακολούθηση των εδαφικών και καιρικών συνθηκών για καλύτερη λήψη αποφάσεων. Το IoT που υιοθετήθηκε για την Precision Agriculture χρησιμοποιεί τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας για τη συλλογή των γεωργικών παραμέτρων. Οι πιο κοινές τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στη γεωργία είναι οι ZigBee, Bluetooth, SigFox, WiFi και LoRa [12]. Οι τεχνικές προδιαγραφές κάθε τεχνολογίας έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην αξιοποίηση συγκεκριμένης τεχνολογίας επικοινωνίας σε εφαρμογές IoT [13]. Το εύρος ζώνης αποφασίζει πόσο μακριά μπορεί να τοποθετηθεί ο ασύρματος κόμβος για παρακολούθηση και έλεγχο, η απόδοση ισχύος καθορίζει την περίοδο λειτουργίας, δηλαδή τη διάρκεια ζωής του ασύρματου κόμβου. Για εφαρμογές παρακολούθησης ελέγχου ανοιχτού πεδίου, το LoRa είναι μια καλή επιλογή που προσφέρει μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας με απόδοση ισχύος, το ZigBee είναι κατάλληλο για παρακολούθηση εσωτερικού χώρου ή θερμοκηπίου με μικρή εμβέλεια και καλή απόδοση ισχύος.

Το IoT παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου. Η ιδέα του IoT ξεκίνησε το 1999 και ήταν να κάνει τις συσκευές έξυπνες μέσω της εγκατάστασης αισθητήρων, μονάδων επεξεργασίας και παρέχοντάς τους δυνατότητες επικοινωνίας. Ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών από το IoT έχει προβλεφθεί σε 2000 δισεκατομμύρια έως το 2050. Για μικρής εμβέλειας συνδεσιμότητας, χρησιμοποιούνται BLE και ZigBee ενώ οι LoRa και WiFi είναι οι τεχνολογίες για επικοινωνία μεγάλων

αποστάσεων. Το IoT έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων της βιομηχανίας, της υγειονομικής περίθαλψης, των Logistics. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν έξυπνες συσκευές που μεταδίδουν/λαμβάνουν δεδομένα και έχουν τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων. Οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας για το IoT χωρίζονται ή κατηγοριοποιούνται σε LPWAN και Δίκτυο μικρής εμβέλειας. Διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας που εμπίπτουν στο LPWAN και στο Δίκτυο Μικρής Εμβέλειας συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα[9].

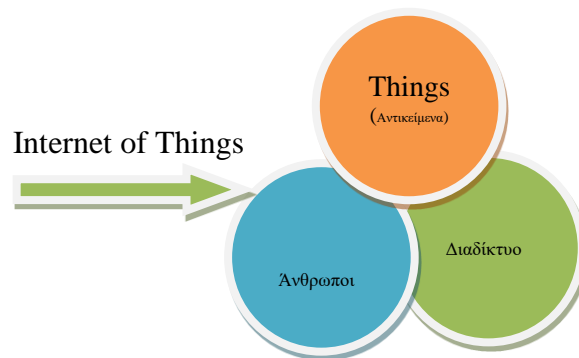


Εικόνα 27: Τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας στο IoT

Το SigFox είναι μια τεχνολογία χαμηλής κατανάλωσης ικανή να μεταδίδει δεδομένα έως και 50 Km και είναι κατάλληλη μόνο για χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων. Το Cellular είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Το ZigBee υποστηρίζει διαφορετικές τοπολογίες δικτύου όπως πλέγμα, αστέρι, δέντρο και έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Το BLE χαρακτηρίζεται ως τεχνολογία χαμηλής ισχύος και με μικρό χρόνο εγκατάστασης. Το RFID χρησιμοποιεί προ-προγραμματισμένες ετικέτες RFID, οι οποίες μπορεί να είναι μια ενεργή ή παθητική ετικέτα. Το RFID δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεση μέτρηση και διάγνωση λόγω της προγραμματισμένης φύσης του. Το NFC χρησιμοποιεί τεχνολογία σχεδόν παρόμοια με το RFID.

Το IoT είναι η επικοινωνία του μέλλοντος μετατρέποντας συσκευές/αντικείμενα του πραγματικού κόσμου σε έξυπνες συσκευές. Το IoT στοχεύει να ενώσει κάθε αντικείμενο στο έργο με τέτοιο τρόπο ώστε οι άνθρωποι να μπορούν να το ελέγχουν μέσω

του Διαδικτύου. Το IoT απεικονίζει την τριμερή σχέση μεταξύ πραγμάτων, ανθρώπων και του διαδικτύου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα [5].



Εικόνα 28: Τριμερής σχέση IoT

Έχει προβλεφθεί ότι μέχρι το 2025 περίπου 75 δισεκατομμύρια συσκευές θα συνδεθούν μέσω του Διαδικτύου και το IoT θα είναι μια αγορά άνω των 300 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Το IoT μεταδίδει πληροφορίες κυρίως μέσω ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας. Οι τεχνικές προδιαγραφές για ορισμένες από τις τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας παρέχονται στην παρακάτω πίνακα.

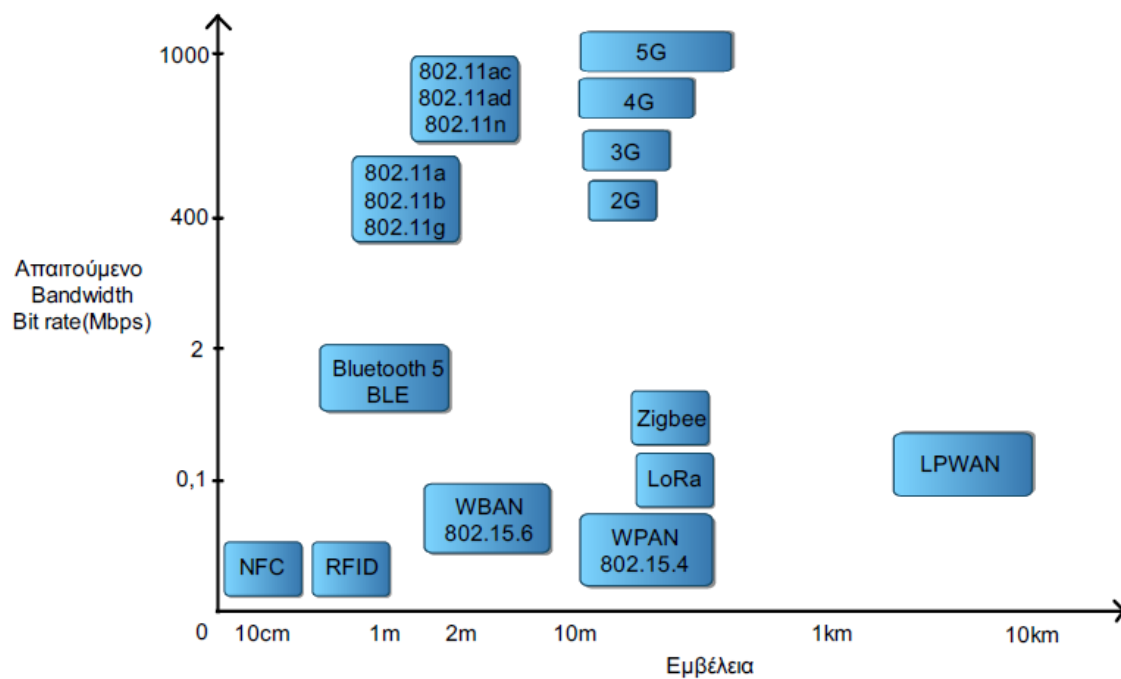
Technology	Standard	Year of Discovery	Range (meters)	Data rate (Kbps)
RFID	Wireless	1973	2	100 Kbps
NFC	ISO18092	2004	<0.2	106, 212 or 424 Kbps
LTE	3GPP, LTE and 4G	1991	35	100Mbps
LoRa	Wireless	2012	3000-5000	0.3, 77.5 Kbps
Z-Wave	Wireless	2013	30	100 Kbps

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά σε τεχνολογίες ασύρματης σύνδεσης

Το RFID αποτελείται από έναν αναγνώστη και τις ετικέτες. Κάθε ετικέτα σχετίζεται με μια συγκεκριμένη διεύθυνση. Το RFID χρησιμοποιείται για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο χωρίς την απαίτηση επικοινωνίας οπτικής επαφής με ανθρώπους. Το IEEE802.15.4 είναι το πρότυπο για το LR-WPAN με το λειτουργικό μοντέλο στα 915 MHz. Το Z-wave είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας για δίκτυα οικιακού αυτοματισμού με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας [31]. Η απόσταση μεταξύ 2 κόμβων επικοινωνίας στο Z-wave δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 30 μέτρα. Το LTE είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας με χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλότερη απόδοση δεδομένων. Το NFC είναι μια τεχνολογία

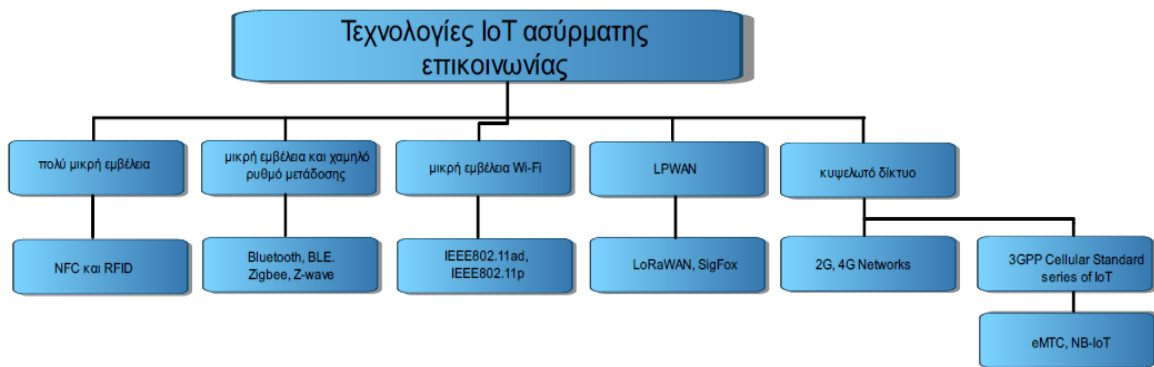
παρόμοια με το RFID. Το NFC είναι μια τεχνολογία επικοινωνίας μικρής εμβέλειας, χαμηλής ισχύος, ικανή να μεταφέρει μια μικρή ποσότητα πληροφοριών μεταξύ δύο συσκευών. Το UWB είναι επίσης μια τεχνολογία επικοινωνίας μικρής εμβέλειας παρόμοια με το NFC, αλλά υποστηρίζει εύρος ζώνης έως 500 MHz έναντι 13,56 MHz για NFC. Το LoRa είναι η τεχνολογία επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για συνδεσιμότητα μακράς εμβέλειας σε αγροτικές περιοχές και βιομηχανίες [22].

Με βάση το εύρος ζώνης και την απαίτηση εύρους, το παρακάτω σχήμα δείχνει την κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας.



Εικόνα 29: Απαιτούμενη ευρυζωνικότητα

Η ταξινόμηση των διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας IoT φαίνεται στην παρακάτω εικόνα[44].

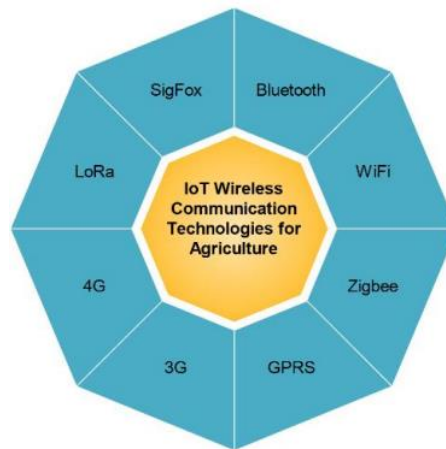


Εικόνα 30: Ταξινόμηση των ασύρματων τεχνολογιών βάσει της ευρωζωνικότητας

Το NFC και το RFID είναι οι τεχνολογίες για την εξαιρετικά χαμηλή εμβέλεια. Η κύρια διαφορά μεταξύ RFID και NFC είναι το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας, το NFC λειτουργεί σε μεσαίο και το RFID λειτουργεί στο εύρος υψηλής συχνότητας. Ο ρυθμός δεδομένων NFC κυμαίνεται από 106 έως 424 Kbits/s και το εύρος επικοινωνίας είναι από 100cm έως 1m ενώ το εύρος επικοινωνίας RFID είναι 10m έως 200m με ρυθμό μετάδοσης από 40 Kbits/s έως 640 Kbits/s. Το Bluetooth λειτουργεί στα 2,4 Ghz και κατατάσσεται σε 4 κατηγορίες με βάση την απόσταση επικοινωνίας. Το BLE ή το Bluetooth 4.0 έχει αυξημένη εμβέλεια και βελτιστοποιημένη χρήση ενέργειας. Το Bluetooth 5 είναι επίσης καλύτερο στη χρήση ενέργειας με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας υψηλότερη ταχύτητα και ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Το ZigBee και το Z-wave είναι μερικές από τις άλλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας στη μικρή εμβέλεια. Οι LoRa, NB-IoT και SigFox είναι ασύρματες τεχνολογίες για επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων. Οι LoRa και SigFox χρησιμοποιούν συχνότητα χωρίς άδεια και ενώ το NB-IoT λειτουργούσε σε μια αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων. Το SigFox έχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 100 bps, ενώ ο ρυθμός δεδομένων LoRa κυμαίνεται από 300 bps έως 37,5 Kbps. Το LoRa προσφέρει εμβέλεια επικοινωνίας έως 2 Km ενώ από την άλλη πλευρά έως 15 Km ενώ το SigFox έχει εμβέλεια επικοινωνίας έως 30 Km.

Στο IoT, η ενεργειακά αποδοτική και αξιόπιστη επικοινωνία είναι μια σημαντική πτυχή. Το LoRa καταναλώνει περίπου 1-10mA ρεύμα, ενώ το WiFi καταναλώνει 100-350mA, το Bluetooth έχει ενεργειακή κατανάλωση 1-35mA και το ZigBee έχει 1-10mA. Το LoRa προσφέρει εμβέλεια επικοινωνίας έως και 2 Km ενώ από την άλλη πλευρά, διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας προσφέρουν εμβέλεια περίπου από 1-100 μέτρα μόνο. Το LoRa προσφέρει επίσης την ασφάλεια δεδομένων 128 bit.

Κάποιες από τις τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας IoT που αναπτύσσονται στη γεωργία φαίνονται στην παρακάτω εικόνα [50].



Εικόνα 31: Τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης στη γεωργία ακριβείας

Το ZigBee θεωρείται το καλύτερο πρωτόκολλο για γεωργικές εφαρμογές, αφού πολλές εφαρμογές αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας το ZigBee, όπως η επίβλεψη άρδευσης, η διαχείριση της ποιότητας του νερού, τα συστήματα εντοπισμού βοοειδών, το θερμοκήπιο που βασίζεται σε WSN, κ.λπ. Οι κόμβοι αισθητήρων ZigBee based μπορούν να επικοινωνούν σε απόσταση έως και 100 μέτρων. Το ZigBee προσφέρει καλή απόδοση ισχύος όταν γίνεται εναλλαγή μεταξύ ενεργής κατάστασης και αδρανούς.

Το Bluetooth προτιμάται για φορητές συσκευές με απόσταση επικοινωνίας έως 10 μέτρα. Διάφορες γεωργικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν το Bluetooth είναι η παρακολούθηση καιρού, η παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους, η παρακολούθηση θερμοκρασίας και η παρακολούθηση άρδευσης. Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης Bluetooth είναι η χαμηλή ισχύς, η διαθεσιμότητα και η ευκολία χρήσης από τους συμπολίτες.

Το LoRa με προδιαγραφές όπως χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και εύρος επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων χρησιμοποιείται επίσης σε πολλές γεωργικές εφαρμογές όπως η έξυπνη άρδευση, η παρακολούθηση χώρων πρασίνου, η βελτίωση της λίπανσης και πολλά άλλα. Αν εξεταστεί η απόδοση ενέργειας στο ZigBee, τα SigFox και LoRa είναι οι καταλληλότερες τεχνολογίες που παρέχουν την καλύτερη απόδοση ισχύος

και στη συνέχεια ακολουθεί το Classic Bluetooth, το WiFi και το WiFi στην κατηγορία των τεχνολογιών υψηλής κατανάλωσης ενέργειας [59].

Όσον αφορά την εμβέλεια επικοινωνίας, το LoRa προσφέρει εμβέλεια επικοινωνίας έως 5Km, το Sigfox έως 15Km, το BLE έως 10m και το ZigBee, το κλασικό Bluetooth προσφέρει εύρος επικοινωνίας από 10-100m. Οι LoRa και SigFox είναι οι καλύτεροι υποψήφιοι αν ληφθεί υπόψη το κόστος ανάπτυξης για γεωργικές εφαρμογές, στη συνέχεια έρχονται τα WiFi, BLE, Bluetooth και ZigBee [24].

Κεφάλαιο 6^ο- Μελέτη περίπτωσης (Κομποτάδες Σπερχειού)

6.1 Η καλλιέργεια της καρυδιάς και οι απαιτήσεις της σε νερό



Εικόνα 32: Οπωρόνας καρυδιάς. Πηγή: Best practice management for establishing a walnut orchard- Department of primary industries Tatura Centre, Harold H.Adem

Η καρυδιά είναι ένα δέντρο με καρπούς υψηλής διατροφικής αξίας γι' αυτό και υπάρχει μεγάλη ζήτηση σε οικιακές, βιομηχανικές, περιβαλλοντικές και γεωργικές χρήσεις. Κάποιες καλλιέργειες καρυδιάς είναι πιθανόν να βρεθούν αντιμέτωποι με περιόδους όπου τα αποθέματα νερού είναι μειωμένα, ειδικά κατά τη διάρκεια των χιονοπτώσεων, αλλά και τους θερινούς μήνες[87].

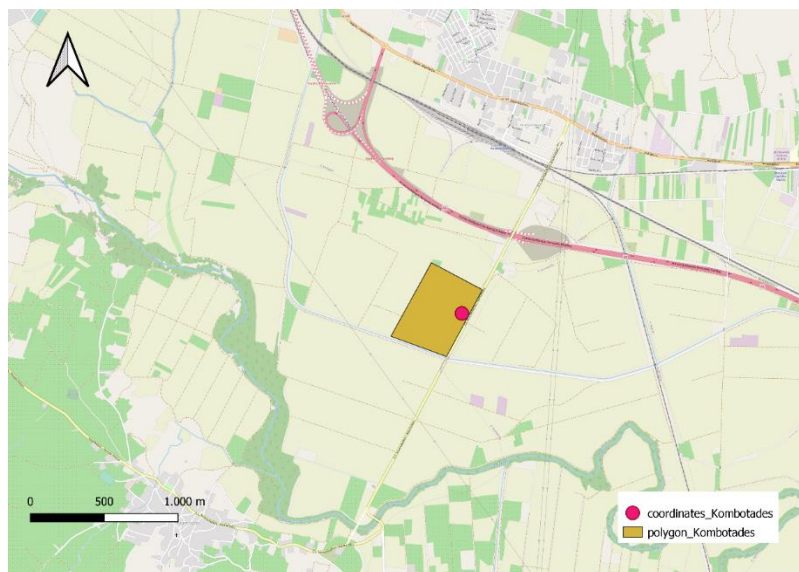
Η ανάπτυξη της ρίζας είναι συνήθως η πρώτη διαδικασία ανάπτυξης καρυδιών, η οποία ξεκινά στα μέσα Φεβρουαρίου, πριν η καρυδιά διακόψει τον λήθαργο (η περίοδος της καρυδιάς που δεν έχει ούτε φύλλα, ούτε άνθη, ούτε καρποί) και εμφανιστούν τα πρώτα φύλλα. Η ανάπτυξη των ριζών εμφανίζεται με γρήγορο ρυθμό από τα μέσα Φεβρουαρίου έως τα μέσα Απριλίου και στη συνέχεια επιβραδύνεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Ανάλογα με την ποικιλία, την τοποθεσία και τις καιρικές συνθήκες, οι

περισσότερες εμπορικές ποικιλίες καρυδιάς διακόπτουν τον λήθαργο και αρχίζουν να βγάζουν φύλλα από τα μέσα Μαρτίου έως τα μέσα Απριλίου. Το φύλλο ακολουθείται σύντομα από την ανθοφορία, την εμφάνιση των αρσενικών λουλουδιών που παράγουν γύρη και τα θηλυκά άνθη που σχηματίζουν το καρύδι μετά την επικονίαση (μέσω των μελισσών). Η ανθοφορία ολοκληρώνεται τυπικά στα τέλη Απριλίου και ακολουθείται από την εμφάνιση του καρπού (φλοιός και ανώριμο καρύδι) μαζί με ταχεία ανάπτυξη βλαστών. Στις αρχές Ιουνίου, ο καρπός έχει φτάσει στο πλήρες εξωτερικό του μέγεθος και μεγάλο μέρος της ανάπτυξης των βλαστών που μπορεί να εξελιχθεί σε ξύλο καρποφόρου τα επόμενα χρόνια έχει αναπτυχθεί.

Ανάλογα με την τοποθεσία, οι καρυδιές χρειάζονται νερό το οποίο θα εξαρτάται από το έδαφος και το κλίμα της τοποθεσίας. Η ποσότητα της βροχόπτωσης είναι ένας παράγοντας που δεν επαρκεί για την άρδευση των δέντρων της καρυδιάς. Όμως ο απόδοση και η ποιότητα των οπωρώνων καρυδιάς είναι καλύτερες όταν υπάρχουν μικροεκτοξευτήρες για το πότισμα του χωραφιού. Ακόμη και σε περιοχές με υψηλότερες βροχοπτώσεις, είναι απαραίτητη κάποια πρόβλεψη για καλύτερη άρδευση [8]. Ο οπωρώνας συνήθως πρέπει ποτίζεται πολλές φορές την εβδομάδα το καλοκαίρι για να αντικαταστήσει το νερό που χάνεται από τη διαπνοή. Τα тенσιόμετρα (συστήματα μέτρησης ποσότητας νερού γύρω από τις ρίζες ενός δέντρου) ή άλλοι αισθητήρες στο έδαφος χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν πότε και πόσο καιρό θα ποτιστούν και να αποφευχθεί η αφυδάτωση των δέντρων ή και το αντίθετο, δηλαδή το υπερβολικό πότισμα [86].

6.2 Τοποθεσία μετρήσεων και συλλογή δεδομένων

Οι Κομποτάδες Σπερχειού βρίσκονται στις νότιες όχθες του ποταμού, 10 χλμ. νοτιοδυτικά της Λαμίας. Εκεί υπάρχει ένας οπωρώνας με καρυδιές στον οποίο έχουν τοποθετηθεί τέσσερις αισθητήρες, οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα που αφορούν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την υγρασία εδάφους. Το χωράφι αποτελείται κυρίως από υγρά ή ξηρά και αμμώδη εδάφη. Ο ιδιοκτήτης εκεί καλλιεργεί για πάνω από δυο δεκαετίες καρυδιές. Η έκταση του χωραφιού είναι περίπου δύο στρέμματα. Με χρήση του προγράμματος γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων QGIS έγινε εντοπισμός της τοποθεσίας του χωραφιού μέσω δορυφόρου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 33: Χωράφι με αισθητήρες στους Κομποτάδες- χρήση QGIS

Οι αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί στο σημείο αυτό είναι τύπου LSE01 -- LoRaWAN Soil Moisture & EC Sensor. Ο Dragino LSE01 είναι ένας αισθητήρας υγρασίας εδάφους και EC LoRaWAN. Ανιχνεύει την υγρασία του εδάφους, τη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα του και ανεβάζει τα δεδομένα μέσω ασύρματης σύνδεσης στον διακομιστή LoRaWAN IoT. Έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους του αλατούχου-αλκαλικού εδάφους και του αργιλώδους εδάφους. Ο αισθητήρας εδάφους χρησιμοποιεί τη μέθοδο FDR για τον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους με την αντιστάθμιση από τη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα του εδάφους[79].

Η ασύρματη τεχνολογία LoRa που χρησιμοποιείται στο LSE01 επιτρέπει στη συσκευή να στέλνει δεδομένα και να φτάνει σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις σε χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων (250 kbps). Αφού τα δεδομένα μας είναι στοιχεία τηλεμετρίας ο ρυθμός μετάδοσης του πρωτοκόλλου επαρκεί στο έπακρο. Παρέχει επικοινωνία με εξάπλωση φάσματος εξαιρετικά μεγάλης εμβέλειας, ενώ ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ρεύματος. Το LSE01 τροφοδοτείται από μπαταρία Li-SOCI2 4000mA ή 8500mA, Είναι σχεδιασμένο για μακροχρόνια χρήση έως και 10 χρόνια. Κάθε LES01 είναι προ φορτωμένο με ένα σύνολο μοναδικών κλειδιών για εγγραφές LoRaWAN. Χαρακτηριστικά του LES01:

- LoRaWAN 1.0.4 Class A
- Πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας
- Παρακολούθηση υγρασίας εδάφους
- Παρακολούθηση θερμοκρασίας εδάφους
- Παρακολούθηση της αγωγιμότητας του εδάφους
- Ζώνες: CN470/EU433/KR920/US915/EU868/AS923/AU915/IN865
- Uplink ανά τακτά χρονικά διαστήματα
- Downlink για αλλαγές στη διαμόρφωση
- IP66 Αδιαβροχοποιημένο
- 4000mAh ή 8500mAh μπαταρία για μακρόχρονη χρήση



Εικόνα 34:LSE01 -- LoRaWAN Soil Moisture & EC Sensor

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος, δηλαδή το χωράφι με τις καρυδιές αλλά και τα σημεία στα οποία είναι τοποθετημένοι οι αισθητήρες που μελετώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία .



Εικόνα 35: Αισθητήρας 523



Εικόνα 36: Μετεωρολογικός σταθμός

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο τρόπος σύνδεσης των αισθητήρων στο δίκτυο.

LSE01 in a LoRaWAN Network

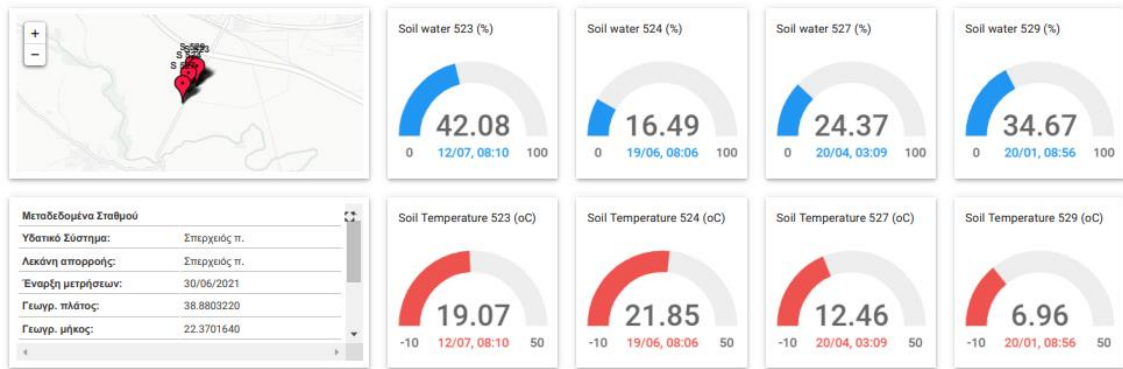


Εικόνα 37: Διασυνδεσιμότητα αισθητήρων

Η σχετική κεραία που συλλέγει τα δεδομένα τα αποστέλλει μέσω κινητής τηλεφωνίας στο λογισμικό Things Board που είναι μια Open-source IoT Platform που συλλέγει, διαχειρίζεται και οπτικοποιεί τα δεδομένα. Επιτρέπει τη συνδεσιμότητα συσκευών μέσω βιομηχανικών τυποποιημένων πρωτοκόλλων IoT- MQTT, CoAP και HTTP.

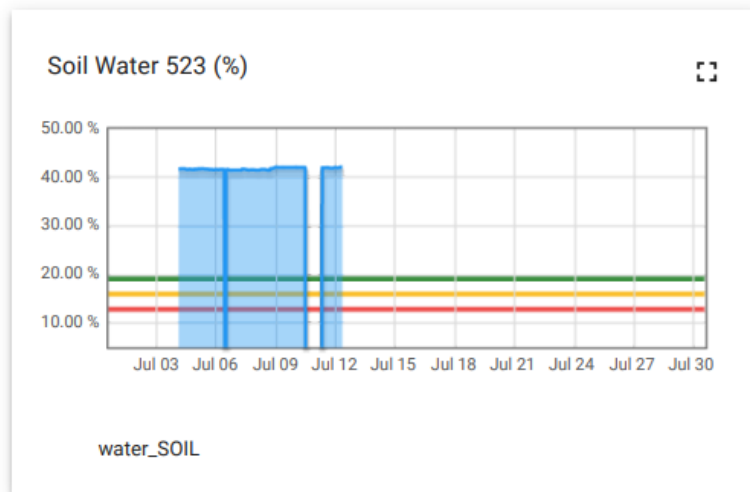
Οι αισθητήρες του χωραφιού συλλέγουν φυσικοχημικά δεδομένα, όπως θερμοκρασία, υγρασία περιβάλλοντος και εδάφους, pH χώματος, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ποσοστό βροχόπτωσης, καθώς και ηλιακή ακτινοβολία. Η μεταβλητή που μελετάμε στην παρούσα διπλωματική είναι η θερμοκρασία εδάφους. Τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε αρχεία μορφής xls και csv, και είναι από το μήνα Ιούνιο του έτους 2021 έως το μήνα Μάρτιο του 2022.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η οθόνη του τελικού χρήστη με τα αποτελέσματα της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Έτσι, ο ιδιοκτήτης του χωραφιού είναι άμεσα ενημερωμένος για τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στο χωράφι του, χωρίς να χρειάζεται να βρίσκεται ο ίδιος εκεί.

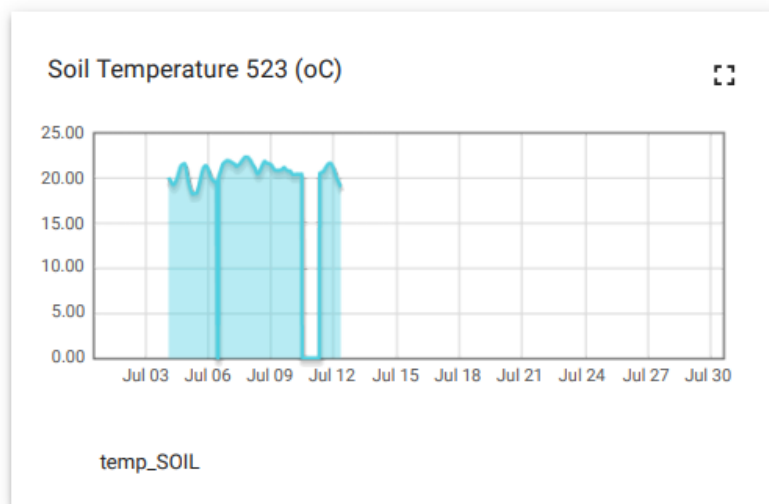


Εικόνα 38: Τελική διεπαφή χρήστη

Τη χρονική στιγμή που έγινε λήψη της παρακάτω εικόνας οι αισθητήρες 524, 527, 529 δεν είχαν φορτισμένη μπαταρία, με αποτέλεσμα να μην δίνουν δεδομένα, για αυτό και τα διαγράμματα στους αντίστοιχους αισθητήρες είναι κενά.

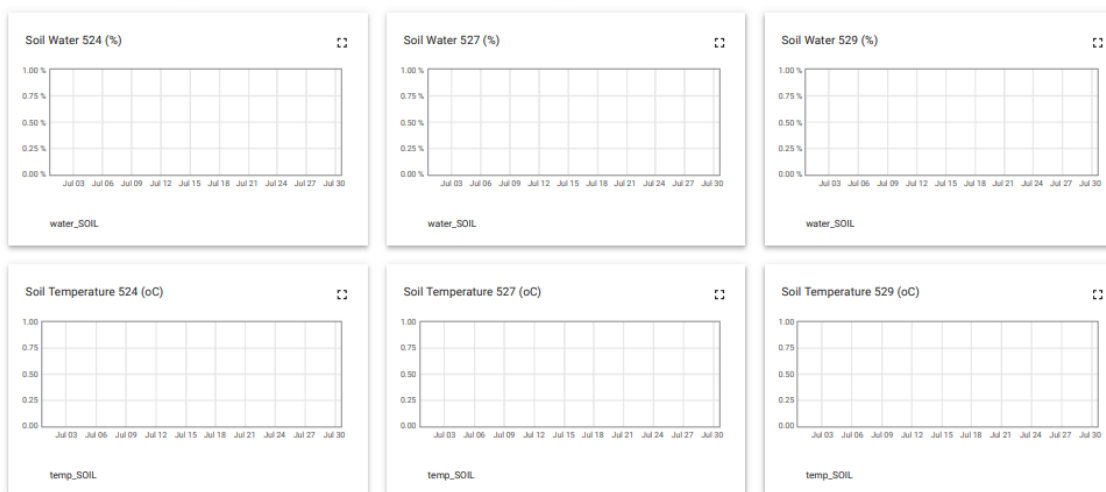


Εικόνα 39: Τελική διεπαφή χρήστη- Dragino523 real time- Ιούλιος 2021



Εικόνα 40: Soil Temperature- Dragino523 real time- Ιούλιος 2021

Τη χρονική στιγμή που έγινε λήψη της παρακάτω εικόνας (Σάββατο, 30 Ιουλίου 2022, 2:26:01 μμ) οι αισθητήρες 524,527,529 δεν είχαν φορτισμένη μπαταρία, με αποτέλεσμα να μην δίνουν δεδομένα, για αυτό και τα διαγράμματα στους αντίστοιχους αισθητήρες είναι κενά, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 41: Λιεπαφή χρήστη

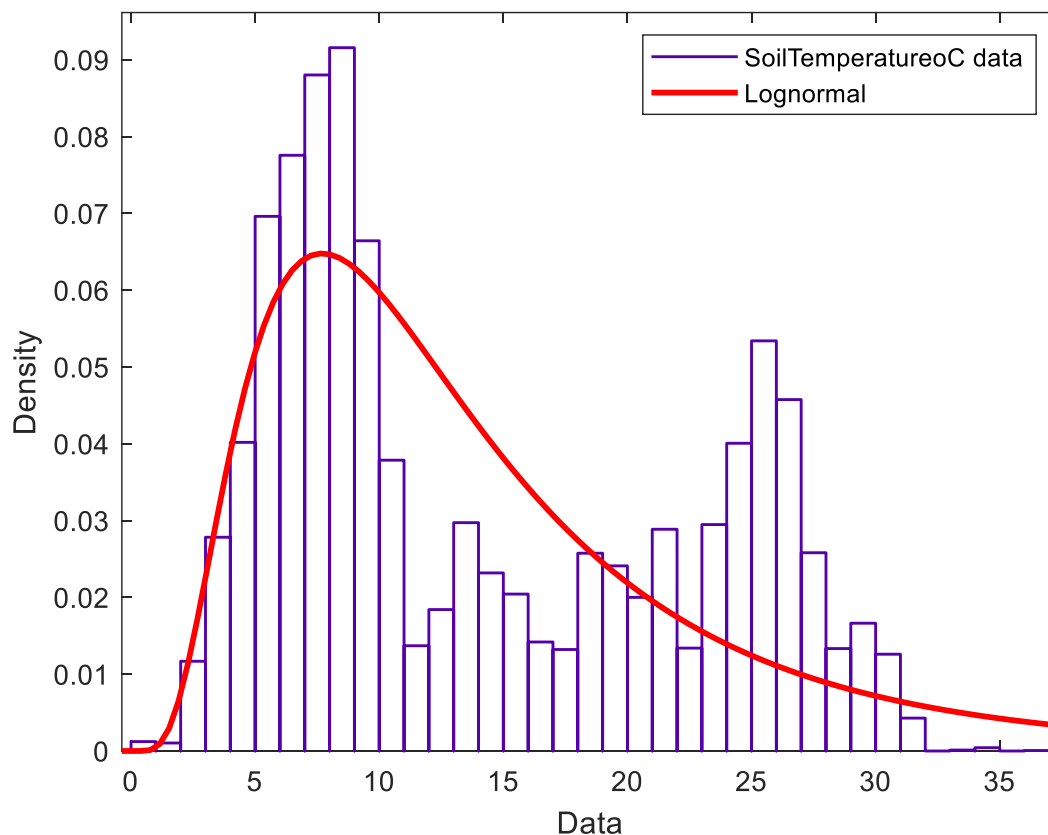
6.2 Επεξεργασία δεδομένων στο MATLAB

Σκοπός της τρέχουσας ενότητας είναι να παρατεθούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων που συνέλλεξαν οι αισθητήρες σε περιβάλλον MATLAB. Στην προηγούμενη ενότητα εξετάσαμε την τοποθεσία και τη διαδικασία καταγραφής και συλλογής των εμπειρικών δεδομένων. Στις εικόνες που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι μεταβολές που προκύπτουν στα δεδομένα μας σε σχέση με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.

Στο toolbox “Distribution Fitting Tool” του MATLAB εισαγάγουμε σταδιακά κάθε μεταβλητή που καταγράφηκε από τους αισθητήρες και εξετάζουμε την κατανομή των τιμών της μέσω του σχεδιασμού της Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητάς της (Probability Density Function – PDF) και των προσεγγίσεων που μπορούμε να έχουμε για έκαστη PDF μέσα από εγνωσμένες, συνήθεις συνεχείς κατανομές.

Όπως βλέπουμε και στα γραφήματα που ακολουθούν για τις εμπλεκόμενες καταγεγραμμένες μεταβλητές που αντιστοιχούν στα εμπειρικά δεδομένα της πειραματικής διαδικασίας, αυτές οι κατανομές αφορούν κυρίως στην Log-Normal και στην Log-Logistic (λογαριθμικές «εκδοχές» των Normal/Gaussian και Logistic κατανομών αντίστοιχα), της Generalized Extreme Value και των Birnbaum-Saunders καθώς και της εκθετικής κατανομής.

Θερμοκρασία εδάφους



Distribution:	Lognormal	
Log likelihood:	-56351.3	
Domain:	-Inf < y < Inf	
Mean:	14.4603	
Variance:	109.337	
Parameter	Estimate	Std. Err.
mu	2.4611	0.00507233
sigma	0.648544	0.00358684
Estimated covariance of parameter estimates:		
	mu	sigma
mu	2.57285e-05	3.69617e-19
sigma	3.69617e-19	1.28654e-05

Στις γεωργικές καλλιέργειες είναι ιδιαίτερα χρήσιμο ο γεωργός να μπορεί να γνωρίζει τις οριακές τιμές που μπορούν να πάρουν οι παραπάνω μεταβλητές, καθώς και το εύρος, την αστάθεια, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση γύρω από τη μέση τιμή των μεταβλητών αυτών. Δηλαδή, κατά πόσο είναι ονομαστική η πραγματική η μέση τιμή,

και αν αντιστοιχεί σε πυκνότητα τιμών και δεν είναι απλώς μια αριθμητική μέση τιμή. Έτσι και το σ εκφράζει την απόκλιση δηλαδή πόσο ευσταθής και πόσο κυρίαρχη είναι. Όσο πιο μικρό είναι το σ τόσο πιο μικρό το σπρεντ γύρω από τη μέση τιμή. Για να γίνει καλλιέργεια θέλουμε το μ και το σ που προκύπτουν από το Matlab να έχουν όσο πιο κοντινές τιμές γίνεται.

6.4 Επεξεργασία δεδομένων στο R-Studio

Εκτός από την εισαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων που έχουν ληφθεί από το χωράφι με τις καρυδιές στους Κομποτάδες Σπερχειού, στη MATLAB, έγινε και εισαγωγή και επεξεργασία στο περιβάλλον της R-Studio. Καθώς τα αρχεία που αντλήθηκαν από το ΕΛΚΕΘΕ (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών) ήταν αρκετά δύσκολο να επεξεργαστούν λόγω της μορφής τους προτιμήθηκε να εισαχθούν στην R για την εξαγωγή των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών.

Η επεξεργασία των δεδομένων με τον παρακάτω κώδικα:

```
my.data = read.csv("./temperature_1.csv",
                  header=TRUE, sep = ",")

edit(my.data)

my.data$OTime = as.character(my.data$OTime)

n = dim(my.data)[1]
for (i in 1 : n) {
  if ( unlist(gregexpr(' ', my.data$OTime[i])) == -1) {
    my.data$OTime[i] = NA
  }
}

my.data = na.omit(my.data)

# μετά την διαγραφή
edit(my.data)

# μέσος όρος θερμοκρασίας
avg.tmp = mean (my.data$temperature)
avg.tmp

t = c("06/2021", "07/2021", "08/2021", "09/2021", "10/2021", "11/2021",
      "12/2021", "01/2022", "02/2022", "03/2022");
```

```

n = dim(my.data)[1]
n2 = length(t)
tmp.avg = numeric(n2)

for (j in 1 : n2) {
  sum = 0
  k = 0
  for (i in 1 : n) {
    if( unlist(gregexpr(t[j], my.data$o.ΩTime[i])) == 4) {
      sum = sum + my.data$temperature[i]
      k = k+1
    }
  }
  tmp.avg[j] = sum / k
}

df = data.frame(t, tmp.avg)
df

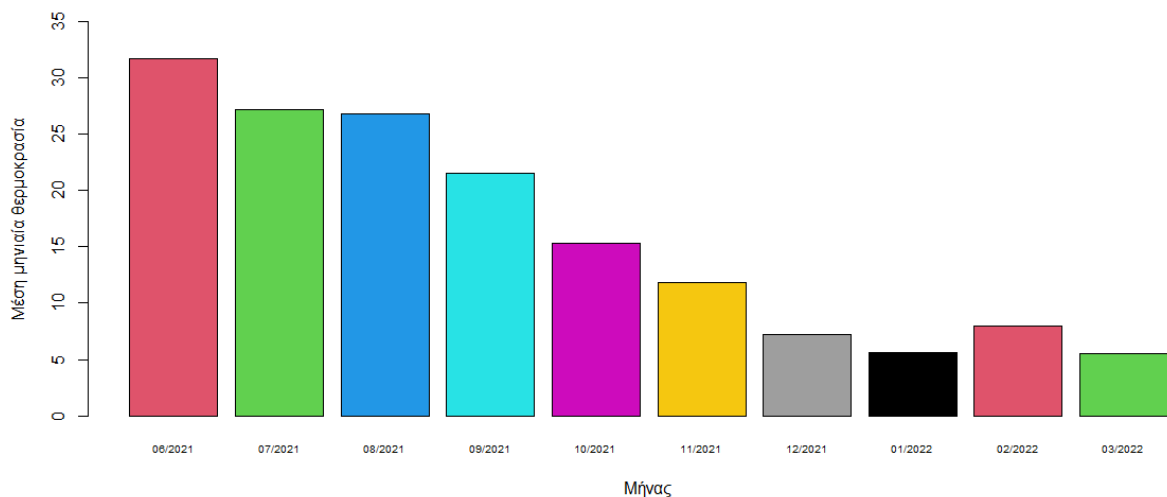
names(tmp.avg) = t
barplot(tmp.avg, cex.names=0.6, col = 2:11, ylim = c(0, 35),
        ylab = "Μέση μηνιαία θερμοκρασία", xlab = "Μήνας")

```

Τα αποτελέσματα της μέσης θερμοκρασίας ανά μήνα που προέκυψαν από τον παραπάνω κώδικα, φαίνονται στον Πίνακα 5:

	t	tmp.avg
1	06/2021	31.755556
2	07/2021	27.235518
3	08/2021	26.858657
4	09/2021	21.531960
5	10/2021	15.300115
6	11/2021	11.867895
7	12/2021	7.219558
8	01/2022	5.653527
9	02/2022	7.983612
10	03/2022	5.475469

Πίνακας 5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία εδάφους



Εικόνα 42: Μέση μηνιαία θερμοκρασία εδάφους

6.5 Εξατμισοδιαπνοή

Η εξατμισοδιαπνοή είναι μια σύνθετη λέξη η οποία αποτελείται από τη λέξη εξάτμιση και διαπνοή, τα οποία είναι δύο συγγενή φαινόμενα. Ο όρος εξάτμιση είναι η μετατροπή του υγρού στοιχείου, συνήθως νερό αλλά και πάγος σε υδρατμό. Η εξάτμιση είναι μια διαδικασία που συμβαίνει διαρκώς στην επιφάνεια του εδάφους, καθώς επίσης και στις υδάτινες μάζες, δηλαδή στις θάλασσες, στις λίμνες και στους ποταμούς, όπως και στην επιφάνεια των παγετώνων. Η διαπνοή ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία το νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό του εδάφους, μέσα από τις ρίζες των φυτών, αποβάλλεται από την επιφάνεια των φύλλων των φυτών με τη μορφή υδρατμών. Η διαπνοή πραγματοποιείται κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η εξατμισοδιαπνοή είναι σημαντικός παράγοντας για την διατήρηση ή μη της υγρασίας ενός φυτού. Ο μαθηματικός τύπος που εκφράζει την εξατμισοδιαπνοή στους οπωρώνες καρυδιών σύμφωνα με τη μέθοδο Blaney Cridle (Allen and Pruitt, 1986) είναι ο εξής:

$$ET_0 = p (0.46T + 8.16) k_c$$

Όπου:

ET_0 : εξατμισοδιαπνοή

p: μέση μηνιαία τιμή ηλιοφάνειας

kc: εποχικός φυτικός συντελεστής

T: θερμοκρασία εδάφους

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εξατμισοδιαπνοή:

Ημερομηνία	p	T	kc	ETo
Ιουν-21	14,8	31,8	0,65	219,22056
Ιουλ-21	14,9	27,2	0,8	246,41024
Αυγ-21	13,5	26,9	0,65	180,18585
Σεπ-21	12,3	21,5	0,6	133,209
Οκτ-21	11	15,3	0,8	133,7424
Νοε-21	9,6	11,9	0,8	104,70912
Δεκ-21	8,8	7,2	0,8	80,76288
Ιαν-22	9,7	5,7	0,8	83,66832
Φεβ-22	10,5	7,9	0,65	80,49405
Μαρ-22	11,6	5,5	0,65	80,6026

Πίνακας 6: Αποτελέσματα εξατμισοδιαπνοής

Κεφάλαιο 7^ο - Συμπεράσματα

7.1 Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η γεωργία ακριβείας

Έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένες από τις έξυπνες συσκευές λειτουργούν με μπαταρίες, πράγμα που σημαίνει ότι μειώνονται οι ώρες λειτουργίας των συσκευών των απομακρυσμένων κόμβων με αποτέλεσμα να σταματούν να μεταδίδουν δεδομένα μόλις εξαντληθεί η ισχύς του. Επίσης, η αναγκαιότητα για εμπιστοσύνη και ασφάλεια των μεταδιδόμενων δεδομένων είναι μεγάλη, όπως και η ακεραιότητα των δεδομένων είναι ένα φλέγον θέμα.

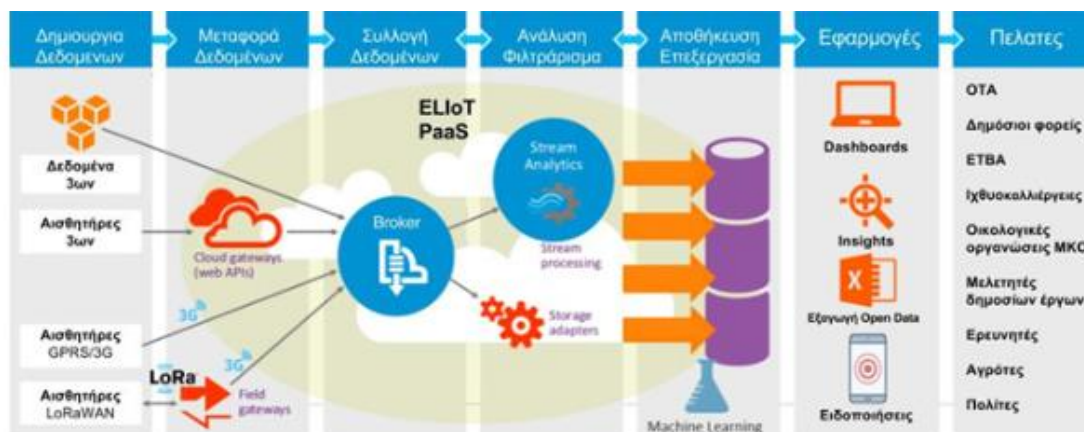
Μετά από έρευνες έχουν προκύψει πολλές ανησυχίες στην έξυπνη γεωργία, για τις καταστροφές που μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητα ζώα ή ακόμα και άνθρωποι. Η έξυπνη γεωργία παρέχει την τεχνολογία στους αγρότες να παρακολουθούν τις καλλιέργειες τους εξ αποστάσεως, όμως για τους κτηνοτρόφους αυτό είναι πιο δύσκολο καθώς, θα πρέπει να παρακολουθούν με περισσότερη και λεπτομερέστερη προσοχή τα ζώα τους, για θέματα που αφορούν τη συμπεριφορά του ζώου, την υγεία και τη θέση στην οποία βρίσκεται σε πραγματικό χρόνο. Οι προκλήσεις που παρουσιάζονται στην γεωργία ακριβείας αφορούν κυρίως τους τεχνολογικούς μετασχηματισμούς, όπως η πρόσβαση σε δίκτυα ευρυζωνικότητας. Φυσικά, το ζήτημα που αφορά το οικονομικό επίπεδο, δηλαδή το κόστος σε συνδυασμό την απόδοση της επένδυσης σε μηχανήματα τελευταίας τεχνολογίας ή η ενσωμάτωση αισθητήρων σε καλλιεργητικές εκτάσεις απασχολούν ιδιαίτερα τους ιδιοκτήτες των καλλιεργειών που θέλουν να εισάγουν τις νέες τεχνολογίες.

Η απόκτηση και η χρήση κατάλληλου τεχνολογικού εξοπλισμού είναι ένα από τα κύρια εμπόδια στη γεωργία ακριβείας, αφού οι υποδομές των καλλιεργειών δεν πληρούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την απόλυτη εφαρμογή των νέων συστημάτων. Υπάρχει μεγάλη έλλειψη ευρυζωνικών δικτύων που θα μπορούσαν να καλύψουν τη σύνδεση των συσκευών, ενώ σε κάποια αγροκτήματα που υπάρχει ασύρματη και ευρυζωνική κάλυψη είναι ανομοιογενής, και έτσι δεν καθίσταται δυνατή η μετάδοση και η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών IoT. Επίσης, υπάρχουν πολλοί αγρότες οι οποίοι είναι απρόθυμοι να υιοθετήσουν τις νέες τεχνολογίες στα αγροκτήματα τους, καθώς θεωρούν ότι η εφαρμοσιμότητα τους δεν θα ευοδώσει θετικά αποτελέσματα στην

απόδοση των καλλιεργητικών εκτάσεων. Οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτό το προφίλ αγροτών είναι η ηλικία, το εκπαιδευτικό και μορφωτικό υπόβαθρο, η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και γενικότερα η εξοικείωση με τις νέες τεχνολογικές εφαρμογές.

7.2 Στόχος του έργου OpenEliot

Ο πρωταρχικός στόχος του project OpenEliot που εφαρμόστηκε στους Κομποτάδες είναι η πραγματοποίηση και η υλοποίηση μιας οικονομικά βιώσιμης λύσης IoT για την ανάλυση, μελέτη και παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων κυρίως σχετικά με τα υπόγεια ύδατα. Το έργο αυτό ξεκινάει από τους αισθητήρες (λήψη δεδομένων) και φτάνει ως την online πλατφόρμα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων. Το έργο πραγματοποιείται στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ-01613) [21].



Εικόνα 43: Διάγραμμα Αλυσίδας Αξίας- πηγή: <https://www.openeliot.com>

Το έργο αναμένεται να έχει αξιόλογα αποτελέσματα τόσο σε κοινωνικό επίπεδο, όσο και σε οικονομικό. Η κοινωνική διάσταση των αποτελεσμάτων στηρίζεται στη χρήση ανοιχτών τεχνολογιών και στην παραγωγή ανοιχτών δεδομένων. Στα πλαίσια του έργου υλοποιείται μία ψηφιακή υποδομή (πλατφόρμα), η οποία αντλεί δεδομένα από

αισθητήρες που κατασκευάζονται από ανοιχτό υλικό (open hardware). Παράλληλα αναπτύσσεται ένα σετ από οδηγίες για το πως μπορεί κάποιος να συναρμολογήσει τους αισθητήρες, να τους τοποθετήσει και να τους συνδέσει στην πλατφόρμα. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα που παράγονται από αυτή τη διαδικασία γίνονται διαθέσιμα ως ανοιχτά δεδομένα προς το ευρύ κοινό, την επιστημονική κοινότητα και κάθε άλλο σχετικό φορέα ή οργανισμό.

Ορισμένοι φορείς που ενδιαφέρονται για την παρακολούθηση ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων επιφανειακών υδάτων είναι η πολιτική προστασία και αγροτική ανάπτυξη Περιφερειών, Διευθύνσεις υδάτων περιβάλλοντος, ειδική γραμματεία υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, δημοτικές επιχειρήσεις ύδρευσης και αποχέτευσης καθώς επίσης και ΟΤΑ.

7.3 Συμπεράσματα της έρευνας

Ως πρώτος εμπειρικός κανόνας, η μέση καρυδιά που καλλιεργείται χρειάζεται 1270 mm (50 ίντσες) βροχόπτωσης κάθε χρόνο. Ως δεύτερος εμπειρικός κανόνας, οι καρυδιές χρειάζονται περισσότερο από το 50% της ετήσιας παροχής νερού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος). Ωστόσο, σε μια πολύ ξηρή περίοδο, η άρδευση πρέπει να εφαρμόζεται πιο συχνά. Η άρδευση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις είναι πολύ περιορισμένες) έχει αναφερθεί ότι αυξάνει την ανάπτυξη της βλάστησης κατά την άνοιξη. Επιπλέον, η μέγιστη ανάπτυξη των καρπών λαμβάνει χώρα κατά την 5η με 7η εβδομάδα μετά την άνθηση. Εάν δεν υπάρχουν βροχοπτώσεις, η έλλειψη άρδευσης κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου θα έχει ως αποτέλεσμα την απόδοση μικρών καρπών. Πολλοί αγρότες καρυδιάς ποτίζουν τα δέντρα στην εξωτερική περίμετρο του θόλου του δέντρου. Ο κορμός δεν πρέπει να ποτίζεται, καθώς μπορεί να ευνοήσει την εξάπλωση κάποιων ασθeneιών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας για τις τιμές της εξατμισοδιαπνοής, το συμπέρασμα είναι ότι, η εξατμισοδιαπνοή συμβαίνει περισσότερο κατά τους θερινούς μήνες, όπου το πότισμα πρέπει να είναι και πιο συχνό, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Επίσης, αφού οι απαιτήσεις του νερού είναι μεγαλύτερες την περίοδο του καλοκαιριού, θα μπορούσε το ελληνικό κράτος να μειώσει το κόστος του νερού εκείνη την περίοδο για να μπορούν οι αγρότες να αντέξουν το κόστος της κατανάλωσης νερού.

Βιβλιογραφία

Α. Ελληνική βιβλιογραφία

- [1] Γκουτζιώτη, Φ., 2021. Ανάπτυξη δικτύου LORAWAN για τη γεωργία ακριβείας. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη.
- [2] Δημοπούλου, Ο., 2021. Ορθές Γεωργικές Πρακτικές- Ευφυής Γεωργία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Αμαλιάδα.
- [3] Ευαγγέλου Α. & Τσαντήλας Χ., 2011, Γεωργία Ακριβείας: το μελλοντικό σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων. Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών, 10: 19-21.
- [4] Ευαγγέλου Α. & Τσαντήλας Χ., 2015, Αισθητήρες φυλλώματος και αζωτούχος λίπανση των καλλιεργειών. Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών, 10: 13-15.
- [5] Θεοδωρακόπουλος Α., Καγκάνης Α., 2016, Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) και οι εφαρμογές του. Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Αθήνα
- [6] Κακλαμάνης, Γ., 2020. Επισκόπηση του Internet of Things και ενσωμάτωση των τεχνολογιών του στην έξυπνη γεωργία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [7] Καστρίτης, Δ., Η συμβολή του Internet of Things στην απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- [8] Κατέρης, Δ., 2015. Αρδεύσεις (Θεωρία), Ελληνική Δημοκρατία Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου, Άρτα.
- [9] Κατσαλής Κ., Ξενάκης Α., Σακαλλερίου Α., Κίκιρας Π., 2007, Βελτιστοποίηση της τοπολογίας του ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Λάρισα: 18 – 20 Οκτωβρίου 2007.

- [10] Κουνάδη, Ο., Βασιούκα, Σ., (2004) Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στα χέρια εθελοντών. Το παράδειγμα του OpenStreetMap στο Λονδίνο και την Αθήνα. Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- [11] Κουτσαντώνη, Κ., 2021. Διαχείριση καλλιεργειών με συστήματα του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Τμήμα Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αμαλιάδα.
- [12] Μαγκούφης, Κ.-Ι., 2017. Προσομοίωση ασύρματου δικτύου αισθητήρων με εφαρμογή στη γεωργία ακριβείας. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.
- [13] Μακρή Χ. Α., 2011, Μελέτη Συνύπαρξης Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων και Δικτύων WiFi σε Πραγματικό Περιβάλλον, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Αθήνα.
- [14] Μανιάτης Γ.. 2017, Η συνεισφορά των εισροών στην αγροτική παραγωγή και το μέλλον του αγροτικού τομέα στην Ελλάδα- Ίδρυμα οικονομικών και βιομηχανικών ερευνών (Foundation for economics & Industrial Research)
- [15] Μίχος, Γ., 2020. Εποπτεία γεωργικών αρδευτικών συστημάτων στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης με τη χρήση ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.
- [16] Μπουρίκα Σταυρούλα, Κοζάνη, Ιούνιος 2019, Διπλωματική εργασία, Μελέτη συστημάτων γεωργίας ακριβείας, Study of Precision farming Systems, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.
- [17] Σαχανάς, Θ., 2021. Βελτιστοποίηση ανάπτυξης φυτών με νέες τεχνολογίες. Τμήμα Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αμαλιάδα.
- [18] Στρίκου, Ζ., 2022. Τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων στην γεωργία και στην κτηνοτροφία ακριβείας. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη.
- [19] Τσόπελα, Ε., 2020. Χρήση Νέων Τεχνολογιών στη Διαχείριση των Καλλιεργειών. Τμήμα Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

- [20] Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ., 2015. Γεωργία ακριβείας. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- [21] Χρυσικοπούλου, Α., 2020. Ανάπτυξη επιχειρηματικού μοντέλου για δημιουργία υπηρεσιών διαδικτύου των πραγμάτων σε δίκτυα 5G στη Γεωργία «Ακριβείας» (Precision Agriculture) σε ορεινές περιοχές του νομού Γρεβενών. Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Αθήνα.

B. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- [22] Akhter, R., Shabir, S., (2021) Precision agriculture using IoT data analytics and machine learning. Department of Information Technology at National Institute of Technology Srinagar, India.
- [23] Anusha P. & Shobha K.R., 2015, Design and Implementation of Wireless Sensor Network for Precision Agriculture. International Journal of Scientific Engineering and Applied Science, 1: 521-527.
- [24] Aylor, D. E., Boehm, M. T. and Shields, E. J., 2006, Quantifying aerial concentrations of maize pollen in the atmospheric surface layer using remotely piloted airplanes and Lagrangian stochastic modelling. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 45, 1003–1015.
- [25] B. M. Whelan & A. B. McBrathney, 2006, The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. Australian Centre for Precision Agriculture, University of Sydney, McMillan Building A05, NSW, Australia
- [26] Barnes, W. L., Dereux, A. and Ebbesen, T. W., 2003. Surface plasmon subwavelength optics. Nature 424.6950, 824-830. Bauer, M. E., 1975. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. Advanced Agronomy 27, 271-304.
- [27] Blackmore, B., Wheeler, P., Morris, J., Morris, R., Jones, R., (1995). The role of Precision Farming in Sustainable Agriculture: A European Perspective. Site- Specific Management for Agricultural Systems, Book. Book Series: ASA, CSSA. and SSSA Books.
- [28] Bwambale, E., Abagale, F., Anornu, G., (2022), Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. Ghana, Uganda.

- [29] C. Murugamani, S. Shitharth, S. Hemalatha, Pravin R. Kshirsagar, K. Riyazuddin, Quadri Noorulhasan Naveed, Saiful Islam, Syed Parween Mazher Ali, and Areda Batu (2022) Machine Learning Technique for Precision Agriculture Applications in 5G-Based Internet of Things. India.
- [30] d'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D. and Ries, J. B., 2012, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. *Remote Sensing* 4, 3390-3416.
- [31] Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice* (1st ed.). United Kingdom. MA: John Wiley and Sons.
- [32] Dash, J. and Curran, P. J., 2007. Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI). *Advances in Space Research* 39.1, 100-104.
- [33] Dunford, R., K. Michel, M. Gagnage, H. Piégay and M. – L. Trémelo, 2009, Potential and Constraints of Unmanned Aerial Vehicle Technology for the Characterization of Mediterranean Riparian Forest. *International Journal of Remote Sensing* Vol.30, No. 19, 4915-4935.
- [34] Grisso R.B., Alley, M., Holseouser, D. and Thomason, W. 2009. *Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity*. Virginia State University
- [35] Guillen-Climent, M. L., Zarco-Tejada, P., Berni, J. A. J. North, P. R. J. and Villalobos, F. J., 2012, Mapping Radiation Interception in Row-Structured Orchards using 3D Simulation and High-Resolution Airborne Imagery Acquired from a UAV. *Precision Agriculture* 13, 473- 500.
- [36] Gutierrez- Madronal, L., Medina-Bulo, I., Dominguez-Jimenez, J., (2018) IoT-TEG: Test event generator system. University of Cadiz, Spain.
- [37] Harold H. Adem (2009) Best practice management for establishing a walnut orchard. Department of Primary Industries (DPI) Tatura Centre.
- [38] Hatfield, P. L. and Pinter, P. J., 1993. Remote sensing for crop protection. *Crop Protection* 12.6, 403-413. Hickman, G. and Daniel, et al., 1991. Aircraft laser sensing of sound velocity in water: Brillouin scattering. *Remote sensing of environment* 36.3, 165-178.

- [39] Idoge, G., Dagiuklas, T., Iqbal, M., (2021) Survey for smart farming technologies: Challenges and issues. Computer and Informatics Department, School of Engineering, London South Bank University, United Kingdom
- [40] Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., Landivar-Bowles, J., (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. Purdue University, United States.
- [41] Klaina, H., Guembe, I., Lopez-Iturri, P., Campo-Bescos, M., Azpilicueta, L., Aghzout, O., Alejos, A., Falcone, F., (2022) Analysis of low power wide area network wireless technologies in smart agriculture for large-scale farm monitoring and tractor communications. Spain, Mexico, Morocco.
- [42] Kumar, A., Pillai, S., (2021) Applications of artificial intelligence in agriculture. School of Agriculture, Galgotias University, Uttar.
- [43] Lelong, C. D., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbé, S. and Baret, F., 2008, Assessment of Unammned Aerial Vehicles Imagery for Quintative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots. *Sensors* 8, 3557-3585.
- [44] Lesch, S.M., Corwin, D.L. and Robinson, D.A. 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 351–378.
- [45] M., Dukes, M.D. & Miller, G.L. (2007) Evaluation of evapotranspiration and soil moisture-based irrigation control on turf grass. In: *World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat*, pp. 1–21.
- [46] Madsen, T. E. and Jakobsen, H. L. 2001. Mobile robot for weeding. MSc. Thesis. Danish Technical University (DTU), Lyngby, Denmark.
- [47] May1.Silveira, L.K., Pavão, G.C., dos Santos Dias, C.T., Quaggio, J.A. & de Matos Pires, R.C. (2020) Deficit irrigation effect on fruit yield, quality and water use efficiency: a long-term study onPêra-IAC sweet orange. *Agricultural Water Management*, 231, 106019.<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106019>
- [48] Meshram, V., Patil, K., Meshram, V., Hancate, D., Ramkteke, S.D., (2021). Machine learning in agriculture domain: A state-of-art survey. Department of Computer Engineering, India.

- [49] Ojha T., Misra S., & Raghuwanshi N.S, 2015, Wireless network sensor for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computer and Electronics in Agriculture*, 118: 66-84.
- [50] Rose, K., Eldridge, S., Chapin, L., (2015). *The Internet of Things: An overview Understanding the Issue and Challenges of a More Connected World*.
- [51] Rossel R., McBatney, A., (2000) A Two- Factor Empirical Deterministic Response Surface Calibration Model fro Site-Specific Predictions of Lime Requirement. Australian Centre for Precision Agricultrue, University of Sydney, Australia
- [52] Ruiz-Garcia L., Lunadei L., Barreiro P. and Robla J.I., 2009, A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: Stare of the Art and Current Trends, *Sensors*, 9: 4728-4850.
- [53] Samseemoung, G., Soni, P., Jayasuriya, H., Salokhe, V., 2012, Application of Low Altitude Remote Sensing (LARS) Platform for Monitoring Crop Growth and Weed Infestation in a Soybean Plantation. *Precision Agriculture* 13, 611-627.
- [54] Shi, X., Han, W., Zhao, T. & Tang, J. (2019) Decision support system for variable rate irrigation based on UAV multispectral remote sensing. *Sensors*, 19(13), 2880. Available from: <https://doi.org/10.3390/s19132880>
- [55] Simionesei, L., Ramos, T.B., Palma, J., Oliveira, A.R. & Neves, R. (2020) IrrigaSys: A web-based irrigation decision support system based on open-source data and technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105822. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105822>
- [56] Singh P., Paprzycki, M., (2020) Introduction on Wireless Sensor Networks Issues and Challenges in Current Era. Department of computer Science and Engineering India
- [57] Singh, D., Sobti, R., (2021). *Wireless Communication Technologies for Internet of Things and Precision Agriculture: A Review*. School of Electronics and Electrical Engineering, Punjab, India.
- [58] Skaperas, S., (2020) Real-time Detection and Optimization algorithms for Flexible Resource Allocation in 5G Networks and Beyond. University of

- Macedonia, School of Information Sciences, Department of Applied Informatics, Thessaloniki.
- [59] Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols and Applications* (1st ed.). Hoboken, MA: John Wiley and Sons.
- [60] Sudharshan, N., Karthik, A.K., Kiran, J.S. & Geetha, S. (2019) Renewable Energy Based Smart Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 165, 615–623. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.055>
- [61] Syeda, I., Alam, M, Su'ud, M., Illahi, U., (2020) Advance control strategies using image processing, UAV and AI in agriculture: A review. University of Kuala Lumpur, Malaysia.
- [62] Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnick, H., Shah, M., (2020) Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides, India.
- [63] Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. China.
- [64] Thessler S., Kooistra L., Teye F., Huitu H. & Bregt A.K., 2011, Geosensors to Support Crop Production: Current Applications and User Requirements. *Sensor*, 11: 6656-6684.
- [65] Valcarcel, M., Lahoz, I., Campillo, C., Martí, R., Leiva-Brondo, M., Rosello, S. & Cebolla-Cornejo, J. (2020) Controlled deficit irrigation as a water-saving strategy for processing tomato. *Scientia Horticulture*, 261, 108972. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108972>
- [66] Vellidis, G., Tucker, M., Perry, C., Kvien, C. & Bednarz, C. (2008) Areal-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), 44–50. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.009>
- [67] Wang, Z., Wang, L., Huang, C., Zhang, Z. & Luo, X. (2021) Soil Moisture Sensor-based Automated Soil Water Content Cycle Classification with a Hybrid Symbolic Aggregate Approximation Algorithm. *IEEE Internet of Things Journal*., 8(18), 14003–14012. Available from: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3068379>

- [68] Whelan, B., McBratney, A. (2000). The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. Australian Centre for Precision Agriculture, University of Sydney, Australia.
- [69] Widyanto, S. A., Widodo, A., Hidayatno, A. & Suwoko, S. (2014) Simulation of Automated Irrigation ON-OFF Controller Based on Evapotranspiration Analysis. In: 1st International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics 2014. Institute of Advanced Engineering and Science. <https://doi.org/10.11591/eecsi.v1.391>
- [70] Xue, Q., Zhu, Z., Musick, J.T., Stewart, B. & Dusek, D.A. (2006) Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Plant Physiology*, 163, 154–164. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.026>
- [71] Yan, Li., Zhou, S., Ci-Fang, W., Hong-YI, L. and Fang, L. 2008. Determination of potential management zones from soil electrical conductivity, yield and crop data. *Journal of Zhejiang University Science B (Biomedicine & Biotechnology)* 9: 68-76.
- [72] Yang, C.-Y., Yang, M.-D., Tseng, W.-C., Hsu, Y.-C., Li, G.-S., Lai, M.-H. et al. (2020) Assessment of Rice Developmental Stage Using Time Series UAV Imagery for Variable Irrigation Management. *Sensors*, 20(18), 5354. Available from: <https://doi.org/10.3390/s20185354>
- [73] Zhang, B., Li, F.-M., Huang, G., Cheng, Z.-Y. & Zhang, Y. (2006) Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management*, 20 TOUILET AL.

Γ. Διαδίκτυο

- [74] FarmBeats: AI, Edge & IoT for Agriculture
<https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/>
- [75] FarmBot
<https://en.wikipedia.org/wiki/FarmBot>
- [76] Green Seeker RT200
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GreenSeeker_RT200.jpg
- [77] Grobotronics
<https://grobotronics.com/robotics/aisthitires/category-1986/>
- [78] Kevin Ashton Invents the Term “The Internet of Things”
<https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3411>
- [79] LSE01 -- LoRaWAN Soil Moisture & EC Sensor
<https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-end-node/item/159-lse01.html>
- [80] Precision Agriculture: Yield Monitors
<https://extension.missouri.edu/publications/wq451>
- [81] Precision Farming: 7 Ways it Benefits Your Farm
<https://www.farmersedge.ca/precision-farming-7-ways-it-benefits-your-farm/>
- [82] Pycno Smart Agriculture Solution
<https://www.iotforall.com/solution/pyco-smart-agriculture-solution>
- [83] Phenocam
<https://phenocam.nau.edu/webcam/>
- [84] ThingsBoard Open-source T Platform
<https://thingsboard.io/>
- [85] Understanding VRA and VRT: What is Variable Rate Technology and how can I use it on my farm?
<https://agriculture.trimble.com/blog/understanding-vra-and-vrt-what-is-variable-rate-technology-and-how-can-i-use-it-on-my-farm/>
- [86] Walnut tree water requirements
<https://wikifarmer.com/walnut-tree-water-requirements/>
- [87] Walnuts

- https://ucmanagedrought.ucdavis.edu/Agriculture/Crop_Irrigation_Strategies/Walnuts/
- [88] Γεωργία Ακριβείας Vs Συμβατική Γεωργία
<https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/1300-georgia-akriveias-vs-symvatiki-georgia>
- [89] Έξυπνη Γεωργία Βικιπαίδεια
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%BE%CF%85%CF%80%CE%BD%CE%B7_%CE%B3%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1
- [90] Κατηγορίες των αισθητήρων και εφαρμογή τους στην Γεωργία Ακριβείας
<https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/2863-katigories-ton-aisthitiron-kai-efarmogi-tous-stin-georgia-akriveias>
- [91] Λεπτές αποχρώσεις της συσκευής αυτοεξυπηρέτησης στο θερμοκήπιο
<https://el-n.decorexpro.com/teplica/avtopoliv/>
- [92] Τα γεωργικά drones που αλλάζουν τα δεδομένα
<https://www.pencilonthemoon.gr/ta-gewrgika-drones-pou-allazoun-ta-dedomena/>
- [93] Υδρολίπανση: Ο έξυπνος τρόπος για να ποτίζεις και να βάζεις λίπασμα ταυτόχρονα
<https://gr.euronews.com/next/2013/07/15/intelligent-irrigation-growing-green>
- [94] "Έξυπνο θερμοκήπιο": αυτοματισμός για θερμοκήπια <https://el-n.decorexpro.com/teplica/umnaya-avtomatika-dlya-sooruzhenij/>
- [95] Strephonsays- Ποια είναι η διαφορά μεταξύ του αισθητήρα και του ενεργοποιητή
<https://el.strephonsays.com/what-is-the-difference-between-sensor-and-actuator#menu-2>
- [96] Εξαρτήματα για αυτόματο έλεγχο διεργασιών. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 2020
<https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/BSMM115/>

- [97] Bounceur, A., (2014) CupCarbon: A Multi-Agent and Discrete Event Wireless Sensor Network Design and Simulation Tool. Lab-STICC Laboratory, University of Brest, France.
- [98] Διαφορά μεταξύ ενεργού και παθητικού αισθητήρα
<https://illustrationprize.com/el/61-difference-between-active-amp-passive-transducer.html>
- [99] Radiometer
http://el.swewe.net/word_show.htm/?36701_1&Radiometer
- [100] A. Rabadiya Kinjal, B. Shivangi Patel and C. Chintan Bhatt (2017) Smart Irrigation: Towards Next Generation Agriculture
- [101] Aalaa Abdullah, Shahad Al Enazi and Issam Damaj (2016) AgriSys: A Smart and Ubiquitous Controlled- Environment Agriculture System
- [102] Alberto Reche, Sandra Sendra, Juan R. Díaz, and Jaime Lloret (2015) A Smart M2M Deployment to Control the Agriculture Irrigation
- [103] G. Sushanth, S. Sujatha (2018) IOT Based Smart Agriculture System
- [104] George Suciu, Cristiana Ioana Istrate, Maria- Cristina Dițu (2019). Secure smart agriculture monitoring technique through isolation
- [105] Kavianand G, Nivas V M, Kiruthika R, Lalitha S (2016) Smart Drip Irrigation System for sustainable Agriculture
- [106] M. R. Suma,P. Madhumathy , (2018) Acquisition and Mining of Agricultural Data Using Ubiquitous Sensors with Internet of Things
- [107] M. Shyamala Devi, R. Suguna, Aparna Shashikant Joshi, Rupali Amit Bagate (2019) Design of IoT Blockchain Based Smart Agriculture for Enlightening Safety and Security
- [108] Rahul Dagar, Subhranil Som, Sunil Kumar Khatri (2018) Smart Farming – IoT in Agriculture
- [109] Sonam Tenzin, Satetha Siyang, Theerapat Pobkrut, Teerakiat Kerdcharoen (2017) Low Cost Weather Station for Climate- Smart Agriculture
- [110] Takashi Okayasu, Andri Prima Nugroho, Daisaku Arita, Takashi (2017) Sensing and Visualization in Agriculture with Affordable Smart Devices

