



**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

**Σχολή Τεχνολογίας**

**Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων**

# **Η εφαρμογή του Internet of Things στον πρωτογενή τομέα**

**Πτυχιακή Εργασία**

**Ανδρονίκη Καλαμπούκα (ΑΜ: 3119157)**

**Επιβλέπων: Δήμητρα Αβραμούλη, *βαθμίδα***

**ΛΑΡΙΣΑ, Ιούνιος 2024**



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**School of Technology**

**Digital Systems Department**

# The application of the Internet of Things in the primary sector

**BACHELOR THESIS**

**Andronicky Kalampouka (RN: 3119157)**

**Supervisor: Dimitra Avramouli, *position***

**LARISSA, June 2024**

## **Υπεύθυνη Δήλωση περί Ακαδημαϊκής Δεοντολογίας και Πνευματικών Δικαιωμάτων**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον, και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

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 Δηλούσα 

(Υπογραφή)

Ανδρονίκη Καλαμπούκα

30/06/2024

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

|                 |                                                                                                                           |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Επιβλέπων/πουσα | <b>Ονοματεπώνυμο Επιβλέποντα</b><br>Βαθμίδα/ιδιότητα επιβλέποντα,<br>Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων,<br>Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας |
| Μέλος           | <b>Ονοματεπώνυμο Μέλους 1</b><br>Βαθμίδα/ιδιότητα μέλους 1, Τμήμα/Ιδρυμα μέλους 1                                         |
| Μέλος           | <b>Ονοματεπώνυμο Μέλους 2</b><br>Βαθμίδα/ιδιότητα μέλους 2, Τμήμα/Ιδρυμα μέλους 2                                         |

Ημερομηνία έγκρισης: dd-mm-yyyy

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας αποτελεί η μελέτη των εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) στον πρωτογενή τομέα. Αρχικά μελετάται γενικά το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, τα χαρακτηριστικά αυτού καθώς και οι εφαρμογές, ενώ στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά στην έννοια της ευφυούς γεωργίας, όπου αναδεικνύονται οι κυριότερες τεχνολογίες ευφυούς γεωργίας. Ακόμη, εξετάζονται αναλυτικά οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον πρωτογενή τομέα, όπου δίνεται έμφαση στους αισθητήρες, στην ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data), αλλά και στις καλές πρακτικές του IoT στον πρωτογενή τομέα.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εκτενής βιβλιογραφική αναζήτηση, η οποία πραγματοποιείται σε επιστημονικά περιοδικά και άλλα συγγράμματα, που δίνουν έμφαση στην μελέτη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT), επικεντρώνοντας σε εφαρμογές του αγροτικού τομέα, καθώς και στην «έξυπνη γεωργία». Επιπλέον, χρησιμοποιούνται πρόσφατες μελέτες που αφορούν το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και πηγές από το διαδίκτυο, έτσι ώστε η προσέγγιση του υπό διερεύνηση αντικειμένου να είναι όσο το δυνατόν πιο επικαιροποιημένη.

**Λέξεις Κλειδιά:** *Αισθητήρες, Γεωργία Ακριβείας, Ευφυής Γεωργία, Καλές Πρακτικές, Internet of Things (IoT).*

## ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study the applications of the Internet of Things (IoT) in the primary sector. Initially, the Internet of Things is studied in general, its characteristics and applications, followed by an extensive reference to the concept of intelligent agriculture, where the main technologies of intelligent agriculture are highlighted. Furthermore, the applications of the Internet of Things in the primary sector are examined in detail, with an emphasis on sensors, Big Data analysis and good practices of IoT in the primary sector.

The methodology used in this Thesis is an extensive literature search, which is carried out in scientific journals and other writings that emphasize the study of Internet of Things-IoT, focusing on applications in the agricultural sector, as well as in "smart agriculture". In addition, recent studies related to this topic are used, as well as sources from the Internet, so that the approach to the subject under investigation is as up-to-date as possible.

**Keywords:** *Sensors, Precision Agriculture, Intelligent Agriculture, Good Practices, Internet of Things (IoT).*

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                              |      |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....                                                                | v    |
| ABSTRACT.....                                                                | vi   |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....                                                             | viii |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....                                                       | ix   |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....                                                  | x    |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....                                                      | xi   |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                                                | 1    |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Internet of Things (IoT).....                                    | 4    |
| 1.1    Εισαγωγή.....                                                         | 4    |
| 1.2    Internet of Things.....                                               | 4    |
| 1.3    Εξέλιξη Internet of Things στο πέρασμα του χρόνου.....                | 6    |
| 1.4    Εφαρμογές Internet of Things.....                                     | 6    |
| 1.5    Χαρακτηριστικά Internet of Things.....                                | 11   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ευφυής γεωργία.....                                              | 15   |
| 2.1    Γενικά.....                                                           | 15   |
| 2.2    Γεωργία ακριβείας και ευφυής γεωργία.....                             | 15   |
| 2.3    Κυριότερες τεχνολογίες ευφυούς γεωργίας.....                          | 17   |
| 2.4    Στατιστικά στοιχεία ευφυούς γεωργίας στην Ελλάδα και στην Ευρώπη..... | 23   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Internet of Things στον πρωτογενή τομέα.....                     | 26   |
| 3.1    Εισαγωγή.....                                                         | 26   |
| 3.2    Εφαρμογές Internet of Things (IoT).....                               | 26   |
| 3.3    Αισθητήρες.....                                                       | 29   |
| 3.4    Σχετικά λογισμικά.....                                                | 32   |
| 3.5    Big Data.....                                                         | 33   |
| 3.6    Καλές πρακτικές εφαρμογής IoT στον πρωτογενή τομέα.....               | 36   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Internet of Things στην αλιεία.....                              | 41   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Internet of Things στην κτηνοτροφία.....                         | 48   |
| 5.1    Κτηνοτροφία ακριβείας.....                                            | 48   |
| 5.2    Εφαρμογές Internet of Things στην κτηνοτροφία.....                    | 49   |
| ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....                                                  | 54   |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                                            | 57   |

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

*«Με την ολοκλήρωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κα Αβραμούλη για την επιλογή του θέματος, την υποστήριξη και τη διαρκή βοήθεια που μου παρείχε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της Εργασίας μου. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες καθηγητές μου για τις γνώσεις που μου παρείχαν, αλλά και την οικογένεια μου που με υποστήριξε και στο παρόν βήμα των σπουδών μου».*

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1: IoT και Industry 4.....                                                   | 5  |
| Εικόνα 2: Εφαρμογές του IoT στον τομέα της ενέργειας.....                           | 7  |
| Εικόνα 3: Εφαρμογές του IoT στον τομέα της υγείας.....                              | 8  |
| Εικόνα 4: Εφαρμογές του IoT στον τομέα του περιβάλλοντος.....                       | 10 |
| Εικόνα 5: Τεχνολογία GPS στην γεωργία.....                                          | 18 |
| Εικόνα 6: UAV στον αγροτικό τομέα που χρησιμοποιείται για ψεκασμό αγροκτήματος..... | 19 |
| Εικόνα 7: Παρακολούθηση θερμοκηπίου με συστήματα IoT.....                           | 27 |
| Εικόνα 8: Σύστημα έξυπνης άρδευσης.....                                             | 28 |
| Εικόνα 9: Εφαρμογές GNSS-Πρόγραμμα SymbIoT.....                                     | 29 |
| Εικόνα 10: Αισθητήρες υγρασίαςθερμοκρασίες.....                                     | 30 |
| Εικόνα 11: Αισθητήρες pH.....                                                       | 31 |
| Εικόνα 12: Ο ρόλος των δεδομένων στην εφαρμογή του IoT στον αγροτικό τομέα.....     | 34 |
| Εικόνα 13: Μεθοδολογία υλοποίησης του έργου.....                                    | 38 |
| Εικόνα 14: Εφαρμογή IoT στον τομέα της αλιείας.....                                 | 42 |
| Εικόνα 15: Εφαρμογή IoT σε υδατοκαλλιέργειες.....                                   | 45 |
| Εικόνα 16: Σχεδιασμός του συστήματος SEASTAR.....                                   | 47 |
| Εικόνα 17: Εφαρμογή IoT κατά την εκτροφή αγελάδων.....                              | 50 |
| Εικόνα 18: Εφαρμογή IoT κατά την εκτροφή γουρουνιών.....                            | 51 |
| Εικόνα 19: Εφαρμογή IoT κατά την εκτροφή πουλερικών.....                            | 53 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Διάγραμμα 1: Εκτιμώμενη εξέλιξη της αγοράς γεωργίας ακριβείας από το 2022 έως και το 2032.....                                                    | 24 |
| Διάγραμμα 2: Αριθμός ενεργών συνδέσεων του Διαδικτύου των Πραμάτων (IoT) στον γεωργικό κλάδο στην Ε.Ε. το 2016,2019,2022 και 2025 (εκτίμηση)..... | 25 |

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Σχήμα 1: Θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT.....                                                                      | 11 |
| Σχήμα 2: Συνήθειες εφαρμογές των μη επανδρωμένων σκαφών στην γεωργία ακριβείας.....                                 | 20 |
| Σχήμα 3: Διάφορες παράμετροι που μελετώνται χρησιμοποιώντας αισθητήρες και συσκευές στην κτηνοτροφία ακριβείας..... | 47 |



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, ο αγροτικός τομέας αντιμετωπίζει ποικίλες προκλήσεις σε διεθνές επίπεδο, οι οποίες συνδέονται τόσο με την κλιματική κρίση, όσο και με την αυξημένες ανάγκες του πληθυσμού, αλλά και με το κόστος παραγωγής των αγροτικών προϊόντων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι έως και το 2050, ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να φθάσει τα εννιά δισεκατομμύρια κατοίκους, ενώ για να μπορέσουν να καλυφθούν οι ανάγκες σε είδη διατροφής των ανθρώπων αυτών, απαιτείται αύξηση της παραγωγής τουλάχιστον κατά 60%. Παράλληλα, οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής δύναται να υποβαθμίσουν την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, ενώ δημιουργούν αστάθεια και στις παραγόμενες ποσότητες των προϊόντων (Gebbers & Adamchuk, 2010).

Προκειμένου λοιπόν να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις αυτές, είναι αναγκαίο να εφαρμοστούν καινοτόμες λύσεις, οι οποίες στηρίζονται στις νέες τεχνολογίες και συνάμα προάγουν τη βιωσιμότητα. Μέσω των λύσεων αυτών μπορεί να υπάρξει εκ νέου σχεδιασμός της αγροτικής παραγωγής, όπως επίσης και μετριασμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, όπως και του κόστους που αφορά την παραγωγή των αγροτικών προϊόντων. Στα πλαίσια αυτά δίνεται έμφαση στην ορθή χρήση των εισροών και πόρων που χρησιμοποιούνται στην αγροτική παραγωγή, όπως είναι για παράδειγμα τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα, τα λιπάσματα, το νερό για την άρδευση, ενώ εξίσου σημαντική είναι η εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στις αντίστοιχες περιοχές παραγωγής (Balafoutis et al, 2017).

Στα πλαίσια των τεχνολογικών αυτών εξελίξεων, εξελίχθηκε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, το οποίο αποτελεί ένα νέο υπόδειγμα επικοινωνίας που έχει τη δυνατότητα να συνδέεται με έναν μεγάλο αριθμό ψηφιακών συσκευών. Μέσω της εύκολης πρόσβασης και αλληλεπίδρασης με πλήθος συσκευών, όπως για παράδειγμα είναι οι αισθητήρες, είτε οι κάμερες, μπορούν και αναπτύσσονται πολλές νέες εφαρμογές, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε νέες υπηρεσίες προς οργανισμούς, επιχειρήσεις κτλ. Πλέον οι εφαρμογές του IoT είναι ποικίλες και εντάσσονται στον αστικό ιστό, στον τομέα της υγείας, όπως επίσης και στον αγροτικό τομέα, που θα μελετηθεί εκτενώς και στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Το IoT στον τομέα της

γεωργίας επιτρέπει την βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, εξοικονομώντας κόστος, αλλά και χρόνο για τους γεωργούς (Amiri-Zarandi et al.,2022).

Η ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), συμβάλλει στην επιτάχυνση της εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας. Μέσω των πρακτικών γεωργίας ακριβείας, λαμβάνει χώρα έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως είναι για παράδειγμα η θερμοκρασία που επικρατεί, οι βροχοπτώσεις, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η τυχόν μόλυνση από επιβλαβείς οργανισμούς, κτλ, αλλά και η παρακολούθηση των καλλιεργειών, όπως επίσης και η παρακολούθηση του ζωικού κεφαλαίου, μέσω του οποίου διευκολύνονται σημαντικά οι κτηνοτρόφοι, κατά την άσκηση των καθηκόντων τους. Στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας και των χρήσεων του Διαδικτύου των Πραγμάτων, χρησιμοποιείται πλήθος αισθητήρων, οι οποίοι και μεταφέρουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, τα οποία αξιοποιούνται στα πλαίσια των διαδικασιών λήψης αποφάσεων, οδηγώντας σε βελτιστοποίηση τις αποφάσεις αυτές, προς όφελος των ίδιων των παραγωγών, των εμπλεκόμενων επιχειρήσεων, καθώς επίσης και προς όφελος των καταναλωτών, αλλά και του ίδιου του περιβάλλοντος και της βιωσιμότητας (Madakam et al.,2015).

Όσον αφορά τη δομή της Πτυχιακής Εργασίας, αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Ειδικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο μελετάται το Internet of Things (IoT), ενώ γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του. Ακόμη, παρουσιάζονται αναλυτικά οι εφαρμογές του IoT, καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτού που είναι κρίσιμα για τη λειτουργία του και την περαιτέρω ανάπτυξη. Περαιτέρω, στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται η ευφυής γεωργία, όπου εξετάζεται η έννοια αυτή, όπως και η έννοια της γεωργίας ακριβείας. Έμφαση δίνεται στην ανάλυση των πλέον σημαντικών τεχνολογιών ευφυούς γεωργίας, ενώ εξετάζονται τα στατιστικά στοιχεία της ευφυούς γεωργίας, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στην Ευρώπη.

Στο τρίτο κεφάλαιο της Πτυχιακής Εργασίας δίνεται και το μεγαλύτερο βάρος. Ειδικότερα, μελετώνται οι αισθητήρες και η χρησιμότητα αυτών, υπό το πρίσμα της γεωργίας ακριβείας, όπως επίσης μελετώνται και οι μικροελεγκτές, καθώς και τα σχετικά λογισμικά που χρησιμοποιούνται. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τις καλές πρακτικές εφαρμογής του Internet of Things (IoT), τόσο στην Ελλάδα, όσο και σε χώρες του εξωτερικού, με τις πρακτικές αυτές να εξελίσσονται διαρκώς κατά τη

διάρκεια των τελευταίων ετών, γεγονός που συνδέεται και με το ιδιαίτερα υψηλό ενδιαφέρον που απαντάται τόσο από τις επιχειρήσεις, όσο και από τους αγρότες, αλλά και από την ακαδημαϊκή κοινότητα. Εν συνεχεία, στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται η χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον τομέα της αλιείας, ενώ στο κεφάλαιο πέντε παρουσιάζεται η χρήση αυτού στον τομέα της κτηνοτροφίας, εστιάζοντας αφενός στην έννοια της κτηνοτροφίας ακριβείας, αφετέρου δε, στις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον κτηνοτροφικό τομέα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Internet of Things (IoT)

## 1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται το Internet of Things (IoT), όπου αρχικά προσδιορίζεται εννοιολογικά, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται η εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής στο πέρασμα του χρόνου. Έμφαση δίνεται στις εφαρμογές του IoT, όπως επίσης και στα χαρακτηριστικά του.

## 1.2 Internet of Things

Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT), αφορά τη σύνδεση φυσικών συσκευών και αντικειμένων, σε ολόκληρο τον κόσμο, χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο. Ουσιαστικά, το Internet of Things, παρέχει τη δυνατότητα τα επιμέρους αυτά αντικείμενα να ελέγχονται απομακρυσμένα, διαμορφώνοντας έτσι τη δυνατότητα ενσωμάτωσης του φυσικού κόσμου στα πληροφοριακά συστήματα και επιδιώκοντας να υπάρξει βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της ακρίβειας, καθώς και μετριασμός του κόστους (Huang & Li,2010).

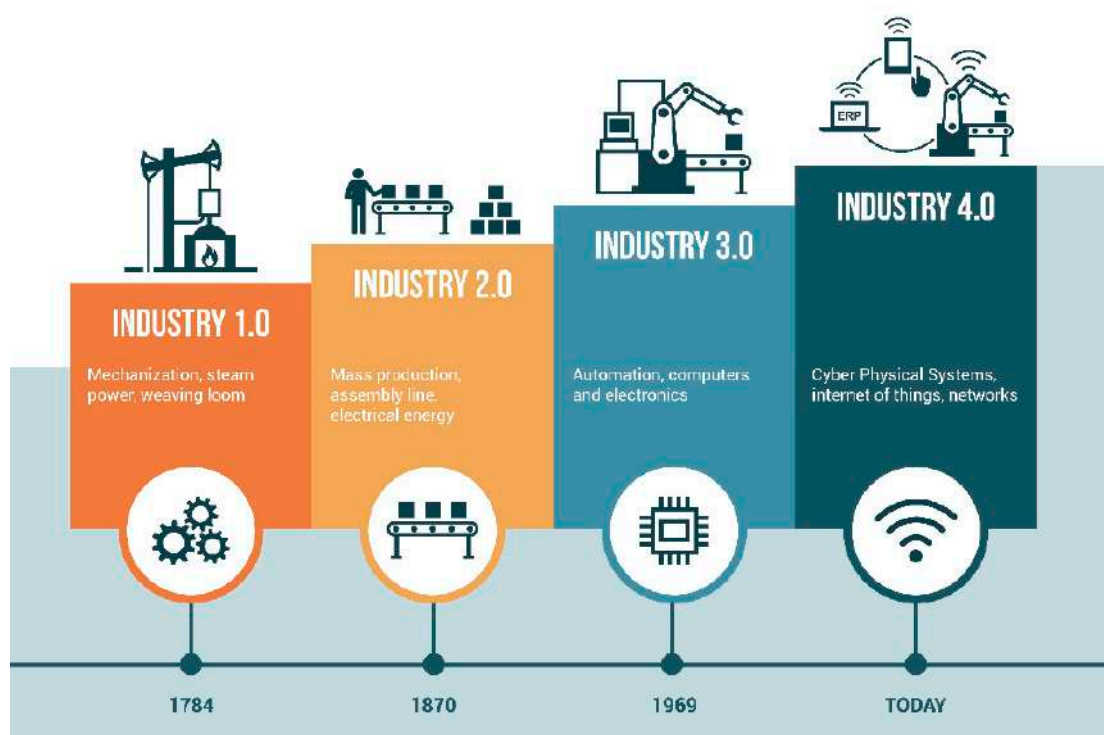
Περαιτέρω, σύμφωνα με το IEEE Communication Magazine, το Internet of Things, συνιστά ένα πλαίσιο εντός του οποίου όλα τα πράγματα αποκτούν μια αντιπροσώπευση και μια παρουσία στο διαδίκτυο. Με τον τρόπο αυτό, επιχειρείται να υπάρξει μια «γεφύρωση» του φυσικού με τον εικονικό κόσμο (Farber et al.,2021). Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στην έννοια “things”, όπου περιλαμβάνει όλα σχεδόν τα τεχνολογικά προϊόντα, τα οποία υπάρχουν στον χώρο και μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Μάλιστα, τα εν λόγω προϊόντα μπορεί να είναι όλα διαφορετικά μεταξύ τους και να διαθέτουν για παράδειγμα αισθητήρες κίνησης ή φωτισμού κτλ. (Bunz & Meikle,2017).

Κατά κύριο λόγο, μετά το 2003, υπήρξε αύξηση των σχετικών projects, τα οποία στηρίζονται πάνω στην ιδέα του IoT, ενώ την ίδια περίοδο αυξάνεται το ενδιαφέρον και από την επιστημονική κοινότητα για το Internet of Things, γεγονός που αποτυπώνεται στις σχετικές επιστημονικές δημοσιεύσεις. Να σημειωθεί ότι

αυξημένο ενδιαφέρον για το Internet of Things, υπήρξε στις ΗΠΑ, όπου αναπτύχθηκε και πλήθος σχετικών καινοτομιών, έως ότου ξεκινήσει η μαζική εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής. Λίγο αργότερα, ξεκίνησε να αυξάνεται και το ενδιαφέρον της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, εστιάζοντας στις ευκαιρίες και προοπτικές που μπορούσαν να διαμορφωθούν μέσω της τεχνολογίας αυτής. Απώτερος στόχος αποτέλεσε η σύνδεση των ανθρώπων με τα αντικείμενα, έτσι ώστε να υπάρξει μια αποτελεσματικότερη σχέση μεταξύ ανθρώπου και τεχνολογίας (Farber et al.,2021).

Πλέον, το IoT αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, ενώ τα επόμενα χρόνια αναμένεται να υπάρχει διαρκής αύξηση των συσκευών που συνδέονται χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Ταυτόχρονα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, συμβάλλει στην διαρκή ανταλλαγή μεγάλων όγκων πληροφοριών, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν με ιδιαίτερα παραγωγικό τρόπο, σε σχέση με το παρελθόν, ενώ προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλουν και άλλες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί και ωριμάσει κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών (Bunz & Meikle,2017).

Εικόνα 1: IoT και Industry 4



### **1.3 Εξέλιξη Internet of Things στο πέρασμα του χρόνου**

Η τεχνολογία Internet of Things, ξεκίνησε περίπου κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, όπου οι μηχανικοί μιας εταιρείας στις ΗΠΑ επιδίωκαν να βρουν έναν τρόπο να αναγνωρίζουν το κάθε αντικείμενο ξεχωριστά. Αφού έγινε πλήθος δοκιμών και πειραματισμών, διαμορφώθηκαν τα barcodes, που αποτέλεσε ένα είδος ταυτότητας. Στη συνέχεια, μηχανικοί και επιστήμονες εξέλιξαν το hardware, όπως επίσης και τις κινητές φορητές συσκευές, όπου αναπτύχθηκαν ορισμένες σχετικές εφαρμογές (Suresh et al.,2014).

Πολύ αργότερα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, διαμορφώθηκε ένα όραμα, το οποίο έθετε στο επίκεντρο το έξυπνο και συνάμα βιώσιμο περιβάλλον, εντός του οποίου θα μπορούν να ενοποιούνται συσκευές, όπως για παράδειγμα είναι το κινητό τηλέφωνο, έχοντας ως απώτερο στόχο τη δημιουργία ενός πολύ ισχυρού συστήματος πολυμέσων και επικοινωνιών. Η ανάπτυξη του IoT στις ΗΠΑ επιταχύνθηκε και από το γεγονός ότι ορισμένες εφαρμογές του αξιοποιήθηκαν στον τομέα της άμυνας, ενώ άλλες εφαρμογές που υπήρξαν σε πρώιμο στάδιο αφορούσαν τα προγράμματα της αλυσίδας εφοδιασμού, αλλά και θέματα διαχείρισης των πελατών. Περίπου το 2010, σε παγκόσμιο επίπεδο, ένας σημαντικός αριθμός επιχειρήσεων παρουσιάζουν μια σειρά από έξυπνα αντικείμενα, τα οποία και συνδέονταν με τρόπο ασύρματο, έχοντας ως στόχο να αναβαθμίσουν την ποιότητα ζωής των καταναλωτών-χρηστών των προϊόντων αυτών (Sharma et al.,2019).

Στη συνέχεια, καθώς η τεχνολογία εξελίσσονταν και η συνδεσιμότητα, το IoT άρχισε να βρίσκει πλήθος εφαρμογών, πολλές εκ των οποίων ξεκίνησαν ως πιλοτικά προγράμματα και έπειτα από επιτυχημένα ενδιάμεσα στάδια, έφτασαν να χρησιμοποιούνται ευρέως. Ο αριθμός δε, των διασυνδεδεμένων συσκευών αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών, καθώς το ενδιαφέρον είναι ιδιαίτερα υψηλό, στο σύνολο σχεδόν των επιμέρους τομέων (Saqlain,2018).

### **1.4 Εφαρμογές Internet of Things**

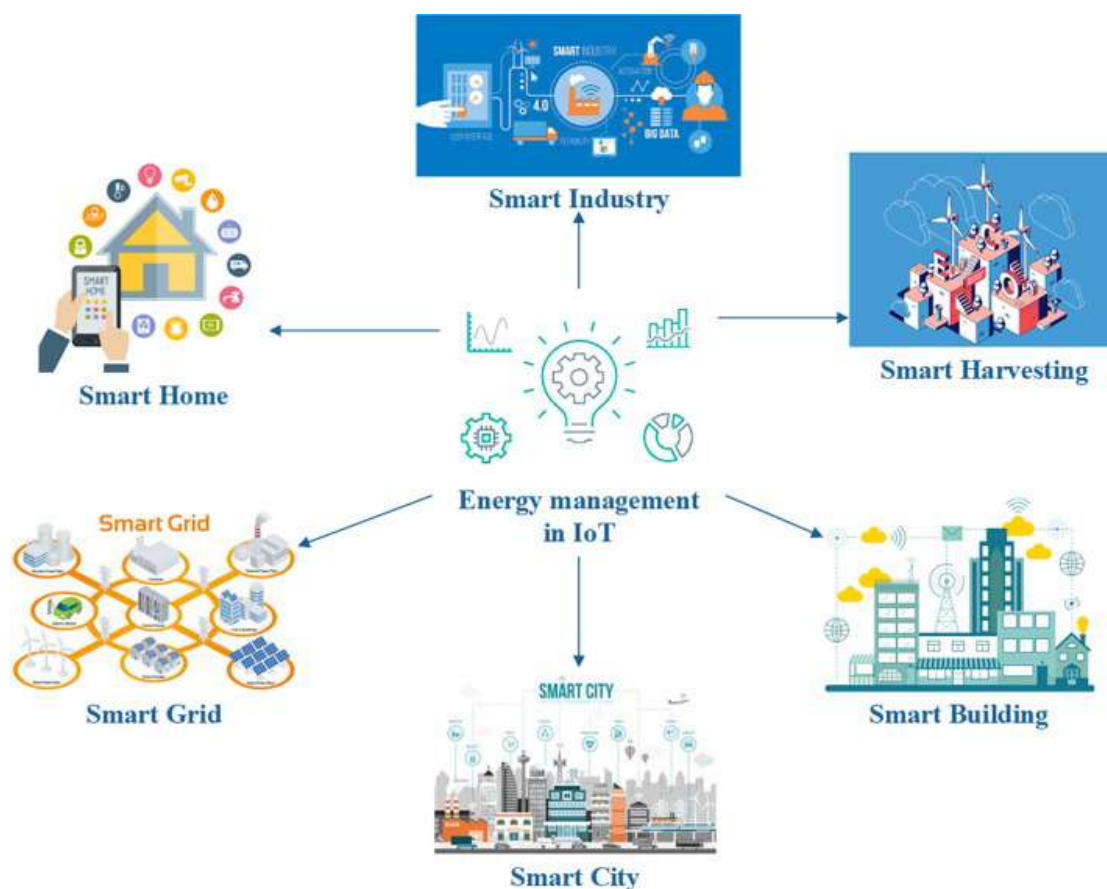
Στα πλαίσια του ψηφιακού μετασχηματισμού που υλοποιείται σε όλους και περισσότερους τομείς της οικονομίας, το Internet of Things (IoT), βρίσκει μια σειρά εφαρμογών. Πέρα από τις εφαρμογές του πρωτογενούς τομέα που θα αναλυθούν στα

πλαίσια της παρούσας εργασίας εκτενέστερα, υπάρχουν και μια σειρά από άλλες εφαρμογές, ορισμένες εκ των οποίων ενδεικτικά αναλύονται στη συνέχεια.

### Τομέας Ενέργειας

Χρησιμοποιώντας τεχνολογίες IoT, επιτρέπεται να υπάρξει παρακολούθηση και διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας, στα πλαίσια της λειτουργίας ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου. Σημαντικές είναι και οι εφαρμογές του IoT στον τομέα των ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα στα αιολικά πάρκα, όπου μπορεί να υπάρξει παρακολούθηση και ανάλυση της ροής ενέργειας, καθώς επίσης και επικοινωνία με μετρητές των καταναλωτών, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται συγχρονισμός στον βέλτιστο βαθμό μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης. Αντίστοιχη χρησιμότητα υπάρχει και στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων (Hossein Motlagh et al., 2020).

**Εικόνα 2: Εφαρμογές του IoT στον τομέα της ενέργειας**

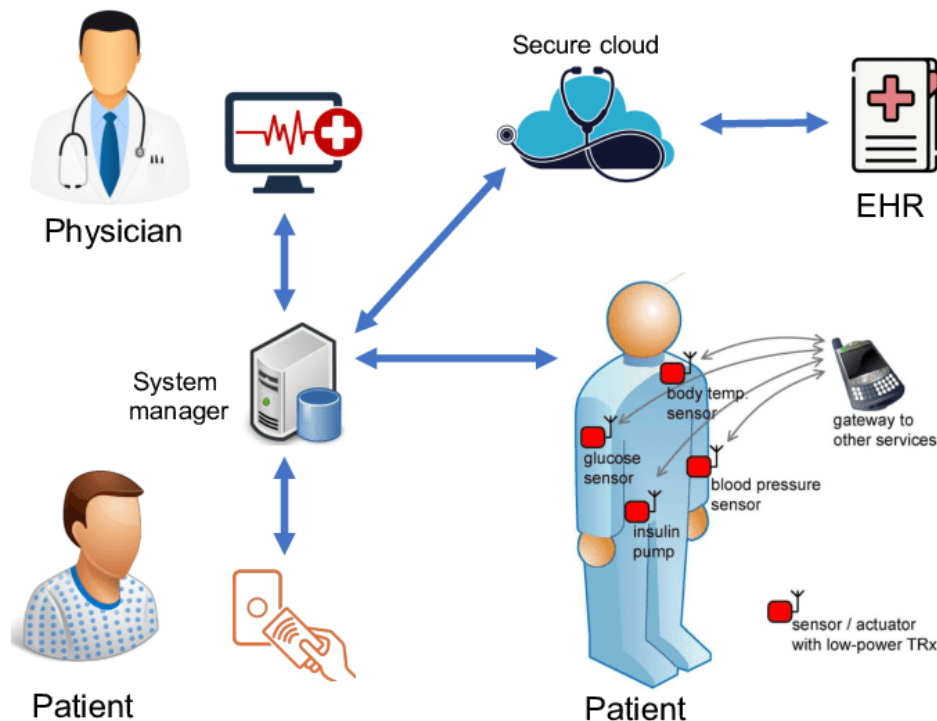


Ουσιαστικά, μέσω του IoT στον τομέα της ενέργειας, μπορεί να γίνεται ηλεκτρονικός έλεγχος στην παραγωγή, όπως επίσης και στην διανομή, αλλά και στον έλεγχο της ενέργειας, με τις διαδικασίες αυτές να λαμβάνουν χώρα χρησιμοποιώντας σχετικούς αισθητήρες. Μέσω των τεχνολογιών αυτών, διαμορφώνεται το διαδίκτυο της ενέργειας, που αποτελεί μια νέα σύγχρονη διαδικτυακή υποδομή, μέσω της οποίας μπορεί να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της κατανάλωσης και των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων (Motlagh et al.,2020).

### Τομέας Υγείας

Το IoT βρίσκει εφαρμογές στον τομέα της υγείας, όπως είναι η παρακολούθηση της υγείας των ασθενών στα νοσοκομεία, αλλά ακόμη και των ηλικιωμένων που χρήζουν μακροχρόνιας φροντίδας. Ουσιαστικά, στις περιπτώσεις αυτές, λαμβάνονται ενδείξεις που αφορούν την κατάσταση της υγείας τους, όπως είναι η αρτηριακή πίεση και μεταδίδονται τα αντίστοιχα σήματα, έτσι ώστε να μπορούν να ληφθούν και οι σχετικές αποφάσεις τους. Παράλληλα, στον τομέα της ιατρικής, μέσω του IoT μπορεί να υπάρξει έλεγχος των συνθηκών σε καταψύκτες, όπου αποθηκεύεται φαρμακευτικό υλικό και εμβόλια. Εξίσου σημαντική εφαρμογή βρίσκει το IoT στον τομέα της παρακολούθησης της σωματικής δραστηριότητας, όπου ελέγχεται για παράδειγμα ο καρδιακός ρυθμός, η αναπνοή, καθώς και οι κινήσεις των ανθρώπων που αθλούνται (Darshan et al.,2015).

### **Εικόνα 3: Εφαρμογές του IoT στον τομέα της υγείας**



### Τομέας Βιομηχανίας

Στον τομέα της βιομηχανίας, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση εκρηκτικών και επικίνδυνων αερίων, προστατεύοντας έτσι τόσο τη λειτουργία της ίδιας της βιομηχανίας, όσο και των εργαζομένων της. Επιπλέον, εφαρμογές IoT υπάρχουν στον τομέα της βιομηχανίας και για τις διαδικασίες συντήρησης και εξοπλισμού του βιομηχανικού εξοπλισμού (Sisinni et al., 2018).

Περαιτέρω, εφαρμόζοντας πρακτικές IoT στον τομέα της βιομηχανίας, οι επιχειρήσεις μπορούν να προβαίνουν στην παρακολούθηση των προϊόντων τους, χρησιμοποιώντας σχετικές ετικέτες αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID). Αποτέλεσμα της τεχνολογίας αυτής αποτελεί ο μετριασμός του λειτουργικού κόστους, όπως επίσης και η βελτίωση των επιπέδων παραγωγικότητας. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες, μπορεί να υπάρξει εντοπισμός, στον κατάλληλο χρόνο, τυχόν προβλημάτων, τα οποία δύναται να επηρεάσουν την καλή λειτουργία και απόδοση της επιχείρησης και της αλυσίδας εφοδιασμού. Η διαρκής ανάπτυξη του IoT στον τομέα της βιομηχανίας, αναμένεται να προσδώσει ανταγωνιστικό πλεονεκτήματα στις επιχειρήσεις που εφαρμόζουν τις τεχνολογίες αυτές (Wang et al., 2020).

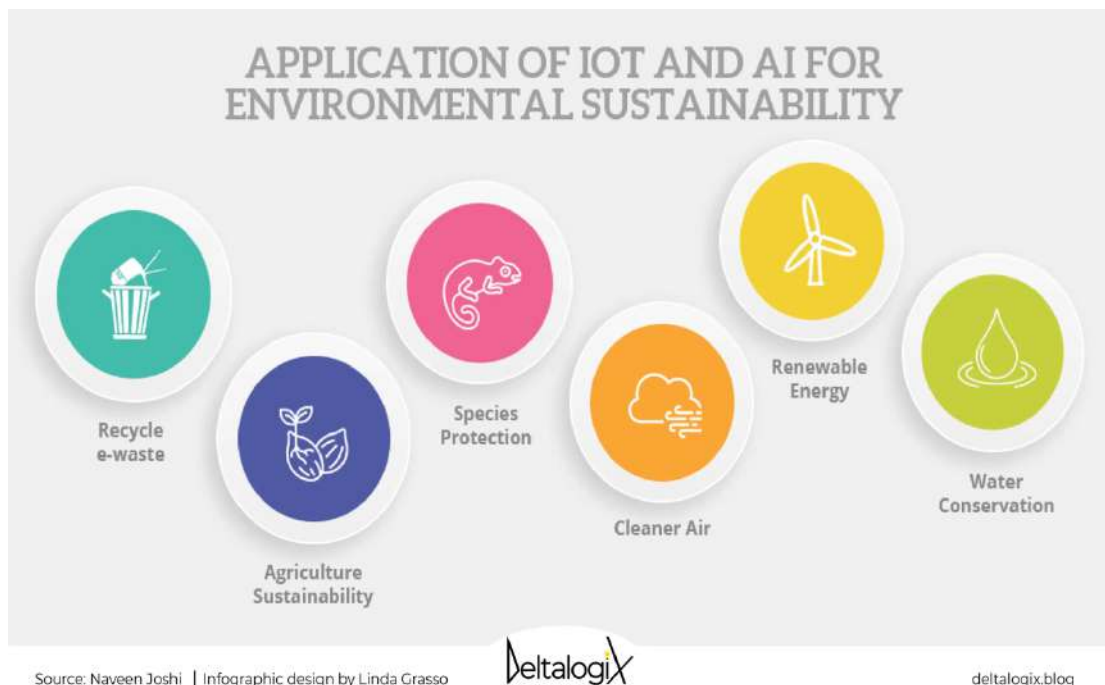
### Τομέας Μεταφορών

Είναι γεγονός ότι ο τομέας των μεταφορών βρίσκεται αντιμέτωπος με την ανάγκη μείωσης του λειτουργικού του κόστους, όπως επίσης και με την ανάγκη μετριασμού της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλείται. Πλέον, στα πλαίσια αυτά, τα οχήματα διαθέτουν αισθητήρες, όπως επίσης συστήματα διαχείρισης και επεξεργασίας, τα οποία λαμβάνουν πραγματικά δεδομένα από τα οχήματα αυτά, επιτρέποντας έτσι να αντλούνται πληροφορίες αναφορικά με τον έλεγχο της κυκλοφορίας, όπως επίσης χρήσιμες πληροφορίες αντλούνται αναφορικά με την διαχείριση έκτακτων καταστάσεων. Εξίσου σημαντικό είναι και το γεγονός ότι μέσω του IoT στην αλυσίδα εφοδιασμού, επιτυγχάνεται βέλτιστη διάθεση των αποθεμάτων στους τελικούς χρήστες, όπως επίσης και μετριασμός της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που αυτή προκαλεί (Muthuramlingam et al.,2019).

#### Τομέας Περιβάλλοντος

Αντίστοιχα και στον τομέα του περιβάλλοντος υπάρχει πλήθος εφαρμογών IoT. Ειδικότερα, μπορεί να γίνει παρακολούθηση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, τόσο από στατικές, όσο και από δυναμικές πηγές, όπως είναι τα οχήματα. Η εφαρμογή αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς επίσης και στις περιοχές που έχουν έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Παράλληλα, σημαντικές εφαρμογές αφορούν την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών, μέσω των οποίων μπορεί να υπάρξει προστασία των πληθυσμών και των υποδομών από ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως επίσης και αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Για παράδειγμα, οι κάτοικοι των επιμέρους περιοχών μπορούν να ενημερωθούν για την έλευση κάποιου ακραίου καιρικού φαινομένου, όπως μπορεί να μια πλημμύρα, με την ενημέρωση αυτή να προέρχεται από τη χρήση των κατάλληλων αισθητήρων, σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες τεχνολογίες.

#### **Εικόνα 4: Εφαρμογές του IoT στον τομέα του περιβάλλοντος**



Ακόμη, μπορεί να υπάρξει μέσω του IoT έγκαιρη πρόληψη των σεισμών, γεγονός που προστατεύει τους πληθυσμούς και τις υποδομές, όπως και πρόληψη των πλημμυρών των ποταμών, αλλά και αποτροπή πυρκαγιών, μέσω της έγκαιρης και αποτελεσματικής πρόληψής τους. Τέλος, μπορεί να υπάρξει και προστασία της άγριας πανίδας, μέσω της παρακολούθησης των ζώων και της κατάλληλης προστασίας αυτών. Να σημειωθεί ότι τα οφέλη αυτά αφορούν τόσο το αστικό περιβάλλον, όσο και το περιβάλλον που βρίσκεται εκτός πόλης (Shah & Mishra, 2016).

## 1.5 Χαρακτηριστικά Internet of Things

Το Internet of Things δεν αποτελεί μια μεμονωμένη τεχνολογία, αλλά ουσιαστικά συνιστά μια μίξη επιμέρους τεχνολογιών, οι οποίες στηρίζονται στη πληροφορική, καθώς και στις τηλεπικοινωνίες. Μέσω της πληροφορικής παρέχονται τα συστατικά στοιχεία του IoT, όπου είναι οι συσκευές, καθώς και το σύνολο των λογισμικών προγραμμάτων, τα οποία και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση, τη λήψη, όπως επίσης και την επεξεργασία των δεδομένων, ενώ μέσω των τηλεπικοινωνιών επιτυγχάνεται αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των επιμέρους στοιχείων αυτών (Patel et al., 2016).

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT, τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί και αναλύονται στη συνέχεια (Fox et al.,2012).

Σχήμα 1: Θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT



- Διασυνδεσιμότητα: Στο IoT μπορεί να υπάρξει διασύνδεση των πάντων, σε ένα παγκόσμιο δίκτυο πληροφορικής και επικοινωνιών,.
- Υπηρεσίες που σχετίζονται με πράγματα: Το IoT έχει τη δυνατότητα να παρέχει υπηρεσίες που αφορούν τα πράγματα, εντός των περιορισμών που μπορεί να υπάρχουν σ' αυτά, όπως είναι η ιδιωτικότητα, καθώς και η σημασιολογική συνοχή μεταξύ των φυσικών, αλλά και των εικονικών πραγμάτων. Έμφαση δίνεται από το διεθνές, αλλά και τα επιμέρους εθνικά πλαίσια στον σεβασμό της Ιδιωτικότητας των χρηστών.
- Ετερογένεια: Χαρακτηριστικό του IoT αποτελεί η ετερογένεια, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούνται μπορεί να έχουν κατασκευαστεί από διαφορετικό υλικό, όπως επίσης και να λειτουργούν σε διαφορετικό δίκτυο. Ωστόσο, εντός του IoT, όλες οι συσκευές έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσουν αλληλεπίδραση μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας υπηρεσίες που προέρχονται από διαφορετικά δίκτυα.

- Δυναμικές αλλαγές: Η λειτουργική κατάσταση των συσκευών που συνδέονται με IoT, μπορεί να αλλάζει δυναμικά, όπως αντίστοιχα μπορούν να υπάρχουν μεταβολές και στον αριθμό των συσκευών που διασυνδέονται.
- Τεράστια κλίμακα: Στα πλαίσια του IoT, ο συνολικός αριθμός των συσκευών που συνδέονται είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τον αριθμό των συσκευών που ήταν συνδεδεμένες στο διαδίκτυο μέχρι πρότινος. Αντίστοιχα, σημαντικά μεγαλύτερος είναι και ο αριθμός των επικοινωνιών που ενεργοποιούνται στα πλαίσια λειτουργίας αυτού.
- Ασφάλεια: Η αξιοποίηση των απεριόριστων δυνατοτήτων που προσφέρει το IoT συνδέεται με υψηλή ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων, όπως επίσης και με την ακεραιότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται, αλλά και με την ορθή και αποτελεσματική λειτουργία των δικτύων.

Επιπλέον, θα πρέπει να γίνει αναλυτική αναφορά στις απαιτήσεις που δημιουργούνται για το IoT. Πιο αναλυτικά, είναι αναγκαίο να υπάρχει συνδεσιμότητα που στηρίζεται στην αναγνώριση, όπου επιτυγχάνεται διασύνδεση ενός αντικειμένου και του δικτύου, σύμφωνα με ένα αναγνωριστικό αντικείμενο. Ακόμη, είναι αναγκαία η επίτευξη διαλειτουργικότητας μεταξύ των ετερογενών συστημάτων για τον προγραμματισμό, καθώς και τη χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας πληροφοριών και υπηρεσιών. Περαιτέρω, πρέπει να υποστηρίζεται η αυτονομία, η αυτοδιαχείριση, η αυτοπροστασία, όπως επίσης και η αυτό-βελτιστοποίηση, αλλά και αυτόνομη παροχή υπηρεσιών, όπου οι υπηρεσίες θα πρέπει να μπορούν να παρέχονται αυτόματα έπειτα από τη λήψη και την επεξεργασία των δεδομένων, δίνοντας έμφαση σε προκαθορισμένους κανόνες που έχουν διαμορφωθεί από τον διαχειριστή, είτε από τους συνδρομητές του δικτύου (Pal et al.,2020).

Εξίσου σημαντικό είναι οι παρεχόμενες υπηρεσίες να μπορούν να επιλεγούν, σύμφωνα με τις πληροφορίες που αφορούν την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται ο χρήστης, είτε το αντικείμενο. Για να μπορεί να γίνει κάτι τέτοιο, είναι αναγκαίο το δίκτυο να ανιχνεύει, καθώς και να παρακολουθεί την τοποθεσία της συσκευής, παρέχοντας επικοινωνίες και υπηρεσίες σε τοπικό επίπεδο. Η δυνατότητα σύνδεσης όλων των πραγμάτων στο ίδιο δίκτυο ελλοχεύει κινδύνους που αφορούν την ακεραιότητα, όπως και την εμπιστευτικότητα, καθώς και τη γνησιότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται. Επομένως, θα πρέπει να πρέπει να υπάρχουν οι

κατάλληλες τεχνικές ασφάλειας, λαμβάνοντας υπόψη και τις επιμέρους υπηρεσίες. Ακόμη, προσοχή θα πρέπει να υπάρξει και για την προστασία των δεδομένων που αφορούν το ανθρώπινο σώμα, την κίνηση, καθώς και τη συμπεριφορά. Ακόμη, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα άμεσης και χωρίς διακοπής λειτουργίας, καθώς και η δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ των επιμέρους πραγμάτων και εφαρμογών (Yaqoob et al.,2017).

Για τις συσκευές που χρησιμοποιούνται στο IoT, θα πρέπει να είναι χαμηλού κόστους, γεγονός που συνδέεται με την περιορισμένη πολυπλοκότητα αυτών και των επιμέρους συστημάτων που συμμετέχουν. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι και η λειτουργία ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων, καθώς τέτοια συστήματα επιτρέπουν τη λειτουργία περισσότερων αυτόνομων λειτουργιών, χρησιμοποιώντας μικρότερες μπαταρίες, οι οποίες έχουν και μεγαλύτερο κύκλο ζωής. Το χαμηλό κόστος αποτελεί παράγοντα διάδοσης της τεχνολογίας IoT, καθώς οι χρήστες λαμβάνουν τα σχετικά οφέλη, χωρίς να χρειάζεται να επιβαρυνθούν σημαντικά, για την ανάπτυξη της σχετικής υποδομής (Yaqoob et al.,2017).

Τέλος, κρίσιμο είναι να υπάρχει επεκτασιμότητα του IoT, καθώς ο αριθμός των συσκευών που διασυνδέονται αυξάνεται με ιλιγγιώδης ρυθμούς και επομένως θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ των νέων συσκευών, γεγονός που θα οδηγήσει και σε περαιτέρω ανάπτυξη του IoT, αλλά και ευρύτερα την τεχνολογία (HaddaPajouh et al., 2021).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ευφυής γεωργία**

### **2.1 Γενικά**

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η ευφυής γεωργία, όπου αρχικά προσδιορίζεται εννοιολογικά μαζί με την έννοια της γεωργίας ακριβείας. Στη παρουσιάζονται οι κυριότερες τεχνολογίες ευφυούς γεωργίας. Τέλος, μελετώνται ορισμένα στατιστικά στοιχεία που αφορούν την ευφυή γεωργία, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στην Ευρώπη.

### **2.2 Γεωργία ακριβείας και ευφυής γεωργία**

Η έννοια της γεωργίας ακριβείας αφορά την διαχείριση των συστημάτων της αγροτικής παραγωγής, αξιοποιώντας το σύνολο των πληροφοριών που μπορούν να συλλεχθούν. Η γεωργία ακριβείας δεν είναι απόλυτα νέα ως τάση, καθώς απαντάται ήδη από την δεκαετία του 1980, όπου αναπτύχθηκε προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα που αφορούν την διαχείριση των πόρων (Gertsis et al.,2013). Επιπλέον, η πρακτική αυτή συμβάλλει στην αντιμετώπιση της ανομοιομορφίας που υπάρχει στις επιμέρους αγροτικές εκτάσεις, εστιάζοντας τόσο στην μεγιστοποίηση του κέρδους που μπορεί να παραχθεί από την εκάστοτε αγροτική εκμετάλλευση, όσο και στην βελτίωση της βιωσιμότητας των γεωργικών εργασιών. Μέσω της γεωργίας ακριβείας, μπορούν να αποκτηθούν πληροφορίες που αφορούν τη χωρική διακύμανση της απόδοσης των καλλιεργειών, με τις διακυμάνσεις αυτές να σχετίζονται άμεσα με τη σύσταση του εδάφους, αλλά και με ασθένειες και παράσιτα που πιθανώς υπάρχουν, ενώ επίδραση ασκούν και οι πρακτικές διαχείρισης της γης που εφαρμόζονται κατά τόπους και μεταξύ των διαφορετικών γεωργικών εκμεταλλεύσεων (Καθρέπτης & Κωνσταντινίδης,2022).

Η γεωργική παραγωγή και η απόδοση αυτής συνδέεται άμεσα με την παραλλακτικότητα, η οποία λαμβάνει διαφορετικές μορφές, καθώς υπάρχει παραλλακτικότητα απόδοσης, παραλλακτικότητα αγροτεμαχίου, καθώς και παραλλακτικότητα εδάφους, ενώ μια ακόμη κατηγορία παραλλακτικότητα είναι η παραλλακτικότητα καλλιέργειας. Ουσιαστικά, η απόδοση που μπορούν να πετύχουν οι διάφορες καλλιέργειες συνδέεται με δεδομένα που αφορούν την παραγωγή στο παρελθόν , όπως επίσης και με τα τοπογραφικά στοιχεία της γεωργικής εκμετάλλευσης, όπως για παράδειγμα είναι το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται η

καλλιέργεια, αλλά και η κλίση του αγροτεμαχίου. Περαιτέρω, η απόδοση συνδέεται με τα επιμέρους χαρακτηριστικά των φυτών, όπως είναι η πυκνότητά τους, καθώς και η σύστασή τους, ενώ σημαντική είναι η επίδραση του είδους της ποικιλίας, του μεγέθους της λίπανσης, καθώς και της εφαρμοζόμενης μεθόδου άρδευσης (Γέμτος,2003).

Η χρήση ευφυών πρακτικών παραγωγής στον αγροτικό τομέα, συμβάλλει στην βελτίωση μιας σειράς παραμέτρων που συνδέονται με τις καλλιεργητικές διαδικασίες και πρακτικές, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι η άρδευση των καλλιεργειών, είτε η λίπανση αυτών, αλλά και η παρακολούθηση βασικών παραμέτρων του εδάφους, λαμβάνοντας υπόψη τις επιμέρους αλλαγές που συμβαίνουν στις παραπάνω παραμέτρους κατά τη διάρκεια του καλλιεργητικού κύκλου. Πλέον, αξιοποιώντας ένα ευρύ φάσμα νέων τεχνολογικών στον αγροτικό τομέα, τα αγροτικά προϊόντα τείνουν να παράγονται αξιοποιώντας στο έπακρο δεδομένα ακριβείας, τα οποία αφορούν τις επιμέρους καλλιέργειες, όπως επίσης και τις διαφορετικές περιοχές στις οποίες καλλιεργούνται οι καλλιέργειες αυτές (Αγγελάκης,2020).

Η εφαρμογή της ευφυούς γεωργίας και της γεωργίας ακριβείας δημιουργεί μια σειρά ωφελειών, τόσο για τους ίδιους τους γεωργούς, όσο και για το σύνολο της αλυσίδας αξίας παραγωγής αγροτικών προϊόντων, αλλά και για τους ίδιους τους καταναλωτές-πελάτες. Μέσω της εφαρμογής πρακτικών γεωργίας ακριβείας, επιτυγχάνεται μείωση των αναγκαίων εισροών, με αποτέλεσμα να εξοικονομούνται ποσότητες χημικών και ζιζανιοκτόνων, τα οποία δεν επιβαρύνουν περαιτέρω τις περιοχές καλλιέργειας. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται περιορισμός των διαδικασιών που απαιτείται να πραγματοποιηθούν από τους παραγωγούς, βελτιώνοντας έτσι με τον τρόπο αυτό τα επίπεδα αποδοτικότητάς τους. Ουσιαστικά, ο χρόνος αυτός που εξοικονομούν μπορούν να διοχετευθεί σε περισσότερο παραγωγικές για τον γεωργό δραστηριότητες (Balafoutis et al.,2017).

Ιδιαίτερα σημαντικό θεωρείται και το γεγονός ότι μέσω της ευφυούς γεωργίας και της γεωργίας ακριβείας υπάρχει σημαντική μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλείται από τις καλλιέργειες. Έτσι, με τον τρόπο αυτό τα παραγόμενα αγροτικά προϊόντα εναρμονίζονται με τις ευρωπαϊκές και εθνικές απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος, ενώ

συνάμα συμβαδίζουν και με τις γενικότερες τάσεις που έχουν διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών σε παγκόσμιο επίπεδο, σύμφωνα με τις οποίες η περιβαλλοντική βιωσιμότητα βρίσκεται στο επίπεδο των δραστηριοτήτων που συντελούν. Παράλληλα, μέσω της μείωσης του περιβαλλοντικού αντικτύπου για τις επιμέρους καλλιέργειες, οι παραγωγοί έχουν τη δυνατότητα να διεκδικήσουν περισσότερες επιδοτήσεις, όπως επίσης και να έχουν πρόσβαση σε περισσότερο σύνθετα και καινοτόμα χρηματοδοτικά εργαλεία, τα οποία θέτουν στο επίκεντρο τη βιωσιμότητα και την προστασία του περιβάλλοντος (Φούντας & Γέμτος, 2015).

### **2.3 Κυριότερες τεχνολογίας ευφυούς γεωργίας**

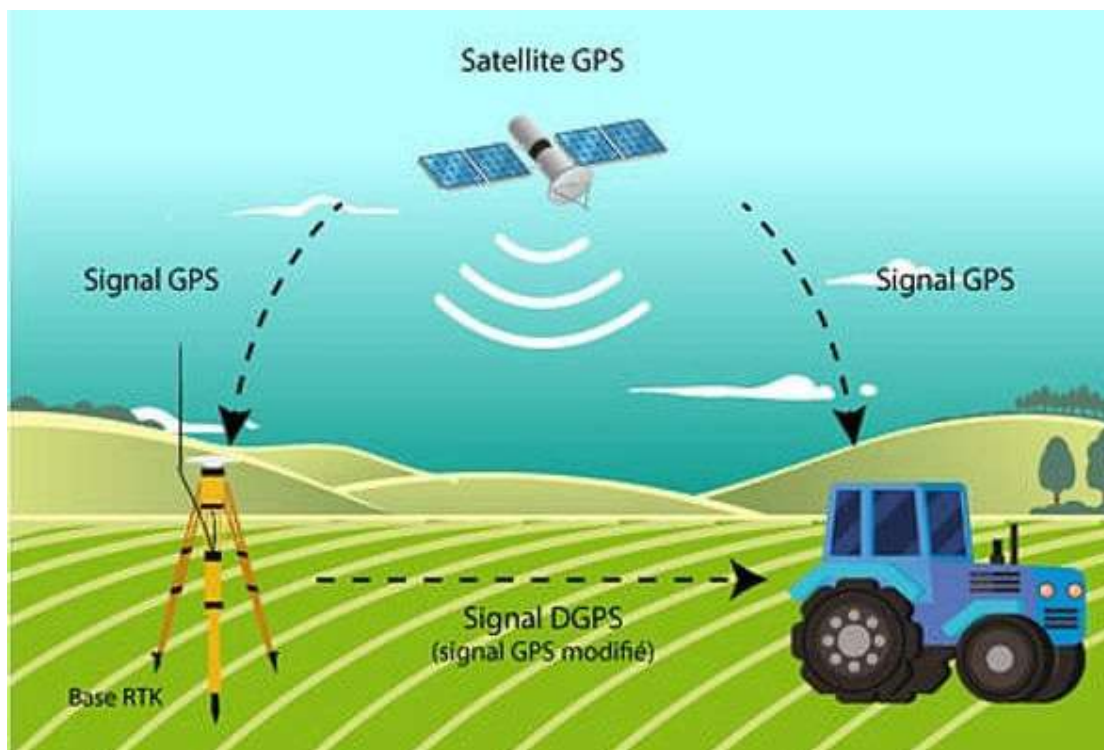
Η ευφυής γεωργία χρησιμοποιεί μια σειρά συστημάτων, τα οποία στηρίζονται στην τεχνολογία και μέσω αυτών επιδιώκεται να υπάρξει η βέλτιστη παραγωγή προϊόντων. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι πλέον συνήθεις τεχνολογίες ευφυούς γεωργίας που χρησιμοποιούνται τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ελλάδα.

#### Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης GPS

Αρχικά, τα συστήματα προσδιορισμού θέσης χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικές εφαρμογές, ενώ στο πέρασμα του χρόνου επεκτάθηκαν και σε άλλους τομείς της οικονομίας και της κοινωνίας. Τα εν λόγω συστήματα συμβάλλουν στη γεωργία ακριβείας στη δημιουργία σχετικών χαρτών που περιλαμβάνουν ζώνες διαχείρισης. Στα πλαίσια της ευφυούς γεωργίας γίνεται καταγραφή του χωραφιού κάνοντας χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων, ενώ εντοπίζονται και στη συνέχεια καθοδηγούνται τα γεωργικά μηχανήματα στο χωράφι με σημαντικά μεγάλη ακρίβεια.

Πιο αναλυτικά, για να μπορέσει να υπάρξει προσδιορισμός μιας θέσης μέσω του GPS θα πρέπει αρχικά να λάβει χώρα η διαδικασία του τριγωνισμού, ενώ έπεται η μέτρηση της απόστασης από τους δορυφόρους, καθώς και συγχρονισμός των ρολογιών δέκτη-δορυφόρου. Ακολούθως, θα πρέπει να γίνει εύρεση της θέσης στην οποία βρίσκονται οι δορυφόροι ενώ τέλος θα πρέπει να διορθωθούν οι καθυστερήσεις που απαντώνται στο σήμα. Προκειμένου να προσδιοριστεί το σήμα θα πρέπει να υπάρχει σήμα από τρεις δορυφόρους (Virk et al., 2020).

Εικόνα 5: Τεχνολογία GPS στην γεωργία



#### Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα

Είναι γεγονός ότι η απομακρυσμένη ανίχνευση αποτελεί μία από τις πλέον σημαντικές τεχνολογίες που βρίσκει εφαρμογές στην γεωργία ακριβείας, όπως επίσης και στην ευφυή γεωργία. Μέσω της πρακτικής αυτής, μπορεί να υπάρξει παρακολούθηση πλήθους παραμέτρων που αφορούν τις καλλιέργειες, αλλά και τη βλάστηση αυτών, με την παρακολούθηση αυτή να γίνεται μέσω εικόνων που έχουν ληφθεί σε διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Έτσι, με τον τρόπο αυτό επιτρέπεται να υπάρξει μια ολοκληρωμένη εικόνα για το αντικείμενο, είτε για το φαινόμενο που είναι προς παρακολούθηση. Κατά το παρελθόν η πρακτική αυτή στηριζόταν ως επί το πλείστον σε δορυφορικές εικόνες, είτε σε εικόνες που αποκτήθηκαν κατόπιν χρήσης επανδρωμένων αεροσκαφών, όπου παρακολουθούνταν η κατάσταση της βλάστησης σε επιμέρους στάδια ανάπτυξης. Ωστόσο, να σημειωθεί ότι οι δορυφορικές εικόνες αυτές είχαν συχνά χαμηλή χωρική ανάλυση, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τρόπο που θεωρείται αποτελεσματικός. Ταυτόχρονα, πρόβλημα αποτελούσε και το γεγονός ότι οι λήψεις

ήταν διαθέσιμες στους ενδιαφερόμενους σημαντικό χρονικό διάστημα αργότερα. Προβλήματα αξιοπιστίας δημιουργούνταν αρκετά συχνά εξαιτίας και των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στις επιμέρους αυτές περιοχές, ενώ η χρήση επανδρωμένων σκαφών εκτόξευε θεαματικά το κόστος της διαδικασίας αυτής (Kim et al.,2019).

**Εικόνα 6: UAV στον αγροτικό τομέα που χρησιμοποιείται για ψεκασμό αγροκτήματος**



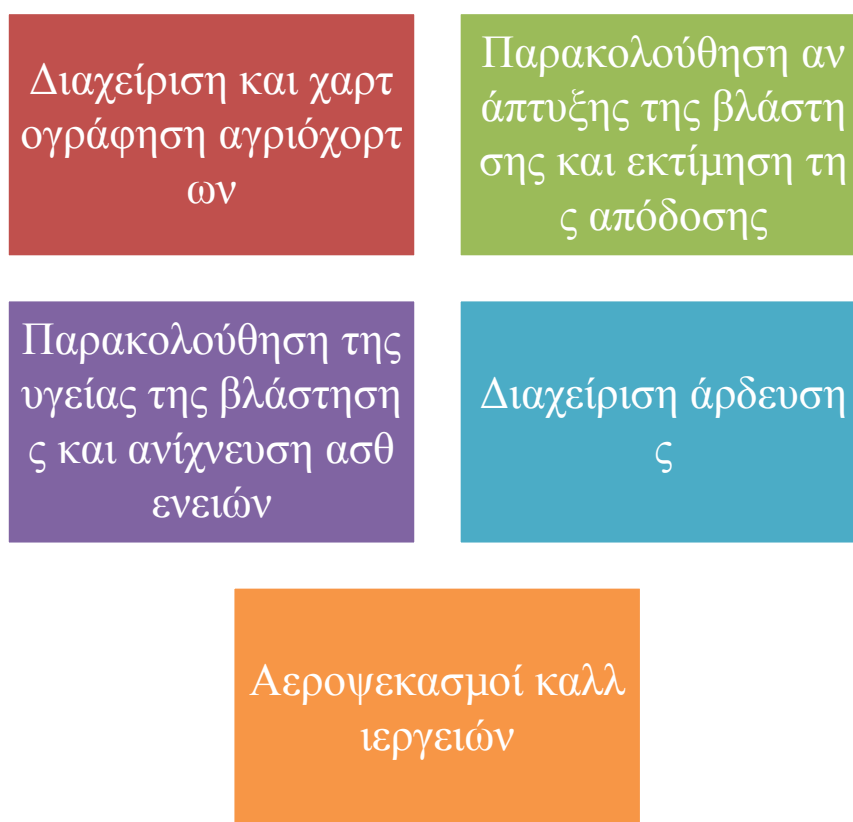
Η εναέρια απεικόνιση θεωρείται χρήσιμη στα διάφορα επιμέρους στάδια της γεωργίας ακριβείας, με την πρακτική αυτή να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τους αισθητήρες που βρίσκονται στο έδαφος. Χρησιμοποιώντας πλέον μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs) για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, υπάρχει η δυνατότητα άντλησης σημαντικού αριθμού δεδομένων, με τρόπο εύκολο, οικονομικό και συνάμα γρήγορο, σε σχέση πάντοτε με τις προηγούμενες μεθόδους που χρησιμοποιούνταν κατά το παρελθόν. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα μη επανδρωμένα αυτά αεροσκάφη έχουν τη δυνατότητα να πετούν σε χαμηλή υψόμετρο και έτσι μπορούν και συλλέγουν εικόνες που χαρακτηρίζονται ως υψηλής χωρικής ανάλυσης των καλλιεργειών, με την ακρίβεια αυτών να είναι τάξης μερικών εκατοστών. Επιπρόσθετα, η πρακτική αυτή συνδέεται με μεγάλη χρονική ευελιξία που παρέχεται προς τον χρήστη, ενώ συνάμα πρόκειται για μια σημαντικά φθηνότερη πρακτική σε σχέση με τη χρήση επανδρωμένων αεροσκαφών. Σε σχέση με τα επίγεια

συστήματα τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι αποτελεσματικά, καθώς μπορούν και καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επιτρέψει τη δημιουργία μεγάλου εύρος μη επανδρωμένων αεροσκαφών, τα οποία μπορούν να ομαδοποιηθούν σε αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας, σε ελικόπτερα, καθώς και σε τετρακόπτερα, τα οποία θεωρούνται κάθετης απογείωσης και προσγείωσης. Η κατηγορία αυτή είναι ευρέως γνωστά ως drone, ενώ μπορούν να ελέγχονται από απόσταση και να πραγματοποιούν αυτόνομες πτήσεις, χρησιμοποιώντας αισθητήρες, είτε γυροσκόπια. Στις εφαρμογές ευφυούς γεωργίας, τα drones που χρησιμοποιούνται, έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν με χαμηλή, αλλά και με υψηλή ταχύτητα πλοήγησης, ενώ εξίσου σημαντικό είναι και το γεγονός ότι διαθέτουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης ελιγμών. Τέλος, χαρακτηριστικό τους είναι το χαμηλό κόστος απόκτησης και συντήρησης (Tsouros et al.,2019).

Στη συνέχεια, στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι πλέον συνήθεις εφαρμογές των μη επανδρωμένων σκαφών στην γεωργία ακριβείας.

**Σχήμα 2: Συνήθεις εφαρμογές των μη επανδρωμένων σκαφών στην γεωργία ακριβείας**



Πιο αναλυτικά, αναφορικά με την διαχείριση και χαρτογράφηση των αγριόχορτων, να σημειωθεί ότι τα αγριόχορτα αυτά είναι μη επιθυμητά, καθώς αναπτύσσονται σε καλλιέργειες και δημιουργούνται προβλήματα στην ομαλή ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ουσιαστικά, τα αγριόχορτα αυτό ανταγωνίζονται τους διαθέσιμους πόρους που υπάρχουν, όπως είναι το νερό, είτε το χώμα, γεγονός που δημιουργεί απώλειες στην απόδοση των καλλιεργειών. Ακόμη, προβλήματα μπορεί να υπάρξουν και στη συγκομιδή των καλλιεργειών λόγω της ύπαρξης αγριόχορτων (Brewster et al.,2017).

Για την καταστροφή των αγριόχορτων και για τον έλεγχο αυτών στις παραδοσιακές καλλιεργητικές πρακτικές χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο τα ζιζανιοκτόνα. Ο ψεκασμός αυτός γίνεται με τις ίδιες ποσότητες ζιζανιοκτόνων σε όλη την περιοχή ενός χωραφιού και ορισμένες φορές μάλιστα γίνεται και σε περιοχές εκτός χωραφιού. Όμως, η υπερβολική χρήση των ζιζανιοκτόνων αυτών έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανθεκτικά αγριόχορτα έναντι των ζιζανιοκτόνων, τα οποία δύναται να επηρεάσουν την ανάπτυξη, αλλά και συνολικά την απόδοση των καλλιεργειών. Πλέον, για την αντιμετώπιση του ζητήματος αυτού, στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας, γίνεται εξειδικευμένη διαχείριση των καλλιεργειών ανάλογα με τις επιμέρους περιοχές. Ουσιαστικά στην περίπτωση αυτή γίνεται χωρικά μεταβλητή χρήση των ζιζανιοκτόνων, σε αντίθεση με τον ενιαίο ψεκασμό σε ολόκληρο το χωράφι. Προκειμένου να μπορέσει να επιτευχθεί ο στόχος αυτός της χωρικής διαχείρισης είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί ένας ακριβής χάρτης κάλυψης των αγριόχορτων, έτσι ώστε στη συνέχεια να μπορεί να γίνει ψεκασμός αυτών. Μέσω των μη επανδρωμένων σκαφών, μπορούν να συγκεντρωθούν εικόνες από ολόκληρο το χωράφι και αντίστοιχα να ληφθούν δεδομένα, έτσι ώστε να διαπιστωθεί που απαιτούνται μεγαλύτερες και που μικρότερες ποσότητες χημικών (Perz & Wronowski,2019).

Στις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας δεν είναι εύκολη η παρακολούθηση ανάπτυξης της βλάστησης και η εκτίμηση της απόδοσης, τουλάχιστον σε εκτεταμένο βαθμό, με αποτέλεσμα να υπάρχουν προβλήματα στην αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας, όπως επίσης και στην ποιότητα των προϊόντων. Χρησιμοποιώντας τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορεί να υπάρξει αποτελεσματικότερη συλλογή πληροφοριών, όπως επίσης και οπτικοποίηση της

κατάστασης που επικρατεί στις καλλιέργειες, καθώς και άμεση αποτύπωση των μεταβολών των πλέον σημαντικών παραμέτρων που συνδέονται με τις καλλιέργειες. Μέσω των πληροφοριών που συλλέγονται από τα μη επανδρωμένα σκάφη μπορούν να δημιουργηθούν τρισδιάστατοι ψηφιακοί χάρτες των καλλιεργειών και μπορούν να αντληθούν πληροφορίες όπως είναι το ύψος των καλλιεργειών, η απόσταση που υπάρχει μεταξύ των σειρών φύτευσης. Μέσω των μη επανδρωμένων σκαφών μπορεί να υπάρξει αποτελεσματικότερος προγραμματισμός από τους γεωργούς, αναφορικά με τους χρόνους συγκομιδής, όπως επίσης μπορούν να εντοπίσουν με ευκολία πιθανά σφάλματα στη διαχείριση (Perz & Wronowski,2019).

Περαιτέρω, χρησιμοποιώντας τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της υγείας της βλάστησης, όπως επίσης μπορεί να επιτευχθεί και ανίχνευση ασθενειών. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η υγεία των καλλιεργειών θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς σε περίπτωση που είναι προβληματική, δύναται να δημιουργηθούν προβλήματα, όπως και σημαντικές οικονομικές απώλειες, όπως επίσης λόγω των ασθενειών μπορεί να υπάρξει και υποβάθμιση της ποιότητας. Μέσω της διαρκούς παρακολούθησης των καλλιεργειών, ανιχνεύονται έγκαιρα τα νοσήματα και μπορούν και εφαρμόζονται σχετικές πρακτικές αντιμετώπισης αυτών (Kim et al.,2019).

Εφαρμόζοντας πρακτικές ευφυούς γεωργίας και γεωργίας ακριβείας, η αντιμετώπιση των ασθενειών γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες των επιμέρους περιοχών του χωραφίου. Η ανίχνευση των ασθενειών αυτών είναι εφικτή, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι ασθένειες αυτές προκαλούνται αλλαγές στα βιοφυσικά, καθώς και στα βιοχημικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών. Ουσιαστικά, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες και τις αντίστοιχες κάμερες που βρίσκονται εγκατεστημένες πάνω στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, μπορούν να εντοπιστούν οι αλλαγές που συμβαίνουν στη φυτική βιομάζα και συνδέονται άμεσα με την υγεία των καλλιεργειών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι νόσοι των επιμέρους καλλιεργειών, χρησιμοποιώντας την πρακτική αυτή μπορούν να εντοπιστούν σε αρχικά στάδια και έτσι να υπάρξει καλύτερη αντιμετώπιση αυτών (Perz & Wronowski,2019).

Ξεχωριστό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για τη διαχείριση της άρδευσης, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι

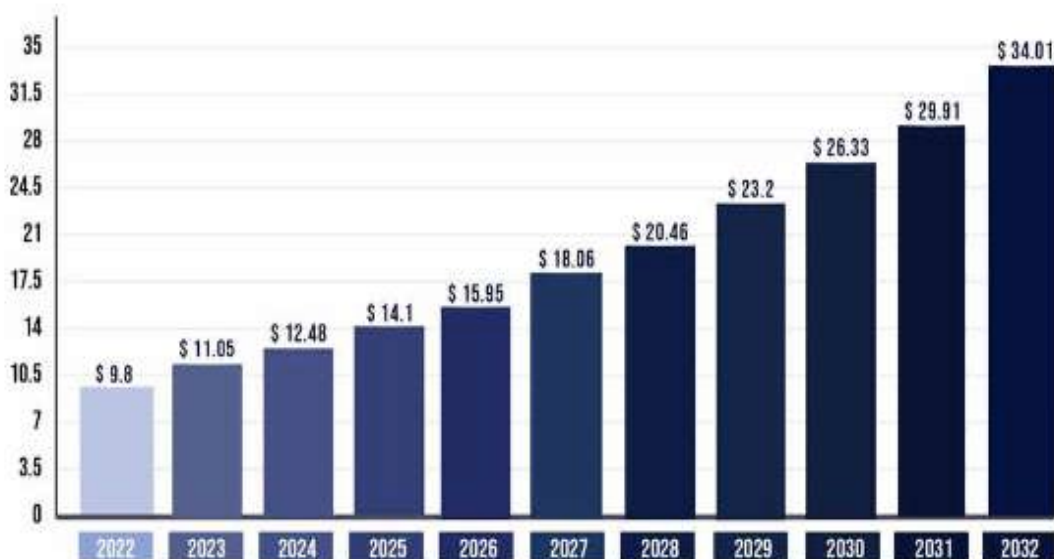
περίπου το 70% του νερού που καταναλώνεται σε παγκόσμιο επίπεδο διοχετεύεται για την κάλυψη των αναγκών της άρδευσης. Εφαρμόζοντας τις πρακτικές ελέγχου της άρδευσης, επιδιώκεται το νερό να βρίσκεται στο σωστό μέρος, την κατάλληλη στιγμή, αλλά και στη σωστή ποσότητα. Εντοπίζοντας τις επιμέρους περιοχές όπου απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες νερού, οι παραγωγοί έχουν τη δυνατότητα να εξοικονομήσουν τόσο χρόνο, όσο και υδάτινους πόρους. Υπό το πρίσμα της γεωργίας ακριβείας, ο αγρός χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα, τα οποία επιτρέπουν να δημιουργηθούν εξειδικευμένοι χάρτες οι οποίοι και παρουσιάζουν τη μορφολογία του εδάφους και έτσι δύναται να υπάρξει πιο αποδοτικός σχεδιασμός της άρδευσης της κάθε καλλιέργειας ξεχωριστά (Kim et al.,2019).

Τέλος, μια ακόμη εφαρμογή των μη επανδρωμένων σκαφών αφορά τους αεροψεκασμούς καλλιεργειών. Ειδικότερα, η πρακτική αυτή βελτιώνει τους χρόνους εφαρμογής, όπως επίσης επιτυγχάνεται κατάλληλη χωρική διασπορά των ψεκασμών στο χωράφι. Εφαρμόζοντας τις πρακτικές ευφυούς γεωργίας μπορούν να τα μη επανδρωμένα συστήματα να ακολουθούν τη μορφολογία του εδάφους, υπό σταθερό ύψος. Ουσιαστικά μέσω των αεροψεκασμών μπορεί και υπάρχει κατάλληλος χωρικός ψεκασμός, αξιοποιώντας τις κατάλληλες ποσότητες φυτοφαρμάκων, όπου προσαρμόζονται τόσο το ύψος, όσο και η ποσότητα που ψεκάζεται, ανάλογα με την περιοχή καλλιέργειας (Perz & Wronowski,2019).

## **2.4 Στατιστικά στοιχεία ευφυούς γεωργίας στην Ελλάδα και στην Ευρώπη**

Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς γεωργίας ακριβείας εκτιμάται σε περίπου 9,8 δισεκατομμύρια δολάρια, λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που αφορούν το έτος 2022, ενώ εκτιμάται ότι έως και το 2032, η αγορά αυτή θα ξεπεράσει τα 34 δισεκατομμύρια δολάρια, παρουσιάζοντας ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 13,30%. Για το ίδιο έτος (2022), μόνο στις ΗΠΑ η αγορά της γεωργίας ακριβείας εκτιμάται σε 3,6 δισεκατομμύρια δολάρια. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη της αγοράς γεωργίας ακριβείας από το 2022 έως και το 2032, σύμφωνα με τις σχετικές εκτιμήσεις.

**Διάγραμμα 1: Εκτιμώμενη εξέλιξη της αγοράς γεωργίας ακριβείας από το 2022 έως και το 2032**

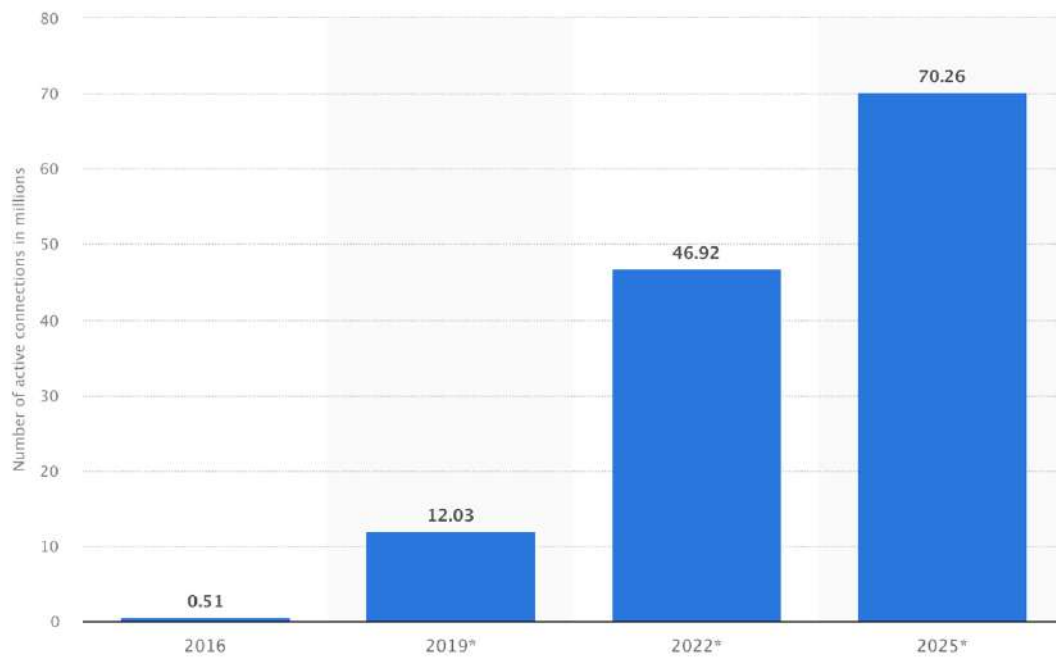


Σε διεθνές επίπεδο η γεωργία ακριβείας κερδίζει έδαφος εξαιτίας της εκτενούς εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), καθώς επίσης και εξαιτίας της χρήσης προηγμένων αναλυτικών μεθόδων από τους γεωργούς-καλλιεργητές. Ουσιαστικά, στην προηγμένη ανάλυση χρησιμοποιείται πλήθος οργάνων, όπως επίσης και μέθοδοι για τη μέτρηση των πληροφοριών, αλλά και τη διασφάλιση της απόδοσης. Τα επόμενα χρόνια, οι αυξητικές τάσεις της αγοράς γεωργίας ακριβείας αναμένεται να επέλθουν λόγω των ωφελειών που προκύπτουν για τους αγρότες, καθώς αυτοί μπορούν να ρυθμίζουν με τρόπο αποτελεσματικότερο τις επιμέρους διακυμάνσεις του αγρού, ενισχύοντας την παραγωγικότητα και μετριάζοντας το κόστος παραγωγής τους (Precedence Research,2024).

Περαιτέρω, όσον αφορά την Ευρώπη, η ψηφιοποίηση του γεωργικού τομέα δύναται να δημιουργήσει πλήθος θετικών συνεπειών, καθώς προάγεται η βιωσιμότητα, η αποδοτικότητα, όπως επίσης και η ανταγωνιστικότητα. Η ψηφιοποίηση αυτή στηρίζεται στην ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, όπως επίσης και στην ρομποτική, καθώς και στην ανάπτυξη και εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Ιδίως για το IoT, ο αριθμός των ενεργών συνδέσεων στον γεωργικό τομέα αυξάνεται θεαματικά και εκτιμάται ότι από 0,51 εκατομμύρια για το

έτος 2016, έως και το 2025, θα έχει ξεπεράσει τα 70 εκατομμύρια, όπως αυτό απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

**Διάγραμμα 2: Αριθμός ενεργών συνδέσεων του Διαδικτύου των Πραμάτων (IoT) στον γεωργικό κλάδο στην Ε.Ε. το 2016,2019,2022 και 2025 (εκτίμηση)**



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Internet of Things στον πρωτογενή τομέα**

### **3.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται εκτενώς το Internet of Things στον πρωτογενή τομέα. Αρχικά, παρουσιάζονται αναλυτικά οι αισθητήρες και τα είδη αυτών που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια του Internet of Things (IoT). Ακόμη, αναλύονται τα σχετικά λογισμικά που χρησιμοποιούνται, όπως και η τεχνολογία Big Data. Τέλος, παρουσιάζονται καλές πρακτικές εφαρμογής IoT στον πρωτογενή τομέα, έτσι ώστε να μπορέσουν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με την εφαρμογή του IoT, τα προβλήματα που απαντώνται, καθώς και τις περαιτέρω πρακτικές.

### **3.2 Εφαρμογές Internet of Things (IoT)**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι πλέον συνήθεις και ώριμες εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές αυτές βελτιώνονται διαρκώς, καθώς προκύπτουν νέες και πιο σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις.

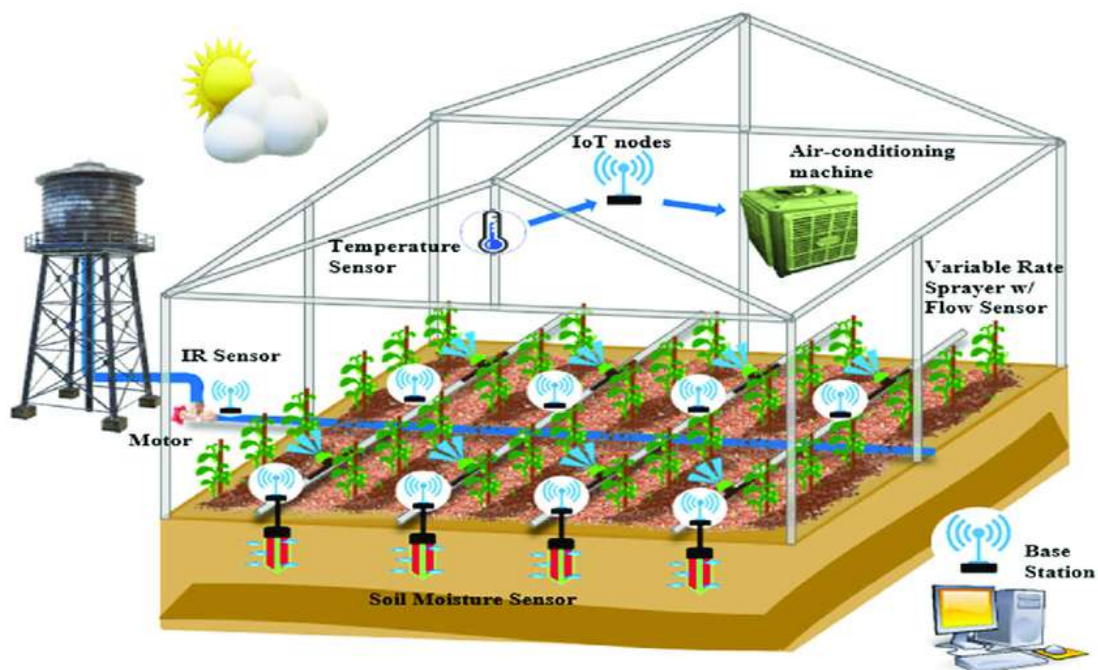
#### Παρακολούθηση θερμοκηπίου

Η καλλιέργεια του θερμοκηπίου θεωρείται περισσότερο έντονη, σε σχέση με τις υπόλοιπες συμβατικές καλλιέργειες, γεγονός που απαιτεί να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια, αναφορικά με την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και του καιρού. Αντλώντας δεδομένα από τον τρόπο λειτουργίας του θερμοκηπίου μπορούν και λαμβάνονται καλύτερες αποφάσεις, καθώς αναλύονται οι πληροφορίες, έτσι ώστε να προκύψουν τα βέλτιστα δυνατά δεδομένα. Στα θερμοκήπια, βασικές λειτουργίες που μπορεί να επιτελέσει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι η παρακολούθηση των φυτών, όπως επίσης και η παρακολούθηση του κλίματος που επικρατεί εντός του θερμοκηπίου (Akkas & Sokullu,2017).

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά την παρακολούθηση των φυτών, χρησιμοποιούνται αισθητήρες και κάμερες που ανήκουν σε ένα σύστημα Internet of Things, επιδιώκοντας να δημιουργηθεί το καλύτερο δυνατό περιβάλλον για τα φυτά που αναπτύσσονται εντός του θερμοκηπίου. Ακόμη, μέσω των συστημάτων αυτών επιτρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα η κατάσταση αυτών, ενώ ο χρήστης μπορεί

και λαμβάνει πληροφορίες σε περίπτωση που προκύψει κάποιο πρόβλημα. Περαιτέρω, εκτός από την παρακολούθηση των ίδιων των φυτών και της ανάπτυξής τους, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην παρακολούθηση του κλίματος που επικρατεί εντός του θερμοκηπίου. Προκειμένου να διαμορφωθεί το ιδανικό περιβάλλον το οποίο θα επιτρέπει στα φυτά να αναπτυχθούν κατάλληλα, θα πρέπει να επιτευχθεί ο ιδανικός συνδυασμός παραμέτρων. Για παράδειγμα, θα πρέπει να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες εξαερισμού, όπως επίσης και η κατάλληλη θερμοκρασία, ενώ αντίστοιχα, σε κατάλληλα επίπεδα θα πρέπει τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και του οξυγόνου. Συνεπώς, μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων, λαμβάνονται οι κατάλληλες αποφάσεις για τη ρύθμιση των παραμέτρων αυτών στα κατάλληλα επίπεδα (Raj & Ananthi,2019).

**Εικόνα 7: Παρακολούθηση θερμοκηπίου με συστήματα IoT**

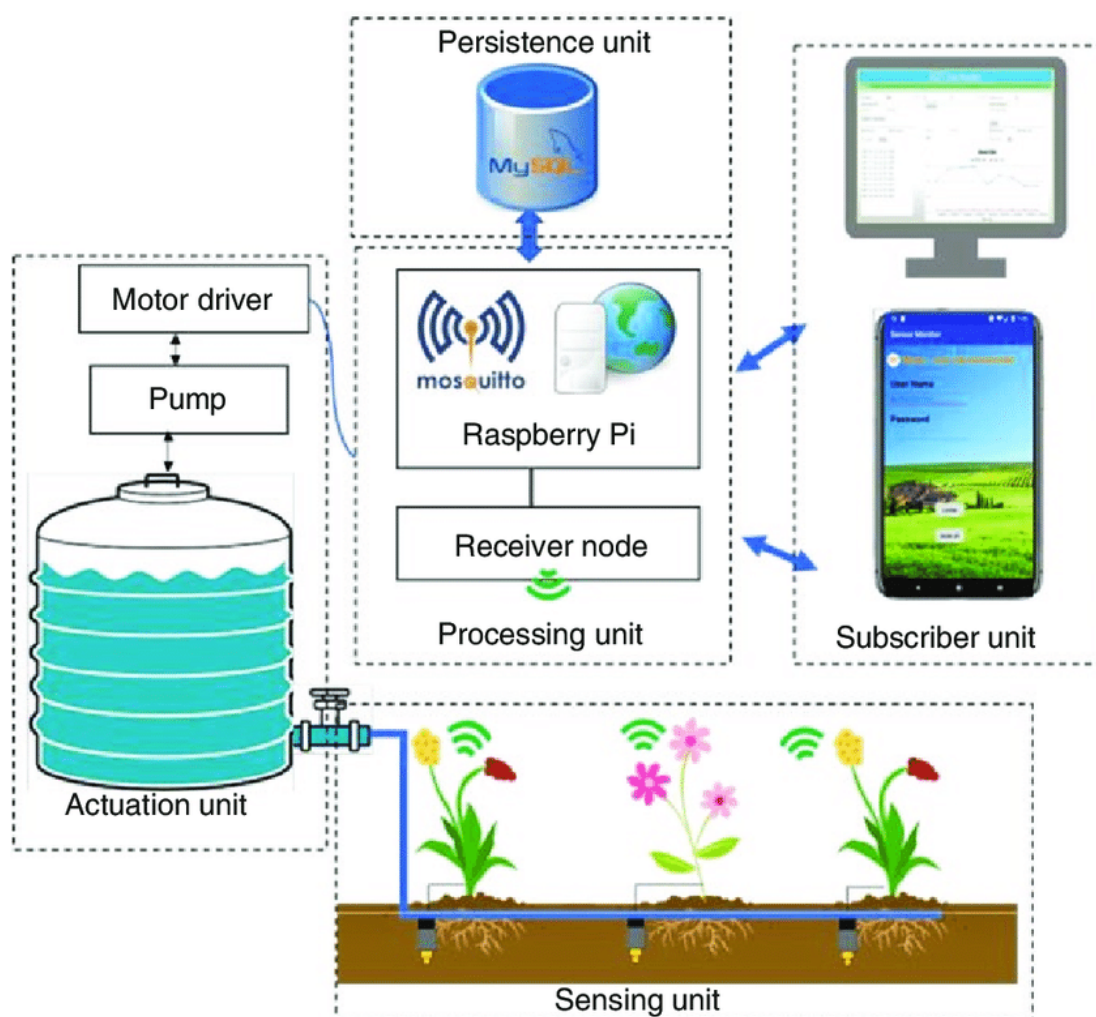


### Έξυπνη άρδευση

Η χρήση του IoT στις εφαρμογές άρδευσης επεκτείνεται διαρκώς κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, εξαιτίας της ανάγκης μείωσης του κόστους άρδευσης, όπως επίσης και λόγω της μείωσης των σχετικών αποθεμάτων νερού. Τα συστήματα αυτά συνδέονται με αισθητήρες, όπως επίσης και με την άντληση δεδομένων από σχετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, επιτρέποντας έτσι τον απομακρυσμένο έλεγχο αντλιών ή ηλεκτροβανών, όπως επίσης και άντληση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τις συνθήκες που επικρατούν στα επιμέρους κτήματα. Πέρα από την

βελτιστοποίηση της άρδευσης, επιτυγχάνεται μείωση του κόστους παραγωγής, εξοικονόμηση πόρων, όπως και αύξηση της παραγωγής (Brajovic et al., 2015).

Εικόνα 8: Σύστημα έξυπνης άρδευσης



### Εφαρμογές GNSS

Ενδιαφέρον παρουσιάζει στα πλαίσια των εφαρμογών αυτών το έργο SymbloT, το οποίο αφορά την ενσωμάτωση των δυνατοτήτων του GNSS σε σταθμούς τηλεμετρίας πεδίου, έτσι ώστε να προσφέρει υψηλής ποιότητας υπηρεσίες πλοήγησης και γεωργίας ακριβείας. Μέσω του συγκεκριμένου έργου, αντιμετωπίζονται πολλές από τις προκλήσεις που απαντώνται στην γεωργία ακριβείας, κατόπιν συνεργασίες με συστήματα εντοπισμού θέσης GNSS, Internet of Things-IoT, πρωτόκολλα επικοινωνίας, μη επανδρωμένα οχήματα κτλ, τα οποία μπορούν και αυτά να λειτουργήσουν ως συστήματα εντοπισμού θέσης GNSS. Μέσω των εφαρμογών αυτών μπορεί και επιτυγχάνεται χωρική χαρτογράφηση, έτσι ώστε να υπάρξει

κατανόηση της τοπολογίας, αλλά και εξοικονόμηση εισροών και κόστος, όπως επίσης μπορεί να γίνει σχεδιασμός διαδρομής, περιορίζοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμου, σε ποσοστό 20-50%, αλλά και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 10-30%. Ακόμη, μέσω της αυτόματης πλοήγησης, επιτυγχάνεται υψηλότερη ακρίβεια, όπως επίσης και λιγότερες ζημιές στο έδαφος, εξαιτίας των δεδομένων GNSS (Agenso,2024).

**Εικόνα 9: Εφαρμογές GNSS-Πρόγραμμα SymbIoT**



### 3.3 Αισθητήρες

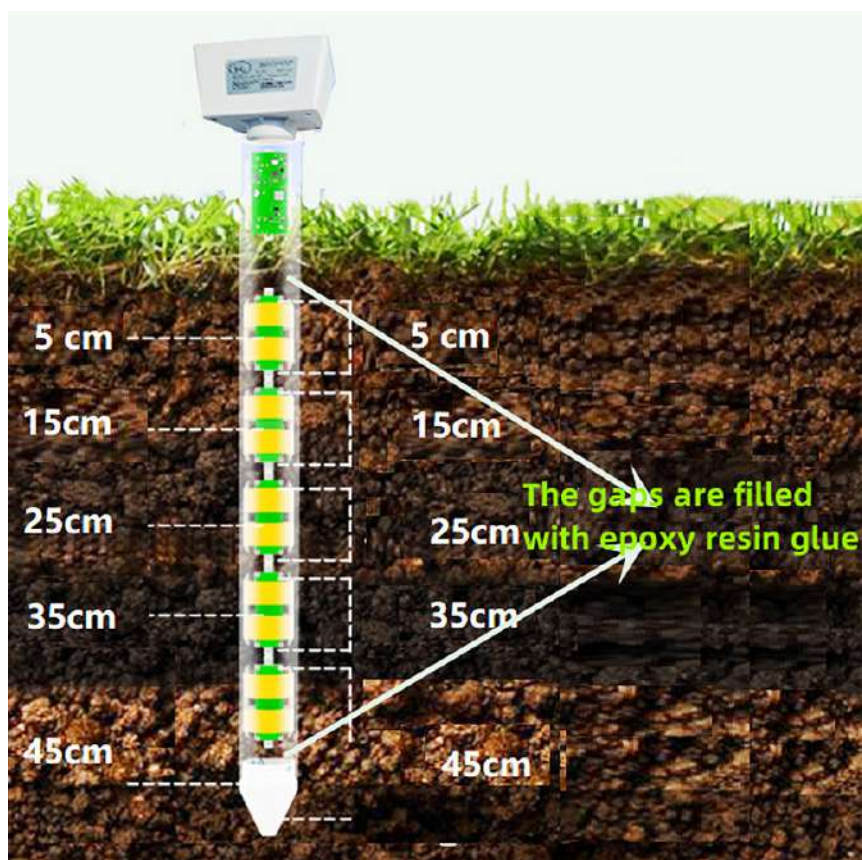
Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αισθητήρες αποτελούν καθολικές συσκευές, οι οποίες και χρησιμοποιούνται σε καλλιέργειες για τη λήψη αντικειμενικών πληροφοριών. Οι συσκευές αυτές συνδέονται σε επιμέρους πλατφόρμες και μπορούν να στερεώνονται στο έδαφος, εντός πεδίων, είτε να συνδέονται με οχήματα κτλ. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά ορισμένες κατηγορίες αισθητήρων, οι οποίες και χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της ευφυούς γεωργία (Adamchuk et al.,2004).

#### Αισθητήρες θερμοκρασίας

Οι αισθητήρες της κατηγορίας αυτής περιέχουν τσιπ, με τη βοήθεια του οποίου γίνεται μετατροπή του αναλογικού σήματος σε μια ψηφιακή τιμή, η οποία

μεταδίδεται στο κατάλληλο σύστημα και επιτρέπει την αποτελεσματική μετάδοση της τρέχουσας πληροφόρησης της θερμοκρασίας. Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι αισθητήρες αυτοί της θερμοκρασίας μπορούν να μετρήσουν θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 0°C έως και 50°C, ενώ η τροφοδοσία αυτού γίνεται από 3 έως 5.5v (Yin et al,2021).

**Εικόνα 10: Αισθητήρες υγρασίαςθερμοκρασίας**



### Αισθητήρες υγρασίας

Οι αισθητήρες της κατηγορία αυτής περιλαμβάνουν δύο ανιχνευτές, οι οποίοι βρίσκουν χρήση στη μέτρηση του ογκομετρικού περιεχομένου του νερού. Να σημειωθεί ότι οι δύο αυτοί ανιχνευτές επιτρέπουν στο ρεύμα να περάσει από το έδαφος και στη συνέχεια λαμβάνει την τιμή αντίστασης, προκειμένου να γίνει η μέτρηση της υγρασίας. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει περισσότερο νερό στο έδαφος, τότε υπάρχουν και μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπώς θα υπάρχει και λιγότερη αντίσταση. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν μικρότερες ποσότητες νερού, τότε το έδαφος έχει μικρότερη ηλεκτρική ενέργεια και συνεπώς

μεγαλύτερη αντίσταση και συνεπώς το επίπεδο υγρασίας θεωρείται ότι είναι χαμηλότερο (Imam et al.,2015).

#### Αισθητήρες έντασης φωτός

Οι αισθητήρες της κατηγορίας αυτής συμβάλλουν στην ανίχνευση της έντασης φωτός, έχοντας τη δυνατότητα να συνδεθεί με αναλογική, αλλά και με ψηφιακή έξοδο. Όταν υπάρχει φως η αντίσταση του αισθητήρα μειώνεται ανάλογα με την ένταση που έχει το φως. Ειδικότερα όσο πιο μεγάλη είναι η ένταση του φωτός, τόσο πιο μικρή είναι η αντίσταση του αισθητήρα. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι ο αισθητήρας αυτός διαθέτει κουμπί ποτενσιόμεντρου, το οποίο διαθέτει τη δυνατότητα ρύθμισης, έτσι ώστε να αλλάξει και την ευαισθησία του προς το φως (Ali et al.,2018).

#### Αισθητήρες pH

Το pH αποτελεί μέτρο της οξύτητας είτε της αλκαλικότητας κάποιου διαλύματος, με τις τιμές που καταλαμβάνει να ανέρχονται μεταξύ 0-14 της κλίμακας pH. Ουσιαστικά, το pH εκφράζει τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου τα οποία απαντώνται σε ορισμένα διαλύματα.

**Εικόνα 11: Αισθητήρες pH**



Η μέτρηση της τιμής του pH μπορεί να γίνει μέσω αισθητήρα, ο οποίος και υπολογίζει τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, όπου το ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς (χλωριούχου αργύρου/αργύρου) και το άλλο είναι ένα γυάλινο ηλεκτρόδιο το οποίο θεωρείται περισσότερο ευαίσθητο στα ιόντα υδρογόνου. Είναι αναγκαίο κατά τη χρήση του αισθητήρα αυτού να υπάρχει και ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, έτσι ώστε να γίνεται η κατάλληλη ρύθμιση του σήματος και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ο εν λόγω αισθητήρας.

#### Αισθητήρες εντοπισμού διοξειδίου του άνθρακα

Οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και τη μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα, με το εύρος των τιμών αυτού να κυμαίνονται από 0 έως 5000ppm, ενώ η λειτουργία τους στηρίζεται στην τεχνολογία υπέρυθρης ακτινοβολίας. Χαρακτηριστικό των αισθητήρων αυτών αποτελεί η υψηλή ευαισθησία, όπως επίσης και η υψηλή ανάλυση αυτών, η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος, καθώς και η ταχεία απόκριση.

#### Αισθητήρες ανίχνευσης φλόγας

Ο συγκεκριμένος ανιχνευτής αποτελεί αισθητήρα, ο οποίος έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μπορεί να αντιληφθεί την ύπαρξη φλόγα ή φωτιάς. Ανάλογα με την εγκατάσταση και το είδος της περιοχής στην οποία έχει εγκατασταθεί ο εν λόγω αισθητήρας, μπορούν να υπάρξουν και οι αντίστοιχες πρακτικές αντιμετώπισης της κατάστασης. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι μια φωτιά καίει εκπέμπει μια ποσότητα υπέρυθρου φωτός, όπου ουσιαστικά το φως αυτό εντοπίζεται από τους σχετικούς αισθητήρες.

Για την αποτελεσματική λειτουργία των αισθητήρων αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται κόμβοι αισθητήρων, καθώς και σχετικά δίκτυα, έτσι ώστε να συλλέγονται τα επιμέρους δεδομένα τα οποία προκύπτουν από τους αισθητήρες αυτούς και να γίνεται στη συνέχεια, η πλέον κατάλληλη επεξεργασία αυτών (Ullo & Sinha, 2020).

### **3.4 Σχετικά λογισμικά**

Καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται, δημιουργούνται διαρκώς λογισμικά-πλατφόρμες, η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), επιδιώκοντας να επιτευχθεί η βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων στις γεωργικές καλλιέργειες. Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση έγινε από τους Jayaraman et al. (2016), η οποία προχώρησαν στα πλαίσια της έρευνας τους στην ανάπτυξη μιας ψηφιακής πλατφόρμας SmartFarmNet, όπου ο ουσιαστικά αποτελεί πλατφόρμα, η οποία στηρίζεται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), έχοντας ως σκοπό την συλλογή δεδομένων περιβάλλοντος, όπως επίσης και δεδομένων που αφορούν το έδαφος, τη γονιμότητα, καθώς και την άρδευση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πλατφόρμα αυτή, χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες συγκεντρώνει πληροφορίες, τις οποίες ταξινομεί και διαμορφώνει ως δεδομένα, αναφορικά με την απόδοση των καλλιεργειών. Επιπλέον, η πλατφόρμα παρέχει εξατομικευμένες αποφάσεις για την κάθε καλλιέργεια που παρακολουθεί, ενώ στα θετικά συγκαταλέγεται και το γεγονός ότι μπορεί να ενσωματωθεί σε οποιαδήποτε συσκευή IoT, όπου συμπεριλαμβάνονται οι εμπορικά διαθέσιμοι αισθητήρες, οι φωτογραφικές μηχανές, όπως επίσης και οι μετεωρολογικοί σταθμοί. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες συλλέγονται σε cloud, όπου γίνεται ανάλυση της απόδοσης αυτής και δημιουργούνται οι κατάλληλες προτάσεις καλλιεργητικής διαχείρισης. Το εν λόγω σύστημα είναι ένα από τα μεγαλύτερα παγκοσμίως, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των αισθητήρων με τους οποίους είναι συνδεδεμένο, όπως επίσης και συνεκτιμώντας τις καλλιέργειες που αξιολογεί, όπως και τους χρήστες, στους οποίους παρέχει υποστήριξη.

Περαιτέρω, μια εξίσου ενδιαφέρουσα μελέτη έγινε από τους Haque M.S.T. et al.(2019), όπου εξετάστηκε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου, το οποίο λειτουργεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), το οποία έχει ως βάση το cloud και επικεντρώνεται στην παρακολούθηση και στον έλεγχο των επιμέρους περιοχών των αγροκτημάτων. Προκειμένου να υπάρχει παρακολούθηση και έλεγχος των συστημάτων στο cloud γίνεται χρήση μικροελεγκτών, οι οποίοι παρακολουθούν τις καταστάσεις των επιμέρους στοιχείων και κάνουν λόγο για την αναφορά των δεδομένων στην κεντρική μονάδα ελέγχου, ενώ ο χρήστης στη συνέχεια αφού γίνει η ανάλυση των δεδομένων μπορεί να προβεί στην αξιοποίηση αυτών. Ουσιαστικά, το εν λόγω σύστημα περιλαμβάνει ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου και

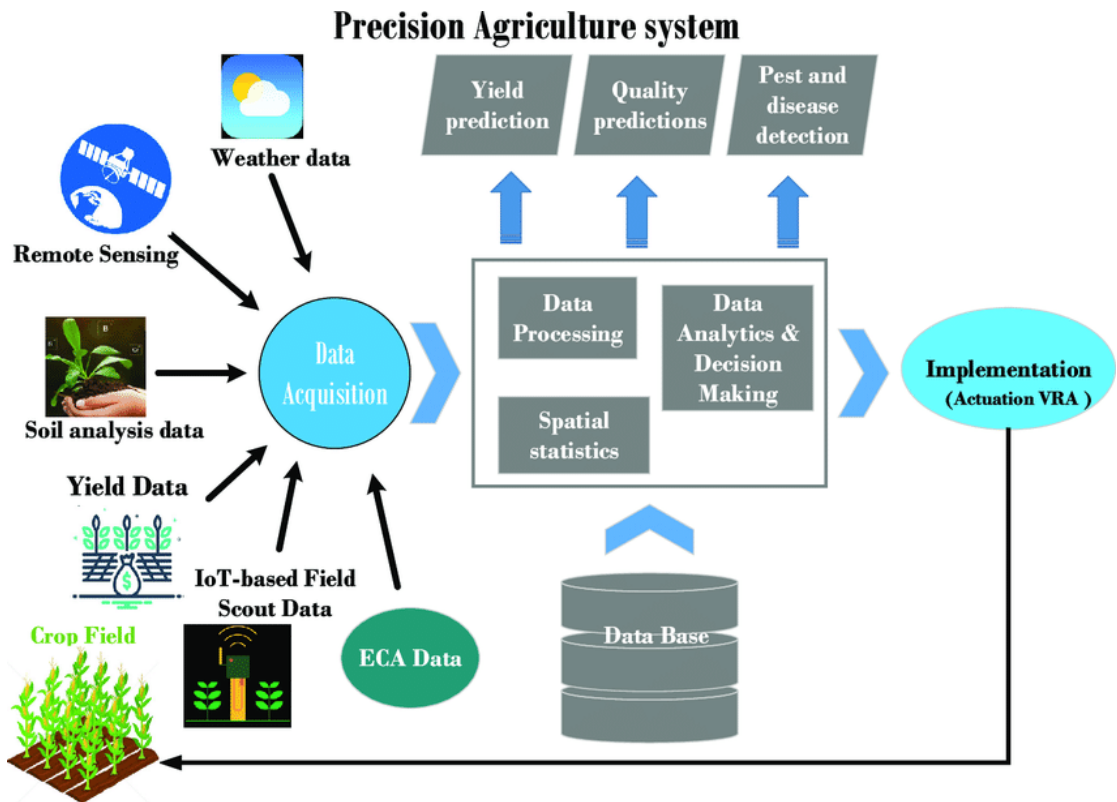
παρακολούθησης, το οποίο συνδέεται με ένα δίκτυο μικροελεγκτών πάνω από το νέφος, με τους μικροελεγκτές αυτούς να παρακολουθούν τις αισθητήρες του συστήματος, παρέχοντας τις κατάλληλες πληροφορίες στο cloud.

### 3.5 Big Data

Τα Big Data αποτελούν έναν τομέα της επιστήμης της πληροφορικής που κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη, επιδρώντας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ιδίως στον αγροτικό τομέα, η χρήση των μεγάλων δεδομένων δύναται να είναι σημαντικά επωφελής. Πιο αναλυτικά, μέσω των μεγάλων δεδομένων μπορούν και παρέχονται στους αγρότες λεπτομερή δεδομένα αναφορικά με τα πρότυπα βροχοπτώσεων, τα οποία απαντώνται στην περιοχή όπου δραστηριοποιούνται, ενώ συνάμα μπορούν και λαμβάνουν πληροφορίες αναφορικά με τους κύκλους του νερού, όπως επίσης και σχετικά με τις απαιτήσεις που συνδέονται με τα λιπάσματα που απαιτούνται για τις επιμέρους καλλιέργειες. Ουσιαστικά, γνωρίζοντας και αξιοποιώντας τα κατάλληλα δεδομένα, υπάρχει δυνατότητα ορθής λήψης αποφάσεων, επιδιώκοντας τόσο καλύτερα επίπεδα κερδοφορίας, όσο και αποτελεσματικότερες περιβαλλοντικές πρακτικές (Wolfert et al.,2017).

Περαιτέρω, αξιοποιώντας με τον καλύτερο τρόπο τα μεγάλα δεδομένα, μπορεί να υπάρξει χρήση των φυτοφαρμάκων με περισσότερο ηθικό τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση των φυτοφαρμάκων αποτελεί πρόβλημα ηθικών διαστάσεων, λόγω των επιβλαβών συνεπειών που έχουν για το περιβάλλον, αλλά και για την ανθρώπινη υγεία. Ουσιαστικά, μέσω των μεγάλων δεδομένων, οι αγρότες έχουν τη δυνατότητα να διαπιστώσουν πότε και ποια φυτοφάρμακα θα εφαρμόζουν, καθώς και σε ποιες ποσότητες θα γίνει εφαρμογή αυτών. Παράλληλα, οι αγρότες έχουν τη δυνατότητα μέσω των δεδομένων αυτών να τηρούν τους κυβερνητικούς κανονισμούς, αποφεύγοντας την υπερβολική χρήση χημικών ουσιών στην παραγωγή τροφίμων (Schnonfeld et al.,2018).

**Εικόνα 12: Ο ρόλος των δεδομένων στην εφαρμογή του IoT στον αγροτικό τομέα**



Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι μέσω της χρήσης των μεγάλων δεδομένων μπορεί να υπάρξει βελτιστοποίηση του γεωργικού εξοπλισμού. Η ενσωμάτωση αισθητήρων στον αγροτικό εξοπλισμό επιτρέπει την άντληση και στη συνέχεια ανάλυση των μεγάλων δεδομένων, μέσω των οποίων μπορεί να υπάρξει αποτελεσματικότερη διαχείριση του αγροτικού στόλου. Βέβαια οι εφαρμογές αυτές αφορούν αγροτικές εκμεταλλεύσεις μεγάλης κλίμακας. Τέλος, η χρήση μεγάλων δεδομένων επιτρέπει την αποτελεσματικότερη διαχείριση ζητημάτων της αλυσίδας εφοδιασμού. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν ληφθεί υπόψη ότι περίπου το 1/3 των παραγόμενων τροφίμων χάνονται λόγω της μη αποτελεσματικής διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού. Ουσιαστικά, μέσω των μεγάλων δεδομένων μπορεί να υπάρξει βελτίωση της αποτελεσματικότητας της αλυσίδας εφοδιασμού, με τα τρόφιμα και άλλα αγροτικά προϊόντα να καταφθάνουν ταχύτερα από τους παραγωγούς στους καταναλωτές.

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στην ασφάλεια που απαιτείται να διαθέτουν τα επιμέρους συστήματα Internet of Things (IoT). Ειδικότερα, η συνδεσιμότητα των επιμέρους αισθητήρων στα συστήματα Internet of Things, έχει ως

αποτέλεσμα να δημιουργείται μια σημαντικά μεγάλη ποσότητα δεδομένων, τα οποία μάλιστα προέρχονται και από συσκευές που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Ταυτόχρονα, δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι οι συσκευές Internet of Things, διαθέτουν περιορισμένη μνήμη, όπως επίσης και γενικά περιορισμένους πόρους και αντίστοιχο χώρο αποθήκευσης. Συνεπώς, απαντάται δυσκολία στη χρήση συμβατικών πρακτικών προστασίας που χρησιμοποιούνται σε άλλες πιο μεγάλες και ισχυρές συσκευές.

Προκειμένου να διαφυλαχθεί η ασφάλεια των συστημάτων αυτών, γίνεται χρήση μηχανισμών όπως είναι για παράδειγμα ο έλεγχος πρόσβασης, η κρυπτογράφηση, είτε ο έλεγχος ταυτότητας. Έμφαση θα πρέπει να δίνεται σε τρεις παραμέτρους που είναι η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα δεδομένων, όπως επίσης και η διαθεσιμότητα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μέσω της εμπιστευτικότητας επιτυγχάνεται ασφαλής μεταφορά των δεδομένων στο περιβάλλον Internet of Things (IoT), ωστόσο πρόβλημα μπορεί να αποτελεί στις περιπτώσεις αυτό το κόστος χρήσης των σχετικών τεχνολογία. Όσον αφορά την ακεραιότητα των δεδομένων, μέσω αυτής μπορεί να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα θα υποστούν κάποιου είδους ζημία, είτε τροποποίηση σε όλη τη διάρκεια που λαμβάνει χώρα η μετάδοση από μη εξουσιοδοτημένο άτομο. Τέλος, η διαθεσιμότητα συνδέεται με το ότι ένα ολοκληρωμένο σύστημα, είτε ένας υπολογιστής, μπορούν να παρέχουν εφόσον θεωρηθεί αναγκαίο πόρους, είτε δεδομένα. Πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει και η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, η οποία αφορά τη λήψη των σχετικών μέτρων ασφαλείας, ενώ μπορεί να δημιουργηθεί και πρόβλημα το οποίο συνδέεται με την καθυστέρηση στην επικοινωνία των συσκευών, μειώνοντας συνάμα τον διαθέσιμο χρόνο των μπαταριών που χρησιμοποιούν οι συσκευές αυτές. Συνεπώς, μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα μείωσης της διαθεσιμότητας του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι οι συσκευές αυτές μπορεί να μην είναι σε θέση να λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

### **3.6 Καλές πρακτικές εφαρμογής IoT στον πρωτογενή τομέα**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμένες καλές πρακτικές από την Ελλάδα, καθώς και από χώρες της Ευρώπης που αφορούν την εφαρμογή Internet of Things (IoT) στον πρωτογενή τομέα.

#### Καλή πρακτική 1-Τεχνολογίες ευφυούς γεωργίας σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών στην Κύπρο

Στην Κύπρο, όπως και σε άλλες χώρες αναπτύχθηκαν πρωτοβουλίες ευφυούς γεωργίας, προκειμένου να αξιοποιηθούν τα οφέλη που απορρέουν από αυτές. Ειδικότερα, στην Κύπρο υλοποιήθηκε από το 2017 το έργο “Internet of Food and Farm 2020 (IOF 2020-project number 731884), το οποίο είχε ως στόχο την εφαρμογή τεχνολογιών Internet of Things (IoT), προκειμένου να παράγονται επαρκεί, ασφαλή και υγιεινά τρόφιμα, αλλά και για να υπάρξει περαιτέρω ενδυνάμωση της ανταγωνιστικότητας της γεωργικής αλυσίδας. Υπό το πρίσμα αυτό υλοποιήθηκε το έργο “Digital Ecosystem Utilisation-CYSLOP”, στόχος του οποίου ήταν η μείωση του κόστους παραγωγής, αλλά και την ίδια στιγμή η βελτίωση της ποιότητας των φρούτων και λαχανικών που παράγονται, κατά κύριο λόγο μέσω της χρήσης αισθητήρων. Ειδικότερα, στα πλαίσια του έργου, το καλοκαίρι του 2020 και συγκεκριμένα κατά τους μήνες Ιούνιος-Ιούλιος, έγινε εγκατάσταση τηλεμετρικών σταθμών, όπως και εγκατάσταση συστήματος ελέγχου της άρδευσης, σε τρία πιλοτικά αγροτεμάχια όπου καλλιεργούνταν κεράσια, αρώνια, καθώς και σμέουρα (Αδαμίδης,2020).

Σύμφωνα με τα όσα προβλέπονταν στο έργο αυτό, τα δεδομένα που θα λαμβάνονταν μέσω των τηλεμετρικών σταθμών, οι οποίοι χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση προγνωστικών μοντέλων που αφορούν την άρδευση και την φυτοπροστασία, με τα μοντέλα αυτά να διαθέτουν τη δυνατότητα προσαρμογής στις επικρατούσες συνθήκες των επιμέρους περιοχών όπου υπήρχαν και οι σχετικές καλλιέργειες. Στο εν λόγω σύστημα τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν δεδομένα εκτός από τους τηλεμετρικούς σταθμούς και από τους ίδιους τους παραγωγούς, οι οποίοι μεταφέρουν πληροφορίες αναφορικά με τις εισροές και τις εκροές που πραγματοποιούνται. Όπως προβλέπονταν, κάθε μήνα, σε κάθε αγροτεμάχιο που συμμετείχε στο εν λόγω πρόγραμμα, λαμβάνει χώρα συλλογή δεδομένων, όπως για παράδειγμα τέτοια δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν τον αριθμό των επισκέψεων

που πραγματοποιήθηκαν για εργασία στο κτήμα κατά τη διάρκεια του μήνα, ενώ άλλα δεδομένα μπορεί να αφορούν το κόστος των προϊόντων φυτοπροστασίας που χρησιμοποιήθηκαν, αλλά και τις ποσότητες νερού που δαπανήθηκαν για την άρδευση του αγροκτήματος (Αδαμίδης,2020).

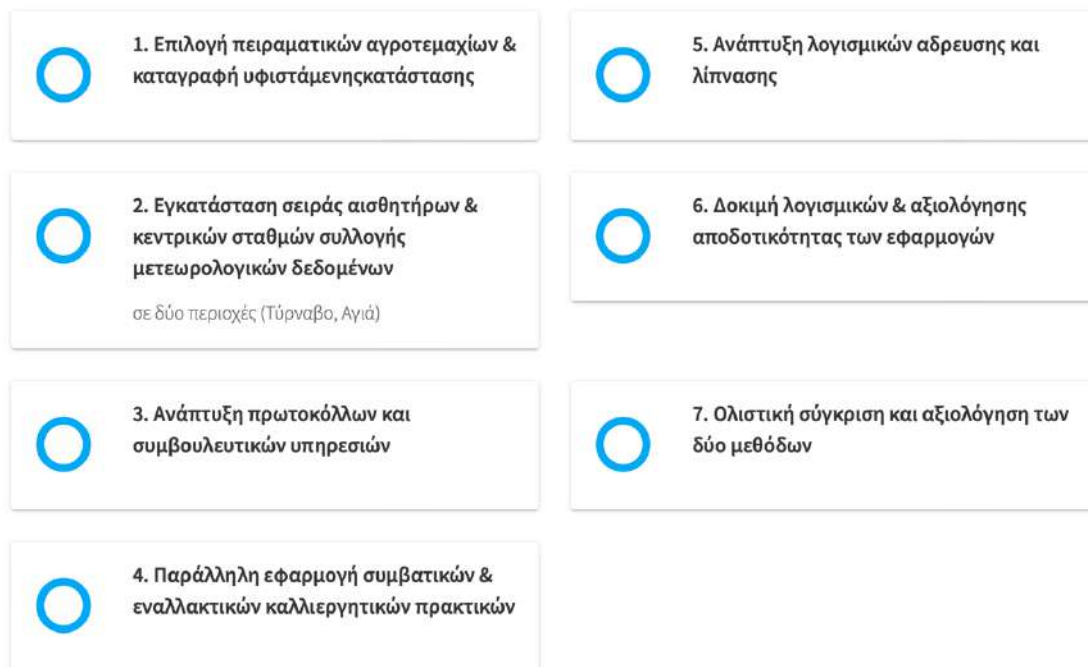
Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι τα παραπάνω δεδομένα που ουσιαστικά ποσοτικοποιούνται, μπορεί να αφορούν την συνολική παραγωγή σε κιλά, είτε μπορεί να αφορούν μια ολόκληρη καλλιεργητική περίοδο, ενώ τα δεδομένα αυτά μπορεί να σχετίζονται με το κάθε εκτάριο. Ουσιαστικά, τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται ως Κύριοι Δείκτες Επιδόσεων (Key Performance Indicators) και από την εφαρμογή αυτή διαπιστώθηκε ότι επιτυγχάνεται βελτίωση της αποδοτικότητας κατά 20%. Η βελτίωση αυτή σχετίζεται με τη μείωση των επισκέψεων στο χωράφι, γεγονός που εξοικονομεί χρόνο και χρήματα, όπως επίσης και με τη μείωση του νερού άρδευσης, με τη μείωση αυτή να φθάνει το 10%, αλλά και τη μείωση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων σε ποσοστό 10%. Επιπρόσθετα, μέσω των δράσεων του προγράμματος αυτού επετεύχθη βελτίωση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών, όπως επίσης και ενίσχυση της βιωσιμότητας των γεωργικών εκμετάλλευσης. Τέλος, να σημειωθεί ότι στο έργο αυτό συμμετείχαν εταίροι εκτός από την Κύπρο που ήταν το Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών και Πανεπιστήμιο Λευκωσίας, αλλά και εταίροι από την Ολλανδία και τη Σλοβενία, οι οποίοι και δραστηριοποιούνται σε τεχνολογίες ευφυούς γεωργίας (Αδαμίδης,2020).

### Καλή Πρακτική 2-Πρόγραμμα ΟΡΑΛΙ

Το πρόγραμμα αυτό συνιστά μια εφαρμογή που αποσκοπεί στην ορθολογική άρδευση και λίπανση, χρησιμοποιώντας καινοτόμες τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας. Το πρόγραμμα αυτό υλοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Ερευνώ Δημιουργώ Καινοτομώ-ΕΠΑνΕΚ 2014-2020, έχοντας ως βασική προτεραιότητα την μείωση των εισροών στο σύνολο των συστημάτων παραγωγής των αγροτικών προϊόντων και τροφίμων. Στο έργο αυτό συμμετείχαν ερευνητικοί φορείς του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπως επίσης και συμβουλευτικές εταιρείες του αγροτικού τομέα, καθώς και εταιρεία διακίνησης αγροτικών προϊόντων (ΟΡΑΛΙ,2024).

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του έργου.

**Εικόνα 13: Μεθοδολογία υλοποίησης του έργου**



Στα πλαίσια ανάπτυξης του προγράμματος επιδιώχθηκε να δημιουργηθεί ένα χαμηλού κόστους πρότυπο συλλογής δεδομένων από το χωράφι, το οποίο θα δίνει έμφαση στην καινοτομία. Τα δεδομένα που συλλέγονται αφορούσαν την άρδευση, καθώς και τη λίπανση, εστιάζοντας σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχή της Θεσσαλίας και συγκεκριμένα σε οπωρώνες μηλιάς, αχλαδιάς, ροδακινιάς, όπως και κερασιάς. Οι καλλιέργειες αυτές βρίσκονται στην περιοχή του Τυρνάβου και αποτελούν τη βάση του εισοδήματος των κατοίκων της περιοχής. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η υλοποίηση του συγκεκριμένου έργου συνοδεύτηκε από μια σειρά ωφελειών, οι οποίες συνδέονταν με την μείωση του κόστους των καλλιεργειών αυτών, ενώ ταυτόχρονα επετεύχθη και περιορισμός του περιβαλλοντικού κόστους, εξαιτίας της αποτελεσματικότερης διαχείρισης της λίπανσης και της άρδευσης, αλλά και γενικότερα λόγω της μείωσης της σπατάλης των πόρων. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι η φυτοπροστασία με τον τρόπο που εφαρμόστηκε είναι περισσότερη φιλική προς τους καταναλωτές, οι οποίοι και απολαμβάνουν προϊόντα υψηλότερης ποιότητας, ενώ την ίδια στιγμή βελτιώνεται και η θέση των προϊόντων αυτών στην αγορά που απευθύνονται (ΟΡΑΛΙ,2024).

Για την υλοποίηση του έργου χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT), όπου οι τεχνολογίες αυτές και ο εξοπλισμός περιλάμβαναν αισθητήρες θερμοκρασίας, αλλά και αισθητήρες σχετικής υγρασίας

αέρα, όπως και αισθητήρες αγωγιμότητας του εδάφους, οι οποίοι αποστέλλουν τα δεδομένα που συλλέγονται σε κεντρικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, πλήρως εξοπλισμένους. Ακολουθώς, γίνεται επεξεργασία των δεδομένων αυτών, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό, το οποίο διαμορφώθηκε έτσι για να μπορεί να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαίτερες ανάγκες που αφορούν την άρδευση και τη λίπανση του κάθε αγρού, αλλά και τις αναλύσεις εδάφους που σχετίζονται με το νερό και τους φυτικούς ιστούς. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει άμεση σύνδεση των κλιματικών δεδομένων με την φυτοπροστασία και την καλύτερη δυνατή εφαρμογή αυτής. Στα πλαίσια του έργου αυτού εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα των εφαρμογών, λαμβάνοντας υπόψη την βλάστηση, την παραγωγικότητα, αλλά και την παραλλακτικότητα εντός του αγρού, ενώ έμφαση δόθηκε και στη μελέτη της ποιότητας του καρπού, αλλά και στη συντηρησιμότητα του (ΟΡΑΛΙ,2024).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Internet of Things στην αλιεία

Η παγκόσμια αλιεία βρίσκεται αντιμέτωπη με προβλήματα που συνδέονται με την υπεραλίευση, όπως επίσης και με έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα, αλλά και με τις εκτεταμένες καταστροφές που απαντώνται στους θαλάσσιους οικοτόπους. Υπό το πρίσμα αυτό το IoT, μπορεί να ενισχύσει την βελτίωση της βιωσιμότητας της αλιείας, προς όφελος τόσο του περιβάλλοντος, όσο και των ίδιων των καταναλωτών, οι οποίοι θα μπορούν να απολαμβάνουν ποιοτικότερα ψάρια (Ya'acov et al.,2021).

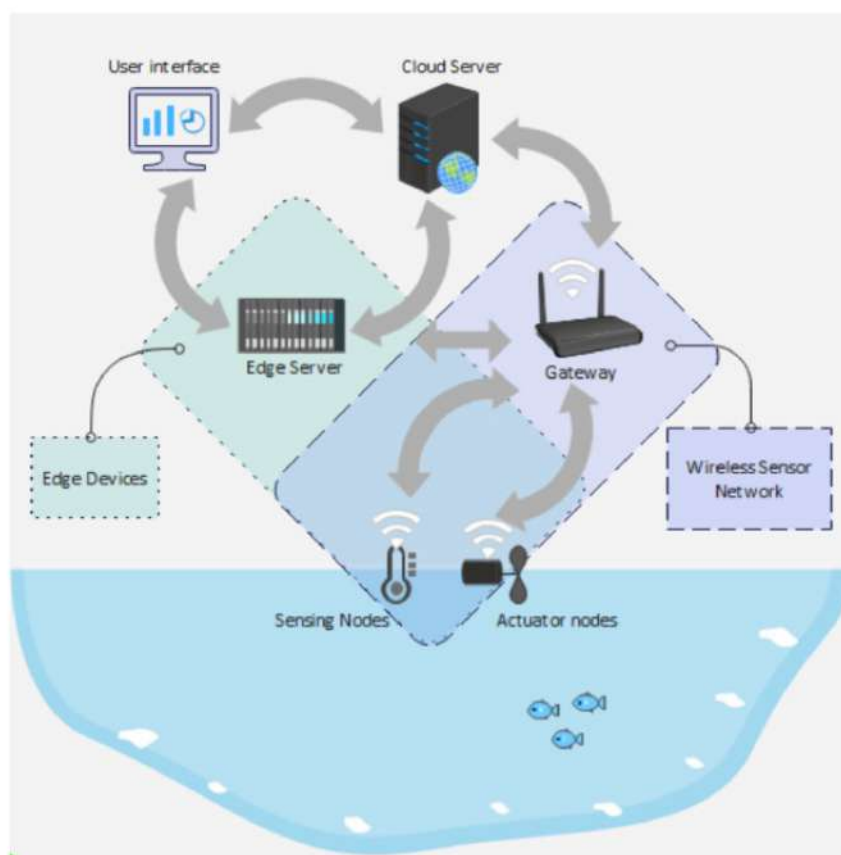
Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι μεταξύ των ετών 2019 και 2020, υπήρξε αύξηση κατά 20% της χρήσης του Internet of Things (IoT), στον τομέα της αλιείας, ενώ αντίστοιχες αυξήσεις αναμένεται να υπάρξουν και κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών. Το 2028, η παγκόσμια αγορά IoT για την αλιεία, αναμένεται να προσεγγίσει τα 1.362,22 εκατομμύρια δολάρια, παρουσιάζοντας ρυθμό ανάπτυξης της τάξεως του 8,16%, κατά τη διάρκεια των ετών 2022-2028.

Ωστόσο, απαντώνται και ορισμένοι κίνδυνοι οι οποίοι συνδέονται με την ανάπτυξη του κλάδου, όπως είναι η απουσία υποδομών σε πολλά επιμέρους σημεία όπου η αλιεία είναι αναπτυγμένη, ενώ πρόκληση για τους αλιείς αποτελεί και το υψηλό κόστος που απαιτείται για την απόκτηση και τη συντήρηση του σχετικού εξοπλισμού, που θα επιτρέπει τη διαρκή λήψη δεδομένων χρησιμοποιώντας IoT. Ακόμη, προβληματισμός δημιουργείται για ζητήματα που αφορούν την προστασία και ασφάλεια των δεδομένων που διακινούνται, όπως επίσης και ο αυξανόμενος ανταγωνισμός σε διεθνές επίπεδο, τόσο αναφορικά με την τεχνολογία, όσο και με την ίδια την αλιεία (Sanusi et al.,2024).

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει και στις ευκαιρίες που συνοδεύουν την ανάπτυξη του IoT στον τομέα της αλιείας. Ειδικότερα, οι ευκαιρίες αυτές συνδέονται με την διαρκή ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, όπως επίσης και με την περαιτέρω ανάπτυξη των Μεγάλων Δεδομένων (Big Data). Ακόμη, σημαίνοντα ρόλο διαδραματίζει και η διαρκής ανάπτυξη του 5G, το οποίο μπορεί να επιταχύνει ακόμη περισσότερο την ανάπτυξη του IoT και των εφαρμογών του στον τομέα της αλιείας. Ουσιαστικά, το 5G επιτρέπει λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης, της χαμηλής καθυστέρησης, αλλά και της υψηλής αξιοπιστίας του, όπως και εξαιτίας του μεγάλου αριθμού συνδέσεων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, την άμεση και συνάμα μαζική

σύνδεση των επιμέρους συσκευών που απαιτούνται για την εφαρμογή της ευφυούς αλιείας. Στο πέρασμα του χρόνου και καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία, η αλιευτική παραγωγή με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα συνδέονται πολύ στενά μεταξύ τους. Ουσιαστικά, οι πληροφορίες που αφορούν την αλιεία, αναμένεται να αναπτυχθούν προς την ευφυή, αυτοματοποιημένη, καθώς και πολυδιάστατη κατεύθυνση (Tamim et al.,2022).

**Εικόνα 14: Εφαρμογή IoT στον τομέα της αλιείας**



Η ανάπτυξη του IoT στον τομέα της αλιείας διαφοροποιείται μεταξύ των επιμέρους περιοχών της υφελίου. Ειδικότερα, οι περιοχές που φαίνεται να είναι περισσότερο αναπτυγμένες είναι από την Βόρεια Αμερική οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ο Καναδάς, καθώς και το Μεξικό, ενώ από την Ευρώπη, είναι η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Ιταλία, η Ρωσία, η Τουρκία. Αναφορικά με την περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού Ωκεανού, σημαντική ανάπτυξη γνωρίζει το IoT στον τομέα της αλιείας στην Κίνα, στην Ιαπωνία, στην Κορέα, στην Ινδία, καθώς επίσης και στην Αυστραλία, στην Ινδονησία, όπως και στις Ταϊλάνδη, Φιλιππίνες, Μαλαισία και Βιετνάμ. Αντίστοιχα, αναπτυγμένες περιοχές στην Νότια Αμερική στην

τεχνολογία αυτή είναι η Βραζιλία, η Αργεντινή, καθώς και η Κολομβία, ενώ στην Μέση Ανατολή και στην Αφρική, η τεχνολογία αυτή είναι περισσότερο αναπτυγμένη στην Σαουδική Αραβία, στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, όπως επίσης και στην Αίγυπτο, στην Νιγηρία, καθώς και στη Νότια Αφρική.

Ειδικότερα, στα πλαίσια των εφαρμογών αυτών μπορεί να υπάρξει αξιολόγηση των ιχθυαποθεμάτων, έτσι ώστε οι διαχειριστές να μπορούν να ορίζουν βιώσιμα επίπεδα αλίευσης από τα επιμέρους είδη αυτών. Ουσιαστικά, η εκτίμηση αυτή λαμβάνει χώρα χρησιμοποιώντας ακουστικούς αισθητήρες, όταν κατά το παρελθόν, η εκτίμηση αυτή γινόταν μέσω της χρήσης τράτας ή διχτυού, με τις μεθόδους αυτές να απαιτούν σημαντικά περισσότερο χρόνο, χωρίς να συνοδεύονται από υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι μέσω των μοντέλων αυτών μπορεί να υπάρξει ακριβής εκτίμηση των αποθεμάτων ψαριών, σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να μπορεί να επιτυγχάνεται η κατάλληλη προσαρμογή από την πλευρά των αλιέων (Jaeger & Mishra, 2020).

Επιπροσθέτως, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την συνδεσιμότητα και τις επικοινωνίες στον κλάδο της αλιείας, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η επαφή των πλοίων με την ξηρά, λόγω των καιρικών συνθηκών, είναι δύσκολη. Μέσω των τεχνολογιών αυτών μπορεί να υπάρξει πρόληψη ατυχημάτων στα αλιευτικά σκάφη, όπως επίσης και άμεση αντίδραση, σε περίπτωση που προκύψει κάποια έκτακτη ανάγκη. Σημαίνοντα ρόλο διαδραματίζει ο κατάλληλος εξοπλισμός που θα πρέπει να υπάρχει επί του πλοίου, έτσι ώστε να μπορούν να μεταδοθούν οι κατάλληλες πληροφορίες στη στεριά και να ληφθούν οι αντίστοιχες αποφάσεις (Tamin et al., 2022).

Οι εφαρμογές του IoT στον τομέα της αλιείας επιδρά και στον σχεδιασμό, καθώς και στην ναυπήγηση πλοίων, επιδιώκοντας να υπάρξει βελτιστοποίηση της λειτουργίας του πλοίου, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Ουσιαστικά, το πλοίο διαθέτει μια σειρά αισθητήρων, οι οποίοι συμβάλλουν στην άντληση πληροφοριών από το πλοίο, έτσι ώστε να μπορεί να διαπιστωθεί η εξέλιξή του με την πάροδο του χρόνου, ενώ ταυτόχρονα, εφόσον προκύψει κάποιο πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί σε ταχύτερους χρόνους. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι και το γεγονός ότι η παρακολούθηση των διαδικασιών που λαμβάνει χώρα κατά την κατασκευή ενός αλιευτικού και όχι μόνο πλοίου, επιτρέπει να υπάρξει εντοπισμός των αποκλίσεων,

όπως επίσης και πρόβλεψη των σφαλμάτων, ενώ βελτιώνει την διαδικασία λήψης αποφάσεων, σε πραγματικό χρόνο.

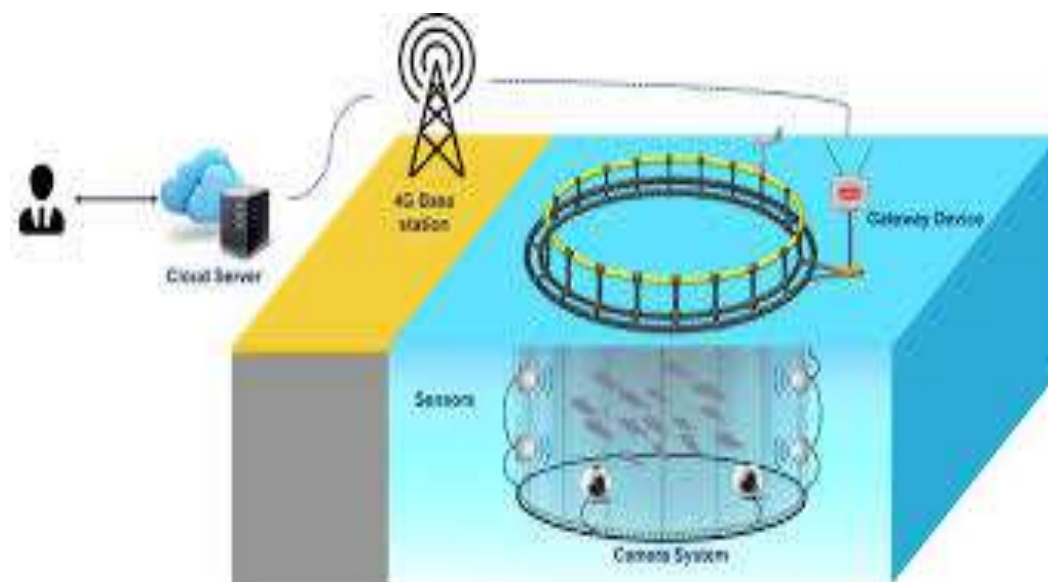
Περαιτέρω, χρησιμοποιώντας IoT στον τομέα της αλιείας, μπορεί να υπάρξει συλλογή δεδομένων με τρόπο αποτελεσματικό, με τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη των σχετικών αποφάσεων, εστιάζοντας στην εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών. Για παράδειγμα, μέσω των κατάλληλων αισθητήρων, μπορεί να υπάρξει συλλογή δεδομένων αναφορικά με την θερμοκρασία του νερού, με τα επίπεδα του pH, ενώ πληροφορίες μπορούν να αντληθούν και αναφορικά με την ύπαρξη ή μη συγκεκριμένων ειδών ψαριών. Αναφορικά με τις βιώσιμες πρακτικές αλιείας, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μέσω του IoT μπορεί να υπάρξει χρήση δεκτών του συστήματος αυτόματης αναγνώρισης, με τους δείκτες αυτούς αναπτύσσονται είτε στην στεριά, είτε στην θάλασσα και μέσω αυτών γίνεται συλλογή δεδομένων που αφορούν την θέση, την πορεία, αλλά και την ταχύτητα των σκαφών, μέσω της δημιουργίας εικονικών χαρτών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να υπάρξει προστασία των επιμέρους περιοχών από περιστατικά υπεραλίευσης (Islam et al, 2021).

Περαιτέρω, η υδατοκαλλιέργεια, αποτελεί έναν ακόμη τομέα όπου το IoT μπορεί να λειτουργήσει με τρόπο θετικό. Για παράδειγμα, στα πλαίσια των ιχθυοκαλλιεργειών υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης των ψαριών καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου, γεγονός που επιτρέπει στους εμπλεκόμενους να αντιμετωπίζουν τα όποια προβλήματα απαντώνται με ταχύτητα. Παράλληλα, μπορεί να υπάρξει αποτελεσματική παρακολούθηση παραμέτρων όπως είναι η θερμοκρασία, το pH, επιδιώκοντας μέσω των πληροφοριών αυτών να υπάρξει όσο το δυνατόν βελτιστοποίηση των διαδικασιών, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγικότητα της ιχθυοκαλλιέργειας.

Καθώς το μέγεθος των υδατοκαλλιεργειών αυξάνεται διαρκώς, αυξάνονται και οι αντίστοιχες απαιτήσεις που αφορούν την επεξεργασία πληροφοριών, οι οποίες γίνονται διαρκώς όλο και υψηλότερες και συνάμα πιο ακριβείς. Η εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας, έχει ως αποτέλεσμα να αντιμετωπίζονται μερικές από τις παραδοσιακές προκλήσεις του κλάδου αυτού, ενώ συνάμα έμφαση δίνεται στον μετασχηματισμό και την αναβάθμιση των

υδατοκαλλιέργειών, επιδιώκοντας βελτίωση της αποδοτικότητας, όπως επίσης και ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που παράγεται (Islam et al,2021).

Εικόνα 15: Εφαρμογή IoT σε υδατοκαλλιέργειες



Επιπλέον, οι εφαρμογές του IoT στον τομέα της αλιείας, επιτρέπουν στους τελικούς καταναλωτές να προμηθεύονται ψάρια με χαμηλότερο κόστος, ενώ ταυτόχρονα, σε μικρότερα επίπεδα κυμαίνεται και η περιβαλλοντική επιβάρυνση που δημιουργείται από την διαδικασία της αλίευσης. Σημαντική μπορεί να είναι και η βελτίωση των συνθηκών εργασίας των αλιέων.

Τέλος, μια ακόμη σημαντική πρόκληση για τον τομέα της αλιείας είναι η εξοικονόμηση του ενεργειακού κόστους. Χρησιμοποιώντας τεχνολογίας IoT μπορεί να υπάρξει μείωση του λειτουργικού κόστους των αλιευτικών σκαφών, καθώς μπορεί να υπάρξει καλύτερη πρόγνωση των καιρικών συνθηκών, έτσι ώστε να μειώνεται η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου. Ουσιαστικά, από τα δεδομένα που λαμβάνονται μπορούν να λαμβάνονται οι κατάλληλες αποφάσεις αναφορικά με το που και πως θα αναπτυχθεί ο αλιευτικός στόλος, έτσι ώστε να υπάρξει η καλύτερη δυνατή απόδοση, σε συνδυασμό πάντοτε με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή του IoT στον τομέα της αλιείας παρουσιάζει ορισμένες προκλήσεις, οι οποίες συνδέονται με την ίδια την φύση της αλιείας. Κατά γενική ομολογία, οποιαδήποτε συσκευή IoT και αν βυθιστεί στο νερό

για μεγάλα χρονικά διαστήματα, έχει αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται μάζα στην επιφάνειά της και έτσι μπορεί να προκαλέσει ακατάλληλη λειτουργία του συστήματος. Για παράδειγμα, αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τους αισθητήριους κόμβους, οι οποίοι και θα μπορούσαν να προκαλέσουν ανακριβείς μετρήσεις. Παράλληλα, υπάρχουν προκλήσεις που συνδέονται με την υποδομή, δηλαδή με την παροχή ενέργειας και την κάλυψη του διαδικτύου, σε όλα τα επιμέρους σημεία, όπου θα πρέπει να τοποθετείται ο σχετικός εξοπλισμός. Στα πλαίσια αυτά, η συλλογή ενέργειας, χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, αποτελεί από τις πλέον σημαντικές τεχνολογίες για την τροφοδοσία των ενεργειακών αναγκών των συστημάτων IoT. Πλέον, υπάρχουν και σχετικές λύσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που συνδέονται με τα σφάλματα των αισθητήρων, είτε του δικτύου (Vollen & Haddara, 2019).

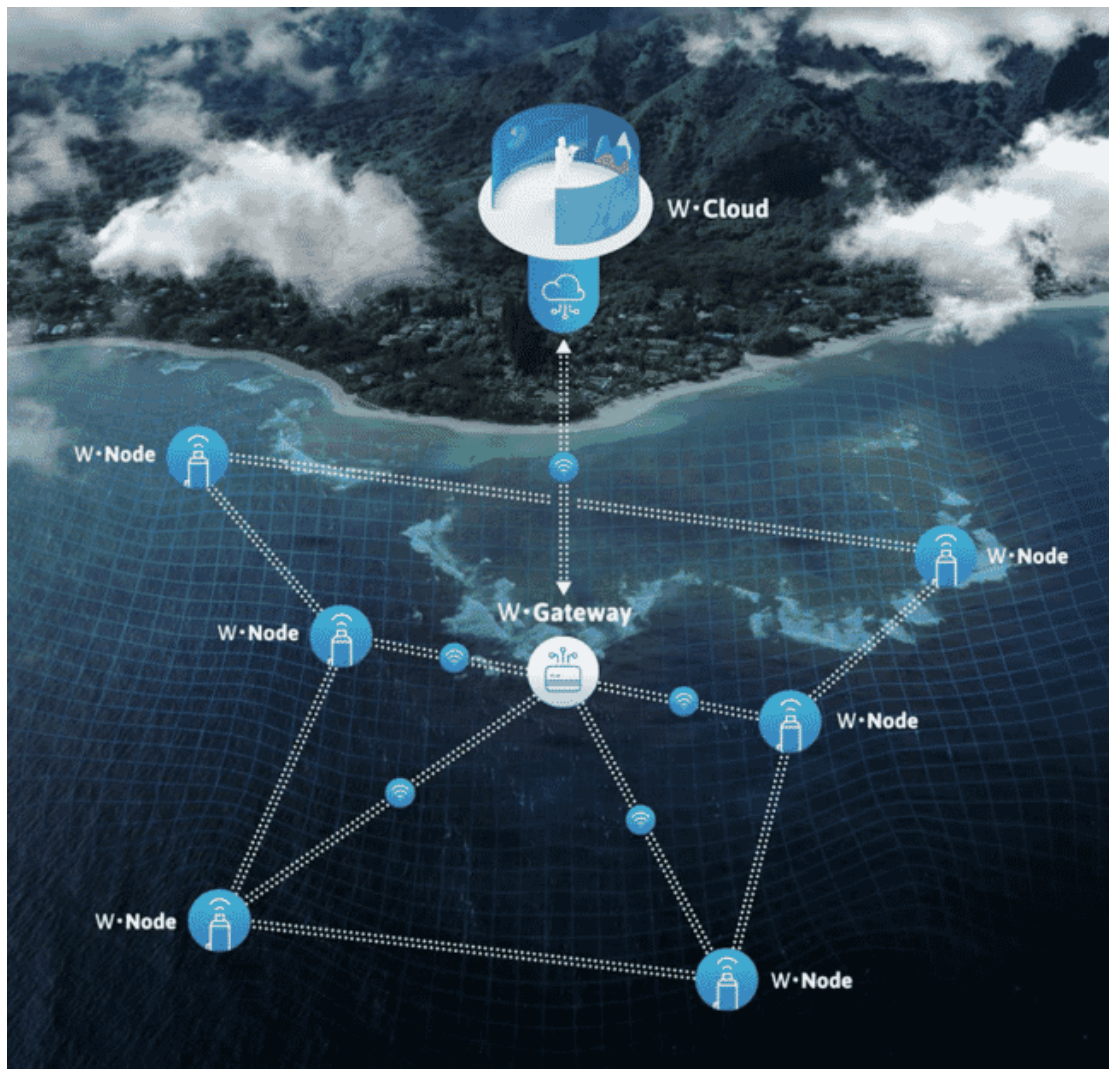
Μια ενδιαφέρουσα πρωτοβουλία περαιτέρω διάδοσης της εφαρμογής του IoT στον τομέα της αλιείας είναι το έργο που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την ονομασία SEASTAR (Surveillance of Aquaculture farmS with neTworks of underWATER sensoRs). Σκοπός του έργου είναι να ψηφιοποιηθεί η βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας, παρέχοντας παράλληλα τη δυνατότητα στους αλιείς να παρακολουθούν την υγεία των ψαριών τους εξ' αποστάσεως. Ουσιαστικά, το έργο καλείται να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της απουσίας ψηφιοποίησης στον τομέα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα οι φορείς των υδατοκαλλιεργειών να εκτελούν τις καθημερινές εργασίες και τις δραστηριότητες παρακολούθησης με χειροκίνητο τρόπο, είτε με δαπανηρές επιτόπιες παρεμβάσεις.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του παρόντος έργου διαθέτει μια καινοτόμο υποδομή υποβρύχιας ασύρματης παρακολούθησης, η οποία και δίνει τη δυνατότητα στους ιχθυοκαλλιεργητές να παρακολουθούν την υγεία των ψαριών από απόσταση, σε πραγματικό χρόνο, συλλέγοντας σχετικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα είναι η ποιότητα του νερού, αλλά και η δομική ακεραιότητα του κλωβού, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει και σχετική εκτίμηση του κινδύνου με ακρίβεια (SEASTAR, 2024).

Η αρχιτεκτονική του συστήματος που διαμορφώθηκε στηρίζεται σε τέσσερις πυλώνες, που είναι οι ακόλουθοι (SEASTAR, 2024):

- W-Node: Πρόκειται για υποβρύχιο κόμβο αισθητήρων, ο οποίος συνδέεται με αισθητήρες και ενεργοποιητές, λαμβάνοντας δεδομένα, τα οποία μεταδίδει μέσω υποβρύχιων ασύρματων δικτύων πλέγματος σε μια πύλη.
- W-Gateway: Η συσκευή αυτή μεταφράζει τα υποβρύχια σήματα σε πληροφορίες, τις οποίες αποστέλλει στο κέντρο απομακρυσμένου ελέγχου, είτε στην πλατφόρμα λογισμικού W-Cloud. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το W-Gateway, αποτελεί ένα στοιχείο, το οποίο μπορεί να υλοποιήσει ψηφιακό δίδυμο υδατοκαλλιέργειας.
- W-Cloud: Η πλατφόρμα λογισμικού αυτού δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης και οπτικοποίησης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ακόμη, η πλατφόρμα επιτρέπει την αποστολή εντολών μέσω του W-Gateway, είτε σε έναν κόμβο, είτε σε ένα σύνολο από κόμβους.
- W-Pico: Είναι το μικρότερο μόντεμ, το οποίο αποτελείται από μια πλακέτα αισθητήρων, προκειμένου να γίνεται παρακολούθηση της ευημερίας των ψαριών, σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως είναι το βάθος στο οποίο βρίσκονται τα ψάρια, όπως επίσης και την δραστηριότητα αυτών.

**Εικόνα 16: Σχεδιασμός του συστήματος SEASTAR**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Internet of Things στην κτηνοτροφία

### 5.1 Κτηνοτροφία ακριβείας

Αρχικά, θα πρέπει να προσδιοριστεί η έννοια της κτηνοτροφίας ακριβείας, η οποία αποτελεί την ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών, στα επιμέρους στάδια του κύκλου παραγωγής ζώων, όπως επίσης και στην εξαγωγή πληροφοριών, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν με ευκολία στα επιμέρους στάδια διαχείρισης, δίνοντας έμφαση τόσο στο ζώο, όσο και στο περιβάλλον, με το οποίο το ζώο αλληλοεπιδρά. Βασική επιδίωξη της κτηνοτροφίας ακριβείας αποτελεί η μοντελοποίηση, όπως

επίσης και η διαχείριση της ζωικής παραγωγής, εστιάζοντας στην αξιολόγηση με ακρίβεια της υγείας, της ευημερίας και της παραγωγικότητας των ζώων. Η συλλογή των δεδομένων, στα πλαίσια της κτηνοτροφίας ακριβείας γίνεται χρησιμοποιώντας αισθητήρες, είτε άλλες συσκευές, που διαθέτουν τα ζώα, οι οποίες κατά κύριο λόγο εφάπτονται με το σώμα τους. Επίσης, οι αισθητήρες και οι συσκευές αυτές μπορεί να τοποθετούνται περιμετρικά των εγκαταστάσεων που διαβιούν τα ζώα, αντλώντας δεδομένα για μια σειρά παραμέτρων (Isaac,2021).

Ειδικότερα, όσον αφορά τους ζωτικούς δείκτες, αυτοί μπορεί να αφορούν την θερμοκρασία του σώματος των ζώων, είτε τους καρδιακούς παλμούς, αλλά και παραμέτρους όπως είναι η αρτηριακή πίεση, τα επίπεδα των ορμονών κτλ. Περαιτέρω, οι χημικοί μεταβολίτες αφορούν την διερεύνηση της τοξικότητας, όπως και τα παθογόνα, καθώς και την συσχέτιση με το στρες. Σχετικά με την δραστηριότητα των ζώων και τα σχετικά πρότυπα συμπεριφοράς, μπορεί να διερευνώνται παράμετροι όπως είναι η αδυναμία όρθιας στάσης, οι χολότητες, η επιτάχυνση, καθώς επίσης και η απόκριση ή μη σε ερεθίσματα. Αναφορικά με τις αλλαγές στην κατανάλωση τροφής ή νερού, εξετάζονται παράμετροι όπως είναι για παράδειγμα ο χρόνος μηρυκασμού, είτε η συχνότητα με την οποία τα ζώα καταναλώνουν τα γεύματά τους. Οι αλλαγές στο περιβάλλον εκτροφής μπορεί να περιλαμβάνουν μελέτη παραγόντων όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα. Για τις αλλαγές στις φωνητικές αποκρίσεις, εξετάζονται οι παθολογικές καταστάσεις, οι ανωμαλίες οίστρου, η καταπόνηση κτλ (Akhigbe et al.,2021).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διάφοροι παράμετροι που μελετώνται χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες αυτές.

**Σχήμα 3: Διάφορες παράμετροι που μελετώνται χρησιμοποιώντας αισθητήρες και συσκευές στην κτηνοτροφία ακριβείας**



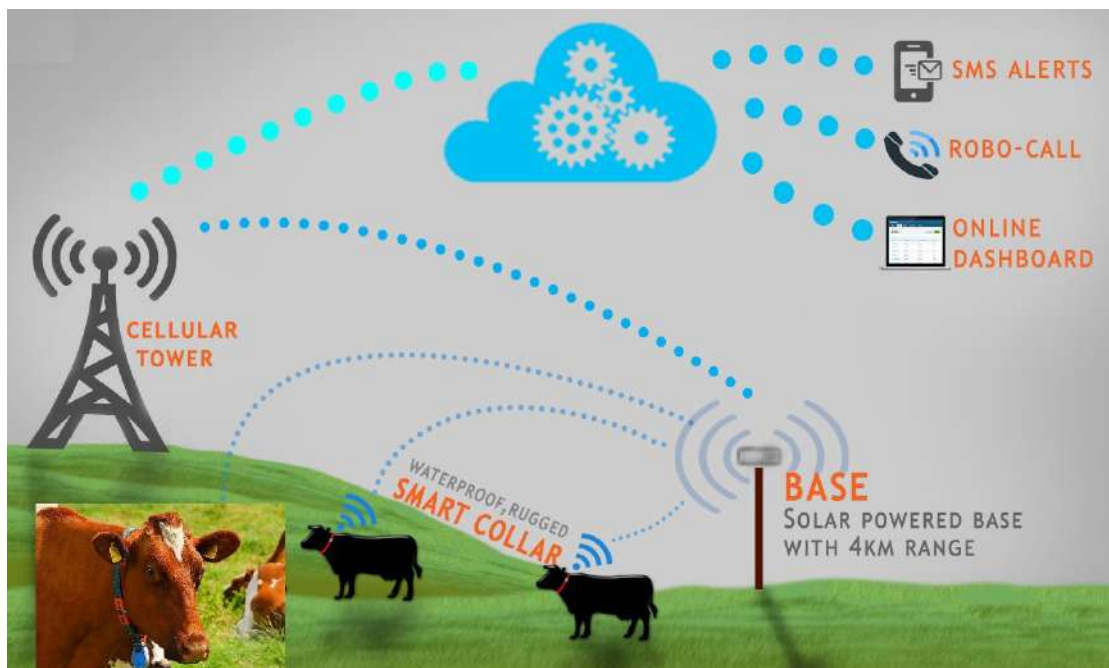
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η κτηνοτροφία ακριβείας μπορεί να αναπτυχθεί πιο εύκολα σε εντατικά συστήματα εκτροφής, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι υπάρχουν οι αναγκαίες υποδομές για την εφαρμογή της ψηφιοποίησης. Για παράδειγμα, στα πλαίσια των εντατικών συστημάτων εκτροφής, υπάρχει περιορισμένος χώρος, όπως επίσης και έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών, καθώς και καλύτερη πρόσβαση σε τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών. Ακόμη, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη χρήση ψηφιακών εργαλείων, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει αξιολόγηση των ζώων κατά τη διάρκεια της βόσκηση (Farooq et al., 2022).

## 5.2 Εφαρμογές Internet of Things στην κτηνοτροφία

Οι εφαρμογές του IoT μπορούν να αξιοποιηθούν με τρόπο αποτελεσματικό και στον τομέα της κτηνοτροφίας. Ειδικότερα, μπορεί να υπάρξει καλύτερη διαχείριση των ζώων, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη αποδοτικότητα της κτηνοτροφικής μονάδας. Για παράδειγμα, μπορούν να συνδεθούν συσκευές στα ζώα, όπως είναι οι ετικέτες αυτιών, όπως επίσης και τα περιλαίμια. Μέσω των συσκευών

αυτών, γίνεται παρακολούθηση της πρόσβασης των ζώων σε τροφή και νερό, όπως επίσης διαπιστώνονται και τα επίπεδα δραστηριότητας των ζώων. Στα πλαίσια αυτά, μπορεί να υπάρχει κατάλληλη ειδοποίηση προς τον κτηνοτρόφο, εφόσον το ζώο πίνει λιγότερο νερό από αυτό που πρέπει, είτε γίνεται ενημέρωση αυτού στις περιπτώσεις όπου το ζώο έχει πάρει λιγότερο βάρος από αυτό που πρέπει. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι μπορεί να υπάρξει παρακολούθηση των επιπέδων του άγχους των ζώων, έτσι ώστε να γίνεται αποτελεσματική διαχείριση αυτών. Μέσω των παραπάνω δεδομένων που αντλούνται, μπορεί να υπάρξει συνολική μείωση του κόστους της κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης (Unold et al.,2020).

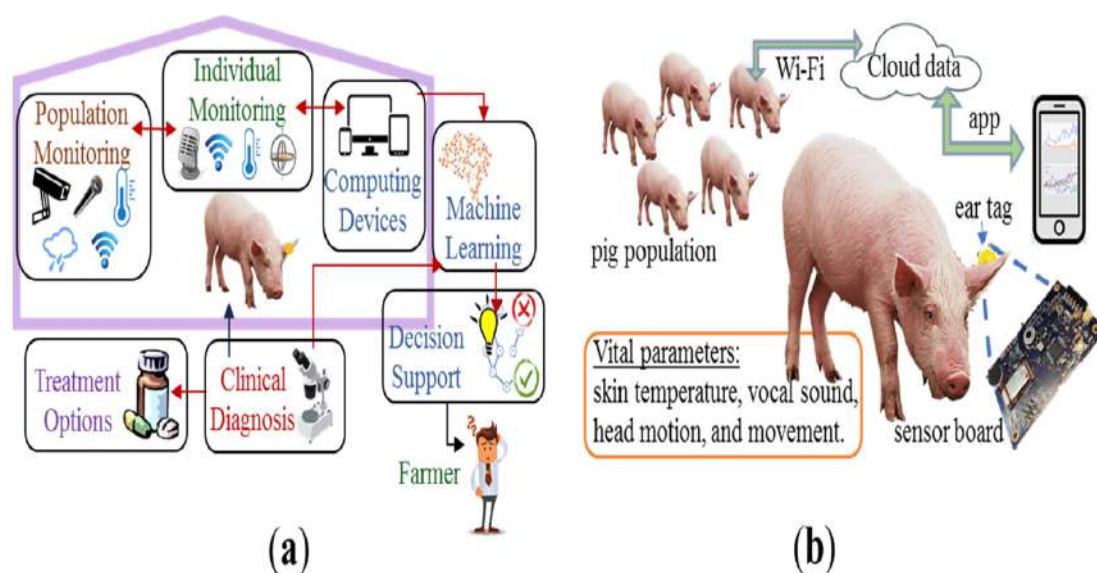
**Εικόνα 17: Εφαρμογή IoT κατά την εκτροφή αγελάδων**



Περαιτέρω, στην εκτροφή χοίρων, μπορεί να βρει εφαρμογές το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Ειδικότερα, χρησιμοποιώντας δισδιάστατες κάμερες μπορεί να γίνει μέτρηση του σωματικού βάρους των χοίρων, ενώ κάποιες φορές χρησιμοποιούνται και τρισδιάστατες κάμερες, όπως επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες για την αναγνώρισή τους. Παράλληλα, αναγνώριση των χοίρων δύναται να γίνει μέσω ηχητικών ειδοποιήσεων, χρησιμοποιώντας μικρόφωνα, τα οποία και έχουν εγκατασταθεί στις σχετικές εγκαταστάσεις αυτών. Τα σήματα που λαμβάνονται από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές μπορούν να συμβάλλουν στον εντοπισμό πιθανών ασθενειών, είτε μπορεί να εντοπιστεί η πιθανή νευρικήτητα των χοίρων (Lee et al.,2019).

Πέρα από την αναγνώριση, έμφαση δίνεται και στην ταυτοποίηση των χοίρων, όπου χρησιμοποιούνται τσιπ αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας, τα οποία και εφαρμόζονται σε ετικέτες που τοποθετούνται στα αυτιά των χοίρων, με τις ετικέτες αυτές να περιλαμβάνουν έναν αναμεταδότη, καθώς επίσης και έναν αναγνώστη ταυτοποίησης των ραδιοσυχνότητων, οι οποίες και αποστέλλονται από και προς τον αναμεταδότη (Lee et al.,2019).

**Εικόνα 18: Εφαρμογή IoT κατά την εκτροφή γουρουνιών**



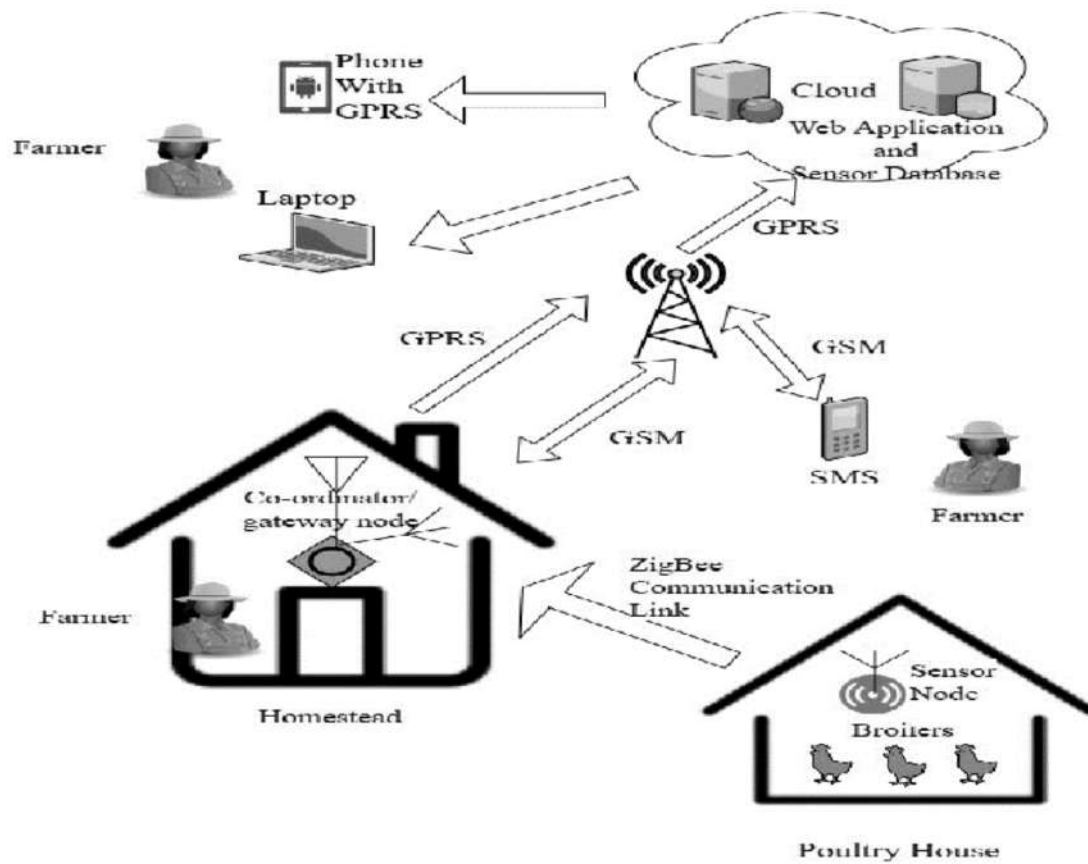
Περαιτέρω, ένα ακόμη παράδειγμα χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον τομέα της κτηνοτροφίας αφορά την διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου, επιδιώκοντας την μέγιστη δυνατή ακρίβεια και προσοχή. Ειδικότερα, μια μέθοδος που χρησιμοποιείται προς την κατεύθυνση αυτή είναι η Cyber Physical System/CPS, μέσω της οποίας χρησιμοποιώντας IoT επιτυγχάνεται συλλογή και επεξεργασία ενός τεράστιου όγκου δεδομένων, τα οποία και προέρχονται από πλήθος διαφορετικών εφαρμογών έξυπνων συσκευών. Ακόμη, για την διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου μπορεί να χρησιμοποιείται μια ακόμη μέθοδος, όπου πρόκειται για ανιχνευτή ανωμαλιών, που ουσιαστικά καταγράφει τα ηχητικά δεδομένα που προέρχονται από τον οίστρο των ζώων, ο οποίος και περιέχει διαδικασίες αναπαραγωγής τους. Επομένως, μέσω των δεδομένων αυτών που αντλούνται, μπορούν να καταγραφούν πιθανές ανωμαλίες που αφορούν την αναπαραγωγή των ζώων. Επιπλέον, μια ακόμη μέθοδος που αφορά ιδίως την παρακολούθηση του οίστρου των ζώων είναι η επιτήρηση με κάμερες από συστήματα παρακολούθησης, τα οποία και συνδυάζονται

με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, με αποτέλεσμα η διαδικασία αυτή να γίνεται αυτόματα, χωρίς να υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση (Nobrega et al.,2019).

Περαιτέρω, για την παρακολούθηση του οίστρου σε ένα μεγάλο αγρόκτημα και σε πολλά ζώα την ίδια στιγμή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός Διαδικτύου των Πραγμάτων και αρχιτεκτονικής CPS. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα μέσω τη ανάλυσης με τον κατάλληλο τρόπο των ήχων που παράγονται από τα ζώα, όπως για παράδειγμα είναι ο βήχας, με την διαδικασία αυτή να γίνεται μέσω αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, είτε μέσω υπολογιστικής καθοδηγούμενης γνωστικής διαδικασίας αυτοματισμού. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι μια ακόμη μέθοδος που βρίσκει εφαρμογές στη διεύθυνση της κτηνοτροφίας είναι χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή στην επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από τις IoT συσκευές, έχοντας ως στόχο την ενημέρωση των κτηνοτρόφων, σχετικά με την εμφάνιση οποιοδήποτε μη φυσιολογικού περιστατικού (Nobrega et al.,2019).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την διαχείριση πληροφοριών που αφορούν την εκτροφή πουλερικών. Ουσιαστικά, τοποθετούνται αισθητήρες περιβάλλοντος, καθώς και μικροϋπολογιστές για να αποθηκεύουν τα δεδομένα αυτά, αλλά και Wi-Fi συσκευές. Οι πληροφορίες αυτές που μεταφέρονται μπορεί να αφορούν την κατάσταση της υγείας των πουλερικών, όπως για παράδειγμα είναι πληροφορίες για το σωματικό τους βάρος, είτε για την πρόσληψη τροφής, είτε πόσιμου νερού, ενώ έμφαση δίνεται και στην άντληση πληροφοριών που αφορούν την ποιότητα των αυγών που γεννούν τα πουλερικά. Επιπλέον, οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπάρξει ανάλυση του σχήματος των αυγών των πουλερικών, όπως επίσης και για να υπάρξει σχετική βοήθεια στην κατασκευή προτύπων για την εκτροφή των πουλερικών, ενώ άλλες πληροφορίες που αντλούνται μπορεί να αφορούν το ποσοστό θνητότητας των πουλερικών, είτε οι πληροφορίες αυτές να συμβάλλουν στην διάγνωση ασθενειών, μέσω αναλύσεων εικόνας και ήχου (Zheng et al.,2021).

**Εικόνα 19: Εφαρμογή IoT κατά την εκτροφή πουλερικών**



## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επιδράσει και τον πρωτογενή τομέα, διαμορφώνοντας νέες πρακτικές οργάνωσης και παρακολούθησης της γεωργικής παραγωγής. Ειδικότερα, οι τεχνολογίες αυτές έχουν συμβάλλει στην μετάβαση από την παραδοσιακή γεωργία προς την ευφυή γεωργία και την γεωργία ακριβείας. Η χρήση των ψηφιακών αυτών τεχνολογιών στην γεωργία δημιουργεί πλήθος ωφελειών, καθώς οι γεωργοί μπορούν να λαμβάνουν καλύτερες και αποτελεσματικότερες αποφάσεις, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να βελτιστοποιούν τις δραστηριότητές τους, καθώς και τους πόρους που χρησιμοποιούν για την ανάπτυξη των καλλιεργειών τους. Ταυτόχρονα, η αποτελεσματική και ορθολογική διαχείριση των πόρων, όπως είναι η ενέργεια, το νερό, αλλά και τα γεωργικά εφόδια μπορούν να συμβάλλουν στην μετάβαση ενός περισσότερο βιώσιμου γεωργικού τομέα, αυξάνοντας την ίδια στιγμή την ποιότητα των προϊόντων και κατ' επέκταση τα οικονομικά οφέλη που αποκομίζουν οι γεωργοί από την διάθεση των προϊόντων τους. Παράλληλα, η αυτοματοποίηση σημαντικών καθηκόντων των γεωργών συμβάλλει και στη μείωση του φόρτου εργασίας τους, όπως επίσης και στην αποτελεσματικότερη εργασία τους. Ακόμη, οι πρακτικές ευφυούς γεωργίας συμβάλλουν στην αυξημένη διαφάνεια κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού των γεωργικών προϊόντων.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), αποτελεί σημαντική εξέλιξη για τον γεωργικό τομέα, καθώς αξιοποιώντας μιας σειρά αισθητήρων, όπως μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, μπορούν και λαμβάνονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για ένα πλήθος παραμέτρων. Τέτοιες παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους κτλ. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών, επιτρέπει την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων, όπως επίσης και την αυτοματοποίηση διαδικασιών, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση όπου η στάθμη της υγρασίας βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα υπάρχει δυνατότητα ενεργοποίησης του συστήματος άρδευσης.

Ταυτόχρονα, οι επιμέρους τεχνολογίες IoT, μέσω της λήψης των κατάλληλων αποφάσεων, συμβάλλουν στην βελτίωση της βιωσιμότητας των καλλιεργητικών πρακτικών, προς όφελος των παραγωγών, όσο και των καταναλωτών. Παράλληλα,

οφέλη δημιουργούνται και για την αλυσίδα εφοδιασμού, καθώς οι καταναλωτές έχουν αυξημένες δυνατότητες ιχνηλασιμότητας των προϊόντων και διερεύνησης της πραγματικής ποιότητας και κατάστασης αυτού.

Πέρα από την γεωργία, ενδιαφέρουσες εφαρμογές IoT υπάρχουν και στους τομείς της κτηνοτροφίας, αλλά και στην αλιεία. Ειδικότερα, στην κτηνοτροφία, λαμβάνονται δεδομένα που αφορούν την κατάσταση της υγείας των ζώων, όπως επίσης και την αποδοτικότητα αυτών, ενώ αναβαθμίζεται και η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων που παράγονται από τα ζώα. Αντίστοιχα, σχετικά με τον τομέα της αλιείας, ο IoT συμβάλλει στην προστασία του θαλάσσιου οικοσυστήματος και αποτρέπει φαινόμενα υπεραλίευσης, ενώ συμβάλλει επίσης και στον μετριασμό της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλείται στο θαλάσσιο αλίευμα. Ταυτόχρονα, μέσω των σχετικών αυτών τεχνολογιών, περιορίζονται τα έξοδα που αφορούν την αλιεύση και κυρίως τα έξοδα των καυσίμων, τα οποία είναι και από τα πλέον σημαντικά, αν όχι τα πιο σημαντικά.

Οι Έλληνες γεωργοί, όπως και αντίστοιχα οι γεωργοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μπορούν να αξιοποιήσουν τις νέες τεχνολογίες, όπου συμπεριλαμβάνεται και το IoT, έτσι ώστε να αποκομίσουν όλα τα σχετικά οφέλη. Προς την κατεύθυνση αυτή μπορούν να αξιοποιηθούν διαθέσιμοι πόροι από μια σειρά ευρωπαϊκών προγραμμάτων, όπως επίσης αντίστοιχα και πόροι που προέρχονται από εθνικά προγράμματα, τα οποία επικεντρώνονται σε ζητήματα τεχνολογίας. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να δοθεί έμφαση, τόσο από τους ίδιους τους γεωργούς, όσο και από ομάδες αυτών, αλλά και από μια σειρά επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον κλάδο αυτό, στην ανάπτυξη συνεργειών με την ακαδημαϊκή κοινότητα, έτσι ώστε η να μπορούν να ενσωματωθούν με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο οι διαθέσιμες τεχνολογίες, αλλά και να αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες, οι οποίες και συνάδουν με τις επιμέρους ανάγκες, των διαφορετικών περιοχών, αλλά και των επιμέρους καλλιεργειών, είτε αντίστοιχα των αναγκών της κτηνοτροφίας.

Η επιτυχία της εφαρμογής του IoT στον πρωτογενή τομέα, πέρα από την χρηματοδότηση, καθώς και τις σχετικές τεχνολογικές λύσεις, απαιτεί μια διαφορετική κουλτούρα, που θα είναι πλέον διάχυτη στους εμπλεκόμενους. Στα πλαίσια της κουλτούρας αυτής, θα πρέπει να τίθενται στο επίκεντρο η βελτιστοποίηση των πόρων, όπως επίσης και η βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας, αλλά και η βιωσιμότητα του

πρωτογενούς τομέα, επιδιώκοντας να υπάρξει μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που προκαλεί, αλλά ταυτόχρονα και αναβαθμισμένη ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T., & Upadhyaya, S. K. (2004). On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 44(1), 71-91.

Agensio (2024). *SymbIoT*. Διαθέσιμο στο: <https://www.agensio.gr/el/projects/symbiot-el/> [Πρόσβαση 30 Ιουνίου 2024].

Akhigbe, B. I., Munir, K., Akinade, O., Akanbi, L., & Oyedele, L. O. (2021). IoT technologies for livestock management: a review of present status, opportunities, and future trends. *Big data and cognitive computing*, 5(1), 10.

Akkaş, M. A., & Sokullu, R. (2017). An IoT-based greenhouse monitoring system with Micaz motes. *Procedia computer science*, 113, 603-608.

Ali, T. A., Choksi, V., & Potdar, M. B. (2018, May). *Precision agriculture monitoring system using green internet of things (g-iot)*. In *2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)* (pp. 481-487). IEEE.

Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van der Wal, T., Soto-Embodas, I., Gomez-Barbero, M., Barners, A.P., Eory, V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics, *Sustainability*, 9(8), 1339.

Brajović, M., Vujović, S., & Đukanović, S. (2015, June). An overview of smart irrigation software. In *2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)* (pp. 353-356). IEEE.

Brewster, C., Roussaki, I., Kalatzis, N., Doolin, K., & Ellis, K. (2017). IoT in agriculture: Designing a Europe-wide large-scale pilot. *IEEE communications magazine*, 55(9), 26-33.

Bunz, M., & Meikle, G. (2017). *The internet of things*. John Wiley & Sons.

Darshan, K. R., & Anandakumar, K. R. (2015, December). A comprehensive review on usage of Internet of Things (IoT) in healthcare system. In *2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)* (pp. 132-136). IEEE.

Färber, M., Svetashova, Y., & Harth, A. (2021). Theories of Meaning for the Internet of Things. *Concepts in Action: Representation, Learning, and Application*, 37-61.

Farooq, M. S., Sohail, O. O., Abid, A., & Rasheed, S. (2022). A survey on the role of iot in agriculture for the implementation of smart livestock environment. *IEEE Access*, 10, 9483-9505.

Fox, G. C., Kamburugamuve, S., & Hartman, R. D. (2012, May). Architecture and measured characteristics of a cloud based internet of things. In *2012 international conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)* (pp. 6-12). IEEE

Gebbers, R. & Adamchuk, V.I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327 (5967), 828-831

Gertsis, A., Fountas, D., Arpsanu, I., Michaloudis, M. (2013). Precision agriculture applications in a high density olive grove adapted for mechanical harvesting in Greece. *Procedia Technology*, 8, 152-156.

- HaddadPajouh, H., Dehghantanha, A., Parizi, R. M., Aledhari, M., & Karimipour, H. (2021). A survey on internet of things security: Requirements, challenges, and solutions. *Internet of Things*, 14, 100129.
- Haque, M.S.T., Rouf, K.A., Khan, Z.A., Zishan, M.S.R. (2019). Design and implementation of a IoT based automated agricultural monitoring and control system. In 2019 International Conference on robotics, electrical and signal processing techniques (ICREST), 13-16.
- Hossein Motlagh, N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the energy sector. *Energies*, 13(2), 494.
- Huang, Y., & Li, G. (2010, May). A semantic analysis for internet of things. In *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation* (Vol. 1, pp. 336-339). IEEE.
- Imam, S. A., Choudhary, A., & Sachan, V. K. (2015, October). Design issues for wireless sensor networks and smart humidity sensors for precision agriculture: A review. In *2015 International Conference on Soft Computing Techniques and Implementations (ICSCTI)* (pp. 181-187). IEEE.
- Isaac, J. O. (2021). IOT-Livestock monitoring and management system. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 5(9), 254-257.
- Islam, M. M., Uddin, J., Kashem, M. A., Rabbi, F., & Hasnaa, M. W. (2021). Design and implementation of an IoT system for predicting aqua fisheries using arduino and KNN. In *Intelligent Human Computer Interaction: 12th International Conference, IHCI 2020, Daegu, South Korea, November 24–26, 2020, Proceedings, Part II* 12 (pp. 108-118). Springer International Publishing.
- Jæger, B., & Mishra, A. (2020). IoT platform for seafood farmers and consumers. *Sensors*, 20(15), 4230.
- Jayaraman, P., Yavari, A., Georgakopoulos, D., Morshed, A., Zaslavsky, A. (2016). Internet of Things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt, *Sensors*, 16(11), 14.
- Kim, J., Kim, S., Ju, C., & Son, H. I. (2019). Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications. *Ieee Access*, 7, 105100-105115.
- Lee, S., Ahn, H., Seo, J., Chung, Y., Park, D., & Pan, S. (2019). Practical monitoring of undergrown pigs for IoT-based large-scale smart farm. *IEEE Access*, 7, 173796-173810.
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173.
- Motlagh, H. N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the energy sector. *Energies*, 13(2), 494.
- Muthuramalingam, S., Bharathi, A., Rakesh Kumar, S., Gayathri, N., Sathiyaraj, R., & Balamurugan, B. (2019). IoT based intelligent transportation system (IoT-ITS) for global perspective: A case study. *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation*, 279-300
- Nobrega, L., Goncalves, P., Padreiras, P., Pereira, J. (2019). An IoT-Based Solution for Intelligent Farming, *Sensors*, 19(3), 7-20.

Pal, S., Hitchens, M., Rabehaja, T., & Mukhopadhyay, S. (2020). Security requirements for the internet of things: A systematic approach. *Sensors*, 20(20), 5897.

Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5).

Perz, R., & Wronowski, K. (2019). UAV application for precision agriculture. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91(2), 257-263.

Precedence Research (2024). *Precision Farming Market (By Offering: Hardware, Sensing and Monitoring Devices, Software, Services; By Application: Yield Monitoring, Crop Scouting, Field Mapping, Variable Rate Application, Weather Tracking and Forecasting, Inventory Management, Farm Labor Management, Financial Management, Others; By Technology: Precision Farming Guidance System, Remote Sensing Precision Farming, Variable-Rate Technology Precision Farming) - Market Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2023-2032*. Διαθέσιμο στο: <https://www.precedenceresearch.com/precision-farming-market> [Πρόσβαση 15 Απριλίου 2024].

Raj, J. S., & Ananthi, J. V. (2019). Automation using IoT in greenhouse environment. *Journal of Information Technology*, 1(01), 38-47.

Sanusi, S. M., Paul, S. I., & Muhammad, A. (2024). Internet of Fisheries Things (IOFT) for Blue Economy & Ecosystem. *Data Science for Agricultural Innovation and Productivity*, 127.

Saqlain, J. (2018). IoT and 5G: History evolution and its architecture their compatibility and future.

Schönfeld, M. V., Heil, R., & Bittner, L. (2018). Big data on a farm—Smart farming. *Big data in context*, 109-120.

SEASTAR (2024). Διαθέσιμο στο: <https://www.seastar-project.eu/> [Πρόσβαση 30 Απριλίου 2024].

Shah, J., & Mishra, B. (2016, January). IoT enabled environmental monitoring system for smart cities. In *2016 international conference on internet of things and applications (IOTA)* (pp. 383-388). IEEE.

Sharma, N., Shamkuwar, M., & Singh, I. (2019). The history, present and future with IoT. *Internet of things and big data analytics for smart generation*, 27-51.

Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE transactions on industrial informatics*, 14(11), 4724-4734.

Suresh, P., Daniel, J. V., Parthasarathy, V., & Aswathy, R. H. (2014, November). A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. In *2014 International conference on science engineering and management research (ICSEMR)* (pp. 1-8). IEEE.

Tamim, A. T., Begum, H., Shachcho, S. A., Khan, M. M., Yeboah-Akowuah, B., Masud, M., & Al-Amri, J. F. (2022). Development of IoT Based Fish Monitoring System for Aquaculture. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 32(1).

- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349.
- Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2020). Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors. *Sensors*, 20(11), 3113.
- Unold, O., Nikodem, M., Piasecki, M., Szyc, K., Maciejewski, H., Bawiec, M., ... & Zdunek, M. (2020, June). IoT-based cow health monitoring system. In *International Conference on Computational Science* (pp. 344-356). Cham: Springer International Publishing.
- Virk, A. L., Noor, M. A., Fiaz, S., Hussain, S., Hussain, H. A., Rehman, M., ... & Ma, W. (2020). Smart farming: an overview. *Smart village technology: concepts and developments*, 191-201.
- Vollen, A., & Haddara, M. (2019). IoT aboard coastal vessels: a case study in the fishing industry. In *Mobile Web and Intelligent Information Systems: 16th International Conference, MobiWIS 2019, Istanbul, Turkey, August 26–28, 2019, Proceedings 16* (pp. 163-177). Springer International Publishing.
- Yaqoob, I., Ahmed, E., Hashem, I. A. T., Ahmed, A. I. A., Gani, A., Imran, M., & Guizani, M. (2017). Internet of things architecture: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges. *IEEE wireless communications*, 24(3), 10-16.
- Ya'acob, N., Dzulkefli, N. N. S. N., Yusof, A. L., Kassim, M., Naim, N. F., & Aris, S. S. M. (2021, August). Water quality monitoring system for fisheries using internet of things (iot). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1176, No. 1, p. 012016). IOP Publishing
- Yin, H., Cao, Y., Marelli, B., Zeng, X., Mason, A. J., & Cao, C. (2021). Soil sensors and plant wearables for smart and precision agriculture. *Advanced Materials*, 33(20), 2007764.
- Wang, Q., Zhu, X., Ni, Y., Gu, L., & Zhu, H. (2020). Blockchain for the IoT and industrial IoT: A review. *Internet of Things*, 10, 100081.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural systems*, 153, 69-80
- Αγγελάκης, Α. (2020). Ψηφιακός μετασχηματισμός και γεωργική παραγωγή, κινητήριες παράγοντες, επιδράσεις, προκλήσεις και προϋποθέσεις υιοθέτηση νέων τεχνολογιών συστημάτων-Ερευνητικά Κείμενα. Αθήνα: ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ-Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων ΓΣΕΒΕΕ.
- Zheng, H., Zhang, T., Fang, C., Zeng, C., Zeng, J., Yang, X. (2021). Design and Implementation of Poultry Farming Information Management System Based on Cloud Database, *Animals*, 11(3),2-13.
- Αδαμίδης, Α. (2020). Τεχνολογίες ευφυσής γεωργίας σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών. *ΑΓΡΟΤΗΣ*, τεύχος 479, 46-47, Έτος 76.
- Γέμτος, Θ.Α., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., Blackmore, S. (2003). Γεωργία ακριβείας: προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην νότια Ευρώπη. Συνέδριο ΕΓΜΕ. Αθήνα:
- Καθρέπτης, Μ. & Κωνσταντινίδης, Σ. (2022). Εφαρμογές έξυπνης γεωργίας στις δενδροκαλλιέργειες-Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές στην Κεντρική Μακεδονία. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιώς-Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων-Πρόγραμμα Σπουδών «Κλιματική Κρίση και Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών» (MSc in Climate

Crisis and Information and Communication Technologies)-Μάθημα: Προηγμένες Εφαρμογές Ψηφιακής Γεωργίας και Αειφορία.

ΟΡΑΛΙ (2024). *Πρόγραμμα ΟΡΑΛΙ: Εφαρμογή ορθολογικής άρδευσης και λίπανσης με χρήση καινοτόμων τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας | ΕΠΑνΕΚ 2014-2020.*

Φούντας, Σ. & Γέμτος, Θ. (2015). *Γεωργία Ακριβείας*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.