



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΤΜΗΜΑ ΝΟΜΙΚΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΚΑΙΟ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

«Η ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΑ
ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ»

Διπλωματική Εργασία

της

Αναστασοπούλου Σταυρούλας

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2022

«Η ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΑ
ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ»

Αναστασοπούλου Σταυρούλα

Πτυχίο Νομικής, ΑΠΘ, 2020

Διπλωματική Εργασία

υποβαλλόμενη για τη μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΑΙΟ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Επιβλέπων Καθηγητής
Κωνσταντίνος Ψάννης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 03/03/2022

Όνοματεπώνυμο 1

Όνοματεπώνυμο 2

Όνοματεπώνυμο 3

ΨΑΝΝΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

ΜΥΛΩΣΗ ΜΑΡΙΑ

ΜΑΝΤΑΣ ΜΙΧΑΗΛ

Αναστασοπούλου Σταυρούλα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), προσφέρουν στους χρήστες τη δυνατότητα συγκέντρωσης, επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων, τα οποία προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Η ραγδαία εξάπλωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), καθώς και άλλων, νέων τεχνολογιών, όπως το Cloud Computing (CC), τα Big Data Analytics και η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), έχει οδηγήσει στην εκδήλωση μεγάλου ενδιαφέροντος από την πλευρά του βιομηχανικού τομέα. Αποτέλεσμα του ενδιαφέροντος αυτού, είναι η ενσωμάτωση των ΤΠΕ στον τομέα της παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, στον αγροτικό τομέα, η εμφάνιση διάφορων εφαρμογών, οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση αισθητήρων, ενεργοποιητών, ρομπότ και υπολογιστικών συστημάτων, οδηγούν στη δημιουργία ενός έξυπνου περιβάλλοντος, μέσα από το οποίο οι χρήστες μπορούν να λάβουν όλες τις αναγκαίες πληροφορίες που χρειάζονται, για την καλύτερη διαχείριση ενός αγροκτήματος. Στην παρούσα εργασία, θα αναλυθεί ο ρόλος των νέων ΤΠΕ, στον τομέα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, ο οποίος οδηγεί σε αυτό που αποκαλούμε «Έξυπνη Γεωργία», μία καινοτόμα δηλαδή, ιδέα διαχείρισης ενός αγροκτήματος, που διευκολύνει να ξεπεραστούν οι προκλήσεις που υπάρχουν στο πεδίο αυτό. Παράλληλα, θα αναλυθούν τα ζητήματα που προκύπτουν σχετικά με την ασφάλεια των δεδομένων που παράγονται από τους χρήστες αυτών των έξυπνων εφαρμογών, στον αγροτικό τομέα και τέλος, θα παρουσιαστούν κάποιες λύσεις, σχετικά με τα ζητήματα προστασίας των δεδομένων, με τη χρήση της τεχνολογίας Blockchain.

Λέξεις Κλειδιά: *Internet of Things (IoT), Smart Farming, Precision Agriculture, Precision Livestock Farming, Big Data, Cloud Computing, Blockchain*

Abstract

The latest developments in the field of Information and Communication Technology (ICT) provide users with the capability of gathering, processing and analyzing the data that comes from different sources. The rapid spread of the Internet of Things (IoT) and other new technologies, like Cloud Computing (CC), Big Data Analytics and Artificial Intelligence, has led to the expression of great interest from the industrial sector. The result of this kind of interest is the incorporation of ICT in the field of production. More specifically, in the agriculture sector the appearance of different applications which include the use of sensors, actuators, robots and computational systems lead to the creation of a smart environment, through which the users can receive all the necessary information that they need for the best possible farm management. In the present work there is an effort to analyze the role of the new ICTs in the field of agriculture and stock-farming that leads to what we call “Smart Farming”, which is an innovative idea of a farm management that enables the farmers to overcome all the challenges that exist in this field. Moreover, we will discuss the issues that arising, concerning the security of data that derive from the users of this kind of applications, in the agriculture sector. In the end, some solutions that emerge through the use of the new technology of Blockchain, relating to the data protection challenges, will be presented.

Keywords: *Internet of Things (IoT), Smart Farming, Precision Agriculture, Precision Livestock Farming, Big Data, Cloud Computing, Blockchain*

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Μακεδονίας και του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης, με τίτλο «Δίκαιο και Πληροφορική». Ως απόφοιτος της Νομικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, διέκρινα σε αυτό το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα, τα χαρακτηριστικά που χρειάζονται, ώστε να συνδυάσω τις θεωρητικές γνώσεις, που έλαβα μέσα από τη φοίτησή μου στη Νομική σχολή, με τις τεχνικές γνώσεις που προσφέρει η επιστήμη της Πληροφορικής, ανοίγοντας τις πόρτες για ένα ψηφιακό μέλλον. Ο συνδυασμός αυτών των δύο αντικειμένων, ήταν αυτό που με ενθουσίασε εξ αρχής. Βέβαια, δεν έλειψαν οι δυσκολίες της καθημερινότητας, οι οποίες προέρχονταν, τόσο από την είσοδο σε ένα τελείως διαφορετικό αντικείμενο, από αυτό που είχα επιλέξει, όσο και από τις συνθήκες που όλοι βιώνουμε αυτή την εποχή της πανδημίας. Αυτό που θαύμασα στο πρόγραμμα αυτό, ήταν η ταχύτατη προσαρμογή του στις εξελίξεις. Αν και τα μαθήματα που διεξήχθησαν ήταν εξ'αποστάσεως, οι καθηγητές φρόντισαν, ώστε να μας προσφέρουν όλες τις γνώσεις και τη βοήθεια που χρειαζόμασταν, όπως θα γινόταν και δια ζώσης. Δεν θα μπορούσα λοιπόν, να μην ευχαριστήσω την κα. Ευγενία Αλεξανδροπούλου-Αιγυπτιάδου, υπό τη Διεύθυνση της οποίας διεξάγεται το παρόν πρόγραμμα, για την άριστη λειτουργία του, υπό αυτές τις δύσκολες συνθήκες. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα στελέχη της γραμματείας του προγράμματος αυτού, που ήταν εκεί λύνοντας κάθε μας απορία, αλλά και όλους τους καθηγητές, οι οποίοι με την άριστη επιστημονική τους καθοδήγηση, βοήθησαν στο να ολοκληρώσω τις σπουδές μου. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ.Ψάννη Κωνσταντίνο, ο οποίος ως επιβλέπων καθηγητής, με καθοδήγησε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, δείχνοντας μου εμπιστοσύνη και προσφέροντας μου την κατάλληλη καθοδήγηση. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία με στηρίζει σε κάθε μου απόφαση και με βοηθά να ανταπεξέλθω σε όλες τις δυσκολίες.

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 . ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Πρόβλημα – Σημαντικότητα του θέματος	1
1.2 Σκοπός – Στόχοι	4
1.3 Μεθοδολογία	5
1.4 Διάρθρωση της μελέτης	5
2 . ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ	7
2.1 Ιστορική αναδρομή	7
2.2 Έξυπνη Γεωργία	9
2.3 Γεωργία Ακριβείας	12
2.4 Κτηνοτροφία Ακριβείας	13
3 . ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ	15
3.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)	15
3.1.1 Εισαγωγή στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων	15
3.1.2 Τεχνική υποδομή ενός αγροτικού συστήματος IoT	18
3.1.3 Δίκτυα και πρωτόκολλα επικοινωνίας σε ένα αγροτικό σύστημα IoT	49
3.2 Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)	58
3.2.1 Ορισμός	58
3.2.2 Μεγάλα Δεδομένα και Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)	59
3.2.3 Χαρακτηριστικά	61
3.2.4 Τα Μεγάλα Δεδομένα στον αγροτικό τομέα	64
3.2.5 Τα Μεγάλα Δεδομένα στον κτηνοτροφικό τομέα	68
3.2.6 Αλυσίδα Δεδομένων (Data Chain)	70
3.2.7 Ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)	71
3.2.8 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems/ DSS)	74
3.3 Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)	76
3.3.1 Ορισμός	76
3.3.2 Χαρακτηριστικά	78
3.3.3 Mobile Cloud Computing (MCC)	79
3.3.4 Η χρήση του Cloud Computing στον αγροτικό τομέα	79
3.3.5 Προκλήσεις στο πεδίο του Cloud Computing	81
3.4 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)	82

3.4.1 Ορισμός	82
3.4.2 Τεχνολογίες που ενσωματώνονται στην Τεχνητή Νοημοσύνη	84
3.4.3 Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον αγροτικό τομέα	86
3.5 Blockchain	89
3.5.1 Τι είναι το Blockchain;	89
3.5.2 Χαρακτηριστικά	90
3.5.3 Κατηγορίες Blockchain	91
3.5.4 Πώς λειτουργεί το blockchain	93
3.5.5 Πρωτόκολλα Blockchain	94
3.5.6 Blockchain και IoT (Blockchain-based IoT/ΒIoT)	95
3.5.7 Το Blockchain στον αγροτικό τομέα	96
3.5.8 Έξυπνα συμβόλαια	102
4 . ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ	104
4.1 Η ανάπτυξη του Smart Farming στην Ευρώπη	104
4.2 Η ανάπτυξη του Smart Farming στην Ασία	112
4.3 Η ανάπτυξη του Smart Farming στις ΗΠΑ	114
5. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΑΓΡΟΕΚΦΟΒΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΤΠΕ ΣΕ ΕΝΑ ΕΞΥΠΝΟ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	115
5.1 Το φαινόμενο του Αγρο-εκφοβισμού (Agroterrorism)	115
5.2 Ζητήματα ασφάλειας δεδομένων, που εντοπίζονται στην αρχιτεκτονική ενός IoT δικτύου	117
5.3 Επιθέσεις κατά της ιδιωτικότητας στα ΒIoT δίκτυα	123
6 . ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ	125
6.1 Προϋποθέσεις ασφαλείας σε ένα αγροτικό σύστημα IoT	125
6.2 Η χρήση του Cloud Computing για την αντιμετώπιση επιθέσεων με ιούς και κακόβουλο λογισμικό	126
6.3 Τεχνικές προστασίας της ιδιωτικότητας με τη χρήση της τεχνολογίας Blockchain	127
7 . ΕΠΙΛΟΓΟΣ	131
7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα	131
7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις	138
8 . ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	139

8.1 Αρθρογραφία	139
8.2 e- Books	151
8.3 Ιστότοποι	151

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1: Αγροτικές Επαναστάσεις	8
Εικόνα 3-1: Χαρακτηριστικά του Διαδικτύου των Πραγμάτων	17
Εικόνα 3-2: Μορφές και ποσοστά χρήσης του ΙοΤ στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα	19
Εικόνα 3-3: Περιπτώσεις χρήσης έξυπνων αισθητήρων σε ένα αγροτικό σύστημα.....	26
Εικόνα 3-4: Κατανομή της αξίας της αγοράς των UAVs ανά τον κόσμο σε δολάρια	32
Εικόνα 3-5: Απεικόνιση του παραπάνω συστήματος σε έκταση με καλαμπόκια.....	36
Εικόνα 3-6: Οι ρόλοι που έχουν τα UAV οχήματα στις έξυπνες καλλιέργειες	37
Εικόνα 3-7: Ρομπότ που διαθέτει λαβές	44
Εικόνα 3-8: Συγκομιδή ντομάτας από ρομπότ με τη χρήση μηχανικής όρασης.....	45
Εικόνα 3-9: Αρχιτεκτονική ενός ΙοΤ δικτύου με τρία και πέντε επίπεδα	52
Εικόνα 3-10: Η χρήση 5G δικτύου σε ένα έξυπνο αγροτικό σύστημα.....	57
Εικόνα 3-11: Τα χαρακτηριστικά των Μεγάλων Δεδομένων	63
Εικόνα 3-12: Ανάλυση των δεδομένων και έλεγχος του αγροκτήματος στα χέρια του αγρότη	76

1 . ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πρόβλημα – Σημαντικότητα του θέματος

Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ)¹ έχουν εισέλθει δυναμικά σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης ζωής, συμπεριλαμβανομένου του αγροτικού τομέα (καλλιέργειες και κτηνοτροφία), οδηγώντας στην αποκαλούμενη ως «τρίτη πράσινη επανάσταση» ή «ψηφιακή αγροτική επανάσταση» (digital agricultural revolution). Στις αναπτυγμένες κυρίως χώρες, η εφαρμογή νέων τεχνολογιών, οδηγεί στη δημιουργία ενός εκσυγχρονισμένου και ψηφιοποιημένου περιβάλλοντος διαχείρισης των αγροτικών εργασιών και της λήψης αποφάσεων. Η διαχείριση και οι διαδικασίες ελέγχου ενός αγροκτήματος, διασφαλίζουν ότι οι στόχοι που έχουν τεθεί, θα πραγματοποιηθούν ακόμα και αν υπάρχουν τυχόν αναταραχές στη διαδικασία. Βασικό ρόλο σε ένα τέτοιο σύστημα διαχείρισης και ελέγχου παίζει ο χειριστής, ο οποίος αξιολογεί την λειτουργία του συστήματος και προχωρά στις απαραίτητες διορθώσεις (Wolfert et al.,2017).

Η ψηφιοποίηση περιλαμβάνει φαινόμενα και τεχνολογίες, όπως τα μεγάλα δεδομένα (big data), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), τα ρομπότ, τους αισθητήρες, τις wearable συσκευές, την τεχνητή νοημοσύνη, την μηχανική μάθηση, την τεχνολογία του blockchain, το δίκτυο 5G, το cloud computing κ.ά (Alm et al., 2016; Smith, 2018; Tilson et al., 2010). Η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU) έχει υπογραμμίσει τη σημασία των τεχνολογιών αυτών, όσον αφορά τη συλλογή των δεδομένων, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε μελλοντικές στρατηγικές της Έξυπνης Γεωργίας στην Ευρώπη, οι οποίες επικυρώθηκαν τον Απρίλιο του 2019 από 24 Ευρωπαϊκές χώρες² (Bacco et al., 2019). Οι εργασίες διαχείρισης μέσα και έξω από ένα αγρόκτημα, εξαρτώνται πλέον από τη συλλογή δεδομένων και την μετέπειτα επεξεργασία τους, η οποία οδηγεί στην βελτιστοποίηση της παραγωγής με χαμηλότερο κόστος, στην αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών, στην ατομική παρακολούθηση της ευημερίας κάθε ζώου και στην μείωση των μεταδιδόμενων ασθενειών ανάμεσά τους, καθώς και στη

¹Πρόκειται για έναν πιο ευρύ όρο του Information Technology (IT), ο οποίος τονίζει τη σημασία των επικοινωνιών που έχουν ενοποιηθεί και την ενσωμάτωση των τηλεπικοινωνιών, των υπολογιστών καθώς και του απαραίτητου λογισμικού για επιχειρήσεις, του ενδιάμεσου λογισμικού, του χώρου αποθήκευσης και των οπτικοακουστικών συστημάτων, τα οποία διευκολύνουν τους χρήστες να αποκτούν πρόσβαση, να αποθηκεύουν, να μεταφέρουν και να διαχειρίζονται τις πληροφορίες (Murray James, 2020).

² Σήμερα οι χώρες είναι 26, καθώς συμμετέχουν πλέον και η Βουλγαρία και η Κροατία.

μείωση της κατανάλωσης των πόρων. Όπως αναφέρουν οι Verdouw et al. (2015), οι βασικές λειτουργίες της διαχείρισης ενός αγροκτήματος είναι οι εξής:

- **Ανίχνευση και παρακολούθηση:** Αφορά τη μέτρηση της πραγματικής απόδοσης των εργασιών σε ένα αγρόκτημα. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει χειρωνακτικά από έναν άνθρωπο ή με αυτόματο τρόπο, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες εντοπισμού (πχ. αισθητήρες, δορυφόρους κλπ.).
- **Ανάλυση δεδομένων και λήψη αποφάσεων:** Συγκρίνει τις μετρήσεις με τους κανόνες, οι οποίοι εξειδικεύουν την επιθυμητή λειτουργία (στόχοι του συστήματος που αφορούν την ποσότητα, την ποιότητα και τους χρόνους παράδοσης) και την απόκλιση, αποφασίζοντας παράλληλα για το ποια είναι η σωστή παρέμβαση, ώστε να αντιμετωπιστούν οι διαταραχές που τυχόν θα προκύψουν.
- **Παρέμβαση:** Σχετίζεται με τα σχέδια και την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων, ώστε να βελτιωθεί η λειτουργία των αγροτικών διαδικασιών.

Ένας δόκιμος όρος, ο οποίος χρησιμοποιείται από την επιστημονική κοινότητα, για την περιγραφή της ψηφιοποίησης του γεωργικού τομέα, είναι αυτός της «Έξυπνης γεωργίας» (Smart Agriculture). Άλλοι όροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλάξιμα για την περιγραφή του παραπάνω φαινομένου, είναι αυτοί της «Γεωργίας 4.0» (Agriculture 4.0) και του «Έξυπνου αγροκτήματος» (Smart Farming). Ο όρος «Γεωργία Ακριβείας» (Precision Agriculture), που συναντάται σε πολλά σημεία της βιβλιογραφίας σχετικά με την έξυπνη καλλιέργεια, αποτελεί πιο εξειδικευμένη μορφή της έξυπνης γεωργίας (Wolfert et al., 2017; Rose and Chilvers, 2018). Από την άλλη, ως όρος για την περιγραφή της ψηφιοποίησης του κτηνοτροφικού τομέα χρησιμοποιείται αυτός της «Κτηνοτροφίας Ακριβείας» (Precision Livestock Farming/ PLF). Σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει αποδειχθεί ότι στο παρελθόν, η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών, επικρατούσε περισσότερο στον τομέα των καλλιεργειών, όπως για παράδειγμα στη συγκομιδή και την αμπελοργία, με τη χρήση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας (Bramley, 2009) και σε μικρότερο βαθμό σε μονάδες εκτροφής ζώων (Borchers and Bewley, 2015; Eastwood et al., 2017a).

Η συμβολή του αγροτικού τομέα, τόσο στην παροχή των τροφίμων, όσο και στην οικονομική ανάπτυξη, είναι πολύ μεγάλη. Όμως, λαμβάνοντας υπόψη την ραγδαία αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού, η οποία παρατηρείται, οι συμβατικές ή

απαρχαιωμένες αγροτικές μέθοδοι δεν φαίνεται να μπορούν πλέον να συμβαδίσουν με την αύξηση αυτή (Mobasshir Mahbub, 2020). Στις μέρες μας, η πανδημία του Covid-19 ενισχύει περισσότερο αυτή την πρόκληση. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με υπολογισμούς, αναμένεται ότι έως το έτος 2050, ο παγκόσμιος πληθυσμός θα φτάσει περίπου τα 9.1 δισεκατομμύρια, ενώ μέχρι το 2100 προβλέπεται η αύξηση στα 12.6 δισεκατομμύρια ανθρώπους (Samir KC, Wolfgang Lutz). Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) έκρινε ότι, με σκοπό να καλυφθεί η ζήτηση σε τρόφιμα, πρέπει η παραγωγή τροφίμων να αυξηθεί κατά 70%.³ Το περισσότερο από το μισό της αύξησης αυτής, θα πραγματοποιηθεί σε αναπτυσσόμενες χώρες.⁴ Οι αγροτικές εκτάσεις θα μειωθούν, καθώς όλο και μεγαλύτερο ποσοστό γης θα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία στέγασης του πληθυσμού. Το ίδιο θα ισχύσει και για το εργατικό δυναμικό, το οποίο θα απομακρύνεται από τις αγροτικές περιοχές, μετακινούμενο στα αστικά κέντρα. Στο παρελθόν, ανάλογα ζητήματα που ταλάνισαν την ανθρωπότητα, σχετικά με την αύξηση στη ζήτηση των τροφίμων, αντιμετωπίστηκαν αποτελεσματικά με την χρήση νέων τεχνολογιών, οι οποίες οδήγησαν σε σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας (Moysiadis et al., 2021).

Παράλληλα, παλιές λανθασμένες πρακτικές οι οποίες ακολουθήθηκαν κυρίως στον γεωργικό τομέα, όπως η ευρεία χρήση λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων ή η μεγαλύτερη από το απαιτούμενο, χρήση νερού για το πότισμα των καλλιεργειών, δημιούργησαν αμφιβολίες σχετικά με την ποιότητα των προϊόντων και τις συνέπειες που υπήρξαν στην ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον, ενώ οδήγησαν και στην εξάντληση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων που έχουν απομείνει. Η επιστημονική κοινότητα υποστηρίζει ότι η κλιματική αλλαγή, η οποία αποτελεί ίσως το βασικότερο μέλημα σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων, παγκοσμίως (Miraglia et al., 2009; WHO, 2019), εξελίσσεται με την μεγαλύτερη ταχύτητα τα τελευταία δέκα χρόνια, λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (R.K. Goel et al., 2021).

Επιπρόσθετα, η αύξηση του ανταγωνισμού ανάμεσα στις βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων, καθιστά απαραίτητη την εύρεση νέων μεθόδων, οι οποίες στοχεύουν στη

³ Η ενιαύσια παραγωγή δημητριακών πρέπει να αυξηθεί κατά 3 δισεκατομμύρια τόνους και η παραγωγή του κρέατος πρέπει να αυξηθεί σε ποσοστό πάνω από 200% έως το 2050, ώστε να καλύψει τη ζήτηση (Trendon N. Metal, 2019).

⁴ Οι προβλέψεις δείχνουν ότι η Ινδία και η Νιγηρία θα αυξηθούν περίπου κατά 473 εκατομμύρια ανθρώπους ανάμεσα στο 2019 και το 2050.

μείωση του κόστους παραγωγής των προϊόντων και στην αύξηση της ποιότητας και της ασφάλειάς τους. Με βάση τα παραπάνω, παρουσιάζεται ως άμεση ανάγκη η τοποθέτηση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών στην πρώτη γραμμή των παγκόσμιων προτεραιοτήτων, στοχεύοντας στην επίτευξη μακροχρόνιας οικονομικής, διατροφικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (Αμπατζίδης Κυριάκος,2019).

Ωστόσο, η έξυπνη γεωργία είναι ακόμα κάτι καινούριο και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας που διαθέτει βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο, γεγονός που οδηγεί στην χαμηλή της υιοθέτηση από μια μερίδα αγροτών. Η χρήση των ΤΠΕ στον αγροτικό τομέα, οδηγεί στην δημιουργία ενός τεράστιου όγκου δεδομένων, τα οποία είναι ευάλωτα σε επιθέσεις ή σε κακόβουλη χρήση. Η συμβατότητα, η ετερογένεια, η επεξεργασία και η προστασία αυτού του τεράστιου όγκου δεδομένων, αποτελούν μερικά παραδείγματα προβλημάτων ασφαλείας των δεδομένων. Ως λύση για τη δημιουργία ανθεκτικών και αποτελεσματικών συστημάτων, παρουσιάζεται η σωστή και ολοκληρωμένη δημιουργία, μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και η δημιουργία συστημάτων με επαρκή χαρακτηριστικά ασφαλείας που θα οδηγήσουν στην αποτροπή επιθέσεων (Angelita Rettorede Araujo Zanella, Eduardo da Silva, Luiz Carlos Pessoa Albini, 2020).

1.2 Σκοπός – Στόχοι

Σκοπό της παρούσας εργασίας, αποτελεί η παρουσίαση και η περιγραφή των νέων ΤΠΕ, οι οποίες τυγχάνουν εφαρμογής στον γεωργικό και τον κτηνοτροφικό τομέα, οδηγώντας στην ψηφιοποίηση και την αυτοματοποίησή τους και προσδίδοντάς τους έτσι, έναν βαθμό ευφυΐας. Το νέο αυτό μοντέλο αγροτικής παραγωγής, όπως παρουσιάζεται με τη μορφή της έξυπνης γεωργίας, εισέρχεται δυναμικά στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, στοχεύοντας στην αύξηση της παραγωγικότητας τόσο των προϊόντων γης, όσο και των ζωικών προϊόντων και διασφαλίζοντας την επάρκεια των αποθεμάτων σε τρόφιμα, σε παγκόσμιο επίπεδο. Παράλληλα, η έξυπνη γεωργία αποβλέπει στην βελτίωση των πρακτικών που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα και στη δημιουργία σύγχρονων και βιώσιμων αγροτικών συστημάτων, τα οποία θα λειτουργούν με ταχύτητα, αποτελεσματικότητα και σεβασμό στο περιβάλλον, διαθέτοντας τις απαραίτητες εγγυήσεις ασφαλείας, τόσο των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες, όσο και των προϊόντων αυτών καθ'αυτών.

1.3 Μεθοδολογία

Για την παρούσα βιβλιογραφική επισκόπηση, συγκεντρώθηκαν πηγές κυρίως από ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες. Μερικές από αυτές είναι οι εξής:

- Google Scholar
- Elsevier
- ResearchGate
- SCOPUS
- IEEE Xplore
- Springer

Στις μηχανές αναζήτησης των παραπάνω ηλεκτρονικών βιβλιοθηκών, χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά, λέξεις κλειδιά όπως: Internet of Things, IoT, Smart Farming, Precision Farming, Information and Communication Technology, Precision agriculture, Precision Livestock Farming, sensors, Data Privacy, Data Processing, Cloud Computing, Agriculture 4.0., Artificial Inteligence, Big Data, Blockchain, Machine Learning, Decicion Support Systems κ.ά. Από το σύνολο των πηγών που βρέθηκαν, επιλέχθηκαν με βάση τη σχετικότητά τους με το θέμα, την εγκυρότητά τους, καθώς και την ημερομηνία κυκλοφορίας τους.

1.4 Διάρθρωση της μελέτης

Η εργασία αυτή αποτελείται από επτά κεφάλαια, τα οποία αναπτύσσονται ως εξής: Στο πρώτο κεφάλαιο, που είναι και το εισαγωγικό, γίνεται αναφορά στο πρόβλημα και την σημαντικότητα του θέματος που αναλύεται, στους στόχους της εργασίας, καθώς και στη μεθοδολογία στην οποία χρησιμοποιήθηκε. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια ιστορική αναδρομή, που αφορά την πορεία και την εξέλιξη του αγροτικού και του κτηνοτροφικού τομέα, από το μακρινό παρελθόν, έως και σήμερα. Παράλληλα, αναλύονται κάποιοι βασικοί για την ανάπτυξη της εργασίας όροι, όπως αυτός της «Έξυπνης Γεωργίας», της «Γεωργίας Ακριβείας» και της «Κτηνοτροφίας Ακριβείας». Στο τρίτο κεφάλαιο, που αποτελεί και το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας, αναλύονται οι πιο σημαντικές ΤΠΕ, οι οποίες χρησιμοποιούνται στα έξυπνα αγροτικά συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες αυτές είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η τεχνολογία των Μεγάλων Δεδομένων, του Cloud και Mobile Cloud Computing, καθώς και η

τεχνολογίας της Τεχνητής Νοημοσύνης, του Blockchain και των έξυπνων συμβολαίων. Παράλληλα, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται και αναφορά στον τρόπο δικτύωσης και στα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε ένα IoT σύστημα, όπως επίσης και στην τεχνολογία του GPS και του 5G. Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα της χρήσης συστημάτων έξυπνης γεωργίας και κτηνοτροφίας από διάφορες ηπείρους, όπως την Ευρώπη, την Ασία και τις ΗΠΑ. Το πέμπτο κεφάλαιο, πραγματεύεται το φαινόμενο του Αγροεκφοβισμού και τα ζητήματα ασφάλειας δεδομένων που προκύπτουν από την χρήση των ΤΠΕ σε ένα έξυπνο αγροτικό περιβάλλον. Στο έκτο κεφάλαιο, αναφέρεται μια σειρά από λύσεις, οι οποίες αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία και επικεντρώνονται περισσότερο στη χρήση της τεχνολογίας Blockchain, για την προστασία και την ασφάλεια των δεδομένων, μέσα στα δίκτυα IoT. Τέλος, το έβδομο κεφάλαιο αποτελείται από τη σύνοψη και τα συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν από όλη την εργασία, καθώς και από τις μελλοντικές ενέργειες που πρέπει να γίνουν για την βελτίωση και την περαιτέρω εξέλιξη του φαινομένου Smart Farming.

2 . ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

2.1 Ιστορική αναδρομή

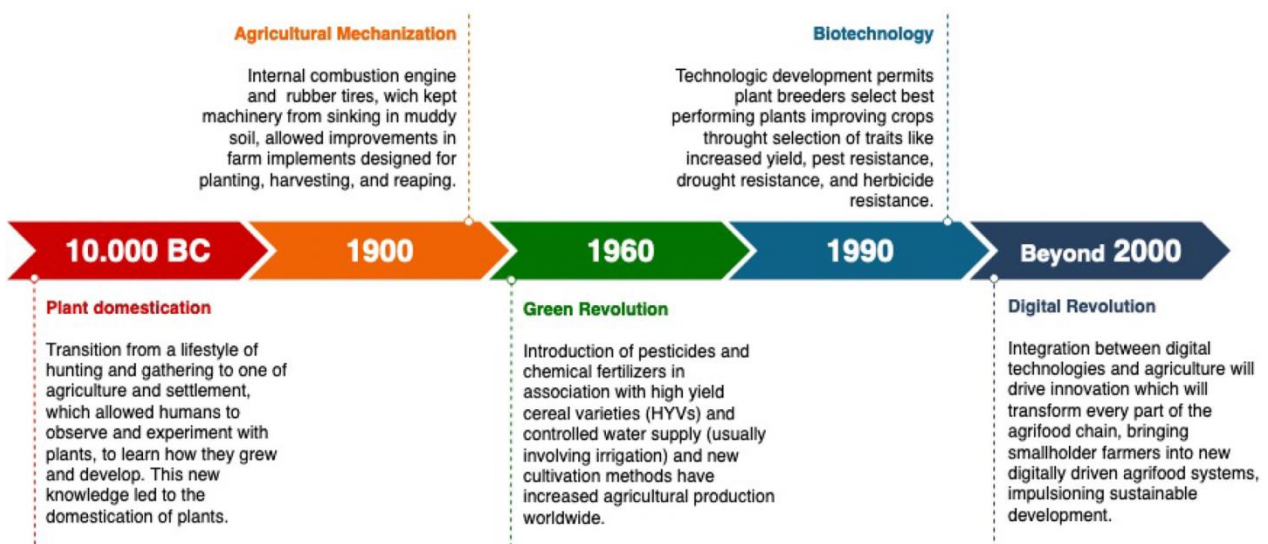
Ο αγροτικός τομέας αποτελεί σημαντικό μέρος της ζωής των ανθρώπων από τα αρχαία χρόνια, έως και σήμερα, καθώς συνιστά την πιο βασική πηγή επιβίωσης του ανθρώπινου είδους. Σύμφωνα με τις γνώσεις που διαθέτουμε, τα πρώτα δείγματα της εκμετάλλευσης της γης, γίνονται πίσω στην Νεολιθική εποχή (10.000-3.000 π.Χ.), με την εξημέρωση των φυτών (plant domestication). Την περίοδο αυτή, οι άνθρωποι των πρώτων πολιτισμών ασχολούνται συμπληρωματικά με την καλλιέργεια της γης, χρησιμοποιώντας κυρίως τα χέρια τους ή αυτοσχέδια εργαλεία από πέτρες και ξύλα, καθώς κύρια προέλευση της τροφής τους, αποτελεί το κυνήγι. Την ίδια εποχή, αρχίζει να αναπτύσσεται και η κτηνοτροφία, χωρίζοντας τους ανθρώπους σε γεωργούς και κτηνοτρόφους. Οι πρώτοι διαμένουν συνήθως σε μία περιοχή, ενώ οι δεύτεροι ακολουθούν νομαδικό τρόπο διαβίωσης, μετακινούμενοι σε περιοχές όπου υπάρχει χορτάρι για την εκτροφή των ζώων τους. Με την ανάπτυξη της κτηνοτροφίας και την δημιουργία εργαλείων από μέταλλα, ξεκίνησε και η καλλιέργεια με αλέτρι.

Λίγο αργότερα, στην αρχαιότητα, διάφοροι πάπυροι που έχουν βρεθεί, αποδεικνύουν την ύπαρξη συστημάτων ύδρευσης πριν από το 6000 π.Χ. Όπως αναφέρουν οι Ahmed et al.(2020), οι αρχαίοι Αιγύπτιοι και Έλληνες ανέπτυξαν διάφορα αγροτικά μηχανήματα και εξοπλισμό, όπως αντλίες και άλλα εργαλεία ύδρευσης.

Η εμφάνιση της βιομηχανίας και η μετακίνηση του πληθυσμού από τις αγροτικές περιοχές στις πόλεις, άρχισε να αυξάνει την ζήτηση σε αγροτικά προϊόντα. Η παρουσίαση των μηχανών και η εκβιομηχάνιση των αγροτικών διαδικασιών που έλαβε χώρα στις αρχές του 19^{ου} αιώνα (1900 έως 1930), είχε ως σκοπό την αύξηση της αγροτικής παραγωγής. Σε αυτή τη χρονική περίοδο, και συγκεκριμένα το 1929, κάνει την εμφάνισή της η πρώτη εφαρμογή της ευφυούς γεωργίας. Πιο συγκεκριμένα, οι Linsley και Bauer ανέπτυξαν τον πρώτο συντακτικό χάρτη για τη μελέτη της μεταβλητότητας του pH του εδάφους. Αργότερα, το 1960, λαμβάνει χώρα η «Πράσινη Επανάσταση», η οποία βοήθησε τους αγρότες να γνωρίσουν καλύτερα και να χρησιμοποιήσουν χημικά λιπάσματα και φάρμακα για την καταπολέμηση των ασθενειών και την κάλυψη άλλων αναγκών των φυτών. Παράλληλα, την ίδια περίοδο παρουσιάζονται διάφορες τεχνικές άρδευσης, καθώς και νέες ποικιλίες σιτηρών. Ωστόσο η μεγαλύτερη εξέλιξη της έξυπνης γεωργίας επήλθε γύρω στο 1980, με την δημιουργία των αγροτικών συστημάτων

εντοπισμού θέσης (GPS) (Bucci et al., 2019). Μετέπειτα, από το 1990 έως και το 2005 παρουσιάζεται μια ανάπτυξη στις τεχνολογίες γενετικής τροποποίησης, δημιουργώντας φυτά με προεπιλεγμένα χαρακτηριστικά και μεγαλύτερες δυνατότητες απόδοσης (A.Rettore de Araujo Zanella et al., 2020; R.K. Goel et al., 2021). Όσον αφορά την κτηνοτροφία, σε κάποιες περιοχές του κόσμου (πχ. Λατινική Αμερική), διατηρείται μέχρι και σήμερα ο νομαδικός τρόπος ζωής, ενώ σε άλλες, η εκτροφή των ζώων γίνεται σε στάβλους, μια τακτική, η οποία αυξάνεται συνεχώς, λόγω των δυσκολιών που έχει η νομαδική κτηνοτροφία. Η χρήση των μηχανικών μέσων αυξάνει και σε αυτόν τον τομέα την παραγωγή, μειώνοντας παράλληλα τον χρόνο που απαιτείται για την φροντίδα των ζωντανών.

Στις μέρες μας, όπως προαναφέραμε, διανύουμε την «τρίτη Πράσινη Επανάσταση» ή όπως αλλιώς αναφέρεται, «ψηφιακή αγροτική επανάσταση», με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα, οι οποίες θα οδηγήσουν στην ψηφιοποίηση και τον αυτοματισμό των αγροτικών εργασιών, διευκολύνοντας τους αγρότες, τόσο ως προς το τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας, όσο και ως προς την λήψη των αποφάσεων και την μετέπειτα προώθηση των προϊόντων τους στην αγορά, οδηγώντας στην επιβίωση της ανθρωπότητας με έναν πιο βιώσιμο τρόπο.



Εικόνα 2-1: Αγροτικές Επανάστασεις

2.2 Έξυπνη Γεωργία

Στα τέλη του 1990, οι συμμετέχοντες σε ένα συμπόσιο σχετικό με την γεωργία ακριβείας, χαρακτήρισαν την έξυπνη γεωργία ως μια μορφή υψηλής και εντατικής γνώσης της γεωργίας στην πράξη, η οποία χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που προέρχονται, τόσο από την βασική, όσο και από την εφαρμοσμένη επιστήμη. Σκοπός είναι να μπορέσουν οι αγρότες να εντοπίσουν τις συνέπειες που έχουν τα διάφορα προβλήματα και οι πράξεις, που λαμβάνουν χώρα στον αγροτικό τομέα, σε τοπικό και χρονικό επίπεδο και έτσι, να ενισχύσουν τις δυνατότητες παραγωγής των αγροκτημάτων τους, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και τις συνέπειες προς το περιβάλλον (Lake et al., 1997).

Στις μέρες μας, η έξυπνη γεωργία αποτελεί ένα πλαίσιο διαχείρισης των αγροτικών διεργασιών με την χρήση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Λόγω του ότι αποτελεί μια καινούρια έννοια, η επιστημονική κοινότητα δεν έχει καταλήξει ακόμα σε έναν καθολικό ορισμό. Μέσα από τις συνεχείς επιστημονικές έρευνες πάνω σε αυτό το πεδίο, ο ορισμός της έξυπνης γεωργίας συνεχίζει να αναπτύσσεται. Μερικές προσπάθειες επιστημόνων, να ορίσουν το σύγχρονο αυτό τεχνολογικό φαινόμενο, είναι οι παρακάτω:

- Η έξυπνη γεωργία μπορεί να θεωρηθεί ως το τέλος των παραδοσιακών και εντατικών μορφών γεωργίας, όπου ο αγρότης λάμβανε τις αποφάσεις του με βάση την προηγούμενη εμπειρία του και καθοδήγηση, καθώς και η μετάβαση σε μια πιο εντατική χρήση της τεχνολογίας με τη μορφή της γεωργίας ακριβείας, που υποστηρίζεται από δεδομένα τα οποία αντλούνται από το αγρόκτημα και βοηθούν τους αγρότες να λάβουν τις απαραίτητες αποφάσεις σχετικά με την παραγωγική διαδικασία (Kritikos, 2017).
- Η έξυπνη γεωργία μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία μορφή γεωργίας, η οποία καθοδηγείται από δεδομένα και οι διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων βασίζονται σε πρωτογενείς πληροφορίες που αντλούνται από τα μεγάλα δεδομένα, που συλλέχθηκαν μέσα από ετερογενής πηγές (Wolfert et al., 2017).
- Η έξυπνη γεωργία αποτελεί ένα κυβερνο-φυσικο-κοινωνικό σύστημα, το οποίο πέρα από τις έξυπνες συσκευές που διαθέτει (κυβερνητική διάσταση), που αποτελούν και το επίκεντρο του ελέγχου στο αγρόκτημα (φυσική διάσταση),

περιλαμβάνει και μια κοινωνική πλευρά, η οποία προκύπτει από το γεγονός ότι οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μέσα στον κυβερνοχώρο, που είναι κυρίως κοινωνικού περιεχομένου, συνδέονται άμεσα με τα μεγάλα δεδομένα που δημιουργούνται. Οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε όλες τις οντότητες που συνυπάρχουν μέσα και έξω από ένα αγρόκτημα (συσκευές, αγρότες, λογιστές, εμπόρους, πωλητές) και παράγουν δεδομένα, αλλάζουν διαρκώς τον κυβερνοχώρο (Lioutas et al., 2018; Mentzer et al., 2001).

- Η έξυπνη γεωργία αναδύθηκε από την ενσωμάτωση των υπολογιστών και των τεχνολογιών μεταφοράς των δεδομένων, στον αγροτικό τομέα. Η ιδέα της έξυπνης γεωργίας είναι ευρεία και αλληλεπιδρά με ένα σύνολο από άλλες τεχνολογίες, όπως η Γεωργία Ακριβείας και τα υπολογιστικά συστήματα διαχείρισης των αγροκτημάτων (Beecham, 2014).
- Η έξυπνη γεωργία στηρίζεται στην ενσωμάτωση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών στα μηχανήματα, τον εξοπλισμό και τους αισθητήρες στα αγροτικά συστήματα παραγωγής, δημιουργώντας έναν τεράστιο όγκο δεδομένων και πληροφοριών. Η έξυπνη γεωργία εξαρτάται από την μεταφορά και την συλλογή των δεδομένων σε απομακρυσμένα συστήματα αποθήκευσης, με σκοπό να διευκολύνει τον συνδυασμό και την ανάλυση των διαφορετικών αγροτικών δεδομένων για την λήψη αποφάσεων (Pivoto et al., 2018).

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η έξυπνη γεωργία βασίζεται στην ανίχνευση, τη συλλογή, την ανάλυση και την χρήση δεδομένων. Όπως περιγράφεται από το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Smart-AKIS, το οποίο επιχειρεί να ενσωματώσει τεχνολογίες και λύσεις έξυπνης γεωργίας, μεταξύ της κοινότητας των γεωργών στην Ευρώπη και να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ των επαγγελματιών και των ερευνητών για τον εντοπισμό νέων λύσεων έξυπνης γεωργίας, που να ταιριάζουν στις ανάγκες των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, η Έξυπνη Γεωργία είναι άμεσα συνδεδεμένη με άλλους τρεις τομείς τεχνολογιών. Αυτοί είναι: **α)** τα Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης, **β)** η Γεωργία Ακριβείας και **γ)** οι Γεωργικοί αυτοματισμοί και η ρομποτική.

Η συλλογή των δεδομένων γίνεται από διαφορετικές πηγές, με τη χρήση νέων τεχνολογιών hardware και λογισμικού, όπως είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η χρήση αισθητήρων ανίχνευσης, η χρήση δορυφορικών εικόνων, αγροτικών ρομπότ, μη

επανδρωμένων οχημάτων εδάφους (UGV), αλλά και εναέριων (UAV) κ.ά. και έχει ως αποτέλεσμα τη συλλογή ενός τεράστιου συνόλου δεδομένων, τα οποία αποκαλούνται Μεγάλα Δεδομένα (Big Data). Άλλες τεχνολογίες, όπως είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη, το Cloud Computing, η Μηχανική Μάθηση κ.ά., παρέχουν λύσεις σχετικά με την διατήρηση, την αποθήκευση και την ανάλυση του μεγάλου αυτού όγκου αγροτικών δεδομένων.

Οι παραπάνω τεχνολογίες χρησιμοποιούνται από τους αγρότες, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες,⁵ συνδυαστικά με τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας. Έτσι, επιτυγχάνεται μια ομαλή μετάβαση από τις συμβατικές τεχνικές καλλιέργειας προς την καινοτομία, καθώς εντοπίζονται τα λάθη που έγιναν στο παρελθόν και έτσι αυτά, δεν επαναλαμβάνονται στο μέλλον. Παράλληλα, διασφαλίζεται η ασφάλεια της διαδικασίας παραγωγής τροφίμων, σε παγκόσμιο επίπεδο, απομακρύνοντας κάθε πιθανή ανησυχία των καταναλωτών, σχετικά με την προέλευση των τροφίμων που καταναλώνουν, ειδικότερα σε μια τέτοια εποχή, όπως αυτή που διανύουμε τώρα, με την πανδημία του Covid-19. Ωστόσο, στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου ο αγροτικός τομέας αποτελεί μια σημαντική -αν όχι την σημαντικότερη- πηγή εσόδων και έναν τρόπο εξάλειψης της φτώχειας, ο ρυθμός αποδοχής αυτού του είδους τεχνολογιών είναι χαμηλός (R.K. Goel et al., 2021).

Η έξυπνη γεωργία οδηγεί σε πιο έγκαιρες και ακριβείς αποφάσεις σχετικά με τη διαχείριση ενός αγροκτήματος, μέσα από την συνεχή παρακολούθηση και την μελέτη της επιστήμης των μεγάλων δεδομένων (Eastwood et al., 2017a; Janssen et al., 2017; Wolfert et al., 2017). Στην λήψη των αποφάσεων αναφέρεται και ο όρος «έξυπνη», καθώς μιλάμε για ένα αγροτικό σύστημα που διαθέτει μια μορφή ευφυΐας, το οποίο μέσα από τις πληροφορίες που συγκεντρώνει, μπορεί να οδηγήσει σε αποφάσεις που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο, από οποιοδήποτε μέρος. Ωστόσο, από ένα καινούριο φαινόμενο, όπως είναι αυτό της έξυπνης γεωργίας, δεν λείπουν οι τεχνικές προκλήσεις, καθώς και οι προκλήσεις σχετικά με την ασφάλεια των δεδομένων, οι οποίες θα αναφερθούν λεπτομερώς, σε επόμενο κεφάλαιο.

⁵ Στις ΗΠΑ το 20-80% των γεωργών χρησιμοποιούν κάποιο είδος Τεχνολογίας Έξυπνης Γεωργίας, αντιθέτως, στην Ευρώπη αυτή η τακτική χρησιμοποιείται μόνο από το 0% -24% των γεωργών (Διαθέσιμο [εδώ](#).)

2.3 Γεωργία Ακριβείας

Αν και ο όρος «Έξυπνη Γεωργία» στη βιβλιογραφία, συγγέεται συχνά με αυτόν της «Γεωργίας Ακριβείας», οι έννοιες αυτές παρουσιάζουν κάποιες διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, η Γεωργία Ακριβείας είναι όπως προαναφέρθηκε, ένας τεχνολογικός τομέας άμεσα συνδεδεμένος με αυτόν της έξυπνης γεωργίας και ορίζεται ως «η διαχείριση της χωρικής και χρονικής μεταβολής για τη βελτίωση της οικονομικής απόδοσης σε συνδυασμό με τη μείωση των εισροών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.» (Smart-AKIS, 2019). Περιλαμβάνει τη χρήση ΤΠΕ, όπως ηλεκτρονικούς υπολογιστές, διαφορετικά είδη αισθητήρων, παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS) και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems – DSS), χαρτογράφηση της παραγωγής, των ιδιοτήτων του εδάφους καθώς και της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας, τεχνολογία διαφοροποιούμενης δόσης (Variable Rate Application) και τηλεπισκόπηση. Επιπρόσθετα, στις μέρες μας η γεωργία ακριβείας βασίζεται σε ένα μεγάλο βαθμό στις εφαρμογές των έξυπνων κινητών (Jagyasi et al., 2013), μέσω των οποίων οι αγρότες έρχονται σε επικοινωνία από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, συζητώντας προβλήματα που τους απασχολούν και ανταλλάσσοντας γνώσεις.

Η λειτουργία της, στηρίζεται κυρίως στην γνώση της χωρικής παραλλακτικότητας. Κανένας αγρός δεν είναι απόλυτα ομοιογενής. Από τη μια πλευρά ενός αγρού στην άλλη, μπορεί να εντοπιστούν παραλλαγές στην υγρασία του εδάφους και τη γονιμότητά του, στην σύστασή του, στην ανάπτυξη των φυτών μέσα στην έκταση, καθώς και στους μικροοργανισμούς και τις ασθένειες που τα προσβάλλουν. Με τη χρήση των παραπάνω τεχνολογιών, ο αγρός ή η φάρμα, διαχωρίζεται σε ζώνες διαχείρισης (management zones), δίνοντας στον αγρότη την δυνατότητα να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες τόσο χωρικές, όσο και χρονικές, όπως η πρόγνωση του καιρού, η κατάσταση της ανάπτυξης των καλλιεργειών, η ασφάλεια των τροφίμων και η κατάσταση της ευημερίας των ζώων, σε πραγματικό χρόνο και από οποιοδήποτε μέρος, καθιστώντας πιο έγκαιρη την λήψη αποφάσεων. Στοχεύει δηλαδή, στην διαχείριση ενός αγροκτήματος με βάση τις ανάγκες του, αποσκοπώντας σε καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη ποσότητα προϊόντων. Ο διαχωρισμός του αγρού ή της φάρμας σε ζώνες, οδηγεί σε εξοικονόμηση των πόρων και σε πιο ποιοτικές τεχνικές καλλιέργειας και εκτροφής, διότι τα λιπάσματα, τα παρασιτοκτόνα ή ακόμα και η διαδικασία της

άρδευσης, καθώς και η εκτροφή των ζώων, εφαρμόζονται με σύνεση και όπου υπάρχει ανάγκη, μειώνοντας παράλληλα, τις αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον.

Μέσα από τη μελέτη της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, συμπεραίνουμε ότι η έννοια της ευφυούς γεωργίας είναι ευρύτερη από αυτή της γεωργίας ακριβείας και την συμπεριλαμβάνει. Όπως υποστηρίζουν οι Guido Fastellini και Calogero Schillaci (2020), η έξυπνη γεωργία, αποτελεί την εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας. Παράλληλα, σύμφωνα με τους Wolfert et al., (2014), η έξυπνη γεωργία δεν περιορίζεται μόνο στην μελέτη της ποικιλότητας του εδάφους, στην τοποθεσία και τις διαφορές ανάμεσα στα ζώα, όπως κάνει η γεωργία ακριβείας, αλλά επικεντρώνεται και στα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από τη γνώση των πραγματικών περιστατικών. Συμπερασματικά λοιπόν, η έξυπνη γεωργία στηρίζεται περισσότερο στην πρόσβαση στα δεδομένα και στο πώς οι πληροφορίες, που προκύπτουν από τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με έναν έξυπνο τρόπο.

2.4 Κτηνοτροφία Ακριβείας

Η διαρκώς αναπτυσσόμενη χρήση των ΤΠΕ στον πρωτογενή τομέα παραγωγής και η ψηφιοποίηση του, δεν θα μπορούσε να μην επηρεάσει και τον κτηνοτροφικό τομέα. Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, ανάλογη αύξηση παρατηρείται και στην ζήτηση των ζωικών προϊόντων. Παράλληλα, η βιομηχανία παραγωγής κρέατος έρχεται αντιμέτωπη με συχνούς και εξονυχιστικούς ελέγχους, σχετικά με την ευημερία⁶ των ζώων, τις συνθήκες στις οποίες αυτά διαβιούν και εκτρέφονται (Hocquette et al., 2014; Robertson, 2003), καθώς και σχετικά με τις συνέπειες που παρουσιάζει η ζωική παραγωγή στο περιβάλλον (Salter, 2016). Οι έλεγχοι αυτοί γίνονται όλο και πιο εντατικοί, λόγω και της στροφής των καταναλωτών προς τα βιολογικά τρόφιμα και την αναζήτηση της προέλευσής τους.

Η κτηνοτροφία ακριβείας (Precision Livestock Farming/PLF), όπως ονομάζεται ο τομέας αυτός, περιλαμβάνει έξυπνα συστήματα διαχείρισης μιας φάρμας, τα οποία με την χρήση των νέων τεχνολογιών στοχεύουν στην αύξηση της παραγωγής, την μείωση του λειτουργικού κόστους και της ανάγκης για ανθρώπινη παρέμβαση στις εργασίες, καθώς και της κατανάλωσης των πόρων. Τα συστήματα αυτά, αποτελούνται από τρεις

⁶ Ως ευημερία των ζώων, εννοούμε το να βρίσκονται αυτά σε μία κατάσταση χωρίς ασθένειες και πόνο, να διαβιούν σε ένα υγιές περιβάλλον και να καλύπτονται οι βασικές τους ανάγκες, όπως σίτιση, καθαριότητα κτλ.

ξεχωριστές λειτουργίες: **α)** την ανίχνευση και την παρακολούθηση, **β)** την ανάλυση και **γ)** την λήψη αποφάσεων και την παρέμβαση (Wolfert et al., 2017).

Όπως υποστηρίζουν ο Berckmans (2017) και οι Halachmi και Guarino (2016), η χρήση τέτοιων συστημάτων, οδηγεί στην βελτίωση της φροντίδας και της προσοχής που λαμβάνουν τα ζώα, μέσα από την, σε πραγματικό χρόνο, παρακολούθησή τους, οδηγώντας έτσι στο ιδανικό σενάριο της εξατομικευμένης παρακολούθησης του κάθε ζώου ξεχωριστά. Οι τεχνολογίες αυτές είναι όμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στην γεωργία ακριβείας και προαναφέρθηκαν (IoT, αισθητήρες, TN, Μηχανική Εκμάθηση, ψηφιακή απεικόνιση, νεφοϋπολογισμός κ.ά.), καθώς και ο κτηνοτροφικός τομέας, όπως και ο τομέας των καλλιεργειών, βασίζεται στην συγκέντρωση των δεδομένων από την φάρμα, την ανάλυσή τους και την χρήση τους από τα συστήματα υποστήριξης των αποφάσεων, με σκοπό οι αποφάσεις που θα ληφθούν να είναι έγκυρες και ορθές.

Τα έξυπνα αυτά συστήματα, όπως περιγράφονται στην βιβλιογραφία, μπορεί να συνιστούν συστήματα αρμέγματος με τη χρήση ρομπότ (Driessen and Heutinck, 2015), συστήματα διαχείρισης του κάθε ζώου ξεχωριστά με τη χρήση συστημάτων σήμανσης (tagging systems) και αυτόματων μηχανισμών σίτισης των ζώων (Nick Sigrimis, 2020), συστήματα καταγραφής της συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια της βοσκής (Werner et al., 2018), συστήματα παρακολούθησης του βάρους των θηλαστικών (Brown et al., 2015; Richards et al., 2006), συστήματα πρόβλεψης και παρακολούθησης της γέννας (Dobos et al., 2014 και 2015; Neethirajan, 2017) κ.λ.π.. Τα δεδομένα λαμβάνονται μέσα από τη χρήση αισθητήρων και wearable συσκευών, οι οποίες όντας εφαπτόμενες πάνω στα ζώα, μπορούν να εντοπίζουν μεταβλητές, όπως την θερμοκρασία του σώματος ή τους καρδιακούς παλμούς των ζώων, το πόσο ενυδατωμένα είναι ή ακόμα και την κίνηση τους μέσα στη φάρμα. Και στον κτηνοτροφικό τομέα, όπως και στον γεωργικό, τα δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο, μέσα από τις αγροτικές διαδικασίες με τη χρήση τεχνολογιών, σχηματίζουν έναν τεράστιο όγκο, η ανάλυση του οποίου είναι απαραίτητη για την λήψη αποφάσεων. Όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούνται, είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο ασύρματα, γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη επικοινωνία ανάμεσα στους αισθητήρες της φάρμας και τον εξοπλισμό της, δημιουργώντας ένα αγροτικό δίκτυο IoT (Jake Astill et al., 2020).

3 . ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ

3.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

3.1.1 Εισαγωγή στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι μία νέα τεχνολογία, η οποία έχει εισχωρήσει δυναμικά σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης ζωής. Η μεγάλη εξέλιξη που έχει σημειώσει τα τελευταία χρόνια ο αγροτικός τομέας, οφείλεται σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό στην χρήση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Λόγω των χαρακτηριστικών που διαθέτει, η τεχνολογία αυτή έχει δημιουργήσει μια νέα διάσταση για την έξυπνη γεωργία και κτηνοτροφία, μεταφέροντας τα αγροτικά δεδομένα, τα οποία συλλέγονται από τις συσκευές ανίχνευσης, ανάμεσα στους παραγωγούς και όλες τις άλλες οντότητες που συμμετέχουν στην εφοδιαστική αλυσίδα, με σκοπό την ανάλυσή τους για τη λήψη αποφάσεων. Στις μέρες μας, το ενδιαφέρον ως προς τα σχετικά, με τον αγροτικό τομέα δεδομένα, έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό, από τη στιγμή που ξεκίνησε να προωθείται περισσότερο η τεχνολογία ακριβείας (Lei Hang et al., 2020).

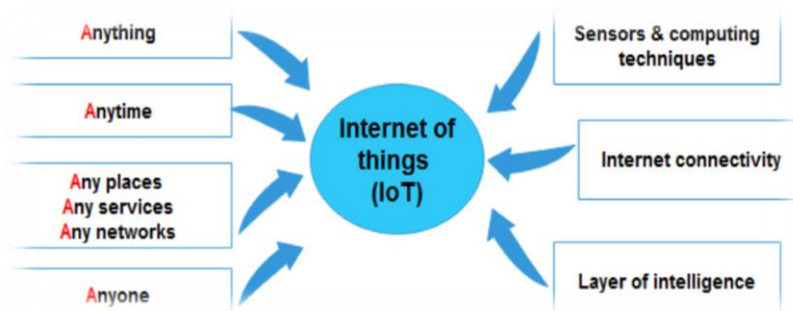
Το διαδίκτυο των πραγμάτων αποτελεί μια παγκόσμια διαδικτυακή υποδομή, που έλκει την προσοχή ενός μεγάλου μέρους της επιστημονικής κοινότητας. Η ιδέα αυτή εμφανίστηκε αρχικά από έναν Βρετανό επιχειρηματία, τον Kevin Ashton, το 1999, ο οποίος εργαζόταν πάνω στο πεδίο της δικτυωμένης αναγνώρισης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (networked RFID) και τις εξελισσόμενες τεχνολογίες ανίχνευσης, ήρθε όμως στο φως της δημοσιότητας το 2005, όταν το ITU δημοσίευσε την πρώτη αναφορά σχετικά με την τεχνολογία αυτή (Jozef Glova, 2014). Ο Kevin Ashton χρησιμοποίησε τον όρο “Internet of Things” για να κατονομάσει ένα σύστημα επικοινωνίας των συσκευών (πραγμάτων), με τους υπολογιστές, χρησιμοποιώντας αισθητήρες. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων βασίζεται στην ιδέα ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή, όντας συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ή και με τους ανθρώπους, παράγοντας δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά, μπορεί να έχουν τη μορφή κειμένου (μη δομημένα, ημιδομημένα, δομημένα) ή πολυμέσων (εικόνες, βίντεο και ήχο) και να διακινούνται σε μια ποικιλία από διαφορετικές πλατφόρμες (μέσα κοινωνικής δικτύωσης, επιχειρήσεις και αισθητήρες). Ως «πράγμα» μπορεί να θεωρηθεί κάθε αντικείμενο το οποίο διαθέτει τέσσερα χαρακτηριστικά: **α)** αισθητήρες και ενεργοποιητές, **β)** μικροεπεξεργαστές, **γ)** μια μονάδα επικοινωνίας και **δ)** προμήθεια ισχύος. Οι έρευνες που γίνονται πάνω στο διαδίκτυο των πραγμάτων αυξάνονται με

γρήγορους ρυθμούς, ωστόσο η επιστημονική κοινότητα δεν έχει καταλήξει σε έναν συγκεκριμένο ορισμό της τεχνολογίας αυτής. Μερικές προσπάθειες για τον ορισμό του IoT είναι οι ακόλουθες:

- Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ένας όρος «ομπρέλα», ο οποίος συμπεριλαμβάνει ένα δίκτυο από ηλεκτρονικές συσκευές, όπως για παράδειγμα τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα ή τις συσκευές που μπορούν να φορεθούν (wearable), που έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα (Atzori et al., 2010).
- Το IoT σημαίνει την σύνδεση των πραγμάτων μεταξύ τους, οποιαδήποτε στιγμή και σε οποιοδήποτε μέρος (Khan et al., 2012).
- Το διαδίκτυο των πραγμάτων θεωρείται μια παγκόσμια διαδικτυακή υποδομή, η οποία συνδέει τα φυσικά και τα εικονικά αντικείμενα, μέσα από την αξιοποίηση της λήψης των δεδομένων και τις δυνατότητες επικοινωνίας (Cristina Elena Turcu et al., 2013).
- Ο όρος αυτός, περιγράφει μια υποδομή, όπου μια τεράστια ποικιλία από συσκευές είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, οδηγώντας σε πολύ μεγάλες αλλαγές σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ζουν και εργάζονται (Morgan, 2014).
- Το διαδίκτυο των πραγμάτων είναι ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογικών υλικών, τα οποία ανοίγουν τον δρόμο για την δημιουργία νέων αξιών. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται όταν τα ψηφιοποιημένα προϊόντα, είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους (Lee and Lee, 2015).
- Ο όρος IoT χρησιμοποιείται για να περιγράψει την σύνδεση των πραγμάτων, ως «ένα σύστημα από μοναδικά αναγνωρίσιμα και συνδεδεμένα συστατικά (τα οποία ορίζονται ως συστατικά συνδεδεμένα στο διαδίκτυο), που έχουν την ικανότητα εικονικής αναπαράστασης και προσβασιμότητας, οδηγώντας σε μία δομή παρόμοια με το διαδίκτυο, για απομακρυσμένο εντοπισμό, ανίχνευση και/ή λειτουργία των συστατικών με πληροφορίες/δεδομένα πραγματικού χρόνου, τα οποία ρέουν ανάμεσά τους (Ng & Wakenshaw, 2017).
- Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι η εξέλιξη του Internet, των υπολογιστών, των πληροφοριών και των συστημάτων επικοινωνίας (Psannis et al., 2017).
- Τα συστήματα IoT είναι μία σύνδεση πραγμάτων από τον οποιοδήποτε σε κάθε μέρος με οτιδήποτε σε κάθε στιγμή και μέρος (Pivoto et al., 2018).

Στην εποχή μας, το IoT παρουσιάζεται ως ένα σύνολο, το οποίο συμπεριλαμβάνει διαφορετικές τεχνολογίες, όπως την τεχνολογία RFID (radio-frequency identification), τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων (WSN), καθώς και τις συσκευές αισθητήρων (Bedi et al., 2018) και παράλληλα αλληλεπιδρά με άλλες τεχνολογίες, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη και η ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων. Η υποδομή του IoT αποτελείται από διάφορα συστατικά, τα οποία περιλαμβάνουν hardware για τη συλλογή των δεδομένων από το γύρω περιβάλλον, συνδεσιμότητα για την μεταφορά των δεδομένων, λογισμικό για την αποθήκευση, την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων και σημεία διεπαφής, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την πλατφόρμα του IoT (Jake Astill et al., 2020). Παράλληλα, χρησιμοποιεί διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας και έτσι επιτυγχάνει την συνδεσιμότητα ανάμεσα στις συσκευές.

Η σημασία της τεχνολογίας αυτής είναι τεράστια, λαμβάνοντας κανείς υπόψη τις δυνατότητες που έχει, να αλλάξει δραματικά, προς το καλύτερο, τον καθημερινό τρόπο ζωής. Ουσιαστικά, το IoT έχει την ικανότητα να καταστήσει τα πάντα «έξυπνα» εικονικά, βελτιώνοντας τις πλευρές της ανθρώπινης ζωής με την κυρίαρχη χρήση της συλλογής δεδομένων, του αλγόριθμου Τεχνητής Νοημοσύνης και των δικτύων (John Stankovic, 2014). Στο τέλος του 2008 και στην αρχή του 2009, ο αριθμός των συσκευών που ήταν συνδεδεμένες στο διαδίκτυο έφτανε τα 7 δισεκατομμύρια (Sylwia Gierej, 2017), ενώ σύμφωνα με μια πρόσφατη αναφορά της Cisco Systems Inc, εκτιμάται ότι οι συσκευές που θα συνδέονται μεταξύ τους με τη χρήση του IoT, θα είναι περισσότερες από 29.3 δισεκατομμύρια, μέχρι το 2023. Επιπρόσθετα, αναμένεται ότι τα δεδομένα τα οποία θα παραχθούν από τις IoT συσκευές, θα φτάσουν πάνω από 700 Zettabytes το χρόνο μέχρι το 2022 (Gartner, Report: Forecast: The Internet of Things.Worldwide, 2013.)



Εικόνα 3-1: Χαρακτηριστικά του Διαδικτύου των Πραγμάτων

3.1.2 Τεχνική υποδομή ενός αγροτικού συστήματος IoT

Για την αποτελεσματική εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων, στον αγροτικό και τον κτηνοτροφικό τομέα, αλλά και σε κάθε άλλο τομέα της καθημερινής ζωής, όπου χρησιμοποιείται το IoT, είναι αναγκαίο, η αρχιτεκτονική του λογισμικού να εφαρμόζεται κατάλληλα πάνω στα υλικά συστατικά του συστήματος (hardware). Παρακάτω, θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα συστατικά της τεχνικής υποδομής ενός συστήματος IoT, το οποίο χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα.

3.1.2.1 Αισθητήρες

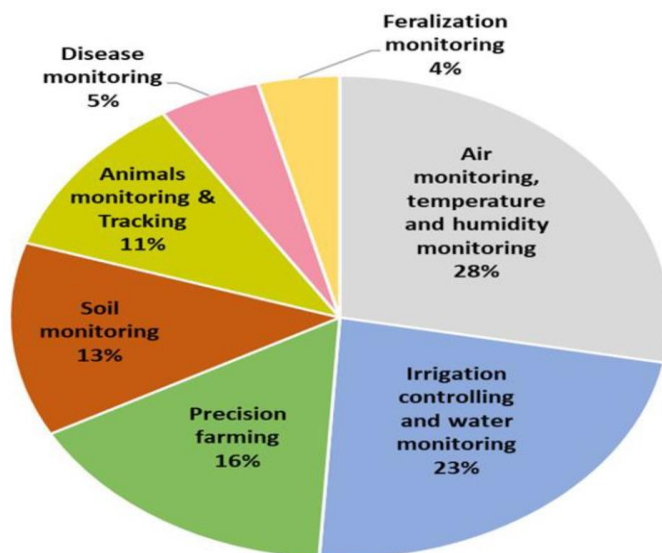
A. Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Οι αισθητήρες αποτελούν το πιο σημαντικό εργαλείο για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Πρόκειται για συσκευές, με τη χρήση των οποίων ένα σύστημα καθίσταται «έξυπνο» (DK Sharma et al.,2020), μέσα από τη συλλογή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τα οποία στη συνέχεια θα αναλυθούν. Οι αισθητήρες επιλέγονται κάθε φορά, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος.

Όπως περιγράψαμε παραπάνω, στην Γεωργία Ακριβείας, οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται διαθέτουν την ικανότητα να ανιχνεύουν μεταβλητές, όπως τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την υγρασία του χώματος, το μέγεθος της ανάπτυξης της καλλιέργειας, την κίνηση και την κατάσταση της υγείας των ζώων εκτροφής, την ποιότητα του αέρα, τον ηλεκτρισμό κ.λπ.. Μία συσκευή, για παράδειγμα ένα Smartphone μπορεί να περιλαμβάνει διάφορους αισθητήρες (GPS, κάμερα κ.ά.), οι οποίοι εκτελούν και άλλες διεργασίες πέραν της ανίχνευσης. Οι αισθητήρες μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε οχήματα που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα (π.χ. τρακτέρ), απευθείας μέσα στο έδαφος, πάνω στα drones ή και σε ένα ψηλότερο πεδίο μέσα σε μία φάρμα, ανάλογα με τον σκοπό χρήσης τους.

Η διαχείριση των αισθητήρων γίνεται μέσα από εφαρμογές έξυπνων τηλεφώνων, οι οποίες έχουν δημιουργηθεί αποκλειστικά γι' αυτόν τον λόγο. Οι βασικές λειτουργίες τους, πέρα από την ανίχνευση των παραμέτρων του γύρω περιβάλλοντος, συνίστανται και στον έλεγχο, τη διάγνωση, την διατήρηση της ασφάλειας και την ανάλυση των δεδομένων (Matthew Coombe et al., 2018). Η χρήση αισθητήρων στον αγροτικό τομέα, τον μεταμορφώνει σταδιακά, καθιστώντας τον πιο αυτόνομο. Αυτό σημαίνει, ότι η γεωργία και η κτηνοτροφία μετατρέπονται σταδιακά σε διεργασίες, οι οποίες δεν χρειάζονται ανθρώπινη παρέμβαση, καθώς κατά πλειονότητα, γίνονται με τη χρήση

ηλεκτρονικών συσκευών, δημιουργώντας ένα αυτοματοποιημένο σύστημα. Η βιομηχανία των αισθητήρων αναπτύσσεται διαρκώς και υπολογίζεται ότι η αξία τους στην αγορά, μέχρι το 2023 θα φτάσει τα 4.3 δισεκατομμύρια USD (S. Ratnaparkhi et al.,2020).



Εικόνα 3-2: Μορφές και ποσοστά χρήσης του IoT στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα

B. Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα

Στον αγροτικό τομέα χρησιμοποιούνται διάφορα ήδη αισθητήρων, με διαφορετικό ρόλο ο καθένας. Μερικοί από τους πιο γνωστούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- **Οπτικοί αισθητήρες (Optical Sensors):** Οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούν το φως, με σκοπό να μετρήσουν τις ιδιότητες του εδάφους. Έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν την υγρασία, τον άργιλο και την οργανική ύλη στο έδαφος. Τέτοιοι αισθητήρες συναντώνται συνήθως στα ρομπότ και τα drones.
- **Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες (Electrochemical Sensors):** Το pH και τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στο έδαφος, αποτελούν πολύ σημαντικές ιδιότητες για την ανάλυσή του, αλλά και για την ποιότητα της καλλιέργειας. Στο έδαφος, το pH που αντιπροσωπεύει το ποσοστό της οξύτητας του, πρέπει να διατηρείται σε ορισμένο επίπεδο. Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν την οξύτητα και την αλκαλικότητα του δείγματος που αναλύεται.
- **Αισθητήρες τοποθεσίας (Location Sensors):** Με τη χρήση συστημάτων τοποθεσίας GPS, οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται για ακριβή

χαρτογράφηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων ή των αγροκτημάτων. Οι αγρότες χρησιμοποιούν αυτού του είδους τους αισθητήρες, με σκοπό να εντοπίσουν τα τμήματα εκείνα της έκτασης, στα οποία πρέπει να χρησιμοποιηθεί λίπασμα ή παρασιτοκτόνα, καθώς και την ποσότητα η οποία χρειάζεται, αποφεύγοντας την σπατάλη. Παράλληλα, οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να εντοπίσουν και τις κινήσεις των ζώων σε μία φάρμα.

- **Αισθητήρες θερμοκρασίας (Temperature Sensors):** Στον τομέα της γεωργίας, η θερμοκρασία του εδάφους καθορίζει τον τύπο της καλλιέργειας που μπορεί να ευδοκιμήσει σε ένα χωράφι. Η θερμοκρασία ελέγχει τις διαδικασίες ανάπτυξης του φυτού, όπως την φωτοσύνθεση, την διαπνοή, την απορρόφηση κ.λπ. Αυτού του τύπου οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την καταμέτρηση των μεταβολών της θερμοκρασίας. Παράδειγμα τέτοιου αισθητήρα αποτελεί ο DHT11 αισθητήρας θερμοκρασίας.
- **Αισθητήρες νερού στο έδαφος (Soil water content Sensors):** Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν σε πραγματικό χρόνο, την ποσότητα του νερού που υπάρχει στο έδαφος, καθώς και τα θρεπτικά συστατικά που αυτό περιέχει. Με την χρήση αυτών των αισθητήρων, οι σύγχρονοι αγρότες μπορούν να έχουν απομακρυσμένα τον έλεγχο της άρδευσης των εκτάσεών τους. Έτσι, το έδαφος ποτίζεται όταν πραγματικά υπάρχει ανάγκη, οδηγώντας στην εξοικονόμηση υδάτινων πόρων.
- **Αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (Soil Electrical Conductivity Sensors):** Η ηλεκτρονική αγωγιμότητα (electrical conductivity) του εδάφους χρησιμοποιείται για την μέτρηση των ουσιών που είναι διαλυμένες στο έδαφος, αξιολογώντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο αλατότητας του εδάφους.
- **Αισθητήρες ταχύτητας του ανέμου (Wind Speed Sensors):** Ο αισθητήρας αυτός μετράει την ταχύτητα του ανέμου. Πρέπει να είναι τοποθετημένος σε κατάλληλο ύψος, ανάλογα με την καλλιέργεια ή τα ζώα που εκτρέφονται στον χώρο όπου χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες αυτοί.
- **Αισθητήρες πίεσης:** Βασική κατηγορία των αισθητήρων αυτών, που χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα, αποτελούν οι βαρομετρικοί αισθητήρες πίεσης. Χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της βαρομετρικής πίεσης στον χώρο του αγροκτήματος, δηλαδή των μεταβολών της ατμόσφαιρας και με αυτό τον τρόπο μπορούν να προβλέψουν τα καιρικά φαινόμενα. Οι ίδιοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται και από τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Ο Αμερικάνικος

Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (USFAO), έχει προχωρήσει σε μία σχετική με τον καιρό προσέγγιση, η οποία καλείται Climate Smart Agriculture (CSA) και προσφέρει βοήθεια στους χρήστες, να μεταμορφώσουν τα αγροτικά συστήματα, μέσα από την αναγνώριση των κλιματικών συνθηκών (Brandt et al., 2017).

- **Αισθητήρες κίνησης:** Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της κίνησης των αντικειμένων μέσα στον χώρο του αγροκτήματος. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι άνθρωποι ή ζώα. Στο έξυπνο αγροτικό σύστημα που παρουσιάζει στην μελέτη του ο M. Mahbub (2020), χρησιμοποιεί έναν PIR αισθητήρα κίνησης, ο οποίος σε περίπτωση που εντοπίσει τυχόν παράνομη είσοδο ανθρώπων ή ζώων στον χώρο του αγροκτήματος, εκπέμπει υπέρυθρο σήμα και ενεργοποιεί τον συναγερμό με τη χρήση ενός βομβητή.
- **Αισθητήρες καπνού (Smoke Sensors):** Η χρήση τους στις μέρες μας, είναι ευρέως διαδεδομένη, κυρίως σε εσωτερικούς χώρους, για τον εντοπισμό της φωτιάς. Οι αισθητήρες αυτοί στον αγροτικό τομέα χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό. Εντοπίζουν δηλαδή μικροσωματίδια στον αέρα, τα οποία προκύπτουν από καύση, προλαμβάνοντας έτσι μια μελλοντικά, εκτεταμένη πυρκαγιά η οποία μπορεί να καταστρέψει τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, αλλά και τα αγροκτήματα με τα ζώα.
- **Αισθητήρες εικόνας (Image Sensors):** Οι αισθητήρες εικόνας μετατρέπουν τις οπτικές εικόνες σε ηλεκτρικά σήματα, έτσι ώστε να απεικονίσουν τις εικόνες ή να τις αποθηκεύσουν με ηλεκτρονική μορφή. Κυρίως, τους συναντάμε ως ψηφιακές κάμερες, κάμερες νυχτερινής όρασης, ραντάρ, θερμικές και βιομετρικές εικόνες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τους αισθητήρες κίνησης που αναφέραμε παραπάνω, ώστε να εντοπίζουν κάθε περίεργη ή κακόβουλη κίνηση στο αγρόκτημα.
- **Αισθητήρες ήχου (Acoustic Sensors):** Οι αισθητήρες αυτοί εντοπίζουν τον ήχο. Χρησιμοποιούνται κυρίως στον κτηνοτροφικό τομέα, έτσι ώστε να εντοπίζουν τυχόν ασθένειες των ζώων, μέσα από τον ήχο της φωνής τους, αλλά και στον τομέα της γεωργίας για τον εντοπισμό των ζιζανίων, τα οποία προκαλούν ασθένειες και καταστρέφουν τις καλλιέργειες.

Γ. Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (Wireless Sensor Network)

Στον αγροτικό τομέα, καμία καλλιεργήσιμη έκταση και κανένα αγρόκτημα δεν είναι απόλυτα ομοιογενή. Το γεγονός αυτό, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ένας αισθητήρας δεν είναι αρκετός για να λάβει αντικειμενικές ενδείξεις από ολόκληρες εκτάσεις, καθώς οι παράμετροι σε αυτές, διαφέρουν από σημείο σε σημείο. Η αποτελεσματικότητα δηλαδή των αισθητήρων, εξαρτάται και από το εύρος της έκτασης στην οποία χρησιμοποιούνται. Στις μεγαλύτερες εκτάσεις, θα πρέπει να εφαρμοστεί ένα σύστημα, από τους κατάλληλους για τον κάθε σκοπό αισθητήρες, το οποίο θα τοποθετηθεί σε διάσπαρτες τοποθεσίες, μέσα σε μια καλλιέργεια ή σε μία φάρμα.

Ως Σύστημα Ασύρματων Αισθητήρων (Wireless Sensor Network/ WSN), αποκαλείται ένα σύνολο από ειδικούς και χωριακούς αισθητήρες, για την παρακολούθηση της φυσικής κατάστασης του περιβάλλοντος, την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί και την μεταφορά των συγκεντρωμένων πληροφοριών σε μία κεντρική τοποθεσία (W. Dargie et al., 2010). Ένα WSN σύστημα, το οποίο χρησιμοποιείται στον τομέα της έξυπνης γεωργίας, αποτελείται από διαφορετικούς κόμβους, οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα. Διαθέτουν έναν κεντρικό κόμβο («κόμβος συλλέκτης»), στον οποίο γίνεται η προώθηση των δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί από τους υπόλοιπους αισθητήρες, τα οποία στη συνέχεια θα τεθούν υπό επεξεργασία. Μέσα από αυτόν τον κόμβο, γίνεται η απεικόνιση των δεδομένων, τα οποία υπάρχουν σε κάθε περιοχή της ελεγχόμενης έκτασης.

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εμφανίζεται η έννοια της «peer to peer» (P2P) επικοινωνίας. Αυτό σημαίνει ότι η συλλογή των πληροφοριών γίνεται από περισσότερους από έναν κόμβους μέσα στο σύστημα, οι οποίοι προωθούν τις πληροφορίες που λαμβάνουν από το περιβάλλον και τις μεταφέρουν ο ένας προς τον άλλον (εφόσον έχουν κοινή εμβέλεια), λειτουργώντας σαν κρίκοι μιας αλυσίδας. Η μετάδοση των πληροφοριών γίνεται με φορά προς τον κεντρικό κόμβο του συστήματος. Έτσι, οι πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί, μπορούν να διαχέονται σε ολόκληρη την έκταση, μεταφερόμενες από κόμβο σε κόμβο με τη χρήση ασύρματης επικοινωνίας, μέχρι να φτάσουν στον κόμβο «συλλέκτη», ο οποίος επικοινωνεί με το υπολογιστικό σύστημα, για την αποστολή τους στον παραλήπτη. Ο κεντρικός κόμβος έχει την ικανότητα να εκτελεί κάποιες αυτόματες εργασίες. Για παράδειγμα, λαμβάνοντας ως βάση τα δεδομένα από τον αισθητήρα του εδάφους, μπορεί να ενεργοποιήσει το αυτόματο σύστημα αντλίας νερού, ώστε να διοχετεύσει νερό στο αγρόκτημα. Μπορεί

επίσης, να ειδοποιήσει το χρήστη για τα δεδομένα του αισθητήρα pH, όταν είναι απαραίτητο να ρίξει λίπασμα στο αγρόκτημα (M. Mahbub, 2020). Μερικά από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα ενός WSN, είναι ότι μπορεί να οργανώνεται, να διαμορφώνεται, να προχωρά σε διάγνωση μόνο του και είναι φορητό. Παράλληλα, η χρήση του μειώνει σημαντικά την χρήση καλωδίων, που οδηγεί στην μείωση του λειτουργικού κόστους - καθώς τυπικά το κόστος των καλωδίων για τέτοιες εγκαταστάσεις φτάνει περίπου τα US\$ 130650 το μέτρο- αλλά και στην απλοποίηση του συστήματος (Boursianis et al., 2020).

Στην έρευνά τους, οι Nurzaman Ahmed et al., (2019), χρησιμοποίησαν ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων για να προχωρήσουν στην εφαρμογή του συστήματός τους. Όπως υποστηρίζουν, προχώρησαν στην χρήση ενός αισθητήρα υγρασίας, ώστε να ενημερωθούν σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που κυριαρχούσαν στο υπό εξέταση αγροτικό περιβάλλον. Έπειτα, μετέφεραν τα δεδομένα που συγκέντρωσαν, μέσα από ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) σε μία κεντρική βάση δεδομένων και τα διαχώρισαν, σε δεδομένα φυσιολογικής, υψηλής και χαμηλής υγρασίας. Με την έρευνά τους αυτή, προχώρησαν στην εφαρμογή ενός συστήματος IoT για την παρακολούθηση της συνδεσιμότητας της κάθε συσκευής, το οποίο σύστημα είναι συνδεδεμένο με μια μητρική πλακέτα. Παράλληλα, στο σύστημα αυτό χρησιμοποίησαν και ένα σημείο διασύνδεσης των πελατών, με σκοπό να αυξηθούν οι εφαρμογές της έξυπνης γεωργίας με τη χρήση του IoT.

4. Φορέσιμοι αισθητήρες (Wearables)

Με τον όρο «wearables», περιγράφουμε τις έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίες διαθέτουν μικροαισθητήρες. Οι συσκευές αυτές μπορούν να φορεθούν ή να τοποθετηθούν πάνω στο δέρμα και στα ρούχα. Έχουν κατασκευαστεί με αυτόν τον τρόπο, ώστε να μην διακόπτουν ή περιορίζουν τις κινήσεις του χρήστη. Η χρήση τους, έχει ως σκοπό την αδιάκοπη και λεπτομερή παρακολούθηση των δραστηριοτήτων του κάθε ατόμου ξεχωριστά και την συγκέντρωση δεδομένων σχετικά με την υγεία του (π.χ. μέτρηση καρδιακών παλμών, αρτηριακής πίεσης, ποσοστού οξυγόνου κτλ.).

Η νέα αυτή τεχνολογία αισθητήρων, ενσωματώνει ευέλικτα και κλιμακούμενα ηλεκτρονικά τσιπ και συσκευές, πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας, αισθητήρες και χαρακτηριστικά νάνο-τεχνολογίας, για την επίτευξη καλύτερης προόδου στην ανάλυση δεδομένων ψηφιακής υγειονομικής περίθαλψης. Οι φορητοί αισθητήρες επικοινωνούν με

έξυπνες φορητές συσκευές, όπως έξυπνα τηλέφωνα ή ψηφιακούς βοηθούς. Οι ανιχνευόμενες πληροφορίες μεταδίδονται μέσω ασύρματου μέσου, αξιοποιώντας οποιοδήποτε υπάρχον πρότυπο τεχνολογίας επικοινωνίας. Το W-IoT (wearable IoT), όπως ονομάζεται το αποτέλεσμα αυτής της ενσωμάτωσης, προσφέρει το πλεονέκτημα της συλλογής ενός τεράστιου όγκου δεδομένων κάθε χρονική στιγμή, από κάθε μέρος και σε οποιοδήποτε περιβαλλοντικές συνθήκες. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται ευκολότερη η αξιολόγηση και η ανάλυση της κατάστασης στην οποία βρίσκονται τα «αντικείμενα» που παρακολουθούνται κάθε φορά. Όλα τα παραπάνω, οδηγούν σε μία διεύρυνση του πεδίου χρήσης των wearable συσκευών και σε άλλα πεδία, όπως αυτό της Γεωργίας και της Κτηνοτροφίας Ακριβείας.

- **Καλλιέργειες:** Το πρόβλημα της παγκόσμιας ζήτησης σε τρόφιμα, που προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο της εισαγωγής, οδήγησε πολλούς επιστήμονες στο να στρέψουν την προσοχή τους στη δημιουργία αισθητήρων φυτών, ώστε να διευκολύνουν την βιώσιμη αγροτική παραγωγή (Giraldo et al., 2019; Li et al., 2019). Μέχρι σήμερα, η συλλογή ενός μεγάλου όγκου δεδομένων, σχετικά με τις μεταβλητές που παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών, γινόταν με τη χρήση εξελιγμένων τεχνολογιών και εξοπλισμού, όπως για παράδειγμα με ενεργά συστήματα απεικόνισης της ανάπτυξης των φυτών, σε καθημερινό επίπεδο (Trimble Inc., 2017). Ωστόσο, οι βασικές παράμετροι ανάπτυξης, όπως είναι η θερμοκρασία ή η υγρασία του περιβάλλοντος και το νερό που υπάρχει στο έδαφος, οι οποίες λαμβάνονται από τους αισθητήρες που περιγράψαμε παραπάνω, δεν είναι μεταβλητές που αφορούν το φυτό αυτό καθαυτό, αλλά περιγράφουν, κυρίως, το γύρω περιβάλλον του.

Οι wearable αισθητήρες φυτών, ανακαλύφθηκαν για την παρακολούθηση της ανάπτυξής τους, καθώς και για τον εντοπισμό τυχόν ασθενειών. Αυτοί ενσωματώνουν αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πάνω στην μαλακή επιφάνεια του κάθε φυτού, για την απομακρυσμένη και αδιάκοπη αξιολόγηση της ανάπτυξης. Η ενσωμάτωση των αισθητήρων γίνεται στα φύλλα και τα κοτσάνια του φυτού. Το ζήτημα που προκύπτει, είναι να δημιουργηθούν αισθητήρες, οι οποίοι θα είναι τόσο ελαφριοί, μαλακοί και βιοσυμβατοί, ώστε δεν θα λυγίζουν τα κλαδιά των φυτών. Στην έρευνα τους, οι JM Nassar et al. (2018), σχεδίασαν μαλακές wearable συσκευές

για τα φυτά, ενσωματώνοντας σε αυτές αισθητήρες θερμοκρασία, υγρασίας και πίεσης.

- **Κτηνοτροφικός τομέας:** Οι W-IoT αισθητήρες έχουν κάνει έντονη την εμφάνισή τους και στον κτηνοτροφικό τομέα, για την, σε πραγματικό χρόνο, παρακολούθηση μεταβλητών, σχετικά με την υγεία και την ευημερία των ζώων που εκτρέφονται στις φάρμες. Προηγούμενες μελέτες, οι οποίες έγιναν στο συγκεκριμένο πεδίο (Mannoor et al., 2012; Matzeu et al., 2015; Legner et al., 2019; Chung et al., 2019; Singh et al., 2020), κατέδειξαν ότι μερικά είδη αισθητήρων, που χρησιμοποιούνται στις wearable συσκευές, που εφαρμόζονται στα ζώα, ανάλογα με τον σκοπό λειτουργίας τους, είναι: **α)** οι βιοχημικοί αισθητήρες, **β)** οι φυσικοί αισθητήρες και **γ)** οι μικροαισθητήρες (M. Zhang et al., 2021). Πιο συγκεκριμένα:

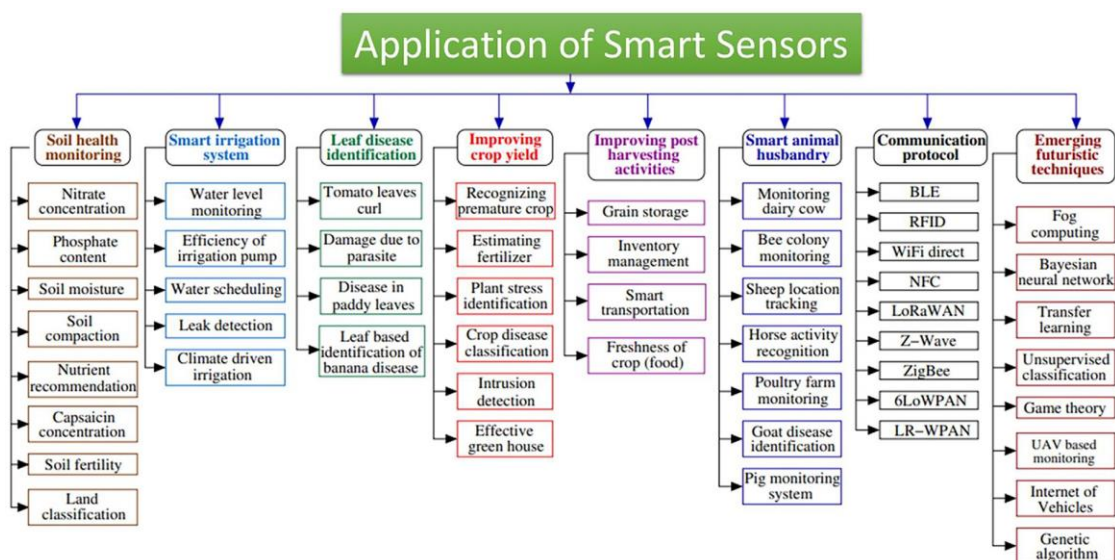
α) Ο όρος «βιοχημικοί αισθητήρες», περιγράφει τον συνδυασμό των βιοαισθητήρων, με τους χημικούς αισθητήρες. Από τη μία, οι βιοαισθητήρες διαθέτουν έναν βιοϋποδοχέα, ο οποίος χρησιμοποιεί σταθερά μόρια, που περιλαμβάνουν πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα και άλλα συστατικά, έχοντας έτσι την ικανότητα να ανιχνεύσει την παρουσία μιας οντότητας (παθογόνου, πρωτεΐνης, νουκλεϊκού οξέως και άλλα) σε ένα δείγμα και μετατρέποντας τη μορφή αυτής της αναγνώρισης, είτε σε ένα εικονικό είτε σε ένα ηλεκτρικό σήμα (Luka et al., 2015). Από την άλλη, οι χημικοί αισθητήρες είναι μικροσκοπικές συσκευές, οι οποίες μπορούν να μετατρέψουν μια χημική πληροφορία, σε ένα αναλυτικό ηλεκτρικό σήμα. Όπως αναφέρει ο Wang Wen (2016): «οι χημικές πληροφορίες μπορεί να προέρχονται από μια χημική αντίδραση του αναλύτη ή από μια φυσική ιδιότητα του υπό εξέταση συστήματος».

β) Οι φυσικοί αισθητήρες, παρουσιάζονται από τους M. Zhang et al.(2021), ως το πιο κατάλληλο και αποτελεσματικό εργαλείο ανίχνευσης της εποχής. Μερικές από τις λειτουργίες τους είναι: **1)** η παρακολούθηση του καρδιακού παλμού, της αρτηριακής πίεσης και του επιπέδου του οξυγόνου, με τη χρήση φορέσιμων συσκευών και **2)** η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του σώματος, η οποία διαχωρίζεται στην παρακολούθηση της θερμοκρασίας του δέρματος και στην παρακολούθηση της θερμοκρασίας του κορμού (Taylor et al., 2014; Zhang et al., 2019b).

γ) Τέλος, οι μικροαισθητήρες αποτελούν wearable συσκευές, οι οποίες με σκοπό να μην παρουσιάζονται νέοι στρεσογόνοι παράγοντες στα ζώα, που επηρεάζουν την ευημερία τους, πρέπει να διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά: **1)** μικρό μέγεθος, **2)** ελαφρύ βάρος και **3)** βιοσυμβατότητα. Η πιο χρήσιμη τεχνολογία μικροαισθητήρων στις μέρες μας, σύμφωνα με τους M. Zhang et al. 2021, είναι η συλλογή του ιδρώτα και η ποσοτική χημική ανάλυση για την παρακολούθηση της υγείας των ζώων.

Στην έρευνά τους, οι Krpalkova et al. (2020), χρησιμοποίησαν το Dairy master's MooMonitor, μια wearable τεχνολογία, η οποία καταμετρά τον μηρυκασμό και την διατροφική συμπεριφορά των αγελάδων, σε συνδυασμό με τα αρχεία αρμέγματος και τα δεδομένα της θερμοκρασίας τους περιβάλλοντος. Τα δεδομένα που συγκέντρωσαν στην έρευνα τους, προέρχονται από κάθε πηγή ξεχωριστά και ενώθηκαν για την ανάλυσή τους.

Οι συσκευές μικροαισθητήρων, εμφυτεύονται κυρίως μέσα στους ιστούς ή τα όργανα των ζώων, ακολουθώντας μια ελάχιστα επεμβατική μέθοδο, η οποία διαθέτει μεγάλη ακρίβεια, δεν έχει περιορισμούς ανάλογα με το μέγεθος των ζώων και επίσης δεν κινδυνεύει να πέσει από το ζώο, κοστίζει όμως πολύ και έχει μια μικρή επίδραση στην υγεία των ζώων. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες, ανεβαίνουν άμεσα στο Cloud, βοηθώντας με τον τρόπο αυτό τους αγρότες να εντοπίσουν τυχόν ζητήματα, που αφορούν τα ζώα (M. S. Farooq et al., 2019).



Εικόνα 3-3: Περιπτώσεις χρήσης έξυπνων αισθητήρων σε ένα αγροτικό σύστημα

E. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης αισθητήρων στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα

Όπως κάθε τεχνολογία, έτσι και οι αισθητήρες, έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Στον αγροτικό τομέα, μερικά από τα πλεονεκτήματα της χρήσης αισθητήρων, σε οποιαδήποτε μορφή και αν βρίσκονται, είναι η εξοικονόμηση των πόρων, τόσο των υδάτινων όσο και των οικονομικών, καθώς και η ενίσχυση της παραγωγικότητας. Παράλληλα, άλλα πλεονεκτήματα αποτελούν η ακριβής και εξατομικευμένη παρακολούθηση των ζώων και των φυτών, καθώς και η καταγραφή και η πρόβλεψη των αναγκών τους και τυχόν ασθενειών. Επιπρόσθετα, η φορητή φύση τους και οι λιγότερες δυνατές συνέπειες προς το περιβάλλον, με τη μικρότερη δυνατή χρήση χημικών και λιπασμάτων στο έδαφος, ανάλογα με τις ανάγκες του αποτελούν επίσης πλεονεκτήματα της χρήσης των αισθητήρων. Μερικά ακόμα πλεονεκτήματα αποτελούν, η ελαχιστοποίηση της χειρωνακτικής εργασίας, η καλύτερη εκμετάλλευση των εκτάσεων γης, η καλύτερη ποιότητα των προϊόντων κ.ά. Τέλος, όσον αφορά τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, το πιο μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι η σημαντική μείωση και απλοποίηση των καλωδίων, που έχουν ως αποτέλεσμα ένα πιο απλοποιημένο σύστημα.

Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά τα μειονεκτήματα στη χρήση αισθητήρων, τα οποία μπορεί να εντοπίσει κανείς στον αγροτικό τομέα, αυτά είναι το υψηλό κόστος επένδυσης και το γεγονός ότι είναι εκτεθειμένοι και εύθραυστοι, λόγω μεγέθους. Αυτό αυξάνει τις πιθανότητες καταστροφής τους από φυσικούς παράγοντες όπως πλημμύρες, καταιγίδες, ζώα τα οποία πέφτουν πάνω τους ή ακόμα και άλλα μηχανήματα τα οποία λειτουργούν μέσα στην ίδια έκταση. Παράλληλα, σύμφωνα με τους A. Rettore de Araujo Zanella et al. (2020), άλλο ένα ζήτημα που παρουσιάζεται αναφορικά με τη χρήση αισθητήρων σε ανοιχτά περιβάλλοντα, είναι αυτό της εξασθένησής τους (sensor weakening). Η εξασθένηση αυτή, οφείλεται σε παράγοντες όπως η οξειδωση των αισθητήρων, η συσσώρευση σκόνης πάνω τους ή ακόμα και η πλήρης διάβρωσή τους.

Τα παραπάνω, έχουν ως αποτέλεσμα οι αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην έξυπνη γεωργία, να αποδομούνται σταδιακά, λόγω της έκθεσής τους σε περιβαλλοντικές συνθήκες ή άλλα φυσικο-χημικά και κλιματικά φαινόμενα, οδηγώντας στην καταχώρηση λανθασμένων ή ασυνήθιστων μετρήσεων. Επιπρόσθετα, μερικοί αισθητήρες μπορεί να χρειάζονται επιπλέον εξοπλισμό για την σωστή λειτουργία τους, ο οποίος κοστίζει ή χρειάζεται περαιτέρω εξειδίκευση για τη χρήση του. Τέλος, μία πρόκληση, η οποία πρέπει να αντιμετωπιστεί μελλοντικά, όσον αφορά τα ασύρματα

δίκτυα αισθητήρων, τα οποία αποτελούν την ραχοκοκαλιά ολόκληρης της υποδομής των αγροτικών συστημάτων IoT (V.Moysiadis et al., 2021), είναι η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας των κόμβων, δεδομένου ότι αυτοί λειτουργούν με μπαταρίες, ώστε να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας, χωρίς να χρειάζονται φόρτιση.

3.1.2.2 Ρομπότ (AgBots)

Σύμφωνα με την Robotic Industries Association (RIA), «Ρομπότ είναι ένας αυτόματα ελεγχόμενος, επαναπρογραμματιζόμενος, πολυλειτουργικός ειδικευμένος χειριστής, ο οποίος έχει σχεδιαστεί με σκοπό να μετακινεί υλικά, τμήματα υλικών, εργαλεία ή συγκεκριμένες συσκευές μέσα από μία ποικιλία προγραμματισμένων κινήσεων για την εκτέλεση ενός πλήθους εργασιών» (Mikell P.Groover et al, 1986). Η πρόσφατη επανάσταση στα ρομπότ, στοχεύει στο να συμμετέχουν αυτά σε κάθε μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων τις επόμενες δεκαετίες (Vasileios Moysiadis et al., 2021).

Οι Avital Bechar et al. (2016) στην έρευνά τους, παρουσιάζουν τα ρομπότ ως συσκευές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη πολυπλοκότητα και αποτελούνται από υποσυστήματα, τα οποία για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και να μεταφέρουν τις απαραίτητες πληροφορίες, πρέπει να συγχρονίζονται μεταξύ τους. Επιπρόσθετα, προχωρούν σε μία διάκριση «κόσμου της ρομποτικής» σε τέσσερις κατηγορίες, με βάση τα δομικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και των αντικειμένων. Οι κατηγορίες είναι οι εξής: **α)** η πρώτη, στην οποία το περιβάλλον και τα αντικείμενα είναι δομημένα, **β)** η δεύτερη, στην οποία το περιβάλλον είναι αδόμητο και τα αντικείμενα δομημένα, **γ)** η τρίτη, στην οποία το περιβάλλον είναι δομημένο και τα αντικείμενα είναι αδόμητα και **δ)** η τέταρτη, στην οποία και το περιβάλλον και τα αντικείμενα είναι αδόμητα. Ο αγροτικός τομέας συμπεριλαμβάνεται στην τελευταία κατηγορία, καθώς αποτελεί ένα περιβάλλον πλήρως αδόμητο.

Πιο συγκεκριμένα, η χρήση των ρομπότ και του αυτοματισμού στον αγροτικό τομέα, απαιτεί εξελιγμένες τεχνολογίες, οι οποίες θα μπορέσουν να αντιμετωπίσουν τα ζητήματα που γεννούνται, λόγω της υψηλής μεταβλητότητας στο περιβάλλον του. Όπως αναφέρεται από την IEEE Robotics and Automation Society, η ρομποτική και ο αυτοματισμός, μπορούν να παίξουν ένα σημαντικό ρόλο για τα κοινωνικά προβλήματα σχετικά με το μέγεθος της ζήτησης τροφίμων μέχρι το 2050, τα οποία αναπτύχθηκαν λεπτομερώς στην εισαγωγή. Για την αφομοίωση των ρομπότ στον τομέα αυτόν, είναι

απαραίτητη η χρήση έξυπνων συστημάτων ανίχνευσης, τα οποία δεν κοστίζουν, είναι αξιόπιστα και δεν λειτουργούν εις βάρος του περιβάλλοντος. Ένα αγροτικό περιβάλλον είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο, καθώς αποτελείται από ζωντανούς οργανισμούς (ζώα, φυτά, λαχανικά, φρούτα), οι οποίοι επηρεάζονται πολύ από περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση κτλ. Γι' αυτό και η χρήση των ρομπότ σε ένα τέτοιο περιβάλλον, πρέπει να γίνεται με ακρίβεια και προσοχή.

Τα αγροτικά ρομπότ (Agribot), όπως ονομάζονται, έχουν σχεδιαστεί για να ενισχύσουν τον τομέα της έξυπνης γεωργίας, βελτιώνοντας την ποιότητα και την παραγωγή των προϊόντων, μειώνοντας παράλληλα, την εργατική δύναμη η οποία απαιτείται, αλλά και τον χρόνο των εργασιών. Για να αντεπεξέλθουν αποτελεσματικά σε ένα αγροτικό περιβάλλον, τα ρομπότ αυτά έχουν την ικανότητα να κινούνται μέσα στις εκτάσεις, σε αντίθεση με τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται στα εργοστάσια (Canning, Edwards & Anderson, 2004). Αν και μιλάμε για οξυδερκείς συσκευές, οι οποίες προγραμματίζονται από πριν, για να εκτελέσουν κάποιες διεργασίες, σε πραγματικό χρόνο και να λάβουν αποφάσεις, δυσκολεύονται να ανταποκριθούν σε άγνωστες και απρόβλεπτες καταστάσεις, για τις οποίες δεν έχουν προγραμματιστεί.

Όσον αφορά την τεχνική τους υποδομή, χρησιμοποιούν αισθητήρες για διάφορες διεργασίες, όπως η χαρτογράφηση⁷, η πλοήγηση, η αναγνώριση των αντικειμένων (ζώων και φυτών) και η μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Η χρήση της μηχανικής όρασης και τα συστήματα πλοήγησης (GPS), είναι το κλειδί για να εκτελέσουν με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα τις διεργασίες, που τους έχουν ανατεθεί, ενώ όπως υποστηρίζεται, η χρήση αλγόριθμων Τεχνητής Νοημοσύνης θα βοηθήσει περισσότερο στην αναγνώριση των αντικειμένων, καθώς και στην επεξεργασία των δεδομένων με ταχείς ρυθμούς.

Τα τελευταία χρόνια, οι πολλαπλές έρευνες πάνω στο πεδίο της ρομποτικής, οδήγησαν στην δημιουργία Αυτόνομων Ρομποτικών Συστημάτων (ARS), τα οποία δημιουργήθηκαν με σκοπό να εκτελούν εργασίες και να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Παράλληλα, μπορούν να λειτουργήσουν σε αδόμητο περιβάλλον, τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό χώρο (Avital Bechar et al., 2016), επομένως κρίνονται κατάλληλα για την χρήση στον

⁷ Με την χαρτογράφηση, η οποία εκτελείται από τα UAV οχήματα, σχηματίζονται 2D ή 3D χάρτες μιας αγροτικής έκτασης, που παρέχουν στους αγρότες πολύ σημαντικές πληροφορίες, όπως το μέγεθος και τα όρια της συγκεκριμένης έκτασης, την κατάσταση του εδάφους, το μέγεθος των καλλιεργειών κ.ά.

αγροτικό τομέα. Τέλος, σύμφωνα με το Markets and Markets, η αγορά των αγροτικών ρομπότ προβλέπεται ότι θα επεκταθεί από τα 4.6 δισεκατομμύρια δολάρια που κόστιζε το 2020, στα 20.3 δισεκατομμύρια δολάρια, μέχρι το 2025.

Τα ρομπότ κάνουν την εμφάνισή τους, τόσο στον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας, όσο και στον τομέα της Κτηνοτροφίας Ακριβείας, ενώ δύο πιο σημαντικά παραδείγματα αποτελούν τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs) και τα μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους (UGVs), τα οποία θα αναλυθούν εκτενώς, παρακάτω.

3.1.2.3 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs)

A. Γενικά χαρακτηριστικά UAV οχημάτων

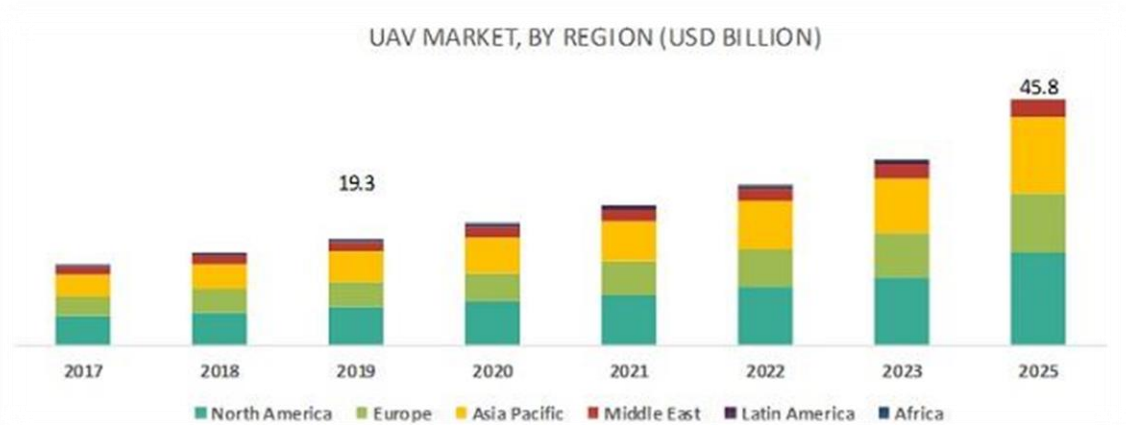
Ως UAVs, ορίζονται τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, τα οποία κινούνται σε προκαθορισμένη διαδρομή, διαθέτοντας έναν βαθμό αυτονομίας και ελέγχονται από τον χειριστή τους απομακρυσμένα, προσφέροντας δυνατότητες επιτήρησης και εκτέλεσης, ενός μεγάλου αριθμού εργασιών. Τα οχήματα αυτά, εμφανίστηκαν ως μία χαμηλού κόστους εναλλακτική τεχνική, για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και χρησιμοποιήθηκαν αρχικά, για στρατιωτικούς σκοπούς. Στις μέρες μας, η χρήση τους έχει επεκταθεί και σε άλλους τομείς, όπως στην ανάλυση των καιρικών φαινομένων, στις αποστολές διάσωσης (B. Li et al., 2019; A. Solodov et al., 2018) κ.ά. Πιο συγκεκριμένα, η αγορά των UAV οχημάτων προβλέπεται ότι θα φτάσει τα 45.8 USD μέχρι το 2025, ενώ το 2019 έφτανε τα 19.3 USD. Ο αγροτικός τομέας δεν θα μπορούσε να μείνει ανεπηρέαστος μπροστά σε μια τέτοια καινοτομία. Οι Boursianis et al.(2020), συμπεριλαμβάνουν τα UAVs και το IoT, στις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες, οι οποίες μεταμορφώνουν τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας, οδηγώντας στην ευφυή γεωργία, ενώ το 2014 το Massachusetts Institute of Technology περιέγραψε την χρήση των UAVs στον αγροτικό τομέα ως ένα «πράσινο εργαλείο» για την έξυπνη γεωργία. Σύμφωνα με την Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), στο κοντινό μέλλον το 80% των UAVs οχημάτων θα χρησιμοποιείται σε αγροτικές διεργασίες (P. Radoglou-Grammatikis et al., 2020).

Με την χρήση των UAVs, αντικαθίστανται πολλές αγροτικές διεργασίες, όπως η διαχείριση των ασθενειών των ζώων και των φυτών, το πότισμα και το λίπασμα των αγρών, η παρακολούθηση των ζώων και της ανάπτυξης της σοδειάς, μέσα από 3D αναπαράσταση των καλλιεργειών κ.ά. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται στα UAV οχήματα που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα, είναι κατασκευασμένη με τρόπο που τους

επιτρέπει να συλλέγουν ακριβέστερες πληροφορίες, από ό,τι είναι σε θέση να συλλέγουν τα αεροπλάνα και οι δορυφόροι. Τα οχήματα αυτά, αποτελούνται από τον σκελετό του οχήματος, έναν ελεγκτή εδάφους (ground controller), ένα σύστημα προώθησης και πλοήγησης (GPS), αισθητήρες, το φορτίο⁸ και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας, η οποία συνδέει τα δύο προηγούμενα (Austin, R 2010; Z. Ullah et al, 2020; Q. Song et al., 2020; W. Ejaz et al., 2020). Τα UAVs φαίνεται ότι αποτελούν την βέλτιστη λύση, από τη στιγμή που προσφέρουν στον αγρότη την δυνατότητα να «πετάξει σαν πουλί» πάνω από τις καλλιέργειες ή την φάρμα του, καλύπτοντας και τις πιο απομακρυσμένες περιοχές, καθώς και να αποκτήσει πολλές πληροφορίες, σε μικρό χρονικό διάστημα, με χαμηλό λειτουργικό κόστος και χωρίς προσωπικό μόχθο (V. Moysiadis et al., 2021). Τέλος, η ενσωμάτωση των UAVs και του IoT στον αγροτικό τομέα, βοηθά τους παραγωγούς να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις σχετικά με την αγροτική καλλιέργεια και την φάρμα τους.

Οι αισθητήρες που ενσωματώνονται πάνω στα οχήματα αυτά, είναι διαφορετικών ειδών και έχουν την δυνατότητα λήψης εικόνων (πχ. πολυφασματικές, θερμικές ή υπερφασματικές κάμερες) ή και όχι (πχ. χημικοί, μετεωρολογικοί, αισθητήρες νερού κ.ά). Τις περισσότερες φορές διαθέτουν ραντάρ, με σκοπό να σκανάρουν τις περιοχές πάνω από τις οποίες πετούν, δημιουργώντας μια τρισδιάστατη χαρτογράφηση της έκτασης (Ampatzidis et al., 2020; Gasparovic et al., 2020; Liu et al., 2019; Chen et al., 2019). Η χαρτογράφηση με τη χρήση UAV οχημάτων οδηγεί την βελτιστοποίηση του εντοπισμού των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, καθώς και των παρασίτων/ασθενειών (Nick Sigrimis, 2020). Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες των εναέριων οχημάτων, μεταφέρονται στο Cloud, με σκοπό την αποθήκευση και την επεξεργασία τους (Li et al., 2019; Wang et al., 2019; Feng et al., 2019; Razaak et al., 2019). Οι αισθητήρες αυτοί προσφέρουν πλεονεκτήματα, όπως απεικόνιση υψηλής ευκρίνειας. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους αισθητήρες δόθηκαν αναλυτικά παραπάνω (Κεφάλαιο 3.1.2.1).

⁸ Το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε ένα UAV εξαρτάται από το μέγεθος και το βάρος του (B.Vergouw et al., 2016).



Εικόνα 3-4: Κατανομή της αξίας της αγοράς των UAVs ανά τον κόσμο σε δολάρια

B. Κατηγορίες UAV οχημάτων

Τα UAV οχήματα κατηγοριοποιούνται με βάση το SWAP (size, weight, and power) δηλαδή μέγεθος, βάρος και ισχύς (Z. Qadir et al., 2021). Οι B.Vergouw et al. (2016) στην έρευνά τους, προχωρούν σε διακρίσεις των UAV οχημάτων με βάση: **α)** τα αεροδυναμικά τους χαρακτηριστικά, **β)** το επίπεδο της αυτονομίας τους, **γ)** το μέγεθος και το βάρος τους και **δ)** την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν. Αναλυτικά, τα παραπάνω χαρακτηριστικά έχουν ως εξής:

α) Διάκριση των UAVs με βάση τα αεροδυναμικά τους χαρακτηριστικά:

- 1. Fixed-wing UAVs:** Τα οχήματα αυτά μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές σε λίγα λεπτά, αλλά μειονεκτούν στην ανάλυση της εικόνας, σε σχέση με αυτά της δεύτερης κατηγορίας, καθώς πετούν σε μεγαλύτερο υψόμετρο. Επιπρόσθετα, μπορούν να λειτουργήσουν με ανέμους πάνω από 45km/h και οι πτήσεις τους μπορούν να διαρκέσουν περισσότερη ώρα από, τη στιγμή που καταναλώνουν λιγότερη ισχύ, καθώς εκμεταλλεύονται το αεροδυναμικό τους σχήμα.
- 2. Rotary-wing UAVs:** Από την άλλη πλευρά, τα οχήματα αυτής της κατηγορίας μπορούν να πετάξουν σε χαμηλό υψόμετρο και να λειτουργήσουν με ακρίβεια Έτσι, κρίνονται κατάλληλα ακόμα και για εργασίες, όπως ο ψεκασμός. Παράλληλα, μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερο φορτίο σε σχέση με την πρώτη κατηγορία.
- 3. Hybrid UAVs:** Αποτελούν έναν συνδυασμό των δύο κατηγοριών που προαναφέρθηκαν.

β) Διάκριση των UAVs με βάση το επίπεδο αυτονομίας τους:

Όπως υποστηρίζουν, οι B.Vergouw et al. (2016), το γεγονός ότι τα UAV λειτουργούν μέσω απομακρυσμένης διαχείρισης, χωρίς να διαθέτουν πιλότο, τους προσδίδει κάποιο βαθμό αυτονομίας. Ωστόσο, οι όροι «αυτόνομο» και «αυτόματο» σύστημα, δεν πρέπει να συγχέονται, διότι ανάμεσά τους εντοπίζονται κάποιες διαφορές. Όπως επισημαίνουν, η λειτουργία ενός αυτόματου συστήματος, βασίζεται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη ενός διαχειριστή. Ο διαχειριστής αυτός, είναι αρμόδιος να προκαθορίσει τον τρόπο, με τον οποίο το σύστημα επρόκειτο να εκτελέσει κάποιες εντολές. Ο κύριος στόχος που παρουσιάζεται στην έρευνα, είναι το σύστημα να μην παρεκκλίνει καθόλου από τις εντολές αυτές.

Από την άλλη πλευρά, ένα αυτόνομο σύστημα σύμφωνα με τους παραπάνω, αποτελείται από την παρουσία συγκεκριμένων κανόνων, οι οποίοι προσφέρουν έναν βαθμό προσαρμογής του συστήματος, σε ένα πλήθος διαφορετικών καταστάσεων. Αυτή η ελευθερία προσαρμογής, δεν παρουσιάζεται στα αυτόματα συστήματα. Τέλος, όπως καταλήγουν, στην σημερινή εποχή με την κυριαρχία του IoT, τα μοντέρνα UAV συστήματα χαρακτηρίζονται από ένα επίπεδο αυτονομίας. Σύμφωνα με το United States Department of Defense υπάρχουν τέσσερις τύποι αυτονομίας:

- 1. Human-operated system:** Ο διαχειριστής του οχήματος είναι υπεύθυνος για να ελέγχει όλες τις ενέργειες του UAV οχήματος.
- 2. Human deligated system:** Χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό επίπεδο αυτονομίας, σε σύγκριση με την πρώτη κατηγορία, διατηρώντας παράλληλα την ικανότητα να παίρνει με αυτόνομα περιορισμένες αποφάσεις.
- 3. Human supervised system:** Το UAV όχημα μπορεί να πάρει διάφορες αποφάσεις, βασιζόμενο στις κατευθύνσεις που του δίνει ο διαχειριστής του. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή την περίπτωση τόσο ο διαχειριστής, όσο και το όχημα μπορεί να εκτελεί διαφορετικές πράξεις έχοντας ως βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται.
- 4. Fully autonomous systems:** Είναι υπεύθυνο για όλες τις πράξεις. Σε αυτή την περίπτωση, το UAV όχημα λαμβάνει δεδομένα από τον διαχειριστή του και τα μετατρέπει σε συγκεκριμένα καθήκοντα. Σίγουρα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, ο διαχειριστής του έχει την δυνατότητα να επέμβει στην λειτουργία του οχήματος.

γ) Διάκριση των UAVs με βάση το μέγεθος και το βάρος τους:

Στην ίδια έρευνα, οι B.Vergouw et al. (2016), λαμβάνοντας υπόψη την άποψη της Ολλανδικής Επιθεώρησης Ανθρώπινου Περιβάλλοντος και Μεταφορών, διακρίνουν τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα σε βαριά και ελαφριά, χαρακτηρίζοντας βαριά, αυτά που το βάρος τους ξεπερνά τα 150 κιλά. Αντιθέτως, οι B.Custers et al.(2015), προχωρούν σε μία πιο λεπτομερή διάκριση, λαμβάνοντας υπόψη και τον τύπο του κάθε UAV οχήματος, ανάλογα με τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του, τα οποία και προαναφέραμε.

Έτσι, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα fixed-wing UAVs θεωρούνται μεγάλα οχήματα, αν το βάρος τους είναι ανάμεσα στα 20 και τα 150 κιλά, ενώ αν το βάρος τους δεν ξεπερνά τα 20 κιλά, τότε θεωρούνται μικρά οχήματα. Με την ίδια λογική, τα rotary-wing UAVs, το βάρος των οποίων βρίσκεται ανάμεσα στα 25 με 100 κιλά, θεωρούνται μεγάλα, ενώ αν δεν φτάνουν τα 25 κιλά θεωρούνται μικρά.

δ) Διάκριση των UAVs με βάση την πηγή ισχύος τους:

Τέλος, οι B.Vergouw et al.(2016), προχωρούν σε άλλη μία διάκριση των UAVs, ανάλογα με τους πόρους ενέργειας που χρησιμοποιούν. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες πηγών ενέργειας για τα UAVs: **α)** η κηροζίνη, **β)** οι συσσωρευτές μπαταρίας, **γ)** οι κυψέλες καυσίμου και **δ)** οι ηλιακοί συσσωρευτές. Η τελευταία κατηγορία, αποτελεί μια καινοτομία για την φόρτιση των μη επανδρωμένων οχημάτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, τόσο στα fixed-wing UAVs, όσο και στα rotary-wing UAVs. Μάλιστα, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς, το ενδιαφέρον μεγάλων εταιριών, όπως η Google and Facebook έχει στραφεί στην χρήση αυτού του τρόπου τροφοδότησης με ενέργεια, στοχεύοντας σε πτήσεις των UAVs στην ατμόσφαιρα.

Οι Yauhei Chu et al. (2021) στο άρθρο τους, επισημαίνουν ότι τα UAV οχήματα, τα οποία φορτίζονται με ηλιακή ενέργεια, χρησιμοποιούν ηλιακούς συσσωρευτές, που τοποθετούνται πάνω στο όχημα και αιχμαλωτίζουν την ηλιακή ενέργεια, που φτάνει στην επιφάνεια του οχήματος, όταν οι πτήσεις γίνονται κατά την διάρκεια της μέρας. Η ενέργεια αυτή, μεταφέρεται στον κινητήρα του οχήματος και του δίνει ώθηση ή απλά λειτουργεί ως φορτιστής για την μπαταρία, η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη πάνω στο όχημα. Η ισχύς της μπαταρίας χρησιμοποιείται μόνο σε περίπτωση συννεφιάς ή όταν οι πτήσεις γίνονται σε σκοτάδι.

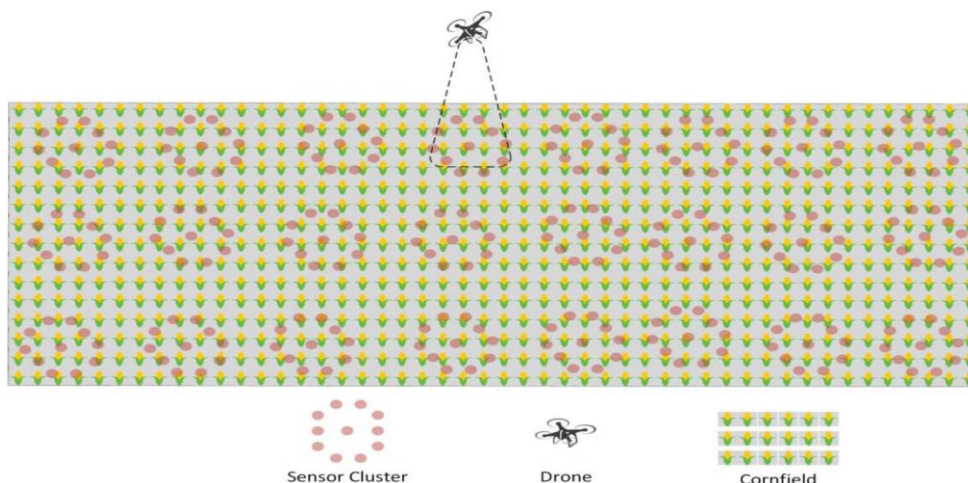
Γ. Εφαρμογές των UAV οχημάτων στον αγροτικό τομέα

Οι Katsigiannis et al. (2016), διακρίνουν τις εφαρμογές των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα σε: **α)** εφαρμογές παρακολούθησης, **β)** εφαρμογές ψεκασμού και **γ)** πολλαπλές εφαρμογές. Παράλληλα, δημιούργησαν μια εφαρμογή με τη χρήση UAV οχημάτων, η οποία μπορεί να συσσωρεύσει τα θερμικά και πολυφασματικά δεδομένα και με αυτό τον τρόπο να αποκτήσει πρόσβαση στα επίπεδα λειψυδρίας και την κατάσταση της υγείας των καλλιεργειών με ροδιές.

Πιο συγκεκριμένα, στις περισσότερες έρευνες παρουσιάζεται η χρήση UAV οχημάτων, τα οποία έχουν την ικανότητα να ψεκάζουν συγκεκριμένη ποσότητα από παρασιτοκτόνα και λιπάσματα, ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών, γεγονός που αυξάνει την παραγωγή των καλλιεργειών και αντιμετωπίζει πιθανές ασθένειες των φυτών. Ωστόσο, η χρήση τους πρέπει να γίνεται με σύνεση, διότι οι συνέπειες της τόσο στο περιβάλλον, όσο και στην ανθρώπινη υγεία, είναι σοβαρές (I. Dhouib et al., 2016).

Για το λόγο αυτό, στην έρευνά τους οι B.S. Faical et al. (2017), επικεντρώνονται στην μη ορθή χρήση χημικών, στον αγροτικό τομέα. Προτείνουν ένα σύστημα ψεκασμού, το οποίο ονομάζεται Adaptation to the Environment (AdEn) και συνδυάζει την χρήση των UAV οχημάτων και των WSN. Το σύστημα αυτό, έχει την ικανότητα να καθορίζει και να αλλάζει κατάλληλα την κατεύθυνση και τις ενέργειες των UAV ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες (πχ. την αλλαγή της φοράς και της ταχύτητας του ανέμου). Επιπρόσθετα, οι B.Dai et al.(2017), παρουσιάζουν ένα σύστημα ψεκασμού, με ειδικό σχεδιασμό για τα φρούτα των δέντρων, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ένας πλήρως αυτόνομος μηχανισμός, ο οποίος θα ψεκάξει σε συγκεκριμένες περιοχές, διαθέτοντας μεγάλη ακρίβεια και χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση.

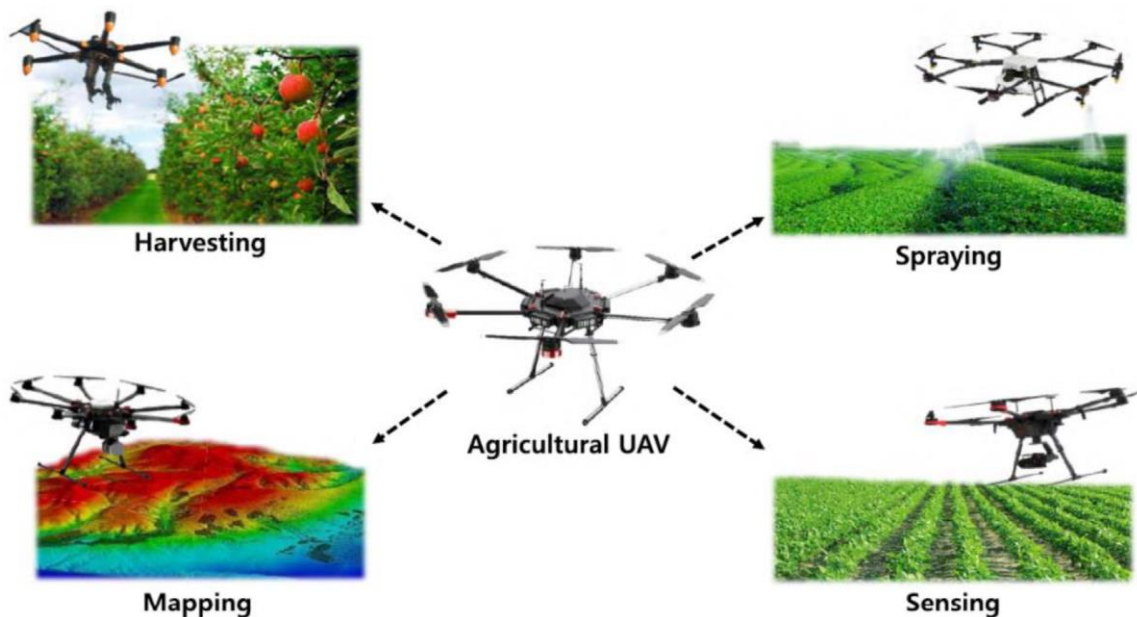
Στην έρευνά τους οι Cicioglu et al. (2021), προτείνουν μια ολιστική, έξυπνη αγροτική εφαρμογή, η οποία αποτελείται από drones, αισθητήρες, IoT συσκευές και υπηρεσίες λογισμικού. Οι αισθητήρες εφαρμόζονται σε χωράφια με καλαμπόκια και με τη χρήση τους, επιτυγχάνεται η συλλογή και η αποστολή δεδομένων στον συντονιστή κόμβο, ο οποίος έχει την ικανότητα να επικοινωνεί με ένα drone. Αυτό εκτελεί πτήσεις πάνω από μεγάλες εκτάσεις με καλαμπόκια, συγκεκριμένες ώρες την μέρα, συλλέγοντας τα δεδομένα από τους συντονιστές κόμβους. Με το σύστημα αυτό, οι αγρότες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τα δεδομένα σε γραφικές αναπαραστάσεις με τη βοήθεια ενός λογισμικού IoT.



Εικόνα 3-5: Απεικόνιση του παραπάνω συστήματος σε έκταση με καλαμπόκια

Οι J.A. Paredes et al. (2017) προτείνουν ένα σύστημα πολυφασματικής απεικόνισης για την συλλογή και την ανάλυση εικόνων από αγροτικές καλλιέργειες στο Περού. Η καινοτομία, η οποία παρουσιάζεται σε αυτή την έρευνα, είναι η παρουσίαση ενός συστήματος απαθανάτισης εικόνων, το οποίο καθορίζει πως πρέπει να αποθηκευτούν και να τεθούν σε επεξεργασία, οι εικόνες οι οποίες τραβήχτηκαν από τα UAV οχήματα.

Οι A.Vasudevan et al. (2016), παρουσιάζουν μία συνδυασμένη εφαρμογή των UAV και των UGV (μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους), τα οποία θα αναλυθούν λεπτομερώς στη συνέχεια, η οποία χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και την διαχείριση των καλλιεργειών. Όπως επισημαίνουν οι συγγραφείς, βασικό αντικείμενο της εφαρμογής αυτής είναι η χρήση των UAV οχημάτων, τα οποία έχουν την ικανότητα να παρακολουθούν περιοδικά την κατάσταση των καλλιεργειών, τραβώντας πολλές εικόνες από το χωράφι και λαμβάνοντας από αυτές διάφορες πληροφορίες (J. Xue et al., 2017; J. Rasmussen et al., 2016), σχετικά με την πυκνότητα, την φρεσκάδα τους και γενικότερα, την κατάσταση της βλάστησης. Από την άλλη, τα UGV οχήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με την σύνθεση του εδάφους, όπως για παράδειγμα την οξύτητα του και τα επίπεδα του pH.



Εικόνα 3-6: Οι ρόλοι που έχουν τα UAV οχήματα στις έξυπνες καλλιέργειες

Δ. Εφαρμογές των UAV οχημάτων στον κτηνοτροφικό τομέα

Η χρήση των UAV οχημάτων στον τομέα της κτηνοτροφίας, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια των αγροτών, για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των ζώων. Η σημασία τους, είναι έντονη ακόμα και στον τομέα της οικολογίας, καθώς αυτός πάντα ασχολούνται με την ιχνηλασία των ζώων, ώστε μέσα από αυτήν να αποκτήσει πληροφορίες σχετικά με την συμπεριφορά τους και την αλληλεπίδρασή τους μέσα σε ένα κοπάδι (Allred et al., 2013; Zhao and Jurdak, 2016; Liu et al., 2012).

Η χρήση τους δεν περιορίζεται μόνο στον εντοπισμό των ζώων μέσα σε μία φάρμα, αλλά και στην καταμέτρηση, την παρακολούθηση και την προστασία τους. Με την κάλυψη που προσφέρουν τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, οι αγρότες μπορούν να αποκτούν δεδομένα σχετικά με την υγεία, την θέση και την συμπεριφορά των ζώων, ώστε να έχουν τον πλήρη έλεγχο της φάρμας τους. Οι Barbedo and Koenigkan (2018), στο άρθρο τους προχωρούν σε μία λεπτομερή επισκόπηση, σχετικά με την χρήση των συστημάτων μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAS), για την παρακολούθηση αγροκτημάτων με βοοειδή. Επιπρόσθετα, οι Mufford et al. (2019) στην έρευνά τους, χρησιμοποιούν UAV οχήματα για να παρακολουθήσουν την χωρική εγγύτητα ανάμεσα στα βοοειδή.

E. Μειονεκτήματα της χρήσης των UAV οχημάτων

Αν και η τεχνολογία των UAV οχημάτων παρουσιάζεται σαν ένα πολύ αποτελεσματικό όπλο στα χέρια των αγροτών, προσφέροντάς τους πολλά πλεονεκτήματα, όπως κάλυψη μεγάλων εκτάσεων, αυξημένη ταχύτητα των εργασιών κ.ά., συνεχίζει να αποτελεί ένα νέο επίτευγμα, από το οποίο δεν λείπουν οι προκλήσεις. Μία από τις βασικότερες προκλήσεις στην χρήση τους είναι ότι οι συσκευές αυτές, χαρακτηρίζονται από περιορισμένη ισχύ (μικρής διάρκειας μπαταρία), γεγονός που οδηγεί σε περιορισμένο χρόνο λειτουργίας τους και ανάγκη για επιστροφή τους, στον κεντρικό σταθμό για επαναφόρτιση. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι ένα drone μπορεί να πετάξει πάνω από μία αγροτική έκταση για περίπου μία ώρα ή και λιγότερο, γ'αυτό και είναι πολύ σημαντικό η διαδρομή η οποία θα ακολουθήσει να είναι προκαθορισμένη (Elsayed Said Mohamed et al., 2021). Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, σε περιπτώσεις μεγαλύτερων εκτάσεων καλλιεργειών ή ζωικών εγκαταστάσεων, ένα μόνο μη επανδρωμένο εναέριο όχημα δεν αρκεί, για να ολοκληρώσει μόνο του τις διαδικασίες παρακολούθησης των εκτάσεων, αλλά και τις άλλες αγροτικές εργασίες για τις οποίες έχει λάβει εντολή.

Μία λύση στην πρόκληση αυτή, μπορεί να δώσει ένα σύστημα από πολλά UAV οχήματα (Unmanned Aerial Systems/UAS). Πρόκειται για μια επαναστατική τεχνολογία, η οποία παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές στον αγροτικό τομέα. Όπως υποστηρίζουν οι Hogan et al. (2017), ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των UAS είναι ότι έχουν μεγάλη ποικιλία ρυθμίσεων και ικανοτήτων. Στην έρευνά τους, οι X. Li et al. (2016) προτείνουν τον διαχωρισμό μιας έκτασης σε περισσότερα κομμάτια (blocks), έτσι ώστε κάθε όχημα να είναι αρμόδιο για την παρακολούθηση συγκεκριμένου κομματιού. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η συντονισμένη δράση διαφορετικών UAV οχημάτων είναι η μεγαλύτερη κάλυψη και επιτήρηση, ακόμα και των πιο απομακρυσμένων περιοχών, η ταυτόχρονη λήψη πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο από πολλούς και διαφορετικούς αισθητήρες, η ταχύτητα των εργασιών, καθώς το κάθε όχημα έχει διαφορετική εντολή, καλύπτοντας ένα εύρος από εργασίες μέσα στις εκτάσεις, όπως και η εκτέλεση διάφορων εντολών με τις ελάχιστες απώλειες ενέργειας. Σύμφωνα με το άρθρο των J.G.A Barbedo et al.(2018), τα συστήματα αυτά, υιοθετούνται σε μεγαλύτερο βαθμό στην Ιαπωνία, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει κάποια βήματα υιοθέτησης και από τις ΗΠΑ. Από την άλλη, για να δώσουν λύση στο πρόβλημα της μπαταρίας, οι Jeongeun Kim et al. (2019), προτείνουν στην έρευνά τους, τη χρήση

μπαταρίας ιόντων λιθίου, η οποία έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τις συμβατικές μπαταρίες. Ωστόσο και η λύση αυτή δεν φαίνεται να είναι πλήρως ικανοποιητική, καθώς οι μεγαλύτερης χωρητικότητας μπαταρίες, ζυγίζουν και περισσότερο. Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες επικεντρώνονται στη δημιουργία υβριδικών μπαταριών (Saha et al., 2011; Lee et al., 2021).

Τέλος, άλλη μία πρόκληση σχετικά με τη χρήση των UAV οχημάτων, φαίνεται να αποτελεί το αυξημένο τους κόστος. Πιο συγκεκριμένα, τα drones που διαθέτουν καλό λογισμικό, θερμικές κάμερες και κάμερες υψηλής ανάλυσης, κοστίζουν περισσότερο.

3.1.2.4 Μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους (UGV)

Όπως προαναφέραμε, μερικοί από τους βασικούς σκοπούς της χρήσης των ρομπότ στον αγροτικό τομέα, είναι η μείωση της εργατικής δύναμης -που οδηγεί σε ανάλογη μείωση του λειτουργικού κόστους- και η αύξηση της ταχύτητας των εργασιών, στοιχεία τα οποία κρίνονται απαραίτητα σε ένα αγροτικό περιβάλλον, η παρακολούθηση των ζώων σε μια φάρμα, καθώς και η αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των καλλιεργειών.

A. Γενικά χαρακτηριστικά UGV οχημάτων

Όπως υποστηρίζουν οι Dr. Amanullah et al. (2020) στο βιβλίο τους «Agronomy: Climate Change & Food Security», πάνω στο «σώμα» των UGV οχημάτων, πρέπει να ενσωματωθεί ένα σύνολο από άλλες τεχνολογίες, οι οποίες θα τα διαμορφώσουν. Πιο συγκεκριμένα, στην βιβλιογραφία κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η ενσωμάτωση συστημάτων ασφαλείας, τα οποία έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν, τυχόν εμπόδια που παρουσιάζονται στην πορεία των UGV οχημάτων. Σκοπός των συστημάτων αυτών, σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, είναι η προστασία τόσο των ανθρώπων και των ζώων, τα οποία υπάρχουν στο γύρω από τα οχήματα περιβάλλον, αλλά και των άλλων ρομπότ, με τα οποία μπορεί να συνεργάζονται. Μερικά από τα χαρακτηριστικά των UGV οχημάτων, τα οποία επισημαίνουν οι Dr. Amanullah et al. (2020), στην έρευνά τους, είναι τα ακόλουθα:

- **Μικρό μέγεθος:** Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση μικρότερων UGVs, σε σχέση με τα μεγάλα οχήματα, που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα κατά τις προηγούμενες δεκαετίες, είναι πολλά (Gonzales de Santos P. et al., 2017). Με την χρήση πολλών και μικρότερων ρομπότ, μπορεί να δημιουργηθεί

ένα ολόκληρο σύστημα. Το θετικό στοιχείο ενός τέτοιου συστήματος, σύμφωνα με τους συγγραφείς, είναι η ικανότητά του να συνεχίζει την ροή των εργασιών, κάνοντας έναν επαναπροσδιορισμό, σε περίπτωση που κάποιο από τα UGVs παρουσιάσει μια δυσλειτουργία και δεν είναι ικανό να ανταπεξέλθει (Dr. Amanullah et al. (2020); Anil et al. 2015). Παράλληλα, το μικρότερο βάρος που διαθέτουν οι συσκευές με μικρό μέγεθος, μειώνει την συμπίεση του εδάφους γεγονός που ενισχύει την ανάπτυξη των καλλιεργειών.

- **Ευελιξία:** Όπως προαναφέραμε, λόγω του ότι τα αγροτικά ρομπότ καλούνται να λειτουργήσουν σε ένα εντελώς αδόμητο περιβάλλον, πρέπει να διαθέτουν προσαρμοστικότητα σε διάφορες καταστάσεις και εργασίες. Παράλληλα, όπως επισημαίνουν οι συγγραφείς, πολύ σημαντικό στοιχείο για την αποτελεσματική λειτουργία των UGV οχημάτων είναι το να μπορούν να ενσωματώνουν στο σώμα τους διάφορα εργαλεία. Η ενσωμάτωση, αλλά και η αφαίρεση των εργαλείων αυτών από το σώμα των οχημάτων, πρέπει να γίνεται με εύκολο και γρήγορο τρόπο. Για παράδειγμα, τα UGV οχήματα, διαθέτουν κινητές πλατφόρμες, οι οποίες μπορούν να ελέγχουν την απόσταση ανάμεσα στις ρόδες τους και έτσι, καθίσταται πιο ικανά για εργασίες σε καλλιέργειες που είναι ταξινομημένες σε σειρές, σε σχέση με τα παραδοσιακά τρακτέρ, τα οποία αν και διαθέτουν τον κατάλληλο εξοπλισμό, ώστε να μπορέσει κανείς με αυτά να οργώσει, να φυτέψει, να ραντίσει, να ψεκάσει, ακόμα και να μαζέψει, δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε μια πληθώρα διαφορετικών καταστάσεων, καθώς η απόσταση ανάμεσα στις ρόδες είναι προκαθορισμένη.
- **Ασφάλεια:** Όπως προαναφέραμε, τα συστήματα ασφαλείας είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο, το οποίο πρέπει να διαθέτουν τα UGV οχήματα. Οι συγγραφείς διακρίνουν τα συστήματα αυτά σε τρεις κατηγορίες, ενώ προτείνουν την εφαρμογή ενός συστήματος ασφαλείας δύο επιπέδων. Οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνουν τα συστήματα είναι οι εξής: **α)** ασφάλεια απέναντι στους ανθρώπους, **β)** ασφάλεια απέναντι στις καλλιέργειες και τα ζώα και **γ)** ασφάλεια απέναντι στα άλλα ρομπότ. Σχετικά με τα δύο επίπεδα ασφαλείας που προτείνουν αυτά είναι:
 1. Ένα σύστημα ασφαλείας χαμηλού επιπέδου, το οποίο διαθέτει την ικανότητα να εντοπίζει τα εμπόδια που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τα UGV οχήματα, προλαμβάνοντας τυχόν συγκρούσεις.

2. Ένα σύστημα ασφαλείας υψηλού επιπέδου, το οποίο διαθέτει την ικανότητα να εντοπίζει τυχόν εμπόδια, σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Με τον τρόπο αυτό το UGV όχημα έχει τον χρόνο να λάβει αποφάσεις, όπως για παράδειγμα να επαναπροσδιορίσει την τροχιά του, αποφεύγοντας την σύγκρουση. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, το επίπεδο αυτό πρέπει να περιλαμβάνει όραση (με οπτικούς αισθητήρες), υπερφασματικές κάμερες και υπέρυθρο φως.
- **Φιλικά προς το περιβάλλον:** Σημαντικό, σύμφωνα με τους γράφοντες, είναι τόσο τα συστατικά τα οποία εφαρμόζονται πάνω στα UGV οχήματα, όσο και τα ίδια τα UGVs να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Τα συμβατικά οχήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα, καίνε ορυκτά καύσιμα, που εκκρίνουν τεράστια ποσοστά από ρύπους στην ατμόσφαιρα, όπως είναι το διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα, το νιτρικό οξυγόνο κ.ά. (Gonzales de Santos P. et al., 2016). Παράλληλα, συχνό είναι το φαινόμενο τα καύσιμα αυτά να χύνονται στο έδαφος, προκαλώντας μακροχρόνια μόλυνση και καταστροφή στο οικοσύστημα. Τέλος, σαν μελλοντική λύση προτείνουν την χρήση ηλεκτρικών οχημάτων.

Καταλήγοντας, σύμφωνα με τους Santosh Pitla et al. (2020), τα UGV οχήματα μπορούν να εκτελούν συνεχόμενες εργασίες για διάστημα 22 ωρών κάθε μέρα, ξεοδεύοντας μικρό χρονικό διάστημα για service και συντήρηση. Η δυνατότητα αυτή, αυξάνει τον αριθμό των εργασιών που εκτελούνται, σε σχέση με αυτές που γίνονται από μηχανές, τις οποίες χειρίζονται άνθρωποι, ενώ όπως υποστηρίζουν η χρήση των UGVs, τόσο στον τομέα της καλλιέργειας, όσο και στον κτηνοτροφικό τομέα αποτελεί μια τεράστια ευκαιρία για την ενίσχυση της παραγωγικότητας. Παρακάτω, θα αναλυθούν μερικά παραδείγματα χρήσης των UGV οχημάτων στους τομείς της Γεωργίας και της Κτηνοτροφίας Ακριβείας.

B. Εφαρμογή των UGV οχημάτων στον αγροτικό τομέα

Η μοντέρνα τεχνολογία των μη επανδρωμένων οχημάτων εδάφους, στον τομέα των καλλιεργειών και της κτηνοτροφίας, φαίνεται ότι εξαπλώνεται σε πολλές χώρες της Αμερικής, της Ευρώπης αλλά και της Ασίας, όπου τα ρομπότ χρησιμοποιούνται με σκοπό την αύξηση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση του λειτουργικού κόστους και του απαιτούμενου χρόνου (Kootstra et al., 2021). Πιο συγκεκριμένα, όπως υποστηρίζουν οι E. Said Mohamed et al. (2021), τέτοιου είδους ρομπότ μπορούν να μειώσουν την περιβαλλοντική μόλυνση από ζιζάνια, σε ένα αγρόκτημα, σε ποσοστό 80%. Παράλληλα, όπως αναφέρουν, τα αγροτικά ρομπότ αποτελούν πολύ πρακτικά εργαλεία στα χέρια ενός αγρότη, ιδιαίτερα σε μια χρονική περίοδο σαν αυτή που διανύουμε τα τελευταία δύο χρόνια, με τη μετάδοση του ιού Covid-19.

Έτσι λοιπόν, όπως διαπιστώνουμε από τη βιβλιογραφία, στον τομέα της γεωργίας ακριβείας, τα UGVs εκτελούν βασικές εργασίες, όπως το ψέκασμα, την σπορά, τη συγκομιδή, την άρδευση με ακρίβεια, την επιτήρηση του αγροκτήματος, την απομάκρυνση των χόρτων κ.ά. Παράλληλα, προσφέρουν ακριβή εφαρμογή των λιπασμάτων και των παρασιτοκτόνων, ελαττώνοντας τις περιβαλλοντικές συνέπειες. Σύμφωνα με τους Chris Lytridis et al. (2021), συγκριτικά με τα UAV συστήματα, τα UGV οχήματα κρίνονται πιο κατάλληλα για τις αγροτικές εργασίες, οι οποίες χρειάζονται ανθρώπινη παρέμβαση (πχ. σκάψιμο, ράντισμα, μάζεμα κ.ά). Η χρήση του IoT από τα ρομπότ αυτά, κρίνεται ιδιαίζουσας σημασίας, καθώς με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η ταχύτητα της συγκομιδής και γίνεται αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων (A. Milella et al., 2019). Συμπερασματικά, τα UGVs φαίνεται ότι επιφέρουν σημαντική ανάπτυξη, για διάφορες εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας (Pedersen et al., 2006). Μάλιστα στην Ολλανδία, χώρα η οποία πρωτοπορεί στον τομέα της γεωργίας ακριβείας, υπολογίζεται ότι περίπου για το 30% των εργασιών που γίνονται στις καλλιέργειες, χρησιμοποιείται ρομποτική τεχνολογία (Brewster et al, 2018).

Οι Emmi L. et al. (2013) στην έρευνά τους, αναφέρονται σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο ονομάζεται «Simulation Environment for Precision Agriculture Tasks using Robot Fleets» (SEARFS), στο οποίο γίνεται μια μελέτη σχετικά με τη λειτουργία ομάδων από διαφορετικά ρομπότ, στον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας και πιο συγκεκριμένα, στις εργασίες σχετικά με την διαχείριση των αγριόχορτων. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, πρόκειται για ένα υπολογιστικό εργαλείο γενικού σκοπού, το οποίο μπορεί να διαμορφώσει ένα τρισδιάστατο (3D) εικονικό αγροτικό περιβάλλον και να

μιμηθεί την συμπεριφορά των στοιχείων, που αποτελούν τον στόλο των αυτόνομων αγροτικών ρομπότ. Στο περιβάλλον αυτό, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το ρομπότ που επιθυμεί, όπως και τους αισθητήρες οι οποίοι θα ενσωματωθούν σε αυτό. Παράλληλα, είναι στην επιλογή του και ο τύπος του εδάφους, τα χαρακτηριστικά δράσης του οχήματος, καθώς και η αποστολή που θα ακολουθήσει.

Οι Chand et al. (2021), κατάφεραν να σχεδιάσουν ένα έξυπνο αγροτικό ρομπότ πολλαπλών σκοπών (Multi-purpose Smart Farm Robot/ MpSFR), που όπως επισημαίνουν, λειτουργεί αυτόματα και έχει τη δυνατότητα να κουβαλήσει δεξαμενές με νερό και παρασιτοκτόνα, τα οποία ψεκάζει με τη χρήση μηχανικής όρασης. Το ρομπότ αυτό δεν κινδυνεύει από εξάντληση της μπαταρίας του, καθώς βασίζεται στη χρήση φωτοβολταϊκής ενέργειας, με την οποία φορτίζεται η μπαταρία. Λειτουργεί με τη χρήση αισθητήρων, οι οποίοι εντοπίζουν τα σημεία εκείνα τα οποία κινδυνεύουν από ασθένειες με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Οι Jun Zhou και Baohua Zhang (2019), στο βιβλίο τους «Agricultural Robots: Fundamentals and Applications», κάνουν μια λεπτομερή παρουσίαση των ρομπότ, τα οποία χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες. Αξίζει να αναφέρουμε τρεις σημαντικές κατηγορίες UGV οχημάτων, τις οποίες αντλήσαμε από την παραπάνω έρευνα:

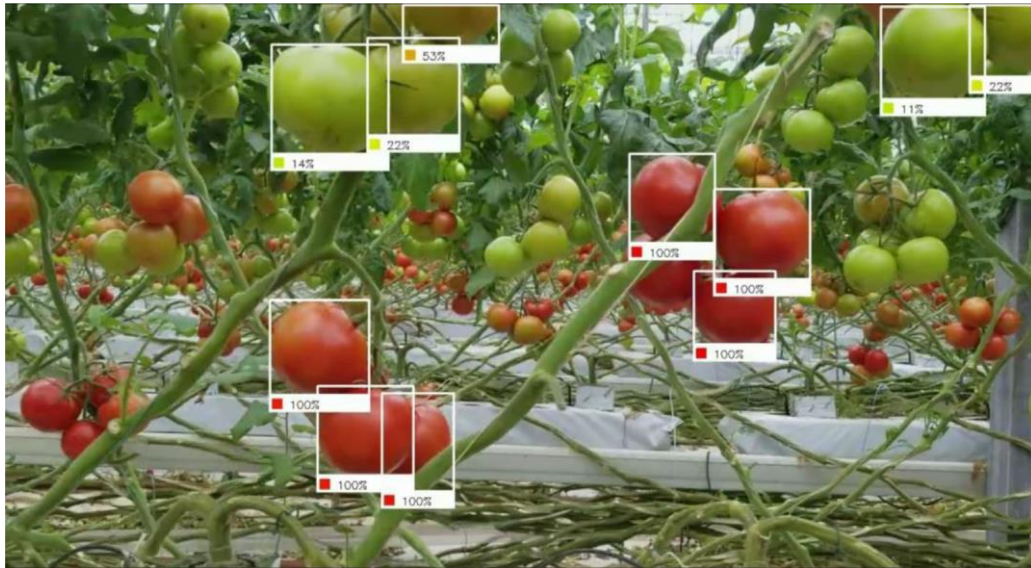
- 1. Ρομπότ συγκομιδής (harvesting robots):** Σύμφωνα με τους συγγραφείς, τα ρομπότ της κατηγορίας αυτής, χρησιμοποιούν μηχανική όραση, η οποία τους δίνει την ικανότητα να κινούνται στον χώρο και να εντοπίζουν την τοποθεσία του κάθε αντικείμενου στο περιβάλλον τους. Με την μηχανική όραση που διαθέτουν, μπορούν να επεξεργάζονται τις εικόνες, οι οποίες λήφθηκαν από τους οπτικούς αισθητήρες τους. Στις εικόνες αυτές, εκτός από το αντικείμενο-στόχο, υπάρχει και ένα σύνολο από άχρηστες πληροφορίες, οι οποίες καθυστερούν την ταχύτητα και την ακρίβεια της αναγνώρισης από τα UGVs. Επομένως, η πιο σημαντική ιδιότητα των ρομπότ αυτών είναι ότι καταφέρνουν να αναγνωρίσουν τις πιο σημαντικές για τις καλλιέργειες πληροφορίες, μέσα από μία ευρύτερη γκάμα πληροφοριών.
- 2. Ρομπότ τα οποία διαθέτουν λαβές:** Με την απλή ανθρώπινη λογική, μπορεί κανείς να κατανοήσει πόσο σημαντικό είναι ένα ρομπότ να διαθέτει την ικανότητα να πιάνει και να κουβαλάει αντικείμενα. Οι συγγραφείς, παρουσιάζουν τις λαβές, ως ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που μπορεί να διαθέτει ένα ρομπότ, για να ανταπεξέλθει με αποτελεσματικότητα σε διαφορετικές

εργασίες, σε ένα αγροτικό περιβάλλον. Ωστόσο, ως ένα πολύ σημαντικό ζήτημα που προκύπτει από την χρήση τέτοιου είδους ρομπότ, οι συγγραφείς παρουσιάζουν τον τρόπο, με τον οποίο λειτουργούν οι λαβές, καθώς και την δύναμη με την οποία πιάνουν τα αντικείμενα. Οι εργασίες αυτές, πρέπει να γίνονται με μαλακές κινήσεις, διότι τα φυτά και τα φρούτα διαθέτουν πολύ εύθραυστη «δομή» και οι «άγαρμπες» κινήσεις κατά τη διάρκεια της συγκομιδής ή και μετά από αυτήν, μπορούν να προκαλέσουν χτυπήματα στον φλοιό τους. Όπως καταλήγουν οι συγγραφείς, αν διευθετηθεί το ζήτημα με τις λαβές των ρομπότ, αυτά θα μπορούσαν ακόμα και να αντικαταστήσουν πλήρως το ανθρώπινο δυναμικό για την εργασία της συγκομιδής.



Εικόνα 3-7: Ρομπότ που διαθέτει λαβές

- 3. Ρομπότ Διαλογής (grading robots):** Η μηχανική όραση, παρουσιάζεται και πάλι από τους συγγραφείς, ως ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν αυτή τη φορά, τα ρομπότ διαλογής. Με την χρήση της μηχανικής όρασης, μπορούν να εντοπίζουν τυχόν ελαττώματα στον εξωτερικό φλοιό των φρούτων ή των λαχανικών. Έπειτα χρησιμοποιώντας φασματική/υπερφασματική τεχνολογία απεικόνισης, μπορούν να μετρήσουν την εσωτερική τους ποιότητα. Επομένως, στον τομέα της συγκομιδής, μπορεί κανείς να εντοπίσει μια σημαντική αυτοματοποίηση.



Εικόνα 3-8: Συγκομιδή ντομάτας από ρομπότ με τη χρήση μηχανικής όρασης

Γ. Εφαρμογή των UGV οχημάτων στον κτηνοτροφικό τομέα

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης ρομποτικής τεχνολογίας στον τομέα της Κτηνοτροφίας Ακριβείας, αποτελούν τα ρομπότ αρμέγματος (Milking robots) (Halachmi, I. et al., 2016). Τα πρώτα διαθέσιμα ρομπότ αρμέγματος στην αγορά, εμφανίστηκαν στην αρχή του 1990 (Pitla, Santosh et al., 2020). Η χρήση διαφορετικών UGV οχημάτων στον τομέα αυτό, οδηγεί στην δημιουργία αυτόματων συστημάτων αρμέγματος (Automatic milking systems/ AMS), τα οποία υιοθετούνται περισσότερο στην Δυτική Ευρώπη. Με την χρήση τους, αυξάνεται η παραγωγή γάλακτος από κάθε αγελάδα ξεχωριστά, μειώνοντας παράλληλα την εργατική δύναμη που απαιτείται για τις εργασίες αυτές. Με την χρήση των συστημάτων αυτών, οι διαδικασίες αρμέγματος μπορούν να γίνονται σε μια περίοδο 24 ωρών, επιτρέποντας στα ζώα να αρμεχθούν, όποτε το επιθυμούν τα ίδια. Το κάθε ζώο είναι αντικείμενο διαχείρισης από τα UGVs ατομικά και όχι μέσα στο κοπάδι (António Monteiro et al., 2021). Αν και τα συστήματα αυτά, κάνουν τις αγελάδες πιο γρήγορες και πιο αποτελεσματικές, κατά τη διάρκεια του αρμέγματος, ενώ παράλληλα διατηρούν την βέλτιστη ποιότητα του γάλακτος, μειώνοντας τις ασθένειες, οι προκλήσεις στον τομέα παραγωγής γάλακτος δεν λείπουν. Πιο συγκεκριμένα, οι προκλήσεις αυτές συνίστανται στην αυξημένη ανάγκη ανιχνευσιμότητας και διαφάνειας κατά μήκος της αλυσίδας τροφίμων (Lopez Benavides and Paulrud, 2018). Τέλος, παρά τις προκλήσεις αυτές, οι Salfer et al. (2019) εκτιμούν ότι χρησιμοποιήθηκαν παγκοσμίως περίπου 35.000 ρομποτικά συστήματα αρμέγματος.

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης UGV οχημάτων στον κτηνοτροφικό τομέα, παρουσιάζουν στην έρευνά τους για την έξυπνη διαχείριση ορνιθώνων, οι Jake Astill et al. (2020). Πιο συγκεκριμένα, περιγράφουν ρομπότ, τα οποία είτε έχουν τη μορφή μικρών αυτοκινούμενων οχημάτων και λειτουργούν στο έδαφος, είτε αποτελούν μικρές και ελαφριές συσκευές, οι οποίες κινούνται σε σιδηρόδρομους πάνω από τα πτηνά. Η λειτουργία τους συνίσταται στην παρακολούθηση της υγείας των πτηνών, καθώς και στον αερισμό του ορνιθώνα. Πιο συγκεκριμένα, ο αερισμός της άμμου του ορνιθώνα μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη ασθενειών στα πτηνά, όπως η σαλμονέλα (Bodi et al., 2013).

Η χρήση των UGV οχημάτων στην παραγωγή των χοίρων είναι δύσκολη, λόγω της περίεργης φύσης των γουρουνιών. Ωστόσο, η ανάγκη της αυτοματοποίησης αυτού του τομέα είναι μεγάλη. Πρόσφατες μελέτες, προτείνουν νέες ιδέες σχετικά με την αυτοματοποίηση στην βιομηχανία της εκτροφής χοίρων, οι οποίες επικεντρώνονται στην ικανότητα της παρακολούθησης των γουρουνιών, ώστε να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξή τους και την ευημερία τους, καθώς και νέες μεθόδους, για την εκτίμηση του βάρους τους.

3.1.2.5 Παγκόσμια Συστήματα Τοποθεσίας (GPS)

A. Γενικά χαρακτηριστικά του GPS

Ένα Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας (GPS) κρίνεται αναγκαίο στοιχείο για τις περισσότερες τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται στον τομέα της έξυπνης γεωργίας. Το πλεονέκτημα που διαθέτει η τεχνολογία αυτή, δηλαδή η ικανότητα της να παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη την ακριβή θέση των οντοτήτων, που παρακολουθούνται κάθε φορά (πχ. ζώα, μηχανήματα, εκτάσεις καλλιέργειας), χρήζει ιδιαίτερης σημασίας κυρίως στα UAV και τα UGV οχήματα, καθώς τους παρέχει την δυνατότητα να λαμβάνουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, σχετικά με την τοποθεσία των καλλιεργειών, των ζώων μιας φάρμας, καθώς και των αγροτικών μηχανημάτων, την στιγμή που αυτά βρίσκονται σε λειτουργία.

Όπως υποστηρίζουν στην έρευνά τους οι P. Radoglou-Grammatikis et al. (2020), ένα σύστημα προώθησης και πλοήγησης (GPS), διαθέτει έναν GPS αποδέκτη ή ένα Differential Global Positioning System (DGPS), τα οποία τοποθετούνται στα οχήματα που κινούνται μέσα σε ένα αγρόκτημα. Παράλληλα, περιλαμβάνει μία συσκευή για αποθήκευση των πληροφοριών, τις οποίες συλλέγουν, καθώς και ένα πακέτο λογισμικού,

αρμόδιο για την δημιουργία και την εικονογράφηση χαρτών. Ο GPS αποδέκτης, είναι μία δορυφορική συσκευή πλοήγησης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της θέσης της, με τη χρήση δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης. Η συσκευή αυτή, μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε αντικείμενο με σκοπό τον εντοπισμό της θέσης του και την παρακολούθησή του, σε πραγματικό χρόνο.

Σύμφωνα με τους S. R. Kumar et al. (2021), στις μέρες μας διακρίνουμε τέσσερα ενεργά δορυφορικά συστήματα πλοήγησης τα οποία προσφέρουν παγκόσμια κάλυψη. Αυτά είναι: **α)** Global Positioning System (GPS) από τις ΗΠΑ, στο οποίο θα επικεντρωθούμε, **β)** το «Galileo» από την Ευρώπη, **γ)** το «GLObal Navigation Satellite System» (GLONASS) από την Ρωσία και **δ)** το «Bei Dou» από την Κίνα. Οι σχετικές εφαρμογές των συστημάτων GPS στον αγροτικό τομέα είναι πολλές και θα αναλυθούν στη συνέχεια.

B. Χρήση των GPS συστημάτων στον αγροτικό τομέα

Στη σύγχρονη εποχή, ο απομακρυσμένος εντοπισμός με την χρήση δορυφόρων (Satellite Remote Sensing/SRS), έχει συνεισφέρει σημαντικά στην αγροτική έρευνα (B.Garg et al., 2018). Στην έξυπνη γεωργία χρησιμοποιούνται πολλαπλές μέθοδοι ανίχνευσης και με αυτό τον τρόπο τα δεδομένα μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να παρακολουθήσουν και να αυξήσουν την απόδοση των καλλιεργειών (Raj Kumar Goel et al., 2021).

Σύμφωνα πάλι με τους P. Radoglou-Grammatikis et al. (2020), οι πιο σημαντικές εφαρμογές των GPS συστημάτων στον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας φαίνεται να είναι:

α) Ο καθορισμός του περιγράμματος μια έκτασης, κατά τον οποίο ο κάθε αγρότης, διαθέτοντας απλά ένα έξυπνο τηλέφωνο ή έναν φορητό υπολογιστή, μπορεί να καθορίσει τα όρια της έκτασης που του ανήκει, απλά προχωρώντας ή οδηγώντας κάποιο όχημα μέσα σε αυτήν. Με την χρήση του ίδιου εξοπλισμού, ο αγρότης μπορεί κατά τη διάρκεια της περιόδου βλάστησης, να καταγράψει τα δεδομένα που αφορούν τις περιοχές που πλήττονται από ζιζάνια και ασθένειες⁹, εκτελώντας πάλι την ίδια διαδρομή και με αυτό τον τρόπο να εφαρμόσει τις κατάλληλες ενέργειες αντιμετώπισης.

⁹ Σύμφωνα με την αναφορά του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO 2017), περίπου το 20-40% των καλλιεργειών, χάνεται κάθε χρόνο εξαιτίας των παρασίτων και των ασθενειών που προσβάλλουν τα φυτά, ως αποτέλεσμα της έλλειψης κατάλληλης παρακολούθησης της κατάστασης των καλλιεργειών.

β) η χαρτογράφηση του εδάφους, στην οποία το GPS χρησιμοποιείται με σκοπό να καταγράψει την τοποθεσία από την οποία έχουν αντληθεί δείγματα χώματος, με σκοπό την δημιουργία των ανάλογων χαρτών εδάφους.

γ) η χαρτογράφηση της παραγωγής, κατά την οποία το GPS χρησιμοποιείται για να καταγράψει την τοποθεσία των καλλιεργειών, για την παραγωγή των οποίων έχουν ληφθεί ήδη πληροφορίες μέσα από τη χρήση άλλων αισθητήρων. Έπειτα, οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των ανάλογων χαρτών.

δ) η παρακολούθηση της σοδειάς, κατά την οποία τα GPS συστήματα χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση των αγροτικών οχημάτων μέσα στην φάρμα ή τις καλλιέργειες, κατά τη διάρκεια της παρακολούθησής τους.

B. Χρήση των GPS συστημάτων στον κτηνοτροφικό τομέα

Με την εμπορευματοποίηση των δορυφορικών συστημάτων προώθησης και πλοήγησης (GPS), ξεκίνησε μια νέα εποχή για την παρακολούθηση των ζώων (Maroto Molina et al., 2019). Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι έχουν την ικανότητα να συλλέγουν μεγάλα σύνολα από δεδομένα, σε 24ωρη βάση.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην χρήση των GPS συστημάτων στον κτηνοτροφικό τομέα, αποτελεί η χρήση GPS κολάρων στα ζώα. Στην ουσία, πρόκειται για wearable συσκευές, στις οποίες όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, έχει ενσωματωθεί τεχνολογία GPS και οδηγούν στον ακριβή εντοπισμό των ζώων. Οι Maroto Molina et al. (2019), ανέπτυξαν και δοκίμασαν μια χαμηλού κόστους εφαρμογή, για την παρακολούθηση των βοοειδών και των προβάτων, στην οποία χρησιμοποίησαν κολάρα GPS.

Άλλη μία εφαρμογή της τεχνολογίας GPS στον κτηνοτροφικό τομέα, παρουσιάζουν στην έρευνά τους οι Qazi Mudassar Ilyas et al. (2020). Πιο συγκεκριμένα, αναλύουν την δημιουργία γεωφραξής, με τη χρήση του IoT και των General Packet Radio Service (GPRS), δημιουργώντας μια γεωγραφική ζώνη ασφαλείας για τα βοοειδή. Με τη χρήση της, η παρακολούθηση και ο εντοπισμός των ζώων μπορεί να γίνει εύκολα και απομακρυσμένα, χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση.

Η λειτουργία του συστήματος αυτού, συνίσταται στην συλλογή των δεδομένων που αφορούν την τοποθεσία, την ευημερία και την υγεία των ζώων. Ειδικότερα, σε μια εποχή σαν τη σημερινή, με την ύπαρξη της πανδημίας του COVID-19, τέτοιου είδους συστήματα, τα οποία μπορούν να εγγυηθούν την ασφάλεια των ζώων, είναι πολύ

χρήσιμα. Με τη χρήση της γεώφραξης, ο χρήστης ειδοποιείται σε περίπτωση εισόδου ή εξόδου ενός αντικειμένου ή προσώπου, εντός της προστατευόμενης περιοχής. Έτσι, τα ζώα προστατεύονται τόσο από κακόβουλους ανθρώπους, όσο και από άλλα ζώα που μπορεί να τους επιτεθούν.

3.1.3 Δίκτυα και πρωτόκολλα επικοινωνίας σε ένα αγροτικό σύστημα IoT

Στον αγροτικό τομέα, η χρήση ασύρματης επικοινωνίας κρίνεται αναγκαία (S. I. Hassan et al. 2021). Όπως υποστηρίζουν στην έρευνά τους, οι M. S. Farooq et al. (2019), ένα αγροτικό δίκτυο IoT, αποτελείται από διαφορετικά είδη δικτύων μεγάλης και μικρής εμβέλειας, τα οποία βοηθούν στην παρακολούθηση των χρήσιμων μεταβλητών από τις καλλιέργειες και τα ζώα ενός αγροκτήματος, καθώς και στην επικοινωνία, τόσο των έξυπνων συσκευών μεταξύ τους, όσο και με τον τελικό χρήστη. Παράλληλα, οι ίδιοι αναφέρουν ότι ένα αγροτικό δίκτυο IoT αποτελείται από τα εξής:

- Την αρχιτεκτονική του αγροτικού IoT δικτύου
- Μια πλατφόρμα του αγροτικού IoT δικτύου
- Την τοπολογία και τα πρωτόκολλα του IoT δικτύου

3.1.3.1 Αρχιτεκτονική ενός αγροτικού δικτύου IoT

Θα μπορούσε κανείς να πει, ότι η αρχιτεκτονική ενός αγροτικού δικτύου IoT, αποτελεί ένα περίβλημα, το οποίο παρουσιάζει την δομή και τις προδιαγραφές, που το δίκτυο αυτό πρέπει να διαθέτει, όπως για παράδειγμα τα απαραίτητα στοιχεία του, τις αρχές λειτουργίας του, καθώς και διάφορες τεχνικές (M. S. Farooq et al., 2019). Οι Muntjir et al.(2017), προτείνουν ένα μοντέλο πέντε επιπέδων, τα οποία ξεκινώντας από τη βάση προς την κορυφή, είναι τα ακόλουθα:

- 1. Perception Layer:** Σε ένα σύστημα IoT, το επίπεδο αυτό αποτελεί το χαμηλότερο επίπεδο, το λεγόμενο στρώμα ανίχνευσης ή επίπεδο μηδέν (Chaikhamwang et al., 2021). Στη βιβλιογραφία, μπορεί να το συναντήσει κανείς και με την ονομασία “Sensors and actuators layer” ή “Physical and MAC layer”. Περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους πραγμάτων, όπως για παράδειγμα συσκευές, αισθητήρες και ενεργοποιητές, οι οποίες συλλέγουν τα δεδομένα από το γύρω περιβάλλον (hardware), χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό (software) για την εκτέλεση των διάφορων ενεργειών συλλογής των δεδομένων. Οι αισθητήρες, διαθέτουν την ικανότητα να συνδέουν τον φυσικό με τον ψηφιακό κόσμο και την αναγκαία χωρητικότητα, ώστε να μπορούν να λαμβάνουν τεράστιο όγκο

δεδομένων, σχετικά με τις μεταβλητές του εδάφους και του γύρω περιβάλλοντος, γενικότερα, μετατρέποντάς τες σε ψηφιακό σήμα (Chaikhamwang et al., 2021). Οι συσκευές αυτές, συνδέονται μεταξύ τους ενσύρματα ή ασύρματα, με σκοπό, αρχικά την συλλογή των δεδομένων και μετέπειτα, την διάδοση των πληροφοριών ανάμεσα στα μέρη του συστήματος (Ren Z. et al., 2017). Στο επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται ένα από τα πιο γνωστά πρότυπα το IEEE 802.15.4, λόγω του χαμηλού κόστους του, της μειωμένης κατανάλωσης και της απλότητάς του (Xiao et al., 2006).

- 2. Transport/Network Layer:** Το επίπεδο μεταφοράς ή δικτύωσης έχει την αρμοδιότητα να συνδέσει τις συσκευές μεταξύ τους, με σκοπό να δημιουργήσει ένα δίκτυο που διαθέτει έναν βαθμό ευφυΐας. Συμβάλλει, έτσι ώστε τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από τις συσκευές και τους αισθητήρες να μεταφερθούν ενσύρματα ή ασύρματα και με ασφαλή τρόπο, μέσα από τους κόμβους, στο Application Layer και αντίστροφα.

Τα δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, αποτελούνται από διαφορετικά μεταξύ τους πρωτόκολλα, που υποστηρίζουν την επικοινωνία μηχανής με μηχανή (M2M). Η μεταφορά των δεδομένων, γίνεται με τη χρήση πρωτόκολλων επικοινωνίας, τα οποία θα αναλυθούν λεπτομερώς παρακάτω. Παράλληλα, το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει και την επικοινωνία του συστήματος IoT, με άλλες πλατφόρμες όπως το Cloud. Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα διακρίνονται σε ενσύρματα με πιο γνωστό το Ethernet και ασύρματα, με πιο γνωστό το Wi-Fi και είναι ιδιωτικά, δημόσια ή υβριδικά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί, με σκοπό να καλύπτουν τις απαιτήσεις της επικοινωνίας, σε ταχύτητα, ασφάλεια ή ευρυζωνικό φάσμα (bandwidth) (Chaikhamwang et al., 2021). Τα ασύρματα δίκτυα διακρίνονται στα εξής: **α)** στο προσωπικό ασύρματο δίκτυο (Wireless Personal Area Network/WPAN), **β)** στο ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Area Network /WLAN), **γ)** στο Wireless Neighborhood Area Network/ WNAN) και **δ)** στο δίκτυο ευρείας ζώνης (Wireless Wide Area Network/ WWAN).

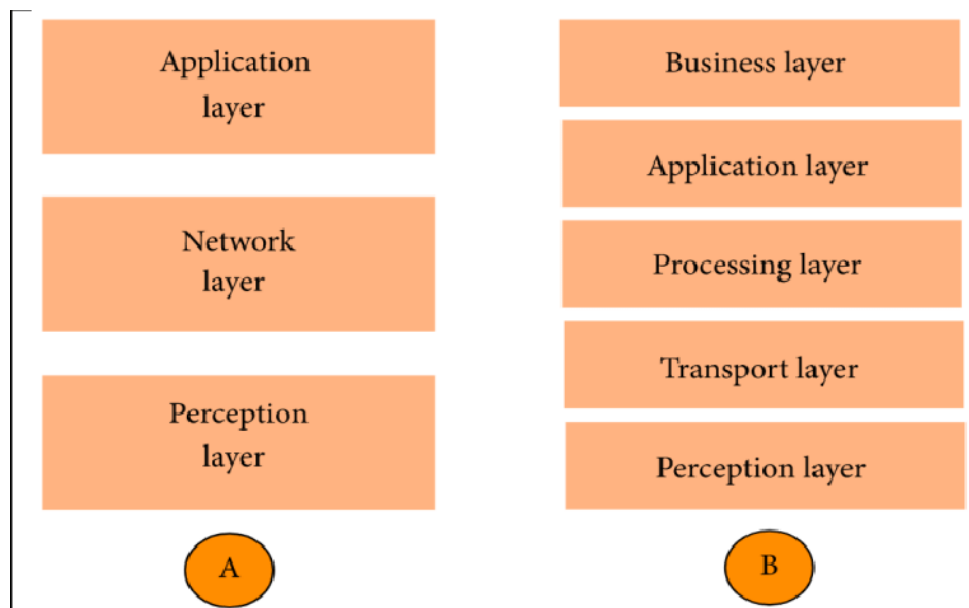
- 3. Processing/ Middleware Layer:** Το επίπεδο αυτό αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων και των πληροφοριών που συλλέγονται από το Perception Layer. Η διαδικασία διαχείρισης του μεγάλου όγκου από δεδομένα και πληροφορίες, περιλαμβάνει δύο βασικές διαδικασίες: **α)** την αποθήκευση και **β)** την ανάλυσή

τους (Biddlecombe, 2009). Αυτός ο μεγάλος όγκος δεδομένων, απαιτεί και τη χρήση τεχνικών, όπως το Cloud Computing και το λογισμικό βάσεων δεδομένων. Στο επίπεδο αυτό μπορεί να γίνει και λήψη αποφάσεων, με βάση τους υπολογισμούς που έλαβαν χώρα στα σύνολα των δεδομένων, τα οποία αντλήθηκαν από τους αισθητήρες. Στη βιβλιογραφία μπορεί κανείς να το συναντήσει και με τον όρο “Decision Layer” (S. I. Hassan et al, 2021).

4. **Application Layer:** Στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνονται όλες οι υπηρεσίες, οι οποίες προσφέρονται στον τελικό χρήστη ενός αγροτικού δικτύου IoT, αποτελώντας γι’ αυτόν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τις εφαρμογές που λαμβάνουν χώρα σε ένα τέτοιο δίκτυο, με τη χρήση του κατάλληλου hardware (αισθητήρες, κάμερες, ρομπότ), αλλά και συστημάτων γεω-εντοπισμού, όπως το GPS, έτσι ώστε οι χρήστες να αποκτήσουν τις αναγκαίες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων. Επιπρόσθετα, περιλαμβάνει άλλα μέρη που χρησιμοποιούνται σε ένα τέτοιο μοντέλο, όπως την πλατφόρμα του Cloud, αλλά και διάφορες βάσεις δεδομένων (Cheng-Jun, 2014). Τέλος, όπως υποστηρίζουν οι Rad et al.(2015), το επίπεδο αυτό προσφέρει λύσεις στα προβλήματα που παρουσιάζονται, μέσα από τη λήψη φασματικών δεδομένων ή δεδομένων που αντλούνται από τους αισθητήρες, και τις πληροφορίες που αυτά προσφέρουν στον χρήστη.
5. **Business Layer:** Το επίπεδο αυτό σχετίζεται με το κόστος και τη διαχείριση των εφαρμογών IoT, που χρησιμοποιούνται σε ένα έξυπνο αγροτικό σύστημα. Επιπρόσθετα, είναι υπεύθυνο και για την προστασία της ιδιωτικότητας του χρήστη, καθώς και για τις έρευνες που πρέπει να γίνουν για τις εφαρμογές IoT που θα χρησιμοποιηθούν (Muriel D.et al., 2010). Τέλος, στο επίπεδο αυτό δημιουργούνται τα διαγράμματα ροής, τα γραφήματα και η ανάλυση των αποτελεσμάτων, τα οποία παρουσιάζονται στον χρήστη, ενώ παράλληλα, γίνονται κάποιες προτάσεις για τη βελτίωση της κάθε συσκευής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παλιότερα, όπως αναφέρεται σε μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας, χρησιμοποιούνταν σχεδόν με αποκλειστικότητα, ένα μοντέλο τριών επιπέδων, το οποίο αποτελούνταν από το Perception Layer, το Network Layer και το Application Layer. Όπως αναφέρουν όμως, οι Muntjir et al.(2017), το μοντέλο αυτό δεν επαρκεί πια, λόγω της τεράστιας εξέλιξης που γνώρισε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων τα

τελευταία χρόνια. Για το λόγο αυτό, διάφοροι ερευνητές προχώρησαν στη δημιουργία μοντέλων με περισσότερα επίπεδα, ώστε να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του συστήματος. Από την άλλη, σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union/ ITU), η αρχιτεκτονική ενός IoT δικτύου αποτελείται επίσης από πέντε επίπεδα, τα οποία είναι τα εξής: **α)** Sensing Layer, **β)** Access Layer, **γ)** Network Layer, **δ)** Middleware Layer και **ε)** Application Layer.



Εικόνα 3-9: Αρχιτεκτονική ενός IoT δικτύου με τρία και πέντε επίπεδα

3.1.3.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα, στο πλαίσιο της έξυπνης γεωργίας, είναι πολλά. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ένα σύνολο κανόνων, οι οποίοι περιγράφουν τον τρόπο, με τον οποίο πρέπει να γίνει η μεταφορά των πληροφοριών. Στόχος της χρήσης των πρωτοκόλλων αυτών, είναι η επίτευξη της επικοινωνίας ανάμεσα στους αγρότες που χρησιμοποιούν έξυπνα γεωργικά συστήματα, με εύκολο τρόπο, ώστε να μπορούν να λαμβάνουν πιο γρήγορες αποφάσεις, οι οποίες βασίζονται στα δεδομένα που προκύπτουν από την παρακολούθηση μιας φάρμας. Για τους παραπάνω λόγους, η επιλογή του σωστού πρωτοκόλλου επικοινωνίας, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, τόσο για την επικοινωνία ανάμεσα στους κόμβους, όσο και για την επικοινωνία του κάθε έξυπνου αγροτικού συστήματος, με άλλες πλατφόρμες. Σύμφωνα με τους M. S. Farooq et al. (2019), τα πιο διαδεδομένα ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας, που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα είναι τα εξής:

- **IEEE 802.11 Wi-Fi (Wireless Fidelity):** Η τεχνολογία αυτή, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, φαίνεται να εξελίχθηκε από τον Vic Hayes, ενώ τον δρόμο προς τη χρήση της, άνοιξε το 1991 η NCR Corporation στο Nieuwege της Ολλανδίας (R. Mohd et al., 2017). Το πρότυπο αυτό, αποτελεί μια συλλογή από πρότυπα επικοινωνίας, όπως το Wireless Local Area Network 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n και 802.11ac. Όπως υποστηρίζουν οι παραπάνω, όλα αυτά τα πρότυπα λειτουργούν σε διαφορετικό ευρυζωνικό φάσμα (bandwidth), το οποίο είναι 5 GHz, 2.2GHz, 2.4/5 GHz, 60 GHz και 5 GHz, για κάθε πρότυπο αντίστοιχα. Επισημαίνουν επίσης, ότι το εύρος της μεταφοράς των δεδομένων, των προτύπων αυτών είναι από 1Mb/s μέχρι 7 Gb/s, ενώ το εύρος επικοινωνίας τους φτάνει από τα 20 έως τα 100 μέτρα.
- **LoraWan:** Σύμφωνα με τους παραπάνω, πρόκειται για ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεγάλου εύρους, το οποίο δημιουργήθηκε από μία ανοιχτή και μη κερδοσκοπική οργάνωση, με το όνομα Lora TM Alliance. Βασικός στόχος, πίσω από τη χρήση του πρωτοκόλλου αυτού, είναι η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας ανάμεσα στους διαφορετικούς χειριστές (J. Dias and A. Grilo, 2019).
- **Bluetooth:** Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται στο προσωπικό ασύρματο δίκτυο (Wireless Personal Area Network/WPAN) και είναι χαμηλής ισχύος και χαμηλού εύρους. Αποτελεί μία από τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες. Όπως υποστηρίζουν οι M. S. Farooq et al. (2019), αυτό το καθιστά κατάλληλο για κινητή τηλεφωνία κοντινού εύρους.
- **RFID:** Η τεχνολογία αυτή, χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία για τη μεταφορά των δεδομένων, όπως και αυτόματο εντοπισμό αντικειμένων (Psannnis et al., 2017). Αποτελείται από tags, εξυπηρετητές (hosts) και αναγνώστες (readers). Κάθε συσκευή, διαθέτει ένα μοναδικό RFID tag και περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον, όπως τη θερμοκρασία, την υγρασία κ.ά.. Τα tags αυτά, είναι ενσωματωμένα στις συσκευές και λαμβάνουν και μεταδίδουν ραδιοκύματα, σαν πομποί. Χωρίζονται σε ενεργητικά και παθητικά tags, τα οποία σύμφωνα με τους M. S. Farooq et al. (2019), είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά σχήματα και μεγέθη. Ο αναγνώστης εντοπίζει τα αντικείμενα, διαβάζοντας τα labels. Η αποθήκευση και η διαχείριση των RFID δεδομένων, αποτελεί μια

πρόκληση για τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις, καθώς μόνο τα απαραίτητα αντικείμενα και προϊόντα διαθέτουν RFID tags (Stergiou et al. 2020).

- **ZigBee:** Δημιουργήθηκε από την ZigBee Alliance και είναι το πιο γνωστό από τα πρότυπα IEEE 802 (IEEE 802.15.4), με ιδιαίτερα ευρεία χρήση στον αγροτικό τομέα. Χρησιμοποιείται στο προσωπικό ασύρματο δίκτυο (Wireless Personal Area Network/WPAN). Με την μεγάλη εξέλιξη των τεχνολογιών, κρίνεται απαραίτητη η πιο άμεση ανταπόκριση και η χαμηλότερη κατανάλωση σε υπολογιστικούς πόρους. Το πρότυπο αυτό μπορεί να ανταπεξέλθει αποτελεσματικά στις απαιτήσεις ενός έξυπνου αγροτικού περιβάλλοντος, καθώς περιλαμβάνει ένα σύνολο από προδιαγραφές για την δικτύωση συσκευής με συσκευή, διαθέτοντας χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων ισχύος, δυνατότητα επέκτασης και αξιοπιστία. Τέλος, είναι πιο απλό σαν πρωτόκολλο, καθώς και πιο οικονομικό από άλλα προσωπικά ασύρματα δίκτυα, όπως το Bluetooth. Το πρότυπο αυτό έχει εύρος περίπου 100 μέτρων και ευρυζωνικό φάσμα (bandwidth), 250 kbps (R. Mohd et al., 2017).
- **2G/3G/4G/5G - Mobile Communications Standards:** Πρόκειται για πρωτόκολλα κινητής τηλεφωνίας. Η χρήση τους ξεκίνησε με τα πρότυπα επικοινωνίας δεύτερης γενιάς (2G), ενώ πλέον η τεχνολογία αυτή έχει εξελιχθεί τόσο πολύ, που στις μέρες μας, κυριαρχεί το δίκτυο πέμπτης γενιάς (5G), αναμένοντας σύντομα να εισέλθει στη ζωή μας το επόμενο, το 6G, στο οποίο αναφέρονται ήδη, πολλές έρευνες στη βιβλιογραφία. Όπως υποστηρίζουν στην έρευνά τους οι M. S. Farooq et al. (2019), οι συσκευές IoT που χρησιμοποιούνται σε ένα έξυπνο αγροτικό σύστημα, επικοινωνούν μεταξύ τους, με τη χρήση αυτών των πρωτοκόλλων σε κινητά δίκτυα. Με τη χρήση κινητής επικοινωνίας, ο κάθε αγρότης μπορεί να εντοπίσει γρήγορα και από κάθε μέρος, τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται, σχετικά με τις καλλιέργειες ή την φάρμα του.

Σύμφωνα με τους Hajjaji et al. (2021), στα έξυπνα αγροτικά περιβάλλοντα, χρησιμοποιούνται κυρίως τεχνολογίες κοντινού εύρους. Πιο συγκεκριμένα ως αναφέρουν, τεχνολογίες επικοινωνιών όπως το 4G/LTE χρησιμοποιούνται σε ποσοστό 72.72%, το Wi-Fi σε ποσοστό 45.45% και το ZigBee, σε ποσοστό 40.90%. Όπως οι ίδιοι υποστηρίζουν, είναι πολύ σημαντικό μέσα σε ένα δίκτυο, να εξασφαλίζεται η ροή των δεδομένων, η συνδεσιμότητα του δικτύου, καθώς και η ασφάλεια όλων των συστατικών του. Για το λόγο αυτό,

προτείνουν τον συνδυασμό διαφορετικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας και δικτύων, τα οποία θα δημιουργήσουν μια σωστή υποδομή για την μεταφορά των δεδομένων και την διασύνδεση των ετερογενών πηγών, από τις οποίες αυτά προέρχονται.

3.1.3.3 Η χρήση του 5G δικτύου στον αγροτικό τομέα

A. Χαρακτηριστικά ενός 5G Δικτύου

Το 5G είναι η πέμπτη γενιά τεχνολογίας δικτύου τηλεπικοινωνιών. Το επίσημο πρότυπο καθιερώθηκε τον Δεκέμβριο του 2017 από το έργο 3^{ης} γενιάς εταιρικής σχέσης (3GPP), για να εξηγήσει τις προδιαγραφές του δικτύου 5G. Το 5G δίκτυο τηλεπικοινωνιών αξιοποιεί το μεγάλο φάσμα ζώνης (που αναφέρεται ως χιλιοστομετρικό κύμα), για πολύ υψηλή ταχύτητα και χαμηλή καθυστέρηση (Andrews et al., 2014; Wang et al., 2014; Mitra and Agrawal, 2015; GSMA, 2018; 3GPP Release 16, 2020; Cudak et al., 2014; Rappaport et al., 2013).

B. Πλεονεκτήματα 5G δικτύου:

- Υψηλή χωρητικότητα σε δεδομένα
- Μειωμένη καθυστέρηση
- Υψηλής πυκνότητας σύνδεση
- Υψηλή παραγωγικότητα
- Βελτιώνει την φασματική απεικόνιση
- Ανεμπόδιστη συνδεσιμότητα
- Ευρεία κάλυψη
- Αυξημένη ενεργειακή απόδοση δικτύου

Γ. Δίκτυο τηλεπικοινωνιών 5^{ης} γενιάς (5G) σε μία έξυπνη φάρμα:

Αν και τα 3G/4G παραδείγματα σύνδεσης ήταν πολλά υποσχόμενα, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί, οι οποίοι είναι ικανοί να μειώσουν τη χρήση τεχνολογιών στον αγροτικό τομέα, παρά τις τεράστιες προοπτικές που αυτός ο τομέας παρουσιάζει. Η περιοχή εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών είναι ένας από τους μεγαλύτερους περιορισμούς. Τα παραπάνω ασύρματα δίκτυα, δεν ήταν ικανά να καλύψουν τις απομακρυσμένες περιοχές σε μία έκταση ή τμήματα μια πόλης με πολλά κτήρια, ενώ παράλληλα οι πολλές κεραιές και οι πομποί που χρησιμοποιούνται στα κινητά

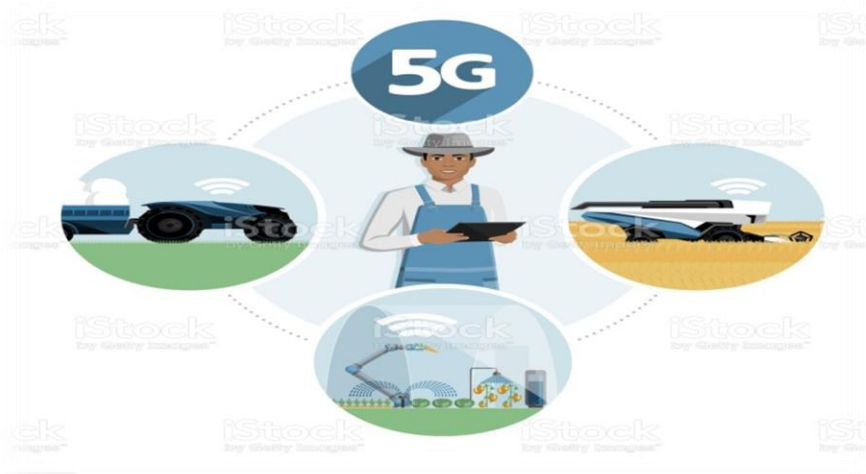
τηλέφωνα, σε ένα δίκτυο 4G, οδηγούσαν σε μικρής διάρκειας μπαταρία. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Memos et al. (2019), ενώ η μέγιστη ταχύτητα στην οποία μπορεί να φτάσει ένα δίκτυο 4G, είναι τα 100Mbps, το 5G πιάνει την ταχύτητα των 10Gbps, που σημαίνει ότι είναι εκατό φορές ταχύτερο από το 4G. Από τη στιγμή που πολλές κινητές συσκευές, οι οποίες δουλεύουν με μπαταρία, όπως τα UAV οχήματα και τα ρομπότ, που θα αναλύθηκαν λεπτομερώς παραπάνω, χρησιμοποιούνται στους τομείς της μοντέρνας γεωργίας, είναι αντιληπτό ότι αυτές δεν μπορούν να λειτουργήσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε απομακρυσμένα τμήματα ενός αγροκτήματος.

Με την τεχνολογία του 5G, οι παραγωγοί στον τομέα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας επωφελούνται σε μεγάλο βαθμό, καθώς μπορούν να πιλοτάρουν ένα UAV όχημα πάνω από μία μεγάλη απόσταση, είτε χειρονακτικά, είτε μέσα από προγραμματισμένα σημεία ελέγχου (Faraci et al., 2018). Το δίκτυο αυτό αποδεικνύεται κατάλληλο να ενσωματωθεί με την διαχείριση κίνησης του UAV οχήματος, ώστε να αυξήσει την προστασία και την ασφάλεια των εργασιών που εκτελεί το τελευταίο. Παράλληλα, θα βοηθήσει στην υποστήριξη της σύνδεσης των IoT αισθητήρων, δημιουργώντας ένα μονοπάτι για να δοθεί ώθηση σε επαναστατικές μεταρρυθμίσεις στα συστατικά στοιχεία της έξυπνης γεωργίας (Akpraku et al., 2018; Modesta et al., 2019; Antony et al., 2020; Ayaz et al., 2019; Mavromoustakis et al.). Τα UAV οχήματα δεν θα χρειάζεται πια να κουβαλάνε μεγάλο φορτίο ενέργειας και όλα τα δεδομένα θα μπορούν να μεταφέρονται στο Cloud, για να επεξεργάζονται με γρηγορότερους ρυθμούς. Η τεχνολογία του 5G και το edge computing¹⁰, θα διευκολύνουν την ταχεία μετάδοση δεδομένων στο Cloud. Έτσι, οι στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων θα γίνονται σε πραγματικό χρόνο και η επικοινωνία μηχανής με μηχανή (M2M) θα καταστήσει πιο αποδοτική και θα αυτοματοποιήσει την αγροτική διαδικασία. Αυτά τα μεγάλα δεδομένα (που εναλλάσσονται από megabytes σε terabytes), πρέπει να μεταφέρονται από τις διαφορετικές πηγές στο Cloud και πίσω στους χρήστες, που μπορεί να είναι αγρότες ή data scientists. Έπειτα, τα αποτελέσματα επιστρέφουν στον αγρότη και το αρμόδιο, για

¹⁰ Με το Edge Computing, η επεξεργασία των δεδομένων τα οποία παράγονται από τις IoT συσκευές, γίνεται πιο κοντά στην τοποθεσία όπου τα δεδομένα αυτά δημιουργούνται. Έτσι αποφεύγεται η μεταφορά των δεδομένων μέσα από μεγάλες διαδρομές πίσω στα κέντρα δεδομένων ή στο cloud. Κάτι τέτοιο προσφέρει δυνατότητες ανάλυσης των σημαντικών δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπει στις συσκευές IoT την αποστολή και λήψη δεδομένων πιο άμεσα και πιο αποτελεσματικά.

τη συγκεκριμένη περίπτωση, να δράσει ρομπότ. Έτσι πολλά drones μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να πετάνε συγχρονισμένα πάνω από μία γεωγραφική έκταση, εκτελώντας διάφορες διεργασίες με την ελάχιστη δυνατή απώλεια μετάδοσης δεδομένων και κατανάλωση ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο συγκεντρώνεται και αποθηκεύεται ένας μεγάλος όγκος δεδομένων, τα οποία αναλύονται με στόχο να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις (Li et al., 2019; Wang et al., 2019; Feng et al., 2019; Razaak et al., 2019) και να επιτευχθεί, η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραγωγικότητα μίας έξυπνης φάρμας (Hassan et al., 2019; Song et al., 2019; Siddavaatam et al., 2019).

Επιπρόσθετα, με τη χρήση δικτύου τηλεφωνίας 5G, τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση εργασιών σε μία φάρμα, μπορούν να μεταδίδουν με πολύ μικρή καθυστέρηση και σε πραγματικό χρόνο εικόνες και βίντεο που προήλθαν από διαφορετικούς ενσωματωμένους αισθητήρες (Ajiz et al., 2017; Dohler et al., 2017; Voigtlander et al., 2017). Τα ρομπότ μπορούν να περιηγηθούν μόνα τους στο περιβάλλον και να ελέγχονται απομακρυσμένα μέσω του Cloud, με την εξαγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων και την χρήση δικτύου 5G.



Εικόνα 3-10: Η χρήση 5G δικτύου σε ένα έξυπνο αγροτικό σύστημα

3.2 Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)

3.2.1 Ορισμός

Στην καθημερινή μας ζωή είναι αισθητή, η διαρκής και αυξανόμενη χρήση των έξυπνων συσκευών, οι οποίες συνδέουν, συλλέγουν, ανταλλάσσουν και μεταφέρουν τα τεράστια σύνολα δεδομένων που παράγονται. Ο συνδυασμός των τεχνολογιών, όπως είναι το IoT και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN), που προαναφέραμε, αλλά και το Cloud Computing (CC), στο οποίο θα αναφερθούμε στη συνέχεια, επέφεραν θετικές αλλαγές σε πολλούς τομείς (Plageras et al., 2017). Ένας όρος που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία, προκειμένου να περιγράψει τη ραγδαία αυτή, αύξηση του όγκου των δεδομένων είναι ο όρος «Μεγάλα Δεδομένα» (Big Data) ή «Δεδομένα Μεγάλης Κλίμακας» (Large Scale Data). Μάλιστα, τις τελευταίες δύο δεκαετίες η τεχνολογία των Μεγάλων Δεδομένων, φαίνεται ότι εφαρμόζεται στον δημόσιο τομέα με τέτοιο τρόπο, που μεταβάλλει σε μεγάλο βαθμό τις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης των κινδύνων, με σκοπό να αυξήσει την ταχύτητα και την ακρίβεια της λήψης των αποφάσεων (Pollard et al., 2019). Σύμφωνα με τους Psannis et al. (2018), το όραμα πίσω από την τεχνολογία αυτή, είναι ότι μία μέρα οι οργανισμοί θα μπορούν να αντλούν πληροφορίες από κάθε πηγή, αξιοποιώντας τα σχετικά δεδομένα και αναλύοντάς τα, με σκοπό να πάρουν γρήγορες απαντήσεις και να πετύχουν τα ακόλουθα: **α)** μείωση του κόστους και του χρόνου, **β)** παραγωγή νέων προϊόντων και βελτιστοποίηση των προσφορών τους και **γ)** λήψη πιο «έξυπνων» αποφάσεων. Ακολουθούν μερικές προσπάθειες περιγραφής του παραπάνω όρου:

- Με τον ευρύ όρο «Τεχνολογία Μεγάλων Δεδομένων», περιγράφονται στη βιβλιογραφία, τα σύνολα των δεδομένων που είναι τόσο μεγάλα ή πολύπλοκα, ώστε οι συμβατικές εφαρμογές της επεξεργασίας των δεδομένων, κρίνονται ανεπαρκείς. Παράλληλα, ως Μεγάλα Δεδομένα μπορεί να οριστεί και ένα σύνολο δεδομένων, τα οποία αποτελούνται από πολλά bites. (Psannis et al., 2018).
- Τα Μεγάλα Δεδομένα, χρειάζονται ένα σύνολο από τεχνικές και τεχνολογίες με τη χρήση νέων μορφών, με σκοπό να προκύψουν νέες πληροφορίες και γνώσεις από τα σύνολα των δεδομένων, που ποικίλλουν, είναι περίπλοκα και βρίσκονται σε μεγάλη κλίμακα (Hashem et al., 2015).
- Ο όρος «Μεγάλα Δεδομένα» αναφέρεται σε μία μεγάλη κλίμακα από δεδομένα, τα οποία απαιτούν νέες αρχιτεκτονικές και τεχνολογίες για τη διαχείρισή τους

(την αφομοίωση και επεξεργασία τους), με σκοπό να διευκολυνθεί η δημιουργία αξίας, για τη βέλτιστη γνώση και τη λήψη αποφάσεων (A. Katal et al., 2013).

- Ο όρος Μεγάλα δεδομένα ή Μέγα-δεδομένα, χρησιμοποιείται για να περιγράψει σύνολα δεδομένων, τόσο μεγάλα ή σύνθετα, που ξεφεύγουν από τις δυνατότητες καταγραφής, αποθήκευσης και ανάλυσης των παραδοσιακών τεχνικών επεξεργασίας δεδομένων. Τα μεγάλα δεδομένα αναφέρονται σε μη δομημένα και δομημένα δεδομένα, κυρίως όμως εστιάζουν στα μη δομημένα δεδομένα (Chris Snijders et al., 2012).

3.2.2 Μεγάλα Δεδομένα και Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Η τεχνολογία του IoT και η ενοποίησή του με τα Μεγάλα Δεδομένα, παρουσιάζουν ευρεία εφαρμογή, σε διάφορα πεδία της καθημερινής ζωής, όπως στις έξυπνες πόλεις, την έξυπνη περίθαλψη, τη διαχείριση των κινδύνων και την έξυπνη γεωργία (S.E. Bibri, 2018). Σε αυτό, συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό και η εξάπλωση της επικοινωνίας, η οποία κατέστη δυνατή μέσα από τον Ιστό 2.0 (Web 2.0), καθώς και από τη χρήση διάφορων εργαλείων και εφαρμογών. Πλέον, στην εποχή που διανύουμε, υπάρχουν οι δυνατότητες για σύμπτυξη των διάφορων ετερογενών πηγών συγκέντρωσης δεδομένων (πχ. δορυφόροι, κοινωνικών δικτύων, αισθητήρων IoT κλπ.) μαζί με ισχυρά εργαλεία ανάλυσης των δεδομένων αυτών και με την απεικόνιση των εφαρμογών. Τέτοιου είδους δυνατότητες παρέχουν πολλά υποσχόμενες χρήσεις, για την εξέλιξη των εφαρμογών σε έξυπνα περιβάλλοντα (Yosra Hajjaji et al., 2021).

Σκοπός του συνδυασμού του Διαδικτύου των Πραγμάτων και των Μεγάλων Δεδομένων, σε εφαρμογές σχετικές με το περιβάλλον, είναι το γεγονός ότι μπορούν να οδηγήσουν σε πολλά και ενδιαφέροντα αποτελέσματα (S. Mukherjee et al., 2020). Μάλιστα, στη βιβλιογραφία μπορεί κανείς να συναντήσει και τον όρο IoT-Big Data, ο οποίος περιγράφει την αλληλεξάρτηση που υπάρχει ανάμεσα στις δύο αυτές τεχνολογίες και την ιδιαίτερη σημασία, του να αναπτύσσονται αυτές από κοινού. Όπως αναφέρουν στην επισκόπησή τους οι Hajjaji et al. (2021), μερικά από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του συνδυασμού των Big Data και του IoT είναι τα εξής:

- 1. Ετερογενή δεδομένα, προερχόμενα από πολλές πηγές:** Ο συνδυασμός των υποδομών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με συσκευές που συνιστούν διαφορετικές πηγές δεδομένων (πχ. αισθητήρες, κάμερες, έξυπνα τηλέφωνα κλπ.), μαζί με τις τεχνολογίες δεδομένων, που

συνεισφέρουν στην διαχείριση των δεδομένων αυτών (πχ. συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων), μπορεί να οδηγήσει στην ένωση των διαφορετικών αυτών πηγών και την εξαγωγή νέων πληροφοριών και γνώσεων.

- 2. Συνδεσιμότητα:** Η συνδεσιμότητα αποτελεί το πιο σημαντικό στοιχείο, η ύπαρξη του οποίου, είναι αναγκαία για τα Μεγάλα Δεδομένα και το IoT. Η αναγκαιότητα αυτή, προκύπτει από το γεγονός ότι μέσω της συνδεσιμότητας, διευκολύνεται η συγκέντρωση τεράστιων συνόλων από ετερογενή δεδομένα, ενώ παράλληλα αυτή, διασφαλίζει σε υψηλά επίπεδα, τόσο την υπολογιστική λειτουργία, όσο και την ανταλλαγή των πληροφοριών, ανάμεσα στις διαφορετικές συσκευές και τις αρχές περιβαλλοντικής διαχείρισης (Zhang et al., 2019), αποτελώντας κατά την άποψη των ερευνητών, τη ραχοκοκαλιά του συστήματος.
- 3. Αποθήκευση δεδομένων:** Σε πεδία, σχετικά με το περιβάλλον, ο τεράστιος όγκος των δεδομένων που παράγεται, απαιτεί και ανάλογες δυνατότητες αποθήκευσης. Οι παραδοσιακές βάσεις δεδομένων, δεν μπορούν να συλλέξουν μεγάλο όγκο από αδόμητα δεδομένα πραγματικού χρόνου, προερχόμενα από διαφορετικές πηγές. Παράλληλα, οι εφαρμογές των Μεγάλων Δεδομένων χρειάζονται μεγαλύτερη ταχύτητα, ευελιξία και αξιοπιστία. Για το λόγο αυτό, έχουν δημιουργηθεί νέες βάσεις δεδομένων (πχ. NoSQL¹¹), οι οποίες είναι πιο ανεξάρτητες, ανοιχτής πρόσβασης και οριζόντιας κλίμακας (Harrison, 2015). Σκοπός της δημιουργίας των νέων αυτών βάσεων δεδομένων, είναι να διευκολύνουν τη συλλογή, την αποθήκευση και τη διατήρηση των τεράστιων όγκων από δεδομένα που προέρχονται από όλο και περισσότερες, ετερογενείς πηγές (Chebbi et al., 2016; Hajjaji et al., 2018). Τέλος, η χρήση μιας υποδομής, η οποία διαθέτει αποτελεσματικές δυνατότητες αποθήκευσης, μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα και την απόδοση της επεξεργασίας των δεδομένων, ενώ παράλληλα βελτιώνει τον σχεδιασμό και τις λειτουργίες των εφαρμογών.
- 4. Ανάλυση των δεδομένων:** Η ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία ως την πιο σημαντική προϋπόθεση, ειδικότερα για τις περιβαλλοντικές εφαρμογές, οι οποίες έχουν να κάνουν με διαχείριση κινδύνων. Οι προκλήσεις που εμφανίζονται στο πεδίο της ανάλυσης των

¹¹Αυτές οι βάσεις δεδομένων περιλαμβάνουν διαχείριση των δεδομένων σε μεγάλες ταχύτητες, ευελιξία σχήματος και αποτελεσματική κλιμάκωση (Kuang et al., 2016; Pollard et al., 2019).

δεδομένων, σχετίζονται περισσότερο με τη λειτουργία του συστήματος σε περιπτώσεις ανάλυσης, λόγω της μεγάλης ταχύτητας με την οποία δημιουργούνται τα δεδομένα (S.K. Sood et al., 2018; M.H. Ur Rehman et al., 2019). Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων και την διευκόλυνση της επεξεργασίας των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία νέων λύσεων λογισμικού και τεχνολογικών δυνατοτήτων. Τέτοιες λύσεις μπορούν να προσφέρουν στις μέρες μας τα Μεγάλα Δεδομένα, τα οποία κρίνονται καίριας σημασίας στο πεδίο της λήψης των αποφάσεων, για έγκαιρες και αποτελεσματικές, επείγουσες εφαρμογές (Yang et al., 2017; Boulila et al., 2018).

- 5. Σχέση κόστους-οφέλους:** Στις μέρες μας υπάρχουν πολλές τεχνολογίες Μεγάλων Δεδομένων, οι οποίες είναι ανοιχτής πρόσβασης, γεγονός που οδηγεί σε μείωση των απαιτούμενων, για την ανάπτυξη και χρήση νέων εφαρμογών, εξόδων. Ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες μένουν πίσω στις τεχνολογικές εξελίξεις, καθώς δεν διαθέτουν τα αναγκαία κεφάλαια για να εκσυγχρονιστούν, η σχέση κόστους-οφέλους, παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία, ως μια ιδιαίτερα σημαντική μεταβλητή. Σύμφωνα με τους Hajjaji et al. (2021) λοιπόν, η ανάπτυξη περισσότερων αρχιτεκτονικών και πλατφόρμων ανοιχτής πρόσβασης, για τα Μεγάλα Δεδομένα και το IoT θα μπορούσε να αυξήσει την υιοθέτηση των τεχνολογιών αυτών από τρίτες χώρες.

3.2.3 Χαρακτηριστικά

Οι Demchenko et al., έχουν χωρίσει τα μεγάλα δεδομένα με βάση τα πέντε χαρακτηριστικά τους, τα οποία συχνά στην βιβλιογραφία τα συναντά κανείς ως τα πέντε V's, καθώς το V είναι το αρχικό γράμμα του καθενός από αυτά, όπως αναφέρονται στην αγγλική γλώσσα:

- 1. Ένταση (Volume):** Το χαρακτηριστικό της έντασης, σχετίζεται με το σύνολο των δεδομένων, το οποίο απαιτείται κάθε φορά για ανάλυση, ενώ το σύνολο αυτό, αυξάνεται αναλογικά με το μέγεθος του πληθυσμού των πηγών των δεδομένων (Vinay Kellengere Shankarnarayan et al., 2020). Όσο περισσότερες λοιπόν είναι οι πηγές των δεδομένων, τόσο μεγαλύτερη είναι και η έντασή τους. Επίσης, σχετίζεται και με τους λειτουργικούς μηχανισμούς που αφορούν την αποθήκευση, την επεξεργασία και τη διαχείριση των δεδομένων (A. De Mauro et

al, 2015-2016). Το μέγεθος της έντασης στο παρελθόν μετρούνταν σε Gigabyte (GB) και έπειτα με γεωμετρική πρόοδο αυξήθηκε σε zettabytes (ZB) and yottabaytes (YB) (Y. Hajjaji et al., 2021). Άλλη άποψη στη βιβλιογραφία, σχετικά με την ένταση των Μεγάλων Δεδομένων, την περιγράφει σαν μια μονάδα μέτρησης των δεδομένων που είναι διαθέσιμα σε έναν οργανισμό, χωρίς απαραίτητα αυτός να τα έχει υπό την κατοχή του, για όσο χρονικό διάστημα αποκτά πρόσβαση σε αυτά (Stergiou et al., 2016; Buckler, 2016; Russom, 2011).

- 2. Ταχύτητα (Velocity):** Η ταχύτητα, ως χαρακτηριστικό των Μεγάλων Δεδομένων, σχετίζεται με την ταχύτητα της πρόσβασης σε αυτά, της αφομοίωσης, της ροής τους και της δημιουργίας τους. Ο έλεγχος της ταχύτητας των δεδομένων, είναι κάτι περισσότερο από ένα ζήτημα σχετικό με το bandwidth. Αποτελεί παράλληλα, ένα ζήτημα πρόσληψης (εξαγωγή-μεταμόρφωση-φόρτωση) (Stergiou et al., 2016; Buckler, 2016; Russom, 2011). Το ηλεκτρονικό εμπόριο (e- Commerce) αύξησε πολύ γρήγορα την ταχύτητα και την ποικιλία των δεδομένων, τα οποία υπολογίζονται για διαφορετικές επιχειρηματικές συναλλαγές (Stergiou et al., 2017).
- 3. Ποικιλία (Variety):** Όπως αναφέραμε παραπάνω, τα δεδομένα που συλλέγονται μπορεί να είναι είτε δομημένα, είτε μη δομημένα. Ως δομημένα χαρακτηρίζονται τα δεδομένα, τα οποία είναι οργανωμένα και έχουν τέτοια μορφή, που είναι εύκολο να χρησιμοποιηθούν από μία βάση δεδομένων ή από κάποια άλλη τεχνολογία ή οργανισμό. Τα δεδομένα αυτά, μπορεί να είναι κείμενα, αριθμοί, έγγραφα, αρχεία, προσωπικά δεδομένα, δεδομένα σχετικά με οικονομικά στοιχεία κλπ.) (Vinay Kellengere Shankarnarayan et al., 2020). Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η εύκολη επεξεργασία και ανάλυσή τους. Ως μη δομημένα δεδομένα χαρακτηρίζονται αυτά που δεν ακολουθούν ένα συγκεκριμένο μοντέλο δεδομένων και η επεξεργασία και η αποθήκευσή τους δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από τις παραδοσιακές βάσεις δεδομένων, αλλά απαιτούνται νέες τεχνολογίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μη δομημένων δεδομένων είναι οι φωτογραφίες και τα βίντεο, τα τρισδιάστατα μοντέλα, τα αρχεία ήχου, οι προσομοιώσεις κλπ.. Η ποικιλία των δεδομένων συνιστά μια βασική πρόκληση που αντιμετωπίζει η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων και των Μεγάλων Δεδομένων γενικότερα, καθώς το να μπορέσει

κανείς να οργανώσει τα ανομοιογενή αυτά δεδομένα, αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα.

4. **Εγκυρότητα (Veracity):** Η εγκυρότητα αναφέρεται στις ασάφειες που τυχόν υπάρχουν στα δεδομένα που συγκεντρώνονται και εξασφαλίζει την ακεραιότητα και την ακρίβεια τους (Vinay Kellengere Shankarnarayan et al., 2020). Το μέγεθος αυτό περιγράφει επίσης, το πόσο σχετικά και σημαντικά είναι τα δεδομένα για την ανάλυση του κάθε προβλήματος (D. Ardagna et al., 2012).
5. **Αξία (Value):** Τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί είναι άχρηστα, αν δεν γίνουν αντικείμενο επεξεργασίας, με σκοπό να προσφέρουν αξία. Είναι πολύ σημαντικό να αντιλαμβάνεται κανείς τα έξοδα και τα πλεονεκτήματα που μπορεί να υπάρξουν, έπειτα από τη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων, τα οποία διαθέτουν ένταση, ταχύτητα και ποικιλία και χρειάζονται τόσο χρόνο, όσο και πόρους (A. De Mauro et al., 2015).



Εικόνα 3-11: Τα χαρακτηριστικά των Μεγάλων Δεδομένων

Άλλα χαρακτηριστικά των Μεγάλων Δεδομένων, μπορεί κανείς να διακρίνει στην πρωτοβουλία «The Data FAIRport»¹². Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν από την έννοια της αρχής FAIR, που σημαίνει ότι τα δεδομένα πρέπει να είναι εντοπίσιμα (Findable), προσβάσιμα (Accessible), διαλειτουργικά (Interoperable) και επαναχρησιμοποιήσιμα (Reusable).

3.2.4 Τα Μεγάλα Δεδομένα στον αγροτικό τομέα

Όπως προαναφέραμε, τα Μεγάλα δεδομένα κατά κανόνα, προέρχονται από πολλές, ετερογενείς πηγές. Οι πηγές αυτές, μπορεί να είναι μετεωρολογικοί σταθμοί, ιστορικά δεδομένα, τα οποία συλλέγονται από κυβερνητικές αρχές ή δεδομένα τα οποία διατίθενται με ανοιχτή πρόσβαση, μέσα από online αποθήκες (V. Moysiadis et al., 2021). Τα αγροτικά δεδομένα δεν αποτελούν εξαίρεση στον κανόνα αυτό, καθώς και τα ίδια χαρακτηρίζονται σε μεγάλο βαθμό από ετερογένεια (Ishii, 2014; Li et al., 2014), με αποτέλεσμα η χρήση τους, να συνιστά μία περίπλοκη διαδικασία. Κάτι τέτοιο συμβαίνει, διότι οι πηγές των δεδομένων αυτών δεν επικοινωνούν μεταξύ τους (Bahlo, Dahlhaus, Thompson, & Trotte, 2019; Wolfert, Verdouw & Bogaardt, 2017), γεννώντας έτσι διάφορες προκλήσεις, στο πεδίο της ανάλυσης τους (Morota, Ventura, Silva, Koyama & Fernando, 2018).

Όπως υποστηρίζουν στην έρευνά τους οι Hajjaji et al. (2021), οι περισσότερες αναφορές στην αρχιτεκτονική των συστημάτων έξυπνης γεωργίας, που αναλύονται στη βιβλιογραφία, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βήματα:

- Την αφομοίωση των δεδομένων με τη χρήση μιας IoT υποδομής, για τη συλλογή δεδομένων από τους αισθητήρες.
- Το επίπεδο δικτύου (Network Layer) για τη μεταφορά των πληροφοριών και τη σύνδεση της πλατφόρμας.
- Την προεπεξεργασία των δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τον «καθαρισμό» τους, ώστε να αφαιρεθεί από αυτά ο «θόρυβος» και οι περιττές πληροφορίες, να γίνεται άμεσα η επιλογή τους και να επιτυγχάνεται η ομαλοποίηση και η μεταμόρφωσή τους, η μελλοντική εξαγωγή τους, κλπ.. Το στάδιο αυτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις σχετικές με το περιβάλλον εφαρμογές, καθώς τα δεδομένα τα οποία είναι ανολοκλήρωτα ή ασαφή, μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένες αναλύσεις και σε σπατάλη πόρων (W. Boulila et al., 2017).

¹² Διαθέσιμο [εδώ](#).

- Την αρχιτεκτονική των Μεγάλων Δεδομένων για την αποθήκευση και την επεξεργασία του τεράστιου όγκου από δεδομένα.
- Την ανάλυση των δεδομένων, η οποία συμπεριλαμβάνει πολλές περίπλοκες διαδικασίες ανάλυσης, πρόβλεψης, ρυθμιστικές και στατιστικές.
- Την παρουσίαση και την απεικόνιση των δεδομένων, διαδικασίες από τις οποίες προκύπτουν χρήσιμες γνώσεις, έτσι ώστε ο κάθε χρήστης να μπορέσει να αντιληφθεί τα αποτελέσματα. Σύμφωνα με τον Goswami Barua (2007), ως απεικόνιση των δεδομένων, παρουσιάζεται μια γραφική αναπαράσταση, η οποία βοηθάει στο να γίνουν τα δεδομένα κατανοητά με πιο εύκολο τρόπο. Παράλληλα, υποστηρίζουν ότι πρόκειται για ένα εργαλείο επίλυσης προβλημάτων, το οποίο βοηθά να δημιουργηθούν μοτίβα δεδομένων και να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτές, οι δύσκολες στατιστικές αναλύσεις.

Έτσι λοιπόν, τα Μεγάλα Δεδομένα, ως μια καινοτόμα τεχνολογία, φαίνεται ότι φέρνουν μεγάλες αλλαγές γενικότερα στον αγροτικό τομέα, αλλά και ειδικότερα, τόσο στον τρόπο καλλιέργειας της γης και της εκτροφής των ζώων, όσο και στον τρόπο οργάνωσης και διαχείρισης των αγροκτημάτων. Πλεονεκτήματα, όπως η γνώση που προσφέρουν στους αγρότες μέσα από την ανάλυσή τους σε πραγματικό χρόνο, η μείωση των εξόδων και των απωλειών στην παραγωγή, καθώς και οι προοπτικές που διαθέτουν, να μεταμορφώσουν τις συμβατικές αγροτικές διαδικασίες που υπάρχουν εδώ και χρόνια, σε διαδικασίες καθοδηγούμενες από δεδομένα, φαίνεται ότι τα καθιστούν ένα ισχυρό όπλο στο χέρι του κάθε παραγωγού. Παράλληλα, μέσα από τη χρήση των δεδομένων, οι αγρότες έχουν τη δυνατότητα να προβλέψουν μελλοντικά περιστατικά, καθώς και να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους. Μπορούν ακόμα και να εκτιμήσουν την παρουσία των παθογενειών ή των ρύπων, συνδέοντας τις πληροφορίες σχετικά με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες με την αύξηση και τον κίνδυνο των παθογόνων παραγόντων (Armbruster & MacDonell, 2015). Τα αγροτικά δεδομένα περιλαμβάνουν και τρεις ακόμα κατηγορίες πληροφοριών. Σύμφωνα με τους Devlin (2012) και UNECE (2013), οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

α) οι διαδικασίες που μεσολαβούν (Process Mediated/ PM). Τα PM δεδομένα ή αλλιώς παραδοσιακά επιχειρησιακά δεδομένα, όπως αναφέρονται και στη βιβλιογραφία, καταγράφουν και παρατηρούν τα σχετικά με την επιχείρηση δεδομένα, όπως για παράδειγμα τη σπορά, το ψέκασμα, τη λήψη παραγγελιών κλπ.. Τα δεδομένα αυτά,

συνήθως είναι δομημένα και περιλαμβάνουν τόσο τις συναλλαγές, όσο και τα μεταδεδομένα,¹³ τα οποία καθορίζουν το περιεχόμενό τους.

β) τα δεδομένα που προέρχονται από μηχανές (Machine generated/MG). Τα MG δεδομένα δημιουργούνται από την διαρκώς αυξανόμενη παραγωγή έξυπνων συσκευών και αισθητήρων, που χρησιμοποιούνται στις αγροτικές διαδικασίες για την καταμέτρηση και την καταγραφή των μεταβλητών. Τα δεδομένα αυτά κυμαίνονται από απλά δεδομένα από τους αισθητήρες, σε πιο περίπλοκες διαδικασίες με τη χρήση υπολογιστών. Από την κατηγορία αυτή δημιουργείται τεράστιος όγκος δεδομένων, τα οποία έχουν μια καλά δομημένη φύση, κατάλληλη για επεξεργασία από υπολογιστές.

γ) οι ανθρώπινες διαδικασίες (Human-sourced process/HS). Τα δεδομένα αυτά αποτελούν μια καταγραφή της ανθρώπινης εμπειρίας, από τα παλιότερα χρόνια, μέσα από βιβλία, εργασίες και φωτογραφίες, έως και σήμερα μέσα από τα κοινωνικά δίκτυα και τους προσωπικούς υπολογιστές των χρηστών. Η δομή των δεδομένων αυτών είναι συνήθως χαλαρή.

Τέλος, η χρήση των Μεγάλων Δεδομένων σχετίζεται ακόμα και με τις προτιμήσεις των καταναλωτών, καθώς η συλλογή δεδομένων τέτοιου τύπου, προσφέρει στους αγρότες πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένες ανάγκες των καταναλωτών, δίνοντάς τους την δυνατότητα να τροποποιούν τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες τους, ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες αυτές (Brown et al., 2011). Με τον τρόπο αυτό, ακόμα και οι διαφημίσεις γίνονται πιο εξειδικευμένες στις προτιμήσεις του κάθε καταναλωτή (Jake Astill et al., 2020). Όπως αναφέρουν οι Raaijmakers et al. (2020), ερευνητές στο Wageningen University, ανέπτυξαν μια εφαρμογή κινητού, η οποία ονομάζεται Food Profiler. Η εφαρμογή αυτή συλλέγει δεδομένα σχετικά με τις διατροφικές προτιμήσεις τις οποίες έχουν οι χρήστες. Επίσης, υπάρχει και η βάση δεδομένων EFSA, η οποία περιέχει δεδομένα σχετικά με τις συνήθειες και τα μοτίβα της κατανάλωσης τροφίμων σε όλη την Ευρώπη (EFSA, 2021). Θα μπορούσαμε λοιπόν να πει κανείς, ότι τα Μεγάλα Δεδομένα παράλληλα με τη μεταμόρφωση των αγροκτημάτων από παραδοσιακά σε «έξυπνα», εμπλουτίζουν και τους ίδιους τους αγρότες με περισσότερη ευφυΐα.

¹³ Τα μεταδεδομένα είναι δεδομένα σχετικά με τα δεδομένα. Σύμφωνα με τους Santos and Riyuiti (2012) τα μεταδεδομένα δίνουν νόημα και περιεχόμενο στην αξία των δεδομένων και βοηθούν στην οργάνωση των μεγαλύτερων συνόλων από δεδομένα. Επίσης, όπως υποστηρίζουν οι Tolk et al. (2011) τα μεταδεδομένα επιτρέπουν στις μηχανές να κατανοήσουν τα δεδομένα, δημιουργώντας μοντέλα και αφαιρώντας τυχόν ασάφειες.

Όπως επεξηγούν στην έρευνά τους οι Lioutas et al., 2019, οι αγρότες κατέχουν έναν διττό ρόλο αναφορικά με τα δεδομένα που παράγονται, διότι εκτός από χρήστες τους, παρουσιάζονται και ως συμπαραγωγοί των δεδομένων αυτών. Αυτό συμβαίνει διότι, πέραν του ότι χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων, με σκοπό να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα που προκύπτουν στα αγροκτήματά τους, συνεισφέρουν και στην παραγωγή τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα ζητήματα, τα οποία αφορούν τις καλλιέργειες ή την διαχείριση των ζώων, ανταποκρίνονται σε διάφορες φυσικές μεταβλητές, οι οποίες σε συνδυασμό με τις πρακτικές που χρησιμοποιούν οι αγρότες για την διαχείριση των αγροκτημάτων τους, επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό το περιεχόμενο των δεδομένων αυτών, σε πληροφορίες. Κάθε πράξη του αγρότη δηλαδή, επηρεάζει τόσο την ποσότητα, όσο και την ποιότητα των Μεγάλων Δεδομένων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που αναφέρουν οι παραπάνω στην έρευνά τους, είναι η χρήση του τρακτέρ σε σχέση με τη χρήση των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζουν ότι ο τρόπος με τον οποίο οι αγρότες χρησιμοποιούν το τρακτέρ, επηρεάζει μόνο αυτό καθεαυτό σαν μηχανήμα, σε βάθος χρόνου, με αποτέλεσμα η ποιότητα του τρακτέρ να παραμένει σχετικά σταθερή, όταν η ανάλυση αφορά ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα.

Αντιθέτως, τα Μεγάλα Δεδομένα μη όντας απτά εργαλεία, βρίσκονται υπό μία συνεχή εξέλιξη (Chen et al., 2014), καθώς από κάθε πράξη του αγρότη δημιουργούνται νέα δεδομένα, τα οποία αλλάζουν κάθε φορά τη φύση του εργαλείου αυτού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι αγρότες να πρέπει να εξελίσσουν διαρκώς τη φύση των μεγάλων δεδομένων και να αναπτύσσουν νέες γνώσεις και δεξιότητες (εσωτερικά εργαλεία), ώστε να μεταμορφώνουν αποτελεσματικά τα μεγάλα δεδομένα (εξωτερικά εργαλεία) σε χρήσιμες αποφάσεις. Η ελαττωμένη ικανότητά τους όμως, να μπορέσουν να διαχειριστούν όλη αυτή την πολυπλοκότητα, καθώς και η αργή σε ρυθμούς, υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών στον αγροτικό τομέα, εμποδίζει την ευρεία χρήση της τεχνολογίας των Μεγάλων Δεδομένων στον χώρο των αγροκτημάτων. Αντιθέτως, μια ευρύτερη υιοθέτηση των εφαρμογών Μεγάλων Δεδομένων, θα οδηγούσε σε αλλαγή τόσο των υποδομών ενός αγροκτήματος, όσο και της ευρύτερης αλυσίδας τροφίμων (Sjaak Wolfert et al., 2017).

Οι εφαρμογές των Μεγάλων Δεδομένων στον αγροτικό τομέα, δεν σχετίζονται σε απόλυτο βαθμό με την πρωτογενή παραγωγή, παίζουν όμως σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας και μειώνουν

τις ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων (Chen et al., 2014; Esmeijer et al., 2015; Gilpin, 2015a). Στη βιβλιογραφία, παρουσιάζεται μεγαλύτερη χρήση των Μεγάλων Δεδομένων στον αγροτικό τομέα, σε περιοχές όπως η Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική (Faulkner and Cebul, 2014). Στην Αμερική, νεοφυείς επιχειρήσεις όπως η FarmLogs (Guild, 2014) και η FarmLink (Hardy, 2014) προκαλούν τους γίγαντες του τομέα αυτού, όπως είναι η εταιρία Monsanto και η Deere (Plume, 2014), ενώ αντίστοιχο παράδειγμα στη Ρουμανία, συνιστούν αγροτικές εταιρίες που χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες των πληροφοριών, όπως η εταιρία NEC και η Dacom. Οι εταιρίες αυτές, δραστηριοποιούνται ενεργά στον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας, με τη χρήση λογισμικού ανάλυσης Μεγάλων Δεδομένων, ώστε να αυξήσουν την απόδοση (NEC, 2014). Τα τελευταία χρόνια και η Ιαπωνία άρχισε να αναδύεται δυναμικά στον τομέα της Έξυπνης Γεωργίας και των Μεγάλων Δεδομένων, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την εταιρία Fujitsu, η οποία συλλέγει δεδομένα όπως η βροχόπτωση, η υγρασία κλπ., από ένα δίκτυο αισθητήρων και καμερών σε όλη τη χώρα, με σκοπό να βοηθήσει τους αγρότες της Ιαπωνίας να διαχειριστούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις καλλιέργειες και τα έξοδά τους (Carlson, 2012).

3.2.5 Τα Μεγάλα Δεδομένα στον κτηνοτροφικό τομέα

Όπως και στον αγροτικό, έτσι και στον κτηνοτροφικό τομέα, οι αισθητήρες και οι νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, ενσωματώνονται όλο και περισσότερο στις διαδικασίες. Για παράδειγμα, οι αγρότες που ασχολούνται με την παραγωγή γάλακτος, έρχονται αντιμέτωποι καθημερινά, με ένα τεράστιο σύνολο από δεδομένα, τα οποία παράγονται από την ευρεία χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων, μέσα από αισθητήρες και μετρητές, που εφάπτονται πάνω στα ίδια τα ζώα, όπως περιγράψαμε εκτενώς, σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η σημασία των δεδομένων αυτών, είναι ιδιαίτερα μεγάλη για την διαχείριση μιας φάρμας παραγωγής γάλακτος. Η χρήση των Μεγάλων δεδομένων, είναι καθόλα εξαρτημένη από την αφομοίωσή τους, την ώρα που αυτά δημιουργούνται. Στη βιβλιογραφία, η αφομοίωση παρουσιάζεται ως ένα δύσκολο εγχείρημα, λόγω της μεγάλης ετερογένειας τους, την οποία προαναφέραμε. Όπως αναφέρουν στο άρθρο τους, οι Gabrera et al. (2019), από την καθημερινή διαχείριση της κάθε αγελάδας ξεχωριστά, σε ένα αγρόκτημα όπου όλες οι λειτουργικές υποδομές (πχ. για την εκτροφή, την υγεία, την παρακολούθηση του κέρδους από τα προϊόντα) είναι διαφορετικές,

ελλείπει αυτή η αφομοίωση των δεδομένων. Κάτι τέτοιο, οδηγεί σε περισσότερο χρονοβόρες διαδικασίες, καθώς και σε απώλεια πόρων.

Αντιθέτως, όπως υποστηρίζουν και άλλοι ερευνητές, μέσα από την αφομοίωση των δεδομένων έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνονται οι λειτουργίες των αλγόριθμων που χρησιμοποιούνται για τις προβλέψεις, καθώς η σύγκριση πλέον γίνεται με μία μόνο πηγή δεδομένων και όχι με πολλές και ετερογενείς πηγές (Hogeveen, Kamphuis, Steeneveld, & Mollenhorst, 2010), οδηγώντας παράλληλα σε καλύτερη ποιότητα των δεδομένων (Menendez Gonzalez, Steiner, Gassner, & Regula, 2010), σε καλύτερη χρήση τους, καθώς και σε μεγαλύτερη ακρίβεια στην λήψη των αποφάσεων. Στη βιβλιογραφία λοιπόν, παρουσιάζεται ως επιτακτική ανάγκη, η ανάπτυξη ενός συστήματος, το οποίο θα μπορεί να συλλέγει, να αφομοιώνει, να αναλύει και να διαχειρίζεται, σε πραγματικό χρόνο, τα δεδομένα τα οποία προκύπτουν, εντός και εκτός μιας φάρμας. Ένα τέτοιο εγχείρημα, αποτελεί η πρωτοβουλία από το University of Wisconsin Madison, να αναπτύξει το Dairy Brain project,¹⁴ το οποίο σχετίζεται με τη δημιουργία μίας μηχανής, που σε πραγματικό χρόνο αφομοιώνει δεδομένα, λειτουργεί με βάση αυτά και λαμβάνει διαρκώς αποφάσεις (Cabrera et al., 2020; Ferris, Christensen, & Wangen, 2020).

Οι Newton et al. (2020), προχώρησαν σε μία εις βάθος ανασκόπηση, σχετικά με την διαχείριση των δεδομένων που προέρχονται από βιομηχανίες παραγωγής γάλακτος στην Αυστραλία. Η έρευνά τους σχετίζεται με την μελλοντικά προστιθέμενη αξία στα αγροκτήματα, η οποία δημιουργείται από τη χρήση των Μεγάλων Δεδομένων και από διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τους αγρότες, ώστε να χρησιμοποιήσουν και να εφαρμόσουν τα Μεγάλα Δεδομένα στα αγροκτήματά τους. Κατά τη διάρκεια της έρευνάς τους, εξέτασαν επτά αγροκτήματα, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι με τα Μεγάλα Δεδομένα σχετίζονται άμεσα τρεις σημαντικές διαστάσεις: **α)** η μεταφορά σε ένα νέο επιχειρησιακό στάδιο, **β)** η αφομοίωση των δεδομένων στα αγροτικά συστήματα και **γ)** η μακροπρόθεσμη στρατηγική σχετικά με τη λήψη των αποφάσεων. Τέλος, δίνουν ιδιαίτερη έμφαση, στον ρόλο που κατέχουν οι αγρότες, ως παράγοντες διακυβέρνησης του αγροκτήματος.

Η τεχνολογία των Μεγάλων Δεδομένων, φαίνεται ότι κάνει την εμφάνισή της και στον χώρο της βιομηχανίας των πουλερικών. Όπως περιγράφουν αναλυτικά στην έρευνά τους, σχετικά με την έξυπνη διαχείριση και τον εκσυγχρονισμό του βιομηχανικού αυτού τομέα, οι Jake Astill et al. (2020), τα δεδομένα που προκύπτουν, πρέπει να είναι

¹⁴ Διαθέσιμο [εδώ](#).

αποθηκευμένα σε ηλεκτρονική μορφή και να έχουν υποστεί επεξεργασία, ώστε να χρησιμοποιούνται με ορθό τρόπο από τους παραγωγούς, αφού πρώτα οι ίδιοι τα έχουν κατανοήσει πλήρως. Η διαφάνεια των δεδομένων, τα οποία σχετίζονται με την υγεία, το βάρος, την ανάπτυξη και την ευημερία των πτηνών, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση, καθώς μέσα από την ύπαρξη διαφάνειας, επιτρέπεται και σε άλλα ενδιαφερόμενα μέλη της αλυσίδας παραγωγής, να εμπλακούν στην παραγωγή των πουλερικών, βοηθώντας με τη χρήση αυτών των δεδομένων, στη λήψη αποφάσεων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, στο οποίο αναφέρονται οι Jake Astill et al. (2020), σχετικά με την πρόσβαση άλλων μελών στα δεδομένα, αφορά τους προμηθευτές τροφής, οι οποίοι παρακολουθώντας τα δεδομένα, τα οποία σχετίζονται με το βάρος των πτηνών ή άλλες παραμέτρους της υγείας τους, μπορούν να αλλάξουν κατάλληλα την ποσότητα της προμήθειας τροφής.

3.2.6 Αλυσίδα Δεδομένων (Data Chain)

Ο όρος αλυσίδα δεδομένων ή Data Chain, αναφέρεται σε μια σειρά από δραστηριότητες, με τη μορφή ενός ψηφιακού πλαισίου, οι οποίες ξεκινούν από την αφομοίωση των δεδομένων και φτάνουν μέχρι και την λήψη των αποφάσεων και την εμπορευματοποίηση τους (Chen et al., 2014; Miller and Mork, 2013).

Όπως υποστηρίζουν στην έρευνά τους οι Wolfert et al. (2017), στον αγροτικό τομέα, η αλυσίδα δεδομένων βρίσκεται σε συνεχή αλληλεπίδραση με τις γεωργικές εργασίες, μέσα από διάφορες διαδικασίες λήψης αποφάσεων, στις οποίες οι πληροφορίες παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο. Συνεχίζοντας, υποστηρίζουν ότι μια αλυσίδα δεδομένων αποτελείται απαραίτητα από δύο επίπεδα, το τεχνικό επίπεδο (technical layer), στο οποίο γίνεται η αφομοίωση των «ωμών» δεδομένων και η μετατροπή τους σε πληροφορίες και το επιχειρησιακό επίπεδο (business layer), στο οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις και προκύπτει η αξία από τα δεδομένα. Τα δύο αυτά επίπεδα, φαίνεται ότι είναι άμεσα συνυφασμένα μεταξύ τους και μαζί αποτελούν αυτό που συναντάμε στη βιβλιογραφία ως «data value chain», δηλαδή αλυσίδα αξίας δεδομένων¹⁵(Dumbill, 2014). Οι ίδιοι συνεχίζοντας την έρευνά τους, διαιρούν περαιτέρω την αλυσίδα δεδομένων σε τέσσερις φάσεις: **1)** τη δημιουργία των δεδομένων, **2)** την αφομοίωσή τους, **3)** την αποθήκευση των δεδομένων και **4)** την ανάλυσή τους. Όπως αναφέρουν, τα

¹⁵ Ο Porter (1985), ορίζει την αλυσίδα αξίας, ως ένα σύστημα από διασυνδεδεμένες διαδικασίες, οι οποίες προσθέτουν αξία στα προϊόντα των υπηρεσιών.

δεδομένα δημιουργούνται και αφομοιώνονται μέσα από μια σειρά από ανθρώπινες διαδικασίες, αλλά και από τους ψηφιακούς αισθητήρες. Πριν από την αποθήκευσή τους, τα δεδομένα που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία, κατηγοριοποιούνται με σκοπό να ενισχύσουν τις διαδικασίες της αναφοράς και της ανάλυσης των δεδομένων, που ακολουθούν.

Από την άλλη, κατά τους Chen et al. (2014), τα βήματα τα οποία δημιουργούν μια αλυσίδα αξίας δεδομένων είναι έξι και πιο συγκεκριμένα τα εξής: **1)** η λήψη των δεδομένων, μέσα από τους αισθητήρες, τα drones ή άλλες πηγές που προαναφέραμε, **2)** η αποθήκευση των δεδομένων, η οποία γίνεται σε πλατφόρμες, όπως το cloud, **3)** η μεταφορά των δεδομένων, με τη χρήση ασύρματης σύνδεσης, **4)** η μετατροπή τους, με τη χρήση αλγορίθμων, όπως μηχανικής μάθησης, απεικόνισης ή ανωνυμοποίησης των δεδομένων, **5)** η ανάλυσή τους και **6)** η εμπορευματοποίηση και το marketing των δεδομένων, τα οποία οδηγούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων με τη χρήση τεχνικών απεικόνισης.

3.2.7 Ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)

Η ανάλυση των Μεγάλων δεδομένων, είναι η τελική διαδικασία στην αλυσίδα των δεδομένων, μέσα από την οποία οι χρήστες μπορούν να αντλήσουν τις αναγκαίες και χρήσιμες πληροφορίες, που χρειάζονται, από την επεξεργασία του τεράστιου όγκου δεδομένων, προερχόμενων από ετερογενείς πηγές. Σύμφωνα με τους Memos et al. (2021), η διαδικασία της ανάλυσης αποτελεί στην ουσία, τη χρήση προχωρημένων μεθόδων με τις οποίες γίνεται μία σε βάθος ανάλυση των τεράστιων, αλλά και ανόμοιων μεταξύ τους, συνόλων δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνουν δομημένα, ημι-δομημένα καθώς και πλήρως αδόμητα δεδομένα, σε διαφορετικά μεγέθη. Όπως υποστηρίζουν, πρόκειται για μία πολλά υποσχόμενη τεχνική, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό και με την τεχνολογία του Cloud Computing, καθώς και με τους ασύρματους αισθητήρες και το IoT, προσφέροντας πολλαπλά πλεονεκτήματα στην ποιότητα της λήψης των αποφάσεων.

Σύμφωνα με τους Islam et al. (2017), το πεδίο των data analytics, περιλαμβάνει διάφορα μαθηματικά μοντέλα και μοντέλα ανάλυσης, ενώ σύμφωνα με τους Hu et al. (2014), η ανάλυση των δεδομένων γίνεται μέσα από τη χρήση αλγορίθμων, οι οποίοι εκτελούνται σε πανίσχυρες πλατφόρμες οδηγώντας στην ανακάλυψη κρυμμένων μοτίβων ή μυστικών συσχετίσεων, αλλά και σε χρήσιμες για τους χρήστες, γνώσεις.

Τέλος, σύμφωνα με τον Rajaraman (2016), υπάρχουν τέσσερα είδη ανάλυσης δεδομένων:

- 1. Παραστατική ανάλυση (Descriptive analysis):** Η παραστατική ανάλυση ανταποκρίνεται στο ερώτημα «Τι συνέβη;» (Vinay Kellengere Shankarnarayan et al., 2020). Η ανάλυση γίνεται με απλό και κατανοητό τρόπο και σχετίζεται με γεγονότα του παρελθόντος και του παρόντος. Εδώ, χρησιμοποιούνται περισσότερο διαγράμματα, γραφικές αναπαραστάσεις, χάρτες κλπ.. Μέσα από τέτοιου είδους απεικονίσεις, οι χρήστες αντιλαμβάνονται τη σημασία των δεδομένων.
- 2. Προγνωστική ανάλυση (Predictive analysis):** Η προγνωστική ανάλυση προβλέπει «τι πρόκειται να συμβεί» (Vinay Kellengere Shankarnarayan et al., 2020). Με τη χρήση αυτής της τεχνικής ανάλυσης, οι χρήστες καταλήγουν σε συμπεράσματα, τα οποία εξάγονται από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα. Τα συμπεράσματα αυτά, αφορούν μελλοντικά γεγονότα, τα οποία αναμένονται να συμβούν στο κοντινό μέλλον. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των δεδομένων στην περίπτωση αυτή, είναι τις περισσότερες φορές αναλύσεις χρονοσειρών, που γίνονται με τη χρήση νευρωνικών δικτύων, αλγορίθμων ή στατιστικών μεθόδων. Όπως υποστηρίζει ο Rajaraman (2016), αυτή η μέθοδος ανάλυσης έχει πολύ σημαντικό ρόλο για την προώθηση των προϊόντων, καθώς μέσα από αυτή μπορεί κανείς να προβλέψει τις προτιμήσεις και τις ανάγκες των καταναλωτών.
- 3. Ερευνητική ανάλυση (Exploratory analysis):** Η μέθοδος αυτή αποκαλύπτει τις απρόβλεπτες σχέσεις που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα σε διαφορετικές παραμέτρους, μέσα στις τεράστιες συλλογές από δεδομένα. Η συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων, από ετερογενείς πηγές μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μοτίβων σχετικά με τη συμπεριφορά των καταναλωτών, μέσα από τις αντιδράσεις που οι ίδιοι εξωτερικεύουν στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (πχ. Facebook, Twitter, Instagram, emails) και έτσι οι εταιρίες και οι οργανισμοί να μπορέσουν να «προβλέψουν» τη συμπεριφορά των καταναλωτών απέναντι στα προϊόντα τους.
- 4. Ρυθμιστική ανάλυση (Regulatory analysis):** Μέσα από τα δεδομένα τα οποία έχουν συγκεντρωθεί, η μέθοδος αυτή μπορεί να οδηγήσει, στην αναγνώριση νέων ευκαιριών και στην εύρεση των βέλτιστων λύσεων στα υπάρχοντα προβλήματα.

Σχετικά με τον αγροτικό τομέα, οι M. S. Farooq et al. (2019), προτείνουν στην έρευνά τους τη δημιουργία μιας πλατφόρμας ενός αγροτικού δικτύου, στο οποίο κυριαρχεί η χρήση του διαδικτύου των πραγμάτων και η οποία βασίζεται στην μέθοδο ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων. Η πλατφόρμα που προτείνουν, βοηθά στη συλλογή των πληροφοριών, σχετικά με την γονιμότητα του εδάφους, την υγρασία του, τις καιρικές συνθήκες κλπ. και αποτελείται από έξι επίπεδα, τα οποία έχουν ως εξής:

- 1. Ο αγρότης/ Εμπειρία του χρήστη:** Το επίπεδο αυτό, έχει ως κέντρο του τον αγρότη και έχει σχεδιαστεί με σκοπό να προσφέρει βοήθεια σε όλες τις αγροτικές διαδικασίες, από την παρακολούθηση των καλλιεργειών και των ζώων, έως τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επιχείρηση και την επιλογή των κατάλληλων ενεργειών για τη μείωση των εξόδων.
- 2. Ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων:** Το επίπεδο αυτό, σχετίζεται με την προγνωστική ανάλυση, η οποία προαναφέρθηκε παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους συγγραφείς, αυτός ο τύπος ανάλυσης καθιστά ολόκληρο το περιβάλλον ενός αγροκτήματος πιο «ευφύες», συνδυάζοντας τις γνώσεις που προσφέρει η αγορά της έξυπνης γεωργίας με την τεχνολογία του ΙοΤ.
- 3. Ανίχνευση και παρακολούθηση:** Το επίπεδο αυτό, περιλαμβάνει την αφομοίωση των δεδομένων μέσα από τη χρήση αισθητήρων και την χρήση τεχνικών στατιστικής ανάλυσης, με στόχο τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τα χαρακτηριστικά των φυτών, τυχόν ασθένειες με τις οποίες έχουν προσβληθεί κλπ. Οι πληροφορίες αυτές παρέχονται στους χρήστες, μέσα από τη χρήση του διαδικτύου, με τη λήψη μηνυμάτων ή με την παρακολούθηση φωτογραφιών και βίντεο τα οποία παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.
- 4. Υπηρεσίες αποθήκευσης:** Οι δυνατότητες αποθήκευσης των πληροφοριών, που προσφέρει η πλατφόρμα αυτή, σχετικά με τις καλλιέργειες ή τα ζώα ενός αγροκτήματος, παρέχουν την ευκαιρία χρήσης των πληροφοριών αυτών, σε διαφορετικές περιόδους καλλιέργειας και την λήψη πιο σωστών αποφάσεων, στο μέλλον.
- 5. Πρωτόκολλα επικοινωνίας:** Οι συγγραφείς παρομοιάζουν το επίπεδο αυτό, με το κέντρο των νεύρων του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον τομέα της γεωργίας. Εδώ γίνεται η συλλογή και η μεταφορά των δεδομένων, μέσα από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Αυτά περιλαμβάνουν τεχνολογίες διαδικτύου, όπως

το Wi-Fi, το LoraWan και το ZigBee. Ειδικότερα το τελευταίο, θεωρείται το πιο κατάλληλο για την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.

6. **Φυσική εφαρμογή:** Το επίπεδο αυτό, αναφέρεται στην συνεργασία και την ενοποίηση όλων των παραπάνω λειτουργιών, με σκοπό την σωστή παρακολούθηση ενός αγροτικού περιβάλλοντος.

3.2.8 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (*Decision Support Systems/ DSS*)

Πίσω στη δεκαετία του 1970, φαίνεται ότι κάνουν την εμφάνισή τους τα πρώτα υπολογιστικά μοντέλα, που χρησιμοποιούνται για να προσφέρουν βοήθεια στην υποστήριξη των αποφάσεων (Power & Karparthi, 2002). Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες του διαδικτύου και λογισμικό μοντελισμού περιορισμένης ευφυΐας. Από τότε μέχρι σήμερα, έχουν εξελιχθεί τόσο πολύ, που έχουν υιοθετηθεί σε μεγάλο βαθμό, τόσο από τον αγροτικό τομέα, όσο και από τον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων (Arason et al., 2010; Dellino et al., 2017). Σημαντικό ρόλο στην υιοθέτηση αυτή, έπαιξε η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων στο Cloud, όπως και η πρόσβαση που μπορεί να αποκτήσει κανείς σε διάφορες συσκευές, παγκοσμίως.

Όπως αναφέρουν στην έρευνά τους οι Talari et al. (2021), ως Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (*Decision Support System/ DSS*), ορίζεται ένα σύστημα λήψης αποφάσεων με τη χρήση υπολογιστή, το οποίο χρησιμοποιεί τα διαθέσιμα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, σε συνδυασμό με διάφορα υπολογιστικά μοντέλα, με σκοπό την εύρεση και την ανάλυση του προβλήματος που υπάρχει σε έναν συγκεκριμένο τομέα πληροφοριών και στα συστήματα διαχείρισης (Goswami & Barua, 2007). Όλη η διαδικασία της λήψης αποφάσεων, απαιτεί την ενοποίηση διάφορων ασύμμετρων και αντίθετων διαστάσεων. Γενικότερα, όπως υποστηρίζουν οι παραπάνω, ένα DSS αποτελείται από μία τάξη από αυτοματοποιημένα πληροφοριακά συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν ειδικά συστήματα (*Expert Systems/ ES*) και πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων (*Multi-Criteria Decision Analysis/ MCDA*). Τα συστήματα αυτά, βοηθούν αυτούς που λαμβάνουν τις αποφάσεις, να χρησιμοποιούν τεχνολογίες επικοινωνιών, δεδομένα και υπολογιστικά μοντέλα, σε συνδυασμό με τις δραστηριότητες λήψης αποφάσεων (Goswami Barua, 2007; McMeekin et al., 2006; Power & Karparthi, 2002).

Σύμφωνα με τους Razmak & Aouni (2014), η MCDA αποτελεί ένα τμήμα του τομέα της λειτουργικής έρευνας, το οποίο συνιστά μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την διαχείριση της λήψης αποφάσεων, σχετικά με περίπλοκα προβλήματα,

χρησιμοποιώντας πολλαπλά, αντικρουόμενα και πολύ ανόμοια αντικείμενα. Τα τελευταία χρόνια η MCDA γνωρίζει μεγάλη αναγνώριση στον τομέα λήψης αποφάσεων σχετικά με την κλιματική αλλαγή και το περιβάλλον (Pitter et al., 2015). Από την άλλη, τα ES, εφαρμόζονται στον αγροτικό τομέα από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 και τις αρχές του 1990 (Rafea, 1998), με τα αποτελέσματα των πειραμάτων να δείχνουν υψηλό βαθμό ακρίβειας. Σύμφωνα με τους McMeekin et al. (2006), συνώνυμος όρος με αυτόν των ES και των DSS είναι τα «Συστήματα με βάση τη γνώση» (Knowledge Base Systems/ KBS). Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα πρόγραμμα με λογισμικό που βασίζεται σε κανόνες, το οποίο έχει σχεδιαστεί με σκοπό να βοηθήσει την λήψη των αποφάσεων σε ένα συγκεκριμένο τομέα προβλημάτων.

Στις μέρες μας, χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό διαδικτυακά DSS, η ανάπτυξη των οποίων γίνεται με τη χρήση του Παγκόσμιου Ιστού (Bayani, 2013). Τα διαδικτυακά DSS παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων, καθώς τα Μεγάλα Δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται από τα συστήματα αυτά, μπορούν να οδηγήσουν στην ενίσχυση της ασφάλειας των τροφίμων, παρέχοντας τη δυνατότητα να ληφθούν πολύ σημαντικές αποφάσεις σχετικά με την κλιματική αλλαγή, η οποία όπως προαναφέραμε, επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό όλη την αλυσίδα της παραγωγής τροφίμων (Donohoe et al., 2018). Παράλληλα, σύμφωνα με τους Liu et al. (2018), η χρήση των συστημάτων αυτών, μπορεί να οδηγήσει στην απομάκρυνση των ρύπων από τα τρόφιμα, καθώς και στην πιο άμεση και ακριβή διεξαγωγή αξιολογήσεων, σχετικά με τους κινδύνους που μπορεί να εμφανιστούν, στην αλυσίδα τροφίμων.

Σύμφωνα με τους Adebayo et al. (2018), η χρήση των Έξυπνων Συστημάτων Υποστήριξης αποφάσεων (Smart Decision Support Systems/ SDSS) στον αγροτικό τομέα, έχει ως στόχο να βοηθήσει τους αγρότες, αλλά και όσους ενδιαφέρονται να επενδύσουν στον τομέα αυτό, να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις. Όπως περιγράφουν στην έρευνά τους οι E. Said Mohamed et al. (2021), τα SDSS που χρησιμοποιούνται σε ένα αγρόκτημα, σχετίζονται με τη διαχείριση της διαδικασίας άρδευσης του αγρού, με το ψέκασμα, το λίπασμα και άλλες σχετικές διαδικασίες. Για παράδειγμα, οι Giusti and Marsili-Libelli (2015) στην μελέτη τους, παρουσιάζουν ένα περίπλοκο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση της διαδικασίας της άρδευσης, το οποίο περιλαμβάνει δεδομένα χωρικής θέσης και χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, που σχετίζονται με τα στάδια της ανάπτυξης τους, τις ανάγκες τους σε νερό, τη θερμοκρασία, τα χαρακτηριστικά του εδάφους κλπ. Παράλληλα, περιλαμβάνει ένα σύστημα εξαγωγής

συμπερασμάτων, το οποίο προγραμματίζει κάθε φορά τον χρόνο της άρδευσης, έτσι ώστε να διατηρούνται σταθερά και μέσα στα κατάλληλα όρια, τα επίπεδα υγρασίας στο έδαφος.



Εικόνα 3-12: Ανάλυση των δεδομένων και έλεγχος του αγροκτήματος στα χέρια του αγρότη

3.3 Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)

3.3.1 Ορισμός

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι τεχνολογίες των Μεγάλων Δεδομένων και του Υπολογιστικού Νέφους είναι αλληλένδετες μεταξύ τους, ενώ όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία από τους Hajjaji et al. (2021), οι δύο αυτές τεχνολογίες, μπορούν να αντιμετωπιστούν ως «ένα σώμα με δύο πλευρές». Η ευρεία χρήση των δεδομένων καθώς και τα τεράστια σύνολα δεδομένων που παράγονται από τη χρήση συσκευών IoT, καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη αποθηκευτικού χώρου, ο οποίος δεν θα έχει περιορισμούς.

Σύμφωνα με τους Stergiou et al. (2017), αυτόν τον αποθηκευτικό χώρο τον προσφέρει η τεχνολογία του Cloud Computing (CC). Όπως υποστηρίζουν, ο όρος αυτός περιγράφει μια υποδομή, μέσα στην οποία η αποθήκευση και η επεξεργασία των δεδομένων, λαμβάνουν χώρα σε πραγματικό χρόνο, έξω από την συσκευή του χρήστη. Οι ίδιοι, σε μεταγενέστερη έρευνά τους, περιγράφουν το CC ως «την αρχιτεκτονική μιας κατακευματισμένης τεχνολογίας πληροφοριών, στην οποία τα δεδομένα των πελατών επεξεργάζονται στις παρυφές του δικτύου, όσο το δυνατόν εγγύτερα στην πηγή δημιουργίας τους» (Zakarya et al., 2017; Bianco et al., 2017; Li et al., 2016).

Στην δική τους έρευνα, οι Dupont et al. (2017), αναφέρονται στο CC ως μια τεχνολογία υπολογισμού, η οποία βασίζεται σε κοινόχρηστους, απομακρυσμένους εξυπηρετητές, που υπάρχουν στο διαδίκτυο για τη διαχείριση των δεδομένων, την

αποθήκευση και την επεξεργασία τους, αντί να γίνεται χρήση προσωπικών εξυπηρετητών ή τοπικών διακομιστών για τη διαχείριση των εφαρμογών.

Τέλος, σύμφωνα με το National Institute of Standards and Technology (NIST), το CC είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται με σκοπό να διευκολύνει την εύκολη και άμεση πρόσβαση σε ένα σύνολο από ρυθμιζόμενους υπολογιστικούς πόρους (πχ. εφαρμογές, δίκτυα, υπηρεσίες κλπ.), ενώ όπως υποστηρίζουν οι Psannis et al., (2021), με τη χρήση της τεχνολογίας του Υπολογιστικού Νέφους, επιτυγχάνεται ο διαμοιρασμός των πόρων ενός δικτύου, ανάμεσα σε πολλούς και διαφορετικούς χρήστες, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την αποτελεσματικότητα. Στην έρευνά τους οι τελευταίοι, περιγράφουν το CC ως μια τεχνολογία βάσης, εξαιτίας του τύπου των υπηρεσιών που αυτό προσφέρει, σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, σχετικές με τον τομέα των επικοινωνιών. Οι Suciú et al. (2017), αναφέρονται σε τρεις βασικές υπηρεσίες του CC, οι οποίες ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι εξής:

- 1. Infrastructure as a Service (IaaS):** Προσφέρει μόνο βασικά βοηθήματα, όπως εικονικά μηχανήματα και διαφορετικές κατηγορίες αποθήκευσης μπλοκ δεδομένων.
- 2. Platform as a Service (PaaS):** Παρέχει την δυνατότητα στους καταναλωτές να εκμεταλλευτούν και να διαμορφώσουν την εφαρμογή τους στην cloud υποδομή που τους παρέχεται, χωρίς να πρέπει να ελέγξουν τα συστατικά που βρίσκονται πίσω από αυτή την υποδομή (servers, δίκτυο κ.λπ.).
- 3. Software as a Service (SaaS):** Πρόκειται για ένα μοντέλο μεταφοράς, που μπορεί να προσφέρει στους χρήστες τυπικές ενεργές υπηρεσίες και εφαρμογές, μέσω διαδικτύου, οι οποίες διαθέτουν ένα μεγάλο αριθμό ενσωματωμένων χαρακτηριστικών.

3.3.2 Χαρακτηριστικά

Οι Psannis et al. (2017), στην έρευνά τους, προχωρούν σε μια αναλυτική αναφορά στα χαρακτηριστικά του CC, τα οποία όπως αναφέρουν, είναι και αυτά που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

- **Αποθήκευση στο Internet (Storage over the Internet):** Στη βιβλιογραφία αναφέρεται και με τον όρο Storage over Internet Protocol (SoIP), (Garg et al., 2013; Md Whaiduzzaman et al., 2014; Skourletopoulos et al., 2016). Πρόκειται για ένα τεχνολογικό πλαίσιο, το οποίο χρησιμοποιεί τα δίκτυα Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/ IP), ώστε να συνδέσει μεταξύ τους, τους εξυπηρετητές και τις συσκευές αποθήκευσης, με απώτερο σκοπό να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή χρήση των λύσεων, που προσφέρονται στα προβλήματα αποθήκευσης.
- **Υπηρεσία στο Internet (Service over the Internet):** Ο κύριος σκοπός της ύπαρξης αυτού του χαρακτηριστικού, είναι η αφοσίωση του CC στο να διευκολύνει τους πελάτες σε όλο τον κόσμο, ώστε να μπορέσουν να μετατρέψουν τις προσδοκίες τους σε επιτεύγματα μέσα από την αξιοποίηση της ταχύτητας, της αποτελεσματικότητας και της διαρκούς παρουσίας του Διαδικτύου (Garg et al., 2013; Md. Whaiduzzaman et al., 2014; Skourletopoulos et al., 2016).
- **Εφαρμογές στο Internet (Applications over the Internet):** Πρόκειται για τα προγράμματα, τα οποία παράγονται για να προσφέρουν χρήσιμες λειτουργίες στις υπάρχουσες χειρωνακτικές διαδικασίες ή σε οτιδήποτε ψηφιακό και που λειτουργούν σε έναν cloud server με τη χρήση σύνδεσης στο διαδίκτυο. Στον όρο αυτό, συμπεριλαμβάνεται και το συμβατικό μοντέλο ενός προγράμματος, το οποίο πρέπει να εγκατασταθεί και να λειτουργήσει σε έναν τοπικό υπολογιστή. Στη βιβλιογραφία, χρησιμοποιείται και ο συνώνυμος όρος «Cloud Applications».
- **Ενεργειακή απόδοση (Energy efficiency):** Ο όρος αυτός περιγράφει την προσπάθεια διαχείρισης και περιορισμού της όλο και αυξανόμενης ενεργειακής κατανάλωσης.
- **Υπολογιστική ικανότητα (Computational capable):** Ένα σύστημα μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο για υπολογισμούς, όσο καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών, προσφέροντάς τους τα αποτελέσματα που επιδιώκουν, προχωρώντας στους αναγκαίους υπολογισμούς (Garg et al., 2013; Md. Whaiduzzaman et al., 2014).

3.3.3 Mobile Cloud Computing (MCC)

Μια τεχνολογία, η οποία έχει ως βάση της το CC και γίνεται όλο και πιο γνωστή τα τελευταία χρόνια, είναι αυτή του Mobile Cloud Computing (εφεξής MCC). Με τη χρήση του όρου αυτού, οι Stergiou et al. (2017), περιγράφουν την ενσωμάτωση του CC σε κινητές συσκευές, η οποία στοχεύει στο να καταστήσει αυτές πλήρεις από πόρους, όπως υπολογιστική ισχύ, αποθηκευτικό χώρο, μνήμη κλπ..

Όπως προαναφέραμε, ως βάση του MCC, θεωρείται η τεχνολογία του CC. Η νέα αυτή τεχνολογία, παρέχει στους χρήστες, κάθε τύπου πληροφορίες και δεδομένα, στα οποία οι ίδιοι μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση, από οποιοδήποτε μέρος και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, μέσω της χρήσης κινητών συσκευών. Όσον αφορά την αξιοποίηση των υπηρεσιών που προσφέρει το CC, μέσα από τη χρήση των συσκευών αυτών, στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το MCC μπορεί να «επεξεργαστεί» πολλά είδη από τις υπηρεσίες αυτές. Έτσι, όπως αναφέρουν οι Psannis et al.(2018), τα υψηλής ποιότητας μέσα, μπορούν να μεταδοθούν μέσα από το περιβάλλον του CC, το οποίο αναπτύχθηκε στο εσωτερικό των εφαρμογών που είναι εγκατεστημένες και λειτουργούν στο Cloud. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των τεχνολογιών αυτών, είναι το ότι μπορούν να ενοποιηθούν και να αλληλεπιδράσουν και με άλλες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

3.3.4 Η χρήση του Cloud Computing στον αγροτικό τομέα

Στις μέρες μας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το CC εξαπλώνονται σε μεγάλο βαθμό και στον αγροτικό τομέα, καθώς τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία αυτή στους αγρότες, είναι πολλά. Όπως προαναφέραμε, ο αγροτικός τομέας χαρακτηρίζεται από την τεράστια παραγωγή δεδομένων. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε ένα περιβάλλον έξυπνης γεωργίας, πρέπει να αναλύουν διαρκώς τεράστια σύνολα από ρέοντα και ιστορικά δεδομένα, με μικρή καθυστέρηση όσον αφορά τον χρόνο επεξεργασίας, γεγονός που αποτελεί πρόκληση για τον αγροτικό τομέα. Ως λύση στο πρόβλημα αυτό, οι Chen et al. (2015) και Yang et al. (2019), προτείνουν τη χρήση τεχνολογιών όπως το CC, ώστε να αυξηθεί η ταχύτητα ανάλυσης των δεδομένων, ενώ όπως αναφέρουν οι Boursianis et al. (2020) στην έρευνά τους, η τεχνολογία του CC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δύο σκοπούς στις εφαρμογές έξυπνης γεωργίας. Ο πρώτος σχετίζεται με την συγκέντρωση και την αποθήκευση των πληροφοριών, οι οποίες

μεταφέρονται από τους απομακρυσμένους πελάτες και ο δεύτερος, με την επεξεργασία των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στους χρήστες.

Πιο συγκεκριμένα, η ικανότητα του CC να προσφέρει ως υπηρεσία του αποθηκευτικό χώρο είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα για τις διαφορετικές IoT συσκευές που χρησιμοποιούνται σε μια έξυπνη φάρμα, καθώς όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι IoT συσκευές, διαθέτουν περιορισμένο αποθηκευτικό χώρο, ενώ παράλληλα δημιουργούν τεράστιο πλήθος δεδομένων, τα οποία μπορεί ακόμα να φτάσουν σε μέγεθος και terabytes ή petabytes (Deepak Kumar Sharma et al., 2020). Παράλληλα, εκτός από το ότι με τη χρήση του CC, μπορεί να γίνει ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η τεχνολογία αυτή έχει και τη δυνατότητα να παρέχει τις υπηρεσίες της μέσω της χρήσης έξυπνων τηλεφώνων, διευκολύνοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό τους αγρότες, προσφέροντάς τους άμεση πρόσβαση, σε πλήθος διαθέσιμων πόρων.

Μερικές από τις εφαρμογές που έχει το CC στον αγροτικό τομέα, είναι αυτές της έξυπνης άρδευσης, της διαχείρισης της φάρμας ή του εντοπισμού των ασθενειών σε ζώα και καλλιέργειες. Σύμφωνα με τους Moysiadis et al.(2021) η τεχνολογία αυτή προσφέρει υπηρεσίες φιλικές προς τους χρήστες, εξαιτίας του κεντρικού ελέγχου που διαθέτει, μέσα από τον οποίο οι αγρότες μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα από τις IoT συσκευές που υπάρχουν στις φάρμες. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στους αγρότες σε κατανοητή μορφή, οπτικοποιημένα στα κινητά τους τηλέφωνα, τα ταμπλετ κλπ. Όπως αναφέρουν στην έρευνά τους οι Memos et al.(2021), με τη χρήση του CC, οι χρήστες μπορούν να αποκτούν πρόσβαση και να ανακτούν τα δεδομένα τους, από ένα και μόνο εξυπηρετητή, χωρίς να χρειάζεται να λαμβάνουν την άδεια από διάφορες εφαρμογές.

Στη μελέτη που διεξήγαγαν οι Wongpatikaseree et al. (2018), προχώρησαν στην εφαρμογή της ιδέας μιας έξυπνης φάρμας, η οποία μέσα από τη συλλογή των αποτελεσμάτων που εξάγονται, από τον έλεγχο που γίνεται σε ένα αγρόκτημα, με τη χρήση αισθητήρων, μπορούν να οδηγήσουν στη διαχείριση των περιβαλλοντικών παραγόντων και των συστημάτων ανίχνευσης, προσφέροντας σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση των δραστηριοτήτων, που λαμβάνουν χώρα σε ένα αγροτικό περιβάλλον. Στην έρευνά τους αυτή, χρησιμοποιούν μια πλατφόρμα CC, η οποία ονομάζεται «Netpie», για να συνδέσουν, με τον τρόπο αυτό, κάθε συσκευή, καθώς και να πετύχουν τη μεταφορά και την ροή των δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο. Οι ίδιοι ανέπτυξαν και ένα smart dashboard και μια εφαρμογή τηλεφώνου, ώστε οι χρήστες σε

ένα έξυπνο αγροτικό περιβάλλον, να έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις αγροτικές δραστηριότητες μέσα από τη χρήση αισθητήρων (Bandara et al., 2020).

Όλα τα παραπάνω, συνηγορούν, στο να αποτελεί το CC στις μέρες μας, ένα από τα πιο βασικά πεδία ανταγωνισμού, ανάμεσα σε τεράστιες εταιρίες του τομέα της τεχνολογίας των πληροφοριών (IT) και του λογισμικού, όπως είναι για παράδειγμα η Microsoft, η Google και η Amazon, οι οποίες παλεύουν για να λάβουν μια εξέχουσα θέση σε αυτή την όλο και αυξανόμενη βιομηχανία του CC (Skourletopoulos et al., 2016; NIST, 2011).

3.3.5 Προκλήσεις στο πεδίο του Cloud Computing

Το CC, όπως και κάθε άλλη σύγχρονη τεχνολογία, η οποία γνωρίζει ευρεία αναγνώριση και αποδοχή, εκτός από τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που προσφέρει στους χρήστες της, επιφυλάσσει και κάποιες προκλήσεις. Όπως αναφέρουν στην έρευνά τους οι Psannis et al. (2017), μερικές από αυτές τις προκλήσεις, οι οποίες πρέπει να περιοριστούν με το πέρασμα του χρόνου, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή χρήση της τεχνολογίας του CC είναι οι εξής:

- **Ασφάλεια:** Η ασφάλεια αποτελεί μια πρόκληση, κυρίως στο πεδίο του MCC, καθώς με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής, όλες οι ευαίσθητες πληροφορίες των χρηστών μπορεί να μεταδοθούν σε διάφορους, τρίτους, παρόχους των υπηρεσιών Cloud. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο οποιοσδήποτε παράσχει τις προσωπικές του πληροφορίες σε έναν πάροχο υπηρεσιών CC, να είναι απόλυτα σίγουρος ότι ο αυτός, θα διαχειριστεί τις πληροφορίες αυτές, με ασφάλεια και μυστικότητα (Pfarr F. et al., 2014; Skourletopoulos G. et al., 2016).
- **Συνδεσιμότητα:** Η πρόκληση αυτή αφορά κυρίως το MCC και σχετίζεται με την σύνδεση στο διαδίκτυο. Όπως υποστηρίζουν οι Andersson et al. (2013), ο κάθε χρήστης πρέπει να είναι σίγουρος ότι με την επιλογή του, έχει διαλέξει έναν αξιόπιστο και καλό διαδικτυακό πάροχο.
- **Απόδοση:** Αφορά το MCC και έχει να κάνει με το αίσθημα ασφάλειας που πρέπει να νιώθουν οι χρήστες, σχετικά με το ότι η απόδοση της τεχνολογίας αυτής είναι παρόμοια με αυτή των συμβατικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν στον αγροτικό τομέα (Fremdt et al., 2013).

- **Καθυστέρηση μεταφοράς:** Σχετίζεται με τον χρόνο που απαιτείται για τον υπολογισμό και την επιστροφή στον χρήστη, των αποτελεσμάτων που έχουν διεξαχθεί, από μια γειτονική υποδομή ή από το Cloud, στο πεδίο του MCC.
- **Ιδιωτικότητα:** Όταν ένας χρήστης υιοθετεί την τεχνολογία του MCC, ένα στοιχείο στο οποίο μπορεί να προκληθεί συμφόρηση, είναι η ιδιωτικότητα. Πιο συγκεκριμένα, με σκοπό να επιτευχθεί η εξάρτηση των χρηστών από τη χρήση του MCC, τα μοντέλα επικοινωνιών πρέπει να ενισχύουν την πρόοδο των εφαρμογών, με την προστασία της ιδιωτικότητας καθώς και με απεριόριστους μηχανισμούς αυθεντικοποίησης (Elaine Shi et al.,2011; Pfarr et al., 2014).

3.4 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

Η Τεχνητή Νοημοσύνη ήρθε στην καθημερινή μας ζωή για να μείνει και πλέον, δεν αποτελεί ένα σενάριο επιστημονικής φαντασίας. Ο όρος αυτός, περιγράφει τον βασικό στόχο να δημιουργηθούν με τη χρήση της τεχνολογίας, αυτοματοποιημένα συστήματα αποφάσεων, τα οποία θα επιτελούν πιο σύνθετες ενέργειες, χωρίς διαρκή ανθρώπινη παρέμβαση. Οι εξελίξεις στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης, λαμβάνουν χώρα σε κάθε τομέα ανθρώπινων δραστηριοτήτων, επαγγελματικό και προσωπικό. Χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση ή τον έλεγχο, τα έξυπνα συστήματα μπορούν να επικοινωνούν με τους χρήστες, να ανταποκρίνονται στις ανάγκες τους και τις απαιτήσεις τους και να προχωρούν σε διάφορες προτάσεις.¹⁶

3.4.1 Ορισμός

Από τη μελέτη της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, προκύπτει ότι αν και η Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί ένα αντικείμενο, που συγκεντρώνει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, δεν υπάρχει κάποιος καθολικός ορισμός για να την περιγράψει. Τυπικά, για πρώτη φορά ο όρος Τεχνητή Νοημοσύνη διατυπώθηκε στο Dartmouth College το 1956, ενώ από το 2014 έως το 2019, η χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης νέας γενιάς, όπως αποκαλείται, αυξάνεται δραματικά (Goel et al. 2021). Κάποιες άλλες προσπάθειες ορισμού του όρου «Τεχνητή Νοημοσύνη» συνιστούν οι παρακάτω:

¹⁶Virtual Personal Assistant (VPA) συσκευές, όπως η Alexa ή η Siri.

- Το 1990, ο Ray Kurzweil με έναν ευρύ ορισμό χαρακτηρίζει την Τεχνητή Νοημοσύνη ως «την τέχνη δημιουργίας μηχανών, οι οποίες εκτελούν εργασίες, που όταν εκτελούνται από τους ανθρώπους, απαιτούν νοημοσύνη».
- Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στο μήνυμά της για την Τεχνητή Νοημοσύνη το 2018, την ορίζει ως «συστήματα που παρουσιάζουν ευφυή συμπεριφορά αναλύοντας το περιβάλλον τους και λαμβάνοντας δράση – με κάποιο βαθμό αυτονομίας – για να πετύχουν συγκεκριμένους σκοπούς.»
- Οι Muntjir et al. (2017), αναφέρονται στην Τεχνητή Νοημοσύνη και την περιγράφουν ως ξεχωριστά, ηλεκτρονικά περιβάλλοντα, τα οποία εμφανίζουν μια ευαισθησία και αντιδρούν στην ανθρώπινη παρουσία. Σύμφωνα με αυτούς, η Τεχνητή Νοημοσύνη διαθέτει τα εξής χαρακτηριστικά: Πρόκειται για πολλαπλές, δικτυωμένες συσκευές, ενσωματωμένες στον περιβάλλοντα χώρο, οι οποίες μπορούν να αναγνωρίσουν κάθε αντικείμενο και την κατάσταση στην οποία αυτό βρίσκεται, να προσαρμοστούν στις ανάγκες του αντικειμένου αυτού, να αλλάξουν τον τρόπο που ανταποκρίνονται απέναντί του, ανάλογα με τις περιστάσεις, καθώς και να δρουν προληπτικά ως προς τις ανάγκες του αντικειμένου, χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια διαμεσολάβηση.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα: Τεχνητή Νοημοσύνη είναι ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών, που ασχολείται με τη σχεδίαση και την υλοποίηση προγραμμάτων και υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία λειτουργούν ως μια προσομοίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης αναλύοντας το γύρω περιβάλλον και λαμβάνοντας δράση – με κάποιο βαθμό αυτονομίας- ώστε να πετύχουν συγκεκριμένους σκοπούς. Πρόκειται δηλαδή, για την ενσωμάτωση διάφορων τεχνολογιών, μερικές από τις οποίες είναι: **α)** η μηχανική εκμάθηση (Machine Learning), **β)** η επεξεργασία της φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing), **γ)** η επιβλεπόμενη μάθηση (Supervised Learning), **δ)** τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Network), **ε)** η εις βάθος εκμάθηση (Deep Learning), **στ)** η μη επιβλεπόμενη μάθηση (Unsupervised Learning) και **ζ)** οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίοι αποτελούν πλήρως αυτόνομα και συνδεδεμένα αντικείμενα.

Για την σωστή εκτέλεση των παραπάνω εργασιών, η τεχνολογία ή το σύστημα Τεχνητής Νοημοσύνης βασίζεται στη συγκέντρωση μεγάλου όγκου δεδομένων (Μεγάλα Δεδομένα), στον οποίο αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, όπως υποστηρίζουν οι B.K. Mohanta et al. (2020), η Τεχνητή Νοημοσύνη παρουσιάζεται

ως ένα σημαντικό εργαλείο, για την αντιμετώπιση όλων των προκλήσεων που προκύπτουν από τη συγκέντρωση του τεράστιου όγκου δεδομένων, από τις IoT συσκευές. Όπως οι ίδιοι αναφέρουν, ο συνδυασμός της Τεχνητής Νοημοσύνης και του Διαδικτύου των Πραγμάτων συντελεί, στο να ασκεί η Τεχνητή Νοημοσύνη πίεση σε ένα σύστημα IoT, ώστε αυτό να βελτιωθεί, όσον αφορά τη λήψη των αποφάσεων και τη διενέργεια των υπολογισμών. Τέλος, οι Ghosh et al. (2018) στην έρευνά τους, συμφωνούν με την άποψη ότι η τεχνολογία αυτή, βοηθά στον υπολογισμό των ετερογενών δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο, κάτι που οδηγεί σε πιο ρεαλιστικά συστήματα.

3.4.2 Τεχνολογίες που ενσωματώνονται στην Τεχνητή Νοημοσύνη

- **Μηχανική Εκμάθηση (Machine Learning):** Η μηχανική εκμάθηση είναι μία επιμέρους εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης, η οποία παρέχει στα υπολογιστικά συστήματα την ικανότητα να αφομοιώνουν γνώση μέσα από την εμπειρία τους, χωρίς να χρειάζονται επιμέρους προγραμματισμό. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι με τη μηχανική εκμάθηση, τα συστήματα αυτά λειτουργούν, όπως θα έκανε ένας άνθρωπος (Memos et al., 2021). Τα μοντέλα μηχανικής εκμάθησης περιλαμβάνουν κυρίως «αλγόριθμους δέντρου αποφάσεων» (Warner et al., 2020), ομαδοποίηση (Gauthier et al., 2021), μια μηχανή υποστήριξης διανύσματος (Mito et al., 2020) κ.ά.. Σύμφωνα με τους Bao et al. (2022), η χρήση τους επικεντρώνεται κυρίως στην ανίχνευση των ασθενειών στα ζώα, την αναγνώριση της συμπεριφοράς τους και στον εντοπισμό των ήχων που εκπέμπουν αυτά.
- **Επεξεργασία της φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing):** Σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στον άνθρωπο και τον υπολογιστή. Με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας αυτής, τα υπολογιστικά συστήματα είναι σε θέση να αναγνωρίσουν την ομιλία, όπου αυτή υπάρχει, καθώς και να διακρίνουν τη διάλεκτο που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Έτσι, οι υπολογιστές μετατρέπουν τον ανθρώπινο λόγο, προφορικό ή γραπτό, σε εντολές, τις οποίες στη συνέχεια εκτελούν¹⁷. Παράλληλα, εκτός από την ερμηνεία του λόγου, η τεχνολογία αυτή μπορεί να συμβάλλει και στη δημιουργία λόγου, από τις μηχανές.

¹⁷ Παράδειγμα αποτελούν η Alexa, η Siri ή ο Google Assistant.

- **Επιβλεπόμενη μάθηση (Supervised Learning):** Σύμφωνα με τους S. I. Hassan et al. (2021), η επιβλεπόμενη μάθηση αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο της Τεχνητής Νοημοσύνης. Πιο συγκεκριμένα, έχει την ικανότητα να προχωρά σε κατηγοριοποίηση και επεξεργασία των δεδομένων ή των πληροφοριών, οι οποίες συλλέγονται από άλλες συσκευές, με τη χρήση γλώσσας μηχανών. Τα δεδομένα, τα οποία κατηγοριοποιούνται, χρησιμοποιούνται έπειτα, ως εισαγόμενες μεταβλητές, στους αλγόριθμους εκπαίδευσης.
- **Συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural network):** Σύμφωνα με τους S. I. Hassan et al. (2021), τα συνελικτικά δίκτυα θεωρούνται η βάση των ανώτατων τεχνολογιών μηχανικής όρασης. Χρησιμοποιούν δύο τεχνολογίες, την συσπείρωση (convolution) και των συνδυασμό πόρων (pooling), ώστε να περιορίσουν μια εικόνα στα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της. Έπειτα χρησιμοποιούν αυτά τα χαρακτηριστικά για να ερμηνεύσουν και να κατηγοριοποιήσουν την κάθε εικόνα. Αξιοποιούνται ευρέως στον αγροτικό τομέα και η χρήση τους επικεντρώνεται κυρίως, στην αναγνώριση της συμπεριφοράς των ζώων και την ταυτοποίησή τους, με τη χρήση εικόνων, βίντεο και επεξεργασίας ήχου. Παράλληλα, γίνεται χρήση τους και για τον εντοπισμό της τοποθεσίας του κάθε ζώου, αλλά και για την παρακολούθηση της υγείας τους. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Bao et al. (2022), η χρήση τους στον αγροτικό τομέα, ανέρχεται σε ποσοστό 26.52%. Ένα μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι δεν μπορούν να κατανοήσουν τρισδιάστατες τοποθεσίες, με αποτέλεσμα να χρειάζονται χιλιάδες παραδείγματα, ώστε να καταλήξουν σε έγκυρα συμπεράσματα (S. H. Sumit., 2018).
- **Εις βάθος εκμάθηση (Deep Learning):** Η τεχνολογία αυτή φαίνεται ότι χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια και αναφέρεται σε πολλές ερευνητικές μελέτες. Σύμφωνα με τους Kamilaris et al. (2018), η εις βάθος εκμάθηση είναι στην πραγματικότητα μια επιμήκυνση της Μηχανικής Εκμάθησης, η οποία προσθέτει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στα μοντέλα που προχωρούν σε προβλέψεις και παράλληλα, μεταμορφώνει τα σύνολα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές καταχώρισης, αξιοποιώντας διάφορες λειτουργίες της, όπως την ιεραρχική απεικόνιση σε διάφορα επίπεδα. Όπως επισημαίνουν οι παραπάνω, αυτές οι ιδιότητες της εις βάθος εκμάθησης, οδηγούν σε μεγαλύτερες ικανότητες σχετικά με την εκπαίδευση των μοντέλων, οι

οποίες συνεπάγονται καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη ακρίβεια. Η χρήση της τεχνολογίας αυτής, είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην επιστήμη των φυτών. Συμπληρωματικά, οι S. I. Hassan et al. (2021), αναφέρουν ότι η εις βάθος μάθηση είναι μία λειτουργία Τεχνητής Νοημοσύνης, η οποία μπορεί να μιμηθεί τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου, σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων, την αναγνώριση φωνής και διαλέκτου, τον εντοπισμό αντικειμένων κλπ. και όλα αυτά χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

- **Μη επιβλεπόμενη μάθηση (Unsupervised Learning):** Στην κατηγορία αυτή, το μοντέλο Τεχνητής Νοημοσύνης προχωρά από μόνο του σε εκπαίδευση, ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνει ως μεταβλητές εισόδου, τα οποία δεν έχουν κατηγοριοποιηθεί. Για να το κάνει αυτό, χρησιμοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, με τους οποίους μπορεί να προχωρήσει σε μετέπειτα κατηγοριοποίηση των δεδομένων.
- **Αλγόριθμοι Τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence algorithms):** Όπως υποστηρίζουν στην έρευνά τους οι Hassan et al. (2021), η χρήση αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης, χρησιμοποιούνται με σκοπό να εκπαιδεύονται εύκολα τα συστήματα, μέσα από τη χρήση των διαθέσιμων δεδομένων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για σκοπούς που θα προκύψουν στο μέλλον.

3.4.3 Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον αγροτικό τομέα

Η χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης στον αγροτικό τομέα, επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο, στην εκπαίδευση των μηχανών, με τη χρήση των κατάλληλων αλγορίθμων και τεχνολογιών, ώστε αυτές να αποκτήσουν ένα βαθμό ευφυΐας και να καθίστανται ικανές λαμβάνουν αποφάσεις, με βάση τα δεδομένα τα οποία συγκεντρώνουν ή ακόμα με βάση αυτά που προϋπήρχαν.

- **Καλλιέργειες:** Όσον αφορά τις καλλιέργειες, η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών, την αύξηση της απόδοσης, τη διενέργεια προβλέψεων με τη χρήση των κατάλληλων μοντέλων, την πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών, τον εντοπισμό των ασθενειών κ.ά. Σύμφωνα με τους P.W. Phillips et al. (2019), η δημιουργία σύγχρονων αγροτικών συστημάτων με τη χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων και την εμφάνιση των Μεγάλων Δεδομένων, στα οποία προαναφερθήκαμε, καθιστά αναγκαία την χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης, τόσο για την ανάλυση των

δεδομένων αυτών, όσο και για την επίτευξη της αυτοματοποίησης των εργασιών που λαμβάνουν χώρα σε ένα αγρόκτημα.

Οι Giusti et al. (2015), δημιούργησαν ένα σύστημα υποστήριξης και λήψης αποφάσεων με τη χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης, το οποίο χρησιμοποιεί δεδομένα από καλλιέργειες με ακτινίδια, καλαμπόκια και πατάτες, ενώ οι Yang et al. (2003), ανέπτυξαν ένα σύστημα, το οποίο χρησιμοποιώντας Τεχνητή Νοημοσύνη για τη λήψη αποφάσεων, προχωρά στην επεξεργασία εικόνων, με σκοπό τον εντοπισμό και την απομάκρυνση των αγριόχορτων από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, καθώς και την επιλογή της κατάλληλης ποσότητας από ζιζανιοκτόνα, τα οποία πρέπει να εφαρμοστούν.

Τέλος, οι Lakhia et al. (2018), ανέπτυξαν ένα αεροπονικό σύστημα, το οποίο με τη χρήση αισθητήρων και Τεχνητής Νοημοσύνης, παρακολουθεί την διαδικασία φύτευσης και διαμορφώνει τις κατάλληλες συνθήκες στο περιβάλλον των φυτών, ώστε αυτά να αναπτυχθούν. Το σύστημα αυτό διαχωρίζει το φυτό σε δύο μέρη, στις ρίζες και τα φύλλα και είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση μεταβλητών, όπως το επίπεδο της υγρασίας στο φυτό, την ατμοσφαιρική πίεση κ.ά. Οι παραπάνω, χρησιμοποίησαν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, μέσα από το οποίο τα δεδομένα από τους αισθητήρες μεταφέρονται σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή.

- **Κτηνοτροφικός τομέας:** Στον κτηνοτροφικό τομέα, η Τεχνητή Νοημοσύνη παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, λόγω της βοήθειας που προσφέρει σχετικά με την ευημερία των ζώων και την βελτίωση της κατάστασης της υγείας τους. Επιπρόσθετα, η χρήση της στον τομέα αυτό, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική και για την επίτευξη οικονομικού οφέλους. Παρόλα αυτά, στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός ερευνών, σχετικά με τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης στον κτηνοτροφικό τομέα. Μερικά από τα παραδείγματα, τα οποία εντοπίστηκαν, ακολουθούν στη συνέχεια.

Στην έρευνά τους, οι Tsenkova et al. (2001), χρησιμοποίησαν υπέρυθρη φασματοσκοπία (Near Infrared Spectroscopy/ NIRS), για να αποκτήσουν πληροφορίες, σε μοριακό επίπεδο, για κάθε αγελάδα η οποία παράγει γάλα. Επικεντρώθηκαν σε 25 αγελάδες και συγκέντρωσαν φασματικά δεδομένα σχετικά με βιολογικές μεταβλητές τους, όπως είναι το γάλα, τα ούρα, το αίμα και τα υγρά από την κοιλία των ζώων, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους εκτροφής

και σε διαφορετικές φάσεις της κατάστασης της υγείας τους. Τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξαν, απέδειξαν ότι η υπέρυθη φασματοσκοπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την αξιολόγηση της ποιότητας του γάλακτος και την παρακολούθηση της υγείας της κάθε αγελάδας, ξεχωριστά.

Σε πολύ πρόσφατη έρευνα, που διεξήχθη από τους Bao et al.(2022) διακρίνουμε ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη, έχει την ικανότητα να ανταποκριθεί και να λύσει πολλά ζητήματα που σχετίζονται με την αναγνώριση των ζώων, την ερμηνεία της συμπεριφοράς τους, τον εντοπισμό τυχόν ασθενειών κ.ά.. Οι ίδιοι, προχωρούν σε μία επισκόπηση, ώστε να παρουσιάσουν τωρινά και μελλοντικά παραδείγματα χρήσης της τεχνολογίας αυτής, στον κτηνοτροφικό τομέα. Καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η Τεχνητή Νοημοσύνη, χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό σε φάρμες με βοοειδή (37.95%) και χοίρους (37.44%), ενώ το ποσοστό της χρήσης της, για την ερμηνεία της συμπεριφοράς των ζώων, αποτελεί το υψηλότερο ποσοστό που φτάνει στο 45.51%. Τέλος, όπως επισημαίνουν, το μοντέλο Τεχνητής Νοημοσύνης που χρησιμοποιείται πιο πολύ για την αναγνώριση και την κατηγοριοποίηση της συμπεριφοράς των ζώων, με βάση δεδομένα ήχου και εικόνας, τα οποία έχουν συλλεχθεί από τους αισθητήρες, είναι αυτό των συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNN), που όπως φαίνεται διαθέτει τη μεγαλύτερη ακρίβεια.

Οι Chen et al. (2021), στην επισκόπησή τους, αναφέρονται στα αποτελέσματα της χρήσης μεθόδων μηχανικής όρασης¹⁸, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση διάφορων μοτίβων συμπεριφοράς των γουρουνιών και των βοοειδών σε μία φάρμα. Τα μοτίβα αυτά, σχετίζονται με την υγεία, την ευημερία, την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των ζώων αυτών. Πιο συγκεκριμένα, επικεντρώνονται στην εξέλιξη την οποία γνωρίζει η χρήση των κατανεμημένων εικόνων, της ταυτοποίησης και της αναγνώρισης της συμπεριφοράς των ζωντανών, με τη χρήση μηχανικής όρασης και πιο πρόσφατων μεθόδων βαθείας εκμάθησης. Η τεχνολογία της μηχανικής όρασης, διαθέτει πλεονεκτήματα, όπως το ότι είναι μη επεμβατική, λειτουργεί αμερόληπτα και σε συνεχή ρυθμό. Για τους λόγους αυτούς, προτιμάται για τους σκοπούς

¹⁸ Η μηχανική όραση περιγράφεται ως μια προσομοίωση της βιολογικής όρασης, με τη χρήση υπολογιστών και σχετικού εξοπλισμού, αποτελώντας ένα ιδιαίτερα σημαντικό τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης (Chen et al., 2021).

αναγνώρισης της συμπεριφοράς των ζώων, μια διαδικασία στην οποία τα δεδομένα που συλλέγονται είναι πολλά.

3.5 Blockchain

3.5.1 Τι είναι το Blockchain;

Η πρώτη αναφορά στην τεχνολογία του blockchain, γίνεται πίσω στο 2008, από τον Satoshi Nakamoto, τον δημιουργό του διαδικτυακού κρυπτονομίσματος bitcoin (Nakamoto, 2008; Al-Jaroodi and Mohamed, 2019). Το bitcoin κατάφερε να εξαπλωθεί γρήγορα, λόγω της απουσίας μιας κεντρικής οικονομικής μονάδας ή αρχής. Οι παραπάνω δυνατότητες αυτού του κρυπτονομίσματος, οδήγησαν πολλούς ερευνητές στο να μελετήσουν περισσότερο αυτή την ιδέα. Μερικές προσπάθειες περιγραφής της έννοιας του blockchain, από την επιστημονική κοινότητα, είναι οι ακόλουθες:

- Σύμφωνα με τους G. Talari et al. (2021), το blockchain αποτελεί μία κατανεμημένη βάση δεδομένων, η οποία λειτουργεί σε ένα δίκτυο από διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα, ταυτόχρονα. Η τεχνολογία αυτή, έχει την ικανότητα να διατηρεί ένα αρχείο από τις ψηφιακές συναλλαγές οι οποίες έχουν γίνει, κρυπτογραφημένες και αποθηκευμένες με ασφάλεια σε μία βάση δεδομένων και έπειτα, να τις διαμοιράζει ανάμεσα στα μέρη ενός P2P δικτύου.
- Όπως αναφέρουν οι B.K. Mohanta et al. (2020), η τεχνολογία blockchain αποτελεί ένα αποκεντρωμένο/κατανεμημένο δίκτυο, όπου το κάθε μέρος, με κάποιο τρόπο συνδέεται με τα άλλα μέρη, μέσα από τη μεταφορά μηνυμάτων σε ένα blockchain δίκτυο. Το blockchain αποτελείται από πολλά διαφορετικά blocks, τα οποία με τη σειρά τους, δημιουργούνται από τις συναλλαγές που έχουν επικυρωθεί και τα χαρακτηριστικά της κάθε συναλλαγής.
- Σύμφωνα με τους M. Ul Hassan et al. (2019), το blockchain είναι μία βάση δεδομένων, η οποία διατηρεί τα αρχεία σε μορφή block. Κάθε block χαρακτηρίζεται από διαφάνεια. Παράλληλα, τα blocks αυτά, είναι προσβάσιμα από κάθε κόμβο στο blockchain. Ωστόσο, όπως υποστηρίζουν οι παραπάνω, τα blocks δεν μπορούν να τροποποιηθούν ή να διαγραφούν. Ο συνδυασμός των blocks οδηγεί στο σχηματισμό μιας αλυσίδας, όπου το κάθε block συνδέεται με το προηγούμενό του με το Hash Value του.

- Στην έρευνά τους, οι M.A. Khan et al. (2018) περιγράφουν το blockchain ως ένα αποκεντρωμένο, κατανεμημένο, διαμοιρασμένο και αμετάβλητο¹⁹, καθολικό βάσης δεδομένων, όπου τα δεδομένα του κάθε block περιέχουν μία λίστα από όλες τις συναλλαγές και το hash του προηγούμενου blocks. Επιπλέον, το Blockchain διατηρεί το πλήρες ιστορικό όλων των συναλλαγών και παρέχει παγκόσμια εμπιστοσύνη.

3.5.2 Χαρακτηριστικά

Όπως υποστηρίζουν στην έρευνά τους οι M. Torkey et al. (2020), τέσσερα είναι τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του blockchain και αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. **Αποκέντρωση (Decentralization):** Σε ένα blockchain τα μέρη επικοινωνούν μεταξύ τους μέσα από P2P δίκτυα. Η επεξεργασία και η επικύρωση των συναλλαγών γίνεται με τη χρήση ενός κατανεμημένου καθολικού, γεγονός που δεν καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη ενός κεντρικού έμπιστου μέλους (π.χ. μιας κεντρικής Τράπεζας).
2. **Ανθεκτικότητα (Persistence):** Από τη στιγμή που μια συναλλαγή έχει επικυρωθεί, έχει προστεθεί σε ένα block και αυτό έπειτα, έχει ενσωματωθεί στην αλυσίδα, είναι αδύνατον να αποσυρθεί.
3. **Ανωνυμία (Anonymity):** Οποιοσδήποτε συμμετέχων μπορεί να έρθει σε επικοινωνία με το blockchain, αφού πρώτα λάβει έναν κωδικό εικονικής ταυτότητας. Με τη χρήση του κωδικού αυτού, αποκρύπτονται τα στοιχεία της πραγματικής ταυτότητας του συμμετέχοντος. Η τεχνική αυτή, οδηγεί στην επίλυση πολλών ζητημάτων, τα οποία σχετίζονται με την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα των χρηστών που εκτελούν συναλλαγές σε ένα blockchain δίκτυο (Kosba et al., 2016).
4. **Δυνατότητα ελέγχου (Auditability):** Το χαρακτηριστικό αυτό έχει να κάνει με το ότι κάθε block συνδέεται με απόλυτη ασφάλεια με το προηγούμενό του. Έτσι η κάθε συναλλαγή που εκτελείται, επικυρώνεται και εντοπίζεται πιο εύκολα μέσα στο σύνολο από τα blocks.

¹⁹ Τα δεδομένα δεν μπορούν να διαγραφούν ή να μεταβληθούν.

3.5.3 Κατηγορίες *Blockchain*

Οι M. Ul Hassan et al. (2019), στην έρευνά τους, προχωρούν σε έναν διαχωρισμό του Blockchain σε τρεις υποκατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

- **Δημόσιο blockchain (Public Blockchain):** Πρόκειται για μία αποκεντρωμένη πλατφόρμα ανοιχτού λογισμικού, στην οποία μπορεί να εισέλθει οποιοσδήποτε, ανεξάρτητα από τον φορέα στον οποίο ανήκει, συμμετέχοντας απλά ή εκτελώντας συναλλαγές (F. Tschorsch et al., 2016). Το δημόσιο blockchain είναι ένα P2P δίκτυο, το οποίο χαρακτηρίζεται από διαφάνεια και μέσα από αυτό, ο κάθε χρήστης μπορεί, συλλέγοντας πληροφορίες για τις συναλλαγές, να ξεκινήσει τη διαδικασία της εξόρυξης, ώστε να λάβει μια ανταμοιβή. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία της εξόρυξης, οι miners καλούνται να λύσουν ένα δύσκολο μαθηματικό πρόβλημα, με τη χρήση αλγόριθμων κατακερματισμού. Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος, λαμβάνουν μια ανταμοιβή. Κάθε κόμβος που συμμετέχει στο blockchain είναι πλήρως εξουσιοδοτημένος να εκτελεί διάφορες εργασίες, όπως αυτές της ανάγνωσης, της καταγραφής ή της αξιολόγησης ενός μπλοκ, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των Bitcoin κρυπτονομισμάτων²⁰ (S. Nakamoto, 2008). Οι κόμβοι miners έχουν την αρμοδιότητα να συγκεντρώνουν τις πληροφορίες των συναλλαγών σε blocks και στη συνέχεια, να επαληθεύουν την δημιουργία κάθε block, προκειμένου αυτά να ενσωματωθούν στην αλυσίδα. Υπολογίζεται ότι κατά μέσο όρο η δημιουργία ενός block παίρνει 10 λεπτά.

Μετά από την διαδικασία της εξόρυξης έρχεται στο προσκήνιο το πρωτόκολλο της συναίνεσης (consensus), με το οποίο όλοι οι χρήστες, οι οποίοι είναι άγνωστοι μεταξύ τους πριν από την εξόρυξη, αποφασίζουν ομόφωνα την είσοδο ενός block, το οποίο έχει επικυρωθεί, στην αλυσίδα, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό τη συνοχή των blocks μεταξύ τους και τη δημιουργία ενός δημόσιου blockchain (J.R. Douceur, 2002). Αυτός ο μηχανισμός συναίνεσης, διασφαλίζει ότι στο μέλλον δεν θα υπάρξει κάποια σύγκρουση, σχετικά με τις συναλλαγές που έχουν διεξαχθεί. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλά πρωτόκολλα συναίνεσης όπως το Proof-of-Work (PoW), το Proof of Stake (PoS), το Proof of Importance (PoI) και το Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT),

²⁰ Διαθέσιμο [εδώ](#).

όμως αυτό με την πιο ευρεία χρήση είναι το PoW. Το πρωτόκολλο αυτό είναι το πιο αποτελεσματικό απέναντι σε επιθέσεις Sybil attacks (J.R. Douceur, 2002) καθώς για να αποκτήσει πρόσβαση ο επιτιθέμενος στο blockchain και να το ελέγξει, απαιτείται να κατέχει το 51% των κόμβων/miners του δικτύου.

- **Ιδιωτικό blockchain (Private blockchain):** Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία, για να εισέλθει κάποιος στο blockchain, πρέπει να έχει στην κατοχή του την απαραίτητη άδεια. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα αποκεντρωμένο δίκτυο, το οποίο σχεδιάστηκε κατά κύριο λόγο, για να διαμοιράζει τα δεδομένα μέσα σε έναν οργανισμό ή μια συγκεκριμένη ομάδα χρηστών ή για να βοηθά στις προσωπικές συναλλαγές. Εδώ, η διαδικασία της εξόρυξης ελέγχεται από συγκεκριμένους φορείς ή ανθρώπους, με αποτέλεσμα κάθε νέος ή άγνωστος χρήστης που προσπαθεί να εισέλθει στο blockchain, να απομακρύνεται, έως ότου να λάβει μια ειδική πρόσκληση από την αρχή που ασκεί τον έλεγχο (D. Puthal et al., 2018). Οι εγγραφές δηλαδή, σε ένα ιδιωτικό blockchain είναι περιορισμένες. Μόνο οι κόμβοι που είναι επιφορτισμένοι με την διαδικασία ελέγχου των blocks, έχουν την δυνατότητα να προσθέσουν ένα block ή μια συναλλαγή στο δίκτυο. Το Hyperledger είναι ένα από τα πιο διάσημα παραδείγματα ιδιωτικού blockchain.
- **Κοινοπραξία blockchain (Consortium blockchain):** Η κατηγορία αυτή αποτελεί μια συγχώνευση των δύο παραπάνω κατηγοριών. Εδώ, υπεύθυνη για την λήψη των ομόφωνων αποφάσεων των μερών και την επικύρωση των blocks, είναι μια ομάδα οργανισμών ή ανθρώπων (J. Gu et al., 2018). Η ομάδα αυτή αποφασίζει για το ποιος θα συμμετάσχει στο δίκτυο, καθώς και τους κόμβους που θα κάνουν την εξόρυξη. Τα blocks που θεωρούνται έγκυρα και μπορούν να ενσωματωθούν στην αλυσίδα, είναι αυτά τα οποία έχουν εγκριθεί και υπογραφεί από τους ασκούντες τον έλεγχο (D. Puthal et al., 2018).

3.5.4 Πώς λειτουργεί το *blockchain*

Με βάση τις παραπάνω προσπάθειες περιγραφής της τεχνολογίας *blockchain*, συμπεραίνει κανείς ότι η λειτουργία της, στηρίζεται πάνω σε ένα αποκεντρωμένο και καταναμημένο καθολικό σύστημα, το οποίο μπορεί να διαμοιραστεί σε κάθε κόμβο που συμπεριλαμβάνεται στο *blockchain*. Κάθε κόμβος στο *blockchain*, λειτουργεί σαν ένας *server/miner*, ο οποίος διατηρεί όλο το ιστορικό των συναλλαγών και εκτελεί τους υπολογισμούς. Το *blockchain*, όπως υποδηλώνει και η ορολογία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή του όρου αυτού, συνιστά μια αλυσίδα (*chain*) από *blocks*. Η καταναμημένη φύση του, του επιτρέπει να αντισταθεί απέναντι σε κάθε προσπάθεια διπλο – ξοδέματος (*double-spending*) ή στην επανάληψη μιας παρόμοιας συναλλαγής (A.S. Patil et al., 2020).

Η δημιουργία του κάθε *block* συναλλαγών, που θα συμπεριληφθεί στην αλυσίδα, γίνεται με τη διαδικασία της εξόρυξης (*mining*). Το νέο *block* το οποίο δημιουργείται, αφού επικυρωθεί, ενσωματώνεται με χρονολογική σειρά, στη βάση δεδομένων του *blockchain* ή ακόμα και σε μια αποθήκη δεδομένων στο Cloud (Lei Hang et al., 2020) και έπειτα από αυτή την ενσωμάτωση, δεν μπορεί να τροποποιηθεί, να αλλοιωθεί ή να διαγραφεί. Αυτή η αμεταβλητότητα, αναπτύσσει την εμπιστοσύνη των χρηστών στο δίκτυο, ότι τα περιουσιακά τους στοιχεία ή τα νομίσματά τους είναι ασφαλή και μπορούν εύκολα να τα ελέγξουν ακόμα και στην περίπτωση κάποιου σφάλματος (M. Ul Hassan et al., 2019). Το πρώτο *block* της αλυσίδας που δημιουργείται, ονομάζεται «*genesis block*», δεν έχει «*parent block*», ένα *block* δηλαδή από το οποίο να προήλθε και είναι αυτό που περιέχει τον πιο δύσκολο, ως προς το να παραβιαστεί, κώδικα. Όλα τα επόμενα *blocks* της αλυσίδας συνδέονται με το *genesis block*, χρησιμοποιώντας τεχνικές κρυπτογράφησης. Όπως υποστηρίζουν οι Zheng et al. (2017), κάθε μπλοκ πρέπει να διαθέτει ένα *hash value*, το οποίο θεωρείται η ταυτότητά του, μία χρονοσφραγίδα και ένα σύνολο από επιβεβαιωμένες συναλλαγές. Σύμφωνα με τους M. Torkey et al. (2020), ένα *block* αποτελείται από την κεφαλίδα του (*block header*) και από το σώμα του (*block body*). Ειδικότερα, όπως συμπληρώνουν, η κεφαλίδα του *block* περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- **Block Version:** Πρόκειται για ένα είδος λογισμικού από αριθμούς, το οποίο υποδεικνύει το πρωτόκολλο συναίνεσης που πρέπει να ακολουθηθεί.
- **Markle Tree Root Hash:** Χρησιμοποιείται για να επικυρώσει τον κωδικό *hash*, ο οποίος αναγνωρίζει όλες τις συναλλαγές του *block*.

- **Χρονοσφραγίδα:** Λειτουργεί σε δευτερόλεπτα, από την 1/1/1970. Χρησιμοποιείται για να εντοπίσει και να ενημερώσει τον χρόνο του block, ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητά του.
- **N-Bits:** Αναγνωρίζει τον αρχικό στόχο του κώδικα κατακερματισμού, ο οποίος συγκεκριμενοποιεί το έγκυρο block.
- **Nonce:** Πρόκειται για ένα τυχαίο αριθμό, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά σε μια επικοινωνία κρυπτογράφησης. Είναι ένα πεδίο από 4-byte το οποίο συνήθως ξεκινάει με μηδενικά και μεγαλώνει για κάθε υπολογισμό του hash.
- **Parent Block Hash:** Πρόκειται για έναν αριθμό κατακερματισμού με 256-bit, ο οποίος αναφέρεται στο προηγούμενο μπλοκ. Χωρίς αυτό το στοιχείο δεν θα υπήρχε σύνδεση και χρονολόγηση ανάμεσα στα μπλοκ ενός blockchain.

3.5.5 Πρωτόκολλα Blockchain

Το blockchain λαμβάνει χώρα σε ένα P2P δίκτυο επικοινωνίας. Με τον όρο πρωτόκολλα blockchain, εννοούμε τις διαφορετικές αρχές που ισχύουν και έχουν συμφωνηθεί από τους κόμβους των μερών, για την δημιουργία των blocks, σε ένα P2P δίκτυο. Σκοπός της συμφωνίας των μερών, σχετικά με τις αρχές που θα ισχύσουν, είναι η συγχρονισμένη δράση του συστήματος. Σύμφωνα με τους M. Torky et al. (2020), τα πρωτόκολλα blockchain, θέτουν τους κανόνες που πρέπει να ακολουθηθούν, σε τρεις βασικές περιπτώσεις: **α)** στη δημιουργία νέων block, **β)** στην επικύρωση και την επαλήθευση των block αυτών και **γ)** στην επίλυση τυχόν αντιφάσεων, οι οποίες προκύπτουν στα blocks.

Μέχρι σήμερα έχουν δημιουργηθεί πολλά και διαφορετικά πρωτόκολλα και η δημιουργία αυτή δεν σταματά. Όπως προαναφέραμε, μερικά είδη πρωτοκόλλων αποτελούν το Proof-of-Work (PoW), το Proof of Stake (PoS), το Proof of Importance (PoI) και το Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT). Βασικά μειονεκτήματα των παραπάνω, είναι ότι τα πρωτόκολλα αυτά καταναλώνουν μεγαλύτερη ισχύ και έχουν μικρότερη ταχύτητα κατά τη διάρκεια της εξόρυξης, σε σχέση με κάποια καινούρια πρωτόκολλα όπως το Proof of Luck (Pol) (Milutinovic et al., 2016; Kim et al., 2015; Chen et al., 2017) και το Proof of Assignment (PoAss) (ICO Bench, 2019; IOTW, 2019). Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, τα τελευταία και νεότερα πρωτόκολλα, μπορούν να

δημιουργήσουν ένα μπλοκ και να το προσθέσουν στην αλυσίδα blockchain, σε χρόνο μικρότερο από 10 δευτερόλεπτα (M. Torky et al., 2020).

3.5.6 Blockchain και IoT (Blockchain-based IoT/BIoT)

Η αποκεντρωμένη φύση του blockchain και η δυνατότητά του να διατηρεί ασφαλείς και έμπιστες τις πληροφορίες που διαχέονται σε ένα δίκτυο, καθώς και οι ικανότητες εύκολου εντοπισμού των πληροφοριών που προσφέρει, κάνουν πολλούς ερευνητές να θεωρούν ότι η τεχνολογία αυτή, μπορεί να φέρει επανάσταση στον τρόπο λειτουργίας μεγάλου αριθμού από IoT εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, οι Deepak Kumar Sharma et al. (2020), αναφέρονται στα πλεονεκτήματα που θα είχε ένα συνδυαστικό μοντέλο των δύο παραπάνω τεχνολογιών, το οποίο ονομάζουν «Blockchain-based IoT» (BIoT). Υποστηρίζουν ότι η ένωση αυτή, θα προσφέρει λύσεις σε ζητήματα σχετικά με την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια, το κόστος και την επικοινωνία ανάμεσα σε έναν τεράστιο αριθμό από δίκτυα, που προκύπτουν από την χρήση IoT συσκευών, χάρη στην αποκεντρωμένη φύση και την χρήση τεχνικών κρυπτογράφησης, που προκύπτουν από την τεχνολογία του blockchain. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της ένωσης αυτής, τα οποία απαριθμούν στην έρευνα τους οι παραπάνω, είναι τα εξής:

- Η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος
- Η αύξηση της εμπιστοσύνης
- Η ασφάλεια των δεδομένων
- Η ικανότητα δημιουργίας μεγάλου όγκου δεδομένων από τους κόμβους IoT
- Η αυξημένη ισχύς των αλγόριθμων μηχανικής εκμάθησης
- Η αντιμετώπιση των ζητημάτων κλιμάκωσης των κόμβων του blockchain, χωρίς εμπόδια
- Η αύξηση της ανιχνευσιμότητας κάθε συναλλαγής
- Η διευθέτηση ζητημάτων σχετικά με τις διευθύνσεις
- Η προσθήκη χαρακτηριστικών ευφυΐας στις μηχανές
- Η συλλογή δεδομένων από διάφορες πηγές και η επεξεργασία τους

Σε συνέχεια των παραπάνω, σε αυτό το κράμα των δύο τεχνολογιών αναφέρονται και οι M. Torky et al. (2020), οι οποίοι επισημαίνουν τα βασικά μοτίβα σχεδιασμού, με βάση τα οποία λαμβάνει χώρα η επικοινωνία στην περίπτωση του BIoT. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρουν ότι τα μοτίβα αυτά είναι τρία στον αριθμό και είναι τα εξής:

- **Από συσκευή IoT σε συσκευή IoT (IoT to IoT Design Pattern):** Εδώ το blockchain έχει μόνο το ρόλο της αποθήκης των δεδομένων, τα οποία αντλούνται από τις IoT συσκευές. Η επικοινωνία των IoT συσκευών γίνεται έξω από το blockchain δίκτυο και μόνο μερικά bytes δεδομένων αποθηκεύονται στο blockchain.
- **Από συσκευή IoT στο Blockchain:** Εδώ, όλες οι ενέργειες που γίνονται από τις IoT συσκευές, περνούν μέσα από το blockchain δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή το blockchain δεν λειτουργεί μόνο ως αποθηκευτικός χώρος για τα δεδομένα, αλλά επιπλέον έχει και ρόλο ελεγκτή και διαχειριστή των συναλλαγών. Όπως επισημαίνουν οι παραπάνω, το μοτίβο αυτό εξασφαλίζει την εύκολη ανίχνευση της επικοινωνίας που γίνεται ανάμεσα στις IoT συσκευές, ενώ παράλληλα αυξάνει την ανεξαρτησία των κόμβων IoT και δίνει τη δυνατότητα στην κάθε συσκευή IoT να αλληλεπιδράσει με το blockchain δίκτυο.
- **Υβριδικό μοτίβο επικοινωνίας (Hybrid Design Pattern):** Η ένωση του IoT με άλλες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων της Τεχνητής Νοημοσύνης (Vermesan et al., 2017) και του blockchain (Li et al., 2018), οδηγεί σε ένα μοτίβο υβριδικού σχεδιασμού. Στο μοτίβο αυτό, ο χειρισμός των δεδομένων πρέπει να γίνεται μόνο στην IoT συσκευή και δεν χρειάζεται να μεταφέρονται πίσω στο Cloud. Το υβριδικό αυτό δίκτυο επικοινωνίας απαιτεί μεγαλύτερη ασφάλεια και εμπιστοσύνη, τα οποία μπορεί να προσφέρει η χρήση της τεχνολογίας blockchain. Τέλος, το υβριδικό αυτό σχέδιο, απαιτεί μεγάλο όγκο από τα δεδομένα, τα οποία μεταφέρονται μέσα στο δίκτυο, καθώς και διαφορετικά μοτίβα συναλλαγών IoT, τα οποία μπορούν να ελεγχθούν από το blockchain.

3.5.7 Το Blockchain στον αγροτικό τομέα

Εδώ και μια δεκαετία περίπου, υπάρχουν στοιχεία που μαρτυρούν μια τεράστια έκρηξη ενδιαφέροντος προς την τεχνολογία blockchain. Μεγάλες εμπορικές εταιρίες και ερευνητικά ιδρύματα επικεντρώνονται σε εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας, σε διάφορους τομείς, ένας εκ των οποίων είναι και ο αγροτικός τομέας (Conoscenti et al., 2016). Στατιστικά στοιχεία, δείχνουν ότι το παγκόσμιο blockchain στην αγορά των αγροτικών προϊόντων και της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων, θα αυξηθεί από τα \$41.9M που ήταν το 2018, στα \$1.4B έως το 2028 (BIS Research, 2018).

Από τα παραπάνω στοιχεία, αντιλαμβανόμαστε ότι η τεχνολογία αυτή εξελίχθηκε πολύ γρήγορα σε έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για τον κλάδο της γεωργίας ακριβείας, ενώ αντιθέτως για τον τομέα της κτηνοτροφίας ακριβείας, τα ευρήματα στη βιβλιογραφία, δεν είναι πολλά. Όπως υποστηρίζουν οι Torky et al. (2020), η τεχνολογία του blockchain είναι αυτή που μπορεί να οδηγήσει άμεσα στην αντικατάσταση των κλασικών μεθόδων αποθήκευσης, ταξινόμησης και διαμοιρασμού των αγροτικών δεδομένων, με έναν πιο αξιόπιστο, αμετάβλητο και αποκεντρωμένο τρόπο. Οι Vangala et al. (2021), αναφέρουν στην έρευνά τους, ότι η τεχνολογία της έξυπνης γεωργίας, η οποία βασίζεται στην τεχνολογία του blockchain, δίνει τη δυνατότητα στους αγρότες να λαμβάνουν άμεσα τα αγροτικά δεδομένα, από μία μόνο ενσωματωμένη πλατφόρμα. Η χρήση τεχνικών κρυπτογραφίας και η επίτευξη ομοφωνίας ανάμεσα στα μέρη, σχετικά με το περιεχόμενο των δεδομένων, διευκολύνει την αποθήκευση των δεδομένων, έπειτα από έναν ενδεδειγμένο έλεγχο της ακεραιότητάς τους, ενώ παράλληλα αποτρέπει την αλλοίωσή τους, από τη στιγμή που αυτά αποθηκεύονται. Δεδομένα, όπως οι εμπορικές συναλλαγές που εκτυλίσσονται ανάμεσα στους αγρότες και τις αγροτικές εταιρίες, πρέπει να διατηρούνται μυστικά και μόνο ανάμεσα στα μέρη, ενώ άλλα δεδομένα για παράδειγμα τα χημικά στοιχεία και οι ποσότητες λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγής, μπορούν να διαμοιραστούν στους αγοραστές, ώστε αυτοί να είναι σε θέση να αποφασίσουν για την αγορά των προϊόντων. Για τον λόγο αυτό, στην πρώτη περίπτωση είναι απαραίτητη η χρήση τεχνικών κρυπτογραφίας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα δεδομένα μπορούν να παραμείνουν χωρίς κρυπτογράφηση. Συμπερασματικά λοιπόν, η χρήση του blockchain στον αγροτικό τομέα, μπορεί να μειώσει τυχόν ασάφειες στα εξαγόμενα αποτελέσματα, αυξάνοντας παράλληλα την προβλεψιμότητα και το κέρδος που αποκτάται και μειώνοντας την σπατάλη των πόρων (Miloudi et al., 2020; Vangala et al., 2020).

Η τεχνολογία του blockchain, φαίνεται να παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα στην παραγωγή τροφίμων και στις εφοδιαστικές αλυσίδες. Σύμφωνα με τους G. Talari et al. (2021), μερικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής, είναι η αύξηση της διαφάνειας και του ελέγχου, σχετικά με την διατήρηση της ασφάλειας των τροφίμων, από την παραγωγή τους, μέχρι και τον καταναλωτή. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι ενισχυμένες ικανότητες εντοπισμού που διαθέτει η τεχνολογία αυτή, διευκολύνει την πιο άμεση ανταπόκριση στην απόσυρση προϊόντων, όπου αυτή κρίνεται απαραίτητη. Παράλληλα,

προστατεύει την εφοδιαστική αλυσίδα από παράνομες δραστηριότητες, που έχουν σκοπό να την επηρεάσουν και τέλος, μειώνει το κόστος (Kamath, 2018).

Η αυξανόμενη χρήση του δημόσιου blockchain στην αγορά τροφίμων έχει κινητοποιήσει τις κυβερνήσεις να επαναπροσδιορίσουν τα νομικά τους πλαίσια και τους κανονισμούς, ώστε να συμπεριληφθεί το blockchain στις οικονομικές πολιτικές τους (M. Torky et al., 2020). Η Κυβέρνηση της Ινδίας προχώρησε στην δημιουργία ενός «Κέντρου Αριστείας στην τεχνολογία του blockchain»²¹, με σκοπό την ανάπτυξη ενός «οικοσυστήματος» από λύσεις, που θα προσφέρει η τεχνολογία αυτή. Παράλληλα, το Tea Board της Ινδίας, ανακοίνωσε την επιθυμία του να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία του blockchain με στόχο τον εντοπισμό των προϊόντων του μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα.²² Με τη χρήση του blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα, μπορεί κανείς να εντοπίσει εύκολα την προέλευση των πρώτων υλών (φυτικών και ζωικών) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων, με την τοποθέτηση μοναδικών και αμετάβλητων ψηφιακών αναγνωριστικών σε αυτές (Chinaka, 2016), σε οποιοδήποτε στάδιο και αν βρίσκεται το κάθε τρόφιμο, στην εφοδιαστική αλυσίδα. Για παράδειγμα, οι Tan et al.(2018), αναφέρουν ότι το 2015 η εταιρία Walmart, χρησιμοποίησε την τεχνολογία blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων της, για να δημιουργήσει διαφάνεια μετά την εμφάνιση του μικροβίου E.Coli στα καταστήματα Chipotle.

Συμπερασματικά, μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι τα ακόλουθα:

- **Καταγραφή των δεδομένων (Data recording):** Η τεχνολογία του blockchain μπορεί να λειτουργήσει ως μια κατανεμημένη μονάδα αποθήκευσης όλων των πληροφοριών, οι οποίες ρέουν μέσα στους κόμβους μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.
- **Παρακολούθηση (Monitoring):** Το blockchain έχει την ικανότητα να εντοπίζει τις συναλλαγές, τις παραγγελίες, τις πληρωμές και τις αποδείξεις τους και άλλες σχετικές με το εμπόριο πληροφορίες (Li and Wang, 2018).
- **Επιβεβαίωση (Verifying):** Η τεχνολογία του blockchain χρησιμοποιείται για την επικύρωση των συναλλαγών ή την επιβεβαίωση ορισμένων ιδιοτήτων των φυσικών προϊόντων (Platform with duplicated and shared bookkeeping, 2018).

²¹ Διαθέσιμο [εδώ](#).

²² Διαθέσιμο [εδώ](#).

- **Κατανομή και σύνδεση (Assigning and linking):** Το blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέει τα φυσικά προϊόντα με bar codes, serial codes, digital tags όπως RFID κλπ.
- **Διαμοιρασμός (Sharing):** Εδώ, η τεχνολογία του blockchain χρησιμοποιείται για να διαμοιράσει πληροφορίες σχετικές με τις διαδικασίες κατασκευής, τη διανομή, τη συγκέντρωση και τη διατήρηση των αγροτικών προϊόντων ανάμεσα στους προμηθευτές και τους πωλητές.

Όπως αναφέρουν στην έρευνά τους οι M. Torky et al. (2020), άλλες περιπτώσεις στις οποίες το blockchain μπορεί να ωφελήσει τον τομέα της γεωργίας ακριβείας, εκτός από την εφοδιαστική αλυσίδα, είναι οι εξής:

- **Επιτήρηση του αγροκτήματος (Farm overseeing):** Σε ένα έξυπνο αγρόκτημα που χρησιμοποιεί αισθητήρες IoT για την καταμέτρηση διάφορων μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία κ.ά, η τεχνολογία blockchain μπορεί να βοηθήσει τους παραγωγούς να ψηφιοποιήσουν τα δεδομένα που λήφθηκαν από τις συσκευές αυτές. Παράλληλα, η επικοινωνία ανάμεσα στα δίκτυα των αισθητήρων, γίνεται με πιο άμεσο και ομαλό τρόπο.
- **Καταχώρηση μιας έκτασης (Land Registration):** Αποτελεί τη διαδικασία της καταγραφής, της καταχώρησης και της κοινοποίησης των πληροφοριών σχετικά με τις συναλλαγές και τα στοιχεία που αυτές περιλαμβάνουν, όπως τα δικαιώματα, η αξία τους και η χρήση των κομματιών γης, καθώς υπολογίζεται ότι περίπου το 70%-80% των παγκόσμιων συναλλαγών που αφορούν τις εκτάσεις, δεν καταχωρείται επισήμως σε κάποιο εθνικό σύστημα (Anand et al., 2016).
- **Ασφάλεια τροφίμων (Food safety):** Πολλές μελέτες έχουν αναδείξει το πρόβλημα που υπάρχει σχετικά με την ασφάλεια τροφίμων, καθώς όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία περίπου ένας στους δέκα ανθρώπους παγκοσμίως, αρρωσταίνει μετά την κατανάλωση μολυσμένου φαγητού, κάθε χρόνο. Το μεγαλύτερο ποσοστό (68.2%) των παραπάνω μολύνσεων λαμβάνει χώρα στην Κίνα (Galvin, 2017). Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η χρήση του blockchain, στον τομέα ασφάλειας τροφίμων μπορεί να προσφέρει σε πραγματικό χρόνο εντοπισμό, πιστοποίηση αυθεντικότητας του προϊόντος, ασφάλεια και άλλες λειτουργίες παρακολούθησης, σε όλη τη διαδικασία που ακολουθείται σε μια εφοδιαστική αλυσίδα (Ge et al., 2017; Galvez et al., 2018).

Στην ίδια έρευνα, αναλύουν τις λύσεις που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία blockchain σε προβλήματα σχετικά με την απόδοση των δικτύων IoT, που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα. Μερικές από τις λύσεις που προτείνουν αφορούν τα εξής προβλήματα:

- **Πρόβλημα εντοπισμού και χρήση Blockchain:** Το πρόβλημα αυτό, εμφανίζεται στο Perception Layer ενός IoT δικτύου, δηλαδή στο επίπεδο που περιλαμβάνει όλες τις συσκευές αντίληψης. Οι συσκευές αυτές, όπως για παράδειγμα οι αισθητήρες, είναι ενσωματωμένες σε πολλά αγροτικά μηχανήματα και εκπέμπουν συνεχώς δεδομένα. Παράλληλα, μέσα από αυτές τις συσκευές, επιτυγχάνεται η επικοινωνία των κόμβων μεταξύ τους και η ανταλλαγή δεδομένων με τη χρήση του Cloud. Η λύση που προσφέρει το blockchain στο ζήτημα αυτό, είναι ότι μπορεί να θέσει τους κανόνες, οι οποίοι θα ισχύουν τόσο για την επικοινωνία των αισθητήρων μεταξύ τους, όσο και για την διαχείριση όλων των M2M συναλλαγών.
- **Πρόβλημα κατανάλωσης ενέργειας και Blockchain:** Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται στο Network Layer, ενός IoT δικτύου. Στον αγροτικό τομέα, οι IoT συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλής ισχύος. Οι τεχνικές επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε ένα έξυπνο αγρόκτημα, βασίζονται στη χρήση ασύρματης τεχνολογίας, η οποία όπως φαίνεται στη βιβλιογραφία, οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τις καλωδιωμένες συνδέσεις. Η αποκεντρωμένη φύση του blockchain φαίνεται να προσφέρει λύση στο παραπάνω ζήτημα. Το ιδιωτικό blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξασφάλιση αναλογίας ανάμεσα στην υψηλή υπολογιστική δύναμη και το μεγάλο ευρυζωνικό φάσμα σύνδεσης για τους IoT κόμβους (Makhdoom et al., 2018). Τέλος, το blockchain θα μας βοηθήσει να μετρήσουμε πόση ενέργεια καταναλώνουν οι συσκευές IoT και οι αισθητήρες, σε πραγματικό χρόνο.
- **Πρόβλημα πολυπλοκότητας των δικτύων και Blockchain:** Και αυτό το πρόβλημα αφορά το επίπεδο δικτύου ενός IoT συστήματος. Σχετίζεται με το ότι τα αγροτικά IoT συστήματα χρησιμοποιούν ετερογενείς τοπολογίες δικτύων, οι οποίες καθιστούν την επικοινωνία ανάμεσα στις συσκευές και στους χρήστες πιο πολύπλοκη. Η ανεμπόδιστη επικοινωνία ανάμεσα σε

διάφορες πλατφόρμες και υποδομές, μέσα σε ένα αγροτικό IoT σύστημα, είναι κάτι πολυέξοδο και χρονοβόρο. Το blockchain μπορεί να βοηθήσει στην κτήση και τον εντοπισμό των δεδομένων, χρησιμοποιώντας ασφαλή μοτίβα επικοινωνίας και αποκεντρωμένα δίκτυα.

- **Πρόβλημα με τον περιορισμένο χώρο αποθήκευσης και Blockchain:** Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, τα δεδομένα τα οποία παράγονται από τις IoT σε ένα έξυπνο αγροτικό περιβάλλον, σχηματίζουν ένα τεράστιο όγκο, ο οποίος απαιτεί και μεγάλο αποθηκευτικό χώρο. Ο αποθηκευτικός χώρος που προσφέρει το Cloud, κρίνεται περιορισμένος για τα δεδομένα μεγάλης κλίμακας. Την λύση στο πρόβλημα αυτό προσφέρει η δημιουργία μιας αποθήκης δεδομένων, η οποία βρίσκεται μέσα στο blockchain.

Μερικές από τις πιο διαδεδομένες, ως προς τη χρήση τους, πλατφόρμες blockchain, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας είναι: **α)** η **Provenance**, η οποία ιδρύθηκε από τον Jessi Baker το 2013 και αποτέλεσε την πρώτη πλατφόρμα blockchain που υποστηρίζει δραστηριότητες σχετικές με την εφοδιαστική αλυσίδα (Digital Social Innovation, 2019), **β)** η **AgriDigital** που ιδρύθηκε το 2015, από μία ομάδα Αυστραλών αγροτών και επαγγελματιών αγροτικών επιχειρήσεων, που κάνει χρήση του Cloud (Xu et al., 2019) και καθιστά την εφοδιαστική αλυσίδα περισσότερο απλή και ασφαλή και **γ)** η **Foodcoin** (Bitcoin Wiki, 2018), που αποτελεί ένα καινούριο οικοσύστημα Blockchain το οποίο αποτελείται από 1000 Eco Farms. Έχει σχεδιαστεί με σκοπό να δημιουργήσει μια παγκόσμια αγορά τροφίμων και αγροτικών προϊόντων.

3.5.8 Έξυπνα συμβόλαια

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία του blockchain άρχισε να διαδίδεται ευρέως με τη δημιουργία του κρυπτονομίσματος Bitcoin. Με τη διάδοση αυτή, η επιστημονική κοινότητα άρχισε να εξετάζει τη δημιουργία και άλλων εφαρμογών, πέρα από τα κρυπτονομίσματα και κατέληξε στην ανάπτυξη μιας νέας πλατφόρμας blockchain γενικής χρήσεως, η οποία ονομάζεται Ethereum. Στη βιβλιογραφία το Ethereum χαρακτηρίζεται ως «blockchain νέας γενιάς» (Ιωάννης Κ. Μαυρίδης). Πρόκειται επίσης, για ένα αποκεντρωμένο P2P δίκτυο αποθήκευσης, το οποίο διαθέτει και δικό του κρυπτονόμισμα το «Ether» (ETH). Το Ethereum, άσχετα με τις ομοιότητες που μπορεί να έχει με το Bitcoin, δεν είναι απλά ένα κρυπτονόμισμα. Στην πραγματικότητα, οι δυνατότητές του είναι πολύ περισσότερες, λόγω των έξυπνων συμβολαίων. Τα έξυπνα συμβόλαια βρίσκονται μέσα στο blockchain του Ethereum. Πρόκειται για έναν όρο που εμφανίζεται για πρώτη φορά πίσω στο 1996, από τον Szabo.

Σύμφωνα με τους Rouhani και Deters (2019), τα έξυπνα συμβόλαια παρουσιάστηκαν σαν αυτόνομα συστήματα, τα οποία είναι καταναμημένα και λειτουργούν μέσα από το δίκτυο blockchain. Παράλληλα, όπως υποστηρίζουν οι Vangala et al. (2021), τα έξυπνα συμβόλαια είναι εφαρμογές ή τμήματα κώδικα, ο οποίος εκτελείται αυτόματα στο blockchain, με ντετερμινιστικό τρόπο. Όπως συμπληρώνουν, στο Ethereum τα έξυπνα συμβόλαια είναι αμετάβλητα, ώστε κανένα από αυτά να μη μπορεί να μεταβληθεί, από τη στιγμή που χρησιμοποιείται. Οι παραπάνω αναφέρουν, ότι το Coffee Board της Ινδίας στηρίζεται στην χρήση έξυπνων συμβολαίων στο Ethereum, κυρίως για τον εντοπισμό των προϊόντων μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα και την επίτευξη καλύτερων οικονομικών προσφορών προς τους παραγωγούς. Επιπρόσθετα, τα έξυπνα συμβόλαια είναι αποκεντρωμένα και δεν ελέγχονται από καμία οντότητα. Στην έρευνά τους, οι R. Kumar et al. (2021), περιγράφουν τη διαδικασία που ακολουθείται στα έξυπνα συμβόλαια και επισημαίνουν, ότι αυτά επικυρώνονται, εγκρίνονται, από κάθε ένα μέρος που συμμετέχει στο δίκτυο και υποβάλλονται σε αυτό, με τη μορφή συναλλαγών. Την πρόσβαση στα συμβόλαια, φαίνεται ότι διαχειρίζεται ο δημιουργός του κάθε συμβολαίου, ο οποίος παρέχει τις άδειες πρόσβασης σε όσους θέλουν να συμμετάσχουν. Και εδώ, μετά την επικύρωση των συναλλαγών τα blocks προστίθενται στην αλυσίδα, αφού πρώτα οι συμμετέχοντες συμφωνήσουν ομόφωνα.

Πολλοί ερευνητές, εργάζονται πάνω στην ιδέα ενσωμάτωσης των έξυπνων συμβολαίων, στις εφαρμογές IoT, οι οποίες αφορούν οικονομικά δεδομένα και σε ένα

blockchain δίκτυο. Η ιδέα αυτή ήρθε στο προσκήνιο λόγω του ότι τα έξυπνα συμβόλαια που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση οικονομικών συναλλαγών, αποτελούν μια πολύ αποτελεσματική λύση, πάνω σε ζητήματα ασφαλείας δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, οι Yuan et al. (2018) χρησιμοποίησαν ένα έξυπνο συμβόλαιο το οποίο ονομάζεται “ShadowEth” για να προστατεύσουν την ιδιωτικότητα των οικονομικών συναλλαγών και παράλληλα, να ενισχύσουν την εκτός αλυσίδας, έμπιστη εκτέλεση του έξυπνου συμβολαίου. Παράλληλα, οι Kosba et al. (2016), παρουσίασαν ένα άλλο έξυπνο συμβόλαιο, το οποίο ονομάζεται “Hawk” για την προστασία της ιδιωτικότητας των συναλλαγών του χρήστη σε ένα περιβάλλον δημόσιου blockchain.

Η χρήση των έξυπνων συμβολαίων προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα για την διενέργεια των συναλλαγών. Όπως επισημαίνουν οι Kumar Sharma et al. (2020), μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι τα εξής:

1. Ο μειωμένος χρόνος που απαιτείται για τις διαδικασίες, καθώς στην περίπτωση των έξυπνων συμβολαίων δεν υπάρχουν μεσάζοντες.
2. Η αυξημένη εμπιστοσύνη που δημιουργείται ανάμεσα στα μέρη που συμμετέχουν, όταν αυτά τηρούν τους προκαθορισμένους κανόνες που έχουν οριστεί.
3. Η αυξημένη ασφάλεια των συναλλαγών, η οποία οφείλεται στην διασυνδεδεμένη φύση του blockchain.

4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΕΞΥΠΙΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ

Πολλές χώρες, αντιλαμβανόμενες την σημασία και τη δύναμη που προσφέρει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και όλες οι τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν, στον αγροτικό και τον κτηνοτροφικό τομέα, έσπευσαν να αφομοιώσουν τις τεχνολογίες αυτές και να προχωρήσουν σε ανάλογες επενδύσεις, ώστε να πετύχουν την καλύτερη δυνατή αύξηση της παραγωγικότητας. Στη συνέχεια θα αναφερθούν κάποια παραδείγματα από την εφαρμογή του φαινομένου Smart Farming, ανά τον κόσμο.

4.1 Η ανάπτυξη του Smart Farming στην Ευρώπη

Τον Απρίλιο του 2019, είκοσι τέσσερα²³ κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, προχώρησαν στην υπογραφή μιας συνεργασίας για ένα πιο ευφύες και βιώσιμο, ψηφιακό αγροτικό περιβάλλον για την Ευρώπη (European Commission, 2019). Στην έρευνά τους, οι Moysiadis et al. (2021), προχωρούν στην παρουσίαση κάποιων σημαντικών Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων, μερικά από τα οποία είναι τα εξής:

- **ECHORD Plus Plus**

Αυτό το πρότζεκτ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, επιδιώκει να πετύχει την συνεργασία του ακαδημαϊκού με τον βιομηχανικό τομέα, γεφυρώνοντας τη σχέση ανάμεσα στους κατασκευαστές των αγροτικών ρομπότ, με τους ερευνητές και τους ίδιους τους χρήστες. Μερικά επιμέρους ερευνητικά προγράμματα, τα οποία χρηματοδοτήθηκαν από το πρότζεκτ αυτό και επικεντρώνονται στον τομέα της έξυπνης γεωργίας είναι:

- **Το ερευνητικό πρόγραμμα MARS (Mobile Agricultural Robot Swarms):** Στοχεύει στην επίτευξη συνεργασίας ανάμεσα στα αγροτικά ρομπότ, τα οποία πλέον θα μπορούν να εκτελούν αγροτικές εργασίες σε σμήνος. Το πρόγραμμα αυτό επικεντρώνεται στη διαδικασία σποράς καλαμποκιού και εξελίσσεται σε τρεις φάσεις. Αρχικός του στόχος, είναι να μειώσει τον αριθμό των σπόρων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της σποράς, καθώς και το ποσό των λιπασμάτων και των παρασιτοκτόνων που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες αυτού του

²³ Σήμερα τα κράτη είναι είκοσι έξι.

τύπου. Σε αυτό το υποπρότζεκτ, χρησιμοποιούνται UGV οχήματα μικρού μεγέθους, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας των οχημάτων αυτών, αλλά και να μην υπάρξει μεγάλη συμπίεση του εδάφους. Τέλος, η λύση στην οποία κατέληγε το πρόγραμμα αυτό, ήταν μια πιο απλή και σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένη διαδικασία.

- **Το ερευνητικό πρόγραμμα SAGA (Swarm Robotics for Agricultural Applications):** Το υποπρότζεκτ αυτό, όπως και το προηγούμενο, επικεντρώνεται στη συνεργασία και την ταυτόχρονη λειτουργία πολλών UAV αυτή τη φορά, οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο πρότζεκτ αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας μικρός αριθμός από UAV οχήματα, τα οποία λειτουργώντας πάνω από μια μεγάλη έκταση με ζαχαρότευτλα, προχώρησαν στην παρακολούθηση και τη χαρτογράφηση της έκτασης αυτής, όπως και στον εντοπισμό τυχόν αγριόχορτων, τα οποία στη συνέχεια θα έπρεπε να αφαιρεθούν.

- **WaterBee**

Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα, ήταν ένα πρότζεκτ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο είχε ως στόχο την σοφή διαχείριση και τη μείωση της σπατάλης του νερού, στον αγροτικό τομέα. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, σχεδιάστηκε ένα έξυπνο σύστημα άρδευσης, το οποίο χρησιμοποιώντας αισθητήρες εδάφους, παρείχε συνεχείς μετρήσεις της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, με μεγαλύτερη συχνότητα και ακρίβεια, από αντίστοιχα πρότζεκτ που είχαν εφαρμοστεί, ως εκείνη τη στιγμή. Το «έξυπνο» λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα αυτό, είχε την ικανότητα να συνδυάσει τα μετεωρολογικά και τα ιστορικά δεδομένα των εκτάσεων που παρακολουθούνταν και να αποφασίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια για το αν θα προχωρήσει η άρδευση ή όχι.

- **Η δεύτερη φάση του προγράμματος, με την ονομασία WaterBeeDA (WaterBee Demonstration Action):** Στην ουσία, η φάση αυτή αποτελεί την εφαρμογή του πετυχημένου πρότζεκτ σε πραγματικές εκτάσεις και καλλιέργειες. Πιο συγκεκριμένα, το εξελιγμένο πια πρότυπο, που αναλύσαμε παραπάνω, εφαρμόστηκε για δεκαπέντε μήνες σε όλη την Ευρώπη. Η παρουσίασή του έγινε στις εκτάσεις δώδεκα ευρωπαϊκών

χωρών, μερικές από τις οποίες είναι η Μάλτα, η Σουηδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Εσθονία, η Ιταλία κ.ά.

Μερικά πλεονεκτήματα για τους αγρότες, τα οποία προέκυψαν από τη χρήση του παραπάνω προγράμματος είναι τα εξής: α) επιτεύχθηκε εξοικονόμηση νερού για το πότισμα των καλλιεργειών, κατά μέσο όρο 21%, με μέγιστο το 44%, β) οι διαδικασίες άρδευσης μειώθηκαν σε ποσοστό 23%, γ) υπήρξε μεγάλη επιστροφή των επενδύσεων, σε περίοδο πέντε ετών για τα μικρά αγροκτήματα.

- **Smart- AKIS (European Agricultural Knowledge and Innovation Systems [AKIS] towards Innovation-driven Research in Smart Farming Technology)**

Το πρόγραμμα αυτό αναλύθηκε λεπτομερώς παραπάνω (Κεφάλαιο 2.2). Αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο πρόγραμμα υποστηρίχθηκε από πέντε επιμέρους Ευρωπαϊκά πρότζεκτ, όπως τα: VALERIE, SOLINSA, PRO-AKIS, FRACTALS, AGRISPIN. Τέλος, το παρόν σχέδιο κατάφερε μετά από τρία χρόνια να παρουσιαστεί σε περισσότερες από διακόσιες εφαρμογές έξυπνης γεωργίας, αλλά και να υιοθετηθούν από τους αγρότες και τους αγρονόμους πάνω από πενήντα προτάσεις του.

- **VINBOT**

Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα, σχετίζεται με τη δημιουργία εντός αυτόνομου UGV οχήματος, το οποίο είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση και την διαχείριση των αμπελώνων, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του Cloud Computing. Στόχος του προγράμματος αυτού, είναι η βελτιστοποίηση της απόδοσης των αμπελώνων σε κρασί, καθώς και η καλύτερη διαχείριση της ποιότητας του κρασιού. Το όχημα αυτό, είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες, οι οποίοι του επιτρέπουν να έχει αυτόνομη κίνηση. Παρακολουθεί τα τσαμιά και τα σταφύλια και μπορεί να λάβει αποφάσεις, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Τις πληροφορίες που συλλέγει τις ανεβάζει στο Cloud, ενώ τα αποτελέσματα που εξάγει, τα μεταφέρει στους οινοπαραγωγούς μέσα από τη διεπαφή χρήστη. Παρόλα τα πλεονεκτήματα που διαθέτει όμως, δεν φαίνεται να προορίζεται για αμπελουργούς, οι οποίοι εργάζονται κατά μόνας, διότι κοστίζει αρκετά.

Πέραν από τα Ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω και οι ίδιες οι κυβερνήσεις μερικών Ευρωπαϊκών Κρατών, αποφάσισαν να προσαρμοστούν στις ανάγκες που έχει η δημιουργία

έξυπνων αγροτικών εκτάσεων και προχώρησαν στην υιοθέτηση πολλών αυτοματοποιημένων αγροτικών προτάσεων. Μερικές Ευρωπαϊκές χώρες, οι οποίες φαίνεται ότι υιοθέτησαν το Smart Farming στις αγροτικές τους εκτάσεις, είναι οι εξής:

- **Γαλλία:** Όπως αναφέρουν στην έρευνά τους οι Farooq et al. (2019), το Υπουργείο Γεωργίας της Γαλλίας συμμετέχει ως μέλος στο Agriculture Innovation Project 2025. Η γαλλική αγροτική παραγωγή ακολουθεί τους κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συμμετέχει και αυτή στην κοινή Ευρωπαϊκή Αγροτική Πολιτική, την οποία προαναφέραμε. Βασικός στόχος του παραπάνω πρότζεκτ, είναι η διεύρυνση των αγροτικών καλλιεργειών σε περισσότερες εκτάσεις και η παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τις καλλιέργειες. Τα δεδομένα, τα οποία συγκεντρώνονται από την παρακολούθηση αυτή, διαμοιράζονται στους αγρότες, από το Υπουργείο Γεωργίας, μαζί με νέες προτάσεις (The French Ministry of Agriculture and Food, 2019)²⁴.

Παράλληλα στη Γαλλία, υιοθετείται σε πολύ μεγάλο βαθμό, από τη βιομηχανία παραγωγής οίνου και τους αμπελουργούς, η αμπελουργία ακριβείας (Precision Viticulture). Η αμπελουργία είναι η κύρια μορφή αγροτικής παραγωγής στη νότια Γαλλία (περίπου το 40% της αγροτικής περιοχής), για το λόγο αυτό και έχει μεγάλη οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική σημασία. Η αμπελουργία ακριβείας σχετίζεται με τεχνολογίες όπως η χαρτογράφηση της απόδοσης των αμπελώνων. Πιο συγκεκριμένα, στη βιβλιογραφία αναφέρεται πως μέχρι το 2017 οι εκτιμήσεις έδειχναν ότι περίπου το 2% των αμπελώνων είχαν υπάρξει αντικείμενο χαρτογράφησης της απόδοσης μιας έκτασης. Άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό, ήταν ο απομακρυσμένος εντοπισμός με τη χρήση UAV οχημάτων (σε ποσοστό 80%), η χρήση δορυφόρων, η εφαρμογή αισθητήρων κ.ά. Όσον αφορά τη χρήση των ρομπότ στους αμπελώνες, αυτή φαίνεται να βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο, καθώς έρχεται δεύτερη σε σειρά, σχετικά με την υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής, με πρώτη την χρήση των ρομπότ για την απομάκρυνση των αγριόχορτων από τις εκτάσεις με οργανικά λαχανικά. Πιο συγκεκριμένα, το 2018 διεξήχθη μια έρευνα

²⁴ Διαθέσιμο [εδώ](#).

στη Γαλλία, στην οποία χρησιμοποιήθηκαν περίπου εκατόν πενήντα (150) ρομπότ. Από αυτά, περίπου τα εκατό (100) χρησιμοποιήθηκαν στις εκτάσεις με τα λαχανικά (Castrignano et al., 2020).

- **Ελλάδα:** Ο αγροτικός τομέας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της οικονομίας και της ευημερίας της χώρας, ήδη από τα αρχαία χρόνια. Η Ελλάδα, παράγει μεγάλη ποικιλία τόσο από καλλιέργειες, όσο και από προϊόντα κτηνοτροφίας. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η ενασχόληση με τη γη έχει μειωθεί σε σημαντικό βαθμό, λόγω της οικονομικής κρίσης, αλλά και διότι οι άνθρωποι από τις περιοχές της υπαίθρου μετακομίζουν στα αστικά κέντρα, με αποτέλεσμα να απομένουν λίγα εργατικά χέρια για την ενασχόληση με τη γη. Πιο συγκεκριμένα, στις μέρες μας χρησιμοποιούνται για αγροτικούς σκοπούς στην Ελλάδα, περίπου πέντε χιλιάδες (5.000) εκτάρια, ενώ υπάρχουν περίπου επτακόσιες χιλιάδες (700.000) αγροκτήματα στα οποία απασχολούνται πάνω από τετρακόσιες εξήντα χιλιάδες (460.000) άνθρωποι (European Union, 2018).

Μέσα από τη μελέτη της βιβλιογραφίας, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι το χαμηλό γνωστικό επίπεδο των αγροτών, η μεγάλη ηλικία τους, το κόστος του εκσυγχρονισμού και η έλλειψη στοιχειώδους εκπαίδευσης πάνω στους υπολογιστές, είναι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν αρνητικά την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών στον ελληνικό αγροτικό τομέα. Για το λόγο αυτό οι εφαρμογές μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα, βρίσκονται ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο.

Παρόλα αυτά η Ελλάδα δεν σταματά την προσπάθεια εκσυγχρονισμού και συμμετέχει σε πολύ σημαντικά πρότζεκτ για την προώθηση και την αφομοίωση της Έξυπνης Γεωργίας. Ένα από αυτά, είναι το πρόγραμμα «AGREEN- Διασυννοριακή συμμαχία για κλιματικά έξυπνη και πράσινη γεωργία στη λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας». Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για μία συμμετοχική πρωτοβουλία που αποτελείται από έξι οργανισμούς- πανεπιστημιακά ιδρύματα, ερευνητικά κέντρα και ΜΚΟ από την Τουρκία, τη Βουλγαρία, τη Γεωργία, τη Ρουμανία, την Αρμενία και την Ελλάδα. Το πρόγραμμα αυτό υλοποιείται σε μια χρονική περίοδο από 1.06.2020 μέχρι 30.11.2022, με την υποστήριξη του προγράμματος ENI CBC Black Sea Basin Programme 2014-2020, ενώ ο προϋπολογισμός του ανέρχεται στα 799.279,60 Ευρώ. Στόχος του AGREEN είναι η επίτευξη δικτύωσης των κρατών μεταξύ τους

και η ανταλλαγή γνώσεων για την ανάπτυξη μιας κλιματικά έξυπνης γεωργίας στη λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας.

Το πρότζεκτ MARS (sMart fArming with dRoneS), το οποίο αναφέραμε παραπάνω εφαρμόζεται με επιτυχία και στην Ελλάδα. Μερικοί από τους στόχους του προγράμματος αυτού, οι οποίοι αναφέρονται στην επίσημη σελίδα του προγράμματος,²⁵ είναι οι εξής:

1. Ανάπτυξη εφαρμογών τηλεματικής παρακολούθησης/επιθεώρησης των αγροτικών καλλιεργειών σε πραγματικό χρόνο με την χρήση ΜΕΑ.
2. Διασύνδεση των γεωργικών πληροφοριών που συλλέγονται από ΜΕΑ σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ – Geographical Information System) και υποδομές νέφους για την άμεση πρόσβαση και επεξεργασία τους.
3. Έγκαιρη ανίχνευση και διάγνωση των πρώιμων σταδίων ασθενειών σε δένδρα και φυτά για τη στοχευμένη θεραπεία και ταχύτερη επαναφορά των προσβεβλημένων ειδών με την χρήση σύγχρονων μεθόδων μηχανικής μάθησης και ΜΔ.
4. Ενοποίηση των υποσυστημάτων της αρχιτεκτονικής MARS σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου, διαχείρισης και ειδοποιήσεων με την χρήση φιλικών προς τον χρήστη εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας.
5. Πιλοτικές Επιδείξεις του ολοκληρωμένου συστήματος γεωργικής προστασίας σε πραγματικές συνθήκες στον Συνεταιρισμό Βελβεντού (ΑΣΕΠΟΠ), σε καλλιέργειες οπωροφόρων και στον Αγροτικό Συνεταιρισμό Γρεβενών (ΑΣΓ), σε καλλιέργειες όσπριων, σιτηρών και καπνού.
6. Μείωση του κόστους παραγωγής και εποπτείας γεωργικών εκμεταλλεύσεων με την εφαρμογή και λειτουργία του προτεινόμενου ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης MARS.
7. Μείωση του όγκου εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων και προστασία του περιβάλλοντος.
8. Ενίσχυση της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (ΔΜ), στην οποία εντάσσονται οι καλλιέργειες του ΑΣΕΠΟΠ και του ΑΣΓ, ως πρότυπο εφαρμογής ΕΓ και ΓΑ.

²⁵ Διαθέσιμο [εδώ](#).

Το 2014, δημιουργήθηκε στη χώρα μας το GAIA ΕΠΙΧΕΙΡΕΙΝ, μια πρωτοπόρα σε πανευρωπαϊκό επίπεδο και ισχυρή συμμαχία, ανάμεσα στον πρωτογενή, τον τραπεζικό και τον τεχνολογικό τομέα. Οι τομείς αυτοί εκπροσωπούνται από 71 αγροτικούς συνεταιρισμούς, τη θυγατρική του Ομίλου Τραπεζής Πειραιώς Εξέλιξη ΑΕ και την εταιρία Πληροφορικής & Τεχνολογίας NEUROPUBLIC ΑΕ²⁶. Στόχος του παρόντος είναι η δημιουργία ενός πιο βιώσιμου και ανταγωνιστικού αγροτικού περιβάλλοντος, το οποίο εκμεταλλεύεται όλες τις καινοτόμες ιδέες και τα εργαλεία της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής, έχοντας τους ίδιους στόχους με αυτή. Η εταιρία συμμετέχει σε πολλά Ευρωπαϊκά πρότζεκτ και κοινοπραξίες έργων που σχετίζονται με την έρευνα, την καινοτομία, την προστασία του περιβάλλοντος, την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής κ.ά. Μερικά Ευρωπαϊκά έργα στα οποία έχει συμμετάσχει είναι τα εξής:

- **Το πρόγραμμα CAP2Fork “Προς ένα βιώσιμο σύστημα τροφίμων από τον αγρότη στον καταναλωτή”:** Το πρόγραμμα αυτό χρηματοδοτείται από τη Γενική Διεύθυνση Γεωργίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και διαρκεί από τον Αύγουστο του 2021 έως τον Ιούλιο του 2022. Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από την εταιρία GAIA ΕΠΙΧΕΙΡΕΙΝ και στόχος του είναι να ενισχύσει την ευαισθητοποίηση των αγροτών και ιδιαίτερα των νεότερων ηλικιακά, σχετικά με την συμβολή της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) σε μια βιώσιμη μετάβαση του συστήματος παραγωγής τροφίμων.
- **Το πρόγραμμα LIFE GAIA Sense:** Ακριβής τίτλος του προγράμματος αυτού είναι ο εξής: Innovative Smart Farming services supporting Circular Economy in Agriculture/Καινοτόμες υπηρεσίες Ευφυούς Γεωργίας που υποστηρίζουν την Κυκλική Οικονομία στη Γεωργία. Πηγή χρηματοδότησης του παρόντος προγράμματος είναι το Πρόγραμμα LIFE της ΕΕ και η διάρκειά του εκτείνεται από τον Ιούνιο του 2018 μέχρι και τον Μάιο του 2022. Μέσα από το έργο αυτό παρουσιάστηκε το σύστημα gaiasense, το οποίο αποσκοπεί στη μείωση της χρήσης φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος²⁷. Συντονιστής αυτού του έργου είναι η NEUROPUBLIC, η οποία αναφέρθηκε παραπάνω και έχει

²⁶ Διαθέσιμο [εδώ](#).

²⁷ Διαθέσιμο [εδώ](#).

αναλάβει τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του συστήματος έξυπνης γεωργίας gaiasense. Η εταιρία αυτή, αναπτύσσει όλες τις τεχνολογικές συνιστώσες του συστήματος gaiasense, δηλαδή το λογισμικό, τους τηλεμετρικούς σταθμούς, τους αισθητήρες, τα υπολογιστικά συστήματα, τις αναλυτικές μεθόδους επεξεργασίας των δεδομένων, και επιπλέον, έχει την επιχειρησιακή ευθύνη για την ανάπτυξη και λειτουργία του συστήματος των σταθμών σε ένα εκτεταμένο δίκτυο σε όλη την Ελλάδα²⁸. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί τεχνολογική υποδομή χιλιάδων αισθητήρων IoT εγκατεστημένων στα αγροτεμάχια. Ρόλος του είναι να παρέχει συμβουλευτικές κυρίως υπηρεσίες στους αγρότες, σχετικά με τη χρήση νέων τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας, στις αγροτικές διαδικασίες. Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος αυτού, είναι το χαμηλό του κόστος, το οποίο είναι ανάλογο με την εκμετάλλευσή του και η συμβατότητά του με κινητές συσκευές και υπολογιστές.

Επιπρόσθετα στη χώρα μας, η εταιρία AGENSO (Agricultural and Environmental Solutions), μια καινοτόμος εταιρία για τη γεωργία και το περιβάλλον, συμμετέχει ως διαχειριστής και συντονιστής διαφόρων πρότζεκτ για την χρήση νέων τεχνολογιών στον αγροτικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα της Κτηνοτροφίας Ακριβείας στην Ελλάδα έχει λάβει χώρα το εξής έργο:

- **FarmSustainaBI:** Το πρόγραμμα αυτό ξεκίνησε βρίσκεται σε εξέλιξη από την 1/10/2019 και θα διαρκέσει 36 μήνες, ενώ το εκτιμώμενο κόστος της χρηματοδότησής του ανέρχεται στο ποσό των 799.300,00 ευρώ, με τη συνεισφορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης να φτάνει το ποσό των 674.000,00 ευρώ. Πιο συγκεκριμένα στο πρότζεκτ αυτό, γίνεται εφαρμογή των έξυπνων τεχνολογιών στον κτηνοτροφικό τομέα, με στόχο την επίτευξη περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Μία από αυτές είναι το Blockchain. Μέσα από την κοινοπραξία αυτή, επιτυγχάνεται η παρακολούθηση: **α)** των ζωοτροφών, **β)** της συμπεριφοράς και των χαρακτηριστικών των ζώων και **γ)** του περιβάλλοντος του στάβλου. Στην ουσία, πρόκειται για τη δημιουργία μιας πλατφόρμας, η οποία με την συλλογή των παραπάνω

²⁸ Πληροφορίες από την επίσημη σελίδα της NEUROPUBLIC διαθέσιμες [εδώ](#).

δεδομένων παρέχει διάφορες προτάσεις στα ενδιαφερόμενα μέλη, όπως είναι για παράδειγμα οι αγρότες, οι κτηνοτρόφοι κ.ά., ώστε αυτοί να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις για τη διαχείριση της φάρμας τους, οι οποίες και θα οδηγήσουν σε σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Αναφορικά με τα ποσοστά της εκπομπής αερίων θερμοκηπίου, στην επίσημη σελίδα της AGENSO²⁹ αναφέρεται αναλυτικά ότι από την εκτροφή ζώων - βοοειδών, προβάτων, αιγών, χοίρων και κοτόπουλων - παράγονται κάθε χρόνο στην ατμόσφαιρα, περίπου έξι δισεκατομμύρια τόνοι αερίων θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και οξείδιο του αζώτου). Ο αριθμός αυτός μπορεί να αντιπροσωπεύει έως και το 18% των παγκόσμιων εκπομπών, ενώ ταυτόχρονα, η κατανάλωση κρέατος, γάλακτος και αυγών αναμένεται να αυξηθεί κατά 70% έως το 2050.

4.2 Η ανάπτυξη του Smart Farming στην Ασία

Όπως παρατηρείται στην διαθέσιμη βιβλιογραφία και στην Ασιατική Ήπειρο έχουν γίνει πολλές προσπάθειες ενσωμάτωσης της Ευφυούς Γεωργίας στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα. Σύμφωνα με τους Farooq et al. (2019) και M. Mahbub (2020), κάποιες χώρες οι οποίες έκαναν ένα βήμα μπροστά, προς αυτή την κατεύθυνση είναι οι εξής:

- **Κίνα:** Το 2016, η Κίνα γνωστοποίησε το δέκατο τρίτο σε σειρά, πενταετές σχέδιο της για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων στον αγροτικό τομέα. Στόχος του σχεδίου αυτού είναι η ενίσχυση της φορητότητας. Η κινεζική εταιρία Huawei με τη δημιουργία της εφαρμογής NB-IoT, φαίνεται πως μεταμορφώνει τον αγροτικό τομέα με τις καινοτόμες και πιο αποτελεσματικές ιδέες της. Η εφαρμογή αυτή παρέχει στους χρήστες οικονομικές λύσεις σχετικά με τις αγροτικές διαδικασίες και διαθέτει πολύ μεγάλο αριθμό συνδέσεων και ευρεία κάλυψη, έχοντας με αυτό τον τρόπο την ικανότητα να δώσει λύσεις σε ζητήματα σχετικά με τα διασκορπισμένα αγροτικά δεδομένα³⁰. Παράλληλα, η εταιρία αυτή ανακοίνωσε την συνεργασία της με την XAG, μία κατασκευαστική εταιρία αγροτικών drones, ώστε να εφαρμόσουν ένα πρότζεκτ έξυπνης γεωργίας

²⁹ Διαθέσιμο [εδώ](#).

³⁰ Διαθέσιμο [εδώ](#).

και να δοκιμάσουν την χρήση του 5G, της Τεχνητής Νοημοσύνης και του cloud computing στον αγροτικό τομέα (XAG, 2019).

- **Μαλαισία:** Στη Μαλαισία εφαρμόστηκε μια αγροτική πολιτική, η οποία χωρίζεται σε δύο χρονικές περιόδους πριν την ανεξαρτησία της χώρας (1948-1957) και μετά από αυτήν (1957-2020). Βασικοί στόχοι της πολιτικής αυτής ήταν η μείωση της ένδειας και η αύξηση της αγροτικής παραγωγής. Το Malaysian Institute of Microelectronic System (MIMOS), προχώρησε στην πρόταση πολλαπλών λύσεων, οι οποίες φαίνεται να είναι κατάλληλες για την αγροτική ανάπτυξη της χώρας. Μια από αυτές ήταν η δημιουργία ενός αισθητήρα, ο οποίος ονομάζεται Mi-MSCANT PH. Ο αισθητήρας αυτός, είναι υπεύθυνος για τη συγκέντρωση των περιβαλλοντικών δεδομένων. Παράλληλα, το παραπάνω Ινστιτούτο προχώρησε και στη δημιουργία ενός πλαισίου επικοινωνίας, το οποίο φέρνει κοντά τους παραγωγούς, τους εμπόρους και τους προμηθευτές, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων.
- **Ινδία:** Η γεωργική παραγωγή αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της οικονομίας της Ινδίας, μιας χώρας με τη μεγαλύτερη αγροτική παραγωγή στον κόσμο, καθώς η γεωργία στην Ινδία αποτελεί το 23% του ΑΕΠ της. Πιο συγκεκριμένα με τον αγροτικό τομέα απασχολείται ποσοστό μεγαλύτερο από το 50% του εργατικού δυναμικού της χώρας. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία μεγαλύτερη θεσμική υποστήριξη σε σχέση με κάθε άλλη περιοχή. Όπως υποστηρίζουν οι Kumar et al.(2004), η σημαντική μεταβλητότητα στην αγροτική παραγωγή οφείλεται κυρίως στη μεταβολή των καιρικών φαινομένων χρόνο με το χρόνο, κάτι που αποτελεί την κυριότερη αιτία των αυξομειώσεων στις σοδειές. Ήδη πριν από το 1999, οι ερευνητές ξεκίνησαν να αναζητούν λύσεις για την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών της αγροτικής παραγωγής. Έτσι ξεκίνησαν με την ανάλυση των δεδομένων μεγάλης κλίμακας (Vinay Kellengere Shankarnarayan et al., 2020) . Το 2015, το Υπουργείο Επικοινωνιών και Πληροφορικής της Ινδίας θέσπισε μια πολιτική, με στόχο την πλήρη αλλαγή του ψηφιακού τοπίου με τη χρήση του IoT. Προτεραιότητα της Ινδικής Κυβέρνησης είναι να αναπτυχθεί ένα σύστημα, το οποίο θα έχει την ικανότητα να παρατηρεί την πυκνότητα του εδάφους και την θερμοκρασία του και έπειτα να ειδοποιεί τους αγρότες, ώστε να αντιμετωπίσουν ζητήματα σχετικά με τα ζιζάνια, κύριο πρόβλημα στην αγροτική παραγωγή της χώρας.

4.3 Η ανάπτυξη του Smart Farming στις ΗΠΑ

Η Αμερικανική Κυβέρνηση έχει επενδύσει εκατομμύρια δολάρια στη δημιουργία νέων τεχνολογιών, οι οποίες θα εφαρμοστούν στον αγροτικό τομέα και θα πληρούν τις αναγκαίες προϋποθέσεις για την ενέργεια και τα τρόφιμα. Το U.S. Department of Agriculture (USDA), ξεκίνησε ένα πρότζεκτ με στόχο να πετύχει καλύτερη διαχείριση των πόρων νερού, προσφέροντας λύσεις σε ζητήματα τα οποία επηρεάζουν την αγροτική παραγωγή, με την χρήση μεγάλων συνόλων από δεδομένα. Για παράδειγμα, η πολιτεία της Τζώρτζια έρχεται αντιμέτωπη με το διαρκώς ελαττωμένο ποσοστό του νερού, τόσο στην επιφάνεια, όσο και κάτω από το έδαφος, εξαιτίας της σπατάλης του νερού σε διαδικασίες ύδρευσης. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση του νερού στις αγροτικές περιοχές αυξήθηκε δραματικά σε ποσοστό 723% από το 1960 μέχρι το 1995 (Fanning, 2003). Για το λόγο αυτό, μια ομάδα που ασχολείται με τη Γεωργία Ακριβείας, από το Πανεπιστήμιο της Τζώρτζια ανέπτυξε ένα VRI (Video remote interpreting) σύστημα με κεντρικούς άξονες (Perry et al., 2003b).

Το σύστημα αυτό, που πλέον κυκλοφορεί στο εμπόριο, προσφέρει στους αγρότες τη δυνατότητα να ποτίζουν τις εκτάσεις, σε διαφορετικούς ρυθμούς. Αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι μπορούν να εξοικονομηθούν περισσότερα από είκοσι εκατομμύρια λίτρα νερού για πότισμα (Perry et al., 2003b). Παράλληλα, το Εθνικό Ινστιτούτο Τροφίμων και Γεωργίας (National Institute of Food and Agriculture) εργάστηκε πάνω σε ένα άλλο πρότζεκτ, με την ονομασία «Internet of-Ag-Things». Στο πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκαν πολλές νέες τεχνολογίες ανίχνευσης, οι οποίες στοχεύουν στην αύξηση της απόδοσης της παραγωγής και στην πιο συνετή χρήση νερού και λιπασμάτων³¹.

Στον τομέα της Κτηνοτροφίας Ακριβείας, το University of Tennessee Institute of Agriculture στο Νόξβιλ των ΗΠΑ, ενισχύει την παραγωγή των ζώων και των πουλερικών, μέσα από τη χρήση παρακολούθησης φωτογραφιών, ήχων και άλλων φυσιολογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Ένα από τα τρέχοντα πρότζεκτ στα οποία συμμετέχει, σχετίζεται με την ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας της παραγωγής κρέατος από κοτόπουλα και ενός συστήματος αξιολόγησης της δραστηριότητας του σμήνους των πτηνών. Το πρόγραμμα αυτό, χρηματοδοτείται από το

³¹ Διαθέσιμο [εδώ](#).

Ίδρυμα Τροφίμων και Αγροτικής Έρευνας και το ποσό χρηματοδότησης φτάνει τα 513.214,32\$. Το πρότζεκτ θα λάβει χώρα από τις 4/01/2020 μέχρι και τις 4/01/2020.

5. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΑΓΡΟΕΚΦΟΒΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΤΠΕ ΣΕ ΕΝΑ ΕΞΥΠΝΟ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

5.1 Το φαινόμενο του Αγρο-εκφοβισμού (Agroterrorism)

Στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, εντοπίζεται μια γενικότερη συμφωνία των ερευνητών, όσον αφορά το ότι από τη μία πλευρά είμαστε μάρτυρες μιας νέας εποχής αγροτικής παραγωγής (όπου τα μεγάλα δεδομένα, τα οποία αντλούνται από αισθητήρες οδηγούν στην εξέλιξη της γεωργίας), ενώ παράλληλα, από την άλλη πλευρά δημιουργούνται πολλές ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα των δεδομένων των χρηστών (Whitacre, 2014). Σχετικά με την ασφάλεια των πληροφοριών, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι στις μέρες μας, η εφαρμογή συστημάτων Έξυπνης Γεωργίας, αποτελεί έναν εύκολο στόχο για παράγοντες με κακόβουλα κίνητρα. Το φαινόμενο του «Αγρο-εκφοβισμού» (Agroterrorism), όπως αυτό αναφέρεται σε πολλές έρευνες, υπάρχει σαν έννοια ήδη από τον 6^ο αιώνα π.Χ. (Olson D., 2018)³². Η χρήση των νέων τεχνολογιών, οι οποίες ενσωματώνονται σε ένα έξυπνο αγροτικό σύστημα, μπορεί να οδηγήσει στην περαιτέρω εξέλιξη του παραπάνω φαινομένου, δημιουργώντας τον «Κυβερνο-αγροεκφοβισμό» (cyberagroterrorism). Τα κίνητρα των επιτιθέμενων μπορεί να είναι διάφορα, όπως εμπορικοί, ιδεολογικοί ή ακόμα και τρομοκρατικοί λόγοι. Η έννοια αυτή συγκαταλέγεται στα εγκλήματα στον Κυβερνοχώρο.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του Κυβερνο-αγροεκφοβισμού, ο κακόβουλος τρίτος αξιοποιεί τα υπολογιστικά συστήματα, που υπάρχουν σε ένα αγροτικό περιβάλλον, έχοντας ως απώτερο σκοπό του, την ολική καταστροφή των καλλιεργειών ή των ζωντανών, όπως και την πρόκληση οικονομικών απωλειών. Οι στόχοι αυτοί, επιτυγχάνονται με τη χρήση τεχνικών hacking, με τις οποίες οι επιτιθέμενοι προσπαθούν να εντοπίσουν και να εκμεταλλευτούν, τυχόν ευπάθειες που

³² Διαθέσιμο [εδώ](#).

εμφανίζονται, σχετικά με την ακεραιότητα ενός IoT συστήματος (M.S. Farooq et al., 2020). Πεδίο δράσης των κυβερνο-αγροτρομοκρατών, μπορεί να είναι τόσο τα ίδια τα αγροκτήματα, όσο και το διαδίκτυο, εκτελώντας τις επιθέσεις τους μέσα από τον Κυβερνοχώρο. Οι επιθέσεις αυτές, παρέχουν την δυνατότητα της απομακρυσμένης χειραγώγησης και λειτουργίας των επιτόπιων αισθητήρων και των αυτόνομων οχημάτων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου εγκλήματος, αποτελεί η κυβερνο-επίθεση σε έξυπνα αγροτικά UAV οχήματα. Στην περίπτωση αυτή, οι επιτιθέμενοι προσπαθούν να διασπείρουν κακόβουλο ή επικίνδυνο λογισμικό, για να αποκτήσουν μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στα συστατικά των συστημάτων δικτύων. Κάποιες επιθέσεις αυτού του είδους, όπως είναι οι επιθέσεις Denial-of-Service (DoS), Distributed Denial of Service (DDoS) και Man-In-The-Middle (MITM) (M.F. Elrawy et al., 2018) θα αναφερθούν αναλυτικά παρακάτω. Οι επιθέσεις αυτές, διακινδυνεύουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητά και την διαθεσιμότητα των δεδομένων, που έχουν συλλεχθεί από τις παραπάνω συσκευές. Πιο συγκεκριμένα, τα UAV οχήματα, στα οποία έχουν τοποθετήσει κακόβουλο λογισμικό, είναι ικανά μέσω της χειραγώγησης από τον επιτιθέμενο, να καταστρέψουν μια ολόκληρη έκταση από μόνιμες καλλιέργειες, να προκαλέσουν πλημμύρες στα χωράφια, να ψεκάσουν με παρασιτοκτόνα, να δώσουν μολυσμένη τροφή στα ζώα κ.ά., οδηγώντας σε παραποίηση ή ακόμα και ακαταλληλότητα των προϊόντων ή και οικονομική καταστροφή (U. Bodkhe et al., 2020). Με βάση όλα τα παραπάνω, φαίνεται πόσο κρίσιμο είναι να αποτελέσει η ασφάλεια των δεδομένων και των πληροφοριών ένα απαραίτητο, συστατικό στοιχείο της έξυπνης γεωργίας, συμβάλλοντας παράλληλα, στην ανάπτυξη και την κυκλοφορία στην αγορά, αξιόπιστων και αποτελεσματικών συστημάτων.

5.2 Ζητήματα ασφάλειας δεδομένων, που εντοπίζονται στην αρχιτεκτονική ενός IoT δικτύου

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο: 3.1.3.1), αν και στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλά και διαφορετικά μοντέλα, που σχηματίζουν την αρχιτεκτονική ενός IoT δικτύου, τρία είναι τα βασικά επίπεδα, τα οποία αναφέρονται σε κάθε έρευνα (Perception Layer, Network Layer, Application Layer). Σύμφωνα με πολλές μελέτες που έχουν γίνει στο συγκεκριμένο πεδίο, στα επίπεδα αυτά εντοπίζονται οι πιο σημαντικές ευπάθειες, που μπορούν να διακινδυνεύσουν την ασφάλεια των δεδομένων των χρηστών και να προκαλέσουν διαρροή. Πιο συγκεκριμένα:

- **Ζητήματα ασφαλείας στο Perception Layer:** Όπως προαναφέραμε, στο επίπεδο αυτό συμπεριλαμβάνονται όλες οι συσκευές, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων από το περιβάλλον (αισθητήρες, κάμερες, ενεργοποιητές κ.ά.). Πιθανές δυσλειτουργίες των συσκευών αυτών, μπορεί να οφείλονται σε ανθρώπινες πράξεις, οι οποίες μπορεί να έλαβαν χώρα με τυχαίο τρόπο ή ακόμα και με πρόθεση, αλλά και σε άλλους εξωτερικούς παράγοντες, όπως τυχόν κυβερνοεπιθέσεις με χρήση ιών ή κακόβουλου λογισμικού, το οποίο διαχέεται σε αυτές (A. Rettore de Araujo Zanella et al., 2020).

Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα, το οποίο εντοπίζεται στο επίπεδο αυτό, σχετίζεται με την ασφάλεια της συσκευής, τόσο ως πράγμα, όσο και ως προς τις πληροφορίες που αυτή η συσκευή εντοπίζει (S. Sicari et al., 2015). Η χρήση τέτοιου είδους συσκευών, κυρίως στον αγροτικό τομέα καθιστά ακόμα πιο σημαντική την ύπαρξη ασφάλειας, διότι οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται σε ανοιχτό περιβάλλον και πολλές φορές είναι εκτεθειμένες. Άλλο ένα πρόβλημα ασφαλείας στο Perception Layer, σχετίζεται με τη διαρροή των πληροφοριών. Τις περισσότερες φορές οι πληροφορίες που αντλούνται από συσκευές όπως οι αισθητήρες, περιλαμβάνουν δεδομένα τοποθεσίας και άλλα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα, όπως στοιχεία των αγροτών κ.ά. Σύμφωνα με τους A. Rettore de Araujo Zanella et al.(2020), άλλες απειλές ασφαλείας στο επίπεδο αυτό είναι οι παρακάτω:

- **Mirai Malware:** Το 2016, το Mirai malware θεωρούνταν το πρώτο IoT κακόβουλο λογισμικό το οποίο μπορεί να μολύνει συνδεδεμένες συσκευές όπως το Digital Video Recorder (DVR), IP cameras, και οικιακά router (Kambourakis et al., 2017). Αυτό το κακόβουλο λογισμικό είναι ικανό να

μετατρέψει τις συσκευές στις οποίες διεισδύει σε ένα botnet, το οποίο θα προχωρήσει σε επιθέσεις Denial of Service (DDos) (Koliass et al., 2017).

- **Αεροπειρατεία σε αυτόνομα συστήματα (Autonomous system hijacking):** Στην περίπτωση αυτή, ένας κακόβουλος παράγοντας μπορεί να χρησιμοποιήσει τα αυτόνομα συστήματα, που εκτελούν εργασίες σε ένα αγρόκτημα, όπως για παράδειγμα τα UAV και UGV οχήματα ή τα τρακτέρ σφαιτεριζόμενος τον χειρισμό τους και τον έλεγχό τους, χωρίς άδεια του διαχειριστή. Με τον τρόπο αυτό, ο κακόβουλος τρίτος αποκτώντας πλήρη κυριότητα πάνω στις συσκευές μπορεί να τις καθοδηγήσει ώστε να προχωρήσουν σε διεργασίες, επιβλαβείς για τις καλλιέργειες ή τα ζώα. Μπορεί ακόμα και να προκαλέσει πλήρη καταστροφή των καλλιεργειών ή και να καταστήσει το σύστημα μη διαθέσιμο.
- **Διακοπή ενός αυτόνομου συστήματος (Autonomous system disruption):** Εδώ ο κακόβουλος παράγοντας εκμεταλλεύεται πάλι με πρόθεση, την αυτονομία των ρομπότ και των UAV/UGV οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αποσκοπεί στην τροποποίηση ή ακόμα και την αλλοίωση κάποιων χαρακτηριστικών που διαθέτουν οι παραπάνω συσκευές, όπως για παράδειγμα τις κάμερες, το GPS τους, τα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου που διαθέτουν κ.ά. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένη λειτουργία των παραπάνω συσκευών, αποπροσανατολισμό τους ή ακόμα και την πρόκληση ατυχημάτων.
- **Εντοπισμός του κόμβου (Node capture):** Εντοπίζοντας τον κόμβο ή την ίδια την συσκευή, ο επιτιθέμενος μπορεί να προχωρήσει σε ολική αντικατάσταση της συσκευής ή σε τροποποίηση του hardware και του λογισμικού της. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στο σύστημα ή ακόμα και να προχωρήσει στην εισαγωγή λανθασμένων δεδομένων. Παράλληλα, ο εντοπισμός ενός κόμβου του συστήματος μπορεί να βοηθήσει τον επιτιθέμενο να αποκτήσει πρόσβαση ακόμα και στη λήψη των αποφάσεων και τη διαχείριση των χρημάτων.
- **Ψεύτικος κόμβος (fake node):** Στην περίπτωση αυτή, ένας κακόβουλος τρίτος, εισερχόμενος σε ένα σύστημα, μπορεί να προσθέσει νέους ψεύτικους ή κακόβουλους κόμβους σε αυτό, με σκοπό να διακόψει τη

λειτουργία του συστήματος (Zhao K. et al., 2013). Στόχος της επίθεσης αυτής είναι να αποκτήσει ο επιτιθέμενος πλήρη έλεγχο των δεδομένων που κυκλοφορούν στο σύστημα ή ακόμα και να απενεργοποιήσει όλες τις συσκευές του συστήματος.

- **Απώλεια ύπνου (sleep deprivation):** Η επίθεση αυτή στοχεύει στην πλήρη εξάντληση της μπαταρίας μιας συσκευής. Όπως προαναφέραμε, η μικρής διάρκειας μπαταρίες αποτελούν βασικό μειονέκτημα των συσκευών που χρησιμοποιούνται σε ένα έξυπνο αγρόκτημα. Για να διατηρηθεί μια μπαταρία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και για να εξοικονομηθεί ενέργεια, είναι απαραίτητο οι κόμβοι να μπαίνουν σε ένα sleep mode όταν οι συσκευές δεν χρησιμοποιούνται. Με την επίθεση αυτή, ο κακόβουλος τρίτος στέλνει ασταμάτητα αιτήματα στους κόμβους, ώστε οι συσκευές να βρίσκονται σε μία συνεχή λειτουργία, μέχρι η μπαταρία τους να εξαντληθεί πλήρως και έπειτα οι κόμβοι να σβήσουν. Όταν γίνεται αυτό τα δεδομένα που έχουν αποκτηθεί από τους διάφορους αισθητήρες και τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν δεν μπορούν να αποθηκευτούν και να αποσταλούν στον διαχειριστή του αγροκτήματος. Έτσι, τίθεται σε κίνδυνο όλη η διαδικασία λήψης αποφάσεων και η αποτελεσματικότητα που έχει το σύστημα.
- **Ζητήματα ασφαλείας στο Network Layer:** Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το επίπεδο αυτό είναι αρμόδιο για τη μεταφορά των δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί από το Perception Layer, στο Cloud. Το τεράστιο αυτό σύνολο από δεδομένα που πρέπει να μεταφερθεί, είναι συχνά υπαίτιο για την ύπαρξη πολλών επιθέσεων, οι οποίες απειλούν την ακεραιότητα και την ασφάλεια των πληροφοριών που μεταφέρονται. Μερικές απειλές τέτοιου είδους, στο επίπεδο αυτό, είναι οι ακόλουθες:
 - **Denial of Service (DoS) attack / Distributed Denial of Service (DDoS) attack:** Σχετικά με το πρώτο είδος, όπως εντοπίζεται στη βιβλιογραφία, η επίθεση αυτή φαίνεται να είναι πολύ συνηθισμένη στις IoT εφαρμογές. Αυτό συμβαίνει, διότι οι IoT συσκευές που χρησιμοποιούνται, πολλές φορές είναι πιο ευάλωτες στις επιθέσεις, λόγω του ότι είναι συσκευές χαμηλού επιπέδου (low-end devices). Σύμφωνα με τους Z.A. Baig et al. (2020), ο τρόπος αυτός επίθεσης, αποτελείται από ένα τεράστιο σύνολο

από πακέτα δικτύου, τα οποία στοχεύουν τον κόμβο που υπάρχει σε κάθε εφαρμογή, προκαλώντας διακοπή των υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο. Με άλλα λόγια, όπως επισημαίνουν οι Vasques AT et al. (2019), η άρνηση των υπηρεσιών (Denial of Service), στοχεύει στο να εμποδίσει την πρόσβαση στις υπηρεσίες ή στις συσκευές, είτε υπερφορτώνοντας το δίκτυο με πολλαπλά αιτήματα (flooding attacks), είτε αξιοποιώντας τις ευπάθειες του πρωτοκόλλου, οι οποίες οδηγούν στην καταστροφή των πόρων. Οι flooding attacks έχουν την ικανότητα να προκαλέσουν καθυστερήσεις στο δίκτυο, δυσλειτουργία των συσκευών και να καταστήσουν τις υπηρεσίες μη διαθέσιμες.

Όσον αφορά το δεύτερο είδος επίθεσης (Distributed Denial of Service attack/DDoS), αυτό έχει τα ίδια αποτελέσματα με την προηγούμενη επίθεση, δηλαδή την διακοπή των υπηρεσιών. Χαρακτηριστικό αυτού του είδους είναι ότι ο κακόβουλος τρίτος χρησιμοποιεί πολλές και διαφορετικές πηγές, με σκοπό να «πλημμυρίσει» τον στόχο του. Σύμφωνα με τους H. Yi et al. (2018), DDoS επίθεση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο εξυπηρετητής ενός συστήματος είναι μη προσβάσιμος και έτσι οι έξυπνοι κόμβοι στο δίκτυο του συστήματος αυτού δεν μπορούν να λάβουν τις υπηρεσίες που χρειάζεται. Τέλος, σύμφωνα με τους A. Rettore de Araujo Zanella et al. (2020), στα αγροτικά έξυπνα συστήματα, οι επιθέσεις άρνησης υπηρεσιών μπορεί να εμποδίσουν τις μετρήσεις που έχουν ληφθεί από τις συσκευές και τους αισθητήρες, να φτάσουν στο edge ή το cloud έγκαιρα, να προκαλέσουν καθυστέρηση των εντολών προς τους ενεργοποιητές κ.ά. Στις περιπτώσεις που η επίθεση αυτή λαμβάνει χώρα σε BIoT δίκτυα, μια λύση για την αντιμετώπισή της είναι η εφαρμογή ενός Front-End Hardware (Ο' Dell, 2009). Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια έξυπνη συσκευή η οποία θα λειτουργεί ως firewall στα δίκτυα IoT, ώστε τα πακέτα των δεδομένων να επικυρώνονται πριν αυτά να εισέλθουν στο blockchain (M. Torky et al., 2020).

- **Data Transit Attacks:** Αυτού του είδους οι επιθέσεις έχουν ως στόχο την υποκλοπή προσωπικών πληροφοριών και δεδομένων. Ο επιτιθέμενος διακόπτει την ροή των δεδομένων ανάμεσα στα συστατικά του δικτύου,

με σκοπό να βρει ευαίσθητες πληροφορίες (Hassija V et al., 2019). Αυτή η διακοπή της ροής των δεδομένων, προκαλεί την έκθεση προσωπικών πληροφοριών, όπως για παράδειγμα των μοναδικών αναγνωριστικών, των πιστοποιητικών πρόσβασης, ή των κλειδιών κρυπτογράφησης.

Η παραπάνω επίθεση μπορεί να συνδυαστεί, για τους ίδιους σκοπούς και με την επίθεση **Man-in-the-middle**. Εδώ, ο κακόβουλος τρίτος εισχωρεί στην επικοινωνία που εκτυλίσσεται ανάμεσα σε δύο μέρη, αποσκοπώντας στο να συλλέξει ευαίσθητες πληροφορίες που συμπεριλαμβάνονται στα μηνύματα ή ακόμα και να αντικαταστήσει τμήματα των μηνυμάτων. Από τον επιτιθέμενο που δρα ως μεσάζων στην επικοινωνία δύο μερών, περνούν όλα τα μηνύματα που διακινούνται από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη. Έτσι ο μεσάζων μπορεί να αποκτήσει τον πλήρη έλεγχο της επικοινωνίας, χωρίς να γίνει αντιληπτός από τα άλλα μέρη (Hassija V. et al., 2019).

- **Routing attacks:** Αυτού του είδους οι επιθέσεις στοχεύουν στο να αλλάξουν την πορεία του δικτύου, ώστε ο επιτιθέμενος να αποκτήσει πρόσβαση στον έλεγχο ή την κίνησή του δικτύου. Όπως προαναφέραμε, στα IoT δίκτυα μπορεί να εντοπίσει κανείς ψεύτικους ή κακόβουλους κόμβους, οι οποίοι προσπαθούν να ανακατευθύνουν την πορεία της δρομολόγησης, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της μεταφοράς των δεδομένων. Στον σκοπό αυτό, μπορούν να συνεισφέρουν επιθέσεις όπως οι **Sinkhole attacks** και **Wormhole attacks**, οι οποίες μπορούν να υπονομεύσουν τα δίκτυα επικοινωνίας και έτσι να αποκτήσουν μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε αυτά (A. Rettore de Araujo Zanella et al., 2020). Η πρώτη επίθεση επεμβαίνει στη δρομολόγηση του δικτύου, όπου ο κακόβουλος τρίτος επιλέγει μια πιο σύντομη πορεία δρομολόγησης και σχηματίζει κόμβους για να καθοδηγήσει την κίνηση των δεδομένων μέσα από αυτήν. Η νέα αυτή πορεία, προκαλεί την διακοπή της ροής της κίνησης των πληροφοριών μέσα στο δίκτυο. Στην περίπτωση της δεύτερης επίθεσης, ο επιτιθέμενος δημιουργεί ένα τούνελ ανάμεσα σε δύο κόμβους για πιο γρήγορη μεταφορά των πακέτων, ώστε να ελέγξει την κίνηση των πληροφοριών, μέσα από τη δημιουργία μιας παράκαμψης (Hassija V. et al., 2019; Goyal M. et al., 2018).

Αποτελέσματα αυτών των επιθέσεων, είναι ο παραλήπτης να μπορεί να λαμβάνει όλες τις πληροφορίες ή ένα μέρος αυτών καθυστερημένα ή και καθόλου, ή ακόμα και να λαμβάνει τροποποιημένες πληροφορίες (Pundir S. et al., 2020; Goyal M. et al., 2018).

- **Ζητήματα ασφαλείας στο Application Layer:** Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, στο επίπεδο αυτό γίνονται όλες οι διαδικασίες για την παροχή των υπηρεσιών του συστήματος στους τελικούς χρήστες, την αποθήκευση των δεδομένων, αλλά και τη λήψη των αποφάσεων του συστήματος. Μερικά ζητήματα ασφαλείας, τα οποία επηρεάζουν τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες οι οποίες χρησιμοποιούν το cloud είναι τα ακόλουθα:

- **Phishing:** Είναι μια επίθεση, η οποία αποσκοπεί στο να αποκτήσει ο κακόβουλος τρίτος, πρόσβαση στα προσωπικά δεδομένα των χρηστών, όπως για παράδειγμα τους κωδικούς του στο σύστημα ή ακόμα και στοιχεία της ταυτότητάς τους. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα ψηφιακό παράσιτο, το οποίο εγκαθίσταται στο σύστημα, προσφέροντας στον επιτιθέμενο πρόσβαση σε αυτό, ως διαχειριστής. Με τον τρόπο αυτό, ο κακόβουλος τρίτος μπορεί να αποστείλει παραπλανητικές εντολές στο σύστημα ή ακόμα και να αλλάξει τις ρυθμίσεις του, καθώς και να επέμβει στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων. Το παράσιτο αυτό εισέρχεται σε ένα σύστημα, συνήθως μέσα από παραπλανητικά ή κακόβουλα e-mail ή ιστοσελίδες (Lin J. et al., 2017; Hassija V. et al., 2019). Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι τις περισσότερες φορές είναι αδύνατο να αποτραπεί μια τέτοιου είδους επίθεση. Μόνο τα ασφαλή συστήματα ελέγχου μπορούν να την αντιμετωπίσουν, αλλά η καλύτερη λύση φαίνεται να είναι η εγρήγορση των ίδιων των χρηστών κατά τη διάρκεια της πλοήγησής τους στο διαδίκτυο (Lin J. et al., 2017).
- **Malicious scripts:** Η παροχή λύσεων σε ζητήματα του αγροτικού τομέα, με τη χρήση του Διαδικτύου, δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με άλλους χρήστες και υπηρεσίες. Η αλληλεπίδραση αυτή, στοχοποιεί τα συστήματα αυτά και τα καθιστά ευάλωτα σε επιθέσεις, όπως η παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, η επίθεση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε παραπλάνηση των πελατών που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες, καθώς και σε πρόσβαση σε προσωπικά τους δεδομένα. Οι

στόχοι πίσω από την επίθεση αυτή, είναι κυρίως οικονομικοί, προσωπικοί ή ακόμα και πολιτικοί. Αποτελέσματα αυτής της επίθεσης, είναι η διακοπή της εκτέλεσης των υπηρεσιών, η παρουσίαση ανεπιθύμητων διαφημίσεων, ακόμα και η υποκλοπή χρηματικού ποσού (Khan N. et al., 2017).

5.3 Επιθέσεις κατά της ιδιωτικότητας στα ΒIoT δίκτυα

Αν και η τεχνολογία blockchain φημίζεται για την ασφάλεια της ιδιωτικότητας που προσφέρει στις συναλλαγές, λόγω της αποκεντρωμένης φύσης της, δεν λείπουν και από αυτή οι προκλήσεις στο πεδίο της ασφάλειας των δεδομένων και της προστασίας της ιδιωτικότητας των χρηστών. Ο S. Nakamoto, ο εφευρέτης και δημιουργός της τεχνολογίας αυτής, υποστηρίζει ότι η διαρροή έστω και μίας ταυτότητας, κάποιου προσώπου που συμμετέχει σε κάποια συναλλαγή, μπορεί να οδηγήσει στην διαρροή των λεπτομερειών όλων των συναλλαγών του ίδιου προσώπου. Επιπρόσθετα, η διατήρηση των αρχείων των συναλλαγών στο δημόσιο blockchain, το οποίο όπως αναφέραμε και πριν είναι προσβάσιμο από τον καθένα, μπορεί να οδηγήσει σε διαρροή προσωπικών πληροφοριών, όπως για παράδειγμα αυτές που αφορούν το σύνολο των συναλλαγών, οι οποίες διεξάγονται ανάμεσα σε δύο συγκεκριμένους χρήστες (M. Ul Hassan et al., 2019). Για όλα τα παραπάνω, κρίνεται αναγκαίο, τα μοντέρνα συστήματα IoT που χρησιμοποιούν τεχνολογία blockchain, να είναι ικανά να διατηρήσουν ασφαλή την ιδιωτικότητα των χρηστών τους. Οι M. Ul Hassan et al. (2019), προχωρούν στην παρουσίαση μιας σειράς επιθέσεων κατά της ιδιωτικότητας στα ΒIoT δίκτυα. Μερικές από αυτές είναι οι εξής:

- **Επαναχρησιμοποίηση της διεύθυνσης (Address reuse):** Η επίθεση αυτή, προκαλεί διαρροή των προσωπικών πληροφοριών μέσα σε ένα δίκτυο blockchain. Καθώς οι δημόσιες διευθύνσεις των χρηστών είναι προσβάσιμες στον καθένα μέσα στο blockchain δίκτυο, είναι πολύ εύκολο ο επιτιθέμενος να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτές μέσω του Διαδικτύου. Ακόμα και η χρήση ψευδωνύμων για την απόκρυψη της πραγματικής ταυτότητας των χρηστών, δεν παρέχει απόλυτη προστασία. Από τη στιγμή που ο επιτιθέμενος καταφέρει να συνδέσει τη διεύθυνση με την ταυτότητα κάποιου χρήστη, όλες οι συναλλαγές και οι ανταλλαγές πληροφοριών, στις οποίες προχωρά ο χρήστης αυτός, θα είναι

προσβάσιμες στον επιτιθέμενο. Όλο αυτό, δημιουργεί ένα τεράστιο κενό στις υποσχέσεις προστασίας της ιδιωτικότητας που παρέχει το blockchain.

- **Sybil attacks:** Αποτελεί μία από τις πιο βασικές επιθέσεις που λαμβάνει χώρα σε ένα BIoT δίκτυο (Zhang et al., 2014). Στην περίπτωση αυτή, οι επιτιθέμενοι δημιουργούν έναν πολύ μεγάλο αριθμό από ψεύτικους IoT κόμβους χρηστών και προσπαθούν να αποκτήσουν μεγάλη επιρροή στο δίκτυο blockchain (J.R. Douceur, 2002). Έτσι, οι πραγματικοί IoT κόμβοι καθίστανται ανίκανοι να ξεχωρίσουν ανάμεσα σε έγκυρες και μη, συνδέσεις. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σχετικά με το πρωτόκολλο PoW, για τον έλεγχο του δικτύου απαιτείται ο επιτιθέμενος να κατέχει ποσοστό, μεγαλύτερο από το 50% των κόμβων. Για το λόγο αυτό και ο κακόβουλος τρίτος επιδιώκει να δημιουργήσει όσο το δυνατόν περισσότερες ψεύτικες ταυτότητες χρηστών, για να αποκτήσει τον έλεγχο του συστήματος και να μπορέσει να εισβάλλει στα δεδομένα άλλων χρηστών.
- **Πλαστογράφηση μηνυμάτων (Message spoofing):** Η επίθεση αυτή αφορά την δημιουργία πλαστογραφημένων μηνυμάτων, με σκοπό την διασπορά ψευδών πληροφοριών στο δίκτυο. Στα BIoT δίκτυα, η πλαστογραφία αφορά το φαινόμενο, όπου ο κόμβος του επιτιθέμενου προσπαθεί να μεταδώσει αναληθή μηνύματα, με σκοπό να μειώσει την ασφάλεια, την προστασία, την αποτελεσματικότητα και την ιδιωτικότητα ενός blockchain δικτύου.
- **Επιθέσεις στη σύνδεση (Linking attacks):** Οι επιθέσεις αυτές στοχεύουν κυρίως στα αποθηκευμένα δεδομένα, διότι τα δεδομένα που βρίσκονται ακόμα στο δίκτυο, προστατεύονται με τεχνικές ανωνυμοποίησης. Οι επιθέσεις στην σύνδεση λαμβάνουν χώρα στο κατακεκομμένο καθολικό, όπου περιλαμβάνονται όλα τα αντίγραφα των συναλλαγών.

6. ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ

6.1 Προϋποθέσεις ασφαλείας σε ένα αγροτικό σύστημα IoT

Μέσα από τη μελέτη της βιβλιογραφίας, μπορεί κανείς να εντοπίσει κάποιες απαιτήσεις ασφάλειας, οι οποίες πρέπει να πληρούνται σε ένα έξυπνο αγροτικό IoT σύστημα. Σύμφωνα λοιπόν, με τους M. S. Farooq et al. (2019), για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των πληροφοριών και των δεδομένων, σε τέτοιου είδους αγροτικά συστήματα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις ακόλουθες απαιτήσεις ασφαλείας:

- **Εμπιστευτικότητα (Confidentiality):** Οι πληροφορίες που αντλούνται από ένα αγροτικό περιβάλλον ή ακόμα και τα προσωπικά δεδομένα των χρηστών, πρέπει να είναι προσβάσιμα μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.
- **Ακεραιότητα (Integrity):** Στην περίπτωση αυτή, η ακεραιότητα αναφέρεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα που λαμβάνονται και αποθηκεύονται, καθώς και το περιεχόμενο των πληροφοριών που αντλούνται, δεν πρέπει να μεταβάλλεται.
- **Επιβεβαίωση της γνησιότητας (Authentication):** Η επιβεβαίωση της γνησιότητας σημαίνει ότι οι συσκευές των μερών, τα οποία συμμετέχουν σε ένα IoT δίκτυο, πρέπει να έχουν μια ταυτότητα, με την οποία επικοινωνούν.
- **Αυθεντικότητα των δεδομένων (Data Freshness):** Αφορά την ανανέωση των κλειδιών/ κωδικών ή και των ίδιων των δεδομένων. Κάτι τέτοιο κρίνεται απαραίτητο, διότι μερικές φορές τα αγροτικά δίκτυα IoT παρέχουν ποικίλες μετρήσεις και έτσι, είναι πολύ σημαντικό να διασφαλιστεί ότι κάθε μήνυμα είναι το αυθεντικό.
- **Έλλειψη άρνησης (Non repudiation):** Αναφέρεται στο ότι ένα κόμβος δεν μπορεί ποτέ να αρνηθεί να αποστείλει ένα μήνυμα, το οποίο στάλθηκε και νωρίτερα.
- **Εξουσιοδότηση (Authorization):** Εδώ απαιτείται εξουσιοδότηση για την είσοδο των συσκευών στο δίκτυο ή σε κάθε άλλη πηγή.
- **Αυτο-αποκατάσταση (Self Healing):** Στην περίπτωση αυτή, αν μία συσκευή σε ένα αγροτικό σύστημα IoT, αποτύχει να εισέλθει στο δίκτυο ή τελειώσει η

μπαταρία της, τότε οι άλλες συσκευές στο δίκτυο πρέπει να έχουν την ικανότητα να την παρέχουν ασφάλεια στο σύστημα.

6.2 Η χρήση του Cloud Computing για την αντιμετώπιση επιθέσεων με ιούς και κακόβουλο λογισμικό

Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5), τα έξυπνα αγροτικά συστήματα που έχουν εκσυγχρονιστεί με τη χρήση των ΤΠΕ, βρίσκονται συχνά εκτεθειμένα σε επιθέσεις από ιούς ή κακόβουλο λογισμικό. Παράλληλα, οι παραδοσιακές τεχνικές προστασίας από ιούς, όπως προγράμματα antivirus, δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά απέναντι σε τέτοιου είδους επιθέσεις. Η τεχνολογία του CC έχει ανθίσει, παράλληλα με την ανάπτυξη των Μεγάλων Δεδομένων. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα κάποιες ανοιχτές προκλήσεις σχετικά με αυτή την τεχνολογία, για τις οποίες οι ερευνητές αναζητούν λύσεις.

Όπως υποστηρίζουν οι Memos et al. (2015), η επιστημονική κοινότητα φαίνεται να στράφηκε προς την τεχνολογία του Cloud Computing, με σκοπό να ενισχύσει περισσότερο το λογισμικό των προγραμμάτων antivirus που χρησιμοποιούνται από διάφορες εταιρίες και έτσι, να τα καταστήσει περισσότερο αποτελεσματικά απέναντι στις απειλές αυτές. Σύμφωνα με τους παραπάνω, η τεχνολογία του CC προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σχετικά με την ασφάλεια των δικτύων υπολογιστών. Ως απαραίτητη προϋπόθεση αναφέρουν την σωστή χρήση της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου, καθώς όπως είδαμε και παραπάνω τα επίπεδα δικτύου ενός IoT συστήματος είναι ευάλωτα σε πολλές επιθέσεις. Βασικό πλεονέκτημα λοιπόν, του CC στον τομέα της ασφάλειας, είναι η δυνατότητά του να ανταποκρίνεται άμεσα στις νέες απειλές που εμφανίζονται, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις που το δίκτυο έχει μολυνθεί από άγνωστο κακόβουλο λογισμικό, το οποίο εξαπλώνεται αμέσως στο Διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, οι Psannis et al. (2015) επισημαίνουν ότι τα προγράμματα antivirus, τα οποία βρίσκονται σε έναν διασυνδεδεμένο server κάπου στο Cloud, καταναλώνουν λιγότερο χώρο μνήμης και λιγότερους πόρους του συστήματος. Αυτό συμβαίνει, γιατί η όλη διαδικασία της ανάλυσης του κακόβουλου λογισμικού λαμβάνει χώρα στο Cloud και τα antivirus προγράμματα λειτουργούν ως «πελάτες» στο περιβάλλον του Cloud (Stergiou et al., 2017; Psannis et al., 2018).

Σε πιο πρόσφατη έρευνα τους, οι Psannis et al. (2019), αναφέρονται στα προβλήματα ιδιωτικότητας, τα οποία λαμβάνουν χώρα στο Cloud και προκαλούνται

λόγω του ότι όλες οι ανησυχίες του συστήματος, σχετικά με τις προσωπικές πληροφορίες και τα δεδομένα των χρηστών, συγκεντρώνονται στους Cloud servers. Στο σύστημα που προτείνουν οι παραπάνω, η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται δεν οδηγεί σε «ανέβασμα» ολόκληρων φακέλων, οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες των χρηστών, αλλά «ανεβαίνουν» μόνο οι μικρές ανεστραμμένες υπογραφές οι οποίες δημιουργούνται από το antivirus πρόγραμμα, το οποίο θα τρέξει ως πελάτης στους υπολογιστές των χρηστών. Η μέθοδος αυτή, οδηγεί σε επίλυση ζητημάτων ιδιωτικότητας, σε επιμήκυνση του χρόνου της ανάλυσης των φακέλων και τέλος, σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης ισχύος των Cloud servers, καθιστώντας όλη την υποδομή πιο αποτελεσματική.

6.3 Τεχνικές προστασίας της ιδιωτικότητας με τη χρήση της τεχνολογίας Blockchain

Όπως περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η τεχνολογία Blockchain, έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, χάρη στις εγγυήσεις ασφαλείας που προσφέρει, όσον αφορά τις πληροφορίες ενός συστήματος και τα δεδομένα των χρηστών. Πολλοί ερευνητές, προσπάθησαν να αξιοποιήσουν τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής και να τα ενσωματώσουν, δημιουργώντας λύσεις σε ζητήματα που προκύπτουν. Πιο συγκεκριμένα, οι Sachdev A. et al. (2016), στην έρευνά τους προτείνουν ένα μοντέλο κρυπτογράφησης των δεδομένων, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την προστασία της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί, πριν αυτά να ανέβουν στο Cloud. Συνηθισμένο φαινόμενο σε ένα δίκτυο από συσκευές IoT, οι οποίες μεταφέρουν τα δεδομένα μέσα σε ένα δίκτυο blockchain, είναι η χρήση κρυπτογράφησης των δεδομένων. Σε ένα P2P δίκτυο, κάθε κόμβος είναι εξοπλισμένος με δύο διαφορετικά κλειδιά. Το ένα από αυτά, είναι ένα δημόσιο κλειδί, το οποίο χρησιμοποιείται από άλλους κόμβους για την κρυπτογράφηση του μηνύματος και την προώθησή του σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους. Το δεύτερο είναι ένα ιδιωτικό κλειδί, το οποίο χρησιμοποιείται από έναν συγκεκριμένο αποδέκτη, για την αποκρυπτογράφηση του μηνύματος που έχει λάβει. Μόνο ο κόμβος, ο οποίος έχει ένα μοναδικό και συγκεκριμένο ιδιωτικό κλειδί μπορεί να αποκρυπτογραφήσει το μήνυμα και να δει το περιεχόμενό του. Αυτή η κρυπτογράφηση του κλειδιού, διασφαλίζει την ασφάλεια μέσα σε ένα δίκτυο blockchain, έτσι ώστε κάθε εισβολέας ή αντίπαλος δεν μπορεί να εισέλθει παράνομα, στις πληροφορίες (M. Ul Hassan et al., 2019). Με αυτό, οι παραπάνω χρησιμοποιούν ένα σχέδιο κρυπτογράφησης, με σκοπό να προστατεύσουν τα

δεδομένα και να τα καταστήσουν ακατάληπτα για όλους. Όπως υποστηρίζουν, η χρήση ενός AES (Advanced Encryption Standard) αλγόριθμου κρυπτογράφησης, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την ασφάλεια των δεδομένων, καθώς παρέχει ένα σύνολο από πλεονεκτήματα, μερικά από τα οποία είναι η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και ο μικρότερος υπολογιστικός χρόνος.

Σύμφωνα με τους Stergiou et al. (2017), ο παραπάνω αλγόριθμος είναι ένας ιδιαίτερα χρήσιμος και θεμελιώδης μηχανισμός για την προστασία των δεδομένων. Αξιοποιώντας τον αλγόριθμο αυτό, τα δεδομένα παίρνουν μία κατακερματισμένη μορφή. Από το σημείο αυτό, ο μόνος που έχει πρόσβαση στα δεδομένα αυτά, είναι ο χρήστης ο οποίος έχει στην κατοχή του το «κλειδί», με το οποίο θα προχωρήσει σε αποκρυπτογράφηση των δεδομένων. Ο αλγόριθμος AES χρησιμοποιείται περισσότερο στην Κρυπτογράφηση Συμμετρικού κλειδιού, μια μέθοδο κατά την οποία η κρυπτογράφηση και η αποκρυπτογράφηση των δεδομένων γίνεται με τη χρήση ενός κοινού κλειδιού, το οποίο μοιράζεται στα μέλη.

Οι M. Ul Hassan et al. (2019), αναφερόμενοι σε ένα ΒΙοΤ δίκτυο, προτείνουν την χρήση κάποιων τεχνικών προστασίας της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας των δεδομένων των χρηστών, που συμμετέχουν σε αυτό, επιδεικνύοντας παράλληλα τις αδυναμίες τους. Μερικές τεχνικές οι οποίες αναλύουν στην έρευνά τους είναι οι ακόλουθες:

- **Κρυπτογράφηση (Encrytion):** Η τεχνική αυτή, χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε δίκτυο blockchain, στοχεύοντας σε πιο ασφαλείς συναλλαγές και μετάδοση των δεδομένων. Η κρυπτογράφηση, όπως αναφέραμε και παραπάνω, γίνεται με τη χρήση κλειδιών. Κάθε χρήστης του δικτύου, διαθέτει το δικό του κλειδί, με το οποίο γίνεται η αποκρυπτογράφηση των μηνυμάτων που λαμβάνει. Υπάρχουν δύο τύποι κλειδιών, το δημόσιο κλειδί, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλους τους χρήστες του blockchain, ώστε να σταλεί ένα μήνυμα σε ένα συγκεκριμένο κόμβο, και το ιδιωτικό κλειδί, το οποίο χρησιμοποιείται για την αποκρυπτογράφηση του παραπάνω μηνύματος και την ανάγνωσή του. Με την χρήση των τεχνικών κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης, προστατεύονται οι ευαίσθητες πληροφορίες των χρηστών, τα προσωπικά τους δεδομένα, καθώς και η ιδιωτικότητα των συναλλαγών, γενικότερα.

Σχετικά με τις αδυναμίες που παρουσιάζει η τεχνική της κρυπτογράφησης, αυτές έγκειται στο γεγονός, ότι με την χρήση της, αυξάνεται σε πολύ μεγάλο

βαθμό, τόσο το μέγεθος των υπολογισμών και της επικοινωνίας που γίνονται μέσα σε ένα ΒΙoT, καταναλώνοντας μεγάλη υπολογιστική ισχύ, όσο και τα έξοδα που προέρχονται από τη διαδικασία του διαμοιρασμού των κλειδιών στους χρήστες. Άλλη μία ευπάθεια των τεχνικών αυτών, είναι το γεγονός ότι σε περίπτωση που βρεθούν κενά στον μαθηματικό σχεδιασμό της κρυπτογράφησης, αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε σπάσιμο του κώδικα και σε διαρροή των δεδομένων των χρηστών.

- **Ανωνυμοποίηση (Anonymization):** Η ανωνυμοποίηση αποτελεί μια λύση, την οποία χρησιμοποιούν πολλοί ερευνητές για την προστασία τη ιδιωτικότητας, σε συστήματα ΒΙoT. Η ανάγκη της εύρεσης μιας λύσης, προκύπτει από το γεγονός ότι πολλές εφαρμογές ΒΙoT περιλαμβάνουν προσωπικά δεδομένα, όπως οικονομικά αρχεία, υγειονομικά αρχεία, προσωπικά στοιχεία κ.ά. Με την χρήση της τεχνικής αυτής, προσωπικές αναγνωριστικές πληροφορίες (Personal Identifiable Information/ PII), οι οποίες εντοπίζονται μέσα στο σύνολο από δεδομένα, ανωνυμοποιούνται στη συνέχεια. Έτσι προστατεύονται τα οικονομικά στοιχεία των συναλλαγών, η ταυτότητα των μερών που διεξάγουν τις συναλλαγές κ.ά. Αρχικά τα PIIs, αναγνωρίζονται μέσα στο σύνολο των δεδομένων και μετά αφαιρούνται από αυτό, με ένα τέτοιο τρόπο, ώστε κανένας κακόβουλος τρίτος δεν μπορεί να λάβει τις πληροφορίες από τα δεδομένα που έχουν ανωνυμοποιηθεί.

Παρ'όλες τις εγγυήσεις ασφαλείας που προσφέρει η ανωνυμοποίηση, δεν παύει να είναι επιρρεπής σε συγκεκριμένου τύπου επιθέσεις. Μία από τις πιο βασικές, είναι οι επίθεση σύνδεσης, στην οποία τα δεδομένα που αντλούνται από εξωτερικές πηγές, συνδυάζονται με τα ανωνυμοποιημένα δεδομένα και έτσι οι κακόβουλοι τρίτοι αποκτούν πρόσβαση σε σημαντικά δεδομένα των εφαρμογών ΒΙoT. Οι PIIs μπορεί να διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση και έτσι, η τεχνική της ανωνυμοποίησης δεν εγγυάται 100% την προστασία των πληροφοριών. Τέλος, η τεχνική ανωνυμοποίησης μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμό των λεπτομερειών που έχουν τα αρχεία, σε συγκεκριμένο μέγεθος. Έτσι, ο αναλυτής/ αποδέκτης δεν μπορεί να εξάγει τις απαραίτητες πληροφορίες από ένα σύνολο δεδομένων, το οποίο έχει ανωνυμοποιηθεί.

- **Ανάμειξη (Mixing):** Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στις οικονομικές συναλλαγές, οι οποίες διεξάγονται με χρήση της τεχνολογίας blockchain, σε ΙoT

συστήματα. Στην περίπτωση αυτή, οι συναλλαγές που εκτελεί κάθε χρήστης ενός ΒΙΟΤ συστήματος, μεταφέρει μια νέα, κρυπτογραφημένη διεύθυνση η οποία έχει δημιουργηθεί γι' αυτόν, σε έναν τρίτο (mixer), ο οποίος έπειτα αποκρυπτογραφεί την διεύθυνση αυτή, ανακατεύει όλες τις διευθύνσεις με τυχαίο τρόπο και στη συνέχεια τις στέλνει πίσω στους κόμβους του πομπού. Στις μέρες μας, οι πιο καινούριες τεχνικές ανάμειξης δεν απαιτούν τη συμμετοχή ενός τρίτου μέρους.

Ένα πρόβλημα που μπορεί να παρουσιάσουν οι τεχνικές ανάμειξης, είναι το γεγονός ότι κρίνονται επιρρεπείς σε διασταυρώσεις και σε Sybil επιθέσεις. Για τον λόγο αυτό, δεν προσφέρουν 100% προστασία τις ιδιωτικότητας, καθώς οποιαδήποτε συναλλαγή μπορεί να επαναληφθεί, μέσα από την ανάλυση των γραφημάτων των συναλλαγών.

7 . ΕΠΙΛΟΓΟΣ

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, μέσα από μια βιβλιογραφική επισκόπηση που έχει γίνει, η παρούσα εργασία παρουσιάζει λεπτομερώς τις δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν οι ΤΠΕ στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα, με στόχο την βελτιστοποίηση και την αύξηση της αγροτικής παραγωγής, την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και την κάλυψη των αναγκών σε τρόφιμα, η οποία απορρέει από την ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Παράλληλα, παρουσιάζει τυχόν προκλήσεις που μπορούν να προκύψουν από τη χρήση των τεχνολογιών αυτών, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την ασφάλεια των πληροφοριών του συστήματος και των δεδομένων των χρηστών. Τέλος, στην παρούσα έρευνα αναφέρονται και λύσεις οι οποίες αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία, σχετικά με τα παραπάνω ζητήματα.

Αρχικά στο παρόν κείμενο, γίνεται μια παρουσίαση του φαινομένου Smart Farming και παρουσιάζονται οι πιο σημαντικοί όροι για την στοιχειοθέτησή του. Αναφερόμαστε συγκεκριμένα στους όρους «Εξυπνη Γεωργία», «Γεωργία Ακριβείας» και «Εξυπνη Κτηνοτροφία». Όπως διαπιστώθηκε, στη βιβλιογραφία οι δύο πρώτοι όροι χρησιμοποιούνται πολλές φορές ως συνώνυμοι, όμως στην πραγματικότητα οι διαφορές τους είναι μεγάλες, καθώς ο όρος «Εξυπνη Γεωργία» παρουσιάζεται ως μια ευρύτερη έννοια, η οποία φαίνεται να περιλαμβάνει τόσο την Γεωργία Ακριβείας, όσο και την Κτηνοτροφία Ακριβείας. Τέλος, ο όρος «Εξυπνη Γεωργία» δεν σχετίζεται μόνο με τις τεχνικές με τις οποίες συντελείται η συγκέντρωση των δεδομένων, αλλά παράλληλα, πολύ σημαντικό στοιχείο της περιγραφής του, αποτελεί το γεγονός ότι στο φαινόμενο αυτό, οι μηχανές έχουν την ικανότητα να κάνουν ένα βήμα παραπέρα, λαμβάνοντας αποφάσεις χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Σχετικά με τις ΤΠΕ, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ένα έξυπνο αγροτικό σύστημα, ξεκινώντας από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, συμπεραίνουμε ότι η τεχνολογία αυτή αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της ιδέας του Smart Farming, διότι έχει την ικανότητα να συνδέει τα συστατικά του δικτύου μεταξύ τους. Παράλληλα, δεν περιορίζεται στη σύνδεση των συσκευών μόνο στον χώρο ενός αγροκτήματος, αλλά επεκτείνεται και σε άλλες εφαρμογές, όπως η επικοινωνία των παραγωγών με τους προμηθευτές, τους καταναλωτές και γενικότερα τα άλλα μέρη που συμπεριλαμβάνονται στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στον μεγαλύτερο βαθμό της

στη χρήση αισθητήρων και ενεργοποιητών ενσωματωμένων σε συσκευές, οι οποίες τοποθετούνται στις εκτάσεις, στις καλλιέργειες, ακόμα και στα ίδια τα ζώα και τα φυτά, για τα οποία θέλει κανείς να αντλήσει πληροφορίες. Όπως παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία, σχετικά με τις μεταβλητές που αφορούν την κατάσταση των φυτών ή την υγεία των ζώων, όπως οι καρδιακοί παλμοί τους, η ποσότητα του νερού και της τροφής που χρειάζονται κ.ά., αυτές φαίνεται να συγκεντρώνονται από τη χρήση ενός ειδικού τύπου αισθητήρων, των wearables, οι οποίοι τοποθετούνται πάνω στα φυτά ή τα ζώα με τη χρήση μη επεμβατικών μεθόδων. Τέλος, συμπεραίνουμε πως σε μεγαλύτερες εκτάσεις αποδεικνύεται πιο αποτελεσματική η χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων (WSN), το οποίο διαθέτει περισσότερους κόμβους, διασυνδεδεμένους μεταξύ τους ασύρματα και έτσι επιτυγχάνεται μια πιο ευρεία κάλυψη.

Επιπρόσθετα, πέρα από τους αισθητήρες, σε ένα IoT αγροτικό δίκτυο χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και άλλες έξυπνες συσκευές, όπως τα ρομπότ. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες ρομπότ που συναντά κανείς σε έξυπνα αγροτικά συστήματα είναι τα UAV και UGV οχήματα. Τα οχήματα αυτά, μπορεί να διαθέτουν πλήρη ή μερική αυτονομία και έχουν την ικανότητα να κινούνται στις εκτάσεις, είτε πετώντας πάνω από τις καλλιέργειες και τα αγροκτήματα (UAVs) είτε διανύοντας αποστάσεις στο έδαφος (UGVs). Οι συσκευές αυτές, διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες και μπορούν να πλησιάσουν σε πολύ κοντινή απόσταση το προς εξέταση αντικείμενο (ζώο ή φυτό). Παράλληλα, διαθέτουν ενσωματωμένο ένα σύστημα πλοήγησης (GPS), ώστε να ξέρουν προς τα που πρέπει να κινηθούν, καθώς και κάμερες, με σκοπό να αποφευχθεί η σύγκρουση με άλλα οχήματα, τα οποία κινούνται στις ίδιες εκτάσεις. Επιπλέον, έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν φορτίο, κάτι που τις καθιστά ικανές και για εργασίες όπως η άρδευση ή το ράντισμα. Οι συσκευές αυτές, μπορούν να λειτουργούν και σε σμήνος, καλύπτοντας με τον τρόπο αυτό, μεγαλύτερες εκτάσεις, την ίδια χρονική στιγμή και συλλέγοντας έτσι, περισσότερα δεδομένα. Όσο πιο πολλά είναι τα δεδομένα που συλλέγονται από μια έκταση, τόσο πιο αποτελεσματικές αποφάσεις μπορούν να ληφθούν, για την καλύτερη και αποδοτικότερη διαχείριση ενός αγροκτήματος. Οι παραπάνω κατηγορίες, καθώς και άλλες κατηγορίες ρομπότ που παρουσιάζονται στην παρούσα έρευνα, όπως τα ρομπότ συγκομιδής κ.ά., μας δείχνουν ότι η νέα αυτή τεχνολογία μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό την χειρωνακτική εργασία που απαιτείται σε επαγγέλματα, όπως η ενασχόληση με τη γη ή η εκτροφή των ζώων, αντικαθιστώντας τον ανθρώπινο παράγοντα. Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που

προσφέρουν, από τις συσκευές αυτές δεν λείπουν και οι προκλήσεις. Ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να διευθετηθεί, είναι η μικρής διάρκειας μπαταρία που διαθέτουν, γεγονός που τις αναγκάζει να διακόπτουν την εργασία τους, για να επιστρέψουν πίσω στον χώρο φόρτισής τους.

Όλες οι παραπάνω συσκευές δεν θα μπορούσαν παρά να συνδέονται μεταξύ τους, αλλά και με τον τελικό χρήστη, ασύρματα, καθώς η χρήση καλωδίωσης σε τόσο μεγάλες εκτάσεις, εκτός από πολυέξοδη είναι και σχεδόν ανέφικτη. Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τους αισθητήρες, πρέπει να ρέουν μέσα στο σύστημα και να παρουσιάζονται στον χειριστή του συστήματος, ώστε αυτός να λάβει τις απαραίτητες αποφάσεις για τη διαχείριση του αγροκτήματος. Για τον λόγο αυτό, προχωρήσαμε σε μια λεπτομερή περιγραφή της αρχιτεκτονικής ενός IoT δικτύου, καθώς και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με την αρχιτεκτονική του IoT δικτύου, περιγράφουμε ένα μοντέλο πέντε επιπέδων, το οποίο φαίνεται να μπορεί να ανταπεξέλθει πιο αποτελεσματικά στον τεράστιο όγκο δεδομένων που συγκεντρώνεται από τη χρήση των έξυπνων συσκευών, σε σχέση με το παλαιότερο μοντέλο των τριών επιπέδων. Από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία χρησιμοποιούνται σε έξυπνα αγροτικά συστήματα, δίνεται ιδιαίτερη βάση στη χρήση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς (5G). Το δίκτυο αυτό φαίνεται να προσφέρεται σαν λύση σε πολλά προβλήματα συνδεσιμότητας, που αντιμετωπίζουν οι αγροτικές περιοχές. Μερικά χαρακτηριστικά του όπως η ευρεία κάλυψη, η μειωμένη καθυστέρηση στη μεταφορά των δεδομένων, η ανεμπόδιστη συνδεσιμότητα κ.ά., καθιστούν τη χρήση αυτής της τεχνολογίας απαραίτητη, για τον τομέα των έξυπνων αγροτικών συστημάτων. Μέσω των έξυπνων εφαρμογών (smart applications) και την αξιοποίηση ενός 5G δικτύου, οι αγρότες θα έχουν πλέον τη δυνατότητα: **α)** να διατηρούν ψηφιακά αρχεία του αγροκτήματός τους, **β)** να παρακολουθούν τις συνθήκες του αγρού, των καλλιεργειών και των καιρικών φαινομένων μέσα από τα δεδομένα που αντλούνται από τους αισθητήρες, υπολογίζοντας ακόμα και τα μελλοντικά καιρικά φαινόμενα, **γ)** να λαμβάνουν πληροφορίες για την υγρασία του εδάφους και τα επίπεδα βροχής, **δ)** να παρακολουθούν τις συσκευές σε μία έξυπνη φάρμα (UAVs/UGVs, robots κ.λπ.) και **ε)** να αναλύουν τα δεδομένα που αυτές εξάγουν.

Η δυνατότητα της ανάλυσης των δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί από τις παραπάνω συσκευές, δίνεται στους χρήστες μέσα από την τεχνολογία των Μεγάλων

Δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία αυτή σχετίζεται με το τι έπεται να γίνει με τον τεράστιο όγκο των δεδομένων τα οποία έχουν συλλεχθεί. Τα δεδομένα αυτά, δεν είναι χρήσιμα για τον χρήστη στο σύνολό τους, αλλά ένα μεγάλο σύνολό τους μπορεί να αποτελείται από δεδομένα τα οποία προκαλούν «θόρυβο» στο σύστημα ή είναι απολύτως άχρηστα για τους σκοπούς για τους οποίους συλλέχτηκαν. Για το λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντικό να γίνεται ένα ξεκαθάρισμα στα δεδομένα που συλλέγονται. Συμπερασματικά λοιπόν, φαίνεται πως το πιο σημαντικό στοιχείο των δεδομένων, είναι η αξία που έχουν αυτά, για όλο το σύστημα. Η αξία των δεδομένων προκύπτει μέσα από μια σειρά διαδικασιών, από τις οποίες περνούν τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από τις IoT συσκευές. Οι διαδικασίες αυτές, οι οποίες γίνονται από τον άνθρωπο, δημιουργούν μια αλυσίδα, η οποία ονομάζεται «data value chain». Πρώτο κρίκο της αλυσίδας αποτελεί το στάδιο δημιουργίας των δεδομένων, συνεχίζοντας με τα στάδια της αφομοίωσης, της αποθήκευσης και της ανάλυσής τους. Ο τελευταίος κρίκος της αλυσίδας, δηλαδή η ανάλυση του συνόλου από δομημένα και ημι-δομημένα δεδομένα, έχει ως κέντρο του τον αγρότη. Μέσα από τη διαδικασία της ανάλυσης των δεδομένων, με τη χρήση προχωρημένων μεθόδων, προκύπτουν οι πληροφορίες τις οποίες λαμβάνει ο τελικός χρήστης. Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται με γεγονότα τα οποία συνέβησαν στο παρελθόν ή ακόμα και με γεγονότα τα οποία θα συμβούν στο μέλλον. Πρόκειται για μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία σε συνδυασμό με το IoT και το Cloud Computing, μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στους χρήστες και να βελτιώσει την ποιότητα της λήψης των αποφάσεων. Τέλος, η λήψη των αποφάσεων είναι μια διαδικασία, η οποία εκτελείται με τη χρήση αυτοματοποιημένων πληροφοριακών συστημάτων, τα οποία δρουν βοηθητικά ως προς αυτούς που είναι υπεύθυνοι για την λήψη των αποφάσεων (πχ. αγρότες), "καθοδηγώντας" τους να λάβουν τις πιο επωφελείς για κάθε περίπτωση, αποφάσεις.

Η τεχνολογία των Μεγάλων Δεδομένων δεν θα ήταν τόσο αποτελεσματική χωρίς την ύπαρξη του Cloud Computing (CC). Πιο συγκεκριμένα, οι δύο αυτές τεχνολογίες παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία ως αλληλένδετες και άμεσα εξαρτώμενες, η μία από την άλλη. Με τον όρο Cloud Computing, πολλοί ερευνητές περιγράφουν μια υποδομή, η οποία προσφέρει στην τεχνολογία των Μεγάλων Δεδομένων, τον αποθηκευτικό χώρο που αυτή χρειάζεται, ώστε να αποθηκευτεί όλος αυτός ο τεράστιος όγκος δεδομένων που αντλείται από ετερογενείς πηγές. Παράλληλα, η υποδομή του CC αναλαμβάνει και την επεξεργασία των δεδομένων. Το CC συνδέεται επίσης και με την τεχνολογία του edge

computing, καθώς σε αυτό, η επεξεργασία των πληροφοριών γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πηγή, στην οποία δημιουργήθηκαν. Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται οι υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία αυτή στους χρήστες και γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο Mobile Cloud Computing (MCC). Σύμφωνα με τις μελέτες, ο όρος αυτός περιγράφει τη μορφή που παίρνει το CC όταν ενσωματώνεται στις κινητές συσκευές. Μερικά πλεονεκτήματα αυτής της μορφής, είναι η δυνατότητα που παρέχει στους χρήστες να αποκτούν πληροφορίες και πρόσβαση στα δεδομένα, από οποιοδήποτε μέρος, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, ενώ παράλληλα, προσφέρει στις συσκευές στις οποίες ενσωματώνεται διάφορους πόρους, όπως υπολογιστική ισχύ, μνήμη, αποθηκευτικό χώρο κλπ. Βέβαια, παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία αυτή, υπάρχουν και κάποιες προκλήσεις που προκύπτουν από τη χρήση της, οι οποίες σχετίζονται με την ασφάλεια των πληροφοριών, την ιδιωτικότητα και την συνδεσιμότητα.

Σε συνέχεια των ΤΠΕ οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ένα έξυπνο αγρόκτημα, γίνεται αναφορά στην τεχνολογία της Τεχνητής Νοημοσύνης. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από διάφορους ορισμούς που έχουν περιγράψει τον όρο αυτό στη βιβλιογραφία, μπορεί κανείς να διαπιστώσει τις δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία αυτή στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα. Η χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης, η οποία στηρίζεται στα Μεγάλα Δεδομένα, μπορεί να οδηγήσει στην επίλυση πολλών ζητημάτων, τα οποία προκύπτουν από τη συγκέντρωση αυτού του τεράστιου όγκου δεδομένων, από τις IoT συσκευές. Βοηθά σε μεγάλο βαθμό την διαδικασία της λήψης των αποφάσεων, καθώς τα υπολογιστικά συστήματα στα οποία ενσωματώνεται, έχουν εκπαιδευτεί ώστε να λειτουργούν όπως ο ανθρώπινος νους, διαθέτοντας αυτονομία. Κάτι τέτοιο, οδηγεί σε μεγάλη εξοικονόμηση χρόνου και στη λήψη καλύτερων αποφάσεων, ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα. Τέλος, πρόκειται στην ουσία για την ενσωμάτωση πολλών τεχνολογιών όπως η μηχανική εκμάθηση (Machine Learning), η επεξεργασία της φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing) κ.ά. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δρουν συνδυαστικά, έτσι ώστε οι μηχανές να αποκτήσουν ευφυΐα και να επιτευχθεί η λήψη των κατάλληλων για το αγρόκτημα, αποφάσεων.

Η τελευταία από τις ΤΠΕ, η οποία παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία είναι αυτή του Blockchain. Η τεχνολογία αυτή, όπως συμπεραίνει κανείς από τη μελέτη της βιβλιογραφίας, παίζει ιδιαίτερο ρόλο, όχι τόσο στις διαδικασίες της πρωτογενούς παραγωγής, αλλά στα μετέπειτα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας και κυρίως στον

χώρο των συναλλαγών. Για την ακρίβεια, πρόκειται για μία τεχνολογία, η οποία αναπτύχθηκε ιδιαίτερα μετά την δημιουργία ενός κρυπτονομίσματος, του Bitcoin. Η ανάπτυξη αυτή, οφείλεται σε πολλά χαρακτηριστικά της παραπάνω τεχνολογίας, με βασικότερο την αποκεντρωμένη φύση της. Η τεχνολογία αυτή εξασφαλίζει την ασφάλεια των συναλλαγών που λαμβάνουν χώρα στο δίκτυο του Blockchain με τη χρήση τεχνικών κρυπτογραφίας, καθώς και τη διαφάνειά τους, αφού όποια συναλλαγή επικυρωθεί και καταχωρηθεί στα blocks, δεν μπορεί έπειτα να τροποποιηθεί ή να διαγραφεί. Αυτή η αμεταβλητότητά τους, αναπτύσσει την εμπιστοσύνη των χρηστών στο δίκτυο. Όλα τα blocks συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρό κώδικα και τοποθετούνται το ένα μετά το άλλο, με χρονολογική σειρά, σχηματίζοντας έτσι μια αλυσίδα από blocks. Στην παρούσα μελέτη κρίθηκε σημαντικό να αναφερθεί και η σχέση της τεχνολογίας blockchain με αυτή του IoT. Μέσα από τη μελέτη της βιβλιογραφίας, φαίνεται ότι αυτό το κράμα τεχνολογιών, το οποίο περιγράφεται με τη χρήση του όρου Blockchain-based IoT (BIIoT), μπορεί να φέρει επανάσταση στον τρόπο που λειτουργούν πολλές IoT συσκευές και να λύσει πολλά ζητήματα ιδιωτικότητας και ασφάλειας που προκύπτουν από τη χρήση τους. Στον αγροτικό τομέα και κτηνοτροφικό τομέα τώρα, το Blockchain φαίνεται ότι μπορεί να οδηγήσει στην αντικατάσταση παλιότερων μεθόδων αποθήκευσης, ταξινόμησης και διαμοιρασμού των αγροτικών δεδομένων ανάμεσα στα μέρη ενός δικτύου. Με την αξιοποίηση της τεχνολογίας αυτής, οι αγρότες έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν σε πραγματικό χρόνο όλα τα δεδομένα που χρειάζονται, από μία και μόνο πλατφόρμα. Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής, φαίνεται πως είναι ιδιαίτερα σημαντική στη διαχείριση των εφοδιαστικών αλυσίδων, χάρη στις ενισχυμένες ικανότητες εντοπισμού που διαθέτει, οι οποίες την καθιστούν κατάλληλη για τον εντοπισμό οποιασδήποτε ευπάθειας, οποιουδήποτε προϊόντος, σε οποιοδήποτε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας και αν βρίσκεται αυτό. Καταλαβαίνουμε δηλαδή την τεράστια προστασία που μπορεί να προσφέρει, εξασφαλίζοντας την ποιότητα των προϊόντων που κυκλοφορούν, από τον παραγωγό μέχρι και τον καταναλωτή. Η σημασία αυτή είναι ακόμα πιο μεγάλη, σε περιόδους όπως η παρούσα, με την εξάπλωση της πανδημίας του Covid-19 και την τεράστια ανάγκη που έχει το καταναλωτικό κοινό για ασφαλή και αξιόπιστα προϊόντα και πρώτες ύλες. Πολύ σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των προϊόντων μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα, παίζει και η τεχνολογία των έξυπνων συμβολαίων, η φύση της οποίας είναι παρόμοια με αυτή του Blockchain καθώς και τα έξυπνα συμβόλαια λειτουργούν μέσα σε αυτό.

Η σημασία που έχουν όλες οι παραπάνω τεχνολογίες, για τον αγροτικό και τον κτηνοτροφικό τομέα, φαίνεται και από την προσπάθεια πολλών χωρών ανά τον κόσμο, να ενσωματώσουν και να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες που προσφέρουν, στις δικές τους εκτάσεις. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται πολλά παραδείγματα από διάφορες χώρες, οι οποίες προχώρησαν σε νέα πρότζεκτ, κάνοντας βήματα προς την ψηφιοποίηση των αγροτικών διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά σε παραδείγματα από την Ευρώπη, την Ασία και την Αμερική, τα οποία αποδεικνύουν την στροφή που κάνουν οι κυβερνήσεις των κρατών, προς την διαμόρφωση μιας κοινής πολιτικής για την εφαρμογή τεχνικών έξυπνης γεωργίας, μέσα από την δημιουργία των παραπάνω πρότζεκτ.

Όμως, αν και τα παραπάνω πλεονεκτήματα είναι πολλά, η υιοθέτηση των νέων αυτών τεχνολογιών και η χρήση τους από τους γεωργούς, φαίνεται να είναι περιορισμένη. Πιθανή αιτία της μειωμένης υιοθέτησης είναι το μεγάλο κόστος για την εγκατάσταση των έξυπνων αγροτικών συστημάτων, οι μειωμένες ψηφιακές δεξιότητες των αγροτών, αλλά και οι κακές τηλεπικοινωνιακές υποδομές που υπάρχουν, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Επιπροσθέτως, πολύ σημαντικός παράγοντας για τη μη υιοθέτηση και αξιοποίηση ενός έξυπνου αγροτικού συστήματος, είναι κάποια προβλήματα ασφάλειας των πληροφοριών και των δεδομένων που εμφανίζονται στα συστήματα αυτά. Παραπάνω, αναφέρονται αναλυτικά περιπτώσεις επιθέσεων στα έξυπνα αγροτικά συστήματα, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε διαρροή των δεδομένων των χρηστών ή ακόμα και σε ευρύτερα φαινόμενα, που μπορούν να αποβούν καταστροφικά για τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και τις φάρμες, όπως ο αγρο-εκφοβισμός. Τέλος, αναφέρονται παραδείγματα λύσεων, οι οποίες αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία. Οι περισσότεροι ερευνητές, ως λύση στα παραπάνω προβλήματα ασφαλείας, φαίνεται να προτείνουν τη χρήση της τεχνολογίας Blockchain, η οποία λόγω όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών της, δείχνει ότι παρουσιάζει περισσότερες εγγυήσεις ασφαλείας, σε σχέση με άλλες τεχνικές προστασίας.

7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Με σκοπό να επεκταθεί η εφαρμογή των παραπάνω καινοτόμων τεχνολογιών στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα και να υιοθετηθούν από τους παραγωγούς οι τεχνικές που προσφέρει το Smart Farming, είναι πολύ σημαντικό τα έξυπνα αγροτικά συστήματα να αποπνέουν εμπιστοσύνη στους αγρότες. Η εμπιστοσύνη αυτή θα αναπτυχθεί με την κυκλοφορία στην αγορά, συστημάτων τα οποία προσφέρουν ταχύτητα, αξιοπιστία και εγγυήσεις προστασίας της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας των δεδομένων των χρηστών.

Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα IoT που αναπτύσσονται πρέπει να λειτουργούν με ασφάλεια, διασφαλίζοντας έτσι την προστασία των δεδομένων απέναντι σε τεχνικές πλαστογραφίας, αλλοίωσης και αθέμιτης πρόσβασης. Το software και το hardware που χρησιμοποιείται στα συστήματα IoT πρέπει να είναι απαραβίαστα και τα κλειδιά που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές πλαστογραφίας να ανανεώνονται συχνά. Όπως προαναφέραμε, στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως λύση στα παραπάνω προβλήματα ασφαλείας, η χρήση της τεχνολογίας Blockchain. Παρόλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η παραπάνω τεχνολογία, δεν λείπουν από αυτή οι προκλήσεις. Μελλοντικές έρευνες πρέπει να επικεντρωθούν στη λύση των παραπάνω προκλήσεων. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να δοθεί έμφαση στη δημιουργία νέας νομοθεσίας και ή την αναθεώρηση κανόνων σε κάθε χώρα, ώστε να μετριαστεί η κεντρική διαχείριση. Παράλληλα, πρέπει να αναπτυχθεί ένα συγκεκριμένο λογισμικό, στο οποίο θα συνδέονται τεχνολογίες όπως το Blockchain και το IoT, ώστε να μην απαιτείται η δημιουργία λογισμικού από κάθε εταιρία ξεχωριστά. Τέλος, οι τεχνολογίες αυτές πρέπει να έχουν διάρκεια και να μην μεταβάλλονται συνεχώς, ώστε να μπορέσουν οι καταναλωτές να κατανοήσουν τις λειτουργίες που προσφέρουν οι παραπάνω τεχνολογίες και έτσι να αναπτυχθεί η εμπιστοσύνη των καταναλωτών σε αυτές.

8 . ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1 Αρθρογραφία

1. Αμπατζίδης Κυριάκος (2019), «ΟΙ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΩΝ ΓΕΩΡΓΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΥΠΙΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ», Διπλωματική Εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στα Πληροφοριακά Συστήματα, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.
2. Γεωργούλη Αικατερίνη (2015), «*Τεχνητή Νοημοσύνη, Μια εισαγωγική προσέγγιση*», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, σελ.12.
3. Δρ. Ιωάννης Παναγόπουλος (2008), “*Wireless Sensor Networks (WSN)*”, Τμήμα Ηλ. Μηχανικών και Μηχ. Η/Υ ΕΜΠ - Εργαστήριο Υπολογιστικών Συστημάτων.
4. A. Bechar, C. Vigneault (2016), “*Agricultural robots for field operations: Concepts and components*”, Biosystems Engineering, Vol. 149, Pages 94-111. [DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014]
5. A. Boursianis, Maria S. Papadopoulou, Panagiotis Diamantoulakis, Aglaia Liopa-Tsakalidi, Pantelis Barouchas, George Salahas, George Karagiannidis, Shaohua Wan, Sotirios K. Goudos (2020), “*Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review*”, Internet of Things; Engineering Cyber Physical Human Systems. [DOI: 10.1016/j.iot.2020.100187]
6. A. Monteiro, S. Santos, P. Gonçalves (2021), “*Precision Agriculture for Crop and Livestock Farming—Brief Review*”, Animals. [DOI: 10.3390/ani1108234]
7. A. Rettore de Araujo Zanella, Eduardo da Silva, Luiz Carlos Pessoa Albini (2020), “*Security challenges to smart agriculture: Current state, key issues, and future directions*”, Array, Vol. 8. [DOI:10.1016/j.array.2020.100048]
8. A. Shilpa, V. Muneeswaran, D. D. K. Rathinam, G. A. Santhiya and J. Sherin, “Exploring the Benefits of Sensors in Internet of Everything (IoE)”, “2019 5th

International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)”, pp. 510-514. [DOI:10.1109/ICACCS.2019.8728530]

9. A. S. Patil, R. Hamza, A. Hassan, N. Jiang, H. Yan, J. Li (2020), “*Efficient privacy-preserving authentication protocol using PUFs with blockchain smart contracts*”, Computers & Security, Volume 97. [DOI: 10.1016/j.cose.2020.101958]
10. A. Vangala, A. K. Sutrala, A. K. Das and M. Jo (2021), “*Smart Contract-Based Blockchain-Envisioned Authentication Scheme for Smart Farming*”, in IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 13, pp. 10792-10806. [DOI:10.1109/JIOT.2021.3050676]
11. Barbedo, Jayme & Koenigkan, Luciano (2018), “*Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle*”, Outlook on agriculture, Pages 214-222. [DOI: 10.1177/0030727018781876]
12. C. Bahlo, P. Dahlhaus, H. Thompson, M. Trotter (2019), “The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 156, Pages 459-466. [DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.007]
13. Bhabendu Kumar Mohanta, Debasish Jena, Utkalika Satapathy, Srikanta Patnaik (2020), “*Survey on IoT security: Challenges and solution using machine learning, artificial intelligence and blockchain technology*”, Internet of Things, Vol.11. [DOI: 10.1016/j.iot.2020.100227]
14. C. Chen, W. Zhu, T. Norton (2021), “*Behaviour recognition of pigs and cattle: Journey from computer vision to deep learning*”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 187. [DOI: 10.1016/j.compag.2021.106255]
15. C. E. Turcu, C. O. Turcu (2013), “*Internet of Things as Key Enabler for Sustainable Healthcare Delivery*”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol.73, Pages 251-256. [DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.02.049]

16. C. Lytridis, V. Kaburlasos, T. Pachidis, M. Manios, E. Vrochidou, T. Kalampokas, S. Chatzistamatis (2021), “*An Overview of Cooperative Robotics in Agriculture*”, Agronomy. [DOI: 10.3390/agronomy11091818]
17. C. Snijders , Uwe Matzat , Ulf-Dietrich Reips (2021), “*Big Data*”: *Big Gaps of Knowledge in the Field of Internet Science*”, International Journal of Internet Science 2012.
18. C. Stergiou, A. P. Plageras, K. E. Psannis, B. B. Gupta (2020), “*Secure Machine Learning scenario from Big Data in Cloud Computing via Internet of Things network*”, Springer, Handbook of Computer Networks and Cyber Security: Principles and Paradigms, Multimedia Systems and Applications, pp. 525-554. [DOI: 10.1007/978-3-030-22277-2_21]
19. C. Stergiou, K. E. Psannis (2017), “*Algorithms for Big Data in Advanced Communication Systems and Cloud Computing*”, in Proceedings of 19th IEEE Conference on Business Informatics 2017 (CBI2017), Doctoral Consortium. Thessaloniki, Greece. [DOI: 10.1109/CBI.2017.28]
20. David J. Langley, Jenny van Doorn, Irene C.L. Ng, Stefan Stieglitz, Alexander Lazovik, Albert Boonstra (2021), “The Internet of Everything: Smart things and their impact on business models”, Journal of Business Research, Vol. 122, Pages 853-863. [DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.12.035]
21. Day Bill and Nick Sigrimis (2020), “*An invited editorial interview with Professor Nick Sigrimis, Agricultural University of Athens, on Smart Agriculture and the digital revolution.*” Biosystems Engineering 198, pp. 350-354.
22. Demchenko Y., Ngo C., Membrey P. (2013), “*Architecture framework and components for the big data ecosystem*”, SystNetwEng; 1:1–19.
23. Devi Devapal (2020), “*Smart Agro Farm Solar Powered Soil and Weather Monitoring System for Farmers*”, Materials Today: Proceedings, Volume 24, Part 3, Pages 1843-1854. [DOI: 10.1016/j.matpr.2020.03.609]

24. Dieisson Pivoto, Bradford Barham, Paulo Dabdab Waquil, Cristian Rogério Foguesatto, Vitor Francisco Dalla Corte, Debin Zhang, Edson Talamini (2019), “*Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers*”, International Food and Agribusiness Management Review, Vol. 22 Issue 4, 2019. [DOI: 10.22434/IFAMR2018.0086]
25. Elsayed Said Mohamed, AA. Belal, Sameh Kotb Abd-Elmabod, Mohammed A El-Shirbeny, A. Gad, Mohamed B Zahran (2021), “*Smart farming for improving agricultural management*”, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Vol. 24, Issue 3, Part 2, Pages 971-981. [DOI:10.1016/j.ejrs.2021.08.007]
26. Evangelos D. Lioutas, Chrysanthi Charatsari, Giuseppe La Rocca, Marcello De Rosa (2019), “*Key questions on the use of big data in farming: An activity theory approach*”, NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, Vol. 90–91. [DOI: 10.1016/j.njas.2019.04.003]
27. Fengnian Zhao, Jianwei He, Xunjia Li, Yunpeng Bai, Yibin Ying, Jianfeng Ping (2020), “*Smart plant-wearable biosensor for in-situ pesticide analysis*”, Biosensors and Bioelectronics, Vol. 170. [DOI: 10.1016/j.bios.2020.112636]
28. Gopaiah Talari, Enda Cummins, Gronan McNamara, John O’ Brien (2021), “*State of the art review of Big Data and web-based Decision Support Systems (DSS) for food safety risk assessment with respect to climate change*”, Trends in Food Science & Technology. [DOI: 10.1016/j.tifs.2021.08.032]
29. Jake Astill, Rozita A. Dara, Evan D.G. Fraser, Bruce Roberts, Shayan Sharif (2020), “*Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things*”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 170. [DOI: 10.1016/j.compag.2020.105291]
30. J.A. Stankovic (2014), “*Research Directions for the Internet of Things*” in IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, pp. 3-9. [DOI: 10.1109/JIOT.2014.2312291]

31. J. Bao, Q. Xie (2022), “*Artificial intelligence in animal farming: A systematic literature review*”, Journal of Cleaner Production, Vol. 331. [DOI:10.1016/j.jclepro.2021.129956]
32. J. Glova, T. Sabol, V. Vajda (2014), “*Business Models for the Internet of Things Environment*”, Procedia Economics and Finance, Volume 15, Pages 1122-1129. [DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00566-8]
33. J. Kim, S. Kim, C. Ju and H. I. Son (2019), “*Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications*”, in *IEEE Access*, vol.7, pp. 105100-105115. [DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2932119]
34. K. E. Psannis, C. Stergiou, B. B. Gupta, “Advanced Media-based Smart Big Data on Intelligent Cloud Systems”, *IEEE Transaction on Sustainable Computing*, vol. 4, Issue: 1, pp. 77-87, January-March 2019. [DOI: 10.1109/TSUSC.2018.2817043]
35. Kritikos, M. (2017), “*Precision agriculture in Europe: legal, social and ethical considerations*”, Science and Technology Options Assessment, Scientific Foresight Unit (STOA) of the European Parliament, Brussels PE 603.207.
36. L. Guevara, F. Auat Cheein (2020), “*The Role of 5G Technologies: Challenges in Smart Cities and Intelligent Transportation Systems*”. [DOI: 10.3390/su12166469]

37. L. Hang, I. Ullah, Do-Hyeun Kim (2020), “*A secure fish farm platform based on blockchain for agriculture data integrity*”, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 170. [DOI: 10.1016/j.compag.2020.105251]
38. L. Klerkx, E. Jakku, P. Labarthe (2019), “*A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda*”, *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, Vol. 90–91. [DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315]
39. L. Long , G. Xinge , L. Chengkuo (2021), “*Promoting smart cities into the 5G era with multi-field Internet of Things (IoT) applications powered with advanced mechanical energy harvesters*”, *Nano Energy*, Vol. 88. [DOI: 10.1016/j.nanoen.2021.106304]
40. L. Stergiou, K. E. Psannis, B. B. Gupta (2020), “*InFeMo: Flexible Big Data management through a federated Cloud system*”, *ACM Transactions on Internet Technology*, In Press. [DOI: 10.1145/3426972]
41. M. Cicioğlu, Ali Çalhan (2021), “*Smart agriculture with internet of things in cornfields*”, *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 90. [DOI:10.1016/j.compeleceng.2021.106982]
42. M. Mobasshir (2020), “*A smart farming concept based on smart embedded electronics, internet of things and wireless sensor network*”, *Internet of Things*, Vol.9. [DOI: 10.1016/j.iot.2020.100161]
43. M. Muntjir, M. Rahul, H. Alhumiany (2017), “*An Analysis of Internet of Things(IoT): Novel Architectures, Modern Applications, Security Aspects and Future Scope with Latest Case Studies*”, *Building Services Engineering Research and Technology*.
44. M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, K. Abid and M. A. Naeem (2019), “*A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming,*” in *IEEE Access*, vol.7, pp.156237-156271. [DOI:10.1109/ACCESS.2019.2949703]

45. M. Torky, A. E. Hassanein (2020), "Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: Analysis, opportunities, and challenges", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 178. [DOI: 10.1016/j.compag.2020.105476]
46. M. Zhang, X. Wang, H. Feng, Q. Huang, X. Xiao, X. Zhang (2021), "*Wearable Internet of Things enabled precision livestock farming in smart farms: A review of technical solutions for precise perception, biocompatibility, and sustainability monitoring*", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 312. [DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127712]
47. N. Abdullah et al. (2021), "*Towards Smart Agriculture Monitoring Using Fuzzy Systems*", in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4097-4111. [DOI:10.1109/ACCESS.2020.3041597]
48. Naik N. (2007), "*Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP*", in *Proc. IEEE Int. Syst. Eng. Symp. (ISSE)*, pp. 1-7. [DOI:10.1109/SYSENG.2017.8088251]
49. Nassar Joanna, Khan Sherjeel, Villalva Diego, Nour Maha, Hussain Muhammad (2018), "Compliant plant wearables for localized microclimate and plant growth monitoring", *npj Flexible Electronics*. [DOI: 10.1038/s41528-018-0039-8]
50. P. Plageras, C. Stergiou, K.E. Psannis, G. Kokkonis, Y. Ishibashi, Byung-Gyu Kim, Brij Gupta (2017), "*Efficient Large-Scale Medical Data (eHealth Big Data) Analytics in Internet of Things*", in *Proceedings of 19th IEEE International Conference on Business Informatics (CBI'17), International Workshop on the Internet of Things and Smart Services (ITSS2017)*, 24-26 July 2017, Thessaloniki, Greece. [DOI: 10.1109/CBI.2017.3]
51. P. Plageras, K. E. Psannis (2017), "*Algorithms for Big Data Delivery over the Internet of Things*", in *Proceedings of 19th IEEE Conference on Business Informatics 2017 (CBI'2017)*, Doctoral Consortium, 24-26 July 2017, Thessaloniki, Greece. [DOI:10.1109/CBI.2017.27]

52. P. Radoglou - Grammatikis, Panagiotis Sarigiannidis, Thomas Lagkas, Ioannis Moscholios (2020), “*A compilation of UAV applications for precision agriculture*”, Computer Networks, Vol.172. [DOI: 10.1016/j.comnet.2020.107148]
53. Qazi Mudassar Ilyas, Muneer Ahmad (2020), “*Smart Farming: An Enhanced Pursuit of Sustainable Remote Livestock Tracking and Geofencing Using IoT and GPRS*”, Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2020, Article ID 6660733, 12 pages. [DOI:10.1155/2020/6660733]
54. Raj Kumar Goel, Chandra Shekhar Yadav, Shweta Vishnoi, Ritesh Rastogi (2021), “*Smart agriculture – Urgent need of the day in developing countries*”, Sustainable Computing: Informatics and Systems, Vol. 30. [DOI: 10.1016/j.suscom.2021.100512]
55. Randhir Kumar, Prabhat Kumar, Rakesh Tripathi, Govind P. Gupta, Thippa Reddy Gadekallu, Gautam Srivastava (2021), “*SP2F: A secured privacy-preserving framework for smart agricultural Unmanned Aerial Vehicles*”, Computer Networks, Volume 187. [DOI: 10.1016/j.comnet.2021.107819]
56. Rakhra Manik, Ramandeep Singh (2021), “*Smart data in innovative farming*”, Materials Today: Proceedings. [DOI: 10.1016/j.matpr.2021.01.237]
57. Randhir Kumar, Prabhat Kumar, Rakesh Tripathi, Govind P. Gupta, Thippa Reddy Gadekallu, Gautam Srivastava (2021), “*SP2F: A secured privacy-preserving framework for smart agricultural Unmanned Aerial Vehicles, Computer Networks*”, Vol. 187. [DOI: 10.1016/j.comnet.2021.107819]
58. R. Tsenkova, K. Toyoda (2001), “*Artificial Inteligence in Dairy Farming: Near Infrared Approach*”, IFAC Proceedings Volumes, Vol. 34, Issue 28, Pages 167-172. [DOI: 10.1016/S1474-6670(17)32843-4]
59. Reddy N., Vishnu A., Reddy A., Pranavadithya S., Kumar J. Jagadesh (2016), “*A critical review on agricultural robots*”, International Association of Engineering and Management Education, Pages 183-188.

60. Sanika Ratnaparkhi, Suvaid Khan, Chandrakala Arya, Shailesh Khapre, Prabhishkek Singh, Manoj Diwakar, Achyut Shankar (2020), "*Smart agriculture sensors in IOT: A review*", *Materials Today: Proceedings*. [DOI: 10.1016/j.matpr.2020.11.138]
61. S. Pitla, S. Bajwa, S. Bhusal, T. Brumm, T. Brown-Brandl, D. Buckmaster, I. Condotta, J. Fulton, T. Janzen, M. Karkee, M. Lopez, R. Moorhead, M. Sama, L. Schumacher, S. Shearer, J. Thomasson (2020), "*Ground and Aerial Robots for Agricultural Production: Opportunities and Challenges*".
62. Saha A., Lee Y.W., Hwang Y., Psannis K., Kim B.G. (2018), "*Context-aware Block-based Motion Estimation Algorithm for Multimedia Internet of Things (IoT) Platform*", *Personal and Ubiquitous Computing*. [DOI: 10.1007/s00779-017-1058-5]
63. Sarwar Farah & Griffin, Anthony & Rehman, Saeed & Pasang, Timotius (2021), "*Detecting sheep in UAV images. Computers and Electronics in Agriculture*" [DOI: 10.1016/j.compag.2021.106219]
64. S. Chaikhamwang, C. Jantahirakowit, S. Fongmanee (2021), "*IoT for Smart Farm: A Case Study of the Fertilizer Mixer Prototype*", *2021 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering*, pp.136-139. [DOI:10.1109/ECTIDAMTNCN51128.2021.9425708]
65. Shatoshi Nakamoto (2008), "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*".
66. S. I. Hassan, M. M. Alam, U. Illahi, M. A. Al Ghamdi, S. H. Almotiri and M. M. Su'ud (2021), "*A Systematic Review on Monitoring and Advanced Control Strategies in Smart Agriculture*", in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 32517-32548. [DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3057865]

67. Sjaak Wolfert, Lan Ge, Cor Verdouw, Marc-Jeroen Bogaardt (2017), "*Big Data in Smart Farming – A review*", *Agricultural Systems*, Vol. 153, Pages 69-80. [DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023]
68. Stergiou K., K. E. Psannis, B. Gupta (2021), "*IoT-based Big Data secure management in the Fog over a 6G Wireless Network*", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, issue: 7, pp. 5164 – 5171. [DOI: 10.1109/JIOT.2020.3033131]
69. Stergiou K., K. E. Psannis, B. Gupta, Y. Ishibashi (2018), "*Security, Privacy & Efficiency of Sustainable Cloud Computing for Big Data &IoT*", *Sustainable Computing, Informatics and Systems*, vol. 19, pp. 174-184. [DOI: 10.1016/j.suscom.2018.06.003]
70. Stergiou K., K. E. Psannis (2017), "*Efficient and Secure Big Data delivery in Cloud Computing*", *Springer, Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, issue: 21, pp. 22803–22822. [DOI: 10.1007/s11042-017-4590-4]
71. Stergiou K., K. E. Psannis, A. P. Plageras, Y. Ishibashi, B.-G. Kim (2018), "*Algorithms for efficient digital media transmission over IoT and cloud networking*", *Korea Science, Journal of Multimedia Information System*, vol. 5, issue: 1, pp. 27-34. [DOI:10.9717/JMIS.2018.5.1.27]
72. Sylwia Gierej (2017), "*The Framework of Business Model in the Context of Industrial Internet of Things*", *Procedia Engineering*, Vol. 182, Pages 206-212. [DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.166]
73. Tharindu Madushan Bandara (2020), "*Smart farm and monitoring system for measuring the Environmental condition using wireless sensor network – IOT Technology in farming*", in 5th IEEE International Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications (CITISIA). [DOI: 10.1109/CITISIA50690.2020.9371830]
74. Trendov NM, Varas S, Zeng M. (2018), "*Digital technologies in agriculture and rural areas-status report*", *Tech. Rep., Nations*.

75. Trilles Oliver Sergi, González-Pérez Alberto, Huerta, Joaquín (2018), “*A Comprehensive IoT Node Proposal Using Open Hardware. A Smart Farming Use Case to Monitor Vineyards*”, Electronics. [DOI: 10.3390/electronics7120419]
76. U.H. Muneeb, H.R. Mubashir, C. Jinjun (2019), “*Privacy preservation in blockchain based IoT systems: Integration issues, prospects, challenges, and future research directions*”, Future Generation Computer Systems, Vol. 97, pp. 512-529. [DOI: 10.1016/j.future.2019.02.060]
77. Vasileios A. Memos, Georgios Minopoulos, Konstantinos Stergiou, and Kostas E.Psannis (2019), “*The Impact of IoT and 5G Technology in Telesurgery: Benefits & Limitations*”, New Technologies in Health: Medical, Legal and Ethical Issues, Medical Law and Bioethics Study Laboratory AUTH, Thessaloniki, Greece, February 2021.
78. Vasileios A. Memos, Georgios Minopoulos, Konstantinos Stergiou, and Kostas E.Psannis (2021), “*Internet-of-Things-Enabled Infrastructure Against Infectious Diseases*”, Vol. 4, No. 2, pp. 20-25, IEEE Internet of Things Magazine. [DOI: 10.1109/IOTM.0001.2100023]
79. Vasileios A. Memos, K.E. Psannis (2015), “*A new methodology based on cloud computing for efficient virus detection*”, In K. Elleithy & T. Sobh (Eds.), New Trends in Networking, Computing, E-Learning, Systems Sciences, and Engineering, pp. 37–47. [DOI: 10.1007/978-3-319-06764-3_6]
80. Vasileios A. Memos, Kostas E. Psannis, Sofoklis Kyriazakos, Sotirios Goudos (2019), “*An Enhanced and Secure Cloud Infrastructure for e-Health Data Transmission*”, Wireless Personal Communications (WIRE), Springer. [DOI: 10.1007/s11277-019-06874-1]
81. Vasileios Moysiadis, Panagiotis Sarigiannidis, Vasileios Vitsas, Adel Khelifi (2021), “*Smart Farming in Europe*”, Computer Science Review, Vol. 39. [DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100345]
82. Vinay Kellengere Shankarnarayan, Hombaliah Ramakrishna (2020), “*Paradigm change in Indian agricultural practices using Big Data: Challenges and*

- opportunities from field to plate*”, Information Processing in Agriculture, Vol. 7, Issue 3, Pp 355-368. [DOI: 10.1016/j.inpa.2020.01.001]
83. Victor E. Cabrera, J.A Barrientos-Blanco, H. Delgado, L. Fadul-Pacheco (2019), “*Symposium review: Real-time continuous decision making using big data on dairy farms*”, Journal of Dairy Science. [DOI: 10.3168/jds.2019-17145]
84. Victor E. Cabrera, Liliana Fadul-Pacheco (2021), “*Future of dairy farming from the Dairy Brain perspective: Data integration, analytics, and applications*”, International Dairy Journal, Volume 121. [DOI: 10.1016/j.idairyj.2021.105069]
85. Xiaohui Li, Li Xing (2019), “*Use of Unmanned Aerial Vehicles for Livestock Monitoring based on Streaming K-Means Clustering*”, This work was supported by the Australian Research Council., IFAC-Papers On Line, Vol. 52, Issue 30, Pp 324-329. [DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.12.560]
86. Yau Hei Chu, Chun Leung Ho, Yoon Jo Lee, Boyang Li (2021), “*Development of a Solar-Powered Unmanned Aerial Vehicle for Extended Flight Endurance*”. [DOI: [10.3390/drones5020044](https://doi.org/10.3390/drones5020044)]
87. Yosra Hajjaji, Wadii Boulila, Imed Riadh Farah, Imed Romdhani, Amir Hussain (2020), “*Big data and IoT-based applications in smart environments: A systematic review*”, Computer Science Review, Vol. 39. [DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100318]
88. Zakria Qadir, Fahim Ullah, Hafiz Suliman Munawar, Fadi Al-Turjman (2021), “*Addressing disasters in smart cities through UAVs path planning and 5G communications: A systematic review*”, Computer Communications, Vol. 168, Pp 114-135. [DOI: 10.1016/j.comcom.2021.01.003]
89. Z. Ren, X. Liu, R. Ye and T. Zhang (2017), “*Security and privacy on internet of things*”, 7th IEEE International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), pp.140-144. [DOI:10.1109/ICEIEC.2017.8076530]

8.2 e- Books

1. C. Stergiou, A. P. Plageras, K. E. Psannis, B. B. Gupta (2020) “*Secure Machine Learning scenario from Big Data in Cloud Computing via Internet of Things network*”, Springer, Handbook of Computer Networks and Cyber Security: Principles and Paradigms, Multimedia Systems and Applications, pp. 525-554. [DOI: 10.1007/978-3-030-22277-2_21]
2. Deepak Kumar Sharma, Ajay Kumar Kaushik, Aarti Goel, Saakshi Bhargava (2020), “*Internet of Things and Blockchain: Integration, Need, Challenges, Applications, and Future Scope*”, Chapter 11 - Handbook of Research on Blockchain Technology, Academic Press, Pages 271-294. [DOI: 10.1016/B978-0-12-819816-2.00011-3]
3. Guido Fastellini, Calogero Schillaci (2020), “Precision farming and IoT case studies across the world”, Chapter 7- Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming, Academic Press, Pages 331-415. [DOI: 10.1016/B978-0-12-818373-1.00007-X]
4. KPMG Global China Practice (2016), “*The 13th Five-Year Plan- China’s transformation and integration with the world economy*”
5. Lake, J.V., Bock, G.R., Goode, J.A., 1997, “*Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality*” John Wiley & Sons, Chichester.
6. Wang Wen (2016), “*Introductory Chapter: What is Chemical Sensor?*”. [DOI: 10.5772/64626]

8.3 Ιστότοποι

1. <https://www.agenso.gr/el/projects/farmsustainabl-el/>
2. <https://agreen-project.eu/el/2021/03/06/the-climate-smart-agriculture-is-at-the-focus-of-a-new-international-project-agreen-launched-in-june-2020-under-the-bsb-programme-2014-2020-gr/>
3. <https://agriculture.gouv.fr/French-ministryagriculture-and-food>

4. <https://www.agrocares.com/2020/10/30/what-is-the-difference-between-precision-digital-and-smart-farming/>
5. <http://www.agrohunter.gr/el/uptonow>
6. <https://www.asiablockchainreview.com/tea-board-of-india-to-adopt-blockchain-technology-for-tea-traceability/>
7. <https://www.c-gaia.gr/databio-26/>
8. <https://www.c-gaia.gr/>
9. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
10. <https://dairybrain.wisc.edu/>
11. https://e.huawei.com/en/publications/global/ict_insights/201806041630/ecosystem/201808170841
12. <https://www.geeksforgeeks.org/5-layer-architecture-of-internet-of-things/>
13. <https://leb.fbi.gov/articles/featured-articles/agroterrorism-threats-to-americas-economy-and-food-supply>
14. <https://www.neuropublic.gr/ypiresies/eyfyis-georgia-gaiasense/>
15. <https://project-mars.eu/aim/>
16. <https://www.researchobject.org/initiative/data-fairport-initiative/>
17. <https://www.postscapes.com/agriculture-robots/#autosteering>
18. <https://techblog.comsoc.org/2020/02/20/ciscos-annual-internet-report-2018-2023-forecasts-huge-growth-for-iot-and-m2m-tepid-growth-for-mobile/>
19. <https://www.smart-akis.com/index.php/el/network-el/what-is-smart-farming-el/>