



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**

**Πτυχιακή εργασία**

*«Αξιοποίηση δεδομένων από αισθητήρες με την εφαρμογή του διαδικτύου των πραγμάτων(IOT) στην γεωργία»*



**Φοιτητές:**

Στήθου Ευθαλία-Εμμανουέλα, Α.Μ:12282

Κόκκορη Μαρία, Α.Μ: 12194

**Επιβλέπουσα καθηγήτρια, Καυγά Αγγελική**

ΑΜΑΛΙΑΔΑ, 2021

# Περιεχόμενα

Περιεχόμενα .....	2
Κατάλογος εικόνων .....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
Internet of things .....	13
Ιστορική αναδρομή .....	13
Βασικές εφαρμογές.....	13
Έξυπνες πόλεις .....	13
Έξυπνα σπίτια και κτήρια .....	14
Έξυπνο σύστημα κυκλοφορίας (Smart Traffic System) .....	14
Έξυπνη υγειονομική περίθαλψη .....	14
Φυσικές καταστροφές και έξυπνο περιβάλλον .....	15
Έξυπνη γεωργία .....	15
Βασικές τεχνολογίες .....	16
Radio frequency identification (RFID) .....	16
Wireless sensor networks (WSN) .....	16
Cloud computing .....	16
Χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην γεωργία.....	17
Εφαρμογές .....	18
Έξυπνα θερμοκήπια .....	19
Monitoring Livestock.....	19
Παρακολούθηση των κλιματολογικών συνθηκών .....	20
Μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Drones).....	20
Καλλιέργεια ακριβείας με αισθητήρες.....	21

Εφαρμογή μινι-program wechat και wi-fi soc στο γεωργικό IOT .....	21
Δειγματοληψία και χαρτογράφηση εδάφους.....	23
Άρδευση .....	25
Λίπασμα .....	26
Διαχείριση ασθενειών .....	28
Παρακολούθηση, προβλέψεις και συλλογή.....	30
Προηγμένες γεωργικές πρακτικές.....	32
Κάθετη γεωργία.....	33
Υδροπονική .....	34
Φαινότυπος.....	35
Εξοπλισμός και τεχνολογίες.....	37
Ασύρματοι αισθητήρες.....	39
Ακουστικοί αισθητήρες.....	39
Οπτικοί αισθητήρες.....	40
Αισθητήρες υπερηχητικού εύρους (ULTRASONIC RANGING SENSORS) .....	40
Οπτοηλεκτρονικοί αισθητήρες.....	41
Αισθητήρες ροής αέρα .....	41
Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες .....	41
Ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες.....	42
Μηχανικοί αισθητήρες .....	42
Αισθητήρες μαζικής ροής .....	42
Αισθητήρες eddy covariance.....	43
Αισθητήρες soft water level-based (SWBL).....	43
Ανίχνευση φωτισμού (LiDAR: LIGHT DETECTION AND RANGING) .....	43
Αισθητήρες τηλεματικής.....	44
Αισθητήρες αποστάσεως.....	44
Συμπεράσματα.....	46

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Βασικοί μοχλοί της τεχνολογίας στη βιομηχανία γεωργίας8

Εικόνα 2. Σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή τεχνολογίας για έξυπνη γεωργία11

Εικόνα 3. Γενική Ιεραρχία Πιθανών Εφαρμογών, Υπηρεσιών και Αισθητήρων για Έξυπνη Γεωργία18

Εικόνα 4. Ορισμένες βασικές εισροές, διαδικασίες που εμπλέκονται και πιθανές εκροές της έξυπνης γεωργίας28

Εικόνα 5. Ένα δίκτυο αγροτικών περιοχών με βάση το IoT (FAN)31

Εικόνα 6. Η Διαδικασία του Φαινοτυπικού36

Εικόνα 7. Επιλεγμένα προϊόντα βασισμένα στο IoT για έξυπνη γεωργία38

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρά την αντίληψη που μπορεί να έχουν οι άνθρωποι σχετικά με τη γεωργική διαδικασία, η πραγματικότητα είναι ότι η σημερινή γεωργική βιομηχανία είναι επικεντρωμένη στα δεδομένα, ακριβής και πιο “smart” από ποτέ. Η ταχεία εμφάνιση των τεχνολογιών που βασίζονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) επανασχεδιάσε σχεδόν κάθε κλάδο, συμπεριλαμβανομένης της έξυπνης γεωργίας που μετέφερε τη βιομηχανία από στατιστικές σε ποσοτικές προσεγγίσεις. Τέτοιες επαναστατικές αλλαγές τροποποιούν τις υπάρχουσες γεωργικές μεθόδους και δημιουργούν νέες ευκαιρίες σε μια σειρά προκλήσεων. Η παρούσα εργασία υπογραμμίζει τις δυνατότητες των ασύρματων αισθητήρων και του IoT στη γεωργία, καθώς και τις προκλήσεις που αναμένεται να αντιμετωπιστούν κατά την ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας στις παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές. Οι συσκευές IoT και οι τεχνικές επικοινωνίας που σχετίζονται με ασύρματους αισθητήρες που συναντώνται σε γεωργικές εφαρμογές αναλύονται λεπτομερώς. Ακόμα, μελετάται ποιοι αισθητήρες είναι διαθέσιμοι για συγκεκριμένη γεωργική εφαρμογή, όπως προετοιμασία εδάφους, κατάσταση καλλιέργειας, άρδευση, εντοπισμός εντόμων και παρασίτων. Επιπλέον, ερευνάται η τεχνολογία που βοηθά τους καλλιεργητές σε όλα τα στάδια της συγκομιδής, από τη σπορά έως τη συγκομιδή, τη συσκευασία και τη μεταφορά.

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας μελετάται η χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων για την παρακολούθηση των καλλιεργειών και άλλες εφαρμογές, όπως η βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών. Οι υπερσύγχρονες αρχιτεκτονικές και οι πλατφόρμες που βασίζονται στο IoT που χρησιμοποιούνται στη γεωργία επισημαίνονται επίσης όπου κρίνεται σκόπιμο. Τέλος, βάσει αυτής της εμπειριστατωμένης επισκόπησης, εντοπίζουμε τις τρέχουσες και τις μελλοντικές τάσεις του IoT στη γεωργία και επισημαίνουμε πιθανές ερευνητικές προκλήσεις.

## ABSTRACT

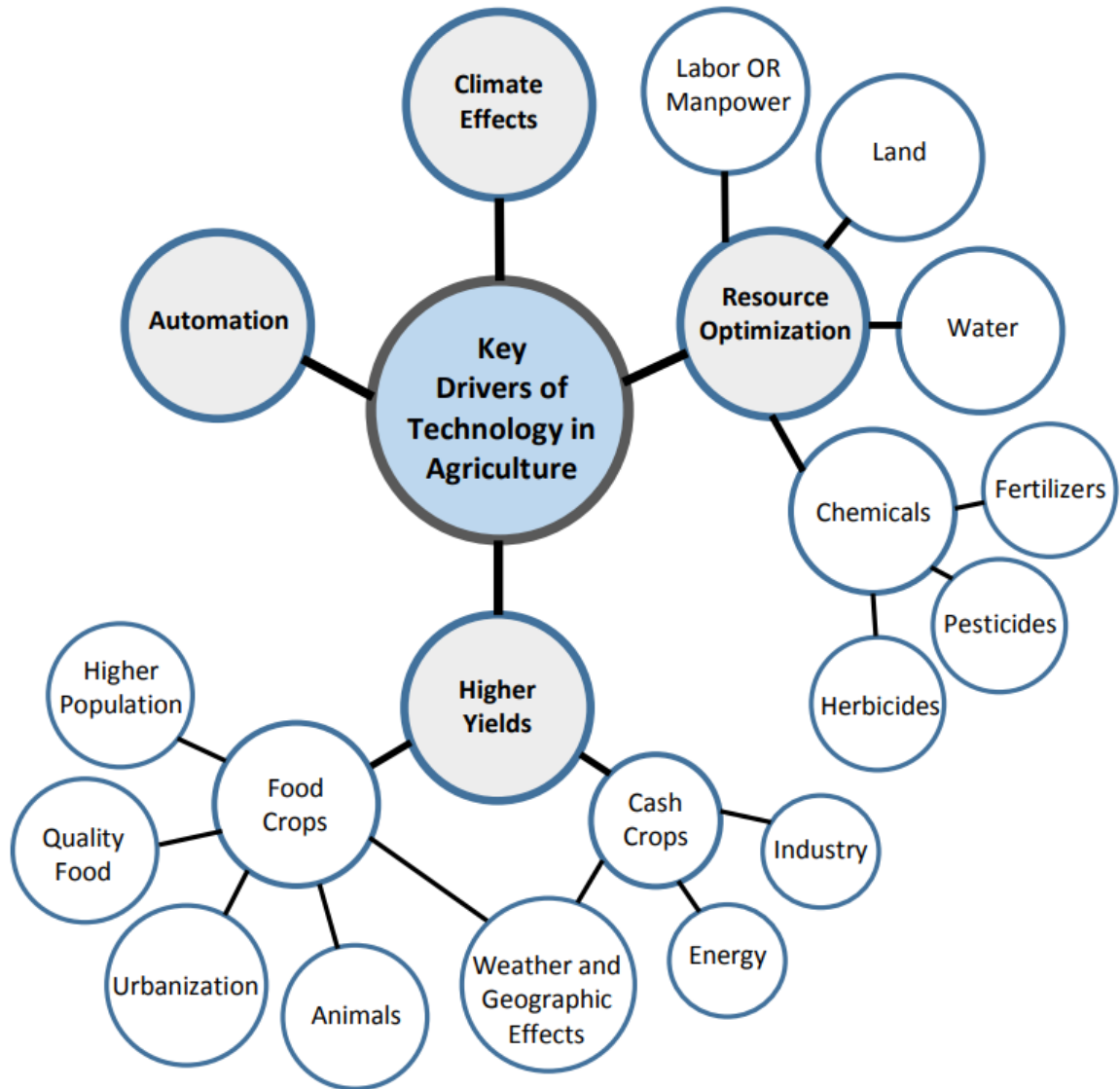
Despite the perception that people may have about the farming process, the reality is that today's agricultural industry is data-driven, accurate and smarter than ever. The rapid emergence of Internet of Things (IoT) technologies has redesigned almost every industry, including smart agriculture, which has moved the industry from statistics to quantitative approaches. Such revolutionary changes modify existing farming methods and create new opportunities in a number of challenges. This paper highlights the potential of wireless sensors and the IoT in agriculture, as well as the challenges that are expected to be addressed in integrating this technology into traditional agricultural practices. IoT devices and communication techniques related to wireless sensors found in agricultural applications are analyzed in detail. It also studies which sensors are available for a specific agricultural application, such as soil preparation, crop status, irrigation, insect and pest detection. In addition, technology is being researched to assist growers at all stages of the crop, from sowing to harvesting, packaging and transport.

In the present dissertation, the use of unmanned aerial vehicles for crop monitoring and other applications, such as the optimization of crop yield, is studied. State-of-the-art IoT-based architectures and platforms used in agriculture are also highlighted where appropriate. Finally, based on this in-depth review, we identify current and future IoT trends in agriculture and identify potential research challenges.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τη βελτίωση της γεωργικής απόδοσης με λιγότερους πόρους και προσπάθειες εργασίας, έχουν γίνει σημαντικές καινοτομίες σε όλη την ανθρώπινη ιστορία. Παρ' όλα αυτά, το υψηλό ποσοστό πληθυσμού δεν άφησε ποτέ τη ζήτηση και την προσφορά να αντιστοιχούν σε όλη αυτή την πορεία. Σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στοιχεία, το 2050, ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να αγγίξει τα 9,8 δισεκατομμύρια, αύξηση περίπου 25%. Σχεδόν ολόκληρη η αναφερθείσα αύξηση του πληθυσμού προβλέπεται να πραγματοποιηθεί στις αναπτυσσόμενες χώρες. Από την άλλη πλευρά, η τάση της αστικοποίησης προβλέπεται να συνεχιστεί με επιταχυνόμενο ρυθμό, με περίπου το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού να προβλέπεται να είναι αστικός έως το 2050 (επί του παρόντος 49%). Επιπλέον, τα επίπεδα εισοδήματος θα είναι πολλαπλάσια από αυτά που είναι τώρα, τα οποία θα οδηγήσουν περαιτέρω τη ζήτηση τροφίμων, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ως αποτέλεσμα, αυτά τα έθνη θα είναι πιο προσεκτικά με τη διατροφή και την ποιότητα των τροφίμων τους. Ως εκ τούτου, οι προτιμήσεις των καταναλωτών μπορούν να μετακινηθούν από το σιτάρι και τα δημητριακά στα όσπρια και, αργότερα, στο κρέας. Προκειμένου να τροφοδοτηθεί αυτός ο μεγαλύτερος, πιο αστικός και πλουσιότερος πληθυσμός, η παραγωγή τροφίμων θα πρέπει να διπλασιαστεί έως το 2050. Ιδιαίτερα, το τρέχον ποσοστό των 2,1 δισεκατομμυρίων τόνων ετήσιας παραγωγής δημητριακών πρέπει να αγγίξει περίπου 3 δισεκατομμύρια τόνους και η ετήσια παραγωγή κρέατος θα πρέπει να αυξηθεί κατά περισσότερο από 200 εκατομμύρια τόνους για να καλύψει τη ζήτηση 470 εκατομμυρίων τόνων (Tripathi et al., 2019).

Όχι μόνο για τα τρόφιμα, αλλά και η παραγωγή των καλλιεργειών γίνεται εξίσου κρίσιμη για τη βιομηχανία. Πράγματι, οι καλλιέργειες όπως το βαμβάκι, το καουτσούκ και το κόμμι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις οικονομίες πολλών εθνών. Επιπλέον, η αγορά βιοενέργειας με βάση τα τρόφιμα-καλλιέργειες άρχισε να αυξάνεται πρόσφατα. Ακόμη και πριν από μια δεκαετία, μόνο η παραγωγή αιθανόλης χρησιμοποίησε 110 εκατομμύρια τόνους χονδροειδών σπόρων (περίπου 10% της παγκόσμιας παραγωγής). Λόγω της αυξανόμενης χρήσης των καλλιεργειών τροφίμων για παραγωγή βιοκαυσίμων, βιοενέργειας και άλλων βιομηχανικών χρήσεων, διακυβεύεται η επισιτιστική ασφάλεια. Αυτές οι απαιτήσεις οδηγούν σε περαιτέρω αύξηση της πίεσης στους ήδη περιορισμένους γεωργικούς πόρους.



Εικόνα 1. Βασικοί μοχλοί της τεχνολογίας στη βιομηχανία γεωργίας

Δυστυχώς, μόνο ένα περιορισμένο τμήμα της επιφάνειας της γης είναι κατάλληλο για γεωργικές χρήσεις λόγω διαφόρων περιορισμών, όπως η θερμοκρασία, το κλίμα, η τοπογραφία και η ποιότητα του εδάφους, ακόμη και οι περισσότερες από τις κατάλληλες περιοχές δεν είναι ομοιογενείς. Όταν μεγεθύνεται η ευελιξία των τοπίων και των τύπων φυτών, αρχίζουν να εμφανίζονται πολλές νέες διαφορές που μπορεί να είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν (Hassan, 2018).

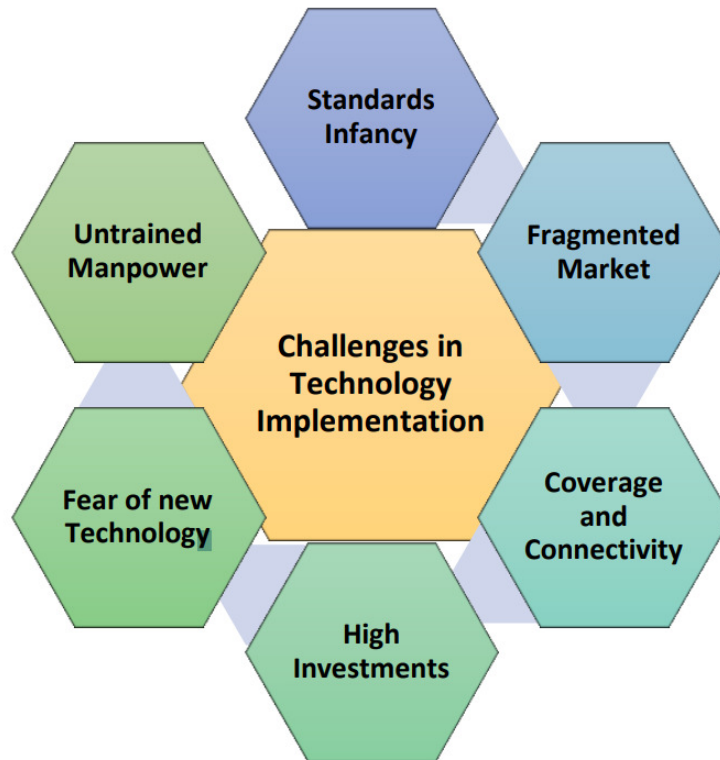


Επιπλέον, η διαθέσιμη γεωργική γη διαμορφώνεται περαιτέρω από πολιτικούς και οικονομικούς παράγοντες, όπως τα πρότυπα εδάφους και το κλίμα και η πυκνότητα του πληθυσμού, ενώ η ταχεία αστικοποίηση δημιουργεί συνεχώς απειλές για τη διαθεσιμότητα της αρόσιμης γης. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η συνολική γεωργική γη που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τροφίμων παρουσίασε μείωση. Το 1991, η συνολική αρόσιμη έκταση για την παραγωγή τροφίμων ήταν 19,5 εκατομμύρια τετραγωνικά μίλια (39,47% της χερσαίας έκτασης του κόσμου), η οποία μειώθηκε σε περίπου 18,6 εκατομμύρια τετραγωνικά μίλια (37,73% της παγκόσμιας γης) το 2013. Ως εκ τούτου, το χάσμα μεταξύ ζήτησης και προσφοράς τροφίμων γίνεται όλο και πιο σημαντικό και ανησυχητικό με την πάροδο του χρόνου. Περαιτέρω εξέταση έδειξε ότι κάθε καλλιέργεια έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, που μπορούν να μετρηθούν χωριστά από την άποψη τόσο της ποιότητας, όσο και της ποσότητας. Τα κρίσιμα χαρακτηριστικά, όπως ο τύπος του εδάφους, η παρουσία θρεπτικών ουσιών, η ροή άρδευσης, η αντίσταση στα παράσιτα κ.λπ., καθορίζουν την καταλληλότητα και την ικανότητά του για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι διαφοροποιήσεις των χαρακτηριστικών μπορούν να υπάρχουν σε ένα χωράφι, ακόμη και αν η ίδια καλλιέργεια καλλιεργείται σε ολόκληρο το αγρόκτημα. Ως εκ τούτου, απαιτούνται ειδικές αναλύσεις ιστότοπων για βέλτιστη παραγωγή απόδοσης (Sisinni et al., 2018).

Περαιτέρω, προσθέτοντας τη διάσταση του χρόνου, συγκεκριμένες καλλιέργειες στον ίδιο τομέα περιστρέφονται από εποχή σε εποχή και βιολογικά φθάνουν σε διαφορετικά στάδια του κύκλου τους εντός ενός έτους σε περιοχές όπου οι τοπικές και χρονικές διαφορές οδηγούν σε συγκεκριμένες απαιτήσεις ανάπτυξης για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής των καλλιεργειών. Για να ανταποκριθούν σε αυτά τα αιτήματα με μια σειρά θεμάτων, οι αγρότες χρειάζονται νέες τεχνολογικές μεθόδους για να παράγουν περισσότερα από λιγότερα εδάφη και με λιγότερα χέρια. Λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές διαδικασίες καλλιέργειας, οι αγρότες πρέπει να επισκέπτονται συχνά τους χώρους γεωργίας καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας για να έχουν καλύτερη ιδέα για τις συνθήκες της καλλιέργειας. Γι' αυτό, προκύπτει η ανάγκη της έξυπνης γεωργίας, καθώς το 70% του χρόνου καλλιέργειας αφιερώνεται στην παρακολούθηση και την κατανόηση των καταστάσεων καλλιέργειας, αντί να κάνει πραγματική εργασία στον τομέα. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της γεωργικής βιομηχανίας, απαιτούνται τεχνολογικές και ακριβείς λύσεις με στόχο τη βιωσιμότητα, αφήνοντας παράλληλα ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι πρόσφατες τεχνολογίες ανίχνευσης και επικοινωνίας παρέχουν μια πραγματική απομακρυσμένη ικανότητα «ματιού στο χωράφι», στην οποία οι αγρότες

μπορούν να παρατηρήσουν συμβάντα στο χωράφι, χωρίς να είναι στο χωράφι. Οι ασύρματοι αισθητήρες διευκολύνουν την παρακολούθηση των καλλιεργειών συνεχώς με μεγαλύτερη ακρίβεια και είναι σε θέση, κυρίως, να ανιχνεύουν τα πρώτα στάδια μιας ανεπιθύμητης κατάστασης. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η σύγχρονη γεωργία περιλαμβάνει τη χρήση έξυπνων εργαλείων και κιτ, από τη σπορά έως τη συγκομιδή και ακόμη και κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά. Η έγκαιρη αναφορά χρησιμοποιώντας μια σειρά αισθητήρων καθιστά ολόκληρη τη λειτουργία όχι μόνο έξυπνη, αλλά και οικονομικά αποδοτική λόγω των ακριβών δυνατοτήτων παρακολούθησης. Ποικιλία αυτόνομων ελκυστήρων, θεριστικών μηχανών, ρομποτικών ζιζανίων, drone και δορυφόρων συμπληρώνουν επί του παρόντος τον γεωργικό εξοπλισμό. Οι αισθητήρες μπορούν να εγκατασταθούν και να αρχίσουν να συλλέγουν δεδομένα σε σύντομο χρονικό διάστημα, το οποίο στη συνέχεια είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο για περαιτέρω αναλύσεις σχεδόν αμέσως. Η τεχνολογία Sensor προσφέρει ειδική γεωργία καλλιέργειας και τοποθεσιών, καθώς υποστηρίζει ακριβή συλλογή δεδομένων για κάθε ιστότοπο (Ayaz et al., 2017).

Πρόσφατα, το Internet-of-Things (IoT) αρχίζει να επηρεάζει ένα ευρύ φάσμα τομέων και βιομηχανιών, που κυμαίνονται από τη βιομηχανία, την υγεία, τις επικοινωνίες και την ενέργεια έως τη γεωργική βιομηχανία, προκειμένου να μειωθούν οι ανεπάρκειες και να βελτιωθεί η απόδοση σε όλες τις αγορές. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη αυτήν την πρόοδο, ειδικά στο εγγύς παρελθόν, μπορούμε να προβλέψουμε ότι οι τεχνολογίες IoT θα διαδραματίσουν βασικό ρόλο σε διάφορες εφαρμογές του γεωργικού τομέα. Αυτό οφείλεται στις δυνατότητες που προσφέρει το IoT, συμπεριλαμβανομένης της βασικής υποδομής επικοινωνίας (που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση έξυπνων αντικειμένων - από αισθητήρες, οχήματα, σε φορητές συσκευές χρήστη - χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο) και το εύρος των υπηρεσιών, όπως τοπική ή απομακρυσμένη απόκτηση δεδομένων, έξυπνη ανάλυση πληροφοριών και λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε cloud, διεπαφή χρήστη και αυτοματισμό γεωργικής λειτουργίας. Τέτοιες δυνατότητες μπορούν να φέρουν επανάσταση στη γεωργική βιομηχανία που πιθανώς είναι ένας από τους πιο αναποτελεσματικούς τομείς της οικονομικής αλυσίδας σήμερα. Για να συνοψίσουμε αυτήν τη συζήτηση, το σχήμα 1 παρέχει τους κύριους μοχλούς της τεχνολογίας, ενώ το σχήμα 2 επισημαίνει τα κύρια εμπόδια της εφαρμογής της τεχνολογίας στην έξυπνη γεωργία (Elijah et al., 2018).



Εικόνα 2. Σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή τεχνολογίας για έξυπνη γεωργία

Ερευνητές και μηχανικοί σε όλο τον κόσμο προτείνουν διαφορετικές μεθόδους και αρχιτεκτονικές και βασίζονται σε αυτό που προτείνουν μια ποικιλία εξοπλισμού για την παρακολούθηση και λήψη πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση της καλλιέργειας σε διαφορετικά στάδια, λαμβάνοντας υπόψη πολλούς τύπους καλλιεργειών και αγρών. Εστιάζοντας στη ζήτηση της αγοράς, πολλοί κορυφαίοι κατασκευαστές παρέχουν μια σειρά αισθητήρων, μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), ρομπότ, συσκευών επικοινωνίας και άλλων βαρέων μηχανημάτων για την μετάδοση των δεδομένων. Επιπλέον, διάφορες επιτροπές, οργανισμοί τροφίμων και γεωργίας, καθώς και κυβερνητικοί φορείς αναπτύσσουν πολιτικές και κατευθυντήριες γραμμές για να τηρούν και να ρυθμίζουν τη χρήση αυτών των τεχνολογιών για τη διατήρηση της ασφάλειας των τροφίμων και του περιβάλλοντος. Υπάρχουν εύλογες προσπάθειες που επισημαίνουν το ρόλο του IoT στη γεωργική βιομηχανία, αλλά το μεγαλύτερο μέρος της δημοσιευμένης εργασίας επικεντρώνεται μόνο σε εφαρμογές. Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα άρθρα είτε δεν παρέχουν καμία εικόνα είτε δείχνουν περιορισμένη εστίαση στις διάφορες αρχιτεκτονικές, πρωτότυπα, προηγμένες μεθόδους, τη χρήση του IoT για την ποιότητα των τροφίμων και άλλα μελλοντικά ζητήματα, λαμβάνοντας υπόψη τα τελευταία γεγονότα και αριθμούς (Sisinni et al., 2018).

Η παρούσα εργασία εξετάζει τις τάσεις στη γεωργική έρευνα με βάση το IoT και ερευνά πολλά βασικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να μετατραπεί η γεωργική βιομηχανία χρησιμοποιώντας τις πρόσφατες εξελίξεις στο IoT. Η κύρια συνεισφορά της παρούσας εργασίας είναι η παροχή πληροφοριών σχετικά με:

1. Προσδοκίες του κόσμου από τη γεωργική βιομηχανία
2. Πολύ πρόσφατες εξελίξεις στο IoT, τόσο επιστημονικά όσο και στη βιομηχανία, επισημαίνονται και πώς αυτές οι εξελίξεις συμβάλλουν στην παροχή λύσεων στη γεωργική βιομηχανία.
3. Περιορισμοί που αντιμετωπίζει η γεωργική βιομηχανία.
4. Ο ρόλος του IoT για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών και άλλων ζητημάτων όπως η έλλειψη πόρων και η ακριβής χρήση τους, αλλοίωση των τροφίμων, κλιματικές αλλαγές, περιβαλλοντική ρύπανση και αστικοποίηση.
5. Στρατηγικές και πολιτικές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εφαρμογή τεχνολογιών που βασίζονται σε IoT
6. Κρίσιμα ζητήματα που απομένουν για επίλυση και πιθανές λύσεις που απαιτούνται περαιτέρω, ενώ παρέχονται προτάσεις λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις προκλήσεις.

## Internet of things

Το Internet of Things ή αλλιώς «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» όπως μεταφράζεται ορίζεται ως ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων το οποίο ακολουθεί ένα πρωτόκολλο. (Luigi Atzori, 2010) Τα αντικείμενα αυτά βασίζονται σε ηλεκτρονικό λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα δικτύου έτσι ώστε να είναι εφικτή η συγκέντρωση και ανταλλαγή δεδομένων. (Baltej Kaur, 2016)

## Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία του IoT ξεκινάει το 1982 όταν ένα τροποποιημένο μηχάνημα κόκα κόλα συνδέθηκε με το ίντερνετ και μπόρεσε να αναφέρει τα ποτά που περιέχονται και εάν είναι κρύα. Αργότερα το 1991, ένα σύγχρονο όραμα του IoT με τη μορφή της καθολικής κατανομής δόθηκε για πρώτη φορά από τον Mark Weiser. Ωστόσο το 1999, ο Bill Joy έδωσε μια ιδέα σχετικά με την επικοινωνία συσκευής με συσκευή στην δική του ταξινόμηση του διαδικτύου. Τον ίδιο χρόνο, ο Kevin Ashton, πρότεινε τον όρο "Διαδίκτυο των Πραγμάτων" για να περιγράψει ένα σύστημα διασυνδεδεμένων συσκευών. (Muhammad Umar Farooq, 2015)

## Βασικές εφαρμογές

### Έξυπνες πόλεις

Οι έξυπνες πόλεις μέσω των τεχνολογιών που παρέχει το IOT μπορούν να διαχειρίζονται τα φυσικά αντικείμενα και να διαθέτουν πληροφορίες σχετικά με τα μέσα μαζικής μεταφοράς, την ασφάλεια των πολιτών, την κυκλοφορία στους δρόμους, τα κτήρια που διαθέτουν έξυπνη τεχνολογία, ακόμα και για την κατάσταση που επικρατεί στα χωράφια. (Fadi Al-Turjman, 2019). Μερικές από τις πόλεις που έχουν εφαρμόσει αυτές τις τεχνολογίες είναι η Νέα Υόρκη, το Τόκιο, η Σιγκαπούρη και το Άμστερνταμ. (Zeinab Kamal Aldein Mohammeda, 2017) Ωστόσο, ενέχει ο κίνδυνος συλλογής ευαίσθητων πληροφοριών που βάζουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και το απόρρητο. (Fadi Al-Turjman, 2019)

## Έξυπνα σπίτια και κτήρια

Στις μέρες μας πλέον οι περισσότερες από τις οικιακές μας συσκευές διαθέτουν σύνδεση με ασύρματο δίκτυο Wi-Fi. Αυτό σημαίνει ότι με τη συνεργασία του IoT θα μπορούμε να τις ελέγχουμε από απόσταση, κάνοντας έτσι τη ζωή μας πιο εύκολη. Η τεχνολογία αυτή, μπορεί συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και νερού, καθώς επιβλέπει τυχόν διαρροές νερού και καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, είναι σε θέση να εξασφαλίσει την ασφάλειά μας διαθέτοντας συστήματα ανίχνευσης καταπάτησης. Επιπρόσθετα, βρίσκουμε και εφαρμογές του στην φροντίδα του κήπου μας. Υπάρχουν διάφοροι αισθητήρες που είναι ικανοί να μετρούν το ηλιακό φως, την υγρασία, την θερμοκρασία, να ποτίζουν τα φυτά και να τα εφοδιάζουν με οτιδήποτε άλλο χρειάζονται. (Parul Goyal, 2020)

## Έξυπνο σύστημα κυκλοφορίας (Smart Traffic System)

Το έξυπνο σύστημα κυκλοφορίας είναι ένα σύστημα το οποίο συγκεντρώνει δεδομένα κίνησης από συσκευές που διαθέτουν τεχνολογία IoT. Στην πράξη λοιπόν, βελτιώνει την ποιότητα κυκλοφορίας μας αφού μας παρέχει πληροφορίες που συμβάλλουν στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης όπως ποια είναι η συντομότερη διαδρομή και ποια είναι η περιοχή με τη λιγότερη κυκλοφορία. Ακόμα, μας ενημερώνει για τυχόν τροχαία ατυχήματα στο δρόμο, για την παρουσία διοδίων και μας δίνει πληροφορίες για τον καιρό που θα επικρατήσει. Επιπλέον, το σύστημα φωτισμού κυκλοφορίας λειτουργεί λαμβάνοντας υπόψη τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν με αποτέλεσμα την κατανάλωση λιγότερης ενέργειας. (Parul Goyal, 2020)

## Έξυπνη υγειονομική περίθαλψη

Τα σύγχρονα έξυπνα νοσοκομεία διαθέτουν συσκευές τεχνολογίας των IoT οι οποίες μπορούν εύκολα να φορεθούν και είναι εξοπλισμένες με ετικέτες RFID. Με την είσοδό τους στα νοσοκομεία οι ασθενείς εξοπλίζονται με αυτές τις φορητές συσκευές, οι οποίες κάνουν πιο εύκολη την επίβλεψη της κατάστασης του ασθενούς, αφού μπορούν να καταγράψουν σημαντικά στοιχεία όπως καρδιακό παλμό, θερμοκρασία και αρτηριακή πίεση. Η ιδιαίτερη χρησιμότητα του έγκειται στο γεγονός ότι ο ασθενής μπορεί να παρακολουθείται τόσο από το νοσοκομείο όσο και από την οικεία του γιατρού και στο ότι συμβάλλουν στην γρήγορη

παρέμβαση σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως ένα εγκεφαλικό επεισόδιο. (Parul Goyal, 2020)

## Φυσικές καταστροφές και έξυπνο περιβάλλον

Οι τεχνολογίες IoT είναι ικανές να παρακολουθούν τον καιρό και να μας προειδοποιούν για επερχόμενες φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί, τυφώνες, πλυμμύρες, πυρκαγιές κλπ. Αυτή η δυνατότητα είναι ωφέλιμη γιατί έτσι έχουμε το χρόνο να προετοιμαστούμε και να προφυλαχτούμε ή να δοθεί εντολή για εκκένωση περιοχών που πρόκειται να προσβληθούν. Είναι αναγκαίο να εγκατασταθούν αισθητήρες σε επίφοβες περιοχές για να μπορούμε να λαμβάνουμε δεδομένα που θα συμβάλλουν σε μια πιο γρήγορη και επιτυχή διάσωση. Μια ακόμα δυνατότητά του είναι ο έλεγχος της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Μπορεί για παράδειγμα να ανιχνεύσει ηχορρύπανση, μόλυνση από ραδιενέργεια και απορρίμματα.(Parul Goyal, 2020)

## Έξυπνη γεωργία

Η εισαγωγή της τεχνολογίας των IoT στην γεωργία πρόκειται να βελτιώσει την παραγωγικότητα και τα εισοδήματα. Η δυνατότητα εύκολου ελέγχου παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία θα μπορεί να εξασφαλίσει ότι τα φυτά λαμβάνουν το σωστό πότισμα, τη σωστή θρέψη, λίπανση και εφαρμογή φυτοφαρμάκων. Ως εκ τούτου, δεν θα γίνεται σπατάλη νερού και λιπασμάτων και ο παραγωγός θα έχει περισσότερες πιθανότητες διατήρησης υγιών φυτών. Με την εγκατάσταση κόμβων αισθητήρων στο έδαφος συγκεντρώνονται πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση του εδάφους και της καλλιέργειας, οι οποίες μπορούν να αποθηκευτούν και να αναλυθούν. Ακόμα οι κτηνοτρόφοι μπορούν όχι μόνο να παρακολουθούν τα ζώα τους και να διαμορφώνουν την διατροφή τους ανάλογα με τις ανάγκες τους, αλλά και να έχουν εικόνα της υγείας τους που θα συμβάλλει στη γρήγορη παροχή ιατρικής βοήθειας. (Parul Goyal, 2020)

## Βασικές τεχνολογίες

### Radio frequency identification (RFID)

Είναι ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα, ετικέτες και αναγνώστες μπορεί να αναγνωρίσει και να λάβει δεδομένα. (In Lee, 2015) Οι ετικέτες έχουν ένα αναγνωριστικό και μπορούν να τοποθετηθούν σε αντικείμενα ή ακόμα και σε άτομα και ζώα. Ουσιαστικά μια ετικέτα RFID είναι ένα μικροσίπ που συνδέεται σε μια κεραία. (Luigi Atzori, 2010) Μέσω των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνότητας μεταφέρουν δεδομένα που αφορούν ένα αντικείμενο. Οι ετικέτες έχουν ηλεκτρονικά αποθηκευμένες πληροφορίες που διαβάζονται από τον αναγνώστη όταν το αντικείμενο βρεθεί σε κοντινή απόσταση. (Abhishek Khanna, 2019) Σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να συνεργαστούν με τα συστήματα RFID, επομένως υπάρχει η δυνατότητα απόκτησης περισσότερων πληροφοριών που αφορούν για παράδειγμα τη θερμοκρασία ή την τοποθεσία. (Luigi Atzori, 2010)

### Wireless sensor networks (WSN)

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι ένα σύνολο συσκευών που ονομάζονται κόμβοι, οι οποίοι παρατηρώντας τις περιβαλλοντικές συνθήκες, συλλέγουν και μεταφέρουν πληροφορίες. (Chiara Buratti, 2009) Έχουν την δυνατότητα συνεργασίας με τα συστήματα RFID, όπου αποκτούν πρόσβαση σε περισσότερες πληροφορίες. (In Lee, 2015) Οι πληροφορίες που συλλέγονται κατευθύνονται στο σταθμό βάσης, ο οποίος είναι ο συνδετικός κρίκος για την επικοινωνία με τον ενσύρματο κόσμο. Σε αυτό το σημείο, τα δεδομένα επεξεργάζονται, αναλύονται για οδηγούνται για προβολή στις κατάλληλες εφαρμογές. (Sanjeev Kumar Gupta, 2014)

### Cloud computing

Τα δεδομένα αποθηκεύονται συνήθως σε μια συσκευή αποθήκευσης ή σε ένα σκληρό δίσκο. Ωστόσο η τεχνολογία του cloud παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων σε μια απομακρυσμένη βάση δεδομένων, τα οποία είναι προσβάσιμα μέσω σύνδεσης στο διαδίκτυο. (Frankenfield, 2020) Στον γεωργικό τομέα έχει ποικίλες εφαρμογές. Με τη βοήθεια



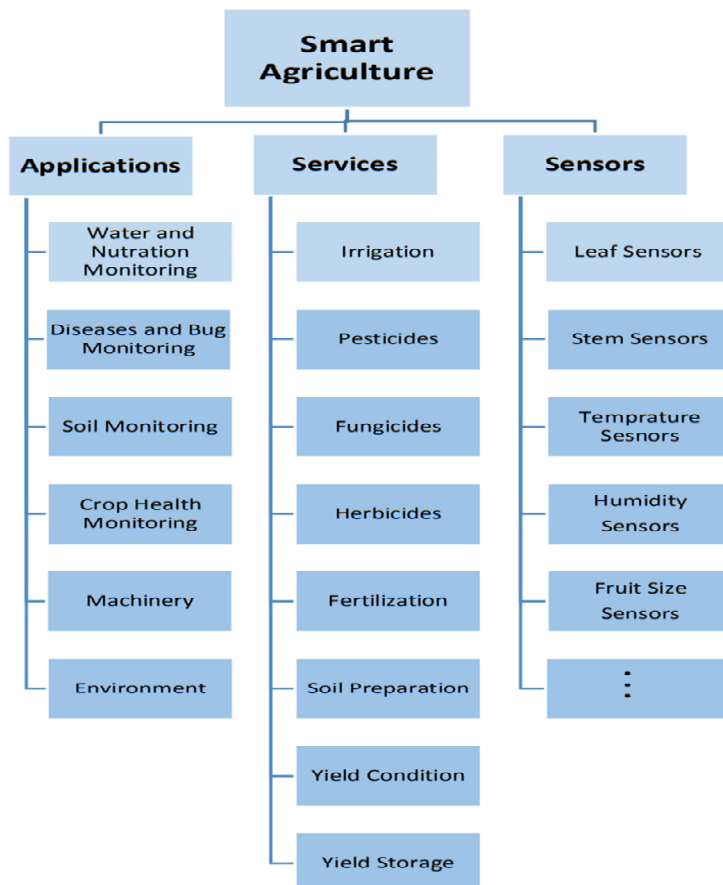
αισθητήρων και άλλων εργαλείων παρακολούθησης συγκεντρώνονται διάφορα δεδομένα που αφορούν την εδαφική κατάσταση. Επιπλέον οι αγρότες μέσω της πρόσβασης σε Ινστιτούτα προγνωστικής ανάλυσης θα μπορούν να ενημερώνονται σχετικά με τη ζήτηση και έτσι να διαμορφώσουν ανάλογα την παραγωγή τους. (Ferkoun, 2015) Άλλη μια χρήσιμη δυνατότητα που διατίθεται είναι η συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις πρόσφατες καλλιέργειες που έχουν πραγματοποιηθεί σε ένα χωράφι που συμβάλλει στη σωστή επιλογή επόμενης καλλιέργειας. Ακόμα, οι τεχνολογίες cloud παρέχουν πρόσβαση στο ηλεκτρονικό εμπόριο, το οποίο βοηθά να φέρουν τα προϊόντα τους απευθείας στους ενδιαφερόμενους. (Karupprannan, 2020)

## Χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην γεωργία

Σύμφωνα με τον με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών, η παραγωγή τροφίμων το 2050 θα πρέπει να ανέλθει στο 70%, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι επισιτιστικές ανάγκες του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού. Για να πετύχει αυτό θα πρέπει να μειωθούν οι γεωργικές εκτάσεις. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μείωση των φυσικών πόρων και έλλειψη του εργατικού δυναμικού οπότε προέκυψε η ανάγκη για μια άλλη λύση. Η απάντηση έρχεται από την εισαγωγή της τεχνολογίας στην γεωργία. (iots world congress, 2020) Πιο συγκεκριμένα την τεχνολογία των IoT. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στον τομέα της γεωργίας διότι δίνει τη δυνατότητα της παρακολούθησης των καλλιεργειών και ελέγχου των παραμέτρων τους που έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση και μεγιστοποίηση της παραγωγής (Sanika Ratnaparkhi, 2020) και τη μείωση της εξάρτησης από την χειρωνακτική εργασία. (iots world congress, 2020). Η εφαρμογή της τεχνολογίας IoT για την εξασφάλιση της καλύτερης αξιοποίησης των πόρων για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων και ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους ονομάζεται Γεωργία Ακριβείας. (iots world congress, 2020)

## Εφαρμογές

Με την εφαρμογή των τελευταίων τεχνολογιών ανίχνευσης και IoT στις γεωργικές πρακτικές, κάθε πτυχή των παραδοσιακών μεθόδων καλλιέργειας μπορεί να αλλάξει ριζικά. Επί του παρόντος, η απρόσκοπτη ενσωμάτωση ασύρματων αισθητήρων και του IoT στην έξυπνη γεωργία μπορεί να ανεβάσει τη γεωργία σε επίπεδα που προηγουμένως ήταν αδιανόητα. Ακολουθώντας τις πρακτικές της έξυπνης γεωργίας, το IoT μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των λύσεων πολλών παραδοσιακών γεωργικών ζητημάτων, όπως η ξηρασία, η βελτιστοποίηση της απόδοσης, η καταλληλότητα γης, η άρδευση και ο έλεγχος των παρασίτων. Το Σχήμα 3 παραθέτει μια ιεραρχία μεγάλων εφαρμογών, υπηρεσιών και ασύρματων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές έξυπνης γεωργίας. Σημαντικές περιπτώσεις στις οποίες οι προηγμένες τεχνολογίες βοηθούν σε διάφορα στάδια για τη βελτίωση της συνολικής αποτελεσματικότητας συζητούνται παρακάτω.



Εικόνα 3. Γενική Ιεραρχία Πιθανών Εφαρμογών, Υπηρεσιών και Αισθητήρων για Έξυπνη Γεωργία

## Έξυπνα θερμοκήπια

Αποτελεί το ιδανικότερο περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτών, καθώς έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει αλλαγές στις κλιματολογικές συνθήκες και αυτόματα να τις επαναφέρει στα επιθυμητά επίπεδα. Η λειτουργία του βασίζεται σε αισθητήρες και ενεργοποιητές τα οποία συνδέονται με τον μικροελεγκτή ο οποίος στέλνει και λαμβάνει δεδομένα από ένα κέντρο ελέγχου που βρίσκεται στον διακομιστή cloud. (Atul, 2016) Για να μετρηθούν οι κλιματικές συνθήκες χρησιμοποιούνται διάφοροι αισθητήρες (G, 2019) όπως πχ αισθητήρες υγρασίας, φωτός, θερμοκρασίας, και υγρασίας εδάφους. (D.O.Shirsath, 2017)

Ο μικροελεγκτής αρχικά αρχικοποιεί το μοντέλο επικοινωνίας GSM/GPRS και τη μονάδα Bluetooth ώστε να συνδεθεί το σύστημα σε ένα δίκτυο. Στη συνέχεια ενημερώνεται για την κατάσταση των συνθηκών του θερμοκηπίου και πραγματοποιεί τις κατάλληλες ενέργειες, δίνει εντολή για παράδειγμα να ποτιστούν τα φυτά αν αντιληφθεί ότι η εδαφική υγρασία είναι κάτω από το προκαθορισμένο όριο. Τελικό βήμα της διαδικασίας είναι η αποστολή των δεδομένων με SMS μέσω GSM, σε μια εφαρμογή στο κινητό και στον διακομιστή χρησιμοποιώντας GPRS. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης μιας οθόνης LCD μαζί με μια εφαρμογή Android, για την εμφάνιση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. (Mohammad Woli Ullah, 2018) Το έξυπνο θερμοκήπιο είναι μια συμφέρουσα λύση, τόσο για τον καλλιεργητή όσο και για το περιβάλλον καθώς δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης και εξοικονόμησης πόρων (G, 2019) διότι η ποσότητα νερού που καταναλώνεται είναι καθορισμένη, (Solanki, 2019) η λειτουργία του απαιτεί χαμηλή ισχύ και το κόστος του συστήματος είναι χαμηλό. (G, 2019)

## Monitoring Livestock

Η φροντίδα των ζώων αποτελεί μια δαπανηρή και κυρίως κοπιαστική εργασία. Ωστόσο η εφαρμογή του IoT διευκολύνει αρκετά τις συνθήκες. (Sanika Ratnaparkhi, 2020) Με την χρήση αισθητήρων σε φορητές συσκευές στο σώμα των ζώων, ο κτηνοτρόφος μπορεί να λαμβάνει βασικές πληροφορίες για την κατάσταση των ζώων. Μερικές από τις δυνατότητες του είναι η μέτρηση θερμοκρασίας, αρτηριακής πίεσης, καρδιακού και αναπνευστικού ρυθμού και προσδιορισμός την τοποθεσίας των ζώων. Όλες αυτές οι πληροφορίες είναι χρήσιμες καθώς ο κτηνοτρόφος μπορεί να αντιληφθεί εγκαίρως την παρουσία μιας ασθένειας στα ζώα του ή

οποιαδήποτε αλλαγή συμπεριφοράς και να λάβει τα κατάλληλα μέτρα. Σε γενικές γραμμές, έχει μια σφαιρική άποψη και μπορεί να ελέγχει όλες τις πτυχές του αγροκτήματός του. (Dawsey, 2017)

## **Παρακολούθηση των κλιματολογικών συνθηκών**

Η παρακολούθηση των κλιματολογικών συνθηκών μιας καλλιέργειας είναι εφικτή με την εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών. Οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε απόσταση από το χωράφι και με τη βοήθεια διαφόρων αισθητήρων, συλλέγουν δεδομένα του περιβάλλοντος τα οποία μεταφέρονται στο cloud. (Aleksandrova, 2018 ) Μερικοί από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι βροχόμετρο, αισθητήρας βαρομετρικής πίεσης, (Arun Chakravarthy R, 2020) αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας, (Girija C, 2018) αισθητήρας ήχου και αισθητήρας LDR(μια αντίσταση που έχει φωτοαγωγιμότητα). (Bulipe Srinivas Rao, 2016) Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες κατευθύνονται στο δίκτυο GPRS, το οποίο έχει σαν αρμοδιότητα να τα επεξεργάζεται και να τα αποστέλλει στο παρατηρητήριο. Σε περίπτωση εμφάνισης δυσμενών καιρικών συνθηκών το παρατηρητήριο θα εμφανίσει κάποιο προειδοποιητικό μήνυμα. (Arun Chakravarthy R, 2020) Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να βοηθήσουν τον καλλιεργητή να επιλέξει την ορθότερη καλλιέργεια σύμφωνα με τις δυνατότητες της καλλιεργήσιμης έκτασης του και παράλληλα να εξασφαλίσει τις βέλτιστες συνθήκες για την καλλιέργεια του. (Aleksandrova, 2018 )

## **Μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Drones)**

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αποτελούν μικρά αεροσκάφη χωρίς πιλότο που διαθέτουν αισθητήρες και καθοδηγούνται είτε αυτόνομα είτε με τηλεχειριστήριο. (Guilmartin, 2020) Τα τελευταία χρόνια βρίσκουν εφαρμογή και στον γεωργικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα έχουν την δυνατότητα χαρτογράφησης, συλλέγουν δηλαδή φασματικά δεδομένα και στη συνέχεια σχεδιάζουν χάρτες (Qiang Ren, 2020) ενώ παράλληλα διαθέτουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των καλλιεργειών. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως εφαρμόζοντας την μέθοδο αυτή υπάρχει δυνατότητα αύξησης της απόδοσης μίας καλλιέργειας, ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται η κατάλληλη ποσότητα φυτοφαρμάκων. Μπορούν επίσης να

αντιληφθούν ποιο σημείο χρειάζεται άρδευση διαθέτοντας πολυφασματικές κάμερες και αισθητήρες θερμότητας. (Jeongeun Kim, 2019 ) Ακόμα, στις εφαρμογές τους συμπεριλαμβάνονται η διαχείριση ζιζανίων και ασθενειών (Achilles D.Boursianis, 2020), καθώς και η παρακολούθηση καλλιεργειών μεγάλων εκτάσεων. (Jeongeun Kim, 2019 )

### **Καλλιέργεια ακριβείας με αισθητήρες**

Ο ρόλος των γεωργικών αισθητήρων είναι η συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο (Sanika Ratnaparkhi, 2020) που συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός προγράμματος καλλιέργειας. (Digiteum team, 2019) Διατίθενται διάφοροι αισθητήρες όπως για παράδειγμα μέτρησης θερμοκρασίας αέρα, ηλιακής ακτινοβολίας, χαρτογράφησης εδάφους κ.α. Μια πολλή σημαντική παράμετρος τους είναι το γεγονός ότι μπορούν να εγκατασταθούν σε drone, διάφορα οχήματα στο έδαφος (Sanika Ratnaparkhi, 2020) ή σε μετεωρολογικούς σταθμούς (Digiteum team, 2019)

### **Εφαρμογή mini-program wechat και wi-fi soc στο γεωργικό IOT**

Οι γεωργικές περιβαλλοντικές πληροφορίες αποτελούν βασικό παράγοντα για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών. Οι περιβαλλοντικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μπορούν να βοηθήσουν τους παραγωγούς να εντοπίσουν ανωμαλίες και να διορθώσουν προβλήματα πριν γίνουν σοβαρά. Με την ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορίας, το IoT (internet of things) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη γεωργική παραγωγή. Αυτός ο συνδυασμός τεχνολογίας αισθητήρων, ασύρματων δικτύων αισθητήρων και υπολογιστικής ισχύος παρέχει νέες μεθόδους παρακολούθησης και διαχείρισης περιβαλλοντικών παραμέτρων σε θερμοκήπια, ξεπερνώντας αποτελεσματικά τα μειονεκτήματα της χειροκίνητης παρακολούθησης, όπως χαμηλή απόδοση, υψηλό κόστος εργασίας και σημαντική καθυστέρηση. Οι παρακολουθούμενες παράμετροι μπορούν να αποτελέσουν σημαντική βάση για τη λήψη αποφάσεων για άρδευση, συγκομιδή και άλλες εργασίες. Σε συμβατικά συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε θερμοκήπια, απαιτούνται αυτόνομα συστατικά συμπεριλαμβανομένων μονάδων μικροελεγκτή (MCU), μονάδων μνήμης, πομποδεκτών και άλλων εξαρτημάτων για την κατασκευή κόμβων αισθητήρων (Tzounis et al., 2017).

Τα MCU οδηγούν τους αισθητήρες, διαβάζουν τις μετρήσεις του αισθητήρα σε μνήμη flash ή σε εξωτερικές μονάδες μνήμης και μεταφέρουν τις πληροφορίες σε μια πύλη IoT μέσω πομποδεκτών. Η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιείται συνήθως για μετάδοση μεγάλων αποστάσεων, ενώ το ZigBee μπορεί να είναι μια καλή επιλογή για μετάδοση μικρών αποστάσεων. Ωστόσο, οι αυτόνομες μονάδες GPRS είναι ακριβές και απαιτούνται ενεργοποιημένες κάρτες SIM. Επιπλέον, ένας πομποδέκτης και MCU δεν επαρκούν για έναν πλήρη κόμβο. Απαιτούνται πρόσθετες συσκευές εισόδου και εξόδου, όπως οθόνη προβολής και πληκτρολόγιο για τη διαμόρφωση των κόμβων. Αυτές οι συσκευές εισόδου και εξόδου μπορούν να αντικατασταθούν με εξωτερική μονάδα Bluetooth ή μονάδα Wi-Fi σε κινητό τηλέφωνο. Τα τελευταία χρόνια, η ευρεία κάλυψη των δικτύων Wi-Fi παρείχε μια νέα πλατφόρμα για την κατασκευή συστημάτων IoT (Yong et al., 2013).

Υπάρχουν επίσης μερικές δημοφιλείς νέες τεχνολογίες, όπως NB-IoT, SigFox και LoRa, με υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερο κόστος για τη μετάδοση δεδομένων (Yong et al., 2013). Κάθε τεχνολογία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, επομένως οι προγραμματιστές θα πρέπει να επιλέγουν κατάλληλες συσκευές σύμφωνα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή τους. Η εμφάνιση συσκευών SoC (system-on-chip) διευκόλυνε τον σχεδιασμό κόμβων (Tzounis et al., 2017).

Η αυξανόμενη ζήτηση για αυτόματη διαχείριση της γεωργικής παραγωγής και η απομακρυσμένη παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο έχει αυξήσει την ανάγκη για έξυπνες συσκευές, ασύρματες τεχνολογίες και αισθητήρες. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) έχει αναδειχθεί ως κοινή τεχνολογία για τη διαχείριση πολλαπλών συσκευών από πολλούς χρήστες. Ορισμένες επαγγελματικές λύσεις είναι σχετικά δύσκολο να εφαρμοστούν για ερευνητές που ενδιαφέρονται για το γεωργικό IoT αλλά δεν έχουν τις απαιτούμενες δεξιότητες σε υπολογιστές και ηλεκτρονικά. Η φιλικότητα του λογισμικού χρήστη περιορίζει την πρακτική εφαρμογή του γεωργικού IoT στην Κίνα. Οι Zhou et al., (2020) παρουσίασαν μια απλή λύση που βασίζεται σε ένα μίνι πρόγραμμα SoC (system-on-chip) και WeChat που εστιάζει σε υλικό χαμηλού κόστους, ταχεία ανάπτυξη, φιλικό προς τον χρήστη σχεδιασμό εφαρμογών και βοηθά τους προγραμματιστές να ξεκινήσουν γρήγορα την κατασκευή ενός DIY σύστημα παρακολούθησης. Το ESP8266, ένα υψηλής απόδοσης SoC, χρησιμοποιείται ως μονάδα μικροελεγκτή και Wi-Fi για τη μεταφορά δεδομένων αισθητήρα σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή. Ένα μίνι πρόγραμμα WeChat παρέχει τη γραφική διεπαφή χρήστη, επιτρέποντας στους χρήστες να διαχειρίζονται συσκευές και να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα κάνοντας κλικ. Οι χρήστες μπορούν να συνδεθούν στο σύστημα χρησιμοποιώντας τους λογαριασμούς τους στο WeChat και να δεσμεύσουν τις συσκευές σαρώνοντας κωδικούς QR στις συσκευές. Έτσι,

μπορεί να ξεπεραστεί η πολύπλοκη διαχείριση και η σύνδεση συσκευών σε συμβατικά συστήματα. Το σύστημα είναι εύκολο να επεκταθεί και έχει μεγάλες δυνατότητες περιβαλλοντικής παρακολούθησης του θερμοκηπίου στην Κίνα (Fernández-Ahumada et al., 2019).

## Δειγματοληψία και χαρτογράφηση εδάφους

Το έδαφος είναι το «στομάχι» των φυτών και η δειγματοληψία του είναι το πρώτο βήμα της εξέτασης για τη λήψη συγκεκριμένων πληροφοριών για το πεδίο, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται περαιτέρω για τη λήψη διαφόρων κρίσιμων αποφάσεων σε διαφορετικά στάδια. Ο κύριος στόχος της ανάλυσης εδάφους είναι να προσδιοριστεί η κατάσταση των θρεπτικών συστατικών ενός αγρού έτσι ώστε να μπορούν να ληφθούν ανάλογα μέτρα όταν διαπιστωθούν ελλείψεις σε θρεπτικά συστατικά. Συνιστώνται διεξοδικές δοκιμές εδάφους σε ετήσια βάση, ιδανικά την άνοιξη. Ωστόσο, με βάση τις συνθήκες του εδάφους και τις καιρικές συνθήκες, μπορεί να γίνει το φθινόπωρο ή το χειμώνα. Οι παράγοντες που είναι κρίσιμοι για την ανάλυση των επιπέδων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους περιλαμβάνουν τον τύπο του εδάφους, το ιστορικό καλλιέργειας, την εφαρμογή λιπασμάτων, το επίπεδο άρδευσης, την τοπογραφία κ.λπ. ώστε οι καλλιέργειες να μπορούν να αντιμετωπιστούν ανάλογα. Η χαρτογράφηση του εδάφους ανοίγει την πόρτα στη σπορά διαφορετικών ποικιλιών καλλιέργειας σε ένα συγκεκριμένο πεδίο για να ταιριάζει καλύτερα με τις ιδιότητες του εδάφους ανάλογα, όπως η καταλληλότητα σπόρων, ο χρόνος σποράς και ακόμη και το βάθος φύτευσης, καθώς μερικά είναι βαθιά ριζωμένα και άλλα λιγότερο. Επιπλέον, η καλλιέργεια πολλαπλών καλλιεργειών μαζί θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σε εξυπνότερη χρήση της γεωργίας, κάνοντας απλώς καλύτερη χρήση των πόρων (Martínez-Fernández et al., 2016).

Επί του παρόντος, οι κατασκευαστές παρέχουν ένα ευρύ φάσμα εργαλείων και αισθητήρων που μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να παρακολουθούν την ποιότητα του εδάφους και, με βάση αυτά τα δεδομένα, προτείνουν λύσεις για την αποφυγή της υποβάθμισής του. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση των ιδιοτήτων του εδάφους, όπως η υφή, η ικανότητα συγκράτησης νερού και ο ρυθμός απορρόφησης, οι οποίοι τελικά συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, της πυκνότητας, της αλάτωσης, της οξίνισης και της ρύπανσης (αποφεύγοντας την υπερβολική χρήση λιπάσματος). Το Labin-a-Box, ένα κιτ εργαλείων δοκιμών εδάφους που αναπτύχθηκε από την AgroCares, θεωρείται ένα πλήρες εργαστήριο από

μόνο του βάσει των προσφερόμενων υπηρεσιών του. Χρησιμοποιώντας αυτό, οποιοσδήποτε αγρότης, χωρίς να έχει εργαστηριακή εμπειρία, μπορεί να αναλύσει έως και 100 δείγματα ημερησίως (συνολικά, περισσότερα από 22.000 δείγματα θρεπτικών συστατικών το χρόνο) χωρίς να επισκεφτεί κανένα εργαστήριο. Η ξηρασία είναι μια σημαντική ανησυχία που περιορίζει την παραγωγικότητα της σοδειάς. Οι περισσότερες περιοχές σε όλο τον κόσμο αντιμετωπίζουν αυτό το ζήτημα με διάφορες εντάσεις. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, ειδικά σε πολύ αγροτικές περιοχές, η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για τη λήψη συχνών δεδομένων υγρασίας του εδάφους που βοηθούν στην ανάλυση της ξηρασίας της γεωργίας σε μακρινές περιοχές. Για το σκοπό αυτό, ο δορυφόρος υγρασίας εδάφους και αλατότητας των ωκεανών (SMOS) ξεκίνησε το 2009, ο οποίος παρέχει παγκόσμιους χάρτες υγρασίας του εδάφους κάθε, μία έως δύο ημέρες. Οι Martínez-Fernández et al., (2016) χρησιμοποίησαν το SMOS L2 για τον υπολογισμό του δείκτη ελλείμματος νερού εδάφους (SWDI) στην Ισπανία το 2014. Σε αυτήν την προσπάθεια, ακολούθησαν διαφορετικές προσεγγίσεις για να αποκτήσουν τις παραμέτρους του εδάφους για να συγκρίνουν με τα SWDI που αποκτήθηκαν από δεδομένα in situ (Santhi et al., 2017).

Οι Vagen et al., (2016) χρησιμοποίησαν τον αισθητήρα φασματοσκοπίου μετρητή μέσης ανάλυσης (MODIS) για να χαρτογραφήσουν διάφορες λειτουργικές ιδιότητες του εδάφους για να εκτιμήσουν τον κίνδυνο υποβάθμισης της γης για την υποσαχάρια Αφρική. Οι χάρτες εδάφους και τα δεδομένα έρευνας πεδίου, τα οποία κάλυπταν όλες τις σημαντικές κλιματικές ζώνες στην ήπειρο, χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης. Οι αισθητήρες και οι τεχνολογίες που βασίζονται στην όραση είναι χρήσιμες για τον καθορισμό της απόστασης και του βάθους για την αποτελεσματική σπορά του σπόρου. Όπως και στο Santhi et al., (2017) αυτόνομο ρομπότ με βάση τον αισθητήρα και την όραση που ονομάζεται Agribot αναπτύχθηκε για τη σπορά σπόρων. Το ρομπότ μπορεί να αποδώσει σε οποιοδήποτε γεωργικές εκτάσεις στις οποίες η αυτογνωσία της τοποθέτησης του ρομπότ επιβεβαιώνεται μέσω των παγκόσμιων και τοπικών χαρτών που δημιουργούνται από το Global Positioning System (GPS), ενώ το ενσωματωμένο σύστημα όρασης συνδυάζεται με έναν προσωπικό υπολογιστή. Προχωρώντας περαιτέρω, προτείνονται διάφορες μέθοδοι ανίχνευσης χωρίς επαφή για τον προσδιορισμό του ρυθμού ροής των σπόρων όπως στην έρευνα των Karimi et al., (2017) όπου οι αισθητήρες είναι εξοπλισμένοι με LED. αποτελούνται από υπέρυθρο, ορατό φως και λέιζερ-LED, καθώς και ένα στοιχείο ως δέκτης ακτινοβολίας. Η τάση εξόδου ποικίλλει ανάλογα με την κίνηση των σπόρων μέσω του αισθητήρα και της ζώνης των ακτίνων φωτός και την πτώση των αποχρώσεων στα στοιχεία του δέκτη. Οι πληροφορίες σήματος, που



συνδέονται με τους διερχόμενους σπόρους, χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ρυθμού ροής των σπόρων.

## Άρδευση

Περίπου το 97% του νερού της Γης είναι αλμυρό νερό που κατέχουν οι ωκεανοί και οι θάλασσες, και μόνο το υπόλοιπο 3% είναι γλυκό νερό - περισσότερο από τα δύο τρίτα των οποίων είναι κατεψυγμένα με τη μορφή παγετώνων και πολικών καλυμμάτων πάγου. Μόνο το 0,5% του παγωμένου γλυκού νερού βρίσκεται πάνω από το έδαφος ή στον αέρα, καθώς το υπόλοιπο βρίσκεται υπόγειο. Εν ολίγοις, η ανθρωπότητα βασίζεται σε αυτό το 0,5% για να ικανοποιήσει όλες τις απαιτήσεις της και να συντηρήσει το οικοσύστημα, καθώς πρέπει να διατηρείται αρκετό γλυκό νερό σε ποτάμια, λίμνες και άλλες παρόμοιες δεξαμενές για να το διατηρήσει. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο η γεωργική βιομηχανία χρησιμοποιεί περίπου το 70% αυτού του προσβάσιμου γλυκού νερού. Ο κύριος λόγος για την υψηλή κατανάλωση νερού είναι η διαδικασία παρακολούθησης, καθώς ακόμη και το 2013, η οπτική επιθεώρηση των καλλιεργειών για τη λήψη αποφάσεων άρδευσης ήταν πολύ συχνή, καθώς σχεδόν στο 80% των αγροκτημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες λαμβάνονται αποφάσεις με οπτική επιθεώρηση. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης (UNCCD) το 2013 προκύπτει ότι υπήρχαν 168 χώρες που έχουν πληγεί από την απερίημωση και έως το 2030, σχεδόν το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει σε περιοχές με υψηλή έλλειψη νερού. Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία των κρίσεων νερού σε όλο τον κόσμο, την ίδια στιγμή που αυξάνονται οι απαιτήσεις στη γεωργία και σε πολλές άλλες βιομηχανίες, θα πρέπει να παρέχεται μόνο σε μέρη όπου χρειάζεται και, το πιο σημαντικό, σε απαιτούμενες ποσότητες. Για το σκοπό αυτό, έχει αυξηθεί η ευαισθητοποίηση για τη διατήρηση των υφιστάμενων υδάτινων πόρων υπό πίεση χρησιμοποιώντας πιο αποτελεσματικά συστήματα άρδευσης (Motoshita et al., 2018).

Προωθούνται διάφορες ελεγχόμενες μέθοδοι άρδευσης, όπως στάγδην άρδευση και άρδευση ψεκαστήρα για την αντιμετώπιση των ζητημάτων σπατάλης νερού, τα οποία βρέθηκαν επίσης σε παραδοσιακές μεθόδους όπως άρδευση με κατάκλυση και άρδευση αυλακώσεων. Τόσο η ποιότητα όσο και η ποσότητα της καλλιέργειας επηρεάζονται δυσμενώς όταν αντιμετωπίζετε έλλειψη νερού, καθώς η ακανόνιστη άρδευση, ακόμη και η υπερβολική, οδηγεί σε μειωμένα

θρεπτικά συστατικά του εδάφους και προκαλεί διαφορετικές μικροβιακές λοιμώξεις. Δεν είναι απλό καθήκον να εκτιμηθεί με ακρίβεια η ζήτηση νερού των καλλιεργειών, όπου εμπλέκονται παράγοντες όπως ο τύπος της καλλιέργειας, η μέθοδος άρδευσης, ο τύπος του εδάφους, οι βροχοπτώσεις, οι ανάγκες των καλλιεργειών και η κατακράτηση υγρασίας του εδάφους. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το γεγονός, ένα ακριβές σύστημα ελέγχου υγρασίας εδάφους και αέρα που χρησιμοποιεί τους ασύρματους αισθητήρες όχι μόνο κάνει τη βέλτιστη χρήση του νερού, αλλά επίσης οδηγεί σε καλύτερη υγεία των καλλιεργειών (de Oliveira et al., 2017)

Η τρέχουσα κατάσταση των μεθόδων άρδευσης αναμένεται να αλλάξει υιοθετώντας τις αναδυόμενες τεχνολογίες IoT. Αναμένεται σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας των καλλιεργειών με τη χρήση τεχνικών βασισμένων σε IoT, όπως η διαχείριση άρδευσης με βάση τον δείκτη πίεσης του νερού (CWSI). Για αυτό, απαιτείται η επίτευξη θόλων καλλιέργειας σε διαφορετικές περιόδους και θερμοκρασία αέρα για τον υπολογισμό του CWSI. Ένα ασύρματο σύστημα παρακολούθησης βασισμένο σε αισθητήρες όπου όλοι οι αισθητήρες πεδίου είναι συνδεδεμένοι για τη συλλογή των αναφερόμενων μετρήσεων, μεταδίδουν περαιτέρω στο κέντρο επεξεργασίας όπου χρησιμοποιούνται αντίστοιχες έξυπνες εφαρμογές λογισμικού για την ανάλυση των δεδομένων εκμετάλλευσης (Motoshita et al., 2018).

## Λίπασμα

Ένα λίπασμα είναι μια φυσική ή χημική ουσία που μπορεί να παρέχει σημαντικά θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη και τη γονιμότητα των φυτών. Τα φυτά χρειάζονται κυρίως τρία βασικά μακροθρεπτικά συστατικά: άζωτο (N) για την ανάπτυξη των φύλλων, φωσφόρος (P) για ρίζα, άνθη και ανάπτυξη φρούτων, κάλιο (K) για ανάπτυξη βλαστών και κίνηση του νερού. Οποιαδήποτε έλλειψη θρεπτικών συστατικών ή η ακατάλληλη εφαρμογή τους μπορεί να είναι σοβαρά επιβλαβής για την υγεία των φυτών. Το πιο σημαντικό, η υπερβολική χρήση λιπασμάτων όχι μόνο οδηγεί σε οικονομικές απώλειες, αλλά επίσης δημιουργεί επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος και το περιβάλλον μειώνοντας την ποιότητα του εδάφους, δηλητηριάζοντας τα υπόγεια ύδατα και συμβάλλοντας στις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές. Συνολικά, οι καλλιέργειες απορροφούν λιγότερο από το μισό άζωτο που εφαρμόζεται ως λίπασμα, ενώ παραμένουν είτε εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είτε χάνονται ως απορροή. Η μη ισορροπημένη χρήση λιπασμάτων οδηγεί σε ανισορροπία τόσο στα επίπεδα θρεπτικών συστατικών του εδάφους όσο και στο παγκόσμιο κλίμα, καθώς, σύμφωνα με πληροφορίες,

περίπου το 80% της παγκόσμιας αποψίλωσης των δασών οφείλεται μόνο σε γεωργικές πρακτικές (Lavanya et al., 2019).

Η λίπανση στο πλαίσιο της έξυπνης γεωργίας συμβάλλει στον ακριβή υπολογισμό της απαιτούμενης δόσης θρεπτικών ουσιών, ελαχιστοποιώντας τελικά τις αρνητικές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Η λίπανση απαιτεί μετρήσεις επιπέδου θρεπτικών ουσιών στο έδαφος με βάση διάφορους παράγοντες, όπως τον τύπο καλλιέργειας, τον τύπο του εδάφους, την ικανότητα απορρόφησης του εδάφους, την απόδοση του προϊόντος, τον τύπο γονιμότητας και το ποσοστό χρησιμοποίησης, την κατάσταση του καιρού κ.λπ. δεν είναι μόνο ακριβό αλλά και χρονοβόρο, καθώς, συνήθως, απαιτούνται έρευνες δειγμάτων εδάφους σε κάθε τοποθεσία. Για την καλύτερη απεικόνιση αυτής της συζήτησης, το σχήμα 4, συνοψίζει τις σημαντικότερες εισόδους, τις διαδικασίες και τα αποτελέσματα της έξυπνης γεωργίας. Νέες προσεγγίσεις λίπανσης με βάση το IoT βοηθούν στον υπολογισμό των χωρικών προτύπων των απαιτήσεων θρεπτικών ουσιών με μεγαλύτερη ακρίβεια και ελάχιστες απαιτήσεις εργασίας (Benincasa et al., 2018).

Για παράδειγμα, ο δείκτης βλάστησης Normalized Difference (NDVI) χρησιμοποιεί κεραίες/δορυφορικές εικόνες για την παρακολούθηση της κατάστασης των θρεπτικών συστατικών των καλλιεργειών. Βασικά, το NDVI βασίζεται στην αντανάκλαση του ορατού και σχεδόν υπέρυθρου φωτός από τη βλάστηση και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της υγείας των καλλιεργειών, της βαρύτητας και της πυκνότητας των φυτών, συμβάλλοντας περαιτέρω στην εκτίμηση του επιπέδου των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Αυτή η ακριβής εφαρμογή μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των λιπασμάτων, μειώνοντας ταυτόχρονα τις παρενέργειες στο περιβάλλον. Πολλές πρόσφατες τεχνολογίες ενεργοποίησης, όπως η ακρίβεια GPS, η γεωγραφική χαρτογράφηση, η τεχνολογία μεταβλητού ρυθμού (VRT) και τα αυτόνομα οχήματα, συμβάλλουν σημαντικά στην έξυπνη γονιμοποίηση με βάση το IoT (Lavanya et al., 2019).



Εικόνα 4. Ορισμένες βασικές εισροές, διαδικασίες που εμπλέκονται και πιθανές εκροές της έξυπνης γεωργίας

## Διαχείριση ασθενειών

Ο Μεγάλος λιμός, επίσης γνωστός ως Ιρλανδικός Λιμός Πατάτας, στην οποία περίπου ένα εκατομμύριο Ιρλανδοί άνθρωποι πέθαναν γύρω στο 1850, οφείλονται στην αποτυχία των καλλιεργειών και στη μείωση της απόδοσης που προκλήθηκε από τη «νόσο της πατάτας».

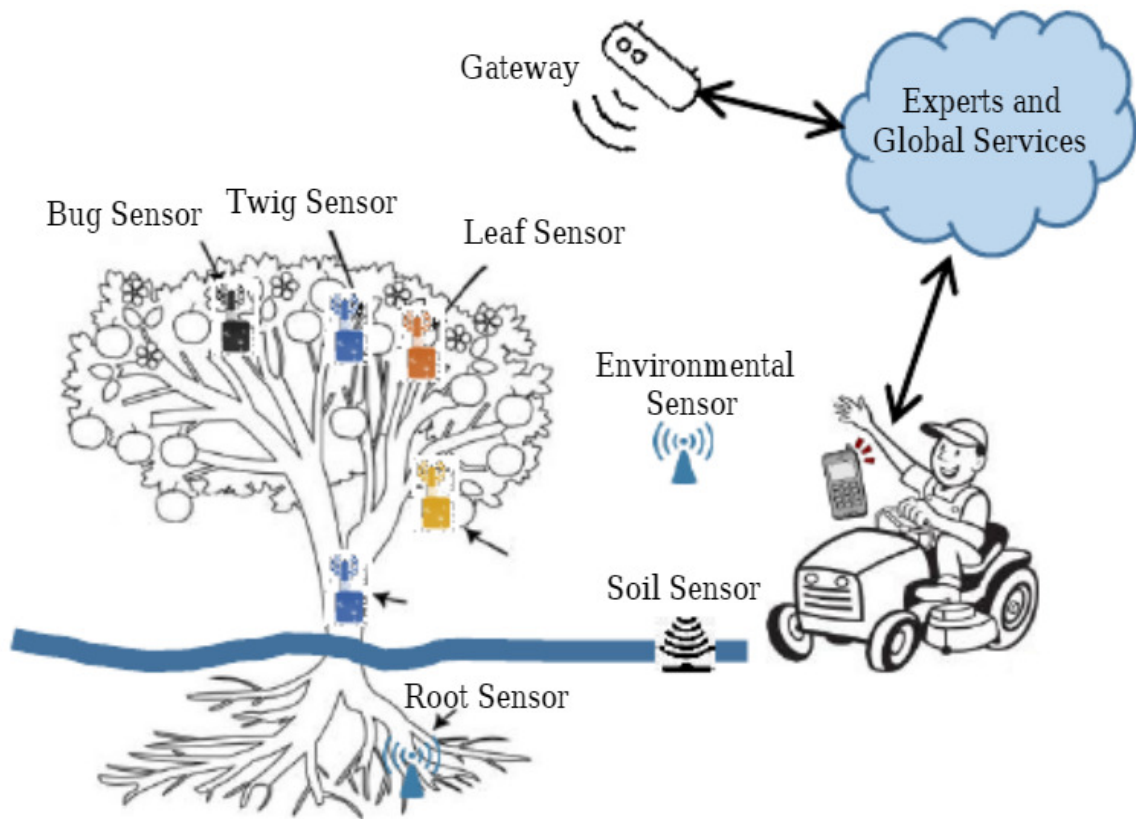
Για τον έλεγχο αυτών των τεράστιων απωλειών παραγωγής, τα φυτοφάρμακα και άλλα αγροχημικά έγιναν ένα σημαντικό στοιχείο της γεωργικής βιομηχανίας κατά τον τελευταίο αιώνα. Εκτιμάται ότι, κάθε χρόνο, περίπου μισό εκατομμύριο τόνοι φυτοφαρμάκων χρησιμοποιούνται μόνο στις ΗΠΑ, ενώ περισσότεροι από δύο εκατομμύρια τόνοι χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Τα περισσότερα από αυτά τα φυτοφάρμακα είναι επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων, αφήνοντας σοβαρές, ακόμη και μη αναστρέψιμες, επιπτώσεις στο περιβάλλον, προκαλώντας τελικά σημαντική μόλυνση σε ολόκληρα οικοσυστήματα. Πρόσφατες έξυπνες συσκευές που βασίζονται σε IoT, όπως ασύρματοι αισθητήρες, ρομπότ και drone επιτρέπουν στους καλλιεργητές να μειώσουν σημαντικά τις χρήσεις φυτοφαρμάκων εντοπίζοντας με ακρίβεια τους εχθρούς των καλλιεργειών. Σε σύγκριση με το παραδοσιακό ημερολόγιο ή τις διαδικασίες ελέγχου παρασίτων βάσει συνταγών, η σύγχρονη διαχείριση παρασίτων με βάση το IoT παρέχει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, μοντελοποίηση, πρόβλεψη ασθενειών, αποδεικνύοντας έτσι αποτελεσματικότερη (Carvalho et al., 2017).

Γενικά, η αξιοπιστία της παρακολούθησης των ασθενειών των καλλιεργειών και της διαχείρισης των παρασίτων εξαρτάται από τρεις πτυχές: αίσθηση, αξιολόγηση και θεραπεία. Οι προηγμένες προσεγγίσεις αναγνώρισης ασθενειών και παρασίτων βασίζονται στην επεξεργασία εικόνων στην οποία οι πρώτες εικόνες λαμβάνονται σε ολόκληρη την περιοχή καλλιέργειας χρησιμοποιώντας αισθητήρες πεδίου, UAV ή δορυφόρους τηλεανίχνευσης. Συνήθως, οι εικόνες τηλεπισκόπησης καλύπτουν μεγάλες περιοχές και, ως εκ τούτου, προσφέρουν υψηλότερη απόδοση με χαμηλότερο κόστος. Από την άλλη πλευρά, οι αισθητήρες πεδίου είναι σε θέση να υποστηρίζουν περισσότερες λειτουργίες στη συλλογή δεδομένων, όπως δειγματοληψία περιβάλλοντος, υγεία φυτών και καταστάσεις παρασίτων, σε κάθε γωνία καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας. Για παράδειγμα, οι αυτοματοποιημένες παγίδες που βασίζονται σε IoT μπορούν να συλλάβουν, να μετρήσουν και ακόμη και να χαρακτηρίσουν τύπους εντόμων, ανεβάζοντας περαιτέρω δεδομένα στο Cloud για λεπτομερή ανάλυση, κάτι που δεν είναι εφικτό μέσω τηλεπισκόπησης. Προσεγγίσεις όπως το ακριβές σπρέι οχήματος και η αυτόματη εφαρμογή (ψεκασμός) φυτοφαρμάκου ή λιπάσματος μέσω συστήματος άρδευσης VRT, που χρησιμοποιούνται συνήθως υπό έξυπνη λίπανση, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη θεραπεία ασθενειών και άλλες εφαρμογές φυτοφαρμάκων. Επιπλέον, η πρόοδος της ρομποτικής τεχνολογίας προσφέρει νέες λύσεις (Kim et al., 2018).

## Παρακολούθηση, προβλέψεις και συλλογή

Η παρακολούθηση της απόδοσης είναι ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την ανάλυση διαφόρων πτυχών που αντιστοιχούν στη γεωργική απόδοση, όπως η ροή μάζας κόκκων, η περιεκτικότητα σε υγρασία και η συγκομιδή ποσότητα κόκκων. Βοηθά να εκτιμηθεί με ακρίβεια καταγράφοντας την απόδοση της καλλιέργειας και το επίπεδο υγρασίας για να εκτιμηθεί, πόσο καλά αποδόθηκε η καλλιέργεια και τι πρέπει να κάνετε στη συνέχεια. Η παρακολούθηση της απόδοσης θεωρείται ουσιαστικό μέρος της καλλιέργειας ακριβείας όχι μόνο κατά τη συγκομιδή, αλλά και πριν από αυτό, καθώς η παρακολούθηση της ποιότητας της απόδοσης παίζει καθοριστικό ρόλο. Η ποιότητα της απόδοσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, π.χ. επαρκής επικονίαση με καλής ποιότητας γύρη ειδικά όταν προβλέπουμε τις αποδόσεις των σπόρων σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επί του παρόντος, όταν έχουμε να κάνουμε με πιο ανοιχτές αγορές, οι αγοραστές σε όλο τον κόσμο γίνονται πιο συγκεκριμένοι για την ποιότητα των φρούτων (Wietzke et al., 2018).

Ως εκ τούτου, η αποτελεσματική παραγωγή εξαρτάται από το σωστό μέγεθος φρούτων στη σωστή αγορά τη σωστή στιγμή. Η πρόβλεψη καλλιεργειών είναι μια τέχνη για την πρόβλεψη της απόδοσης και της παραγωγής (τόνου/εκτάριο) πριν από τη συγκομιδή. Αυτή η πρόβλεψη βοηθά τον αγρότη για μελλοντικό σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, η ανάλυση της ποιότητας απόδοσης και της ωριμότητάς της είναι ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας που επιτρέπει τον προσδιορισμό του σωστού χρόνου για τη συγκομιδή. Αυτή η παρακολούθηση καλύπτει διάφορα στάδια ανάπτυξης και χρησιμοποιεί συνθήκες φρούτων όπως το χρώμα, το μέγεθος κ.λπ., για το σκοπό αυτό. Η πρόβλεψη του σωστού χρόνου συγκομιδής όχι μόνο συμβάλλει στη μεγιστοποίηση της ποιότητας και της παραγωγής της καλλιέργειας, αλλά παρέχει επίσης την ευκαιρία προσαρμογής της στρατηγικής διαχείρισης. Αν και η συγκομιδή είναι το τελευταίο στάδιο αυτής της διαδικασίας, ο σωστός προγραμματισμός μπορεί να κάνει μια σαφή διαφορά. Για να αποκτήσουν τα πραγματικά οφέλη από τις καλλιέργειες, οι αγρότες πρέπει να γνωρίζουν πότε αυτές οι καλλιέργειες είναι πραγματικά έτοιμες για συγκομιδή. Το Σχήμα 5 αντιπροσωπεύει ένα στιγμιότυπο ενός δικτύου περιοχής εκμετάλλευσης (FAN) που μπορεί να απεικονίσει ολόκληρο το αγρόκτημα στον αγρότη σε πραγματικό χρόνο (Chung et al., 2016).



Εικόνα 5. Ένα δίκτυο αγροτικών περιοχών με βάση το IoT (FAN)

Μια οθόνη απόδοσης μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιονδήποτε συνδυασμό θεριζοαλωνιστικών μηχανών και να συνδεθεί με την εφαρμογή για κινητά FarmRTX, η οποία εμφανίζει δεδομένα ζωντανής συγκομιδής και τα ανεβάζει αυτόματα στην πλατφόρμα που βασίζεται στον ιστό του κατασκευαστή. Αυτή η εφαρμογή έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί χάρτες απόδοσης υψηλής ποιότητας και να μοιράζεται αυτούς τους χάρτες με έναν γεωπόνο και ο αγρότης έχει επίσης την επιλογή να εξάγει σε άλλο λογισμικό διαχείρισης αγροκτήματος για να τους αναλύσει. Για να εκτιμηθεί με ακρίβεια η παραγωγή και η ποιότητα της απόδοσης, η μέτρηση της ανάπτυξης των φρούτων μπορεί να είναι εξαιρετικά επωφελής. Αυτή η ιδέα χρησιμοποιείται από τους Luigi et al., (2015), όπου οι συγγραφείς θεώρησαν την ανάπτυξη φρούτων ως την πιο βασική και σχετική παράμετρο για να εκτιμήσουν πόσο καλά προχωρά η καλλιέργεια (Wietzke et al., 2018).



## Προηγμένες γεωργικές πρακτικές

Η υιοθέτηση των νέων μεθόδων για την ενίσχυση της ποιότητας και της ποσότητας των τροφίμων δεν είναι κάτι νέο, καθώς οι άνθρωποι το κάνουν αυτό εδώ και αιώνες. Αρχικά, προσπαθήσαμε να βελτιώσουμε την παραγωγή των καλλιεργειών εστιάζοντας στην ποικιλία των σπόρων, στα λιπάσματα και στα φυτοφάρμακα. Σύντομα συνειδητοποιήθηκε ότι αυτοί οι συμβατικοί τρόποι δεν ήταν αρκετοί για να καλύψουν αυτό το κενό ζήτησης. Ως εκ τούτου, οι επιστήμονες της γεωργίας έχουν αρχίσει να σκέφτονται άλλες εναλλακτικές λύσεις, όπως τα βιομηχανικά τρόφιμα (BE). Τα τρόφιμα BE, επίσης γνωστά ως γενετικά τροποποιημένα (GM) ή γενετικά τροποποιημένα (GE) τρόφιμα, είναι τρόφιμα που παράγονται εισάγοντας αλλαγές στο DNA τους χρησιμοποιώντας τις μεθόδους γενετικής μηχανικής. Ωστόσο, αρκετές μελέτες υπογραμμίζουν τις σοβαρές επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία, όπως η στειρότητα, η διαταραχή του ανοσοποιητικού συστήματος, η επιταχυνόμενη γήρανση, οι ελαττωματικοί κανονισμοί ινσουλίνης κ.λπ. Όλα αυτά και πολλές άλλες παρόμοιες τεχνολογίες δεν έλαβαν μεγάλη δημοτικότητα και αποδοχή στην κοινωνία, επειδή οι άνθρωποι προτιμούν βιολογικά τρόφιμα. Από αυτήν την άποψη, έχει διεξαχθεί μαζική έρευνα εδώ και δεκαετίες, κατά την οποία οι αισθητήρες και οι τεχνολογίες που βασίζονται σε IoT συμβάλλουν στη βελτίωση των συμβατικών γεωργικών διαδικασιών για την ενίσχυση της παραγωγής απόδοσης χωρίς ή με ελάχιστη επίδραση στην πρωτοτυπία της. Για το σκοπό αυτό, προβλέπονται νέα εξελιγμένα και πιο ελεγχόμενα περιβάλλοντα για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων ζητημάτων. Η σημασία και η συμμετοχή των νέων τεχνολογιών είναι πιο κρίσιμη, καθώς προχωρούμε προς μια πιο πολιτισμένη και αστική γεωργία. Στην πραγματικότητα, δεν θα ήταν λάθος να πει κανείς ότι η επιτυχία αυτών των προηγμένων πρακτικών είναι αναμφίβολα χωρίς τη χρήση τεχνολογιών βασισμένων σε αισθητήρες (Zhang et al., 2016).

## Καλλιέργεια θερμοκηπίου

Η καλλιέργεια θερμοκηπίου θεωρείται η παλαιότερη μέθοδος έξυπνης καλλιέργειας. Η ιδέα της καλλιέργειας φυτών σε ελεγχόμενο περιβάλλον δεν είναι καινούργια καθώς βρέθηκε από τους ρωμαϊκούς χρόνους, αλλά κέρδισε δημοτικότητα τον 19ο αιώνα όπου κατασκευάστηκαν μεγαλύτερα θερμοκήπια στη Γαλλία, την Ολλανδία και την Ιταλία. Επιπλέον, η πρακτική



επιταχύνθηκε στα μέσα του 20ού αιώνα και προωθήθηκε ιδιαίτερα σε χώρες που αντιμετωπίζουν σκληρές καιρικές συνθήκες. Οι καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε εσωτερικούς χώρους επηρεάζονται πολύ λιγότερο από το περιβάλλον. το πιο σημαντικό, δεν περιορίζονται στη λήψη φωτός μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ως αποτέλεσμα, οι καλλιέργειες που παραδοσιακά μπορούσαν να καλλιεργηθούν μόνο υπό κατάλληλες συνθήκες ή σε ορισμένα μέρη του κόσμου, αναπτύσσονται τώρα οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Αυτή ήταν η πραγματική στιγμή κατά την οποία οι αισθητήρες και οι συσκευές επικοινωνίας άρχισαν πραγματικά να υποστηρίζουν διάφορες γεωργικές εφαρμογές. Η επιτυχία και η παραγωγή διαφόρων καλλιεργειών σε τέτοιο ελεγχόμενο περιβάλλον εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η ακρίβεια των παραμέτρων παρακολούθησης, η δομή του υπόστεγου, το υλικό κάλυψης για τον έλεγχο των επιπτώσεων του ανέμου, το σύστημα εξαερισμού, το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων κ.λπ. Μια λεπτομερής ανάλυση παρέχεται από τους Shamshiri et al., (2018) όπου λαμβάνονται υπόψη όλοι αυτοί οι παράγοντες, οι επιπτώσεις τους και πώς μπορούν να βοηθήσουν οι ασύρματοι αισθητήρες για όλα αυτά. Η ακριβής παρακολούθηση των παραμέτρων του περιβάλλοντος είναι το πιο κρίσιμο έργο στα σύγχρονα θερμοκήπια, όπου απαιτούνται διάφορα σημεία μέτρησης διαφόρων παραμέτρων για τον έλεγχο και τη διασφάλιση του τοπικού κλίματος. Ακόμα, προτείνεται ένα πρωτότυπο βασισμένο σε IoT για την παρακολούθηση των θερμοκηπίων όπου οι κόμβοι MicaZ χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των εσωτερικών παραμέτρων όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, το φως και η πίεση (Shamshiri et al., 2018).

## **Κάθετη γεωργία**

Ο κόσμος χρειάζεται περισσότερες καλλιεργήσιμες εκτάσεις για να ικανοποιήσει τις αυξημένες ανάγκες σε τρόφιμα, αλλά η πραγματικότητα είναι ότι το ένα τρίτο της αρόσιμης γης χάθηκε τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες λόγω διάβρωσης και ρύπανσης. Δυστυχώς, οι τρέχουσες γεωργικές πρακτικές που βασίζονται στη βιομηχανική γεωργία βλάπτουν την ποιότητα του εδάφους πολύ πιο γρήγορα από ότι η φύση μπορεί να την ανοικοδομήσει. Συνολικά, εκτιμάται ότι οι ρυθμοί διάβρωσης από καλλιεργημένα χωράφια είναι 10 έως 40 φορές μεγαλύτεροι από τους ρυθμούς σχηματισμού εδάφους. Λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση των αρόσιμων γαιών, θα μπορούσε να είναι καταστροφή για την παραγωγή τροφίμων στο εγγύς μέλλον με τις τρέχουσες

γεωργικές πρακτικές. Επιπλέον, όπως αναφέραμε, το 70% του γλυκού νερού χρησιμοποιείται μόνο για γεωργικούς σκοπούς, γεγονός που μπορεί να αυξήσει την επιβάρυνση για τις υπάρχουσες περιορισμένες δεξαμενές νερού. Η Vertical Farming (VF) είναι μια απάντηση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της έλλειψης γης και νερού. Το VF με τη μορφή της αστικής γεωργίας προσφέρει την ευκαιρία να συσσωρεύονται τα φυτά σε ένα πιο ελεγχόμενο περιβάλλον με αποτέλεσμα, το πιο σημαντικό, σημαντική μείωση της κατανάλωσης πόρων (Benke et al., 2017).

Ακολουθώντας αυτήν τη μέθοδο, μπορούμε να αυξήσουμε την παραγωγή πολλές φορές, καθώς απαιτείται μόνο ένα κλάσμα της επιφάνειας του εδάφους (ανάλογα με τον αριθμό των στοιβών) σε σύγκριση με τις παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές. Όχι μόνο για την επιφάνεια του εδάφους, αυτό το σύστημα είναι πολύ αποδοτικό σε όρους άλλων πόρων, επίσης. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τον Mirai (2019), ένας προγραμματιστής εσωτερικού αγροκτήματος με έδρα την Ιαπωνία παρουσίασε τα στοιχεία σχετικά με ένα ιαπωνικό αγρόκτημα που αποτελείται από 25.000 τετραγωνικά μέτρα. Οι αριθμοί είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικοί, καθώς παράγει 10.000 κεφάλια μαρουλιού ανά ημέρα (διπλασιάζει την παραγωγή σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους) και, το πιο σημαντικό, καταναλώνει 40% λιγότερη ενέργεια και έως 99% μειωμένη κατανάλωση νερού σε σύγκριση με εξωτερικούς χώρους. Η AeroFarms, ηγέτης στην VF, καλλιεργεί γεωργικά προϊόντα με έως και 390 φορές υψηλότερες αποδόσεις, ενώ χρησιμοποιεί 95% λιγότερο νερό στο Newark. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο εκτροφής, πολλές παράμετροι είναι σημαντικές, αλλά οι μετρήσεις CO<sub>2</sub> είναι πιο κρίσιμες. Ως εκ τούτου, οι αισθητήρες CO<sub>2</sub> μη διασποράς υπέρυθρων (NDIR) παίζουν κρίσιμο ρόλο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συνθηκών σε κάθετες εκμεταλλεύσεις (Pimentel et al., 2013).

## Υδροπονική

Προκειμένου να ενισχυθούν τα οφέλη της καλλιέργειας θερμοκηπίου, οι ειδικοί της γεωργίας προχώρησαν ένα ακόμα βήμα και παρείχαν την ιδέα της υδροπονίας, ένα υποσύνολο της υδροκαλλιέργειας στην οποία τα φυτά καλλιεργούνται χωρίς έδαφος. Το υδροπονικό σύστημα βασίζεται σε ένα σύστημα άρδευσης στο οποίο οι ισορροπημένες θρεπτικές ουσίες διαλύονται στο νερό και οι ρίζες των καλλιεργειών παραμένουν σε αυτό το διάλυμα. Σε ορισμένες

περιπτώσεις, οι ρίζες μπορούν να υποστηριχθούν από μέσο όπως περλίτη ή χαλίκι. Όταν συνδυάζετε υδροπονικά με VF, ένα αγρόκτημα 100 τετραγωνικών μέτρων μπορεί να παράγει τη σοδειά που ισοδυναμεί με 1 στρέμμα παραδοσιακής φάρμας, κυρίως το 95% λιγότερη χρήση νερού και λιπασμάτων και χωρίς φυτοφάρμακα/ζιζανιοκτόνα. Επί του παρόντος, τα διαθέσιμα συστήματα και αισθητήρες δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την παρακολούθηση ενός εύρους παραμέτρων και για τη λήψη μετρήσεων σε προκαθορισμένα διαστήματα, αλλά, επίσης, οι μετρήσεις αποθηκεύονται έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση και τον διαγνωστικό σκοπό αργότερα.

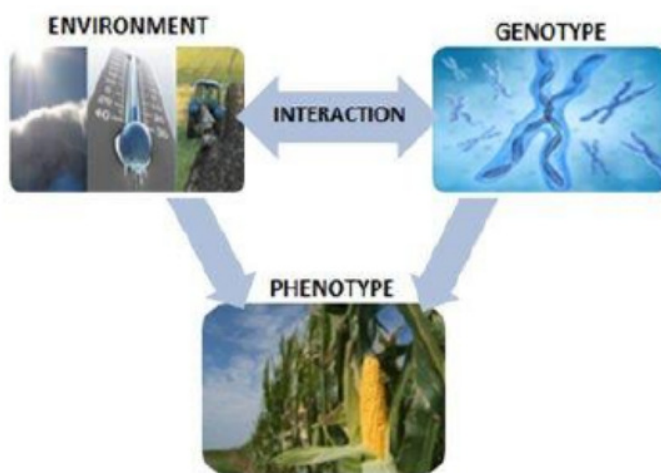
Η παρακολούθηση του περιεχομένου του διαλύματος και η ακρίβειά τους είναι πιο κρίσιμη με αυτήν τη μέθοδο. Για το σκοπό αυτό, προσφέρονται πολλά συστήματα για τον έλεγχο της παρουσίας περιεχομένων λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Οι Theopoulos et al. (2018) προτείνουν ένα πρωτότυπο που βασίζεται σε ασύρματο αισθητήρα για να προσφέρει μια λύση για την υδροπονική καλλιέργεια που προσφέρει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο για την άνυδρη εσωτερική ανάπτυξη. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια συμπαγής μονάδα αισθητήρα από τους Nishimura et al. (2017) που χρησιμοποιεί κυκλώματα ταλαντωτών για τη μέτρηση της παρουσίας και των συγκεντρώσεων διαφόρων θρεπτικών συστατικών και επιπέδων νερού.

## Φαινότυπος

Οι έξυπνες μέθοδοι που συζητήθηκαν προηγουμένως φαίνονται πιο ελπιδοφόρες για το μέλλον της γεωργίας, καθώς χρησιμοποιούνται ήδη για την παραγωγή διαφορετικών φυτικών προϊόντων σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα. Εκτός από αυτές, μερικές προηγμένες τεχνικές βρίσκονται υπό πειράματα για την περαιτέρω ενίσχυση των δυνατοτήτων καλλιέργειας ελέγχοντας τους περιορισμούς τους με τη βοήθεια προηγμένων τεχνολογιών ανίχνευσης και επικοινωνίας. Μεταξύ αυτών των μεθόδων, το πιο εμφανές είναι ο φαινοτυπικός χαρακτήρας, ο οποίος βασίζεται στην αναδυόμενη μηχανική καλλιέργειας, η οποία συνδέει τη γονιδιωματική των φυτών με την οικοφυσιολογία και την αγρονομία της, όπως φαίνεται στο

Σχήμα 6. Η πρόοδος στα μοριακά και γενετικά εργαλεία για διάφορες αναπαραγωγικές καλλιέργειες ήταν σημαντική την τελευταία φορά δεκαετία. Ωστόσο, μια ποσοτική ανάλυση της συμπεριφοράς των καλλιεργειών, π.χ. το βάρος των κόκκων, η αντοχή στα παθογόνα κ.λπ., ήταν περιορισμένο λόγω της έλλειψης αποτελεσματικών τεχνικών και τεχνολογιών που μπορούμε τώρα να απολαύσουμε.

Οι έρευνες, που ολοκληρώθηκαν από τους Triprodi et al., (2018), καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο φαινοτυπικός σχεδιασμός των φυτών μπορεί να είναι εξαιρετικά επωφελής για τη διερεύνηση των ποσοτικών χαρακτηριστικών, όπως αυτά που είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξή του, την ποιότητα απόδοσης και την ποσότητα και τις ικανότητες αντίστασης για τον χειρισμό διαφόρων πιέσεων. Ομοίως, ο ρόλος των τεχνολογιών ανίχνευσης και του φαινοτύπου με βάση την εικόνα τονίζεται από τους Rouphael et al., (2018) και περιγράφει πώς αυτές οι λύσεις μπορούν να βοηθήσουν στην ενίσχυση της προόδου όχι μόνο για τον έλεγχο πολλών βιοδιεγερτικών αλλά και για τον ρόλο τους στην κατανόηση του τρόπου δράσης. Επιπλέον, μια πλατφόρμα φαινοτυπικών στοιχείων που βασίζεται σε IoT, το CropQuant, έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθεί τις καλλιέργειες και τις σχετικές μετρήσεις χαρακτηριστικών που μπορούν να παρέχουν διευκόλυνση για αναπαραγωγή καλλιεργειών και ψηφιακή γεωργία. Εδώ, αναπτύχθηκε ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου στο πεδίο για την επεξεργασία των δεδομένων που δημιουργούνται από την πλατφόρμα. Το παρεχόμενο χαρακτηριστικό αναλύει τους αλγόριθμους και τη μοντελοποίηση μηχανικής μάθησης που βοηθούν στην εξερεύνηση της σχέσης μεταξύ των γονότυπων, των φαινοτύπων και του περιβάλλοντος όπου αναπτύσσεται.



Εικόνα 6. Η Διαδικασία του Φαινοτυπικού

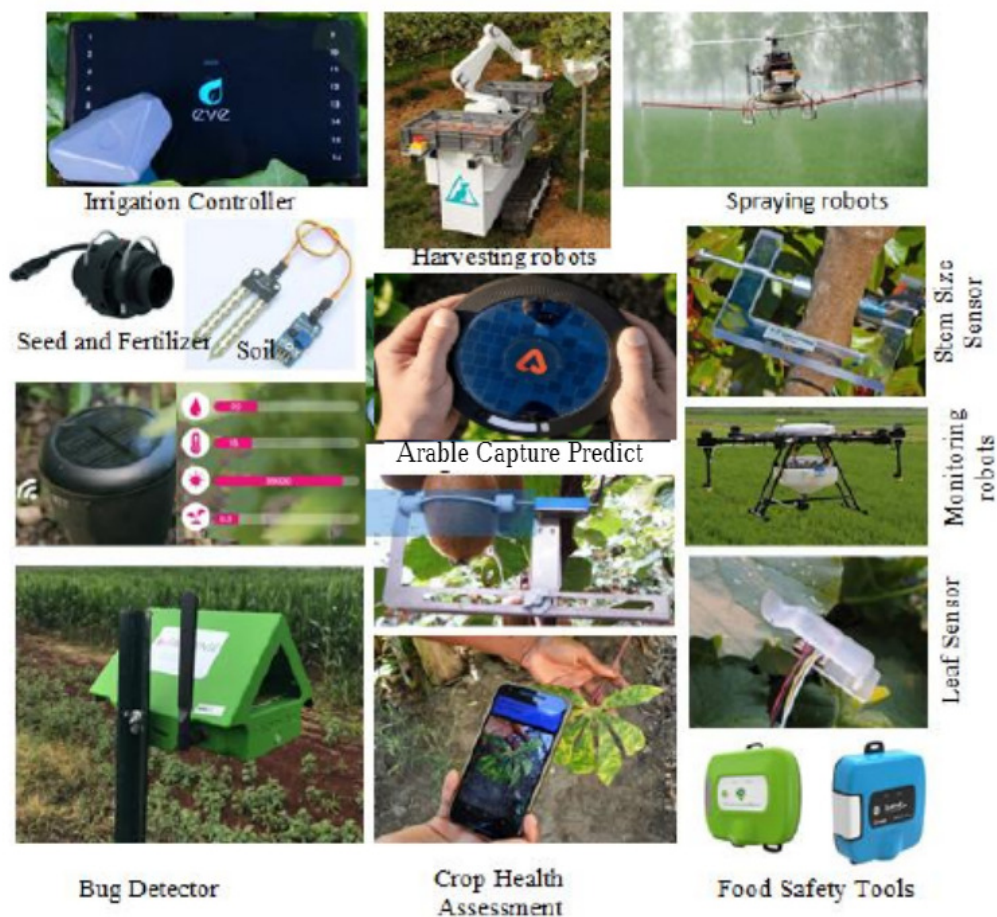
## Εξοπλισμός και τεχνολογίες

Σε αντίθεση με την αρχαία γεωργία, τα περισσότερα από τα καθήκοντα στη σύγχρονη μεγάλης κλίμακας γεωργία εκτελούνται από βαρύ εξοπλισμό, όπως τρακτέρ, θεριστές και άλλα ρομπότ που υποστηρίζονται πλήρως ή εν μέρει από τηλεανίχνευση και άλλες τεχνολογίες επικοινωνίας. Στη γεωργία ακριβείας, όταν εκτελούνται εργασίες όπως η σπορά, η λίπανση, η άρδευση και η συγκομιδή, τα λειτουργικά οχήματα είναι εξοπλισμένα με εγκαταστάσεις GPS και GIS έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν με ακρίβεια, ειδικά για τον ιστότοπο και αυτόνομα. Στην πραγματικότητα, η ιδέα της διαχείρισης καλλιεργειών για συγκεκριμένες τοποθεσίες δεν είναι δυνατή χωρίς τη συμμετοχή των πρόσφατων προηγμένων τεχνολογιών. Η επιτυχία της γεωργίας ακριβείας βασίζεται στην ακρίβεια των συλλεγόμενων δεδομένων, η οποία γίνεται συνήθως με δύο τρόπους. Το πρώτο συνεπάγεται τη χρήση πολυλειτουργικών συσκευών εξοπλισμένων με πλατφόρμες τηλεπισκόπησης, όπως δορυφόροι, γεωργικά αεροπλάνα και UAV. Το δεύτερο προέρχεται από διάφορους τύπους αισθητήρων - που χρησιμοποιούνται κυρίως για συγκεκριμένο σκοπό σε διάφορους ιστότοπους που μας ενδιαφέρουν. Τα δεδομένα που συλλέγονται ταυτίζονται με τις ακριβείς πληροφορίες τοποθεσίας χρησιμοποιώντας συσκευές GPS, έτσι ώστε να μπορεί να παρέχεται συγκεκριμένη μεταχείριση στην ακριβής τοποθεσία (Hassan, 2018).

Η γεωργία έχει μετατραπεί τις τελευταίες δεκαετίες, από μικρές/μεσαίες γεωργικές δραστηριότητες σε εξαιρετικά βιομηχανοποιημένες και εμπορικές. Αυτή η μετάβαση επιτρέπει στις κορυφαίες εταιρείες να αντιμετωπίζουν τη γεωργία όπως και άλλες βιομηχανίες, π.χ. την κατασκευή όπου οι μετρήσεις, τα δεδομένα και ο έλεγχος είναι πολύ σημαντικοί για την εξασφάλιση ισορροπίας μεταξύ κόστους και παραγωγής προκειμένου να αυξηθούν τα κέρδη. Κατά συνέπεια, κάθε πτυχή της γεωργίας που μπορεί να αυτοματοποιηθεί, να σχεδιαστεί ψηφιακά και να διαχειριστεί θα επωφεληθεί από τεχνολογίες και λύσεις IoT. Βάσει αυτού του γεγονότος, οι προσπάθειες εστιάζονται για να προσφέρουν πιο εξελιγμένα εργαλεία, όπως γεωργικά ρομπότ για την εκτέλεση μιας σειράς δραστηριοτήτων, όπως φύτευση, πότισμα, βοτάνισμα, συγκομιδή, αραίωση, λίπανση, ψεκασμός, συσκευασία και μεταφορά. Αυτή η επανάσταση οδηγείται όχι μόνο λόγω της προόδου της τεχνολογίας, αλλά είναι επίσης αποτέλεσμα πολλών παραγόντων όπως ο φόβος της απώλειας εργασίας χαμηλού κόστους, και κυρίως η ανάγκη για καλύτερα και φθηνότερα τρόφιμα. Με βάση αυτά τα γεγονότα, κατά την περίοδο 2017-2022, η παγκόσμια αγορά έξυπνης γεωργίας προβλέπεται να αυξηθεί με ρυθμό



ανάπτυξης 19,3% ετησίως, αγγίζοντας τα 23,14 δισεκατομμύρια δολάρια το 2022. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα UAV/drones παράγουν και αναμένεται περαιτέρω να αποφέρουν τα υψηλότερα έσοδα μεταξύ όλων των γεωργικών ρομπότ που χρησιμοποιούνται στην έξυπνη καλλιέργεια (τα UAV συζητούνται στην Ενότητα V). Η αυξημένη ζήτηση για υψηλότερη απόδοση των καλλιεργειών, η αυξημένη ενσωμάτωση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) στη γεωργία και οι ραγδαίες παγκόσμιες κλιματολογικές αλλαγές είναι μερικοί από τους σημαντικότερους παράγοντες που οδήγησαν σε μια τόσο υψηλή ανάπτυξη της αγοράς. Οι κατασκευαστές στην αγορά προσφέρουν μια ποικιλία προϊόντων και λύσεων, κυρίως με βάση τους αισθητήρες και συνάμα με αποτελεσματική επικοινωνία για μια σειρά εφαρμογών, παρατίθενται μερικά στο σχήμα 7. Οι βασικές τεχνολογίες και εξοπλισμός που διατίθενται επί του παρόντος για το σκοπό αυτό συζητούνται στη συνέχεια (Kong et al., 2017).



Εικόνα 7. Επιλεγμένα προϊόντα βασισμένα στο IoT για έξυπνη γεωργία

## Ασύρματοι αισθητήρες

Μεταξύ όλου του εξοπλισμού για έξυπνη καλλιέργεια που διατίθεται σήμερα στην αγορά, οι ασύρματοι αισθητήρες είναι οι πιο σημαντικοί και διαδραματίζουν βασικό ρόλο όταν πρόκειται για τη συλλογή των συνθηκών καλλιέργειας και άλλων πληροφοριών. Ασύρματοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται αυτόνομοι όπου απαιτείται, ενσωματωμένοι πλέον με σχεδόν κάθε τμήμα προηγμένων γεωργικών εργαλείων και βαρέων μηχανημάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις εφαρμογής. Στη συνέχεια, οι κύριοι τύποι αισθητήρων συζητούνται σύμφωνα με τη διαδικασία εργασίας και τον σκοπό τους και τα οφέλη που προσφέρουν (Stivastava et al., 2013).

## Ακουστικοί αισθητήρες

Οι ακουστικοί αισθητήρες προσφέρουν μια διαφορετική συσκευή στη διαχείριση αγροκτημάτων, συμπεριλαμβανομένης της καλλιέργειας εδάφους, της συγκομιδής φρούτων κ.λπ. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι οι λύσεις χαμηλού κόστους με γρήγορη απόκριση, ειδικά όταν εξετάζουμε φορητό εξοπλισμό. Λειτουργεί μετρώντας την αλλαγή στο επίπεδο θορύβου καθώς το εργαλείο αλληλεπιδρά με άλλα υλικά, π.χ. σωματίδια εδάφους. Οι ακουστικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται συνήθως για την παρακολούθηση και την ανίχνευση παρασίτων και την ταξινόμηση των ποικιλιών σπόρων σύμφωνα με τα φάσματα απορρόφησης ήχου (Stivastava et al., 2013).

## Field-programmable gate array (fpga)-based sensors

Οι αισθητήρες που βασίζονται σε FPGA αρχίζουν να χρησιμοποιούνται στη γεωργία πρόσφατα λόγω της ευελιξίας τους στην αναδιάρθρωση. Οι κύριες επιλογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιλαμβάνουν τη μέτρηση της διαπνοής, της άρδευσης και της υγρασίας των φυτών σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, η χρήση τους στη γεωργία βρίσκεται στα αρχικά στάδια λόγω των περιορισμών τους, όπως το μέγεθος, το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας. Αυτοί οι αισθητήρες απαιτούν περισσότερη ισχύ. Ως εκ τούτου, δεν είναι κατάλληλα για συνεχή παρακολούθηση, με υψηλότερο κόστος ακόμη και σε κίνδυνο της απόδοσης. Ξεπερνώντας αυτά τα ζητήματα, οι αισθητήρες που βασίζονται σε FPGA μπορούν να

προσφέρουν ικανοποιητικές λύσεις σύμφωνα με συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογής (De la piedra et al., 2012).

## Οπτικοί αισθητήρες

Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούν φαινόμενα ανάκλασης του φωτός και βοηθούν στη μέτρηση των οργανικών ουσιών του εδάφους, της υγρασίας και του χρώματος του εδάφους, της παρουσίας ορυκτών και της σύνθεσής τους, της περιεκτικότητας σε άργιλο κ.λπ. Οι αλλαγές που σημειώθηκαν στις ανακλάσεις των κυμάτων βοηθούν στην ένδειξη των αλλαγών στην πυκνότητα του εδάφους και σε άλλες παραμέτρους. Οι βασικοί οπτικοί αισθητήρες φθορισμού χρησιμοποιούνται για τη βασική εκτίμηση των φυτών, ειδικά για την επίβλεψη της ωρίμανσης των φρούτων. Περαιτέρω, κατά την ενσωμάτωση οπτικών αισθητήρων με σκέδαση μικροκυμάτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό θόλων, όπως ελιές και άλλες παρόμοιες καλλιέργειες (Murray, 2018).

## Αισθητήρες υπερηχητικού εύρους (ULTRASONIC RANGING SENSORS)

Οι αισθητήρες αυτής της κατηγορίας θεωρούνται καλή επιλογή με χαμηλό κόστος, με δυνατότητα λειτουργίας σε μια ποικιλία εφαρμογών, καθώς και ευκολία χρήσης και δυνατότητα προσαρμογής, όπως ο ρυθμός δειγματοληψίας. Συνήθεις χρήσεις είναι η παρακολούθηση δεξαμενών, η μέτρηση της απόστασης ψεκασμού (π.χ. έλεγχος ύψους και πλάτους μπούμας για την ομοιόμορφη κάλυψη ψεκασμού, ανίχνευση αντικειμένων και αποφυγή σύγκρουσης) και παρακολούθηση θόλων καλλιέργειας. Όταν συνδυάζονται με μια κάμερα, αυτοί οι αισθητήρες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ζιζανίων, όπου τα ύψη των φυτών αναγνωρίζονται χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες υπερήχων και η κάμερα καθορίζει την κάλυψη ζιζανίων και καλλιεργειών (Gomez et al., 2016).



## Οπτοηλεκτρονικοί αισθητήρες

Οι οπτοηλεκτρονικοί αισθητήρες μπορούν να διαφοροποιήσουν τον τύπο του φυτού. Ως εκ τούτου, βοηθούν στην ανίχνευση ζιζανίων, ζιζανιοκτόνων και άλλων ανεπιθύμητων φυτών, ειδικά σε καλλιέργειες ευρείας σειράς. Όταν συνδυάζει, έναν οπτικοηλεκτρονικό αισθητήρα και με τις πληροφορίες θέσης, μπορεί να χαρτογραφήσει την κατανομή και την ανάλυση ζιζανίων. Οι οπτοηλεκτρονικοί αισθητήρες είναι επίσης ικανοί να διαφοροποιούν τη βλάστηση και το έδαφος από τα φάσματα ανάκλασης (Andujar et al., 2011).

## Αισθητήρες ροής αέρα

Αυτοί οι αισθητήρες είναι σε θέση να μετρήσουν τη διαπερατότητα του εδάφους και το ποσοστό υγρασίας και να προσδιορίσουν τη δομή του εδάφους για να διακρίνουν διαφορετικούς τύπους εδαφών. Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε μοναδικές τοποθεσίες ή δυναμικά ενώ κινούνται, π.χ. μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σταθερή θέση ή σε κινητή λειτουργία. Η επιθυμητή έξοδος είναι η πίεση που απαιτείται για να ωθήσει μια προκαθορισμένη ποσότητα αέρα στο έδαφος σε ένα καθορισμένο βάθος. Ακολουθεί τη διαδικασία διαφόρων ιδιοτήτων του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της συμπύκνωσης, της δομής και των επιπέδων υγρασίας, παράγοντας μοναδικές αναγνωριστικές υπογραφές (Garcia et al., 2012)

## Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες

Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκτίμηση των σημαντικών χαρακτηριστικών του εδάφους και για την ανάλυση των επιπέδων θρεπτικών συστατικών του εδάφους, όπως το pH. Η τυπική ανάλυση χημικού εδάφους, η οποία είναι ως επί το πλείστον ακριβή και χρονοβόρα, μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί με αυτούς τους αισθητήρες. Για να είμαστε πιο ακριβείς, τα μακρο και μικρο θρεπτικά συστατικά στο έδαφος, η αλατότητα και το pH, μετρώνται χρησιμοποιώντας αισθητήρες αυτής της φύσης (Yew et al., 2014).

## Ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες

Οι ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της παροδικής ηλεκτρομαγνητικής απόκρισης, τον εντοπισμό της ηλεκτρικής απόκρισης και την προσαρμογή εφαρμογών μεταβλητού ρυθμού στην πραγματική κατάσταση. Οι αισθητήρες που βασίζονται σε αυτήν την τεχνολογία χρησιμοποιούν ηλεκτρικά κυκλώματα για τη μέτρηση της ικανότητας των σωματιδίων του εδάφους να διεξάγουν ή να συσσωρεύουν ηλεκτρικό φορτίο, κάτι που γίνεται κυρίως με τις ακόλουθες δύο μεθόδους: επαφή ή μη επαφή. Τα υπόλοιπα νιτρικά άλατα και η οργανική ύλη στο έδαφος μπορούν επίσης να μετρηθούν χρησιμοποιώντας τους ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες, (Yunus et al., 2010).

## Μηχανικοί αισθητήρες

Οι μηχανικοί αισθητήρες αξιολογούν τη μηχανική αντίσταση του εδάφους (συμπύκνωση) για να δείξουν το μεταβλητό επίπεδο συμπίεσης. Οι μηχανικοί αισθητήρες εισέρχονται ή κόβουν το έδαφος και καταγράφουν τη δύναμη που εκτιμάται από τους μετρητές τάσης ή τις κυψέλες φορτίου. Μια μονάδα πίεσης χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της μηχανικής αντίστασης του εδάφους, η οποία είναι στην πραγματικότητα ο λόγος της δύναμης που απαιτείται για να περάσει στο έδαφος χρησιμοποιώντας το μετωπικό μέρος του εργαλείου, που είναι πραγματικά συνδεδεμένο με το έδαφος (Hennat et al., 2013).

## Αισθητήρες μαζικής ροής

Η κατηγορία αυτών των αισθητήρων χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της απόδοσης, καθώς παρέχει πληροφορίες απόδοσης μετρώντας την ποσότητα της ροής των κόκκων, π.χ. όταν διέρχεται από τη θεριστική μηχανή. Η ανίχνευση της ροής μάζας των σιτηρών για τον προσδιορισμό της απόδοσης των καλλιεργειών δεν είναι καινούργια, όπως έχει πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ο αισθητήρας ροής μάζας είναι το πιο κρίσιμο

στοιχείο, αλλά, συνολικά, το σύστημα παρακολούθησης απόδοσης αποτελείται από πολλές άλλες ενότητες, όπως ο αισθητήρας υγρασίας κόκκων, η συσκευή αποθήκευσης δεδομένων και ένα εσωτερικό λογισμικό για την ανάλυση των δεδομένων, τα οποία βρίσκονται εντός της παρεχόμενης διεπαφής στα τρακτέρ John Deere (Kong et al., 2017).

### **Αισθητήρες eddy covariance**

Αυτός ο τύπος αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποσοτικοποίηση ανταλλαγών διοξειδίου του άνθρακα, υδρατμών, μεθανίου ή άλλων αερίων, και ενέργειας μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας. Αυτή η μέθοδος προσφέρει έναν ακριβή τρόπο μέτρησης της ροής ενέργειας επιφανειακής ατμόσφαιρας και ροών αερίου ιχνών σε μια ποικιλία οικοσυστημάτων, το πιο σημαντικό, για γεωργικές εφαρμογές. Επί του παρόντος, οι αισθητήρες που βασίζονται σε αυτήν την τεχνολογία προτιμούνται έναντι άλλων παρόμοιων επιλογών, όπως ο θάλαμος κλεισίματος, λόγω της υψηλής ακρίβειας και της ικανότητάς του να μετρά συνεχή ροή σε μεγάλες περιοχές (Gomez et al., 2016).

### **Αισθητήρες soft water level-based (SWBL)**

Οι αισθητήρες SWLB χρησιμοποιούνται στις λεκάνες απορροής της γεωργίας για να χαρακτηρίσουν υδρολογικές συμπεριφορές, όπως η στάθμη και η ροή του νερού, σε ρυθμιζόμενες εξαγορές χρονικού σταδίου. Αυτό γίνεται με τη μέτρηση βροχοπτώσεων, ροών ρευμάτων και άλλων επιλογών παρουσίας νερού (Kong et al., 2017).

### **Ανίχνευση φωτισμού (LiDAR: LIGHT DETECTION AND RANGING)**

Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως σε μια σειρά γεωργικών εφαρμογών, όπως η χαρτογράφηση και η τμηματοποίηση της γης, ο προσδιορισμός του τύπου εδάφους, η μοντελοποίηση τρισδιάστατου αγροκτήματος, η παρακολούθηση της διάβρωσης και της

απώλειας εδάφους και η πρόβλεψη απόδοσης. Το LiDAR χρησιμοποιείται επίσης συνήθως για τη λήψη δυναμικών πληροφοριών μέτρησης σχετικά με την περιοχή των φύλλων οπωροφόρων δένδρων και, όταν συνδυάζεται με GPS, μπορεί να παράγει έναν τρισδιάστατο χάρτη. Επιπλέον, αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται συχνά κατά την εκτίμηση της βιομάζας διαφόρων καλλιεργειών και δέντρων (Gomez et al., 2016).

## Αισθητήρες τηλεματικής

Οι αισθητήρες τηλεματικής υποστηρίζουν τις τηλεπικοινωνίες μεταξύ δύο θέσεων - πιο συγκεκριμένα, μεταξύ δύο οχημάτων κατά την εξέταση των γεωργικών εφαρμογών. Οι αισθητήρες τηλεματικής χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένες τοποθεσίες (ειδικά από δυσπρόσιτα σημεία), για τη λειτουργία μηχανημάτων που αναφέρουν τον τρόπο λειτουργίας των εξαρτημάτων και καταγράφουν τη θέση και τις διαδρομές διαδρομής για να αποφύγουν την επίσκεψη στο ίδιο έμπλαστρο. Αυτές οι υπηρεσίες επιτρέπουν στους διαχειριστές των εκμεταλλεύσεων να καταγράφουν και να αποθηκεύουν αυτόματα όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με τις εκμεταλλεύσεις, γεγονός που μεγιστοποιεί την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών οφελών, μπορεί περαιτέρω να ελαχιστοποιήσει τις απειλές όπως η κλοπή του αγροτικού εξοπλισμού (Yew et al., 2014).

## Αισθητήρες απόστασεως

Οι αισθητήρες που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία χρησιμοποιούνται για τη λήψη και αποθήκευση των γεωγραφικών πληροφοριών, την περαιτέρω ανάλυση, τον χειρισμό, τη διαχείριση και την παρουσίαση όλων των τύπων χωρικών ή γεωγραφικών δεδομένων. Παρόμοια με το LiDAR, αυτοί οι αισθητήρες βρήκαν επίσης σημαντική χρήση σε γεωργικές εφαρμογές, όπως την εκτίμηση καλλιεργειών, τις προβλέψεις ημερομηνιών απόδοσης, την μοντελοποίηση και την πρόβλεψη απόδοσης, τη ταυτοποίηση φυτών και παρασίτων, τη χαρτογράφηση της κάλυψης της γης και της υποβάθμισης κ.λπ. Ο αισθητήρας Argos είναι ένα από τα κορυφαία παραδείγματα, ένα δορυφορικό σύστημα αισθητήρων που χρησιμοποιείται για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διάδοση περιβαλλοντικών δεδομένων από σταθερές

και κινητές πλατφόρμες παγκοσμίως. Επιπλέον, το σύστημα αυτόματης αναφοράς πακέτων (APRS) ενσωματώνεται για την αναφορά δεδομένων τηλεμετρίας μέσω δορυφορικής επικοινωνίας (Yunus et al., 2010).

## Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, στις περισσότερες περιοχές, οι καλλιεργητές συνέχισαν να ακολουθούν τις παραδοσιακές γεωργικές μεθόδους προσπαθώντας να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των τροφίμων με μεγαλύτερη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Η εφαρμογή τέτοιων χημικών προϊόντων αντιμετωπίζει δύο ζητήματα: αυτά που μπορούν να βοηθήσουν στην αύξηση της παραγωγής σε ένα μόνο επίπεδο και, ταυτόχρονα, η τυφλή χρήση τους δημιουργεί μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπλέον, η εφαρμογή οποιουδήποτε πόρου, όπως το νερό, οι σπόροι, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα, ομοιόμορφα σε ολόκληρο το πεδίο δεν πρόκειται να λύσει το πρόβλημα. Αντί να αντιμετωπίζουν κάθε αγρόκτημα και καλλιέργεια με τον ίδιο τρόπο, οι αγρότες πρέπει να χρησιμοποιούν αυτούς τους πόρους σύμφωνα με την απαίτηση συγκεκριμένων περιοχών, ακόμη και αν πρέπει να λάβουν υπόψη την απαίτηση κάθε φυτού. Μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό ότι οι εκμεταλλεύσεις και οι σχετικές εργασίες καλλιέργειας πρέπει να εκτελούνται διαφορετικά από τις προηγούμενες πρακτικές. Ένας από τους κύριους λόγους είναι οι εξελίξεις στην τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων, των μεθόδων επικοινωνίας, των μηχανών, ακόμη και των ρομπότ. Στην πραγματικότητα, η τεχνολογία το έχει αποδείξει ήδη, όπως στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Περισσότερο από το 50% του πληθυσμού ασχολείται κατά κάποιο τρόπο με τη γεωργική βιομηχανία, αλλά είναι πολύ πίσω στην παροχή τόσο της ποσότητας όσο και της ποιότητας σε σύγκριση με τις ανεπτυγμένες χώρες, όπου λιγότερο από το 2% του πληθυσμού έχει πολύ καλύτερη απόδοση. Η διαφορά είναι ξεκάθαρη, καθώς χώρες όπως η Αυστραλία, οι ΗΠΑ και το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τα προηγμένα εργαλεία και τις μεθόδους πολλαπλασιάζοντας τις αποδόσεις των καλλιεργειών τους κατά τις τελευταίες πέντε δεκαετίες. Αυτές οι συγκρίσεις δείχνουν ότι οι πρόσφατες τεχνολογίες και οι προηγμένες μέθοδοι καθιστούν τις εκμεταλλεύσεις όχι μόνο εξαιρετικά επικερδείς αλλά και ασφαλείς και φιλικές προς το περιβάλλον.

Από την επισκόπηση της υπάρχουσας διεθνούς βιβλιογραφίας, διαπιστώνεται ότι απαιτείται εστίαση σε εξυπνότερες, καλύτερες και πιο αποτελεσματικές μεθοδολογίες καλλιέργειας, προκειμένου να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση τροφίμων του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού ενόψει της συνεχώς συρρικνούμενης αρόσιμης γης. Η ανάπτυξη νέων μεθόδων βελτίωσης της απόδοσης και του χειρισμού των καλλιεργειών, οδηγεί στα εξής αποτελέσματα: τεχνολογία απογαλακτισμού, ευκαιρίες για νέους ανθρώπους που υιοθετούν τη γεωργία ως

επάγγελμα, γεωργία ως μέσο ανεξαρτησίας από τα ορυκτά καύσιμα, παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών, επισήμανση ασφάλειας και διατροφής, συνεργασίες μεταξύ καλλιεργητών, προμηθευτών, λιανοπωλητών και αγοραστών. Η παρούσα εργασία μελέτησε αυτές τις πτυχές και υπογράμμισε το ρόλο των διαφόρων τεχνολογιών, ιδίως του IoT, προκειμένου να καταστεί η γεωργία πιο έξυπνη και πιο αποτελεσματική για την ικανοποίηση των μελλοντικών προσδοκιών. Για το σκοπό αυτό, συζητήθηκαν διεξοδικά οι ασύρματοι αισθητήρες, τα UAV, το Cloud-computing και οι τεχνολογίες επικοινωνίας. Επιπλέον, αποδόθηκε μια βαθύτερη εικόνα για τις πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες και αναφέρθηκαν διάφορες αρχιτεκτονικές και πλατφόρμες με βάση το IoT σε σχέση με τις γεωργικές εφαρμογές. Μια περίληψη των τρεχουσών προκλήσεων που αντιμετωπίζει ο κλάδος και οι μελλοντικές προσδοκίες παρατέθηκαν για την παροχή καθοδήγησης σε ερευνητές και μηχανικούς. Με βάση όλα αυτά, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι κάθε κομμάτι γεωργικής γης είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής των καλλιεργειών και συνάμα την αύξηση της ποιότητας τους. Ωστόσο, για να αντιμετωπιστεί αναλόγως κάθε κομμάτι, η χρήση βιώσιμων αισθητήρων και τεχνολογιών επικοινωνίας με βάση IoT δεν είναι προαιρετική - είναι απαραίτητη.

## Βιβλιογραφία

Abhishek Khanna, Sanmeet Kaur. 2019. ScienceDirect. [Ηλεκτρονικό] 2019. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918316417>.

Achilles D.Boursianis, Maria S.Papadopoulou,Panagiotis Diamantoulakis,Aglaiia Liopa-Tsakalidi,Pantelis Barouchas,George Salahas,George Karagiannidis,Shaohua Wan,Sotirios K.Goudos. 2020. ScienceDirect. [Ηλεκτρονικό] 7 March 2020. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542660520300238>.

Akhmetov, B., & Aitimov, M. (2015). Data collection and analysis using the mobile application for environmental monitoring. *Proc. Comput. Sci.*, 56(1), 532-537. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.247>

Aleksandrova, Maria. 2018. DZone. [Ηλεκτρονικό] 2018. IoT in Agriculture: Five Technology Uses for Smart Farming and Challenges to Consider. <https://dzone.com/articles/iot-in-agriculture-five-technology-uses-for-smart>.

Andújar, D., Ribeiro, Á., Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2011). Accuracy and feasibility of optoelectronic sensors for weed mapping in wide row crops. *Sensors*, 11(3), 2304-2318.

Arun Chakravarthy R, Bhuvaneshwari M,Arun M. 2020. Journal of Critical Reviews. [Ηλεκτρονικό] 2020. IOT BASED ENVIRONMENTAL WEATHER MONITORING AND FARM INFORMATION. <http://www.jcreview.com/fulltext/197-1589076836.pdf>.

Atul. 2016. hackster.io. [Ηλεκτρονικό] 23 January 2016. Smart Greenhouse: The future of agriculture. <https://www.hackster.io/synergy-flynn-9ffb33/smart-greenhouse-the-future-of-agriculture-5d0e68>.

Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., & Baig, I. (2017). Wireless sensor's civil applications, prototypes, and future integration possibilities: A review. *IEEE Sensors Journal*, 18(1), 4-30.

Baltej Kaur, Danish Inamdar,Vishal Raut,Akash Patil,Nayan Patil. 2016. IRJET. [www.irjet.net](http://www.irjet.net). [Ηλεκτρονικό] February 2016. A survey on smart drip irrigation system.



[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54663006/IRJET-V3I218.pdf?1507530581=&response-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54663006/IRJET-V3I218.pdf?1507530581=&response-content-)

[content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54663006/IRJET-V3I218.pdf?1507530581=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_SURVEY_ON_SMART_DRIP_IRRIGATION_SYSTEM.pdf&Expires=1609620414&Signature=V1iIuYsPZVE3bW1jxqSg3DS8HSC1Y1YhlzyxOunh4D035Yi9qHrkqY5)  
[disposition=inline%3B+filename%3DA\\_SURVEY\\_ON\\_SMART\\_DRIP\\_IRRIGATION\\_SY](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54663006/IRJET-V3I218.pdf?1507530581=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_SURVEY_ON_SMART_DRIP_IRRIGATION_SYSTEM.pdf&Expires=1609620414&Signature=V1iIuYsPZVE3bW1jxqSg3DS8HSC1Y1YhlzyxOunh4D035Yi9qHrkqY5)  
[STEM.pdf&Expires=1609620414&Signature=V1iIuYsPZVE3bW1jxqSg3DS8HSC1Y1Yhlz](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54663006/IRJET-V3I218.pdf?1507530581=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_SURVEY_ON_SMART_DRIP_IRRIGATION_SYSTEM.pdf&Expires=1609620414&Signature=V1iIuYsPZVE3bW1jxqSg3DS8HSC1Y1YhlzyxOunh4D035Yi9qHrkqY5)  
[yxOunh4D035Yi9qHrkqY5](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54663006/IRJET-V3I218.pdf?1507530581=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_SURVEY_ON_SMART_DRIP_IRRIGATION_SYSTEM.pdf&Expires=1609620414&Signature=V1iIuYsPZVE3bW1jxqSg3DS8HSC1Y1YhlzyxOunh4D035Yi9qHrkqY5).

Benincasa, P., Antognelli, S., Brunetti, L., Fabbri, C. A., Natale, A., Sartoretti, V.,... & Vizzari, M. (2018). Reliability of NDVI derived by high resolution satellite and UAV compared to in-field methods for the evaluation of early crop N status and grain yield in wheat. *Experimental Agriculture*, 54(4), 604-622.

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13-26.

Brewster, C., Roussaki, I., Kalatzis, N., Doolin, K., & Ellis, K. (2017). IoT in agriculture: Designing a Europe-wide large-scale pilot. *IEEE Comm. Mag.*, 55(9), 26-33.  
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600528>

Bulipe Srinivas Rao, Prof. Dr. K. Srinivasa Rao, Mr. N. Ome. 2016. IJARCCCE. [Ηλεκτρονικό] 9 September 2016. Internet of Things (IOT) Based Weather Monitoring system.  
<https://ijarccce.com/wp-content/uploads/2016/09/IJARCCCE-66.pdf>.

Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48-60.

Chi, T., & Chen, M. (2017). A frequency hopping method for spatial RFID/WiFi/Bluetooth scheduling in agricultural IoT. *Wireless Networks*, 25(2), 805-817.

Chiara Buratti, Andrea Conti, Davide Dardari, Roberto Verdone. 2009. MDPI. [Ηλεκτρονικό] 2009. An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution.  
<https://www.mdpi.com/1424-8220/9/9/6869>.

Chung, S. O., Choi, M. C., Lee, K. H., Kim, Y. J., Hong, S. J., & Li, M. (2016). Sensing technologies for grain crop yield monitoring systems: A review. *Journal of Biosystems Engineering*, 41(4), 408-417.

D.O.Shirsath, Punam Kamble, Rohini Mane, Ashwini Kolap.R.S.More. 2017. ResearchGate. [Ηλεκτρονικό] March 2017. IOT Based Smart Greenhouse Automation Using Arduino.

[https://www.researchgate.net/publication/317338046\\_IOT\\_Based\\_Smart\\_Greenhouse\\_Automation\\_Using\\_Arduino](https://www.researchgate.net/publication/317338046_IOT_Based_Smart_Greenhouse_Automation_Using_Arduino).

Dawsey, Phil. 2017. PRECISIONAg. [Ηλεκτρονικό] 119 April 2017. Using IoT to Increase Efficiency, Productivity for Livestock. <https://www.precisionag.com/in-field-technologies/sensors/using-iot-to-increase-efficiency-productivity-for-livestock/>.

De La Piedra, A., Braeken, A., & Touhafi, A. (2012). Sensor systems based on FPGAs and their applications: A survey. *Sensors*, 12(9), 12235-12264.

de Oliveira, K. V., Castelli, H. M. E., Montebeller, S. J., & Avancini, T. G. P. (2017, August). Wireless sensor network for smart agriculture using zigbee protocol. In 2017 IEEE First Summer School on Smart Cities (S3C) (pp. 61-66). IEEE.

Díaz, S. E., Pérez, J. C., Mateos, A. C., Marinescu, M.-C., & Guerra, B. B. (2011). A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks. *Comput. Electron. Agric.*, 76(2), 252-265. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.004>

Digiteum team. 2019. Digiteum. [Ηλεκτρονικό] 2019. Is IoT the Future of Agriculture?. <https://www.digiteum.com/iot-agriculture>.

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758-3773.

Espressif. (2019). ESP8266EX datasheet. Shanghai, China: Espressif Systems. Retrieved from [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0aesp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0aesp8266ex_datasheet_en.pdf)

Fadi Al-Turjman, Hadi Zahmatkesh, Ramiz Shahroze. 2019. Wiley Online Library. [Ηλεκτρονικό] 08 July 2019. An overview of security and privacy in smart cities' IoT communications. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ett.3677>.

Fernández-Ahumada, L. M., Ramírez-Faz, J., Torres-Romero, M., & López-Luque, R. (2019). Proposal for the design of monitoring and operating irrigation networks based on IoT, cloud computing, and free hardware technologies. *Sensors*, 19(10), 2318. <https://doi.org/10.3390/s19102318>

G, Poornesh. 2019. RuggedBoard. [Ηλεκτρονικό] 3 May 2019. IoT Based Smart Greenhouse Automation. <https://www.community.ruggedboard.com/post/iot-smart-agriculture>.

García-Ramos, F. J., Vidal, M., Boné, A., Malón, H., & Aguirre, J. (2012). Analysis of the air flow generated by an air-assisted sprayer equipped with two axial fans using a 3D sonic anemometer. *Sensors*, 12(6), 7598-7613.

Girija C, Harshalatha H, Andreanna Grace Shires, Pushpalatha H P. 2018. IJERT. [Ηλεκτρονικό] 2018. <https://www.ijert.org/research/internet-of-things-iot-based-weather-monitoring-system-IJERTCONV6IS13149.pdf>.

Gómez Álvarez-Arenas, T., Gil-Pelegrin, E., Ealo Cuello, J., Fariñas, M. D., Sancho-Knapik, D., Collazos Burbano, D. A., & Peguero-Pina, J. J. (2016). Ultrasonic sensing of plant water needs for agriculture. *Sensors*, 16(7), 1089.

González-Esquiva, J. M., García-Mateos, G., HernándezHernández, J. L., Ruiz-Canales, A., Escarabajal-Henerajos, D., & Molina-Martínez, J. M. (2017). Web application for analysis of digital photography in the estimation of irrigation requirements for lettuce crops. *Agric. Water Mgmt.*, 183, 136- 145. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.014>

Goumopoulos, C., O'Flynn, B., & Kameas, A. (2014). Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Comput. Electron. Agric.*, 105, 20-33. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.03.012>

Guilmartin, John F. 2020. Encyclopaedia Britannica. [Ηλεκτρονικό] 15 July 2020. Unmanned aerial vehicle. <https://www.britannica.com/technology/unmanned-aerial-vehicle>.

Haque, M. S. T., Rouf, K. A., Khan, Z. A., Emran, A., & Zishan, M. S. R. (2019). Design and implementation of an IoT-based automated agricultural monitoring and control system. *Proc. Intl. Conf. on Robotics, Electrical, and Signal Processing Techniques (ICREST)* (pp. 13-16). Piscataway, NJ: IEEE.

Hassan, Q. F. (Ed.). (2018). *Internet of things A to Z: technologies and applications*. John Wiley & Sons.

Hemmat, A., Binandeh, A. R., Ghaisari, J., & Khorsandi, A. (2013). Development and field testing of an integrated sensor for on-the-go measurement of soil mechanical resistance. *Sensors and Actuators A: Physical*, 198, 61-68.

Huan, J., Liu, X., & Chong, Q. (2014). Design of an aquaculture monitoring system based on Android and GPRS. *Appl. Eng. Agric.*, 30(4), 681-687. <https://doi.org/10.13031/aea.30.10401>

In Lee, Kyoochun Lee. 2015. ScienceDirect. [Ηλεκτρονικό] 2015. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681315000373>.

iots world congress. 2020. [Ηλεκτρονικό] 2020. IOT TRANSFORMING THE FUTURE OF AGRICULTURE. <https://www.iotsworldcongress.com/iot-transforming-the-future-of-agriculture/>.

Jeongeun Kim, Seungwon Kim, Chanyoung Ju, Hyoung Il Son. 2019. IEEEExplore. [Ηλεκτρονικό] 30 July 2019. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8782102>.

Karimi, H., Navid, H., Besharati, B., Behfar, H., & Eskandari, I. (2017). A practical approach to comparative design of non-contact sensing techniques for seed flow rate detection. *Computers and electronics in agriculture*, 142, 165-172.

Kim, S., Lee, M., & Shin, C. (2018). IoT-based strawberry disease prediction system for smart farming. *Sensors*, 18(11), 4051.

Kodali, R. K., & Mahesh, K. S. (2017). A low-cost implementation of MQTT using ESP8266. *Proc. 2nd Intl. Conf. on Contemporary Computing and Informatics* (pp. 404-408). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7917998>

Kong, Q., Chen, H., Mo, Y. L., & Song, G. (2017). Real-time monitoring of water content in sandy soil using shear mode piezoceramic transducers and active sensing—A feasibility study. *Sensors*, 17(10), 2395.

Lavanya, G., Rani, C., & Ganeshkumar, P. (2020). An automated low cost IoT based Fertilizer Intimation System for smart agriculture. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 28, 100300.

Li, P., Chen, M., Wang, J., Zhou, J., & Xia, D. (2015). Development of monitoring management system and data synchronization for greenhouse IoT. *Trans. Chinese Soc. Agric. Mach.*, 46(8), 224-231.

Li, X. H., Xiao, C., Ke, Y., & Peng, G. (2010). A monitoring system for vegetable greenhouses based on a wireless sensor network. *Sensors*, 10(10), 8963-8980. <https://doi.org/10.3390/s101008963>

Lian, K.-Y., Hsiao, S.-J., & Sung, W.-T. (2013). Intelligent multisensor control system based on innovative technology integration via ZigBee and Wi-Fi networks. *J. Network Comput. Appl.*, 36(2), 756-767. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2012.12.012>

Lian, Y., Lin, P., & Cheng, S. (2011). Remote monitoring and control system of solar street lamps based on ZigBee wireless sensor network and GPRS. In *Electronics and signal processing* (pp. 959-967). Berlin, Germany: Springer.

Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito. 2010. ScienceDirect. [Ηλεκτρονικό] 2010. The Internet of Things: A survey. <https://www.ijtra.com/view/a-survey-the-internet-of-things.pdf>.

Martínez-Fernández, J., González-Zamora, A., Sánchez, N., Gumuzzio, A., & Herrero-Jiménez, C. M. (2016). Satellite soil moisture for agricultural drought monitoring: Assessment of the SMOS derived Soil Water Deficit Index. *Remote Sensing of Environment*, 177, 277-286.

Mickley, J. G., Moore, T. E., Schlichting, C. D., DeRobertis, A., Pfisterer, E. N., & Bagchi, R. (2019). Measuring microenvironments for global change: DIY environmental microcontroller units (EMUs). *Methods Ecol. Evol.*, 10(4), 578- 584. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13128>

Mohammad Woli Ullah, Mohammad Golam Mortuza, Md Humayun Kabir, Zia Uddin Ahmed, Sovan Kumar Dey Supta, Partho Das, Syed Mohammad Didar Hossain. 2018. [Ηλεκτρονικό] 2018. INTERNET OF THINGS BASED SMART GREENHOUSE: REMOTE MONITORING AND AUTOMATIC CONTROL. <http://dpi-proceedings.com/index.php/dteees/article/view/27803>.

Motoshita, M., Ono, Y., Pfister, S., Boulay, A. M., Berger, M., Nansai, K.,... & Inaba, A. (2018). Consistent characterisation factors at midpoint and endpoint relevant to agricultural water scarcity arising from freshwater consumption. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(12), 2276-2287.

Muhammad Umar Farooq, Muhammad Waseem, Sadia Mazhar, Anjum Khairi, Talha Kamal. 2015. ResearchGate. [Ηλεκτρονικό] March 2015. [https://www.researchgate.net/publication/273693976\\_A\\_Review\\_on\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/273693976_A_Review_on_Internet_of_Things_IoT)

Murray, S. C. (2018). Optical sensors advancing precision in agricultural production. *Photon. Spectra*, 51(6), 48.

Nishimura, T., Okuyama, Y., Matsushita, A., Ikeda, H., & Satoh, A. (2017, October). A compact hardware design of a sensor module for hydroponics. In 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (pp. 1-4). IEEE.

Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Comput. Electron. Agric.*, 118(3), 66-84. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>

Parul Goyal, Ashok Kumar Sahoo, Tarun Kumar Sharma, Pramod K. Singh. 2020. ScienceDirect. [Ηλεκτρονικό] 2020. Internet of Things: Applications, security and privacy: A survey. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532033385X>.

Pimentel, D., & Burgess, M. (2013). Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, 3(3), 443-463.

Qiang Ren, Rongde Zhang, Xinfeng Sun, Limeng Cao, Wanlin Cai. 2020. ResearchGate. [Ηλεκτρονικό] March 2020. Application and Development of New Drones in Agriculture. [https://www.researchgate.net/publication/340035385\\_Application\\_and\\_Development\\_of\\_New\\_Drones\\_in\\_Agriculture](https://www.researchgate.net/publication/340035385_Application_and_Development_of_New_Drones_in_Agriculture).

R Shamshiri, R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C.,... & Shad, Z. M. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture.

Rohm. (2009). Digital 16-bit serial output type ambient light sensor IC. Kyoto, Japan: Rohm Semiconductor.

Rouphael, Y., Spíchal, L., Panzarová, K., Casa, R., & Colla, G. (2018). High-throughput plant phenotyping for developing novel biostimulants: from lab to field or from field to lab?. *Frontiers in plant science*, 9, 1197.

Sanika Ratnaparkhi, Suvaidd Khan, Chandrakala Arya, Shailesh Khapre, Prabhishek Singh, Manoj Diwakar, Achyut Shankar. 2020. ScienceDirect. [Ηλεκτρονικό] 2020. Smart agriculture sensors in IOT:

A review. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320387447>.

Sanjeev Kumar Gupta, Poonam Sinha. 2014. ResearchGate. [Ηλεκτρονικό] January 2014. Overview of Wireless Sensor Network: A Survey.

[https://www.researchgate.net/publication/299820094\\_overview\\_of\\_wireless\\_sensor\\_network\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/299820094_overview_of_wireless_sensor_network_A_Survey).

Santhi, P. V., Kapileswar, N., Chenchela, V. K., & Prasad, C. V. S. (2017, August). Sensor and vision based autonomous AGRIBOT for sowing seeds. In 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS) (pp. 242-245). IEEE.

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

Solanki, Anshita. 2019. softweb solutions. [Ηλεκτρονικό] 23 August 2019. How IoT is changing the paradigm of greenhouse. <https://www.softwebsolutions.com/resources/smart-greenhouse-monitoring-solution.html>.

Srivastava, N., Chopra, G., Jain, P., & Khatter, B. (2013, January). Pest monitor and control system using wireless sensor network with special reference to acoustic device wireless sensor. In *International Conference on Electrical and Electronics Engineering* (Vol. 27).

Theopoulos, A., Boursianis, A., Koukounaras, A., & Samaras, T. (2018, May). Prototype wireless sensor network for real-time measurements in hydroponics cultivation. In 2018 7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST) (pp. 1-4). IEEE.

Tripathi, A. D., Mishra, R., Maurya, K. K., Singh, R. B., & Wilson, D. W. (2019). Estimates for world population and global food availability for global health. In *The role of functional food security in global health* (pp. 3-24). Academic Press.

Tripodi, P., Massa, D., Venezia, A., & Cardi, T. (2018). Sensing technologies for precision phenotyping in vegetable crops: current status and future challenges. *Agronomy*, 8(4), 57.

Wietzke, A., Westphal, C., Gras, P., Kraft, M., Pfohl, K., Karlovsky, P.,... & Smit, I. (2018). Insect pollination as a key factor for strawberry physiology and marketable fruit quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 197-204.

Yew, T. K., Yusoff, Y., Sieng, L. K., Lah, H. C., Majid, H., & Shelida, N. (2014, May). An electrochemical sensor ASIC for agriculture applications. In 2014 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) (pp. 85-90). IEEE.

Yunus, M. A. M., & Mukhopadhyay, S. C. (2010). Novel planar electromagnetic sensors for detection of nitrates and contamination in natural water sources. *IEEE Sensors Journal*, 11(6), 1440-1447.

Zeinab Kamal Aldein Mohammeda, Elmustafa Sayed Ali Ahmed. 2017. ResearchGate. [Ηλεκτρονικό] January 2017. Internet of Things Applications, Challenges and Related Future Technologies.

[https://www.researchgate.net/publication/313651150\\_Internet\\_of\\_Things\\_Applications\\_Challenges\\_and\\_Related\\_Future\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/313651150_Internet_of_Things_Applications_Challenges_and_Related_Future_Technologies).

Zhang, C., Wohlhueter, R., & Zhang, H. (2016). Genetically modified foods: A critical review of their promise and problems. *Food Science and Human Wellness*, 5(3), 116-123.