



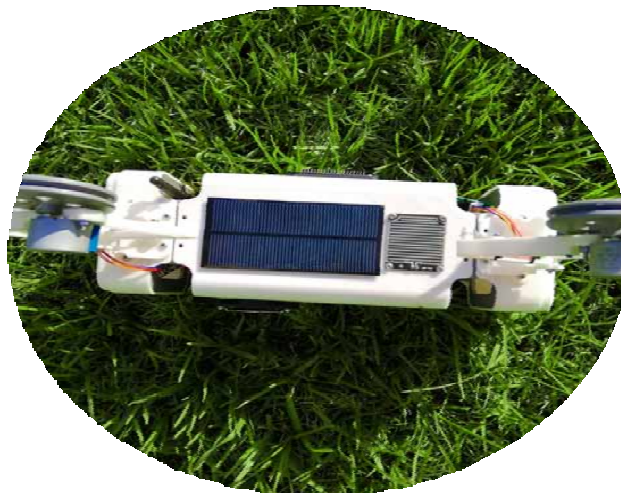
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης θερμοκηπιακών μονάδων μέσω εναερίου συστήματος επισκόπησης (cablebot)



ΚΑΤΣΑΠΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΑΜ: 11752

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΛΙΑΚΑΣΗΣ ΑΜ:12029

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΚΑΥΓΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2021

Πίνακας Περιεχομένων

Περιεχόμενα.....	3
Περίληψη	4
Abstract	6
1. Εισαγωγή.....	8
2. Θερμοκηπιακά Συστήματα	11
3. Διαδίκτυο των Πραγμάτων - Ευφυής Γεωργία, Χρήση αισθητήρων.....	19
3.1. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)	19
3.2. Ευφυής Γεωργία	22
3.3. Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων.....	25
3.4 Γεωργία Ακριβείας.....	26
3.5 Cloud computing.....	27
4. Ρομποτική στη Γεωργία και στα Θερμοκήπια. Χρήση Cablebots.....	31
4.1. State of the Art & Καινοτομία	33
4.2. Μη επανδρωμένα αέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles – UAVs)	35
4.3. Cablebots και εφαρμογές τους	38
5. Παρουσίαση του Cablebot.....	40
5.1. Τεχνολογίες IoT σε θερμοκήπιο	41
5.2. Μεθοδολογία Ανάπτυξης.....	44
5.3. Λειτουργική μέθοδος	46
5.4. Υλοποίηση	50
5.5. Επίδειξη	52
5.6. Συμπεράσματα	53
6. Βιβλιογραφία	55

Περίληψη

Ο έλεγχος των μεγάλων θερμοκηπιακών μονάδων και ιδιαίτερα αυτών με υδροπονικές καλλιέργειες, βασίζεται στην αξιοποίηση δεδομένων που καταγράφονται από πολλούς αισθητήρες. Ωστόσο, στα θερμοκήπια αυτά παρουσιάζουν σημαντική ανομοιομορφία οι παράμετροι του κλίματος, η υδατική, η θρεπτική και η φυτο-υγειονομική κατάσταση των φυτών. Παράλληλα το μέγεθος τέτοιων μονάδων δεν επιτρέπει την αποτελεσματική επίγεια επόπτευσή τους, ώστε να διαπιστωθούν εγκαίρως τυχόν προβλήματα.

Τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί ένα ενδιαφέρον για την ανάπτυξη αυτόνομων κινούμενων πλατφορμών γεωργικής χρήσης. Αρκετά συστήματα επίγειων AGV (automated guided vehicles) και UAV (unmanned aerial vehicles) έχουν αναπτυχθεί για χρήση σε ανοικτές και θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Βασική παράμετρος όλων αυτών των καινοτόμων συστημάτων είναι η φασματοσκοπία, η ανάπτυξη της οποίας έχει βασιστεί στην ευχέρεια επόπτευσης και στην ταχύτητα που προσφέρουν τα σύγχρονα μη επανδρωμένα πτητικά μέσα. Ωστόσο υπάρχει μια υστέρηση στη χρήση φασματοσκοπίας εντός θερμοκηπίων καθώς τα UAVs δεν κινούνται άνετα σε κλειστούς χώρους.

Η λύση που περιγράφεται είναι ένα cablebot ηλιακής ενέργειας εξοπλισμένο με φασματοσκοπική κάμερα & μια σειρά άλλων αισθητήρων, που συλλέγει δεδομένα όπως ένα drone σε μια ανοικτή καλλιέργεια. Εκτός από τη συλλογή δεδομένων, το σύστημα μπορεί επίσης να ελέγχει αυτόνομα το δίκτυο άρδευσης του θερμοκηπίου, μέσω μιας ηλεκτροβάνας ελέγχου ροής. Η συσκευή κρεμιέται από συρματόσκοινο, εξ ου και το όνομα cablebot ή συνδέεται σε ολισθητήρα τοποθετημένο στην οροφή του θερμοκηπίου. Με την κατάλληλη στήριξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε υπαίθρια αγροτεμάχια μέχρι 4 εκτάρια. Αυτό το κινούμενο σύστημα αντικαθιστά τους πολλούς διάσπαρτους σταθερούς αισθητήρες μέσα σε ένα θερμοκήπιο που απαιτούνται για τη διαχείριση του, μειώνοντας το συνολικό κόστος μιας έξυπνης θερμοκηπιακής εγκατάστασης.

Με γνώμονα τα θερμοκήπια και τα μικρά αγροτεμάχια, ένα cablebot προσφέρει μια ιδανική σχέση κόστους/οφέλους σε σύγκριση με ένα επισκοπικό UAV, ενώ παρέχει και επιπρόσθετες δυνατότητες. Ο παραγωγός λαμβάνει μέσω μιας διαδικτυακής εφαρμογής ζωντανή εικόνα της καλλιέργειας του και των πιθανών κινδύνων που μπορεί να υπάρχουν ή να προκύψουν. Ως αποτέλεσμα, η φυσική παρουσία του στο χωράφι μειώνεται σημαντικά, καθώς η συσκευή αυτοματοποιεί και την άρδευση παράλληλα με τις όποιες άλλες πληροφορίες επιστρέφει σε αυτόν σε πραγματικό χρόνο.

Abstract

The control of large greenhouse installations, especially those with hydroponic crops, is based on the analysis and utilization of data recorded by many sensors, since such installations exhibit strong spatial variations in parameters such as microclimate, aquatic conditions, nutritional state and plant health. At the same time, the size of such installations does not allow for their effective terrestrial surveillance, to detect problems in a timely manner.

In recent years there has been an interest in the development of autonomous agbots equipped with agricultural sensors. Several ground-based AGV (automated guided vehicles) and UAV (unmanned aerial vehicles) systems have been developed for use in open air plots and greenhouse crops. A key feature of all these innovative systems is spectroscopy, the development of which has been assisted by the surveillance capabilities and speed of modern- day UAVs (drones). However, there is a lag in the utilization of spectroscopy inside greenhouses since UAVs do not move freely indoors.

The solution we recommend is a solar powered cablebot device equipped with a spectroscopic camera and an array of other sensors, that collects data much like a drone in an open-air crop. In addition, the system autonomously controls the irrigation network the greenhouse, through a dedicated flow control valve. The device is hung from an overhead cable, hence the name cablebot, or it can be attached to a slider overhanging from the greenhouse roof. With appropriate support it can also be used in open-air plots up to 4 hectares. This moving system replaces a multitude of scattered stationary sensors inside a greenhouse that are required for proper greenhouse management, thus reducing the overall cost of a smart greenhouse installation.

With greenhouses & small open-air plots in mind, a cablebot offers an ideal cost-benefit ratio compared to a UAV scouting device, with added capabilities. The farmer receives through a dedicated web application an overview of his crop and of the potential dangers that may exist or arise. As a result, his physical presence in the field is greatly reduced, as the cablebot also automates irrigation and feeds back to him real time information.

1. Εισαγωγή

Η ψηφιακή επανάσταση η οποία ξεκίνησε στα τέλη του 20ου αιώνα έφερε σαρωτικές και ραγδαίες αλλαγές στους τομείς των επιστημών και της βιομηχανίας και σε όλες τις κοινωνικό-οικονομικές πτυχές των ζωών των ανθρώπων, μετασχηματίζοντας τον τρόπο που αυτοί επικοινωνούν, σκέφτονται, συμπεριφέρονται, και εργάζονται.

Η νέα εποχή της πληροφορίας, έχει ως κέντρο της τα ψηφιακά συστήματα και τις απορρέουσες από αυτά τεχνολογίες όπως είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα, οι μικροηλεκτρονικές συσκευές και φυσικά το διαδίκτυο. Με το πέρασμα των χρόνων και την εξέλιξη των τεχνολογιών βελτιώθηκε η ισχύς των υπολογιστικών συσκευών, μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος τους και επιπροσθέτως αυξήθηκε η δυνατότητα συνδεσιμότητάς τους, αυξάνοντας έτσι και τις δυνατότητές μας για εφαρμογές που μέχρι πρόσφατα ήταν ουτοπικές. Φυσική εξέλιξη όλων αυτών είναι η δικτύωση οποιασδήποτε ηλεκτρονικής συσκευής ή φυσικού αντικειμένου, με αποτέλεσμα την δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασής τους, καθώς και την δυνατότητα αλληλεπίδρασης με αυτά αν είναι δυνατόν.

Ο πρωτογενής τομέας και μάλιστα ο γεωργικός δεν θα μπορούσε να μείνει ανεπηρέαστος από αυτές τις εξελίξεις. Οι νέες τεχνολογίες έδωσαν την δυνατότητα να σχεδιαστούν, να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν πρωτοποριακές μέθοδοι στις αγροτικές καλλιέργειες, βοηθώντας έτσι στην περεταίρω ανάπτυξη του τομέα. Ενδεικτικά μερικές από τις τεχνολογίες πληροφορικής που εφαρμόζονται έως τώρα στην γεωργία είναι: συστήματα αυτοματισμού, ασύρματες τεχνολογίες, τεχνολογίες GPS, γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα, συστήματα παρακολούθησης και διαχείρισης των προϊόντων (e-commerce), smart phones, βάσεις διαχείρισης γνώσεων κτλ. Αυτές οι τεχνολογίες βοηθούν τους καλλιεργητές να κάνουν καιρικές προβλέψεις βασισμένες στις παρατηρήσεις των κλιματικών δεδομένων, να τηρήσουν αρχείο το οποίο αφορά τις αποδόσεις και την συμπεριφορά των καλλιεργειών τους, να επικοινωνήσουν μεταξύ τους αλλά και με την αγορά αμεσότερα και γρηγορότερα, να προβλέψουν πιθανούς κινδύνους που απειλούν τους καρπούς τους αλλά και να αυτοματοποιήσουν ορισμένες καλλιεργητικές πρακτικές όπου αυτό είναι δυνατόν.

Τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί το ενδιαφέρον για ανάπτυξη εναέριων εποπτικών μέσων που είναι εξοπλισμένα με τους απαραίτητους αισθητήρες για θερμοκηπιακές εκμεταλλεύσεις. Αρκετά συστήματα UAVs (unmanned aerial vehicles), εναέρια συστήματα επισκόπησης (cablebots) καθώς και επίγεια AGV (automated guided vehicles) έχουν αναπτυχθεί για χρήση σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Βασική παράμετρος όλων αυτών των καινοτόμων συστημάτων είναι η φασματοσκοπία, η ανάπτυξη της οποίας έχει βασιστεί στην ευχέρεια επόπτευσης και στην ταχύτητα που προσφέρουν τα σύγχρονα μη επανδρωμένα πτητικά μέσα.

Με βάση τα αποτελέσματα:

α) Προτείνονται στον παραγωγό, μέσα από ένα σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων, συγκεκριμένες δράσεις διαχείρισης του κλίματος και της καλλιέργειας,

β) Δίνεται η δυνατότητα άμεσης αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με την καταπόνηση των φυτών.

γ) Προτείνονται συγκεκριμένες παρεμβάσεις βελτίωσης των εγκατεστημένων συστημάτων.

Τα συστήματα αυτά μπορούν να αντικαταστήσουν το πλήθος των αισθητήρων που απαιτούνται για τη διαχείριση των θερμοκηπίων, ενώ αξιοποιείται η σύγχρονη έρευνα σχετικά με την ανίχνευση της καταπόνησης των φυτών μέσω της φασματικής τους εικόνας.

Αυτές οι κινούμενες πλατφόρμες, είτε πρόκειται για εναέρια συστήματα επισκόπησης (UAVs και cablebots) είτε για AGV (Automated Guided Vehicles) εδάφους, συλλέγουν δεδομένα όπως ένα drone σε μια ανοικτή καλλιέργεια, ενώ παρέχουν δεδομένα μικροκλίματος και πληροφορίες για την καλλιέργεια, το έδαφος και την άρδευση. Βασική παράμετρος όλων αυτών των καινοτόμων συστημάτων είναι η φασματοσκοπία, η ανάπτυξη της οποίας έχει βασιστεί στην ευχέρεια επόπτευσης και στην ταχύτητα που προσφέρουν τα σύγχρονα μη επανδρωμένα πτητικά μέσα.

Στο πλαίσιο της εργασίας περιγράφεται ένα ολοκληρωμένο εναέριο σύστημα επισκόπησης (cablebot), το οποίο τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) άρα και φιλικό προς το περιβάλλον. Το σύστημα συνοδεύεται από γραφική διεπαφή χρήστη, εφαρμόζεται σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες και επιτρέπει στην αυτοματοποίηση της γεωργικής διαδικασίας όσο το δυνατόν περισσότερο, ιδίως σε τομείς όπως ο έλεγχος του

μικροκλίματος, η παρακολούθηση των καλλιεργειών και η άρδευση. Η ανάπτυξη του συστήματος αποσκοπεί στην αύξηση της ποσότητας και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της διαδικασίας καλλιέργειας και στην παροχή στους παραγωγούς ενός ευρέος φάσματος χρήσιμων δεδομένων, δίνοντάς τους ανά πάσα στιγμή πρόσβαση στην πλήρη εικόνα της καλλιέργειας τους. Ταυτόχρονα, έχει αναπτυχθεί διαδικτυακή εφαρμογή ως πύλη από την οποία οι παραγωγοί θερμοκηπιακών προϊόντων θα λαμβάνουν ανατροφοδοτούμενη πληροφόρηση από το cablebot στον υπολογιστή, το tablet ή την κινητή συσκευή τους.

2. Θερμοκηπιακά Συστήματα

Τα θερμοκήπια είναι sophisticated συστήματα που απαιτούν συνδυασμό ηλιακής ακτινοβολίας, θέρμανσης, εξαερισμού και δροσισμού για αύξηση της παραγωγικότητας και την αποτελεσματική χρήση ενέργειας, νερού, λιπασμάτων και φυτοπροστασίας.

Το θερμοκήπιο πρόκειται για έναν χώρο με στέγη και περίφραξη, ο οποίος χρησιμοποιείται για την προφύλαξη των φυτών από τον χειμώνα, κυρίως τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του. Μπορεί να είναι είτε γυάλινα με σιδερένιους σκελετούς ως βάση, είτε πλαστικά με ξύλινους σκελετούς. Η κατασκευή τους εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν τους χειμερινούς μήνες στην περιοχή καθώς και από το είδος των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Στις βόρειες περιοχές, τα θερμοκήπια, κατασκευάζονται με διπλά τζάμια και οροφή για να αποφευχθούν κίνδυνοι σχετικά με την θερμοκρασία. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο κάλυμμα από γυαλί, το οποίο πρέπει να έχει πλήρη μόνωση και να είναι διάφανο. Η διάκριση τους συσχετίζεται με τα είδη των φυτών που καλλιεργούνται σε αυτά. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται σε θερμοκήπια εύκρατης, τροπικής, χαμηλής θερμοκρασίας κτλ., ενώ ανάλογα με τη θέση τους, διακρίνονται σε επίγεια και υπέργεια, τα οποία θερμαίνονται. Αντίθετα, στις νότιες περιοχές της Ελλάδος, όπως πχ. στη νότια Μεσσηνία και στην Κρήτη, τα θερμοκήπια είναι κατασκευασμένα από πλαστικό, χωρίς θέρμανση. Οι κατασκευές είναι ελαφριές, γιατί οι κίνδυνοι για ακραία χαμηλή θερμοκρασία είναι απειροελάχιστες. Τα θερμοκήπια είναι ένας χώρος που η καλλιέργεια διαρκεί όλο τον χρόνο και κυρίως τον χειμώνα, αφού δεν είναι δυνατό τα φυτά να ευδοκιμήσουν σε ανοιχτό χώρο. Ιδιαίτερα, όσον αφορά την Ελλάδα, βασικά προϊόντα όπως είναι η ντομάτα, η μελιτζάνα αλλά και τα κολοκύθια έχουν την δυνατότητα καλλιέργειας μέσω των θερμοκηπίων, καλύπτοντας με αυτό τον τρόπο τις ανάγκες της ελληνικής αγοράς. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της παραγωγής, προορίζεται επίσης, για εξαγωγή. Παράλληλα, τα θερμοκήπια είναι ένας τόπος καλλιέργειας λουλουδιών, τα οποία σε άλλη περίπτωση θα καλλιεργούνταν μόνο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ή ακόμα και λουλουδιών των τροπικών χωρών που σε διαφορετικές περιπτώσεις θα ήταν αδύνατη η καλλιέργειά τους. Τέτοια λουλούδια είναι πχ. οι ορχιδέες που απαιτούν θερμοκρασία πάνω από 28° C και μεγάλη υγρασία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί έξω από τα θερμοκήπια.

Ωστόσο, τα τελευταία έτη, αυξανόμενη ζήτηση έχουν και τα χημικά θερμοκήπια. Τα θερμοκήπια αυτά λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν τα θερμοκήπια από πλαστικό, όπως είδαμε και παραπάνω, με την διαφορά ότι σε αυτά χρησιμοποιούν μια χημική ουσία που μοιάζει με αφρό, για να ραντίζουν τα φυτά σε πολύ μεγάλες εκτάσεις. Η ουσία αυτή, καλύπτει και προστατεύει τα φυτά από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Τα χημικά θερμοκήπια βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, με τους ερευνητές να αναφέρουν ότι, τα θερμοκήπια αυτά πρόκειται να λύσουν το πρόβλημα της μαζικής καλλιέργειας των εκτός εποχής φυτών.

Τα θερμοκήπια δεν είναι κατασκευάσματα των τελευταίων ετών, αλλά κατέχουν θέση στην μακρά ιστορία. Πιο συγκεκριμένα, ένα από τα πρώτα θερμοκήπια που φτιάχτηκαν στην Ευρώπη, ήταν στη Βοημία περίπου το 1680, στο οποίο καλλιεργούσαν ορχιδέες. Αργότερα, περίπου το 1750, ο πρίγκιπας του Λίχτενσταϊν έφτιαξε το πρώτο μεγάλο και θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Ευρώπη στην πόλη Λέντιτσε (Lednice) στη νότια Τσεχία. (Wikipedia)

Το θερμοκήπιο μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά στοιχεία τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους:

- i. Εσωτερική ατμόσφαιρα,
- ii. Καλλιέργεια,
- iii. Έδαφος.

Στο θερμοκήπιο το μικροκλίμα αλλάζει. Αυτές οι αλλαγές είναι προβλέψιμες όταν λαμβάνονται υπόψη οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τις ιδιότητες των ροών ακτινοβολίας, των αρχών της μεταφοράς θερμότητας, του ενεργειακού ισοζυγίου και της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. Αυτό που η τεχνολογία πραγματικά επηρεάζει είναι η δυνατότητα τροποποίησης του μικροκλίματος για αύξηση της παραγωγικότητας. Σε ένα τεχνολογικά εξοπλισμένο θερμοκήπιο το μικροκλίμα ελέγχεται από ένα σύνολο μέτρων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους λαμβάνοντας υπόψη το ισοζύγιο ενέργειας, υδρατμών και CO₂.

Μία ενδιαφέρουσα μελέτη είναι αυτή των N. Bennis κ.α. όπου ασχολήθηκαν με την μοντελοποίηση και τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος ενός θερμοκηπίου. Σύμφωνα με

την έρευνα τους ο έλεγχος ενός θερμοκηπίου διαρθρώνεται σε τρία -τέσσερα στάδια. Το πρώτο αφορά τον καθορισμό μιας ενιαίας πολιτικής για την λειτουργία των θερμοκηπίων. Το δεύτερο αφορά και ασχολείται με τον καθορισμό των κατάλληλων/ιδανικών set points για την καλύτερη δυνατή παραγωγή. Το τρίτο επίπεδο και είναι το στάδιο του ελέγχου και συγκεκριμένα του εσωτερικού ελέγχου του θερμοκηπίου. Τέλος το τελευταίο στάδιο αφορά τις ανάγκες της παραγωγής ως προς την κατανάλωση νερού, ενέργειας, λιπασμάτων κλπ.

Οι βασικοί λόγοι που τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μια ραγδαία αύξηση των ερευνών στον συγκεκριμένο κλάδο οφείλεται σε τρεις βασικούς λόγους:

- i. Την αύξηση της περιόδου καλλιέργειας και συνεπώς του πιθανού κέρδους
- ii. Την διαχείριση του μικροκλίματος με σκοπό την παραγωγή προϊόντων υψηλότερης ποιότητας
- iii. Τον σχεδιασμό οικονομικών αλλά αποτελεσματικών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης, ώστε να είναι εύκολο για τους καλλιεργητές να τα εγκαταστήσουν

Οι καλλιέργειες, οι οποίες περιλαμβάνονται ή μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα θερμοκήπιο είναι: (GaiaΠαιδεία)

- α) άνθη,
- β) καλλωπιστικά και κηπευτικά προϊόντα,
- γ) αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά (εκτός της καλλιέργειας φαρμακευτικής κάνναβης),
- δ) τροπικά φυτά,
- ε) σπορόφυτα,
- στ) δενδρώδη και άλλες καλλιέργειες,
- ζ) φαρμακευτική κάνναβη.

Δεν απαιτείται η χορήγηση έγκρισης τύπου θερμοκηπίου για κατασκευές με διάρκεια ζωής μικρότερη των πέντε (5) ετών, όπως είναι τα χαμηλά σκέπαστρα μέχρι ύψους 0.80 μέτρα με μαλακό πλαστικό το οποίο αντικαθίσταται ανά έτος.

Είδος κηπευτικού	Θερμαινόμενα θερμοκήπια		Μη θερμαινόμενα θερμοκήπια		ΣΥΝΟΛΟ
	Υαλόφρακτα θερμοκήπια	Καλυμμένα με πλαστικό	Υαλόφρακτα θερμοκήπια	Καλυμμένα με πλαστικό	
	ΕΚ (στρ.)	ΕΚ (στρ.)	ΕΚ (στρ.)	ΕΚ (στρ.)	
Τομάτα	622	4.252	239	13.930	19.043
Αγγούρι	115	1.883	254	8.955	11.206
Κολοκύθι	9	150	30	574	763
Μελιτζάνα	7	160	30	1.558	1.756
Πιπεριά	119	789	83	6.269	7.259
Φασόλι	20	622	75	1.044	1.761
Μαρούλι	18	224	30	1.158	1.430
Πεπόνι	1	21	10	20	52
Καρπούζι	2	16	60	145	223
Φράουλα	0	0	0	11.630	11.630
Διάφορα	20	169	10	421	621
ΣΥΝΟΛΟ	933	8.286	821	45.704	55.744

Πίνακας 1. Θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών στην Ελλάδα

(Πηγή: <https://www.aua.gr/ekk/wp-content/uploads/2017/04/4-%CE%9A%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99A-%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%95%CE%A5%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D-%CE%A3%CE%A4%CE%9F-%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%99%CE%9F-%CE%A5%CE%94%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%91-1.pdf>)

Η συμπεριφορά ολοκλήρου του συστήματος εξαρτάται από τις αλληλεπιδράσεις αυτών και φυσικά του εξωτερικού κλίματος και των ενεργειών του συστήματος ελέγχου που χρησιμοποιεί το θερμοκήπιο. Λόγω των δυσκολιών στην διατήρηση των μεταβλητών εκείνων που καθορίζουν το εσωτερικό περιβάλλον, το σύστημα του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται ως μη-γραμμικό, πολλαπλών μεταβλητών και «ανοιχτό» στο εξωτερικό περιβάλλον.

Ο έλεγχος των μεγάλων θερμοκηπιακών μονάδων και ιδιαίτερα αυτών με υδροπονικές καλλιέργειες, βασίζεται στην αξιοποίηση δεδομένων που καταγράφονται από πολλούς

αισθητήρες. Ωστόσο στα θερμοκήπια αυτά, παρουσιάζουν σημαντική ανομοιομορφία οι παράμετροι του κλίματος, η υδατική, η θρεπτική και η φυτο-υγειονομική κατάσταση των φυτών. Παράλληλα η μεγάλη έκταση της καλλιέργειας δεν επιτρέπει την επίγεια επόπτευσή της, ώστε να διαπιστωθούν εγκαίρως τυχόν προβλήματα. Η χρήση πολυφασματικών καμερών για έγκαιρη διάγνωση της καταπόνησης των φυτών (από έλλειψη νερού, θρεπτικών στοιχείων και προσβολές), είναι πρακτικά αδύνατη στο σύνολο της καλλιέργειας και στην καθιέρωση βέλτιστων αειφόρων πρακτικών καλλιέργειας.

Οι κύριες αιτίες που ενισχύουν το ενδιαφέρον των ερευνητών, εταιρειών και παραγωγών είναι:

- Τα πολλά και μεγάλα σε έκταση θερμοκήπια που εγκαταστάθηκαν στην Ελλάδα και το εξωτερικό και η δυσκολία επίγεια επόπτευσής τους.
- Το παραγόμενο θερμοκηπιακό προϊόν έχει υψηλή αξία και κόστος παραγωγής και δεν δικαιολογείται οποιαδήποτε απώλεια.
- Οι έντονες διαφοροποιήσεις των κλιματικών συνθηκών στο εσωτερικό των μεγάλων θερμοκηπίων που έχουν αντίκτυπο στην ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή.
- Ο μεγάλος αριθμός των αισθητήρων για την μέτρηση των παραμέτρων, το κόστος αγοράς και συντήρησής τους.
- Η παρεμπόδιση των καλλιεργητικών εργασιών που προκαλεί ο μεγάλος αριθμός αισθητήρων στο θερμοκήπιο.
- Η ανάγκη άμεσης και τοπικής επέμβασης (ψεκασμό), ώστε να περιοριστεί η εξάπλωση της προσβολής και κυρίως του κόστος ψεκασμού.

Η ανάπτυξη ενός εναερίου συστημάτος επισκόπησης (cablebot) με πρωτόκολλο χρήσης IoT τεχνολογιών στοχεύει:

- Στον περιορισμό του εξοπλισμού για καταγραφή και έλεγχο διαφορετικών παραμέτρων σε μεγάλα θερμοκήπια.
- Στην εφαρμογή καινοτόμων τεχνικών (ανάλυση φασματικών εικόνων) για την ευφυή διαχείριση των σύγχρονων θερμοκηπίων.

- Στον περιορισμό απώλειας της παραγωγής, καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος.
- Στη μείωση των εισροών και κατά συνέπεια στον περιορισμό του κόστους παραγωγής.
- Στην ανάπτυξη τεχνικών καλλιέργειας, φιλικότερων προς το περιβάλλον.
- Στον καλύτερο προγραμματισμό των εργασιών και στην καλύτερη αξιοποίηση του προσωπικού.
- Στην δημιουργία νέων θέσεων εργασίας με απασχόληση εξειδικευμένου προσωπικού στον κατασκευαστικό τομέα καθώς και στην παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών.
- Στην δημιουργία βάσεων μεγάλου όγκου δεδομένων που μπορούν να αξιοποιηθούν για την ευφυή διαχείριση των θερμοκηπιακών μονάδων.

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα από την διαχείριση θερμοκηπιακών καλλιεργειών με εφαρμογή εναερίου συστήματος επισκόπησης (cablebot) δύναται να είναι:

- Βελτιστοποίηση της διαχείρισης της καλλιέργειας και του κλίματος του θερμοκηπίου με χρήση περιορισμένου αριθμού αισθητήρων.
- Περιορισμός του κόστους διαχείρισης του θερμοκηπίου και βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.
- Ορθολογική διαχείριση και βελτίωση του εξοπλισμού. Οι στοχευμένες παρεμβάσεις θα ελαχιστοποιούν το κόστος και θα μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης.
- Περιορισμένη χρήση φυτοφαρμάκων, καθώς θα υπάρχει άμεση και μικρής κλίμακας παρέμβαση για την αντιμετώπιση των προσβολών στα φυτά.
- Περιορισμό της απώλεια παραγωγής και της υποβάθμισης της ποιότητας του προϊόντος που μπορεί να προκληθεί από την καταπόνηση των φυτών.
- Περιορισμός του οικολογικού αποτυπώματος

Μία από τις εφαρμογές που έχουν ως στόχο την ανάπτυξη και ενίσχυση της απόδοσης λαχανικών, φρούτων κλπ είναι τα έξυπνα θερμοκήπια. Βοήθεια στον σχεδιασμό των έξυπνων θερμοκηπίων παρέχεται μέσω του IoT, με την χρήση αισθητήρων. Ως «έξυπνο θερμοκήπιο» ορίζεται κάθε περιβάλλον το οποίο με την χρήση τεχνητής νοημοσύνης, αποκτά την ικανότητα επεξεργασίας, απόρριψης, εκτέλεσης και ενημέρωσης (ημιαυτόματα ή χειροκίνητα), ανάλογα με τις επιθυμίες του εκάστοτε ιδιοκτήτη, και να παρουσιάζει ένα σύγχρονο και ασφαλές θερμοκήπιο εξοικονομώντας παράλληλα χρόνο και χρήμα.

Οι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα φωτός, την πίεση, την υγρασία και τη θερμοκρασία. Παράλληλα, μπορούν να ελέγχουν αυτόματα τους ενεργοποιητές για να ανοίξουν ένα παράθυρο, να ανάψουν τα φώτα, να ελέγξουν ένα θερμαντήρα, να ενεργοποιήσουν έναν ανεμιστήρα, όλα ελέγχονται μέσω σήματος WiFi.

Κάθε "έξυπνο" θερμοκήπιο θα πρέπει να κατέχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, η οποία πραγματοποιείται αυτόματα με την χρήση αισθητήρων αέρα.
- υποχρεωτική παρουσία συστήματος στάγδην άρδευσης
- αποκατεστημένο έδαφος (στο θερμοκήπιο) χωρίς ανθρώπινη βοήθεια.

Ως προς την κατασκευή των θερμοκηπίων, φαίνεται ότι διαφέρουν ως προς το σχήμα, τις διαστάσεις της βασικής μονάδας και στα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον σκελετό και την κάλυψη. Το μικρότερο πλήρες τμήμα του θερμοκηπίου είναι η βασική κατασκευαστική μονάδα του, η οποία επαναλαμβάνεται κατά μήκος και κατά πλάτος σχηματίζοντας το σύνολο.

3. Διαδίκτυο των Πραγμάτων - Ευφυής Γεωργία, Χρήση αισθητήρων

3.1. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), είναι ένα δίκτυο αντικειμένων, τα οποία έχουν την δυνατότητα με οποιονδήποτε τρόπο να συνδεθούν στο διαδίκτυο, και σε συνεργασία με διαδικτυακές υπηρεσίες (Web Services) να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους. Βασικές τεχνολογίες που βοηθούν στην πραγμάτωση του IoT είναι οι ψηφιακοί αισθητήρες συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο, συσκευές αυτοματισμού, κινητά τηλέφωνα κτλ. Η βασικά ιδέα του IoT είναι ότι κάθε φυσική οντότητα του κόσμου μας μπορεί να μετατραπεί σε έναν υπολογιστή συνδεδεμένο στο διαδίκτυο. Για να είμαστε ακριβείς τα φυσικά αντικείμενα δεν μετατρέπονται σε υπολογιστές αλλά ενσωματώνουν μικρο-υπολογιστές οι οποίοι μπορούν να τα βοηθήσουν να χαρακτηριστούν ως τέτοια. Μόλις γίνει αυτό, μπορούν να χαρακτηριστούν ως “Εξυπνες Αντικείμενα” λόγω του ότι μπορούν να συμπεριφέρονται πιο έξυπνα από άλλα αντικείμενα τα οποία δεν έχουν δυνατότητα διασύνδεσης. Για να θεωρήσουμε ότι ένα σύστημα υπάγεται στο IoT θα πρέπει να πληροί τις εξής τρεις προϋποθέσεις:

1. Να είναι διασυνδεδεμένο – με τον φυσικό κόσμο γύρω του, να μπορεί να αντλεί πληροφορίες από αυτόν και να είναι σε θέση να τις μεταφέρει μέσω του διαδικτύου
2. Να κάνει υπολογισμούς – βάσει των δεδομένων των οποίων λαμβάνει και να τους δίνει την δυνατότητα χρησιμοποίησης από άλλα συστήματα
3. Να επικοινωνεί – με το δίκτυο, με άλλα αντικείμενα ή και με τον χρήστη αν αυτό είναι απαραίτητο

Οι προκλήσεις οι οποίες προκύπτουν για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι αρκετές. Πρώτα από όλα όσον αφορά την αποδοτικότητα ενός τέτοιου διαδικτύου τα έξυπνα αντικείμενα τα οποία το αποτελούν θα πρέπει να δαπανούν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια ώστε να είναι αποτελεσματικά στην λειτουργία τους. Έτσι υπάρχει όλο και περισσότερο η ανάγκη για αυτή την προϋπόθεση καθώς ο αριθμός των έξυπνων συσκευών μεγαλώνει με τον καιρό. Επίσης προκύπτει το ζήτημα του μεγέθους αυτών των συσκευών

καθώς μπορεί μερικές φορές να είναι μικρότερες οντότητες οι οποίες λειτουργούν υποστηρικτικά σε κάποιο άλλο σύστημα όπως είναι το κινητό τηλέφωνο για παράδειγμα.

Άλλο ένα κεντρικό πρόβλημα, το οποίο είναι διαχρονικό στην σχεδίαση ψηφιακών συστημάτων, είναι αυτό της ασφάλειας (security) και της ιδιωτικότητας (privacy) των δεδομένων. Οι έξυπνες συσκευές έχουν ως κύριο σκοπό την συγκέντρωση, μεταφορά και αποθήκευση των δεδομένων που λαμβάνουν από το μικροπεριβάλλον τους. Από την στιγμή που όλο και περισσότερα αντικείμενα διασυνδέονται στο IoT και μάλιστα αντικείμενα τα οποία μπορεί να αφορούν λειτουργίες σημαντικών συστημάτων (όπως ιατρικά συστήματα), αναπόφευκτα θα αυξάνεται και οι φόβοι κακόβουλων επιθέσεων. Υπάρχει έτσι γενικότερη ανησυχία για αυτές τις έξυπνες συσκευές οι οποίες παθητικά και συνεχώς συγκεντρώνουν δεδομένα κάθε είδους που μπορεί να αφορούν την ιδιωτικότητα των χρηστών. Εξάλλου η φύση του ΔΤΑ και η δυνατότητά του για διασύνδεση το κάνει ιδιαίτερα ευάλωτο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Τα έξυπνα αντικείμενα είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε επιθέσεις όταν για την διασύνδεσή τους απαιτείται σύνδεση μέσω ασύρματων δικτύων. Η χαμηλή υπολογιστική τους ισχύς τα φέρνει σε μειονεκτική θέση ως προς το ζήτημα της ασφάλειας.

Καθώς ακόμα το IoT βρίσκεται σε συνεχή ανάπτυξη, προκύπτει και το θέμα των πρωτοκόλλων διασύνδεσης. Το πρόβλημα αυτό είναι έντονο καθώς οι εταιρείες μέσα στην ένταση του ανταγωνισμού για την κατάκτηση της παρθένας αγοράς που δημιουργείται, προσπαθούν να επιβάλουν η κάθε μία το δικό της. Έτσι κινδυνεύουμε να φθάσουμε σε ένα ωκεανό τεχνολογιών που πολλές φορές είναι μη συμβατές μεταξύ τους.

Ως «Διαδίκτυο των πραγμάτων» (IoT) ορίζεται η διασύνδεση φυσικών συσκευών, οχημάτων κτιρίων και άλλων αντικειμένων που ενσωματώνονται με ηλεκτρονικά, λογισμικά, αισθητήρες, ενεργοποιητές και δίκτυο που επιτρέπουν σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Οι φυσικές συσκευές αναφέρονται εναλλακτικά και ως "συνδεδεμένες συσκευές" ή και "έξυπνες συσκευές". Τα αντικείμενα ανιχνεύονται ή ελέγχονται εξ αποστάσεως σε κάποια υποδομή του δικτύου που ήδη υπάρχει μέσω IoT. Με τον τρόπο αυτό, με την ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση, δημιουργούν ευκαιρίες για άμεση ενσωμάτωση του φυσικού κόσμου σε συστήματα που βασίζονται σε υπολογιστές, οδηγώντας σε βελτιωμένη αποτελεσματικότητα, ακρίβεια και

οικονομικό όφελος. Το IoT επίσης συμβάλλει σημαντικά στην καινοτομία των γεωργικών μεθόδων. Η πληθυσμιακή ανάπτυξη δημιουργεί με την σειρά της πληθώρα γεωργικών προκλήσεων. Μαζί με την αλλαγή του κλίματος έχουν καταστήσει μια από τις πρώτες βιομηχανίες που χρησιμοποιούν το IoT. Ασύρματοι αισθητήρες αλλά και πλατφόρμες Νέφους (Cloud) βοηθούν στη συλλογή ζωτικών πληροφοριών σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η μόλυνση από παράσιτα, το χώμα εδάφους ή τα θρεπτικά συστατικά, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση και την αυτοματοποίηση των γεωργικών τεχνικών. Επίσης βοηθούν στην βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας και την ελαχιστοποίηση των κινδύνων και των αποβλήτων μέσω της λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων. Η εφαρμογή αυτή, μειώνει τις δυσκολίες διαχείρισης καλλιεργειών, μέσω της παρακολούθησής τους σε πολλαπλές τοποθεσίες, πχ ανίχνευση των γονιμοποιημένων περιοχών, ξηρασία της γης κλπ.

Καθώς η συζήτηση ανάμεσα στα πρωτόκολλα ακόμα είναι σε εξέλιξη μερικά από αυτά τα οποία ξεχωρίζουν έως τώρα είναι τα εξής:

- MQTT: ένα πρωτόκολλο το οποίο συλλέγει δεδομένα από τα έξυπνα αντικείμενα και τα στέλνει στον server
- XMPP: πρωτόκολλο το οποίο είναι καλύτερο στην διασύνδεση έξυπνων συσκευών με τους χρήστες
- DDS: ένα γρήγορο πρωτόκολλο για την ενσωμάτωση του σε έξυπνες συσκευές
- AMQP: ένα πρωτόκολλο ευρετηρίασης το οποίο συνδέει servers μεταξύ τους.

Αυτά είναι τα κύρια πρωτόκολλα το κάθε ένα από τα οποία έχει τουλάχιστον άλλες δέκα υλοποιήσεις. Είναι κατανοητό να υπάρχει σύγχυση στην διάκριση μεταξύ τους καθώς οι λειτουργίες είναι πολλές φορές παρόμοιες αν τις αναλύσουμε σε υψηλότερο επίπεδο.

Παρόλα αυτά υπάρχουν αμέτρητες προοπτικές οι οποίες ξεπηδούν από το IoT. Μερικές από τις υλοποιήσεις που φαίνονται πιο πολύ υποσχόμενες όχι μόνο από επιχειρηματικής όψης αλλά και από άποψη βελτίωσης των ζώων μας είναι: Τα έξυπνα σπίτια, οι προσωπικές κινητές συσκευές, διαδικασία των αγορών (καταναλωτές), υγειονομική

περίθαλψη, παρακολούθηση περιβάλλοντος, έξυπνες πόλεις, έξυπνες αγροτικές καλλιέργειες ή ευφυής γεωργία, αυτόνομα οχήματα, μέσα μαζικής μεταφοράς, επίπεδα ρύπων στις πόλεις κτλ.

3.2. Ευφυής Γεωργία

Η Ευφυής Γεωργία είναι ένας καινοτόμος τρόπος προσέγγισης απέναντι στις συμβατικές μεθόδους καλλιέργειας, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας και ποσότητας των παραγόμενων καρπών, της μείωσης του οικολογικού αποτυπώματος από τις πρακτικές που εφαρμόζονται στην καλλιέργεια, και την προσαρμογή της καλλιέργειας στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, απαιτείται ένας πιο αυστηρός και επιμελής έλεγχος των μετεωρολογικών δεδομένων που επικρατούν στην καλλιέργεια, της κατάστασης της ίδιας της καλλιέργειας αλλά και της σύστασης του υπεδάφους της. Μια τέτοια ενέργεια θα βοηθήσει στην εξαγωγή πιο ασφαλών συμπερασμάτων για την κατάσταση του μικρο-περιβάλλοντος, τα οποία με την σειρά τους θα οδηγήσουν να παρθούν αποφάσεις για το ποιες αλλαγές χρειάζονται να γίνουν ώστε η καλλιέργειά τους να χαρακτηριστεί ως «έξυπνη».

Σήμερα τα κύρια προβλήματα που προκύπτουν από την ελλιπή πληροφόρηση των αγροτών σε σχέση με την καλλιέργειά τους και την παραγωγή είναι τα εξής:

- Κακή διαχείριση των υδάτινων πόρων, η οποία οδηγεί σε μακροπρόθεσμες συνέπειες (κατά συνέπεια αυτές δεν είναι εμφανείς άμεσα) όπως η μείωση των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα και η διάβρωση των εδαφών
- Αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, η οποία οδηγεί επίσης στην μόλυνση του εδάφους, στην επιβάρυνση των υδάτινων πόρων αλλά και στην αύξηση των εκπομπών αερίων που επιδρούν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Μειωμένη ποιότητα παραγωγής καθώς τα παραγόμενα προϊόντα είναι επιβαρυνμένα με χημικές ουσίες, οι οποίες έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των καταναλωτών
- Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου έχουν ακολουθηθεί λάθος πρακτικές λόγω της ελλιπής πληροφόρησης μπορεί να υπάρξει και μειωμένη παραγωγή προϊόντων

- Η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων κάνει τους πληθυσμούς των βλαβερών εντόμων πιο ανθεκτικούς απέναντι σε αυτά με αποτέλεσμα να απαιτούνται όλο και περισσότερες και πιο βαριές επεμβάσεις για την καταπολέμησή τους.
- Παρομοίως και με την υποβάθμιση των εδαφών, απαιτείται όλο και περισσότερες ποσότητες λιπασμάτων καθώς και υδάτινων πόρων καθώς δεν είναι δυνατόν να συγκρατηθούν τα θρεπτικά συστατικά.
- Όλα αυτά έχουν φυσικά και οικονομικό αρνητικό αντίκτυπο. Οι μεν, μη δικαιολογημένες φαρμακευτικές επεμβάσεις και η υπέρμετρη χρήση των υδάτινων πόρων οδηγούν σε περιττά έξοδα, και η δε μειωμένη παραγωγή σε μικρότερα έσοδα.

Οι παραπάνω προκλήσεις που επέβαλαν την γρηγορότερη ενσωμάτωση τέτοιου είδους εφαρμογών δεν είναι πάντα μόνο οικονομικής φύσεως. Οι κλιματικές αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια φέρνουν νέες δυσκολίες όχι μόνο στην τοπική γεωργία αλλά και στην παγκόσμια. Προσθέτως ο παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) εκτιμά ότι το 2050 ο πληθυσμός της γης θα έχει αυξημένες ανάγκες για παραγωγή γεωργικών προϊόντων κατά 70%. Δεν πρέπει να ξεχνάμε επίσης ότι και ο αγροτικός τομέας συμβάλει στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος καθώς σύμφωνα με μελέτες παράγει το ένα τέταρτο των αερίων τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα και να αυξηθεί η ποιότητα και η ποσότητα της αγροτικής παραγωγής, είναι η ενσωμάτωση τεχνολογιών οι οποίες μπορούν να δώσουν «νοημοσύνη» στις καλλιέργειες, δημιουργώντας την «Ευφυή Γεωργία» (Climate-Smart Agriculture). Είναι κάτι το οποίο έχει αρχίσει ήδη να εφαρμόζεται καθώς μεγάλοι όγκοι δεδομένων συλλέγονται με σκοπό να προβλέψουν τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν κατά την εξέλιξη της καλλιέργειας. Μερικοί χαρακτηριστικοί τύποι δεδομένων για τις αγροτικές καλλιέργειες είναι τα κλιματικά δεδομένα, δεδομένα για την σύσταση του εδάφους, ποιοτικά δεδομένα για την κατάσταση των καρπών κτλ.

Η «Ευφυής Γεωργία» σε πιο απλά λόγια είναι μια μέθοδος ολοκληρωμένης προσέγγισης, η οποία προσπαθεί να δώσει λύσεις στα αλληλένδετα προβλήματα αυτά της ποιότητας των τροφών που παράγουμε και των κλιματικών αλλαγών, και αποσκοπεί σε τρεις διακριτούς στόχους:

- Βιώσιμη αύξηση της αγροτικής παραγωγής, που να υποστηρίζει δίκαια την αύξηση των γεωργικών εισοδημάτων, την ασφάλεια των τροφών και την εξέλιξή τους
- Την δημιουργία και προσαρμογή γεωργικών συστημάτων και συστημάτων ασφάλειας τροφίμων, ανάλογα με την κλιματικές εξελίξεις
- Μείωση των εκπομπών βλαβερών αερίων τα οποία ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Αυτοί οι στόχοι θα πρέπει να μελετούνται σε πολλαπλά επίπεδα, από τις μικρές έως τις μεγάλες καλλιέργειες, από τοπικό επίπεδο σε παγκόσμιο, από βραχυπρόθεσμα έως μακροπρόθεσμα λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τις προτεραιότητες κάθε τόπου.

Συνοψίζοντας μέχρι τώρα, είναι αντιληπτό ότι το Διαδίκτυο των Αντικειμένων είναι βασικός παράγοντας για την επίτευξη των «Ευφυούς Γεωργίας». Τύποι τεχνολογίας υλικού οι οποίες αφορούν το Διαδίκτυο των Αντικειμένων θα μπορούσαν να είναι, αισθητήρες κλιματικών δεδομένων, αισθητήρες της σύστασης και της κατάστασης του εδάφους, αυτοματοποιημένες συσκευές και κινητές συσκευές (smartphones).

Έχει σημασία μεγάλη να εξηγήσουμε ότι η «Ευφυής Γεωργία» δεν είναι μια νέα μέθοδος γεωργίας ή μια σειρά άλλων πρακτικών. Είναι απλά μια διαφορετική προσέγγιση που έχει ως οδηγό πλέον τις αναγκαίες προσαρμογές που πρέπει να γίνουν στις καλλιέργειες ώστε αυτές να παράγουν ασφαλή προϊόντα αφήνοντας πίσω το μικρότερο δυνατόν οικολογικό αποτύπωμα. Σε πρώτο πλάνο τα προβλήματα που προσπαθεί να αντιμετωπίσει η εφαρμογή της Ευφυούς Γεωργίας είναι εκείνο της άμεσης και ακριβής πληροφόρησης του χρήστη για την πορεία της καλλιέργειας και για τα κλιματικά δεδομένα που επικρατούν σε αυτήν, την πρόβλεψη των πιθανοτήτων προσβολής αυτής από ασθένειες, την εμφάνιση έκτακτων καιρικών φαινομένων, την κατάσταση του εδάφους και την αυτοματοποίηση του συστήματος άρδευσης. Όλα αυτά σε ευρύτερο πλαίσιο επιτυγχάνουν του τρεις στόχους των «Έξυπνων Καλλιεργειών» που αναφέρθηκαν παραπάνω και περιγραμματατικά αφορούν κυρίως την βιώσιμη ανάπτυξη της γεωργικής παραγωγής, την προσαρμογή του γεωργικού συστήματος σύμφωνα με τις κλιματικές εξελίξεις και την μείωση ρύπων και σπατάλης των φυσικών πόρων.

3.3. Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Ως ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) ορίζεται κάθε δίκτυο που περιέχει εκατοντάδες συσκευές αισθητήρων, οι οποίες λειτουργούν συλλογικά για την επίτευξη ενός κοινού στόχου. Πιο συγκεκριμένα, τα καθήκοντα ενός ασύρματου αισθητήρα είναι όμοια με μιας μπαταρίας, καθώς έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει τα δεδομένα και να τα κάνει να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του ασύρματου δικτύου. Εκατοντάδες χιλιάδες μικροσκοπικοί κόμβοι συναρτούν ένα τυπικό δίκτυο αισθητήρων, ο κάθε ένας από τους οποίους αποτελείται από έναν επεξεργαστή, μία μνήμη, ασύρματη κεραία, μπαταρία και τον ίδιο τον αισθητήρα.

Υπεύθυνο για την παρακολούθηση δεδομένων και πληροφοριών δεν είναι άλλο από το δίκτυο των ασύρματων αισθητήρων. Στην ουσία, παρακολουθεί τα δεδομένα μιας σειράς γεγονότων, ενώ παράλληλα συλλέγει και επεξεργάζεται πληροφορίες από έναν συγκεκριμένο τομέα σε μία καθορισμένη θέση.

Οι τεχνολογίες για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στην σημερινή εποχή βασίζονται σε επεξεργαστές χαμηλού κόστους και έχουν ως σκοπό τον ελάχιστο δυνατό προϋπολογισμό ενέργειας και τον περιορισμένο χώρο μνήμης.

Οι ασύρματοι κόμβοι είναι συνήθως διασκορπισμένοι σε ένα πεδίο αισθητήρων και έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν δεδομένα για την διαδρομή των δεδομένων πίσω στο sink. Τα δεδομένα με την σειρά τους δρομολογούνται πίσω στο sink χωρίς υποδομή αρχιτεκτονικής πολλαπλών ανακλάσεων μέσω του sink, ο οποίος έχει την ικανότητα να επικοινωνεί με το κόμβο διαχειριστή έργου μέσω του Διαδικτύου ή μέσω δορυφόρου.

3.4 Γεωργία Ακριβείας

Διαχείριση της χωρικής και χρονικής μεταβολής για τη βελτίωση της οικονομικής απόδοσης σε συνδυασμό με τη μείωση των εισροών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Περιλαμβάνει Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems – DSS) για ολόκληρη την διαχείριση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων με στόχο την βελτιστοποίηση των αποδόσεων επί των εισροών με παράλληλη διατήρηση των πόρων, τα οποία χαρακτηρίζονται από την ευρεία χρήση των συστημάτων γεω-εντοπισμού (GPS, GNSS), αεροφωτογραφιών από UAVs και την τελευταία γενιά των υπερχρονικών εικόνων που

παρέχονται από τους δορυφόρους Sentinel, που έχουν σαν συνέπεια τη δημιουργία χαρτών χωρικής παραλλακτικότητας διαφόρων μεταβλητών που μπορεί να μετρηθούν (π.χ. απόδοση των καλλιεργειών, χαρακτηριστικά του εδάφους / τοπογραφία, περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, επίπεδα υγρασίας, επίπεδα αζώτου, κλπ.).

Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με την γεωργία ακρίβειας σχετίζονται κυρίως με συστήματα θέσης, πλοήγησης, πληροφοριών, εφαρμογών, αποδόσεων, τηλεπισκόπησης, και με αισθητήρες.

- Παγκόσμια Συστήματα Καθορισμού/Εντοπισμού Θέσης (GPS)
- Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)
- Συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA ή VRT)
- Συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων (Yield Monitoring System)
- Τηλεπισκόπηση
- Αισθητήρες καλλιεργειών και εδάφους
- Αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης

3.5 Cloud computing

Το Cloud Computing (υπολογιστικό νέφος) είναι μια αναδυόμενη και αναπτυσσόμενη τεχνολογία, η οποία ορίζεται από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας των ΗΠΑ (US National Institute of Standards and Technology – NIST) ως μοντέλο πρόσβασης σε ένα κατά παραγγελία δίκτυο κοινών διαμορφωμένων πηγών πληροφορικής όπως δίκτυα, διακομιστές, αποθήκες, εφαρμογές και υπηρεσίες. Άτομα αλλά και υπηρεσίες που χρησιμοποιούν υπηρεσίες νέφους έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν απομακρυσμένα συστατικά λογισμικού και υλικού τρίτων κατασκευαστών. Παράλληλα, το υπολογιστικό νέφος επιτρέπει σε ερευνητές και επιχειρήσεις την χρήση και διατήρηση πολλαπλών πόρους από απόσταση, με αξιοπιστία και με χαμηλό κόστος.

Το IoT (διαδίκτυο των πραγμάτων) απασχολεί μεγάλο αριθμό ενσωματωμένων συσκευών, όπως αισθητήρες και ενεργοποιητές. Συνδέοντας μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων στο

διαδίκτυο δημιουργείται αυτό που ονομάζεται Big Data. Τα Big Data απαιτούν πολύπλοκες υπολογιστικές μεθόδους για την εξαγωγή γνώσεων και για αυτό τον λόγο χρειάζονται έξυπνη αλλά και αποδοτική αποθήκευση. Άμεσο επακόλουθο είναι να χρειάζονται και οι συνδεδεμένες συσκευές μηχανισμούς αποθήκευσης, επεξεργασίας και ανάκτησης δεδομένων. Παρόλα αυτά, τα Big Data είναι τόσο πολλά, που το χρησιμοποιούμενο περιβαλλοντικό υλικό είναι περισσότερο από όσο πρέπει για να συλλέγονται, να διαχειρίζονται και να επεξεργάζονται μέσα σε ένα αποδεκτό χρονικό διάστημα. Επομένως, το IoT με τους υπολογιστικούς πόρους και το νέφος, αποτελεί την καλύτερη δυνατή επιλογή για την επεξεργασία και την αποθήκευση των Big Data.

Η θέση στην αγορά της πληροφορικής είναι κατειλημμένη τα τελευταία περίπου δέκα χρόνια από το υπολογιστικό νέφος. Το μοντέλο αυτό, επιτρέπει σε μια κοινόχρηστη ομάδα η οποία έχει διαμορφωθεί από υπολογιστικούς πόρους, όπως δίκτυα, διακομιστές κλπ, να έχει πρόσβαση στο δίκτυο. Οι υπολογιστικοί αυτοί πόροι στην ουσία συμβάλλουν στην μείωση των λειτουργικών δαπανών (OPerating EXpenditure – OPEX) και στη δικτύωση και στους τομείς πληροφορικής. Για τον λόγο αυτό, μάλιστα, οι περισσότερες εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας βασίζονται σε υπηρεσίες νέφους [88]. Παράλληλα, είναι ικανό να προσφέρει έναν νέο τρόπο/ μηχανισμό διαχείρισης για τα Big Data, ο οποίος επιτρέπει τόσο την επεξεργασία δεδομένων όσο και την εξαγωγή γνώσεων από αυτό. Η εφαρμογή του υπολογιστικού νέφους για το IoT δεν είναι εύκολο έργο, λόγω των ακόλουθων προκλήσεων:

- *Συγχρονισμός:* Οι υπηρεσίες είναι δομημένες σε διάφορες πλατφόρμες νέφους και επομένως ο συγχρονισμός των διαφορετικών προμηθευτών συστημάτων νέφους αποτελεί πρόκληση για την παροχή υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο.
- *Τυποποίηση:* Η διαλειτουργικότητα με τους διάφορους παρόχους υπηρεσιών νέφους είναι βασικός στόχος – πρόκληση για το IoT.
- *Εξισορρόπηση:* Οι διαφορές στις υποδομές καθιστούν ισορροπία μεταξύ των γενικών περιβαλλόντων υπηρεσιών ακόμα μια πρόκληση.

- *Αξιοπιστία*: Οι διάφοροι μηχανισμοί ασφαλείας μεταξύ των συσκευών που διαχειρίζονται το IoT, αποτελεί μια ακόμα πρόκληση για την ασφάλεια των υπηρεσιών IoT, που βασίζονται σε νέφος.
- *Διαχείριση*: Ένας ακόμα απαιτητικός παράγοντας είναι η διαχείριση των συστημάτων υπολογιστικού νέφους και IoT, καθώς και τα δύο έχουν διαφορετικούς πόρους και στοιχεία.
- *Βελτίωση*: Η διασφάλιση παροχής καλών υπηρεσιών που ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των πελατών, μέσω της επικύρωσης των υπηρεσιών IoT, που βασίζονται στο νέφος.

Μια κοινή λίστα με τους πόρους πληροφορικής που διατηρούνται στον διακομιστή αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης σε αυτή, παρέχει το νέφος στο IoT. Οι υπηρεσίες που απαιτεί μια εφαρμογή IoT από ένα νέφος έχουν ως εξής:

- Υποστήριξη τεράστιου αριθμού συσκευών επικοινωνίας.
- Διαθεσιμότητα ανά πάσα στιγμή για υπολογισμό.
- Παροχή ασφαλείας και ιδιωτικότητας στα δεδομένα.
- Διαθέσιμος χώρος αποθήκευσης.
- Βοήθεια για την παραγωγή αναλυτικών εκθέσεων.
- Χαμηλό κόστος.

Πλατφόρμες νέφους όπως ThingWorx, OpenIoT, Google Cloud, Amazon, GENI, κ.α είναι ικανές να χρησιμοποιηθούν από το IoT.

4. Ρομποτική στη Γεωργία και στα Θερμοκήπια. Χρήση Cablebots

Η κλιματική αλλαγή είναι εδώ και απειλεί –μαζί με τον υπερπληθυσμό– την αγροτική παραγωγή, εξυφαίνοντας τις επόμενες μεγάλες επισιτιστικές κρίσεις. Ειδικά το ευαίσθητο ελληνικό οικοσύστημα επηρεάζεται σοβαρά, σύμφωνα με όλες τις διεθνείς και ελληνικές εκθέσεις, από την αύξηση της θερμοκρασίας και των ημερών καύσωνα, των ραγδαίων βροχών αλλά και των ημερών ανομβρίας, που θα μειώσουν την αφθονία των ειδών, θα υποβαθμίσουν τα εδάφη και τα νερά, θα μετατοπίσουν χωρικά τις καλλιέργειες, θα ευνοήσουν την εξάπλωση ασθενειών, την εμφάνιση τοξικών φυτών.

Δορυφορικά συστήματα, τηλεπισκόπηση, γεωπληροφορική, μεγάλα δεδομένα, Διαδίκτυο των πραγμάτων, συστήματα αυτόματης έρευνας και ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο χωράφι ή στο θερμοκήπιο, νευρωνικά δίκτυα για την πρόβλεψη της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, ρομπότ που εκτελούν τυποποιημένες εργασίες, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης, πολυφασματικοί αισθητήρες, τρακτέρ χωρίς οδηγό αλλά με μηχανική όραση, ραντάρ, GPS και διασύνδεση με το Διαδίκτυο, χρησιμοποιούνται για την πιο αποδοτική χρήση των φυσικών πόρων και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. (Yu et. al., 2010)

Δηλαδή, ένα σύνολο μηχανημάτων που διασυνδέονται μεταξύ τους και λειτουργούν αυτόματα, παρακολουθεί την εξέλιξη των καλλιεργειών και παρεμβαίνει όπου χρειάζεται. Μηχανές σπέρνουν ή φυτεύουν με ακρίβεια (αφού πρώτα αισθητήρες έχουν αναλύσει την πυκνότητα, την υγρασία, τις θρεπτικές ουσίες στο έδαφος και έχουν υπολογίσει σε ποιο σημείο και σε πιο βάθος θα εισαχθεί ο σπόρος, σε ποιες ακριβώς αποστάσεις θα τοποθετηθούν τα φυτά), αρδεύουν όποτε και όσο ακριβώς χρειάζεται, συλλέγουν και διαλέγουν τους καρπούς. Ρομποτικά μηχανήματα εντοπίζουν προβλήματα πριν αυτά εκδηλωθούν, εξαλείφουν ζιζάνια, παρεμβαίνουν αποκαθιστώντας τη διατροφική ισορροπία και υγεία των εδαφών, προλαμβάνουν την εξάπλωση ασθενειών, μειώνοντας την ανάγκη για επιβλαβή φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Τεχνολογίες 3D απεικόνισης συμβάλλουν στην ορθολογική διανομή των καλλιεργειών, συστήματα ελέγχουν τη χρήση νερού και την απορροή τοξικών συστατικών, βοηθούν στην αποκατάσταση υποβαθμισμένων οικοσυστημάτων.

Τεράστια ποσά επενδύονται στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ και στον υπόλοιπο κόσμο για την ανάπτυξη των βέλτιστων πρακτικών και ποικιλιών που θα αντέξουν στην κλιματική αλλαγή. Το οικονομικό μέγεθος της έξυπνης γεωργίας, σύμφωνα με τη Statista, αναμένεται να αυξηθεί από 9,58 δισ. δολάρια το 2017 σε 23,14 δισ. δολ. το 2022, και η γεωργία ακριβείας, που αποτελεί συνιστώσα της έξυπνης γεωργίας και χρησιμοποιεί την τεχνολογία για τη μείωση των εισροών (σπόρων, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, νερού), από 5,09 εκατ. δολάρια το 2018 σε 9,53 δισ. δολάρια το 2023. Επίσης, η αξία του παγκόσμιου αγροτικού Διαδικτύου των πραγμάτων αναμένεται να αυξηθεί από 3,63 δισ. δολάρια το 2015 σε 21 δισ. το 2022 και οι αυτόματες γεωργικές συσκευές του Διαδικτύου των πραγμάτων από 17 εκατ. το 2016 σε 27,4 εκατ. συσκευές το 2021.

Η γεωργική βιομηχανία αλλάζει αισθητά τα τελευταία χρόνια. Η κατάσταση αυτή είναι διακριτή μέσα από drone και δορυφορικές εικόνες και την τεχνολογία αισθητήρων. Η αναδιαμόρφωση της γεωργίας, γίνεται στην ουσία μέσω αυτών των τεχνολογικών καινοτομιών. Νέες έννοιες όπως η γεωργία ακριβείας (PA), η γεωργία ακριβείας (PF), η ψηφιακή γεωργία (DF) και η έξυπνη γεωργία (SF), έχουν εισαχθεί λόγω τους εκσυγχρονισμού και της χρήσης ψηφιακής τεχνολογίας στην γεωργία. Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν μέρος της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI). Πιο συγκεκριμένα, η γεωργία ακριβείας έχει μεγάλη ανάπτυξη έπειτα από την εξέλιξη των αυτόνομων UAV (μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα) τα γνωστά drone, τα οποία βοηθούν τους αγρότες στην χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών γρήγορα και οικονομικά. Η χρήση τους καθίσταται ικανή στην γεωργία ακριβείας (PA) για την διαχείριση και παρακολούθηση καλλιεργειών, ανίχνευση ζιζανίων, τον προγραμματισμό άρδευσης, την ανίχνευση ασθενειών, τον ψεκασμό φυτοφαρμάκων αλλά και την συλλογή δεδομένων από αισθητήρες γείωσης (υγρασία, ιδιότητες εδάφους κ.λπ.). Η εξέλιξη των UAV σε PA συνιστά μια οικονομικά αποδοτική τεχνολογία, η οποία χαρακτηρίζεται από εξοικονόμηση χρόνου και μπορεί να βοηθήσει να βελτιωθούν οι αποδόσεις των καλλιεργειών, της παραγωγικότητας των εκμεταλλεύσεων και της κερδοφορίας στα γεωργικά συστήματα. Παράλληλα, τα UAV βοηθούν στην διαχείριση της γεωργίας, την παρακολούθηση των ζιζανίων και τις βλάβες των παρασίτων, συμβάλλοντας έτσι στην ταχεία αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Μάλιστα, εμφυτεύοντας αισθητήρες σε όλη την έκταση του χωραφιού, είναι ικανή η μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνική αυτή, τροφοδοτεί συνεχώς με

δεδομένα χωρίς ανθρώπινη παρουσία. Οι αισθητήρες εδάφους έχουν λάβει πολλή προσοχή από τους επιστήμονες τις τελευταίες δύο δεκαετίες κυρίως γιατί είναι άμεση η ανάγκη μιας βασικής τεχνολογίας που θα κάνει την PA πραγματικότητα. Επίγειοι σταθμοί που φυτρώνουν σε χωράφια, θερμοκήπια σε όλον τον κόσμο μπορούν να συλλέγουν δεδομένα εδάφους και τοπικές πληροφορίες για το κλίμα. Οι πληροφορίες αυτές, επιστρέφονται με την σειρά τους σε μια μηχανή AI στην οποία παράγουν έναν ενεργό συνταγογραφημένο χάρτη λιπασμάτων, άρδευσης ή αναγκών προστασίας των καλλιεργειών. Ωστόσο, οι εγκαταστάσεις θερμοκηπίου αδυνατούν να διαθέτουν οφέλη των χαρτών πίεσης και των χαρτών συνταγών, τα οποία μπορούν να παραχθούν μέσω ανίχνευσης UAV, όπως μπορεί να συμβαίνει με τα ανοιχτά χωράφια. Επίσης, είναι απαραίτητο να καταγράφονται οι κρίσιμες συνθήκες της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας που είναι απαραίτητες για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων από έναν αισθητήρα τοποθετημένο σε σταθερό σημείο σε ένα χωράφι ή ένα θερμοκήπιο,

4.1. State of the Art & Καινοτομία

Τα παραδοσιακά ρομπότ είναι συνδεδεμένα με άκαμπτα. Αντίθετα, ρομπότ καλωδίων τείνουν να είναι ελαφρύτερα, ταχύτερα και λιγότερο ακριβά. Κάθε συσκευή η οποία κινείται σε μικρά αγροτεμάχια και θερμοκήπια επιστρέφοντας δεδομένα στον ιδιοκτήτη του οικοπέδου, ο οποίος ελέγχει μια ηλεκτρική βαλβίδα ως μέρος μιας έξυπνης εγκατάστασης άρδευσης / λίπανσης. Το προτεινόμενο σύστημα ονομάζεται KYTION Aeir (test caste cablebot). Κάθε ιδιόκτητη βαλβίδα έχει σχεδιαστεί, με το όνομα KYTION Flow, το οποίο μπορεί να διαχειριστεί 8 ζώνες άρδευσης. Οι ζώνες αυτές είναι ιδιαίτερες σημαντικές για το PA (Precision Agriculture). Το πρόγραμμα αυτό, λειτουργεί σε συνεργασία με το παραπάνω σύστημα και είναι σε θέση να ελέγξει την έξυπνη εγκατάσταση σωληνώσεων άρδευσης του δεδομένου θερμοκηπίου ή του οικοπέδου. Παράλληλα, και οι καλλιέργειες διαχωρίζονται σε ζώνες για την καλύτερη χρήση εισροών. Η κατάσταση αυτή διαπιστώνεται σύμφωνα με τους χάρτες πίεσης που παράγονται με εναέρια ή άλλα μέσα. Οι περιοχές με διαφορετικά επίπεδα στρες ή ανάγκες λαμβάνουν διαφορετική θεραπεία μειώνοντας έτσι το κόστος εισόδου. Τέλος, αναπτύχθηκε μια διαδικτυακή εφαρμογή διεπαφής χρήστη, η οποία λειτουργεί ως πύλη από την οποία οι

καλλιεργητές λαμβάνουν αφομοιωμένα σχόλια από το έξυπνο σύστημα γεωργίας τους στον υπολογιστή, το tablet ή την κινητή συσκευή τους.

Μια παγκόσμια ανησυχία για την επισιτιστική ασφάλεια και τη διατήρηση του περιβάλλοντος είναι εμφανής στις μέρες μας. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στο IoT, τα εναέρια και επίγεια οχήματα με καθοδήγηση GPS, η μοριακή βιολογία και τα νευρωνικά δίκτυα AI έχουν προωθήσει μια παγκόσμια επενδυτική τάση προς την τεχνολογία ag & tech και την διατροφή, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν οι απειλές που ενδέχεται να προκύψουν.

Η γεωργία ακριβείας (Dwivedi, 2017) έχει κυριολεκτικά απογειωθεί με την ανάπτυξη αυτόνομων UAV (μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα) επίσης γνωστά ως drones, που βοηθούν τους αγρότες να χαρτογραφήσουν μεγάλες περιοχές με γρήγορο και οικονομικό τρόπο (Vasudevan, et al., 2016; Gonzalez et. κ.λπ., 2019). Τα UAVs παρέχουν στους αγρότες σύνολα δεδομένων, από RGB, φασματικούς, θερμικούς και αισθητήρες Lidar που μεταφέρουν. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέγονται από UAVs πρέπει να συμπληρώνονται από άλλες μεταβλητές όπως το τοπικό κλίμα και οι εδαφικές συνθήκες.

Μια ποικιλία σταθερών σταθμών εδάφους ξεφυτρώνουν σε χωράφια και θερμοκήπια σε όλο τον κόσμο, συλλέγοντας δεδομένα εδάφους και τοπικές πληροφορίες για το κλίμα. Όλες αυτές οι πληροφορίες στη συνέχεια επιστρέφονται σε μια μηχανή AI για να παράγουν έναν ενεργό χάρτη λιπασμάτων, άρδευσης ή αναγκών προστασίας των καλλιεργειών. Ωστόσο, ένας αισθητήρας τοποθετημένος σε ένα σταθερό σημείο σε ένα χωράφι ή ένα θερμοκήπιο, δεν καταγράφει απαραίτητα τις κρίσιμες συνθήκες της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας που είναι απαραίτητες για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, επομένως χρησιμοποιούνται ακριβά πλέγματα αισθητήρων. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις θερμοκηπίου δεν διαθέτουν τα πλεονεκτήματα των χαρτών πίεσης και των χαρτών σύστασης που μπορούν να παραχθούν μέσω του ανιχνευτή UAV, όπως συμβαίνει με τα ανοιχτά χωράφια.

4.2. Μη επανδρωμένα αέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles – UAVs)

Η υιοθέτηση νέων και καινοτόμων πρακτικών λαμβάνοντας υπόψη και τις εξελίξεις ως προς τη δομή της ελληνικής γεωργίας αποτελούν πλέον σημαντικά εργαλεία για την διαχείριση και πρόβλεψη της παραγωγής.

Στην Ελλάδα η χρήση των drones στη γεωργία ήταν μάλλον περιορισμένη ως μηδενική, αφού σε έρευνα (Trivellas et al., 2015) σε δείγμα εμπλεκομένων στην αλυσίδα εφοδιασμού στον χώρο των τροφίμων, έδειξε ότι δεν υπάρχει σχετική γνώση των πλεονεκτημάτων ή των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα εν λόγω συστήματα. Η Ελληνική αγροτική παραγωγή βασίζεται στο σύστημα κοινοτικών ενισχύσεων για τη βιωσιμότητά της και χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά χαμηλή παραγωγικότητα (*Μέση ετήσια συνολική παραγωγικότητα των κρατών-μελών 2005-2015 σύμφωνα με στοιχεία της Ε.Ε.*)

Η χρήση των drones στην αγροτική παραγωγική διαδικασία, αν και εμφάνισε μια χρονική υστέρηση κυρίως λόγω κόστους ειδικών καμερών, σήμερα τρέχει με υψηλούς ρυθμούς. Η πρόβλεψη είναι ότι το 2025 το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς των drones μετά την στρατιωτική χρήση θα είναι η αγροτική. Η υιοθέτηση νέων και καινοτόμων πρακτικών λαμβάνοντας υπόψη και τις εξελίξεις ως προς τη δομή της ελληνικής γεωργίας μέσα από την δημιουργία ομάδων παραγωγών, συνεπώς τη συνένωση μικρών εκμεταλλεύσεων σε μεγάλες, η χρήση drones αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την διαχείριση και πρόβλεψη της παραγωγής όχι μόνο για τα φυτά μεγάλης καλλιέργειας αλλά και για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, αφού υπό προϋποθέσεις τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε περιβάλλον θερμοκηπίου.

Τα εναέρια εποπτικά μέσα (drones) χρησιμοποιούνται σε υπαίθριες καλλιέργειες, όπου με πτήση μικρής διάρκειας συλλέγουν πολλά δεδομένα. Ακολουθώντας παρόμοια μεθοδολογία για την απόκτηση μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από το εσωτερικό των θερμοκηπίων, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί drone, εξοπλισμένο με αισθητήρες μέτρησης κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αέρα, ηλιακής ακτινοβολίας, CO₂, πτητικών ουσιών). Επίσης θα διαθέτει πολυφασματική κάμερα για την καταγραφή της φασματικής εικόνας των φυτών, και την εκτίμηση της υδατικής και της θρεπτικής τους κατάστασης, όπως και η προσβολή τους από εχθρούς και ασθένειες.

Θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλα αεροσκάφη (multicopter) που επιτρέπουν την αιώρηση, βασική προϋπόθεση στην παρούσα πρόταση για την λήψη μετρήσεων. Το αεροσκάφος και οι κινητήρες θα επιλεγούν ώστε να μπορούν να φέρουν μία υπερφασματική κάμερα μικρού μεγέθους και τους απαιτούμενους αισθητήρες, ενώ η πλοήγησή του θα βασίζεται

σε open-source πλατφόρμες, οι οποίες προσφέρουν υψηλή ακρίβεια στην πτήση και βασίζονται σε αισθητήρες αδράνειας (IMU).

Για την επιτυχή πλοήγηση του drone μέσα στο θερμοκήπιο απαιτείται η ακριβής γνώση της θέσης του στον χώρο. Η τεχνολογία GPS είναι στην περίπτωση του θερμοκηπίου αναποτελεσματική, λόγω του μεγάλου σφάλματος και της ανεπαρκούς δορυφορικής επικοινωνίας. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί τεχνολογία Ultra-WideBand με σταθερούς σταθμούς βάσης περιμετρικά του θερμοκηπίου, επιτυγχάνοντας ακρίβεια μερικών δεκάδων εκατοστών. Παράλληλα με στερεοσκοπική κάμερα θα υπολογίζεται η απόσταση του drone από κοντινά εμπόδια.

Τα σημεία μέτρησης και η ακριβής διαδρομή του drone θα καθορίζονται από εξωτερικό υπολογιστικό σύστημα ανάλογα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή και θα μεταδίδονται στο drone πριν από κάθε πτήση. Η υπερφασματική κάμερα και οι αισθητήρες θα ελέγχονται από την πλατφόρμα πλοήγησης του drone. Παράλληλα με τις μετρήσεις θα καταγράφεται και η ακριβή θέση στην οποία αποκτήθηκαν.

Κατά την διάρκεια της πτήσης το drone θα ανταλλάσσει πληροφορίες με τον σταθμό βάσης (όπου και θα φορτίζει επαγωγικά), μέσω ασύρματων τεχνολογιών μεγάλων αποστάσεων και χαμηλής ενέργειας (κανάλι επικοινωνίας για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης). Οι μετρήσεις θα μεταδίδονται στο σταθμό βάσης μέσω WiFi επικοινωνίας, μόνο κατά την προσγείωση του drone σε αυτή και θα μεταφέρονται στο cloud για αποθήκευση και επεξεργασία με τεχνικές machine-learning.

Οι κλιματικές μετρήσεις, θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου χάρτη του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μέσω ενός λογισμικού που θα αναπτυχθεί ειδικά για το σκοπό αυτό. Δίνεται έτσι η δυνατότητα για παρεμβάσεις βελτίωσης, του μικροκλίματος, της στρατηγικής διαχείρισης της καλλιέργειας και του εξοπλισμού. Από τα δεδομένα που θα συλλέγονται από τις κάμερες, θα εκτιμάται η παραγωγή, η υδατική, θρεπτική και υγειονομική κατάσταση των φυτών, και θα εντοπίζονται καταπονημένα φυτά. Με βάση τις φασματικές εικόνες θα λαμβάνονται αποφάσεις για διάφορες καλλιεργητικές εργασίες. Η προσβολή φυτών της καλλιέργειας, μπορεί να διαπιστωθεί μόνο από εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό, αφού τα συμπτώματα έχουν ήδη εκδηλωθεί. Πρόσφατα γίνεται προσπάθεια πρόβλεψης του

κινδύνου εκδήλωσης ασθενειών στο θερμοκήπιο με βάση το μικροκλίμα του, γεγονός που προϋποθέτει την εκτίμηση των κλιματικών παραμέτρων σε κάθε σημείο του θερμοκηπίου. Στο παρόν πρόγραμμα από το συνδυασμό της θέσης των προσβεβλημένων φυτών και τον τρισδιάστατο χάρτη των κλιματικών συνθηκών στο θερμοκήπιο, θα παραχθούν αλγόριθμοι για “αναγνώριση προτύπων” και «μηχανικής μάθησης» προκειμένου κατά την πτήση του drone να μπορεί να εκτιμηθεί ο κίνδυνος εκδήλωσης ασθενειών σε κάθε σημείο του θερμοκηπίου. Τέλος θα δημιουργηθεί μια βάση για την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων που αφορούν την καλλιέργεια.



4.3. Cablebots και εφαρμογές τους

Ανάγκες, οι οποίες περιλαμβάνουν κατασκευή κτιρίων και υποδομών, κατασκευή αεροσκαφών και πλοίων, παρακολούθηση και επιθεώρηση σε ευρείες περιοχές και ελέγχους ασφαλείας μεγάλων κατασκευών συνιστούν ανάγκες που χρειάζονται ευελιξία στην μεταφορά του υλικού αλλά και του τελικού προϊόντος στον χώρο εργασίας. Ένας παραδοσιακός γερανός επιβράδυνσης χαρακτηρίζεται από όγκος, αργή ταχύτητα και δαπάνες στην υποδομή για εγκατάσταση και χρήση μηχανήματος. Ο χώρος εργασίας που απαιτείται συνεχώς αυξάνεται, γεγονός που οδηγεί τους χειριστές μεγάλων βραχιόνων να είναι ανεπαρκείς για την κάλυψη ενός μεγάλου χώρου, αφού ενεργοποιητές και δομή του βραχίονα μεγιστοποιούνται. Μεγαλύτερο πλεονέκτημα σε αυτή την κατάσταση έχουν τα κινητά ρομπότ. Το πλεονέκτημα σχετίζεται με τον χώρο εργασίας που πρέπει να καλυφθεί, και το είδος του εδάφους.

Οι γερανοί πολλαπλών καλωδίων έχουν μελετηθεί εκτενώς στην βιβλιογραφία της ρομποτικής. Οι γερανοί αυτοί, είναι ιδιαίτερος προηγμένοι και μπορούν να μεταφέρουν βαριά αντικείμενα με ταυτόχρονο συντονισμό πολλαπλών βαρούλκων, τα οποία ελέγχουν τα μήκη των πολλαπλών καλωδίων. Ωστόσο, χρειάζονται πολλαπλά συστήματα βαρούλκου τα οποία μάλιστα τοποθετούνται σε διαφορετικές τοποθεσίες στο χώρο. Ο χώρος εργασίας που χρησιμοποιείται είναι μικρότερος από αυτόν του φακέλου που καλύπτεται από τα πολλαπλά βαρούλκα. Ένα endeffector είναι ικανό να προβληθεί σε μεγάλη απόσταση από κάποιον χειριστή χύτευσης. Αυτό, μπορεί να γίνει περιστρέφοντας έναν χειριστή τύπου ράβδου ψαρέματος και να τον ανακτήσει τραβώντας το νήμα. Η προσέγγιση του χειριστή χύτευσης, για εργασίες ρίψης ελαφρού φορτίου, είναι αποτελεσματική ιδιαίτερα για προβολή μεγάλου εύρους.

5. Παρουσίαση του Cablebot

Το Cablebot είναι ένα εναέριο σύστημα για μέτρηση συνθηκών μικροκλίματος και πρόβλεψη ασθενειών, κατάλληλο για χρήση σε ανοικτές και θερμοκηπιακές καλλιέργειες και απευθύνεται σε παραγωγούς, γεωπόνους & γεωργικούς συμβούλους, που επιθυμούν να βελτιώσουν τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας καλλιέργειας. (Cunningham et Asada, 2009)

Αντικαθιστά τα ακριβά και δύσκολα στην εγκατάσταση grid σενσόρων με ένα μικρό σε μέγεθος "κουτί", που μπορεί να διαχειριστεί την άρδευση και την υδρολίπανση με χρήση νευρωνικών δικτύων. Προσφέρει φασματοσκοπική πρόβλεψη ασθενειών, κάνει χρήσιμες τηλεμετρήσεις, ενώ συγκεντρώνει, διαχειρίζεται και αξιολογεί δεδομένα μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος, το οποίο δεν απαιτεί στη χρήση του ιδιαίτερες τεχνολογικές γνώσεις. Η ποιότητα και η ποσότητα της παραγωγής αυξάνεται, με παράλληλη βελτίωση του εισοδήματος των χρηστών του, ενώ μειώνεται ο χρόνος ενασχόλησης του καλλιεργητή.

Ένα σύστημα το οποίο να συνδυάζει οικονομική και μέγιστη απόδοση για μια κινούμενη πλατφόρμα είναι η βασική προτεινόμενη ιδέα. Η πλατφόρμα αυτή, είναι αυτόνομη, κινούμενη και εξοπλισμένη με μια σειρά αισθητήρων και μια υπερφασματική κάμερα. Χρησιμεύει για υπαίθρια και εσωτερική γεωργική χρήση, ενώ από την πλατφόρμα από την οποία αποκτούνται και υπερφασματικά δεδομένα (αερομεταφερόμενα, δορυφόρος, εργαστήριο, κ.λπ.), με τα στάδια και τις μέθοδοι επεξεργασίας τους να είναι παρόμοια. Η κινούμενη αυτή πλατφόρμα αποτελεί ένα εναέριο καλώδιο, το οποίο είναι ικανό να συλλάβει δεδομένα όπως θα έκανε ένα drone σε θερμοκήπια. Επίσης, είναι ικανό να παρέχει δεδομένα μικροκλίματος και ευαίσθητες στο έδαφος πληροφορίες. Τα cablebots παρουσιάζουν την ιδανική αναλογία κόστους με όφελος συγκριτικά με τα UAV, έχοντας πάντα κατά νου τα θερμοκήπια και τα μικρά έως μεσαία οικόπεδα. Βασικός στόχος είναι η εισαγωγή IoT τεχνολογιών σε πραγματικό θερμοκήπιο με πραγματικές καλλιέργειες, οι οποίες θα τις κάνουν πράξη σε έξυπνες εγκαταστάσεις. Επίσης, η κατάσταση αυτή, προκαλεί την εξουσία των drones στον εντοπισμό γεωργίας ακριβείας. Ο λόγος διότι οι συσκευές είναι κατάλληλες για υπαίθρια χρήση, παρά το γεγονός ότι προσανατολίζονται προς τη χρήση μικρο-εκμετάλλευσης. Αναμένεται ότι η Precision Agriculture θα καταστεί προσιτή σε θερμοκήπια και ιδιοκτήτες μικρών οικοπέδων.

5.1. Τεχνολογίες IoT σε θερμοκήπιο

Με γνώμονα τα θερμοκήπια, ένα cablebot παρουσιάζει μια ιδανική αναλογία κόστους προς όφελος σε σύγκριση με ένα UAV. Τα συστήματα αυτά μπορούν να αντικαταστήσουν το πλήθος των αισθητήρων που απαιτούνται για τη διαχείριση των θερμοκηπίων, ενώ αξιοποιείται η σύγχρονη έρευνα σχετικά με την ανίχνευση της καταπόνησης των φυτών μέσω της φασματικής τους εικόνας.

Το εν λόγω cablebot μετακινείται εντός του θερμοκηπίου σε συρόμενο ολισθητήρα, κατά μήκος συγκεκριμένων διαδρομών πάνω από την περιοχή ελέγχου της καλλιέργειας σε ορισμένο ύψος και θα τροφοδοτεί την κεντρική βαλβίδα ελέγχου ροής με δεδομένα. Το cablebot είναι εξοπλισμένο με όργανα και αισθητήρες για την ανάλυση του στρες της καλλιέργειας και τη συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων μικρο και μακρο κλίματος (υγρασία, θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ύψος βροχόπτωσης, ταχύτητα ανέμου, σύνθεση αέρα) και τα συνδυάζει με προβλέψεις καιρού από μετεωρολογικούς σταθμούς ή άλλες πηγές όπως δορυφορικά δεδομένα.

Σε δεύτερο επίπεδο το cablebot μπορεί να συνδυαστεί με ένα αυτόνομο ρομποτικό σύστημα ειδικά σχεδιασμένο για να λύσει το πρόβλημα των πολλαπλών αισθητήρων εδάφους, με 16 βαθμούς ελευθερίας που μπορεί να ανιχνεύει μια περιοχή ελέγχου και να λαμβάνει μετρήσεις μέσω των ενσωματωμένων τεχνολογιών του, προσαρτημένων είτε στο κύριο σώμα του, είτε σε ρομποτικούς βραχίονες. Ο παραπάνω συνδυασμός καθιστά δυνατή την πλήρη κάλυψη μεγάλων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εκτάσεων καλλιεργειών.

Ξεκίνησε μια εκτεταμένη μελέτη για να εισαγάγει τις τεχνολογίες IoT σε καλλιέργειες θερμοκηπίου (Comba et al., 2010) μετατρέποντάς τις σε ισχύ σε έξυπνες εγκαταστάσεις. Αμφισβητεί επίσης την εξουσία των drones στον προσυμπωματικό έλεγχο της γεωργίας ακριβείας, καθώς το καλώδιο καλωδίων - καλούμενο εφεξής "KYTION Aeir" - είναι επίσης κατάλληλο για υπαίθρια χρήση, αν και προσανατολίζεται προς τη χρήση μικροκαλλιεργειών.

Η ανάπτυξης ενός οικονομικά αποδοτικού και αυτόνομου κινούμενου κιβωτίου αισθητήρων εξοπλισμένο με μια απαραίτητη σειρά αισθητήρων για εσωτερική και εξωτερική χρήση ήταν ο πυρήνας της βασικής ιδέας. Η πλατφόρμα αυτή, (cablebot) είναι

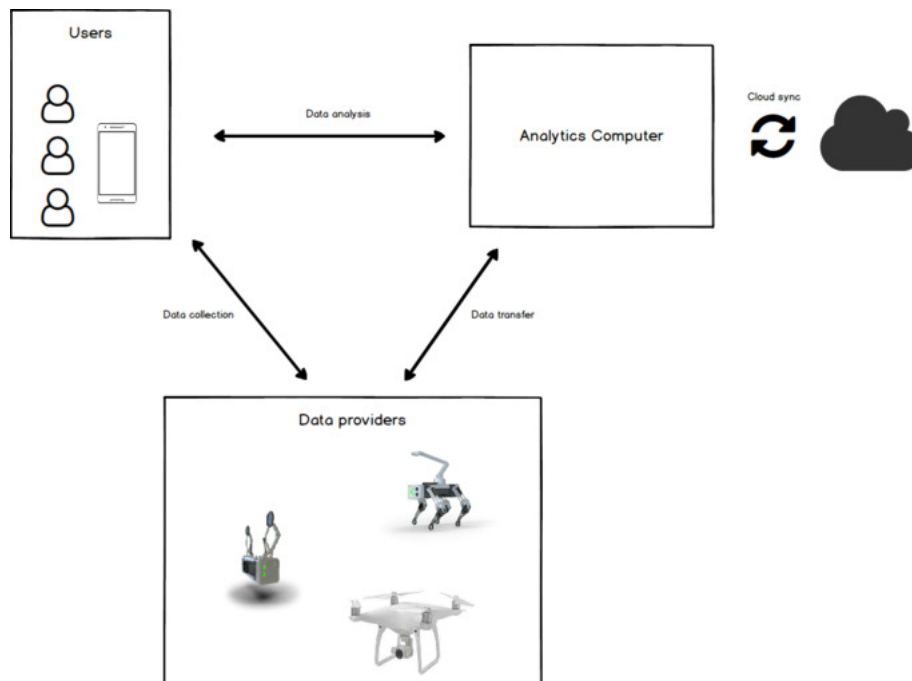
κινούμενη εναέρια και είναι ικανή να συλλάβει δεδομένα μέσα σε ένα θερμοκήπιο ομοιοτρόπως με ένα drone. Επίσης, θα παρέχει δεδομένα μικροκλίματος και ευαίσθητες στο έδαφος πληροφορίες. Επειδή έχουμε κάνουμε με θερμοκήπια και μικρά έως μεσαία οικόπεδα, ένα cablebot είναι ιδανικής αναλογίας κόστους / οφέλους σε σύγκριση με τα UAV.

Παράλληλα, μια βαλβίδα ελέγχου ροής OEM και μια εφαρμογή διεπαφής χρήστη αναπτύχθηκαν και εξακολουθούν να εξελίσσονται. Ο κύριος ελεγκτής του συστήματος δεν είναι άλλος από την βαλβίδα ροής, η οποία επίσης ελέγχει την άρδευση της εγκατάστασης. Στην ουσία η πύλη από την οποία ο κάθε καλλιεργητής θα μπορεί να λάβει ανατροφοδότηση για το έξυπνο σύστημα γεωργίας στον υπολογιστή, το tablet ή την κινητή συσκευή τους είναι αυτή η διαδικτυακή εφαρμογή (Donovan, 2017).

Στόχος του Cablebot Aeir είναι να αυξήσει την ποσότητα και τη ποιότητα των γεωργικών προϊόντων. Απώτερος στόχος είναι η μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της αναπτυσσόμενης διαδικασίας καθώς και η παροχή στους παραγωγούς ενός ευρέος συνόλου χρήσιμων δεδομένων. Μέσω αυτού θα δίνεται στους παραγωγούς πρόσβαση στην πλήρη εικόνα της καλλιέργειας τους ανά πάσα στιγμή. Στην πραγματικότητα το σύστημα περιλαμβάνει τεχνολογίες, οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν είτε ως αυτόνομες λύσεις είτε ως ολοκληρωμένες, μέσω της σύμπραξης ανθρώπου-μηχανής για τον έλεγχο και την λήψη αποφάσεων. Είναι μια λύση έγκαιρης προειδοποίησης και έξυπνης άρδευσης (El-Naggar et al., 2019) για τους αγρότες.

Τα δεδομένα που συλλέγονται από το KYTION Aeir θα ενσωματώνονται στο τελικό προϊόν. Μαζί θα ενσωματώνονται πληροφορίες που συλλέγονται από δεδομένα καιρού μέσω δορυφόρων για να παράγουν ένα αυτόνομο πρόγραμμα έξυπνης άρδευσης για οποιοδήποτε σχετικό οικόπεδο. Πολλά είναι τα οφέλη από την χρήση του συστήματος. Κυρίως όμως το γεγονός ότι ο αγρότης έχει ανα πάσα στιγμή την επισκόπηση της καλλιέργειας μαζί με πιθανούς κινδύνους, όπως αυτή λαμβάνεται μέσω της συσκευής. Παράλληλα, το KYTION Aeir μπορεί να προβλέψει και να χειριστεί σωστά, επιβλαβή φαινόμενα για την καλλιέργεια. Εφόσον η άρδευση αυτοματοποιείται μέσω του KYTION Aeir, συμβάλλει επίσης θετικά στην εξοικονόμηση νερού άρδευσης και η φυσική παρουσία του καλλιεργητή στο χωράφι μειώνεται σημαντικά.

Η αρχιτεκτονική συστήματος υψηλού επιπέδου απεικονίζεται παρακάτω:



Σχήμα 1. Κυβερνο-φυσικό σύστημα και αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων του συστήματος

Είναι ανταγωνιστική, κυρίως διότι τα συστήματα είναι εξαιρετικά ικανά να ενσωματώνουν δεδομένα από μια ποικιλία παρόχων δεδομένων (βλ. Σχήμα 1) και να τα διαμοιράζουν σε μια ενιαία απλή εφαρμογή που θα βοηθήσει τους αγρότες με τις καθημερινές τους δραστηριότητες (Dhillon et al., 2017). Ένας ακόμα στόχος είναι να μπορεί να εισαγάγει οικονομικά αποδοτική ανίχνευση και φασματική απεικόνιση μέσα σε θερμοκήπια με παράλληλη μείωση του αρχικού κόστους ανάπτυξης ΡΑ. Δεδομένου αυτού, υπάρχει μεγαλύτερη προσοχή για να παραμείνει το κόστος του συστήματος χαμηλό, ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί σε ακόμη και μικρές εγκαταστάσεις θερμοκηπίου.

Παρακάτω, στις ακόλουθες ενότητες απεικονίζεται η λεπτομερής μεθοδολογία της διαδικασίας ανάπτυξης cablebot καθώς και ολόκληρης της εφαρμογής και επίδειξης του ρομποτικού συστήματος.

5.2. Μεθοδολογία Ανάπτυξης

Η μεθοδολογία ανάπτυξης συσκευών βασίζεται στα εξής βήματα:

- i) Ανάπτυξη λειτουργικού 3D design του Cablebot και εκτύπωσή του
- ii) Δημιουργία ενός λειτουργικού κυκλώματος με όλο το απαραίτητο hardware
- iii) Προγραμματισμός των επιμέρους στοιχείων που αποτελούν το σύστημα (Xbee για επικοινωνία, Raspberry ή/και Arduino για έλεγχο)
- iv) έλεγχος ορθής λειτουργίας του συστήματος

Η ανάπτυξη μιας πρωτότυπης ηλεκτρικής βαλβίδα ροής (συντονιστής), ακολουθεί τα κάτωθι βήματα:

- i) Παράλληλη ανάπτυξη λειτουργικού 3D design της ηλεκτροβάνας και εκτύπωσή του
- ii) Δημιουργία ενός λειτουργικού κυκλώματος με όλο το απαραίτητο hardware
- iii) Προγραμματισμός των επιμέρους στοιχείων που αποτελούν το σύστημα (Xbee για επικοινωνία, Linux SBC για έλεγχο των ληφθέντων δεδομένων από το Cablebot και ανέβασμα αυτών στον σέρβερ)
- iv) έλεγχος ορθής λειτουργίας των δύο συστημάτων (Cablebot μαζεύει δεδομένα, τα αποστέλλει, ηλεκτροβάνα τα λαμβάνει, τα ελέγχει και τα επεξεργάζεται, τα κάνει upload στον σέρβερ)

Η ανάπτυξη μιας εφαρμογής υποστήριξης / ελέγχου, ακολουθεί τα επόμενα βήματα:

- i) Ανάπτυξη πρωτοτύπου της εφαρμογής που λαμβάνει τα δεδομένα από το server
- ii) βελτίωσή της ως προς τον τρόπο που τα αναπαράγει (κατανοητά, μαζεμένα)
- iii) σχεδιασμός καλύτερης γραφικής διεπαφής (βελτίωση design)
- iv) εισαγωγή λειτουργιών όπως χειροκίνητο έλεγχο των συστημάτων

- i) Ανάπτυξη λειτουργικού 3D design του Quadrupead και εκτύπωσή του

- ii) Δημιουργία ενός λειτουργικού κυκλώματος με όλο το απαραίτητο hardware
- iii) Προγραμματισμός των επιμέρους στοιχείων που αποτελούν το σύστημα και επίλυση της αντίστροφης κινηματικής για την ακριβή κίνηση του
- iv) έλεγχος ορθής λειτουργίας του συστήματος και σύνδεση με τα προηγούμενα

5.3. Λειτουργική μέθοδος

Η συλλογή δεδομένων γίνεται μέσω του Cablebot (KYTION Aeir). Με την σειρά του τα στέλνει στο σύστημα συντονιστή / βαλβίδας ροής (KYTION Flow). Εκεί, το KYTION Flow επεξεργάζεται τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί και τα καθοδηγεί ανάλογα την προσαρτημένη στο ζωνικό σύστημα άρδευσης μιας δεδομένης εγκατάστασης ή οικοπέδου θερμοκηπίου ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Στην συνέχεια, ο διακομιστής φορτώνει τα δεδομένα αυτόματα ως εφεδρικό αντίγραφο. Λειτουργία KYTION Aeir: Ένας μικροεπεξεργαστής, ο οποίος έχει την ιδιότητα να ελέγχει τα χρονικά διαστήματα μεταξύ συλλογής δεδομένων και συνολικής κίνησης είναι εκείνος που ελέγχει την λειτουργία του KYTION Aeir. Η διαδικασία ελέγχεται από ένα αυτόματο ρελέ για την αποφυγή περιττής σπατάλης ενέργειας. Ο μετατροπέας buck συντονίζει μια λειτουργία 12 volt, όπου τα δεδομένα συλλέγονται σε πραγματική καλλιέργεια λαχανικών ή λουλουδιών σε πιλοτικό, πλήρως εξοπλισμένο τοξωτό θερμοκήπιο. Τα δεδομένα από τους ενσωματωμένους αισθητήρες KYTION Aeir συλλέγονται μέσω ενός ενσωματωμένου Arduino NANO. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες είναι:

- Σχετικός αισθητήρας υγρασίας
- Αισθητήρας σύνθεσης αέρα
- Αισθητήρας θερμοκρασίας
- Αισθητήρας RGB & Spectral
- Αισθητήρας ηλιοφάνειας
- Αισθητήρας βροχής (για εξωτερική χρήση)
- Αισθητήρας ταχύτητας ανέμου

Με την επιτυχή λήψη των μετρήσεων από το Arduino NANO, στέλνεται σήμα στο Arduino Pro Mini έτσι ώστε το τελευταίο να θέσει τη συσκευή σε κατάσταση αναμονής. Η επικοινωνία μεταξύ του KYTION Aeir και του KYTION Flow ξεκινά στη συνέχεια μέσω της τεχνολογίας Xbee. Η τεχνολογία αυτή, στέλνει μέσω κρυπτογράφησης πακέτα δεδομένων στο KYTION Flow (συντονιστής / βαλβίδα ροής). Εκεί, μετά την επιτυχή τους μετάδοση, αποκωδικοποιείται από ένα τσιπ κόμβου-mcu και έπειτα μεταφορτώνονται στη βάση δεδομένων μας. Ο συντονιστής έχει ένα τσιπ Node-mcu, για να μπορεί η τάση να μετατραπεί εύκολα μέσω του Vin pin και μιας οθόνης Icd ώστε να εντοπίζει τα σφάλματα. Τα συλλεχθέντα και αναλυθέντα δεδομένα (Σχήμα 3) έχουν επίσης συνδυαστεί με δεδομένα εξωτερικών πηγών όπως είναι τα δορυφορικά δεδομένα καιρού. Η βασική επεξεργασία δεδομένων γίνεται τοπικά, για να μην υπάρχει εξάρτηση από το δίκτυο 3G / 4G και να υπάρχει διαθεσιμότητα επί τόπου. Με την χρήση των παραμέτρων καιρού, ειδικά την θερμοκρασία (T), την σχετική υγρασία (RH), την ταχύτητα ανέμου (U) και την μέση ημερήσια ακτινοβολία (Rn) η εξίσωση Penman-Monteith καταδεικνύει ένα ρυθμό εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, ETo, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκριθεί η απώλεια νερού από μέρα σε μέρα, ώστε να εκπαιδευτεί το νευρικό δίκτυο για να υπολογίζει την ποσότητα νερού για άρδευση. Σε περίπτωση κινδύνου ή κρίσιμης κατάστασης, ο τελικός χρήστης λαμβάνει ειδοποίηση μέσω της εφαρμογής. Το εργαλείο ελέγχου / διεπαφής χρήστη αναπτύσσεται με την χρήση του εργαλείου Node-Red. Το back-end λειτουργεί ως διεπαφή προγραμματισμού και το front-end ως διεπαφή χρήστη.

Η τεχνολογία XBee είναι εκείνη που αποστέλλει τα κωδικοποιημένα πακέτα μεταξύ του cablebot (test caste KYTION) επικοινωνεί και του coordinator/ηλεκτρόνια. Κατά τον τρόπο αυτόν καθίσταται δυνατή η αποστολή μετρήσεων από την συσκευή του cablebot (test caste KYTION) στην ηλεκτροβάννα.

Μέσω του arduino NANO, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο cablebot (test caste KYTION) συλλέγονται δεδομένα από τους διάφορους αισθητήρες (αισθητήρας βροχής, αισθητήρας σχετικής υγρασίας - θερμοκρασίας) και αποστέλλονται σειριακά στο Xbee (επίσης ενσωματωμένο στο KYTION) μέσω των pin tx-rx. Με την σειρά τους, από εκεί αποστέλλονται στο xBee της ηλεκτροβάννας/coordinator. Έπειτα, αποκωδικοποιούνται από το node-mcu και ανεβαίνουν στο εκάστοτε Child του Firebase όπου προστίθεται και η μέτρηση του soil moisture, που είναι ενσωματωμένος στον coordinator.

Οι μετρήσεις του cablebot (test caste KYTION) ελέγχονται και χρονικά από το Arduino Pro Mini. Ο έλεγχος γίνεται μέσω του ρελέ και όχι κάνοντας χρήση DeepSleep στο Arduino Nano. Ο λόγος, για να αποφευχθεί οποιαδήποτε σπατάλη ενέργειας αφού ακόμα και με DeepSleep οι αισθητήρες καταναλώνουν ένα ελάχιστο μέρος της ενέργειας της μπαταρίας. Μόλις το Arduino λάβει επιτυχώς τις μετρήσεις, στέλνει το κατάλληλο σήμα στο Arduino Pro Mini ώστε να διακόψει την παροχή ρεύματος μέσω του ρελέ σε όλα τα συστήματα του cablebot (test caste KYTION) εκτός από του εαυτού του. Τότε, το Arduino Pro Mini τίθεται σε διαδικασία αναμονής ώστε να ξέρει την επόμενη επιθυμητή χρονική στιγμή μέτρησης για να μπορέσει να ανοίξει το ρελέ.

Στο cablebot (test caste KYTION) έχει προστεθεί μετατροπέας τάσης τύπου buck converter ώστε να μπορεί να λειτουργεί με 12 volt πηγή εισόδου. Στον coordinator έχει αντικατασταθεί ο ESP με Node-mcu για την εύκολη μετατροπή τάσης μέσω του Vin. Ο coordinator διαθέτει επίσης, Icd screen για να εξυπηρετεί στο debugging. Η Icd screen αποσυνδέεται εύκολα για να μην υπάρχουν ενεργειακές απώλειες.

Ηλεκτροβάννα

Οι βασικές αποφάσεις για την άρδευση αλλά και την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων λαμβάνονται μέσω της ηλεκτροβάννας με την χρήση νευρωνικών δικτύων εντός του συστήματος. Μέσω της φασματοσκοπικής κάμερας για να μην έχουμε σπατάλη data ανεβαίνουν τα αρχεία για επεξεργασία σε εξωτερικό σέρβερ. Στην περίπτωση που αναγνωρισθεί κάποιο πιθανό πρόβλημα στην καλλιέργεια, ο χρήστης θα λάβει ειδοποίηση (notification), συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων που υποστηρίζουν την εμφάνιση του προβλήματος.

Ιστοσελίδα

Με το επιτυχές ανέβασμα των δεδομένων της καλλιέργειας στο firebase, υλοποιείται μία ιστοσελίδα στο εργαλείο node-red. Η ιστοσελίδα αυτή, αποτελείται από δύο τμήματα. Στο πρώτο μέρος γράφεται ο κώδικας (programming user interface) και στο δεύτερο μέρος φαίνεται η διεπίδραση χρήστη και ιστοσελίδας (dashboard user interface). Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο μέρος περιέχει τα στοιχεία gauge, chart, inject, firebase.on, firebase modify, template, form. Μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας του στοιχείου

firebase.on ο κώδικας διαβάζει τα δεδομένα από το firebase. Ομοiotρόπως το στοιχείο firebase modify στέλνει στο firebase (create, delete, update) τα δεδομένα, τα στοιχεία gauge και chart συνδέονται κατάλληλα με το firebase.on όπου και επεξεργάζονται με τις συνδέσεις και τελικά απεικονίζονται ως data του firebase στο gauge και στο chart (όπου και φαίνονται στο dashboard user interface).

Το στοιχείο inject έχει τα δεδομένα που θέλουμε ανεβάσουμε στο firebase, οπότε και συνδέονται στο inject- button-firebase modify. Εκεί, πετυχαίνουμε με ένα κλικ(button) την αποστολή των δεδομένων του inject μέσω του firebase modify στο firebase. Το στοιχείο template είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση live video στο dashboard user interface. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο html κώδικα εντός του στοιχείου, γεγονός που οδηγεί σε ζωντανές μεταδόσεις (live video) στο user interface.

Το form είναι ένα στοιχείο το οποίο με επεξεργασία δημιουργεί ένα input text στο user interface dashboard όπου ο χρήστης γράφει ότι επιθυμεί και με κουμπί button που φτιάχνεται για submit φεύγουν τα data που έγραψε ο χρήστης και πάνε σε txt αρχείο σε ένα οποιοδήποτε υπολογιστή επιθυμούμε.

Το Arduino Pro Mini ελέγχει την λειτουργία του Cablebot (case study KYTION Aeir). Ελέγχει επίσης τα χρονικά διαστήματα μεταξύ συλλογής δεδομένων και συνολικής κίνησης της συσκευής. Η διαδικασία αυτή, ελέγχεται από ένα αυτόματο ρελέ για να αποφευχθεί η περιττή σπατάλη ενέργειας. Μια λειτουργία 12V οφείλει να επιτευχθεί μέσω ενός μετατροπέα buck.

Το cablebot συλλέγει δεδομένα και τα στέλνει στον συντονιστή / βαλβίδα ροής, η οποία προσαρτηθεί στο ζωνικό σύστημα άρδευσης μιας δεδομένης εγκατάστασης ή οικοπέδου θερμοκηπίου. Τα δεδομένα με την σειρά τους μεταφορτώνονται αυτόματα στον διακομιστή μας ως αντίγραφο ασφαλείας. Διάφορες άλλες δυνατότητες πρέπει να αντιμετωπιστούν σε ένα δεύτερο στάδιο.

Η οριστικοποίηση της συνολικής διαμόρφωση και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος τελείται μετά την ολοκλήρωση μιας σειράς δοκιμών σε πραγματικές συνθήκες. Οι δοκιμές θα λάβουν χώρα στην επικείμενη εγκατάσταση θερμοκηπίου στην Αμαλιάδα Πανεπιστημιούπολη του Τμήματος Γεωργίας του Πανεπιστημίου Πατρών. Θα

περιλαμβάνουν την καλλιέργεια φυτών ανθοκομίας και κηπουρικής υψηλής απόδοσης, τα οποία απαιτούν αυστηρό έλεγχο του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου (κομμένα άνθη, κάθετη καλλιέργεια φράουλας, συνεχή καλλιέργεια ντομάτας, καλλιέργειες υδροπονίας κ.λπ.).

5.4. Υλοποίηση

Το Arduino Pro Mini λαμβάνει σήμα από το Arduino Nano το οποίο έχει κάνει τις μετρήσεις με επιτυχία (μέσω ενός pin TX / RX), και με την σειρά του θέτει τη συσκευή σε κατάσταση αναμονής (Aggeliki Kavga et al, 2020). Η επικοινωνία μεταξύ της cablebot (test caste KYTION) Aeir και της ηλεκτρικής βαλβίδας ξεκινά μέσω της τεχνολογίας XBee, η οποία στέλνει κρυπτογραφημένα πακέτα δεδομένων στον συντονιστή / βαλβίδα ροής. Με την επιτυχή μετάδοση των δεδομένων, αποκωδικοποιούνται από ένα τσιπ NodeMcu και μεταφορτώνονται στη βάση δεδομένων μας.

Το ESP του συντονιστή θα αντικατασταθεί με ένα NodeMcu έτσι ώστε η τάση να μπορεί να μετατραπεί εύκολα μέσω του πείρου Vin. Ο συντονιστής διαθέτει επίσης μια οθόνη LCD για εντοπισμό σφαλμάτων.

Η λήψη των αποφάσεων για άρδευση / λίπανση θα γίνεται μέσω των ιδιόκτητων μοντέλων AI (με βάση την τεχνολογία νευρωνικών δικτύων) (Yu et al., 2010) εφόσον όλα τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί, αναλυθεί και συνδυαστεί με δεδομένα από εξωτερικές πηγές όπως δορυφορικά δεδομένα καιρού κ.λπ. Τα δεδομένα πρέπει να επεξεργάζονται τοπικά, ώστε το σύστημα να είναι ανεξάρτητο από τη διαθεσιμότητα δικτύου 3G / 4G επιτόπου.

Το εργαλείο ελέγχου / διεπαφής χρήστη έχει αναπτυχθεί με την χρήση του Node-RED. Η εφαρμογή ελέγχου βασίζεται σε αρχιτεκτονική back-end και front-end. Πιο συγκεκριμένα, το back-end λειτουργεί ως διεπαφή προγραμματισμού και το front-end ως διεπαφή χρήστη. Κάθε πιθανός κίνδυνος ή κρίσιμη κατάσταση θα μπορεί να εντοπιστεί, με απώτερο σκοπό την άμεση ειδοποίηση του τελικού χρήστη από την εφαρμογή.

Εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη του cablebot (test caste KYTION) Aeir:

- Solidworks για το σχεδιασμό του υλικού.

- Ultimaker Cura για μετατροπή SLT σε G-CODE.
- Ένας εκτυπωτής 3D Creality Ender-3 για εκτύπωση του πρωτοτύπου KYTION Aeir και της ηλεκτρικής βαλβίδας. Η εκτύπωση πραγματοποιήθηκε με πλήρωση 20% και χρειάστηκαν επιπλέον υποστηρίγματα ύψους 0,2 επιπέδων. Το υλικό εκτύπωσης ήταν eSun PLA +
- Arduino IDE για τον προγραμματισμό των πινάκων Arduino.
- XCTU για τον προγραμματισμό του Xbee's.
- Raspberry Pi SBC για τη λειτουργία των νευρικών δικτύων και του PuTTY για να αποκτήσετε απομακρυσμένη πρόσβαση
- LabVIEW-NI για να ελέγξετε τη συνολική απόδοση του συστήματος.
- OpenCV και TensorFlow για αναγνώριση εικόνας
- Αποθαρρυντικό για το σχεδιασμό των PCB.
- Βάση δεδομένων Firebase για μετρήσεις.
- Node-RED για την ανάπτυξη της εφαρμογής ελέγχου.

Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες cablebot (test caste KYTION) Aeir είναι:

- Σχετικός αισθητήρας υγρασίας
- Αισθητήρας σύνθεσης αέρα
- Αισθητήρας θερμοκρασίας
- Αισθητήρας RGB & Spectral (Ujjwal Mahajan και Bharat Raj Bundel, 2016)
- Αισθητήρας ηλιοφάνειας
- Αισθητήρας βροχής (για εξωτερική χρήση)

Η υλοποίηση και λειτουργικότητα των συστημάτων, διασφαλίζεται με τη χρήση της παραπάνω λίστας εργαλείων υλικού και λογισμικού.

5.5. Επίδειξη

Η προκύπτουσα συσκευή μπορεί να φανεί σε δράση στο ακόλουθο βίντεο:

https://www.youtube.com/watch?v=Fkrah_vgTnE

Επιπλέον δίνεται μια σειρά φωτογραφιών.



Εικ. 2. Το πρωτότυπο cablebot (test caste) KYTION Aeir που δοκιμάζεται



Εικ. 3. Το πρωτότυπο KYTION Aeir (πλάγια όψη)

5.6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη, διερευνήθηκε η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου ρομποτικού συστήματος ελέγχου θερμοκηπίου βασισμένο σε IoT καθώς και μια συσκευή cablebot, μαζί με μια πρωτότυπη ηλεκτρική βαλβίδα (συντονιστής) με την απαραίτητη εφαρμογή διασύνδεσης. Η λειτουργία ολόκληρου του συστήματος έχει δοκιμαστεί αρχικά και τώρα εγκαθίσταται σε εγκατάσταση θερμοκηπίου, που ανήκει στο Τμήμα Γεωργίας του Πανεπιστημίου Πατρών

Η χρησιμότητα του συστήματος χαρακτηρίζεται από την ικανότητα να συλλέγει μια σειρά από ευαίσθητα στην καλλιέργεια δεδομένα και να εκτελεί αυτόνομα μια σειρά από εργασίες όπως η αυτόματη έξυπνη άρδευση. Δοκιμές με πραγματικές μετρήσεις, συλλογή δεδομένων και χαρτογράφηση συνιστούν βασικά αντικείμενα περαιτέρω μελέτης, τα οποία θα φωτίσουν και άλλες πλευρές αναδεικνύοντας τις ανάγκες της καλλιέργειας και του καλλιεργητή.

6. Βιβλιογραφία

1. Γιαιπαιδεία, Βασικοί τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με το σχήμα της κατασκευαστικής μονάδας, http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%92%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%AF_%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CE%B9_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CF%89%CE%BD_%CF%83%CE%B5_%CF%83%CF%87%CE%AD%CF%83%CE%B7_%CE%BC%CE%B5_%CF%84%CE%BF_%CF%83%CF%87%CE%AE%CE%BC%CE%B1_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82_%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CE%B1%CF%82
2. Γρίβα Α., Αυτόνομο θερμοκήπιο με συστήματα προστασίας και άντλησης νερού με τη χρήση μικροελεγκτή Arduino, τροφοδοτούμενο με ηλιακή ενέργεια, 2018, <http://ikee.lib.auth.gr/record/301015/files/%CF%80%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE.pdf>
3. Alshammas R., Κοινωνικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων: Επισκόπηση και προκλήσεις για το μέλλον (2019), <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2883950/theFile>
4. Angeliki Kavga, Dionysios Bitas, Kyriakos-Nikos Papastavros, Marios Prapopoulos and George Kotsiris, 2020, Development of an integrated IoT-based greenhouse control cablebot system, 9th International Conference on Information & Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment September 24-27, 2020, Thessaloniki, Greece.
5. Comba, L., Gay, P., Piccarolo, P., & Ricauda Aimonino, D. (2010, September). Robotics and automation for crop management: trends and perspective. In International Conference Ragusa SHWA2010 (Vol. 95, pp. 471-478).

6. Cunningham, Daniel, and H. Harry Asada. "The winch-bot: A cable-suspended, under-actuated robot utilizing parametric self-excitation." 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2009.
7. Dhillon, R. S., Upadhyaya, S. K., Rojo, F., Roach, J., Coates, R. W., & Delwiche, M. J. (2017). Development of a continuous leaf monitoring system to predict plant water status. *Transactions of ASABE*, 60(1), 1445–1455.
8. Donovan, K. (2017). Anytime, Anywhere: Mobile Devices and Services and Their Impact on Agriculture and Rural Development. In *ICT in Agriculture (Updated Edition): Connecting Smallholders to Knowledge, Networks, and Institutions* (pp. 49–70). The World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1002-2_module3
9. Dwivedi, A., Naresh, R.K., Kumar, R., Yadar, R.S. and Kumar, R. (2017). *PRECISION AGRICULTURE*.
10. El-Naggar, A. G., Hedley, C. B., Horne, D., Roudier, P., & Clothier, B. E. (2020). Soil sensing technology improves application of irrigation water. *Agricultural Water Management*, 228, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105901>
11. Gonzalez, F., McFadyen, A., and Puig, E. (2019). New Technologies in Precision Agriculture. *Advances in Unmanned Aerial Systems and Payload Technologies for Precision Agriculture*
12. Vasudevan, A., Kumar, D. A., & Bhuvaneshwari, N. S. (2016, July). Precision farming using unmanned aerial and ground vehicles. In *2016 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)* (pp. 146-150). IEEE.
13. Yu, H., Liu, D., Chen, G., Wan, B., Wang, S., & Yang, B. (2010). A neural network ensemble method for precision fertilization modeling. *Mathematical and computer modelling*, 51(11-12), 1375-1382.
14. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%AE%CF%80%CE%B9%CE%BF>
15. <https://www.in.gr/wp-content/uploads/2020/12/%CE%94%CE%B5%CE%AF%CF%84%CE%B5->

%CE%B5%CE%B4%CF%8E-%CF%84%CE%BF-%CE%A6%CE%95%CE%9A-
%CE%BC%CE%B5-%CF%84%CE%B7%CE%BD-
%CE%B1%CF%80%CF%8C%CF%86%CE%B1%CF%83%CE%B7.pdf

16. <https://www.kathimerini.gr/life/environment/1008009/agrotiki-paragogi-me-doryforoys-kai-rompot/>

17. <https://www.routledge.com/blog/article/new-technologies-in-precision-agriculture>

18. https://www.routledge.com/rsc/downloads/Precision_Agriculture.pdf?utm_source=crcpress.com&utm_medium=referral In: Routledge, Taylor & Francis Group.