



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Αυτοματοποιημένο Σύστημα Ενυδρευσιμότητας

Διπλωματική Εργασία

Σμοΐλης Αλέξανδρος 627

Τσιόγκας Μάρκος 657

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μαλαματή Λούτα

Ιούνιος 2020, Κοζάνη



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ : ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΣΜΟΪΛΗΣ 627

ΜΑΡΚΟΣ ΤΣΙΟΓΚΑΣ 657

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΜΑΛΑΜΑΤΗ ΛΟΥΤΑ

ΚΟΖΑΝΗ 2020

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας του ανθρώπου. Ευφυή συστήματα έχουν αναπτυχθεί για διάφορες δραστηριότητες από τις οποίες δεν θα μπορούσε να λείπει ο πρωτογενής τομέας της καλλιέργειας. Έχει γίνει πληθώρα μελετών και κατασκευών, τόσο για την παρακολούθηση, όσο και για την αυτοματοποίηση των γεωργικών διαδικασιών που αποσκοπούν στην οικολογική, χωρίς περιττές σπατάλες νερού, καλλιέργεια φυτών. Όλες αυτές οι μελέτες και κατασκευές έχουν σαν κοινό γνώμονα την φιλοσοφία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT), με γενική ιδέα τον αυτοματισμό σε όλα τα πιθανά πεδία και εφαρμογές.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η υλοποίηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ενυδρειοπονίας με την χρήση αισθητήρων και του IoT και η απεικόνιση των δεδομένων σε μία εφαρμογή Android. Στόχος του συστήματος είναι η καταγραφή των περιβαλλοντολογικών συνθηκών και η αυτόματη δράση των μηχανισμών. Για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος, προτείνεται μια κάθετη ενυδρειοπονική εγκατάσταση για εξοικονόμηση χώρου, με μία αντλία που κυκλοφορεί το νερό από τις δεξαμενές με τα ψάρια και ηλεκτρονικές βάνες που το διοχετεύουν στα φυτά. Τέλος, το νερό επιστρέφει φιλτραρισμένο πίσω στις δεξαμενές με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση υδάτινων πόρων, την βιολογική παραγωγή λαχανικών και την αρμονική συμβίωση φυτών και ψαριών.

Χρησιμοποιήθηκαν ανακυκλώσιμα υλικά για το στήσιμο της κατασκευής και εγκαταστάθηκαν οι αισθητήρες για την συγκομιδή των ζητούμενων μετρήσεων. Τοποθετήθηκαν τρεις αισθητήρες υγρασίας εδάφους, ένας αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος DHT11 και ένας αδιάβροχος αισθητήρας θερμοκρασίας νερού DS18B20. Οι αισθητήρες επικοινωνούν με έναν μικροελεγκτή WeMos D1R2 ο οποίος έχει προγραμματιστεί σε γλώσσα Sketch, έτσι ώστε να ελέγχει όλους τους αυτοματισμούς του συστήματος. Τα δεδομένα από τις μετρήσεις των αισθητήρων αποστέλλονται μέσω του ESP8266 στην βάση δεδομένων στο Firebase, και τέλος, απεικονίζονται στην οθόνη του κινητού μέσω μιας εφαρμογής Android, προγραμματισμένη σε γλώσσα Java, για ανάγνωση από τον χρήστη.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της έρευνας και της κατασκευής. Το αυτοματοποιημένο σύστημα ενυδρειοπονίας που αναπτύχθηκε, αφορά τον αυτοματισμό στον τομέα της καλλιέργειας, αλλά και την επιτυχημένη ανάπτυξη των φυτών χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση, σπατάλη υδάτινων πόρων και χρήση χημικών ουσιών, και οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στο μέλλον παρόμοιες τεχνικές θα παίξουν κυρίαρχο ρόλο στον τομέα της καλλιέργειας.

Abstract

In recent years, technology has become an integral part of everyday life. Intelligent systems have been developed for various activities with the field of agriculture being one of them. Numerous studies and constructions have been carried out, both for monitoring and for automation of the agricultural processes that aim at the ecological, without unnecessary waste of water, cultivation of plants. All of these studies and constructions are based on the philosophy of the Internet of Things (IoT), with the general idea of automation in all possible fields and applications.

The purpose of this paper is to implement an automated hydration system using sensors and the IoT and to display data in an Android application. The aim of the system is to record the environmental conditions and do all the necessary actions automatically. For optimal system operation, a vertical aquaponic facility is recommended to save space, with a pump that circulates water from the fish tanks and electronic valves that channel it to the plants. Finally, the water returns filtered back to the tanks resulting in water savings, organic vegetable production and harmonious coexistence of plants and fish.

Recyclable materials were used to set up the construction and sensors were installed to collect the required measurements. Three soil moisture sensors, a DHT11 ambient temperature and humidity sensor and a DS18B20 waterproof water temperature sensor were installed. The sensors communicate with a WeMos D1R2 microcontroller which is programmed in Sketch language, to control all system automations. The data from the sensor measurements is sent via ESP8266 to Firebase database, and finally, displayed on the mobile screen via an Android application, programmed in Java, for reviewing by the user.

The last chapter presents the conclusions of the research and construction. The automated aquaponics system that was developed, led to the automation in the field of cultivation, but also the successful development of plants without human intervention, waste of water resources and use of chemicals, and leads to the conclusion that in the future similar techniques will play a dominant role in the field of agriculture.

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την αναπληρώτρια καθηγήτρια του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, πρώην τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, κυρία Μαλαματή Λούτα, για την καθοδήγηση της ως επιβλέπουσα καθηγήτρια αλλά και για την ευκαιρία εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στην συνέχεια, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την συμπαράσταση και την υπομονή που επιδεικνύουν όλα αυτά τα χρόνια, στηρίζοντας την ακαδημαϊκή μας πορεία.

Κλείνοντας, εγώ, ο Μ.Τ., θα ήθελα να ευχαριστήσω την Α.Χ. για τις καταπληκτικές της ιδέες και την βοήθεια που μας προσέφερε.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	11
1.1 Περιγραφή	11
1.2 Στόχοι της Εργασίας.....	11
1.3 Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας	12
Κεφάλαιο 2 Ιστορική Αναδρομή, Ανάλυση Εννοιών και Σχετικές Μελέτες	14
2.1 Τρόποι Καλλιέργειας.....	14
2.1.1 Γεωργία.....	14
2.1.2 Υδροπονία.....	14
2.1.3 Ενυδραιοπονία.....	16
2.1.3.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ενυδραιοπονίας	17
2.2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Internet of Things (IoT).....	18
2.2.1 Τι είναι το IoT.....	18
2.2.2 Τομείς εφαρμογής του IoT	18
2.2.3 Το IoT στην γεωργία.....	20
2.2.4 Το IoT στο θερμοκήπιο	20
2.2.5 Το IoT στην ενυδραιοπονία	21
2.3 Υπολογιστική Νέφος	22
2.3.1 Εισαγωγή στην υπολογιστική νέφος.....	22
2.3.2 Τα πλεονεκτήματα της χρήσης Νέφος.....	22
2.4 Σχετικές Μελέτες.....	23
Κεφάλαιο 3 Υλοποίηση	29
3.1 Η κατασκευή.....	29
3.1.1 Κάθετα ενυδραιοπονικά συστήματα	29
3.1.2 Η καλλιέργεια	30
3.1.3 Το σύστημα.....	32
3.2 Μικροελεγκτές.....	38
3.2.1 Arduino	38
3.2.2 WeMos D1R2	39
3.2.2.1 Διασύνδεση WeMos D1R2 με τον υπολογιστή	40
3.2.3 Προγραμματισμός πλακέτας.....	40

3.3 Αισθητήρες	44
3.3.1 Αισθητήρας υγρασίας εδάφους.....	44
3.3.1.1 Τρόποι σύνδεσης του αισθητήρα υγρασίας εδάφους με το WeMos D1R2	44
3.3.2 Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος	45
3.3.2.1 Σχετική υγρασία	45
3.3.2.2 Μέτρηση υγρασίας και θερμοκρασίας.....	46
3.3.2.3 Τρόποι σύνδεσης του DHT11 με το WeMos D1R2	47
3.3.3 Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20	48
3.3.3.1 Τρόποι σύνδεσης του DS18B20 με το WeMos D1R2.....	49
3.4 Εφαρμογή για Android	50
3.4.1 Android Studio.....	50
3.4.2 Cloud Firebase	50
3.4.3 Εργαλείο RecyclerView.....	51
3.4.4 Ανάλυση Κώδικα.....	52
3.4.5 Λειτουργία εφαρμογής.....	56
Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις.....	59
4.1 Συμπεράσματα.....	59
4.2 Μελλοντικές προεκτάσεις	61
Βιβλιογραφία	64

Σημειογραφία

Αρκτικόλεξο	Περιγραφή
IoT	Internet of Things
CC	Cloud Computing
IT	Information Technology
AqS	Aquaponics System
PA	Precision Agriculture
CPS	Cyber Physical System
AS	Android Studio
PCB	Printed Circuit Board
AQM	Aquaponic Metrics
UI	User Interface

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία έχει μπει για τα καλά στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Ευφυή συστήματα έχουν αναπτυχθεί για διάφορες δραστηριότητες, και από αυτές δεν θα μπορούσε να λείπει η γεωργία. Έχουν γίνει διάφορες μελέτες και κατασκευές, τόσο για την παρακολούθηση όσο και για την αυτοματοποίηση διάφορων γεωργικών διαδικασιών, όπως το πότισμα του αγρού, που αποσκοπούν στην οικολογική και χωρίς περιττές σπατάλες νερού καλλιέργεια φυτών. Τέτοιες μελέτες έχουν γίνει τόσο για την γεωργία στο έδαφος, όσο και για καλλιέργειες σε θερμοκήπια και ενυδρειοπονικές εγκαταστάσεις. Όλες αυτές οι μελέτες και κατασκευές έχουν σαν κοινό γνώμονα την φιλοσοφία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT).

Η ιδέα της εφαρμογής του IoT είναι να φέρει τον αυτοματισμό σε όλα τα πιθανά πεδία και εφαρμογές. Το «έξυπνο» θερμοκήπιο αποτελεί την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό, μέσω αισθητήρων, του και επηρεάζουν την ανάπτυξη και τελικά την παραγωγή των φυτών. Για να πραγματοποιηθεί λοιπόν αυτόνομα ο έλεγχος του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός θερμοκηπίου, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το IoT.

Η εξέλιξη στις μέρες μας βασίζεται στην φιλοσοφία ότι όσο γρηγορότερη είναι η πρόσβαση στην καινοτομία, τόσο ψηλότερα είναι τα επίπεδα παραγωγικότητας. Τα σύγχρονα συστήματα ενυδρειοπονίας, δύνανται να είναι πολύ αποδοτικά, αλλά απαιτούν χρόνο για τον συνεχή έλεγχο, την παρακολούθηση αλλά και την διαχείριση. Με τη βοήθεια ποικίλων εργαλείων ανάλυσης και του IoT βασισμένο στην υπολογιστική νέφους (Cloud Computing, CC), μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση αυτών των ενεργειών και να επιτευχθεί η πραγματοποίησή τους από απόσταση.

Με τη χρήση της τεχνολογίας πληροφοριών (Information Technology, IT) και του IoT στον τομέα της καλλιέργειας, επιτυγχάνεται η βελτίωση της ποιότητας των καλλιεργειών και η αύξηση της παραγωγικότητας, αλλά παράλληλα, μετριάζονται ταυτόχρονα οι καταστροφικές συνέπειες της καλλιέργειας στο περιβάλλον εξαιτίας της υπέρμετρης χρήσης λιπασμάτων και της αλόγιστης σπατάλης νερού.

1.2 Στόχοι της Εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου ενυδρειοπονικού συστήματος καλλιέργειας βιολογικών λαχανικών, με τεχνικές που αποσκοπούν στην όσο γίνεται περισσότερη εξοικονόμηση υδάτινων πόρων. Ο στόχος αυτός παρακινείται από το γεγονός ότι περίπου το 70% της παγκόσμιας κατανάλωσης νερού αφορά

την γεωργία [1] αλλά και από το γεγονός ότι εάν ελεγχθεί κατάλληλα το περιβάλλον της κατασκευής και γίνουν αυτόματα κάποιες διεργασίες, τότε ο χρήστης μπορεί να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για να λειτουργήσει όμως ένα τέτοιο σύστημα πρέπει τα φυτά και τα ψάρια που το απαρτίζουν να συμβιώνουν αρμονικά, υπό ιδανικές για αυτά συνθήκες.

Με σκοπό την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος, κατασκευάστηκε με επιτυχία μια ενυδρειοπονική εγκατάσταση η οποία τοποθετήθηκε μέσα σε ένα θερμοκήπιο. Εγκαταστάθηκαν οι αισθητήρες στην κατασκευή, οι οποίοι με βάση τις ενδείξεις που καταγράφουν, "κινητοποιούν" έναν μικροελεγκτή (WeMos D1R2) που έχει προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να ενεργεί κατάλληλα. Οι τιμές που καταγράφονται από τους αισθητήρες για τις διάφορες περιβαλλοντολογικές συνθήκες που επικρατούν στην κατασκευή απεικονίζονται με επιτυχία σε μία εφαρμογή Android. Τέλος, τα φυτά που φυτέψαμε αναπτύσσονται κανονικά, χωρίς την χρήση χημικών ουσιών, αφού τα ψάρια της εγκατάστασης παρέχουν όλες τις επιθυμητές θρεπτικές ουσίες.

1.3 Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας

Η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

2ο Κεφάλαιο: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ιστορική αναδρομή και ανάλυση των διαφόρων ειδών καλλιέργειας. Επιπλέον γίνεται αναφορά στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) και στην εφαρμογή του στα διάφορα είδη καλλιέργειας αλλά και την σύνδεσή του με την υπολογιστική νέφος (Cloud Computing, CC). Τέλος γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση παρόμοιων κατασκευών που έχουν υλοποιηθεί και σύγκρισή τους με την δική μας περίπτωση.

3ο Κεφάλαιο: Το κεφάλαιο αυτό περιέχει την υλοποίηση του συστήματος. Γίνονται ενδελεχής αναφορές τόσο για το κατασκευαστικό κομμάτι, που αφορά το στήσιμο της κατασκευής μέσα στο θερμοκήπιο και την κατάλληλη ενσωμάτωση των αισθητήρων σε αυτή, όσο και για το προγραμματιστικό κομμάτι του Arduino και της εφαρμογής Android.

4ο Κεφάλαιο: Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που βγάλαμε από την εργασία αλλά και προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 2 Ιστορική Αναδρομή, Ανάλυση Εννοιών και Σχετικές Μελέτες

2.1 Τρόποι Καλλιέργειας

2.1.1 Γεωργία

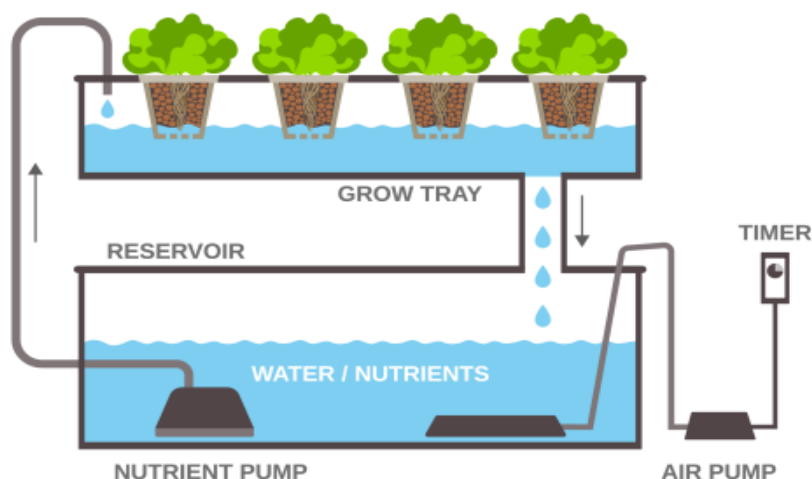
Η ιστορία της γεωργίας καταγράφει την εξημέρωση φυτών και την ανάπτυξη και διάδοση τεχνικών για την παραγωγική τους ανάπτυξη [2]. Ο άνθρωπος ξεκίνησε να συλλέγει και να καταναλώνει άγριους σπόρους και καρπούς τουλάχιστον από το 105.000 π. Χ [3]. Ωστόσο, η εξημέρωση τους άρχισε πολύ αργότερα. Περί το 9500 π. Χ. στην περιοχή του Levant της δυτικής Ασίας, καλλιεργήθηκαν οι οκτώ νεολιθικές ιδρυτικές καλλιέργειες: σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη, μπιζέλια, φακές, βίκος, ρεβίθια και λινάρι [4]. Στην Κίνα η παραγωγή ρυζιού ξεκίνησε το 6200 π. Χ. και ακολούθησε η καλλιέργεια φασολιών και σόγιας [5].

Με την πάροδο του χρόνου η ζήτηση για νερό στον γεωργικό τομέα ολοένα και αυξάνεται, λόγω της αύξησης του πληθυσμού αλλά και των οικογενειακών εισοδημάτων. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Έκθεση Ανάπτυξης Υδάτων των Ηνωμένων Εθνών για το 2016, περίπου το 70% της κατανάλωσης νερού παγκοσμίως αφορά τον γεωργικό τομέα, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί κατά 20% μέχρι το 2050 εάν δεν γίνει χρήση εναλλακτικής προσέγγισης [1].

2.1.2 Υδροπονία

Η υδροπονία αφορά την καλλιέργεια φυτών στο νερό εν αντιθέσει με την συμβατικές τεχνικές γεωργίας που εφαρμόζονται στο έδαφος. Το νερό είναι εμπλουτισμένο με θρεπτικά στοιχεία όπως νάτριο και κάλιο, δημιουργώντας έτσι ένα διάλυμα κατάλληλο για τα φυτά έτσι ώστε να μπορέσουν να αναπτυχθούν έχοντας μόνο τις ρίζες τους βυθισμένες μέσα σε αυτό. Οι ρίζες των φυτών υποστηρίζονται από αδρανή στοιχεία όπως ο περλίτης, το χαλίκι ή η διογκωμένη άργιλος, τα οποία δεν επηρεάζουν το pH της και χαρακτηρίζονται σαν υπόστρωμα.

Οι πρώτες υδροπονικές καλλιέργειες εμφανίζονται στην περιοχή της αρχαίας Αιγύπτου, στις όχθες του ποταμού Νείλου, την εποχή του Φαραώ Hatshepsut περίπου το 1460 π. Χ. όπου οι Αιγύπτιοι εκμεταλλεύονταν την παλίρροια του ποταμού ώστε να επωφελούνται από τα νερά και τα οργανικά τους στοιχεία, με αποτέλεσμα την συγκομιδή μεγαλύτερης σοδειάς σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια [6]. Οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας ή αλλιώς κήποι της Semiramis οι οποίοι κατασκευάστηκαν από τον βασιλιά Ναβουχοδονόσορ το 600 π. Χ., θεωρούνται ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου και αποτελούν άλλη μια εφαρμογή υδροπονικής καλλιέργειας. Αναφορές για ύπαρξη υδροπονικών καλλιεργειών έχουν γίνει και για τους πολιτισμούς των Αζτέκων και της Κίνας.



Σχήμα 2.1 Υδροπονικό σύστημα.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες υδροπονικής καλλιέργειας και αυτές έχουν να κάνουν με την ροή του νερού μέσα στην δεξαμενή. Έτσι λοιπόν έχουμε την καλλιέργεια στατικού διαλύματος και την καλλιέργεια διαλύματος συνεχούς ροής. Στην πρώτη περίπτωση τα φυτά καλλιεργούνται μέσα σε δοχεία όπως βάζα, δεξαμενές, μανιέρες. Το διάλυμα συνήθως αερίζεται ελαφρά, ίσως και καθόλου. Εάν δεν αερίζεται καθόλου, το επίπεδο της στάθμης του διαλύματος διατηρείται αρκετά χαμηλό ώστε ένα κομμάτι της ρίζας να βρίσκεται εκτός νερού με σκοπό να λαμβάνει επαρκή ποσότητα οξυγόνου. Στην καλλιέργεια διαλύματος συνεχούς ροής, το θρεπτικό διάλυμα ρέει συνεχώς μέσα από τις ρίζες των φυτών. Αυτή η συνεχόμενη ροή καθιστά την αυτοματοποίηση του συστήματος πολύ πιο εύκολη σε σχέση με την καλλιέργεια στατικού διαλύματος, διότι ο χρήστης μπορεί να κάνει διάφορες δειγματοληψίες, όπως μέτρηση pH, θερμοκρασίας και περιεκτικότητας του διαλύματος σε θρεπτικές ουσίες, και να προβεί σε προσαρμογές με στόχο την βέλτιστη παραγωγή.

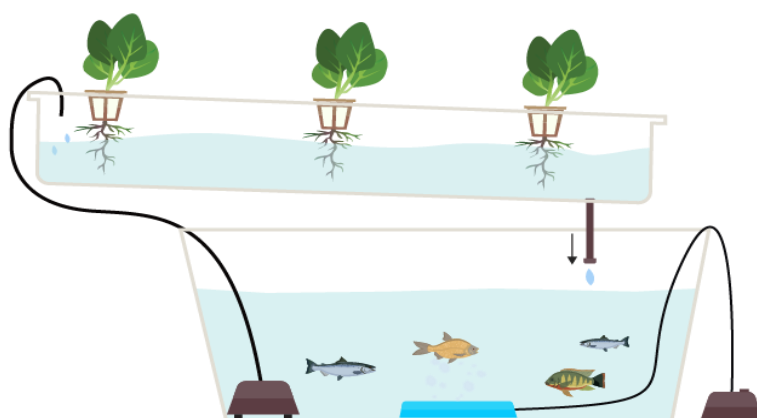
Οι υδροπονικές καλλιέργειες παρέχουν κάποια ζωτικής σημασίας οφέλη σε σχέση με την καλλιέργεια φυτών σε χώμα. Αρχικά, σε μια υδροπονική εγκατάσταση, οι ρίζες των φυτών έχουν συνεχή πρόσβαση σε οξυγόνο, στοιχείο ζωτικής σημασίας για τους φυτικούς οργανισμούς. Εν συνεχεία, παρέχεται στα φυτά η ακριβής ποσότητα νερού που τους χρειάζεται [7], γεγονός πολύ σημαντικό καθώς ένα από τα πιο συχνά λάθη στην καλλιέργεια είναι το υπερβολικό ή το μη επαρκές πότισμα. Η υδροπονία αποτρέπει τέτοιου είδους φαινόμενα αφού μεγάλες ποσότητες νερού, που θα μπορούσαν να "πνίξουν" την ρίζα του φυτού στο χώμα, διατίθενται στα φυτά και μόλις η υγρασία τους φτάσει στα ζητούμενα επίπεδα, τα νερά απορροφώνται και ανακατευθύνονται σε κάποια δεξαμενή για επαναχρησιμοποίηση. Στην καλλιέργεια σε χώμα, ο αγρότης πρέπει να έχει μεγάλη εμπειρία για να γνωρίζει την ακριβή ποσότητα νερού που χρειάζεται το φυτό που καλλιεργεί. Το παραπάνω νερό αποτρέπει από το

φυτό την πρόσβαση σε οξυγόνο, ενώ λιγότερο νερό και το φυτό χάνει την ικανότητά του να μεταφέρει τα θρεπτικά συστατικά τα οποία απορροφώνται συνήθως στην ρίζα του.

Σε γενικές γραμμές η υδροπονία έχει πολλά πλεονεκτήματα. Υπάρχουν όμως και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα που πρέπει να αναφερθούν. Αναπόφευκτο κομμάτι ενός υδροπονικού συστήματος αποτελεί η χορήγηση στα φυτά μέσω του νερού, των απαραίτητων στοιχείων που χρειάζονται για την ανάπτυξη τους όπως φώσφορο, νάτριο και κάλιο. Η διαδικασία αυτή γίνεται με την ρίψη υδατοδιαλυτών λιπασμάτων στο νερό, τα οποία όμως καθιστούν την καλλιέργεια μη βιολογική. Ένα επίσης σημαντικό μειονέκτημα είναι το κόστος της δημιουργίας μιας τέτοιας εγκατάστασης, είτε αυτή είναι για οικιακή είτε για επαγγελματική χρήση. Τέλος, επιτακτική θεωρείται η ανάγκη επιτυχούς εγκατάστασης του εξοπλισμού καθώς ακόμα και κάποια μικρή δυσλειτουργία του συστήματος θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις, ακόμη και να σκοτώσει τα φυτά.

2.1.3 Ενυδρειοπονία

Σύστημα ενυδρειοπονίας (Aquaponics System, AqS), μπορεί να χαρακτηριστεί οποιοδήποτε σύστημα που συνδυάζει την καλλιέργεια φυτών σε νερό με την συμβατική υδατοκαλλιέργεια, δηλαδή την εκτροφή υδρόβιων ζώων όπως ψάρια, σαλιγκάρια ή γαρίδες σε ένα κοινό περιβάλλον όπου ζώα και φυτά συμβιώνουν. Στην απλή υδατοκαλλιέργεια, τα περιττώματα από τα εκτρεφόμενα ζώα συσσωρεύονται αυξάνοντας έτσι την τοξικότητα του νερού. Σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα όμως δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο, καθώς το νερό με τα περιττώματα των ζώων τροφοδοτείται σε μία υδροπονική εγκατάσταση και από τα περιττώματα τα φυτά προσκομίζουν τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται. Στην συνέχεια το καθαρό, πλέον, νερό ανακυκλώνεται και επιστρέφει πίσω στην δεξαμενή υδατοκαλλιέργειας [8].



Σχήμα 2.2 Ενυδρειοπονικό σύστημα

Τα ενυδρειοπονικά συστήματα βασίζονται στην σχέση μεταξύ φυτών και ζώων με σκοπό την δημιουργία ενός σταθερού υδάτινου περιβάλλοντος στο οποίο εμφανίζονται μικρές διακυμάνσεις στα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων αλλά και του οξυγόνου.

2.1.3.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ενυδρειοπονίας

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των AqS είναι το γεγονός ότι ανακυκλώνουν και επαναχρησιμοποιούν το νερό με μεγάλη αποτελεσματικότητα [9]. Μικρές ποσότητες νερού προστίθενται στο σύστημα κυρίως λόγω της απορρόφησης μικροποσοτήτων από τα φυτά αλλά και λόγω του φαινομένου της εξάτμισης. Έτσι σαν αποτέλεσμα προκύπτει ότι ένα σύστημα ενυδρειοπονίας χρησιμοποιεί περίπου το 2% της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιεί ένα συμβατικά αρδευόμενο χωράφι για την ίδια παραγωγή [10]. Εάν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι περίπου το 70% της ποσότητας του νερού χρησιμοποιείται για καλλιέργεια [11] και πως το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, η ενυδρειοπονία έρχεται να προτείνει μια αποτελεσματική λύση σε ένα πρόβλημα που πρόκειται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα στο εγγύς μέλλον. Ένα ακόμα πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι η παραγωγή φυτών υψηλότερης ποιότητας. Τα φυτά λαμβάνουν τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες από τα περιττώματα των εκτρεφόμενων ζώων, χωρίς την χρήση λιπασμάτων όπως γίνεται στα υδροπονικά συστήματα, και ως εκ τούτου το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ενός αγνού, βιολογικού προϊόντος. Ένα επίσης σημαντικό πλεονεκτήματα της κατασκευής και λειτουργίας ενός AqS είναι η δυνατότητα καλλιέργειας φυτών σε περιοχές που δεν θα επέτρεπαν την ανάπτυξή τους λόγω μη προσοδοφόρου εδάφους (π.χ πετρώδη εδάφη). Επιπλέον, τα εποχιακά φυτά μπορούν να καλλιεργηθούν όλες τις εποχές σε μια τέτοια εγκατάσταση, καθώς οι συνθήκες που επικρατούν στο σύστημα είναι ελεγχόμενες, επιτρέποντας στον χρήστη να κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις που απαιτούνται. Τέλος, η τελική παραγωγική ποσότητα ενός συστήματος ενυδρειοπονίας μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στην συμβατική καλλιέργεια. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Αρχικά γιατί ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στην κλασική γεωργική καλλιέργεια αλλά και διότι ο χρήστης έχει την δυνατότητα τοποθέτησης των ριζών με τρόπο ώστε στην ίδια έκταση, το AqS να είναι σε θέση να υποδεχτεί αρκετά μεγαλύτερο όγκο καλλιέργειας από ότι ένα χωράφι.

Τα μειονεκτήματα της ενυδρειοπονικής καλλιέργειας έχουν να κάνουν με τον εξοπλισμό που απαιτείται ώστε να στηθεί και να λειτουργήσει ένα τέτοιο σύστημα. Δεν μπορεί να γίνει ακριβής προσέγγιση του κόστους μιας ενυδρειοπονικής εγκατάστασης διότι αυτό εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το μέγεθος αλλά και την τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί, αλλά το μόνο σίγουρο είναι ότι προϋποθέτει την διάθεση ενός σημαντικού κεφαλαίου. Έπειτα, η σωστή εγκατάσταση του εξοπλισμού έχει κομβική σημασία καθώς πιθανές δυσλειτουργίες μπορούν να αχρηστέψουν την όλη κατασκευή. Τέλος, η κατανάλωση ενέργειας που απαιτεί ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί πρόβλημα. Με βάση τις μετρήσεις των εγκατεστημένων αισθητήρων πραγματοποιούνται διάφορες ενέργειες, όπως για παράδειγμα η ηλεκτροδότηση

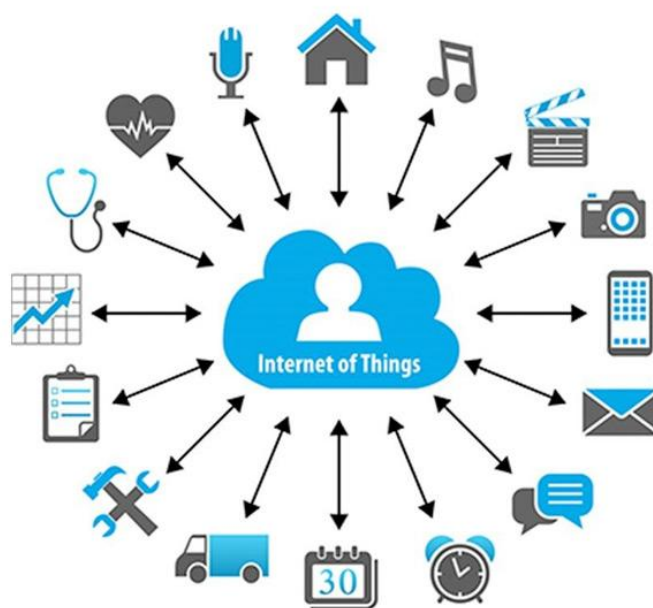
της ηλεκτρικής βάννας που μεταφέρει το νερό, και πολλές φορές απαιτούν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος, αναλόγως πάντα και με το μέγεθος της εγκατάστασης. Ενυδρειοπониικά συστήματα που τροφοδοτούνται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας (πχ. φωτοβολταϊκά) μπορούν να χαρακτηριστούν σαν τα απόλυτα οικολογικά συστήματα [12].

2.2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Internet of Things (IoT)

2.2.1 Τι είναι το IoT

Το IoT είναι μια νέα ιδέα που περιλαμβάνει τη δικτύωση όλων των φυσικών συσκευών, με στόχο τη λειτουργία τους ως μία συνεκτική μονάδα για να βοηθήσει την καθημερινή ζωή. Εμπεριέχει διάφορες τεχνολογίες (λογισμικό) και συσκευές (υλικό), όπως τεχνολογία ασύρματων τηλεπικοινωνιών, αισθητήρες, ετικέτες αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) κλπ. και απέκτησε το σημερινό του όνομα από τον Kevin Ashton το 1999. Λειτουργεί με την εμφύτευση αισθητήρων σε μηχανές, προκειμένου να παρακολουθούνται και να συλλέγονται δεδομένα από αυτές, με σκοπό την αύξηση την αποδοτικότητας. Συνδέει ουσιαστικά τα "πάντα" με το Διαδίκτυο. Η έννοια αυτή έχει σημαντικό αντίκτυπο τόσο στις επιχειρήσεις όσο και στον μέσο όρο των νοικοκυριών.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα αποτελείται από διάφορα όργανα και ένα ή περισσότερους μικροεπεξεργαστές. Η διαδικασία ξεκινάει όταν όργανα όπως οι αισθητήρες συλλέγουν τη ζητούμενη πληροφορία και την στέλνουν στον μικροεπεξεργαστή, ο οποίος έχει προγραμματιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εκτελεί μια λειτουργία. Έτσι έχουμε την δυνατότητα να αντιληφθούμε άμεσα καταστάσεις, όπως η έλλειψη υγρασίας, και να προβούμε αυτόματα στην αντιμετώπιση τους.



Σχήμα 2.3 Internet of Things

Όπως με κάθε νέα τεχνολογία, έτσι και με το IoT, υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ορισμένα πλεονεκτήματα του είναι η πιθανή αύξηση των πωλήσεων των επιχειρήσεων, η αύξηση της ασφάλειας των νοικοκυριών, καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, ορισμένα μειονεκτήματα αποτελούν η παραβίαση της ιδιωτικής ζωής, η ολοένα αυξανόμενη εξάρτηση από την τεχνολογία και η μείωση της απασχόλησης. Αναμφίβολα η τεχνολογία αυτή θα φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στις επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά, ενώ αντίθετα αναμένεται να επιβαρυνθούν οι εργαζόμενοι και οι καταναλωτές. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια η χρήση του IoT έχει επεκταθεί σε όλους τους τομείς και τις δραστηριότητες του σύγχρονου τρόπου ζωής [13].

2.2.2 Τομείς εφαρμογής του IoT

Το IoT προσφέρει νέες πηγές δεδομένων με στόχο την βελτίωση της ζωής του ανθρώπου σε πολλές πτυχές της. Αρχικά, στον χώρο της υγειονομικής περίθαλψης το IoT διαδραματίζει ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο. Δεν είναι λίγα τα άτομα εκείνα τα οποία έχουν ήδη υιοθετήσει έξυπνα αξεσουάρ όπως βραχιόλια και ρολόγια, για να παρακολουθούν πως αντιδρά ο οργανισμός τους κατά την σωματική άσκηση, τον ύπνο ή άλλες συνήθειες. Εκτιμάται πως στο άμεσο μέλλον στα νοσοκομεία η παρακολούθηση των ασθενών θα γίνεται μέσω μόνιτορ τα οποία θα είναι συνδεδεμένα σε ένα δίκτυο IoT. Με αυτόν τον τρόπο θα βελτιωθούν οι υπηρεσίες υγείας και υγειονομικής περίθαλψης, θα εξοικονομηθεί χρόνος, και θα μειωθεί δραματικά το κόστος περίθαλψης των ασθενών. Συσκευές παρακολούθησης ασθενών, ηλεκτρονικά αρχεία και άλλα έξυπνα αξεσουάρ μπορούν να σώσουν ζωές.

Ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών επίσης είναι ένας τομέας που επηρεάζεται σημαντικά από την ραγδαία ανάπτυξη του IoT, αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι αυτός θα είναι ο κλάδος που θα διατηρεί όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από ένα σύστημα IoT. Smartphones και άλλες προσωπικές συσκευές που είναι σε θέση να διατηρούν μια αξιόπιστη σύνδεση στο διαδίκτυο, έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν πληθώρα πληροφοριών από το IoT, οι οποίες με αυτόν τον τρόπο καταλήγουν εύκολα και κατανοητά στον τελικό χρήστη.

Ενώ τα αυτοκίνητα δεν έχουν φτάσει ακόμα στο σημείο να μετακινούνται αυτόνομα, είναι αναμφισβήτητα τεχνολογικά πιο προηγμένα από ποτέ. Τα νέα μοντέλα αυτοκινήτων ενσωματώνουν ολοένα και περισσότερους αισθητήρες στο εξωτερικό τους περίβλημα για την ενημέρωση του οδηγού και την αυτοματοποίηση μέρους της οδηγικής συμπεριφοράς τους. Αισθητήρες παρκαρίσματος, διέλευσης πεζών, αλλαγής λωρίδας και πολλοί άλλοι αποτελούν τα πιο απλά παραδείγματα. Από την άλλη συναντάμε εξειδικευμένους αισθητήρες οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του IoT αλλά και με τον οδηγό του αυτοκινήτου. Τέτοιοι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να διαβάζουν τις πινακίδες του δρόμου, να ελέγχουν την κατάσταση του αυτοκινήτου και να ενημερώνουν τον οδηγό, αλλά και να επικοινωνούν με άλλα οχήματα και να συλλέγουν πληροφορίες. Το IoT επηρεάζει επίσης τον κλάδο των μεταφορών σε μεγάλη κλίμακα, οι εταιρείες διανομής μπορούν να παρακολουθούν τον στόλο τους με τη χρήση GPS. Και οι δρόμοι μπορούν να παρακολουθούνται μέσω αισθητήρων για να είναι όσο το δυνατόν ασφαλέστεροι. Αισθητήρες έχουν αρχίσει να τοποθετούνται πλέον σε

θέσης στάθμευσης, για να ενημερώνουν πότε και που βρίσκεται κενός χώρος, αλλά και σε φωτεινούς σηματοδότες για την βελτίωση της λειτουργίας τους.

Οι καταναλωτές και τα καταστήματα καρπώνονται τα οφέλη του IoT στο εμπόριο. Οι επιχειρήσεις θα μπορούν να παρακολουθούν τα αποθέματα τους αυτόματα, και θα ειδοποιούνται σε πραγματικό χρόνο για την πορεία λειτουργιών ή επιχειρησιακών διαδικασιών. Θα αυξηθεί η ροή πληροφοριών που θα έχει στη διάθεση της η επιχείρηση με διάφορες εφαρμογές να έρχονται και να προστίθενται με την σειρά τους στα εργαλεία της εταιρίας που βασίζονται στην τεχνολογία IoT. Επίσης, μέσω χρήσης αισθητήρων και των συστημάτων παρακολούθησης ο επιχειρηματίας θα γνωρίζει ανά πάσα ώρα και στιγμή πόσοι καταναλωτές βρίσκονται στο κατάστημα αλλά και τι ενέργειες πραγματοποιούν. Επίσης η επιχείρηση μπορεί να εξάγει πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των καταναλωτών, βασισμένες στις ανάγκες και τις συνήθειες τους. Εκμεταλλευόμενοι αυτή την τεχνολογία η διαφήμιση και η προώθηση των προϊόντων θα γίνεται πιο στοχευμένα και αποτελεσματικά.

Τέλος, στον τομέα της ενέργειας, οι έξυπνοι μετρητές όχι μόνο συλλέγουν δεδομένα αυτόματα, αλλά επίσης καθιστούν δυνατή εφαρμογές ανάλυσης για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της χρήσης της ενέργειας. Παρομοίως, αισθητήρες σε συσκευές όπως οι ανεμόμυλοι μπορούν να παρακολουθούν τα δεδομένα και να χρησιμοποιούν προγνωστική μοντελοποίηση, ώστε να προγραμματιστεί η διακοπή λειτουργίας για πιο αποδοτική χρήση της ενέργειας.

2.2.3 Το IoT στην γεωργία

Ένας από τους τομείς που έχουν επηρεαστεί από τον IoT είναι η γεωργία και οδηγείται πλέον σε μια νέα εποχή που ονομάζεται «Γεωργία Ακριβείας» (Precision Agriculture, PA) [14]. Με τη χρήση της τεχνολογίας πληροφοριών (Information Technology, IT), η γεωργία ακριβείας επιτυγχάνει την βελτίωση της ποιότητας των καλλιεργειών και την αύξηση της παραγωγικότητας, μετριάζοντας ταυτόχρονα τις καταστροφικές συνέπειες της γεωργίας στο περιβάλλον εξαιτίας της υπέρμετρης χρήσης λιπασμάτων και της αλόγιστης σπατάλης νερού.

Στις μέρες μας λόγω της συνεχής εξέλιξης της τεχνολογίας στον τομέα του υλικού των έξυπνων τηλεφώνων (smartphones), καθώς και στο λειτουργικό τους σύστημα, οι συσκευές αυτές συναντώνται ολοένα και συχνότερα σε πολλούς τομείς όπως η βιομηχανία, η υγεία και η κτηνοτροφία. Από τους τομείς αυτούς δεν θα μπορούσε να λείπει και η γεωργία. Εξαιτίας της εύκολης μεταφοράς τους και της ικανότητας τους να εκτελούν την πλειοψηφία των εργασιών ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, έχει αναπτυχθεί πληθώρα εφαρμογών, με βάση το IoT, που στοχεύουν στην διευκόλυνση των αγροτών. Τα smartphones μπορούν να εκτελούν τις περισσότερες από τις εργασίες ενός υπολογιστή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανάγκη για περιορισμό της σπατάλης του νερού, που επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση αισθητήρων στα συστήματα άρδευσης, και την απομακρυσμένη παρακολούθηση του αλλά και τον έλεγχο μέσω των smartphones.

Χωρίς χρήση εναλλακτικής και αποτελεσματικής προσέγγισης, η κατανάλωση νερού στη γεωργία προβλέπεται να αυξηθεί κατά 20% έως το 2050 [1]. Επομένως, χρειαζόμαστε βέλτιστα συστήματα άρδευσης που βασίζονται σε τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών, αισθητήρες, μικροελεγκτές κλπ., για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης νερού και την μεγιστοποίηση της παραγωγής. Τα έξυπνα συστήματα άρδευσης χρησιμοποιούν αισθητήρες δικτύου για τη μέτρηση και τον έλεγχο της υγρασίας του εδάφους. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την υγρασία που πραγματικά χρειάζονται οι καλλιέργειες για την εξοικονόμηση νερού, αποτρέποντας την επιπλέον άρδευση. Πριν από την εφαρμογή του έξυπνου συστήματος άρδευσης, το αγρόκτημα ή το θερμοκήπιο πρέπει να εξεταστούν κατάλληλα, προκειμένου να βρεθούν οι ιδανικές συνθήκες και να χρησιμοποιηθούν διαφορετικού τύπου αισθητήρες υγρασίας εδάφους για την μέτρηση της υγρασίας με στρατηγικό τρόπο.

2.2.4 Το IoT στο θερμοκήπιο

Η ιδέα της εφαρμογής του IoT είναι να φέρει τον αυτοματισμό σε σχεδόν όλα τα πιθανά πεδία και εφαρμογές. Το «έξυπνο» θερμοκήπιο αποτελεί την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό του και επηρεάζουν την ανάπτυξη και τελικά την παραγωγή των φυτών. Για να πραγματοποιηθεί λοιπόν αυτόνομα ο έλεγχος του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός θερμοκηπίου, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το IoT.

Ο χώρος του θερμοκηπίου έχει αποδειχθεί πιο αποτελεσματικός από αυτόν του αγροκτήματος. Η αποδοτικότητα αυτή όμως αυξάνεται σημαντικά με την βοήθεια το IoT και πληθώρας αισθητήρων που τοποθετούνται στο εσωτερικό του. Αισθητήρες υγρασίας τοποθετούνται στις ρίζες των φυτών και ελέγχουν το ιδανικό πότισμα τους ώστε να γίνεται αυτόματα και χωρίς σπατάλη νερού. Οι πληροφορίες που συλλέγουν είναι άμεσα διαθέσιμες στον χρήστη. Ακόμη προστίθενται αισθητήρες παρακολούθησης των συνθηκών του περιβάλλοντος στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να ελέγχονται διαρκώς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα, και να ενημερώνεται ο χρήστης ώστε να προβεί σε κάποια ενέργεια ή το σύστημα προγραμματίζεται ώστε να εκτελεί την ενέργεια αυτή αυτόματα. Επίσης, με αισθητήρες ελέγχεται το φως το οποίο εισέρχεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και ανάλογα με την ένταση του μπορούν είτε να ενεργοποιηθούν ειδικοί λαμπτήρες είτε τέντες (σκίαστρα) ώστε να επιτευχθούν οι ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη της καλλιέργειας [15].

2.2.5 Το IoT στην ενυδραιοπονία

Τα σύγχρονα συστήματα ενυδραιοπονίας, δύνανται να είναι πολύ αποδοτικά, αλλά απαιτούν χρόνο για τον συνεχή έλεγχο, την παρακολούθηση αλλά και την διαχείριση. Με τη βοήθεια διαφόρων εργαλείων ανάλυσης και του IoT βασισμένο σε Cloud, μπορεί να

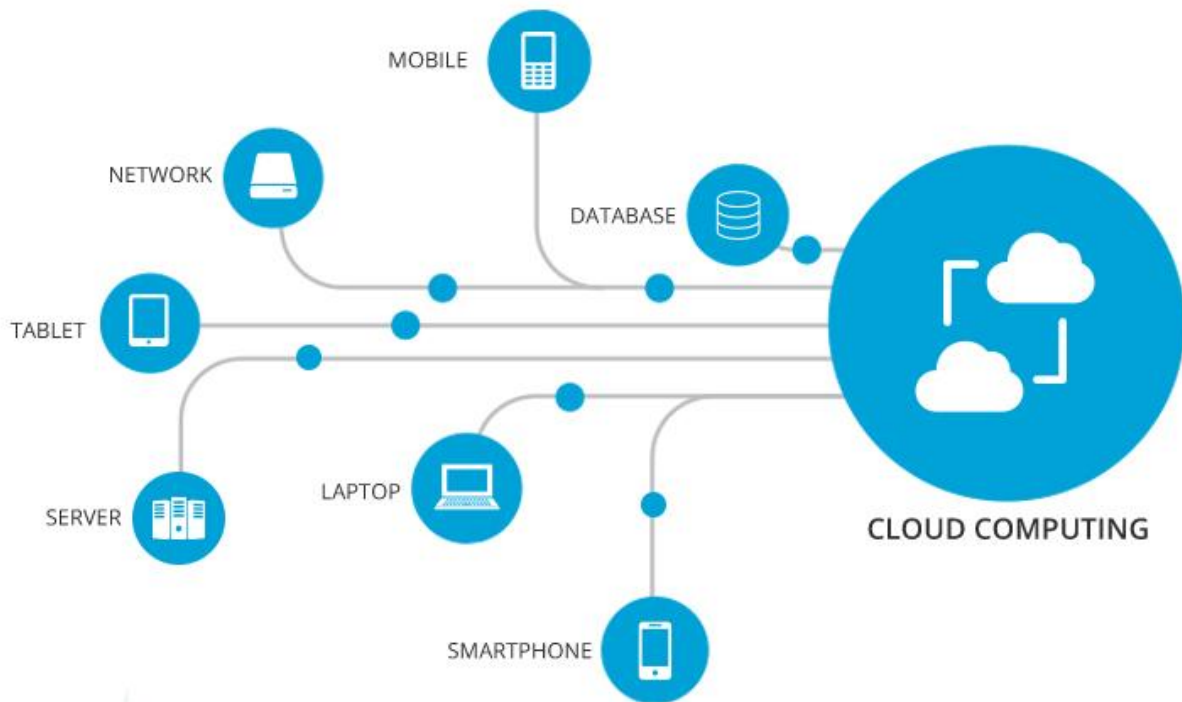
ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση αυτών των ενεργειών και να επιτευχθεί η πραγματοποίησή τους από απόσταση.

Αισθητήρες μέτρησης των συνθηκών στο εσωτερικό της δεξαμενής με τα ψάρια μπορούν διαρκώς να ελέγχουν το υδάτινο περιβάλλον, και να ενημερώνουν τον χρήστη και να πραγματοποιούν κάποια αυτοματοποιημένα ενέργεια. Έτσι η θερμοκρασία, το οξυγόνο και το pH μετρούνται διαρκώς, και διορθώνονται ώστε να επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες διαβίωσης των ψαριών που αποτελούν τον θεμέλιο λίθο ενός τέτοιου συστήματος. Επίσης με την χρήση αισθητήρων και μικρο ελεγκτών μπορούν όλα τα εξαρτήματα και μηχανήματα να μετατραπούν σε έξυπνα. Η αντλία νερού λειτουργεί πλέον την κατάλληλη στιγμή και μόνο για όση ώρα απαιτείται. Τα σιφόνια αποστράγγισης του νερού από τις ρίζες των φυτών μπορούν να τεθούν αυτόματα σε λειτουργία. Μετρητές της κυκλοφορίας του νερού ενημερώνουν για την ομαλή λειτουργία του συστήματος, αλλά και κρατούν χρήσιμες πληροφορίες για τον χρόνο ζωής εξαρτημάτων όπως φίλτρα και αντλίες, με αποτέλεσμα να μπορεί πλέον να γίνει εφικτή και προβλέψιμη η απομακρυσμένη συντήρηση ενός τέτοιου υδάτινου συστήματος [16].

2.3 Υπολογιστική Νέφος

2.3.1 Εισαγωγή στην Υπολογιστική Νέφος

Η εξέλιξη στις μέρες μας βασίζεται στην φιλοσοφία ότι όσο γρηγορότερη είναι η πρόσβαση στην καινοτομία, τόσο ψηλότερα είναι τα επίπεδα παραγωγικότητας. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με την χρήση Cloud σε σχέση με την χρήση συμβατικής φυσικής μνήμης. Η Υπολογιστική Νέφος (Cloud Computing, CC) αναφέρεται σε μία δομή όπου τόσο η αποθήκευση όσο και η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιούνται εκτός της κινητής συσκευής. Οι εφαρμογές που βασίζονται σε σύννεφο "μεταφέρουν" την υπολογιστική ισχύ και την αποθήκευση των δεδομένων εκτός της συσκευής, μέσα στο σύννεφο. Είναι η παράδοση των υπολογιστικών πόρων (όπως π.χ. δίκτυα, servers, εφαρμογές, υπηρεσίες, και αποθήκευση δεδομένων) μέσω του διαδικτύου. Ο χρήστης δεν χρειάζεται να γνωρίζει την φυσική τοποθεσία του server (διακομιστή). Είναι ένα κατακευματισμένο υπολογιστικό μοντέλο και εξελίχθηκε με την συμβολή διαφόρων τεχνολογιών όπως η παράλληλη εικονοποίηση (parallel virtualization) και η υπολογιστική πλέγματος (grid computing). Οι κύριοι πάροχοι υπηρεσιών νέφος όπως η Google, η Amazon, η Microsoft, έχουν αναπτύξει τεχνολογίες αιχμής για την αξιοποίηση αυτού του νέου πρότυπου. Τεράστια εικονοποιημένα κέντρα δεδομένων εγκαθιδρύονται ανά τον κόσμο για την παροχή γρήγορων και αποτελεσματικών υπηρεσιών. Αυτή η άπειρη επεξεργαστική και αποθηκευτική χωρητικότητα αυξάνει την αξιοπιστία και την διαθεσιμότητα των υπηρεσιών, και ελαχιστοποιεί το κόστος για τον πελάτη [17].



Σχήμα 2.4 Cloud Computing

2.3.2 Τα πλεονεκτήματα της χρήσης Νέφους

Τα πλεονεκτήματα της CC είναι πολλαπλά, γεγονός που έχει τραβήξει το ενδιαφέρον διάφορων οργανισμών και εταιρειών ανά τον κόσμο τα τελευταία χρόνια. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι το χαμηλό κόστος της υπηρεσίας. Είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος για χρήση, συντήρηση, και αναβάθμιση [18]. Το κόστος από πλευράς χρημάτων των παραδοσιακών λογισμικών σε επιχειρήσεις μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα, αν αναλογιστεί κανείς και τις άδειες για χρήση του λογισμικού από πολλαπλούς χρήστες. Το σύννεφο από την άλλη, είναι διαθέσιμο σε πολύ πιο ελκυστικές τιμές με αποτέλεσμα την μείωση των εξόδων των εταιριών.

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της CC είναι η ύπαρξη σχεδόν απεριόριστης χωρητικότητας για την αποθήκευση των δεδομένων. Επιπλέον, από την στιγμή που τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στο σύννεφο, η ανάκτηση και η δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας είναι σχετικά πιο εύκολες λειτουργίες σε σχέση με τις αντίστοιχες ενέργειες σε φυσική μνήμη. Επίσης, στο σύννεφο, η ενσωμάτωση λογισμικού συμβαίνει αυτόματα. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης δεν χρειάζεται να προσαρμόσει και να ενσωματώσει την εφαρμογή του, αφού αυτές οι διαδικασίες γίνονται αυτόματα. Από την στιγμή που ο χρήστης εγγραφεί στο σύννεφο, έχει πρόσβαση σε πληροφορίες προερχόμενες από οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη ανά πάσα ώρα και στιγμή. Έτσι, η γεωγραφική θέση και η ζώνη ώρας δεν αποτελούν πρόβλημα. Τέλος, η CC παρέχει το πλεονέκτημα της γρήγορης ανάπτυξης ενός συστήματος.

Ολόκληρο το σύστημα μπορεί να είναι λειτουργικό μέσα σε μερικά λεπτά, αν και ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τα επίπεδα τεχνολογικής κατάρτισης που ο χρήστης απαιτεί [19].

2.4 Σχετικές Μελέτες

Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας την έχει κάνει αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του ανθρώπου. Ευφυή συστήματα έχουν αναπτυχθεί σε διάφορους τομείς, και από αυτούς δεν θα μπορούσε να λείπει ο τομέας της γεωργίας. Έχουν γίνει διάφορες μελέτες και κατασκευές, τόσο για την παρακολούθηση όσο και για την αυτοματοποίηση των γεωργικών διαδικασιών, όπως π.χ. πότισμα, που αποσκοπούν στην καλλιέργεια φυτών χωρίς περιττές σπατάλες νερού. Τέτοιες μελέτες έχουν γίνει τόσο για την γεωργία στο έδαφος, όσο και για καλλιέργειες σε θερμοκήπια και ενυδρείοπονικές εγκαταστάσεις.

Στην συμβατική γεωργία, αυτή δηλαδή που η καλλιέργεια γίνεται στο έδαφος, η εφαρμογή της τεχνολογίας έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με το πότισμα της καλλιέργειας και την εξοικονόμηση νερού. Έχουν αναπτυχθεί ποικίλα αυτοματοποιημένα συστήματα που ελέγχουν με αισθητήρες τις διάφορες περιβαλλοντολογικές συνθήκες, και με βάση της μετρήσεις αυτές, γίνονται οι ανάλογες πράξεις. Για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί συστήματα που παρακολουθούν την υγρασία εδάφους, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ροή του νερού, και μέσω μικροελεγκτών, δίνουν εντολή για ενέργειες όπως άνοιγμα/κλείσιμο της αντλίας νερού ή ψεκασμό των φυτών με ψεκαστήρες. Οι τιμές που έχουν καταγράψει οι αισθητήρες μεταφέρονται σε μια βάση δεδομένων συνδεδεμένη με μια εφαρμογή για ηλεκτρονικό υπολογιστή για την παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος από τον χρήστη [20].

Το 2017 μια ομάδα φοιτητών δημιούργησε ένα αυτόματο σύστημα ποτίσματος των φυτών το οποίο χρησιμοποιεί πλακέτα Arduino, η οποία αποτελείται από έναν ATmega328 μικροεπεξεργαστή. Η πλακέτα αυτή είναι προγραμματισμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να αισθάνεται το επίπεδο υγρασίας των φυτών και να παρέχει νερό εάν κρίνεται αναγκαίο. Έτσι, ο μικροελεγκτής έχει προγραμματιστεί με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να ποτίζει τα φυτά δύο φορές την ημέρα. Το νερό αντλείται από μια μεγάλη δεξαμενή και επιστρέφει πάλι πίσω σε αυτήν, ελαχιστοποιώντας έτσι τις απώλειες. Το σύστημα διαθέτει πολλαπλούς αισθητήρες υγρασίας εδάφους που, με την χρήση ηλεκτρονόμου (ρελέ), ενεργοποιούν την κύρια αντλία υδάτων και τις επιμέρους ηλεκτρονικές βάνες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται το αυτόματο πότισμα μόνο των φυτών που το έχουν ανάγκη [21]. Η κύρια ιδέα της εργασίας μας είναι παρόμοια με την παραπάνω υλοποίηση, με διαφορά τον έλεγχο της υγρασίας εδάφους και τον τρόπο ποτίσματος. Το σύστημα το οποίο αναπτύξαμε ελέγχει συνεχώς την υγρασία εδάφους και ποτίζει τα φυτά ανα πάσα στιγμή μέσω των ηλεκτρονικών βανών, καθώς η αντλία νερού είναι σε μόνιμη λειτουργία.

Σε μια ακόμα μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2019, αναπτύχθηκε ένα Cyber Physical σύστημα (CPS) το οποίο μπορεί να προσφέρει στους αγρότες ένα εργαλείο για την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν

την ανάπτυξη των φυτών. Ο στόχος αυτού του έργου είναι να υλοποιήσει το CPS σε ένα σύστημα κάθετης καλλιέργειας, στο οποίο αναπτύσσεται ένα σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου με βάση το Android για την βέλτιστη παραγωγή φυτειών, χρησιμοποιώντας το Arduino ESP32 και αισθητήρες συνδεδεμένους μέσω του διαδικτύου. Οι παράγοντες ανάπτυξης που παρακολουθήθηκαν και ελέγχθηκαν στα πειράματα περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη θερμοκρασία του νερού, την υγρασία, το επίπεδο του pH, την ηλιακή ακτινοβολία και το διοξείδιο του άνθρακα. Σε αυτήν τη μελέτη, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε επίσης μια εφαρμογή Android με την βοήθεια της οποίας, ελεγχόμενες παράμετροι εμφανίζονται στην οθόνη του κινητού του χρήστη. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι το σύστημα CPS είναι πρακτικό για χρήση τόσο στην παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών όσο και στην επίτευξη βέλτιστης παραγωγής [22]. Η ειδοποιός διαφορά με το σύστημά μας είναι ότι δεν συμπεριλαμβάνεται το στοιχείο του αυτοματισμού στην κατασκευή.

Στα αυτοματοποιημένα συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε θερμοκήπια, οι λειτουργίες που εφαρμόζονται δεν απέχουν πολύ με αυτές στην συμβατική γεωργία. Ο χρήστης σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προβεί σε περισσότερες ενέργειες λόγω της κλειστής δομής του θερμοκηπίου. Οι Mekki et. al. στην κατασκευή τους, παρακολουθούν τους δείκτες υγρασίας εδάφους και αέρα, θερμοκρασίας περιβάλλοντος αλλά και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και της ηλιακής ακτινοβολίας. Με βάση την υγρασία εδάφους αποφασίζεται αν η αντλία νερού που έχει τοποθετηθεί θα παραμένει ανοιχτή ή κλειστή. Ψεκαστές χρησιμοποιούνται όταν τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής υγρασίας πέσουν κάτω από ένα όριο, ενώ έχουν τοποθετηθεί ψύκτρες για την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε περίπτωση που αυτή κατέβει κάτω του επιθυμητού. Τέλος, αν τα επίπεδα του CO₂ είναι ψηλά, τότε το σύστημα πραγματοποιεί καθαρισμό του αέρα. Ο χρήστης και εδώ έχει πρόσβαση στις διάφορες τιμές που έχουν καταγράψει οι αισθητήρες μέσω μιας εφαρμογής για ηλεκτρονικό υπολογιστή [23]. Σε άλλη κατασκευή, γίνεται καταγραφή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, της υγρασίας της ρίζας, και της ηλιακής ακτινοβολίας και το σύστημα αυτόματα ανοιγοκλείνει την αντλία νερού, ψυχραίνει ή ζεσταίνει τον χώρο του θερμοκηπίου, και ανάβει ή σβήνει λάμπες LED που έχει τοποθετήσει ο κατασκευαστής [24]. Στις παραπάνω κατασκευές, έχουν συμπεριληφθεί περισσότεροι αισθητήρες, όμως δεν έχει αναπτυχθεί κάποια εφαρμογή για κινητό.

Σε έρευνα που πραγματοποίησαν το 2019 οι Tolentino et. al. αναπτύχθηκε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας με λειτουργίες παρακολούθησης και αυτόματης προσαρμογής των συνθηκών στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου με ελεγχόμενη θερμοκρασία χρησιμοποιώντας μια συσκευή κινητού Android μέσω του Internet of Things (IoT). Το σύστημα περιλαμβάνει τη λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από τους αισθητήρες έντασης φωτός, θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα. Διαθέτει επίσης λειτουργίες για την παρακολούθηση του pH και της θερμοκρασίας νερού που κυκλοφορεί στο σύστημα. Εάν τα ληφθέντα δεδομένα δεν βρίσκονται εντός του εύρους που έχει οριστεί, τίθενται σε λειτουργία οι μηχανισμοί διόρθωσης, δηλαδή τα φώτα LED, οι ανεμιστήρες εξαερισμού και ανανέωσης του αέρα, αλλά και το σύστημα ψύξης και θέρμανσης του θερμοκηπίου, ώστε να επιτευχθούν οι ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των φυτών. Η απομακρυσμένη πρόσβαση στις παραπάνω πληροφορίες

γίνεται μέσω της αποτελεσματικής ασύρματης μετάδοσης και λήψης δεδομένων μεταξύ του συστήματος και της εφαρμογής Android σε πραγματικό χρόνο [25]. Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρούμε την ύπαρξη μεγαλύτερου αριθμού αισθητήρων καθώς και την δυνατότητα ρύθμισης μεγαλύτερου εύρους συνθηκών τόσο του εσωτερικού του θερμοκηπίου όσο και του ίδιου του συστήματος.

Οι Shukla et. al. σε εργασία τους το 2015 πρότειναν ένα σχεδιασμό ενός έξυπνου θερμοκηπίου με τη χρήση του IoT. Αυτός ο σχεδιασμός παρακολουθεί και ελέγχει το κλίμα χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου. Αφού μελέτησαν τις συνθήκες που χρειάζονται οι κόκκινες πιπεριές ώστε να αποκτήσουν γλυκιά γεύση και σωστό χρώμα, ανέπτυξαν ένα σύστημα για τον συχνό και απομακρυσμένο έλεγχο της καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα που χρησιμοποιεί διαφορετικούς αισθητήρες για τη μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Συνδέοντας αυτό το σύστημα με το IoT, δημιούργησαν έναν διακομιστή σε νέφος για να διευκολυνθεί η πρόσβαση σε αυτό από απόσταση, καταφέρνοντας έτσι να αφαιρέσουν τη συνεχή χειροκίνητη παρακολούθηση. Ο διακομιστής νέφους επιτρέπει επίσης την επεξεργασία δεδομένων και την εφαρμογή ενεργειών ελέγχου εντός του θερμοκηπίου εξ αποστάσεως. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας παρακολουθούν διαρκώς την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και όταν αυτή ξεπεράσει τα επιθυμητά επίπεδα θέτει σε λειτουργία έναν ανεμιστήρα έως ότου έρθει ξανά στις κατάλληλες τιμές. Οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους με τη σειρά τους παίρνουν μετρήσεις κοντά στις ρίζες των φυτών και όταν ανιχνεύσουν χαμηλά επίπεδα υγρασίας τίθεται σε λειτουργία η αντλία νερού έως ότου τα επίπεδα επέλθουν στα επιθυμητά. Επιπρόσθετα, στο σύστημα υπάρχουν αισθητήρες υγρασίας περιβάλλοντος οι οποίοι ενεργοποιούν και απενεργοποιούν τον ανεμιστήρα εξαερισμού. Τέλος, κοντά στα φυτά βρίσκονται αισθητήρες φωτός οι οποίοι ανιχνεύουν την πυκνότητα του φωτός, και με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονόμου δίνουν ρεύμα σε ειδικές λάμπες κατά τη διάρκεια της νύχτας ή κατά τις μέρες όπου το φυσικό φως του ήλιου δεν επαρκεί, ώστε να μπορούν τα φυτά να αναπτυχθούν στις βέλτιστες δυνατές συνθήκες. Όλες οι παραπάνω πληροφορίες μεταφέρονται στο cloud για να είναι εύκολα προσβάσιμες από τους χρήστες [16].

Στις ενυδρειοπονικές καλλιέργειες όπου φυτά και ψάρια συμβιώνουν, για να κατασκευαστεί ένα αυτοματοποιημένο σύστημα, απαιτείται και η παρακολούθηση του υδάτινου περιβάλλοντος. Τα τελευταία κυρίως χρόνια έχουν αναπτυχθεί τέτοια συστήματα [26], τα οποία παρακολουθούν τις συνθήκες του νερού που ζουν τα ψάρια και αντιδρούν αναλόγως. Οι τιμές που μελετώνται συνήθως είναι το pH του νερού, η θερμοκρασία του, τα ποσοστά οξυγόνου, αλλά και τα επίπεδα αμμωνίας και θρεπτικών ουσιών και γίνονται οι αντίστοιχες ενέργειες προκειμένου το σύστημα να λειτουργεί στις κατάλληλες συνθήκες. Στην δική μας περίπτωση, αναπτύχθηκε και μια Android εφαρμογή για την ενημέρωση του χρήστη, χωρίς όμως να υπάρχουν αισθητήρες μέτρησης του pH, του οξυγόνου και της αμμωνίας.

Σε άλλο σύστημα που έχει αναπτυχθεί, παρακολουθείται η ποιότητα του νερού που ζουν τα ψάρια. Και εδώ, καταγράφονται οι τιμές του pH του νερού και της θερμοκρασίας του, αλλά και τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών και αμμωνίας. Η μέτρηση της αμμωνίας και των θρεπτικών συστατικών στο νερό γίνονται με την χρήση χημικών αντιδραστηρίων τεστ που

εντοπίζουν τα επίπεδα συγκέντρωσης στα παραπάνω στοιχεία, και αυτό γιατί το κόστος για εξειδικευμένους αισθητήρες είναι απρόσιτο. Το δείγμα αναμειγμένο με το τεστ παράγουν ένα αποτέλεσμα, και με βάση το χρώμα του, ο χρήστης αντιλαμβάνεται τυχόν ελλείψεις στις ουσίες που απαιτούνται. Επίσης χρησιμοποιείται βιολογικό φίλτρο για την μετατροπή της αμμωνίας σε θρεπτικές για τα φυτά ουσίες. Έτσι, ο χρήστης είναι σε θέση να γνωρίζει πότε και αν υπάρχει στο σύστημά του μεγαλύτερη συγκέντρωση αμμωνίας, ουσίας τοξικής για τα ψάρια, και με το φίλτρο καθίσταται πιο εύκολη και προσιτή η διαδικασία της μετατροπής [27]. Εδώ παρατηρούμε ότι ο έλεγχος του pH γίνεται χειροκίνητα, χωρίς να υπάρχει κάποιο είδος αυτοματισμού.

Μελέτη που έγινε το 2019 στις ΗΠΑ είχε ως στόχο την δημιουργία ενός συστήματος υδροπονίας με IoT αυτοματισμούς εγκατεστημένο στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου έκτασης 10 τετραγωνικών μέτρων, με σκοπό την κάλυψη των αναγκών της τοπικής κοινωνίας. Οι Xiao et. al. τοποθέτησαν μια πληθώρα αισθητήρων στο θερμοκήπιο για τη συλλογή δεδομένων, όπως συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, υγρασίας και φωτισμού. Επιπρόσθετα, στο σύστημα υπάρχουν αντλίες αέρα και άλλες συσκευές οι οποίες ελέγχονται από τους εκάστοτε αισθητήρες που συλλέγουν τα δεδομένα με σκοπό να διατηρηθεί το εσωτερικό περιβάλλον σταθερό. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται μέσω του ZigBee σε ηλεκτρονικό υπολογιστή απ' όπου ενημερώνεται το σύννεφο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αποθήκευση των δεδομένων για μεταγενέστερη ανάλυση, αλλά και η εύκολη πρόσβαση σε αυτά από τους χρήστες. Στην μελέτη αυτή ελέγχονται 6 παράγοντες, η υγρασία, η θερμοκρασία, το CO₂, η ακτινοβολία του φωτός, το pH και η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο. Μετά από την συλλογή τους, τα δεδομένα αποστέλλονται στον διακομιστή νέφους με τη χρήση σημάτων 2,5 G. Πλέον είναι προσβάσιμα όλα τα στοιχεία στον τελικό χρήστη ώστε να πάρει μια απόφαση ή να εκτελέσει μια ενέργεια [28]. Σε αντίθεση με την δική μας εργασία ο αυτοματισμός σταματά σε αυτό το σημείο και δεν υπάρχουν λειτουργίες οι οποίες εκτελούνται αυτόματα μετά την λήψη των μετρήσεων.

Μια ακόμη μελέτη του 2019 έγινε με σκοπό να παροτρύνει τους μαθητές να αντιμετωπίζουν διάφορες πτυχές της καθημερινής ζωής με την χρήση της τεχνολογίας. Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας σε θερμοκήπιο, με την χρήση μονοκρυσταλλικού πάνελ 50W για την παροχή ηλιακής ενέργειας, το οποίο παρακολουθείται από έναν μικροεπεξεργαστή Arduino συνδεδεμένο με διάφορους τύπους αισθητήρων. Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν φαινόμενα της βιολογίας, της φυσικής και της χημείας και μπορούν επίσης να παρακολουθήσουν τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται σε ένα ενυδρείοπονικό σύστημα. Χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες για την ανίχνευση του φωτός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος, καθώς και ένας αδιάβροχος αισθητήρας θερμοκρασίας του νερού της δεξαμενής με τα ψάρια [29]. Η κύρια διαφορά με την δική μας κατασκευή είναι πως και εδώ δεν πραγματοποιείται κανένας αυτοματισμός. Αντίθετα γίνεται συλλογή των μετρήσεων κάθε 28 ημέρες, στατιστική ανάλυση των πληροφοριών και σύγκρισή τους με τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών και των ψαριών.

Σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα που αναπτύχθηκε για την καλλιέργεια μαρουλιού, ο κατασκευαστής επέλεξε να καταγράψει τα επίπεδα του pH και την θερμοκρασίας του νερού της δεξαμενής με τα ψάρια. Χρησιμοποιήθηκε ένας μικροεπεξεργαστής Intel Edison ο οποίος συνεχώς στέλνει τις μετρήσεις των αισθητήρων και προσαρμόζει αυτόματα τα επίπεδα αυτών όταν οι ενδείξεις το επιβάλλουν. Επίσης, γίνεται αυτόματη συμπλήρωση νερού όταν χρειαστεί. Τέλος, το σύστημα αυτό περιλαμβάνει και μια κάμερα για την βιντεοσκόπηση της κατασκευής αλλά και μια ιστοσελίδα και εφαρμογή σε Android για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων [30]. Σε σύγκριση με την δική μας κατασκευή, εδώ γίνεται αποκλειστικά έλεγχος των συνθηκών στην δεξαμενή με τα ψάρια, την στιγμή που εμείς καταγράφουμε και τιμές στην ρίζα της καλλιέργειας αλλά και τις τιμές των περιβαλλοντολογικών συνθηκών εντός του θερμοκηπίου. Βέβαια, εδώ έχει χρησιμοποιηθεί και κάμερα, που εμείς δεν έχουμε συμπεριλάβει στην κατασκευή μας, και έχει κατασκευαστεί και ιστοσελίδα.

Μια διαφορετική προσέγγιση ακολούθησαν οι Vernandhes et. al. το 2017, οι οποίοι ανέπτυξαν ένα αυτοματοποιημένο ενυδρειοπονικό σύστημα σε κλειστό υπόγειο χώρο. Για να γίνει η προσομοίωση των συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος, τοποθετήθηκαν λάμπες LED για την κάλυψη των αναγκών των φυτών σε φως, σύστημα κλιματισμού και θέρμανσης καθώς και σύστημα εξαερισμού για την εύκολη χειραγώγηση και προσαρμογή των συνθηκών στο εσωτερικό του υπογείου. Η επίτευξη των ιδανικών συνθηκών για τα φυτά επετεύχθη με την τοποθέτηση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος, αισθητήρων υγρασίας εδάφους, αισθητήρα φωτός, καθώς και αισθητήρων διοξειδίου του άνθρακα [31]. Εδώ, η κύρια διαφορά με την δική μας περίπτωση είναι ότι εμείς έχουμε επιλέξει μια κάθετη εγκατάσταση, η οποία είναι ιδανική για εξοικονόμηση χώρου. Μια ακόμα διαφορά είναι ότι το δικό μας σύστημα είναι αυτοματοποιημένο χωρίς την δυνατότητα απενεργοποίησης των αυτοματισμών του.

Σε επόμενη έρευνα, έχει αναπτυχθεί σύστημα ενυδρειοπονίας για οικιακή καλλιέργεια, με την χρήση αισθητήρα θερμοκρασίας νερού και ενός μηχανισμού μέτρησης της ροής του νερού. Με την σύνδεση των μηχανισμών με μικροελεγκτή, επιτυγχάνεται ο απομακρυσμένος έλεγχος της ροής του νερού ενώ χρησιμοποιείται και μια κάμερα για την βιντεοσκόπηση της κατασκευής η οποία είναι προσβάσιμη στον χρήστη μέσω μιας ιστοσελίδας [32]. Στην δική μας περίπτωση μελετάμε περισσότερες περιβαλλοντολογικές συνθήκες, χωρίς όμως να καταγράφουμε την εικόνα του χώρου του θερμοκηπίου.

Σε βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποίησαν οι Defa et. al. το 2019, σχεδιάστηκε σε θεωρητική βάση ένα ενυδρειοπονικό σύστημα για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του pH του νερού. Στη συνέχεια, έγινε προσομοίωση με την βοήθεια της πλατφόρμας Antares, τα αποτελέσματα της οποίας δείχνουν πως το σύστημα θα μπορούσε να διατηρήσει αυτόματα την κατάσταση του νερού με pH από 6,3 έως 7,7, και μέση μείωση του κατά 0,023 ανά ημέρα. Ο έλεγχος του pH πραγματοποιείται ανά 42 δευτερόλεπτα, και τα δεδομένα αποστέλλονται στην πλατφόρμα κάθε 1 λεπτό [33]. Η ενσωμάτωση της παραπάνω μελέτης θα μπορούσε να επεκτείνει μελλοντικά το δικό μας σύστημα, καθώς η σταθεροποίηση του pH παίζει κομβικό ρόλο στην ευημερία των ψαριών.

Κεφάλαιο 3 Υλοποίηση

3.1 Η κατασκευή

Μετά από εκτενή μελέτη των διαφόρων συστημάτων ενυδραιοπονίας καταλήξαμε στην επιλογή ενός κάθετου συστήματος. Πρωταρχικός μας στόχος ήταν η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών ώστε να εκμηδενίσουμε το κόστος κατασκευής και να παρουσιάσουμε ένα σύστημα άμεσα υλοποιήσιμο.

3.1.1 Κάθετα ενυδραιοπονικά συστήματα

Κάθετο σύστημα ενυδραιοπονίας χαρακτηρίζεται το σύστημα που αναπτύσσεται στον κατακόρυφο άξονα, δηλαδή προς τα πάνω. Αυτό μπορεί να αυξήσει το μέγεθος του αναπτυσσόμενου χώρου χωρίς την ανάγκη για περισσότερη έκταση στο έδαφος. Η επιλογή αυτή μπορεί να είναι αρκετά ελκυστική. Μια απλοποιημένη έκδοση του είναι εκείνη κατά την οποία το «κρεβάτι» ανάπτυξης των φυτών αναπτύσσεται πάνω από τη δεξαμενή με τα ψάρια. Όμως, ένα πραγματικό κατακόρυφο σύστημα θα πρέπει να επικεντρώνεται στην καλλιέργεια όσο το δυνατόν περισσότερων φυτών το ένα πάνω στο άλλο.

Το τέχνασμα για ένα επιτυχημένο σύστημα κάθετης ενυδραιοπονίας είναι να διασφαλιστεί ότι υπάρχει αρκετός χώρος για να αναπτυχθεί το κάθε φυτό και να λαμβάνει επαρκείς ποσότητες φωτός. Το πλεονέκτημα των κάθετων πύργων είναι ότι μπορούν να υπάρξουν καλλιέργειες που τα φυτά αναπτύσσονται αποτελεσματικά το ένα πάνω στο άλλο, ελαχιστοποιώντας την απόσταση μεταξύ τους. Αυτό επιτρέπει σε έναν ενιαίο κάθετο πύργο ύψους 2 μέτρων να διατηρεί τον ίδιο αριθμό φυτών με ένα σύστημα που καταλαμβάνει 10 τετραγωνικά μέτρα σε ένα επίπεδο. Έτσι γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στον ίδιο χώρο που καταλαμβάνει ένα συμβατικό σύστημα ενυδραιοπονίας, μπορούν να αναπτυχθούν πολλά περισσότερα κάθετα συστήματα, γεγονός το οποίο μεγιστοποιεί την παραγωγή.



Σχήμα 3.1 Κάθετο σύστημα ενυδρειοπονίας

3.1.2 Η καλλιέργεια

Με βάση μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2015 [34], πράσινα λαχανικά με φύλλα και βότανα είναι οι πιο συνηθισμένες καλλιέργειες που εμφανίζονται σε συστήματα ενυδρειοπονίας αλλά και αυτές με την μεγαλύτερη επιτυχία. Έτσι, καλλιέργειες βασιλικού, χόρτων για σαλάτα, μαρουλιού, λάχανου, σέσκουλου και κρεμμυδιού παρατηρούνται στα περισσότερα ενυδρειοπονικά συστήματα. Ντομάτες και αγγουράκια είναι λαχανικά που επίσης καλλιεργούνται σε μεγάλο βαθμό, αλλά λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που αυτά απαιτούν, αποτελούν πιο εξειδικευμένες καλλιέργειες που προϋποθέτουν κάποια εμπειρία.

Στην δική μας ενυδρειοπονική εγκατάσταση επιλέξαμε να καλλιεργήσουμε μαρούλι, βασιλικό και κρεμμύδι. Για την αποδοτική καλλιέργεια των παραπάνω λαχανικών χρειάστηκε να μελετήσουμε τις συνθήκες στις οποίες αυτά ευδοκιμούν. Παρακάτω αναφέρονται λεπτομερώς ποιες περιβαλλοντικές συνθήκες επιτρέπουν στα λαχανικά να αποδώσουν τα μέγιστα.

Μαρούλι: Η θερμοκρασία του νερού για την βέλτιστη παραγωγή μαρουλιού πρέπει να κυμαίνεται από 21 μέχρι 23 ° C. Αυτή η θερμοκρασία είναι ιδανική και για τα ψάρια, γεγονός που κάνει το μαρούλι μια από τις πιο αποδοτικές καλλιέργειες στα ενυδρειοπονικά συστήματα.

Επίσης σημαντικό είναι ο χώρος της εγκατάστασης να αερίζεται έτσι ώστε το μαρούλι να μπορεί να αποκομίσει τις θρεπτικές ουσίες που χρειάζεται. Το pH του νερού πρέπει να κυμαίνεται από 5.8 μέχρι 6.2 αν και μικρές αποκλίσεις δεν επηρεάζουν κατά πολύ το αποτέλεσμα.

Βασιλικός: Το μυρωδικό αυτό φυτό έχει μια φυσική αντοχή στην ζέστη και την υγρασία, καθιστώντας το έτσι ένα από τα πιο διαδεδομένα φυτά σε ενυδρειοπονικές καλλιέργειες. Η κατάλληλη θερμοκρασία νερού για την καλλιέργεια βασιλικού είναι μεταξύ 20 και 25 ° C. Το pH που ενδείκνυται κυμαίνεται μεταξύ 5.5 και 6.5. Τέλος, ο βασιλικός θέλει έκθεση στον ήλιο για να αποδώσει τα βέλτιστα επίπεδα παραγωγής.

Κρεμμύδι: Χαρακτηριστικό γνώρισμα του κρεμμυδιού είναι η ανοχή του στις χαμηλές θερμοκρασίες αφού μπορεί να επιβιώσει και να αναπτυχθεί όσο η θερμοκρασία του αέρα και του νερού παραμένει άνω των 5 °C, παρόλα αυτά η ιδανική θερμοκρασία νερού για την καλλιέργεια κρεμμυδιού είναι στους 23 με 24 ° C. Από την άλλη θερμοκρασία περιβάλλοντος πρέπει να είναι στα ίδια επίπεδα με αυτή του νερού, ο βολβός του κρεμμυδιού μπορεί να ανταπεξέλθει σε θερμοκρασίες μέχρι τους 32 °C. Το ιδανικό pH για την καλλιέργεια κρεμμυδιού είναι στα επίπεδα του 6 με 7. Αυτό το ουδέτερο pH επιτρέπει στο κρεμμύδι να αναπτύξει την γεύση του αλλά ταυτόχρονα είναι ιδανικό και για τα ψάρια αλλά και για τα περισσότερα λαχανικά, επιτρέποντας το κρεμμύδι να αποτελέσει τμήμα ενός μεγαλύτερου συστήματος.

Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση και το περιβάλλον στο οποίο θα φιλοξενηθούν τα ψάρια και τα φυτά μας πρέπει να πληρούν τις εξής προδιαγραφές: η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι σταθερά στους 23 °C, ενώ το pH του πρέπει να έχει τιμή από 6 μέχρι 6.2. Επιπλέον, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος θα πρέπει να είναι επίσης γύρω στους 23 °C. Τέλος, και τα τρία διαφορετικά λαχανικά που καλλιεργούμε έχουν αντοχή σε υψηλά επίπεδα υγρασίας καθιστώντας τα ιδανικά για οποιαδήποτε ενυδρειοπονική καλλιέργεια.

Τα παραπάνω νούμερα τα πετύχαμε με την χρήση μικροελεγκτών που αλληλεπιδρούν αρμονικά μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον που έχουν εγκατασταθεί κάτω από το φάσμα του IoT. Χρησιμοποιήσαμε αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας του νερού και του περιβάλλοντος, αισθητήρες μέτρησης της υγρασίας, αισθητήρα μέτρησης του pH του νερού και με τις κατάλληλες μεθόδους, που θα συζητηθούν στην συνέχεια, γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες για την επίτευξη των επιθυμητών τιμών.

Εκτός όμως από τα φυτά, στο σύστημά μας εμπεριέχονται και τα ψάρια. Για να λειτουργήσει αποδοτικά ένα ενυδρειοπονικό σύστημα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη ποσότητα ψαριών, ούτε περισσότερα γιατί θα προκληθεί συνωστισμός στις δεξαμενές, γεγονός που προκαλεί στα ψάρια άγχος που τα σκοτώνει, αλλά ούτε και λιγότερα, γιατί δεν θα είναι επαρκής ο εμπλουτισμός του νερού σε θρεπτικά για τα φυτά στοιχεία. Για να γίνει κάτι τέτοιο, πρέπει να υπολογιστεί η συνολική βιομάζα των ψαριών η οποία δεν πρέπει να ξεπερνάει το 0.06 kg/l [9]. Για να μειωθεί το στρες των ψαριών που προκαλείται από τον συνωστισμό και

να παραμείνουν αυτά υγιή, επιβάλλεται η σωστή, από άποψη χρόνου και ποσότητας, διατροφή τους.

3.1.3 Το σύστημα

Στην δική μας περίπτωση, υλοποιήσαμε ένα κάθετο σύστημα τριών πύργων με διαφορετική καλλιέργεια, από τρία φυτά ο καθένας. Κάτω από τους πύργους βρίσκεται η δεξαμενή με τα ψάρια. Μια αντλία οδηγεί το νερό μέσα από τα φυτά ώστε να καταλήξει πάλι καθαρό στη δεξαμενή, χωρητικότητας 18 λίτρων. Για να διατηρήσουμε την βιομάζα του συστήματος στα επιθυμητά επίπεδα (κάτω του 0.06 kg/l), στα 18 λίτρα η συνολική βιομάζα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 1.08 kg. Έτσι, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε 9 χρυσόψαρα, και αυτό γιατί το κάθε ένα από αυτά ζυγίζει γύρω στα 110 γραμμάρια, στο σύνολό τους 990g. Με αυτόν τον τρόπο, κρατάμε τα επίπεδα της βιομάζας των δεξαμενών εντός των συνιστώμενων επιπέδων έτσι ώστε να μπορέσουν να προσφέρουν στα φυτά τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες που αυτά χρειάζονται στον πιο αποτελεσματικό βαθμό.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε το υπόστρωμα το οποίο χρησιμοποιήσαμε. Αρχικά δοκιμάσαμε περλίτη, ένα από τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα, αλλά οι πολύ λεπτοί του κόκκοι έφραξαν τις σωληνώσεις. Έπειτα τοποθετήσαμε χαλίκι αλλά παρατηρήθηκε αλλοίωση της ποιότητας του νερού. Έτσι καταλήξαμε στην διογκωμένη άργιλο όπως φαίνεται και στις εικόνες.

Αρχικά, για την στήριξη του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν τρία καλάμια μπαμπού και ανακυκλώθηκε ένα παλιό γραφείο. Τα μπαμπού αφού κόπηκαν κοντά στη ρίζα, για να είναι όσο το δυνατόν πιο δυνατά, και στο ύψος των δύο μέτρων, καθαρίστηκαν από τα φύλλα και τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου το οποίο προϋπήρχε της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 3.2 Θερμοκήπιο

Τα καλάμια τοποθετήθηκαν στην ίδια ευθεία και σε απόσταση 50 εκατοστών μεταξύ τους, ώστε πάνω τους να βιδωθούν τα μπουκάλια.



Σχήμα 3.3 Αρχικό στάδιο κατασκευής

Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιήσαμε 9 μπουκάλια του 1,5 λίτρου, τα οποία κόψαμε στα κατάλληλα σημεία ώστε να τοποθετηθούν αργότερα το υπόστρωμα και τα φυτά.



Σχήμα 3.4 Υπόστρωμα διογκωμένης αργίλου

Επίσης έγινε μια τρύπα στα καπάκια ώστε να μπορεί να εξέρχεται το νερό από το ένα μπουκάλι στο άλλο και να επιστρέφει πίσω στην δεξαμενή.



Σχήμα 3.5 Διάτρηση και σωλήνωση

Μια τρύπα έγινε στο κάτω μέρος των μπουκαλιών που βρίσκονται στην κορυφή κάθε πύργου ώστε να συνδεθεί η σωλήνα παροχής νερού και να ποτίζονται τα φυτά.



Σχήμα 3.6 βάνα τοποθετημένη στο μπουκάλι

Τέλος για να πάρουν την τελική μορφή τους οι πύργοι, τοποθετήθηκαν τα μπουκάλια το ένα μέσα στο άλλο και βιδώθηκαν πάνω στα καλάμια μπαμπού.

Στο πάνω μέρος της κατασκευής τοποθετήθηκαν προσωρινά τρεις χειροκίνητες βάνες Φ16 ώστε να ελέγχεται το πότισμα των τριών καλλιεργειών. Οι βάνες αυτές αργότερα θα αντικατασταθούν από ηλεκτρονικές βάνες οι οποίες θα ελέγχονται αυτόματα μέσα από το Arduino.



Σχήμα 3.7 Διασωλήνωση κάθετου πύργου

Για την κατασκευή της δεξαμενής που θα φιλοξενήσει τα ψάρια, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν δύο ανακυκλωμένα μπουκάλια νερού των 10 λίτρων.



Σχήμα 3.8 Δεξαμενή 10 λίτρων

Η σύνδεσή τους επιτεύχθηκε με την χρήση σωλήνα Φ50 και μονωτικής ταινίας. Έτσι οι δεξαμενές μπορούν να λειτουργήσουν πλέον σαν συγκοινωνούντα δοχεία που επιτρέπουν στα ψάρια το πέρασμα από τη μία δεξαμενή στην άλλη.



Σχήμα 3.9 Σύνδεση των δύο δεξαμενών

Στο πάνω μέρος των δύο δεξαμενών υπάρχουν εγκοπές για την τοποθέτηση και το τάισμα των ψαριών καθώς και τρύπες που αντιστοιχούν στις σωλήνες επιστροφής του νερού. Οι σωλήνες αυτές είναι τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο ώστε το νερό να πέφτει από ύψος και να δημιουργούνται φυσαλίδες για να οξυγονώνεται το νερό. Παρόλα αυτά για να αποφύγουμε την έλλειψη οξυγόνου στην δεξαμενή με τα ψάρια τοποθετήσαμε μια μικρή αντλία αέρα ικανή για την διοχέτευση του αέρα στην δεξαμενή αλλά και αθόρυβη χωρίς να διαταράσσει την ηρεμία των ψαριών.

Τέλος, αφού συνδέθηκαν όλα τα υδραυλικά μέρη με εύκαμπτο σωλήνα Φ16, το μόνο που έλειπε να γίνει ήταν η τοποθέτηση μιας αντλίας νερού στην δεξαμενή ώστε να αρχίσει πλέον ο κύκλος του νερού, να ποτίζονται δηλαδή τα φυτά και το νερό να επιστρέφει φιλτραρισμένο πλέον στη δεξαμενή, αφού έχουν απορροφηθεί όλες οι θρεπτικές ουσίες των περιττωμάτων από τις ρίζες. Έτσι, στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ολοκληρωμένη πλέον την κατασκευή με ορισμένες από τις καλλιέργειες να έχουν ήδη αναπτυχθεί.



Σχήμα 3.10 Η ολοκληρωμένη κατασκευή

Στο σύστημα αυτό τοποθετήθηκαν κατά σειρά από αριστερά προς δεξιά οι εξής καλλιέργειες: κρεμμύδι, βασιλικός και μαρούλι. Τα ψάρια που επιλέχθηκαν και τελικά τοποθετήθηκαν στην δεξαμενή είναι χρυσόψαρα καθώς είναι πολύ ανθεκτικά σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, συνυπάρχουν αρμονικά και έχουν εξαιρετικά χαμηλό κόστος αγοράς. Το σύστημα πλέον είναι έτοιμο για την τοποθέτηση των αισθητήρων, ξεκινώντας από την τοποθέτηση αισθητήρων υγρασίας εδάφους στα φυτά.

3.2 Μικρο ελεγκτές

Οι μικροελεγκτές μονής πλακέτας έκαναν την εμφάνισή τους για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 70, όταν η ανάπτυξη πρώιμων μικροεπεξεργαστών, όπως οι 6502 και Z80 [35], κατέστη εφικτή την δημιουργία και ενσωμάτωση ενός ελεγκτή σε μία πλακέτα. Από τότε, έγιναν αρκετές απόπειρες κατασκευής μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών από διάφορες εταιρίες (π.χ. Intel) αλλά οι συσκευές αυτές έγιναν ευρέως γνωστές με την κυκλοφορία του πρώτου Arduino το 2000. Από τότε μέχρι σήμερα έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο πληθώρα μικροελεγκτών.

3.2.1 Arduino

Το Arduino ξεκίνησε σαν ιδέα στο Interaction Design Institute Ivrea (IDII) στην Ivrea της Ιταλίας με στόχο την κατασκευή απλών εργαλείων χαμηλού κόστους για τη δημιουργία ψηφιακών έργων, καθώς μέχρι τότε το κόστος ήταν απαγορευτικό για πολλούς φοιτητές [36]. Η πλατφόρμα αποτελούνταν από μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board, PCB), αρχικά με έναν μικροελεγκτή ATmega168 και αργότερα με τον οικονομικότερο ATmega8 και ένα IDE (λογισμικό) όπου εκτελούνται λειτουργίες επεξεργασίας και προσθήκης βιβλιοθηκών για τον εύκολο προγραμματισμό του μικροελεγκτή.

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικρο ελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Sketch. Μία πλακέτα Arduino αποτελείται από ένα μικροεπεξεργαστή Atmel AVR και συμπληρωματικά εξαρτήματα για την διευκόλυνση του χρήστη στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωσή του σε άλλα κυκλώματα. Όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5V και έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16MHz.

Σε εννοιολογικό επίπεδο, στην χρήση του Arduino, όλες οι πλακέτες προγραμματίζονται με μία RS-232 σειριακή σύνδεση, αλλά ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό διαφέρει αναλόγως την εκδοχή. Οι σειριακές πλακέτες Arduino περιέχουν ένα απλό κύκλωμα αλλαγής πεδίου (level shifter) για την μετατροπή του σήματος επιπέδου RS-232 σε σήμα TTL. Τα σημερινά Arduino προγραμματίζονται μέσω USB λόγω της εφαρμογής προσαρμοσμένων τσιπ USB-to-Serial όπως το FTDI FT232. Κάποιες παραλλαγές, όπως το Arduino Mini και το ανεπίσημο Boarduino χρησιμοποιούν ένα αφαιρούμενο USB-to-Serial καλώδιο ή πλακέτα, Bluetooth και άλλες μεθόδους.

Το Arduino διαθέτει τις περισσότερες ακίδες εισόδου / εξόδου για σύνδεση με άλλα κυκλώματα σε σχέση με τους υπόλοιπους μικρο ελεγκτές. Τα Diecimila, Duemilanove και το τρέχον Arduino Uno, παρέχουν 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου / εξόδου, έξι από τις οποίες παράγουν σήματα παλμού, και άλλες έξι για αναλογική σύνδεση. Αυτές οι ακίδες βρίσκονται στην κορυφή του πίνακα μέσω θηλυκών ακροδεκτών 0.1 ιντσών (2,2mm).

3.2.2 WeMos D1R2

Στην παρούσα εργασία επιλέξαμε τον μικρο ελεγκτή WeMos D1R2 κυρίως λόγω της επέκτασης WiFi που διαθέτει με το ενσωματωμένο τσιπ ESP8266-12. Η πλακέτα του WeMos D1R2 έχει σχεδιαστεί με βάση το Arduino Uno, που σημαίνει ότι λειτουργεί σαν τέτοιο. Επιπλέον πολλές ασπίδες, αισθητήρες και συσκευές εξόδου που κατασκευάζονται για την πλατφόρμα του Arduino μπορούν να λειτουργήσουν και στο WeMos D1R2. Η κύρια διαφορά των δύο παρατηρείται στις ακίδες εισόδου και εξόδου που βρίσκονται στο πάνω μέρος της πλακέτας.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι διαφορές του WeMos D1R2 σε σύγκριση με το Arduino Uno. Ο πίνακας αυτός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος κατά τον προγραμματισμό μιας τέτοιας πλακέτας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα προγράμματα που έχουν γραφτεί για το Arduino Uno θα πρέπει να τροποποιηθούν λίγο στις κατάλληλες αναθέσεις των ακίδων του WeMos D1R2.

Arduino-UNO			WeMos-D1R2	
SCL	I2C: SCL	→	GPIO05	I2C: SCL
SDA	I2C: SDA	→	GPIO04	I2C: SDA
AREF		→		
GND		→	GND	
GPIO13	SPI: SCK	→	GPIO14	SCK
GPIO12	SPI: MISO	→	GPIO12	MISO
GPIO11	SPI: MOSI	→	GPIO13	MOSI
GPIO10	SPI: SS	→	GPIO15	SS
GPIO9		→	GPIO13	

Arduino-UNO			WeMos-D1R2	
GPIO8		→	GPIO12	
GPIO7		→	GPIO14	
GPIO6		→	GPIO2	
GPIO5		→	GPIO0	
GPIO4		→	GPIO4	
GPIO3		→	GPIO5	
GPIO2		→	GPIO16	
GPIO1	TX	→	GPIO01	TX0
GPIO0	RX	→	GPIO03	RX0

Σχήμα 3.11 Διαφορές μεταξύ των ακίδων Εισόδου / Εξόδου

3.2.2.1 Διασύνδεση WeMos D1R2 με τον υπολογιστή

Η πλακέτα WeMos D1R2 συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω ενός καλωδίου USB. Το λειτουργικό σύστημα αναγνωρίζει την συσκευή και εγκαθιστά το πρόγραμμα οδήγησης. Αφού βεβαιώθηκε ότι το WeMos D1R2 και ο υπολογιστής επικοινωνούν σωστά μεταξύ τους μέσα από την λειτουργία «Διαχείριση Συσκευών», προχωρήσαμε στην Εγκατάσταση του λογισμικού Arduino / IDE. Τέλος, αφού κάναμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις και ενημερώσεις, ενεργήσαμε αντίστοιχα ώστε η πλακέτα WeMos D1R2 να προστεθεί στο λογισμικό Arduino / IDE εγκαθιστώντας τις προβλεπόμενες βιβλιοθήκες. Η πλακέτα είναι πλέον έτοιμη για προγραμματισμό.

3.2.3 Προγραμματισμός πλακέτας

Με τον μικρο ελεγκτή πλέον συνδεδεμένο με τον υπολογιστή και πλήρως αναγνωρίσιμο από το λειτουργικό σύστημα ξεκινήσαμε την συγγραφή του κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού Sketch, ώστε να εκτελεί τις κατάλληλες λειτουργίες με βάση τις ενδείξεις των αισθητήρων που έχουμε τοποθετήσει στον χώρο. Παρακάτω αναλύεται τμηματικά ο κώδικας με τον οποίο προγραμματίστηκε το Wemos D1R2.

```
1  #include <DHTesp.h>
2  #include <FirebaseESP8266.h>
3  #include <ESP8266WiFi.h>
4  #include <SoftwareSerial.h>
5  #include <DallasTemperature.h>
6  #include <OneWire.h>
7
8  #define SOLENOID1 12
9  #define SOLENOID2 13
10 #define SOLENOID3 14
11 #define DHT_PIN 15
12 #define ONE_WIRE_BUS 4
13 #define BASILMOIST A0
14 #define LETTUCEMOIST A1
15 #define ONIONMOIST A2
16 #define FIREBASE_HOST "https://aquadb-54df6.firebaseio.com"
17 #define FIREBASE_AUTH "moruyim2VRiJ4CYdx0iqwc7gtXnkAECy0AttIJk3"
18
19 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
20 DallasTemperature sensors(&oneWire);
21 FirebaseData firebaseData;
22 DHTesp DHT;
23
24 int i=0;
25 int dry= 1023;
26 int wet= 439;
27 double basil_moist=0;
28 double lettuce_moist=0;
29 double onion_moist=0;
30 double air_temp=0;
31 double air_humidity=0;
32 double water_ph=0;
33 double water_temp=0;
34 unsigned long current_time=0;
35 unsigned long last_db_update=0;
```

Σχήμα 3.12 Ανάλυση κώδικα WeMos D1R2

Αρχικά, στις γραμμές 1-6 γίνεται εισαγωγή των βιβλιοθηκών οι οποίες είναι απαραίτητες για την αναγνώριση πολλών λειτουργιών κατά την εκτέλεση του προγράμματος. Ορισμένες από τις λειτουργίες αυτές αποτελούν η αναγνώριση των αισθητήρων, του WiFi τσιπ, το οποίο είναι προ εγκατεστημένο πάνω στον μικροεπεξεργαστή μας, αλλά και η πολύ σημαντική σύνδεση με του Cloud Firebase. Στην συνέχεια, στις γραμμές 8 με 17 γίνεται ο ορισμός των ακίδων με τις κατάλληλες μεταβλητές οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για τον προγραμματισμό των αισθητήρων. Μέχρι την γραμμή 35 βλέπουμε το κομμάτι του κώδικα όπου γίνεται η δημιουργία των κλάσεων και η αρχικοποίηση όλων των μεταβλητών που θα συναντήσουμε στο κυρίως πρόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, στις γραμμές 25 και 26 η μεταβλητή `dry` δηλώνει το κάτω όριο της τιμής της υγρασίας εδάφους, δηλαδή την ξηρασία του υποστρώματος, ενώ η μεταβλητή `wet` αντίστοιχα δηλώνει το άνω όριο που δείχνει ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους, δηλαδή όταν το υπόστρωμα είναι εντελώς υγρό. Οι δύο αυτές μεταβλητές είναι κομβικής σημασίας καθώς θα χρησιμοποιηθούν για την μετατροπή των τιμών του δείχνει ο αισθητήρας σε τιμές κατανοητές από τον άνθρωπο.

```
36 void setup(void)
37 {
38     Serial.begin(9600);
39     sensors.begin();
40     pinMode(DHT_PIN, INPUT); // Define dht pin type as input
41     pinMode(SOLENOID, OUTPUT); // Define Solenoid pin as output
42     DHT.setup(DHT_PIN, DHTesp::DHT11);
43     // connect to wifi.
44     //WiFi.begin("CYTACD1E", "ZTEEF4AF7M05361");
45     WiFi.begin("COSMOTE-05495C", "2662024949");
46     Serial.print("connecting");
47     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
48         Serial.print(".");
49         delay(500);
50     }
51
52     Serial.println();
53     Serial.print("connected: ");
54     Serial.println(WiFi.localIP());
55
56     Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
57 }
58
59 int n=0;
```

Σχήμα 3.13 Ανάλυση Κώδικα WeMos D1R2

Ακολούθως, στις γραμμές 36 με 57 βρίσκεται το αρχικό σκέλος του προγράμματος όπου ξεκινούν όλες οι λειτουργίες που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα. Εδώ ορίζονται δύο από τις ψηφιακές ακίδες ως είσοδος και έξοδος αντίστοιχα και επιπροσθέτως γίνεται η σύνδεση στο τοπικό δίκτυο WiFi. Μόλις ο μικροελεγκτής συνδεθεί επιτυχώς με το Internet εμφανίζεται αντίστοιχο μήνυμα και ξεκινάει η σύνδεση με την βάση δεδομένων στο Firebase.

```

59 int n=0;
60 void loop(void)
61 {
62
63 //Ambient Temperature and Humodity
64 air_temp = DHT.getTemperature();
65 air_humidity = DHT.getHumidity();
66 Serial.print("Temperature:");
67 Serial.println(DHT.getTemperature());
68 Serial.print("Humidity:");
69 Serial.println(DHT.getHumidity());
70 delay(500);
71
72 //Water Temprature
73 sensors.requestTemperatures();
74 water_temp=sensors.getTempCByIndex(0);// Get Temperature in Celcius
75 Serial.print("Water Temperature:");
76 Serial.println(water_temp);
77
78 //Soil Moisture
79 basil_moist=analogRead(BASILMOIST);
80 basil_moist=map(basil_moist, dry, wet, 0, 100);// Soil Moisture Sensor Calibration
81 Serial.print("Soil Moisture:");
82 Serial.print(basil_moist);
83 delay(500);
84 //Solenoid
85 if (basil_moist<=50){
86 digitalWrite(SOLENOID1, LOW);// Open solenoid
87 Serial.println("soilmoist low");
88 }
89 else if (basil_moist>=70){
90 digitalWrite(SOLENOID1, HIGH); // Close solenoid
91 Serial.println("soilmoist high");
92 }

```

Σχήμα 3.14 Ανάλυση Κώδικα WeMos D1R2

Έχοντας περάσει πλέον στο κύριο μέρος του προγράμματος το οποίο αναπτύσσεται στις γραμμές 60 έως 176, συναντάμε αρχικά τον κώδικα για τον αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος DHT11, με τις κατάλληλες εκτυπώσεις ώστε να είναι πλήρως κατανοητός (γραμμές 63 έως 70). Συνεχίζοντας, στις γραμμές 73-76 λαμβάνουμε την ένδειξη του αισθητήρα θερμοκρασίας του νερού DS18B20 που είναι τοποθετημένος στην δεξαμενή με τα ψάρια. Στην συνέχεια, στις γραμμές 78 έως 124, ακολουθεί το κομμάτι του προγραμματισμού των τριών αισθητήρων υγρασίας εδάφους. Αρχικά παίρνουμε την μέτρηση από τον αισθητήρα και την μετατρέπουμε, μέσω της εντολής map, σε ποσοστιαία μορφή από 0 έως 100 %. Τέλος, ελέγχουμε με τη χρήση της εντολής if τα επίπεδα της υγρασίας και ανάλογα με την ένδειξη, ανοίγουμε ή κλείνουμε την ηλεκτρονική βάνα. Έτσι επιτυγχάνεται το αυτόματο πότισμα του φυτού και η ύπαρξη ιδανικής υγρασίας στο υπόστρωμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται τρεις φορές για τις τρεις διαφορετικές καλλιέργειες που υπάρχουν στο σύστημά μας.

```

94 //Soil Moisture
95 lettuce_moist=analogRead(LETTUCEMOIST);
96 lettuce_moist=map(lettuce_moist, dry, wet, 0, 100);// Soil Moisture Sensor Calibration
97 Serial.print("Soil Moisture:");
98 Serial.print(lettuce_moist);
99 delay(500);
100 //Solenoid
101 if (lettuce_moist<=50){
102     digitalWrite(SOLENOID2, LOW);// Open solenoid
103     Serial.println("soilmoist low");
104 }
105 else if (lettuce_moist>=70){
106     digitalWrite(SOLENOID2, HIGH); // Close solenoid
107     Serial.println("soilmoist high");
108 }
109 //Soil Moisture
110 onion_moist=analogRead(ONIONMOIST);
111 onion_moist=map(onion_moist, dry, wet, 0, 100);// Soil Moisture Sensor Calibration
112 Serial.print("Soil Moisture:");
113 Serial.print(soil_moist);
114 delay(500);
115 //Solenoid
116 if (onion_moist<=50){
117     digitalWrite(SOLENOID3, LOW);// Open solenoid
118     Serial.println("soilmoist low");
119 }
120 else if (onion_moist>=70){
121     digitalWrite(SOLENOID3, HIGH); // Close solenoid
122     Serial.println("soilmoist high");
123 }
124

```

Σχήμα 3.15 Ανάλυση Κώδικα WeMos D1R2

Το τελευταίο τμήμα του κώδικά μας περιλαμβάνει τις εντολές για την αποστολή των μετρήσεων στην βάση δεδομένων και την ενημέρωση των πινάκων της. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μία φορά την ημέρα.

```

125 //Convert all sensor readings to String
126 String airtemp = String(air_temp) + String("C");
127 String airhumidity = String(air_humidity) + String("%");
128 String soilmoist1 = String(basil_moist) + String("%");
129 String soilmoist2 = String(lettuce_moist) + String("%");
130 String soilmoist3 = String(onion_moist) + String("%");
131 String watertemp = String(water_temp) + String("C");
132 current_time = millis();
133
134 // if( (last_db_update == 0) || ((current_time-last_db_update) >= 86400000) ){//Push to database once a day
135
136 Serial.print("PUSHING TO FIRABASE :Temperature = ");
137 Serial.println(air_temp);
138 Serial.print("PUSHING TO FIRABASE :Humidity = ");
139 Serial.println(air_humidity);
140 Serial.print("PUSHING TO FIRABASE : SOIL MOISTURE = ");
141 Serial.println(basil_moist);
142 Serial.print("PUSHING TO FIRABASE : SOIL MOISTURE = ");
143 Serial.println(lettuce_moist);
144 Serial.print("PUSHING TO FIRABASE : SOIL MOISTURE = ");
145 Serial.println(onion_moist);
146 Serial.print("PUSHING TO FIRABASE : Water Temperature = ");
147 Serial.println(water_temp);
148 Serial.print("PUSHING TO FIRABASE : Water PH = ");
149 //Serial.println(water_ph);
150 //Push to Firebase Table for Current Readings
151
152 Firebase.setString(firebaseData, "/metrics2/air_temp", airtemp);
153 Firebase.setString(firebaseData, "/metrics2/air_humidity", airhumidity);
154 Firebase.setString(firebaseData, "/metrics2/basil_moist", soilmoist1);
155 Firebase.setString(firebaseData, "/metrics2/lettuce_moist", soilmoist2);
156 Firebase.setString(firebaseData, "/metrics2/onion_moist", soilmoist3);
157 Firebase.setString(firebaseData, "/metrics2/water_temp", watertemp);
158

```

Σχήμα 3.16 Ανάλυση Κώδικα WeMos D1R2

3.3 Αισθητήρες

Αισθητήρας ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία, και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Εφαρμογές αισθητήρων συναντάμε στην αυτοκινητοβιομηχανία, σε μηχανές, στην ιατρική, την βιομηχανία και την ρομποτική. Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και του IoT η χρήση αισθητήρων ολοένα και αυξάνεται [37].

Στο σύστημα που κατασκευάσαμε ενσωματώσαμε με επιτυχία τους διάφορους αισθητήρες για την λήψη των περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Έτσι χρησιμοποιήσαμε τρεις αισθητήρες μέτρησης της υγρασίας εδάφους, έναν αισθητήρα για την υγρασία και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τέλος, έναν αισθητήρα μέτρησης της θερμοκρασίας του νερού των δεξαμενών.

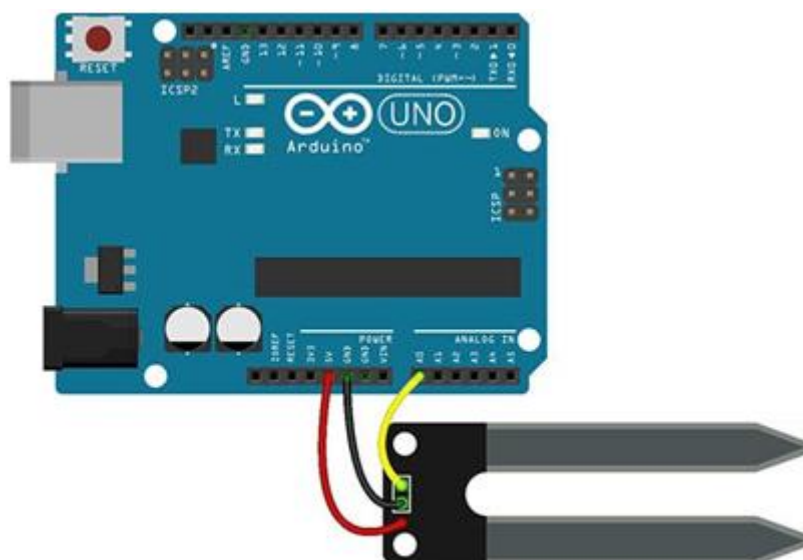
3.3.1 Αισθητήρας υγρασίας εδάφους

Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους αποτελείται από δύο ανιχνευτές που μετρούν την ποσότητα του νερού στο έδαφος. Οι δύο ανιχνευτές επιτρέπουν στο ηλεκτρικό ρεύμα να διέρχεται από το έδαφος και, σύμφωνα με την αντίστασή του, μετρά το επίπεδο υγρασίας του εδάφους. Όταν υπάρχει περισσότερο νερό, το έδαφος παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, πράγμα που σημαίνει ότι η αντίσταση θα είναι μικρότερη και έτσι το επίπεδο υγρασίας θα είναι υψηλότερο. Το ξηρό έδαφος μειώνει την αγωγιμότητα, επομένως, όταν υπάρχει λίγο νερό, υπάρχει και λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια που σημαίνει ότι η αντίσταση είναι μεγάλη. Έτσι το επίπεδο υγρασίας θα είναι χαμηλότερο.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων υγρασίας εδάφους στην αγορά, αλλά το βασικό τους έργο είναι παρόμοιο. Όλοι αυτοί οι αισθητήρες έχουν τουλάχιστον τρεις ακίδες: VCC, GND και A0. Ο πείρος A0 αλλάζει ανάλογα με την ποσότητα υγρασίας που εντοπίζεται στο έδαφος. Ορισμένα μοντέλα έχουν μια επιπλέον βάση που ονομάζεται D0. Εάν τα επίπεδα υγρασίας είναι μικρότερα από τα επιτρεπτά, τα οποία ορίζονται από το ποτενσιόμετρο του αισθητήρα, ο πείρος D0 θα έχει την τιμή "1", διαφορετικά θα παραμείνει "0".

3.3.1.1 Τρόποι σύνδεσης του αισθητήρα υγρασίας εδάφους με το WeMos D1R2

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ένας αισθητήρας υγρασίας εδάφους, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.19. Έχει μήκος ανίχνευσης 38mm και τάση λειτουργίας από 2 έως 5V. Έχει σχέδιο τύπου πιρουνιού, το οποίο καθιστά ευκολότερη την τοποθέτησή του στο έδαφος. Η αναλογική τάση εξόδου αυξάνεται μαζί με το επίπεδο υγρασίας του εδάφους. Η σύνδεση με το WeMos D1R2 επετεύχθει με ευκολία συνδέοντας τον ακροδέκτη A0 με οποιαδήποτε αναλογική ακίδα της πλακέτας, τα GND μεταξύ τους και το VCC με την 5V τάση της πλακέτας.



Σχήμα 3.17 Σύνδεση αισθητήρα υγρασίας εδάφους με Arduino

3.3.2 Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Ο αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος DHT11 καθιστά εύκολη την καταγραφή των μετρήσεων της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Είναι ιδανικό για απομακρυσμένους μετεωρολογικούς σταθμούς, οικιακά συστήματα περιβαλλοντικού ελέγχου και συστήματα παρακολούθησης αγροκτημάτων ή κήπων. Ο αισθητήρας καταγράφει τιμές υγρασίας από 20 έως 90 % με ακρίβεια $\pm 5\%$. Όσον αφορά την θερμοκρασία, το εύρος τιμών του DHT11 εκτείνεται από 0 έως 50 °C με ακρίβεια $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τέλος, η τάση που χρειάζεται για να λειτουργήσει κυμαίνεται από 3 έως 5V.

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιούμε τον αισθητήρα για να ελέγξουμε την υγρασία και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μας ώστε να πετύχουμε τις ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των φυτών που καλλιεργούνται εκεί και να αποφύγουμε ακραίες ενδείξεις που μπορεί να αποδειχθούν μοιραίες.

3.3.2.1 Σχετική υγρασία

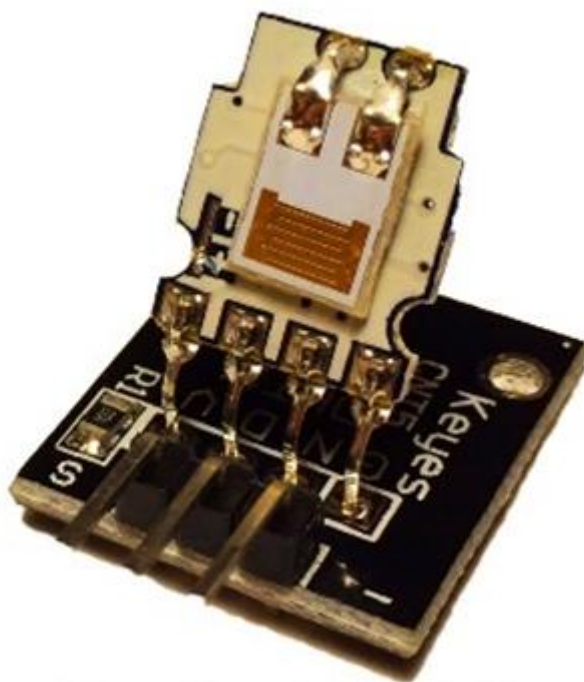
Ο αισθητήρας DHT11 μετρά τη σχετική υγρασία, η οποία είναι η ποσότητα των υδρατμών στον αέρα έναντι του σημείου κορεσμού τους. Στο σημείο κορεσμού, οι υδρατμοί αρχίζουν να συμπυκνώνονται και να συσσωρεύονται σε επιφάνειες που σχηματίζουν δροσιά. Το σημείο κορεσμού αλλάζει με τη θερμοκρασία του αέρα, δηλαδή ο κρύος αέρας μπορεί να

συγκρατήσει λιγότερους υδρατμούς προτού γίνει κορεσμένος ενώ αντίθετα ο ζεστός μπορεί να συγκρατήσει περισσότερους υδρατμούς πριν τον κορεσμό.

3.3.2.2 Μέτρηση υγρασίας και θερμοκρασίας

Ο αισθητήρας DHT11 ανιχνεύει υδρατμούς μετρώντας την ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Όταν ο υδρατμός απορροφάται από το υπόστρωμα, απελευθερώνονται ιόντα που αυξάνουν την αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η μεταβολή της αντίστασης μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη σχετική υγρασία, που σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η σχετική υγρασία τόσο μειώνεται η αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και αντίστροφα.

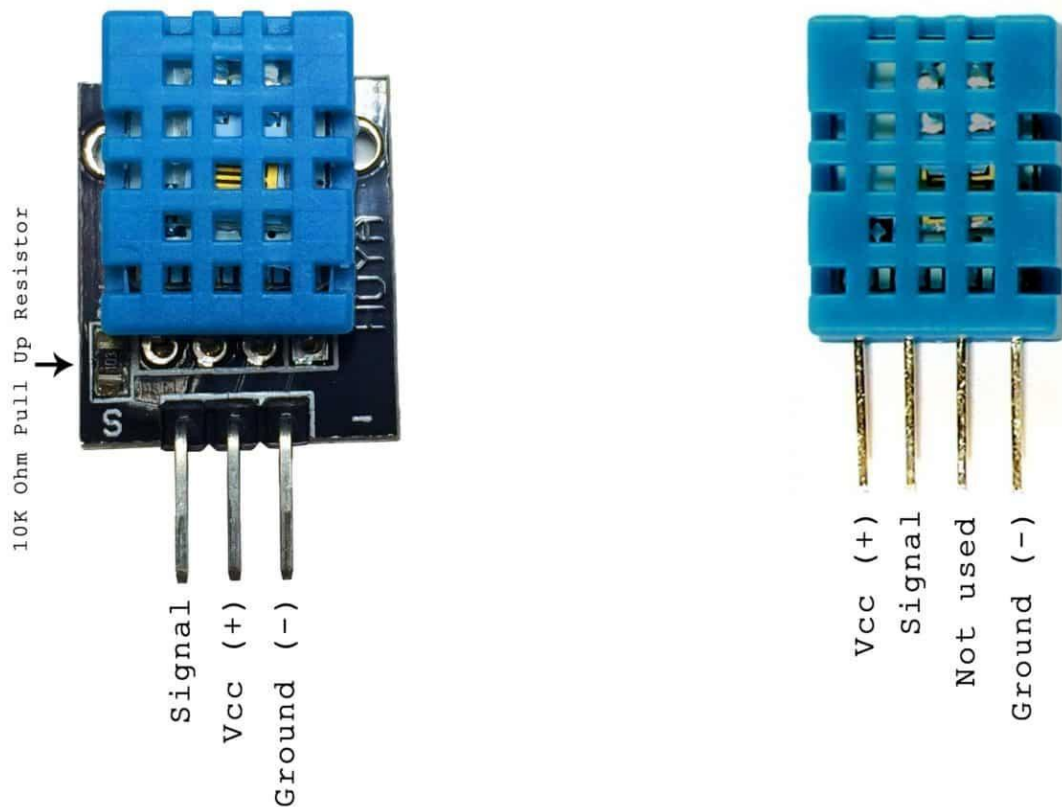
Η μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος γίνεται με έναν επιφανειακά τοποθετημένο αισθητήρα θερμοκρασίας NTC (θερμίστορ αρνητικού συντελεστή) ενσωματωμένο στη μονάδα. Τα θερμίστορ είναι μεταβλητές αντιστάσεις που αλλάζουν την αντίστασή τους με βάση την θερμοκρασία και κατατάσσονται σε θερμίστορ αρνητικού (NTC) και θετικού (PTC) συντελεστή.



Σχήμα 3.18 NTC θερμίστορ

Ο αισθητήρας DHT11 χρησιμοποιεί ένα καλώδιο σήματος για τη μετάδοση των δεδομένων στο WeMos D1R2. Η ισχύς προέρχεται από ξεχωριστά καλώδια 5V και γείωσης, ενώ απαιτείται και μια αντίσταση 10K Ohm μεταξύ της γραμμής σήματος και της γραμμής 5V για να παραμείνει το επίπεδο σήματος υψηλό από προεπιλογή. Υπάρχουν δύο διαφορετικές

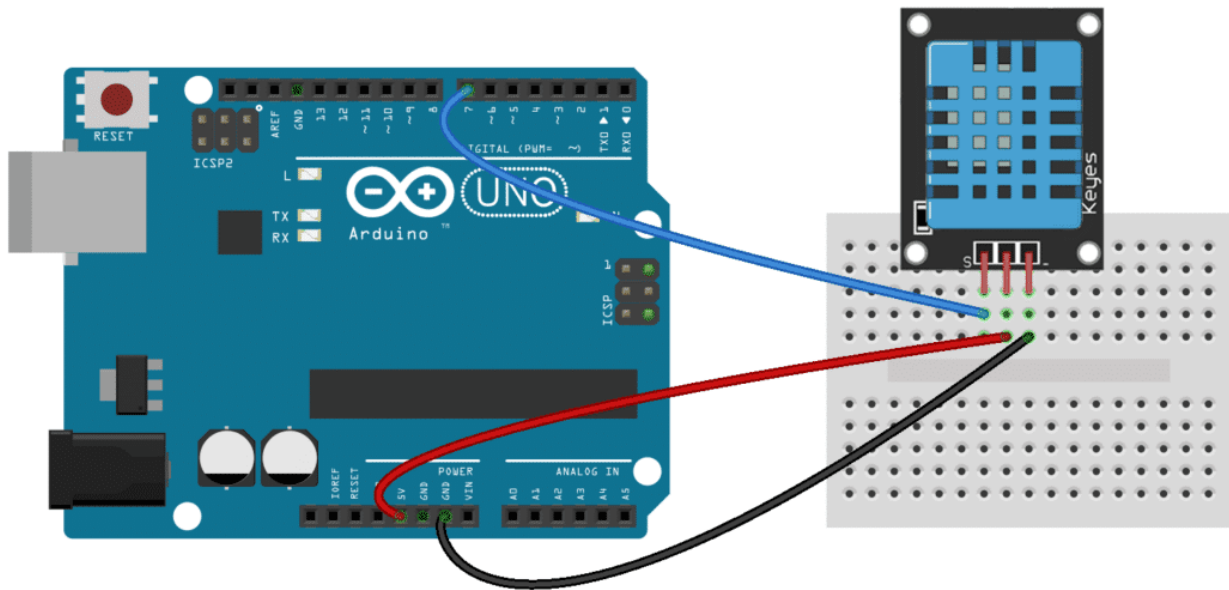
εκδοχές του αισθητήρα, μια με τέσσερις ακίδες και άλλη μια με τρεις ακίδες τοποθετημένες σε ένα μικρό PCB. Η έκδοση που οι ακίδες είναι τοποθετημένες στο PCB είναι προτιμότερη επειδή περιλαμβάνει μια επιφανειακή ανθεκτική αντίσταση 10K Ohm για τη γραμμή σήματος. Στο σχήμα 3.20 παρουσιάζονται αυτές οι δύο εκδοχές.



Σχήμα 3.19 Αισθητήρας DHT11 με τρεις και τέσσερις ακίδες.

3.3.2.3 Τρόποι σύνδεσης του DHT11 με το WeMos D1R2

Στην κατασκευή μας επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε την έκδοση του DHT11 με τις τέσσερις ακίδες και την ενσωματωμένη εσωτερική αντίσταση 10K Ohm. Η σύνδεση του αισθητήρα με το WeMos D1R2 είναι αρκετά απλή, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.20 Σύνδεση DHT11 με Arduino Uno

3.3.3 Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20

Ο αισθητήρας DS18B20 είναι ένας αδιάβροχος ελεγκτής που καταγράφει τις τιμές της θερμοκρασίας στο νερό. Επικοινωνεί μέσω ενός διαύλου 1-Wire που εξ ορισμού απαιτεί μόνο μία γραμμή δεδομένων, μαζί με την γείωση, για επικοινωνία με το WeMos D1R2. Έχει εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας από $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ και ακρίβεια $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για θερμοκρασίες από $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Επιπλέον, ο DS18B20 μπορεί να αντλήσει ισχύ απευθείας από τη γραμμή δεδομένων ("παράσιτη ισχύς"), εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία.

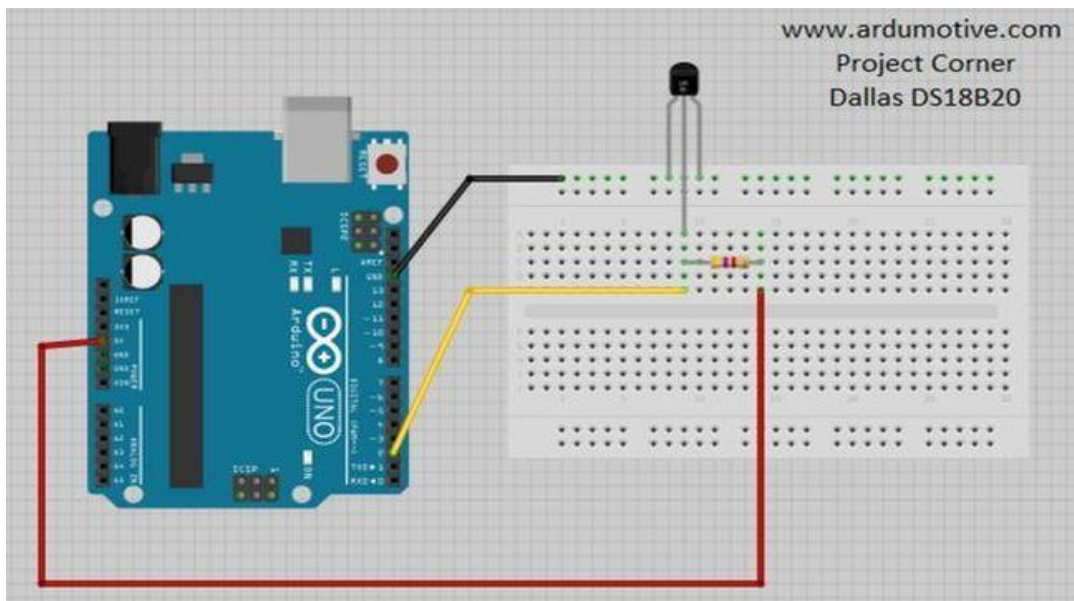
Κάθε αισθητήρας DS18B20 έχει έναν μοναδικό σειριακό κωδικό 64-bit αποθηκευμένο σε μια μνήμη ROM, ο οποίος επιτρέπει σε πολλούς DS18B20 να λειτουργούν στο ίδιο δίαυλο 1-Wire. Έτσι, είναι απλό να χρησιμοποιηθεί ένας μικροελεγκτής για τον έλεγχο πολλών DS18B20 αισθητήρων. Οι εφαρμογές που μπορούν να επωφεληθούν από αυτήν τη δυνατότητα περιλαμβάνουν περιβαλλοντικούς ελέγχους, συστήματα παρακολούθησης θερμοκρασίας μέσα σε κτίρια, εξοπλισμό ή μηχανήματα και συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου διεργασιών. Τέλος, χρειάζεται μια τάση της τάξης των 3 έως 5.5V για να τροφοδοτηθεί ο αισθητήρας.



Σχήμα 3.21 Αισθητήρας DS18B20

3.3.3.1 Τρόποι σύνδεσης με του DS18B20 με το WeMos D1R2

Η καλωδίωση του αισθητήρα DS18B20 με τον μικροελεγκτή πραγματοποιείται με την κατάλληλη σύνδεση των ακίδων τους μέσω πλακέτας, και απεικονίζεται στο σχήμα 3.25. Αρχικά, ενώνουμε το GND του WeMos D1R2 με την GND ακίδα του DS18B20. Στην συνέχεια, ενώνουμε την ακίδα DQ του αισθητήρα με οποιαδήποτε αναλογική ακίδα του WeMos D1R2 και τέλος, συνδέσαμε την ακίδα VDD του αισθητήρα με την ακίδα 5V του μικροελεγκτή, με μια αντίσταση 4.7K Ohm σε σειρά.



Σχήμα 3.22 Καλωδίωση του DS18B20 στην πλακέτα.

3.4 Εφαρμογή για Android

3.4.1 Android Studio

Το Android Studio (AS) αποτελεί το επίσημο κατασκευαστικό περιβάλλον για την δημιουργία εφαρμογών Android. Λογισμικό της Google, είναι σχεδιασμένο για γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών επιτρέποντας παράλληλα τον χρήστη να κατασκευάσει υψηλής ποιότητας εφαρμογές. Επίσης προσφέρει διάφορα προγραμματιστικά εργαλεία για την επεξεργασία και τον έλεγχο του κώδικα και τον εντοπισμό τυχόν σφαλμάτων [38].

Το AS προσφέρει δύο επιλογές όσον αφορά την γλώσσα προγραμματισμού για την κατασκευή εφαρμογών, την Java και την Kotlin. Για την ανάπτυξη της δικής μας εφαρμογής χρησιμοποιήσαμε την πρώτη. Στο κομμάτι της σχεδίασης, το AS χρησιμοποιεί την γλώσσα XML. Στην πράξη, όλες οι ετικέτες της XML μετατρέπονται σε αντικείμενα Java, γεγονός που επιτρέπει την πιο εύκολη και γρήγορη σχεδίαση της εφαρμογής. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι η XML είναι τα δεδομένα και η Java η λογική. Τέλος, κάθε οθόνη-δραστηριότητα στο AS αντικατοπτρίζεται από μια κλάση Java. Κάθε δραστηριότητα έχει το δικό της layout, σε XML, το οποίο μπορεί ο χρήστης να επεξεργαστεί.

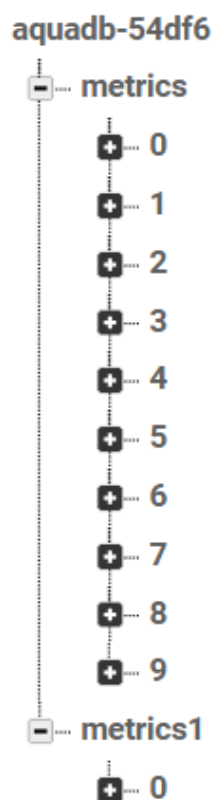
3.4.2 Cloud Firebase

Η επιλογή του Firebase της Google έγινε διότι χρησιμοποιούμε το AS για την υλοποίηση της εφαρμογής μας, λογισμικό επίσης της Google. Μέσω του AS, η Google σου δίνει την δυνατότητα συγχρονισμού της εφαρμογής με τις υπηρεσίες νέφους εύκολα και απλά με την χρήση λίγων εντολών.

Το Firebase είναι μια back-end υπηρεσία νέφους που μπορεί να επικοινωνήσει με την εφαρμογή. Με την χρήση του Firebase δεν χρειάζεται να δημιουργήσουμε την δομή της βάσης δεδομένων από την αρχή, καθώς είναι πολύ ευέλικτο και επιτρέπει αλλαγές στην βάση κατά την διάρκεια της δημιουργίας της εφαρμογής. Επίσης μέσω της ιστοσελίδας, το Firebase παρέχει και κάποια στατιστικά, όπως η συνολική μνήμη που καταλαμβάνει η βάση αλλά και το σύνολο των δεδομένων που έχουν κατέβει και έχουν χρησιμοποιηθεί.

Οι αισθητήρες συλλέγουν τις εκάστοτε πληροφορίες, οι οποίες αφού προσαρμοστούν κατάλληλα, ανεβαίνουν μέσω του ESP8266 στην βάση δεδομένων στο σύννεφο. Στην βάση δεδομένων έχουν δημιουργηθεί δύο πίνακες για την καταχώρηση των δεδομένων, οι metrics και metrics1. Ο πίνακας metrics έχει χωρητικότητα 10 θέσεων, καταγράφει δηλαδή 10 κύκλους μετρήσεων. Ξεκινώντας από την θέση 0 το WeMos D1R2 στέλνει τις πρώτες μετρήσεις και μόλις συμπληρώσει και τις 10 θέσεις, δηλαδή όταν γεμίσει και την θέση νο9 του πίνακα, τότε γράφει και πάλι από την αρχή, στην θέση νο0. Εκτός όμως από τον πίνακα metrics, έχουμε προγραμματίσει το WeMos D1R2 έτσι ώστε κάθε γκρουπ μετρήσεων να αποθηκεύεται και στον πίνακα metrics1 στο Firebase. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε να διατηρούμε τις τελευταίες 10 μετρήσεις αλλά και την πιο πρόσφατη, σε διαφορετικούς πίνακες

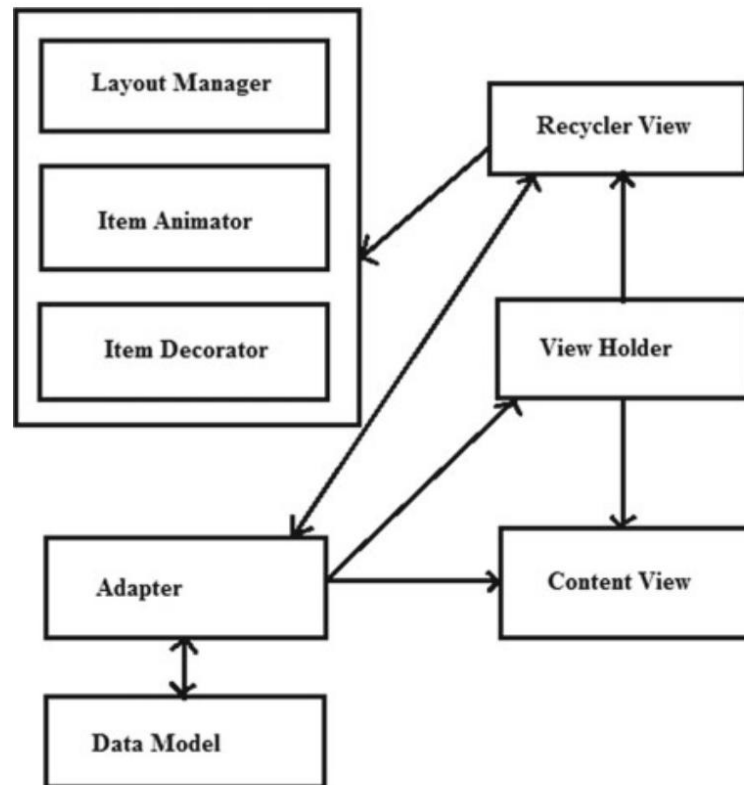
με σκοπό την ξεχωριστή αξιοποίησή τους στην εφαρμογή. Από εκεί η Android εφαρμογή είναι σε θέση να τις πάρει και να τις απεικονίσει. Η όλη διαδικασία από την στιγμή που ληφθεί κάποια μέτρηση μέχρι να απεικονιστεί στην οθόνη του κινητού γίνεται σχεδόν στιγμιαία.



Σχήμα 3.23 Βάση δεδομένων στο Cloud Firebase

3.4.3 Εργαλείο RecyclerView

Στις εφαρμογές Android, η προβολή σε λίστα (List View) είναι αυτή που χρησιμοποιείται πιο συχνά. Η προβολή σε λίστα οργανώνει την λίστα με τα αντικείμενα που θέλει να προβάλει ο χρήστης διαδοχικά, σαν αντικείμενα προς πλοήγηση. Η προβολή σε λίστα καταναλώνει περισσότερη μνήμη και επεξεργαστική ισχύ, γεγονός που μειώνει την απόδοση της εφαρμογής [39]. Για καλύτερη απόδοση επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο RecyclerView, το οποίο εμφανίζει όλα τα αντικείμενα που φορτώνονται από το νέφος. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του RecyclerView.



Σχήμα 3.24 Αρχιτεκτονική RecyclerView

Από τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής του RecyclerView ξεχωρίζουν τρία: το Layout Manager, το Adapter και το View Holder. Το Layout Manager επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει την μορφή με την οποία τα αντικείμενα θα είναι οργανωμένα στην οθόνη του κινητού. Το Adapter είναι υπεύθυνο για την παρουσίαση των αντικειμένων που έχουν προσκομιστεί από την βάση δεδομένων του σύννεφου και τέλος, το View Holder είναι μια κλάση που περιέχει αναφορές στα στοιχεία διεπαφής (User Interface, UI) που το σύστημα δείχνει στην οθόνη.

3.4.4 Ανάλυση Κώδικα

Η εφαρμογή που κατασκευάσαμε ονομάζεται AQM (Aquaponic Metrics) και είναι γραμμένη σε γλώσσα προγραμματισμού Java. Σε αυτήν εμπεριέχονται οι εξής Java κλάσεις : Main Activity, Metrics, Metrics1, MyAdapter, MyAdapter1. Στην Main Activity δηλώνονται αρχικά οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται και δημιουργούμε τον τρόπο προβολής των αντικειμένων μέσω του εργαλείου RecyclerView.

```

import java.util.ArrayList;

public class MainActivity extends AppCompatActivity {

    DatabaseReference reference;
    RecyclerView recyclerView;
    ArrayList<Metrics> list;
    ArrayList<Metrics1> list1;
    MyAdapter adapter;
    MyAdapter1 adapter1;
    private Button button, button1;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_main);

        recyclerView = (RecyclerView) findViewById(R.id.myRecycler);
        recyclerView.setLayoutManager(new LinearLayoutManager(context, this));
    }
}

```

Σχήμα 3.25 Main Activity

Στην συνέχεια, καθορίζονται οι λειτουργίες από τα δύο κουμπιά που έχουμε βάλει με τις τρέχουσες και παλαιότερες μετρήσεις στο ενδρειοπονικό μας σύστημα. Γίνεται η σύνδεση με τον αντίστοιχο πίνακα της βάσης δεδομένων που υπάρχει στο Firebase, τα δεδομένα αποθηκεύονται στην κατάλληλη λίστα, και μέσω των αντικειμένων τύπου MyAdapter και RecyclerView απεικονίζονται στην οθόνη του κινητού.

```

button = (Button) findViewById(R.id.checkDetails);
button.setOnClickListener((v) -> {
    reference = FirebaseDatabase.getInstance().getReference().child("metrics1");
    reference.addValueEventListener(new ValueEventListener() {

        @Override
        public void onDataChange(@NonNull DataSnapshot dataSnapshot) {
            list1 = new ArrayList<Metrics1>();

            for (DataSnapshot dataSnapshot1 : dataSnapshot.getChildren()) {
                Metrics1 me = dataSnapshot1.getValue(Metrics1.class);
                list1.add(me);
            }
            adapter1 = new MyAdapter1(MainActivity.this, list1);
            recyclerView.setAdapter(adapter1);
        }

        @Override
        public void onCancelled(@NonNull DatabaseError databaseError) {
            Toast.makeText(context, MainActivity.this, "Oops... Something is wrong", Toast.LENGTH_SHORT).show();
        }
    });
});
}

```

Σχήμα 3.26 Δημιουργία Button

Οι κλάσεις `metrics` και `metrics1` περιέχουν τους κατασκευαστές (constructors) αρχικοποίησης των μεταβλητών καθώς και τις συναρτήσεις `get()` και `set()` για τις μεταβλητές αυτές, ενώ οι κλάσεις `MyAdapter` και `MyAdapter1` χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση των δεδομένων που αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων στην οθόνη της εφαρμογής, και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του `RecyclerView`. Επίσης, στις κλάσεις `MyAdapter` και `MyAdapter1` γίνεται και η σύνδεση της Java με την XML για την επεξεργασία της εμφάνισης των δεδομένων. Η συνάρτηση `myViewHolder` είναι υπεύθυνη για την αποθήκευση της αντίστοιχης αναφοράς στην μνήμη, ενώ η συνάρτηση `onBindViewHolder` δεσμεύει τα δεδομένα από την μνήμη. Τέλος, παράγεται το `itemView` που είναι και το τελικό αποτέλεσμα.

```
public class MyAdapter extends RecyclerView.Adapter<MyAdapter.MyViewHolder> {  
  
    Context context;  
    ArrayList<Metrics> metrics;  
  
    public MyAdapter(Context c , ArrayList<Metrics> me)  
    {  
        context = c;  
        metrics = me;  
    }  
  
    @NonNull  
    @Override  
    public MyViewHolder onCreateViewHolder(@NonNull ViewGroup parent, int viewType) {  
        return new MyViewHolder(LayoutInflater.from(context).inflate(R.layout.cardview,parent, attachToRoot false));  
    }  
  
    @Override  
    public void onBindViewHolder(@NonNull MyViewHolder holder, int position) {  
        holder.air_humidity.setText(metrics.get(position).getAir_humidity());  
        holder.air_temp.setText(metrics.get(position).getAir_temp());  
        holder.basil_moist.setText(metrics.get(position).getBasil_moist());  
        holder.lettuce_moist.setText(metrics.get(position).getLettuce_moist());  
        holder.onion_moist.setText(metrics.get(position).getOnion_moist());  
        holder.water_ph.setText(metrics.get(position).getWater_ph());  
        holder.water_temp.setText(metrics.get(position).getWater_temp());  
    }  
}
```

Σχήμα 3.27 Κλάση `MyAdapter`

```

@Override
public int getItemCount() { return metrics.size(); }

class MyViewHolder extends RecyclerView.ViewHolder
{
    TextView air_humidity,air_temp,basil_moist,lettuce_moist,onion_moist,water_ph,water_temp;
    //ImageView profilePic;
    //Button btn;

    public MyViewHolder(View itemView) {
        super(itemView);
        air_humidity = (TextView) itemView.findViewById(R.id.air_humidity);
        air_temp = (TextView) itemView.findViewById(R.id.air_temp);
        basil_moist = (TextView) itemView.findViewById(R.id.basil_moist);
        lettuce_moist = (TextView) itemView.findViewById(R.id.lettuce_moist);
        onion_moist = (TextView) itemView.findViewById(R.id.onion_moist);
        water_ph = (TextView) itemView.findViewById(R.id.water_ph);
        water_temp = (TextView) itemView.findViewById(R.id.water_temp);
        //profilePic = (ImageView) itemView.findViewById(R.id.profilePic);
        //btn = (Button) itemView.findViewById(R.id.checkDetails);
    }
}

```

Σχήμα 3.28 Κλάση MyAdapter συνέχεια

Πέραν όμως των Java κλάσεων, υπάρχουν και τα XML αρχεία της εφαρμογής, αρχεία για την επεξεργασία της εμφάνισης των δεδομένων. Έχουμε δηλώσει την χρήση του RecyclerView στο AS δίνοντας τις κατάλληλες ετικέτες, και κάνουμε την μορφοποίηση των κουμπιών.

```

<Button
    android:id="@+id/checkDetails1"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_alignParentEnd="true"
    android:layout_alignParentBottom="true"
    android:layout_marginTop="550dp"
    android:layout_marginEnd="20dp"
    android:layout_marginBottom="65dp"
    android:text="HISTORY"
    android:textSize="14sp"
    android:textStyle="bold|italic"
    android:textColor="#33C7FF"
    android:background="@android:color/black"
    android:visibility="visible"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent" />

```

Σχήμα 3.29 Κώδικας XML για δημιουργία κουμπιού "History"

Τέλος, στα αρχεία cardview και cardview1, γίνεται η σχεδίαση (γραμματοσειρά, μέγεθος) των μεταβλητών που περιέχουν τις μετρήσεις των αισθητήρων.


```

<LinearLayout
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:orientation="horizontal">

    <TextView
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text="AIR HUMIDITY : "
        android:textSize="15sp"
        android:textStyle="italic" />

    <TextView
        android:id="@+id/air_humidity_1"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:textStyle="bold" />

</LinearLayout>

```

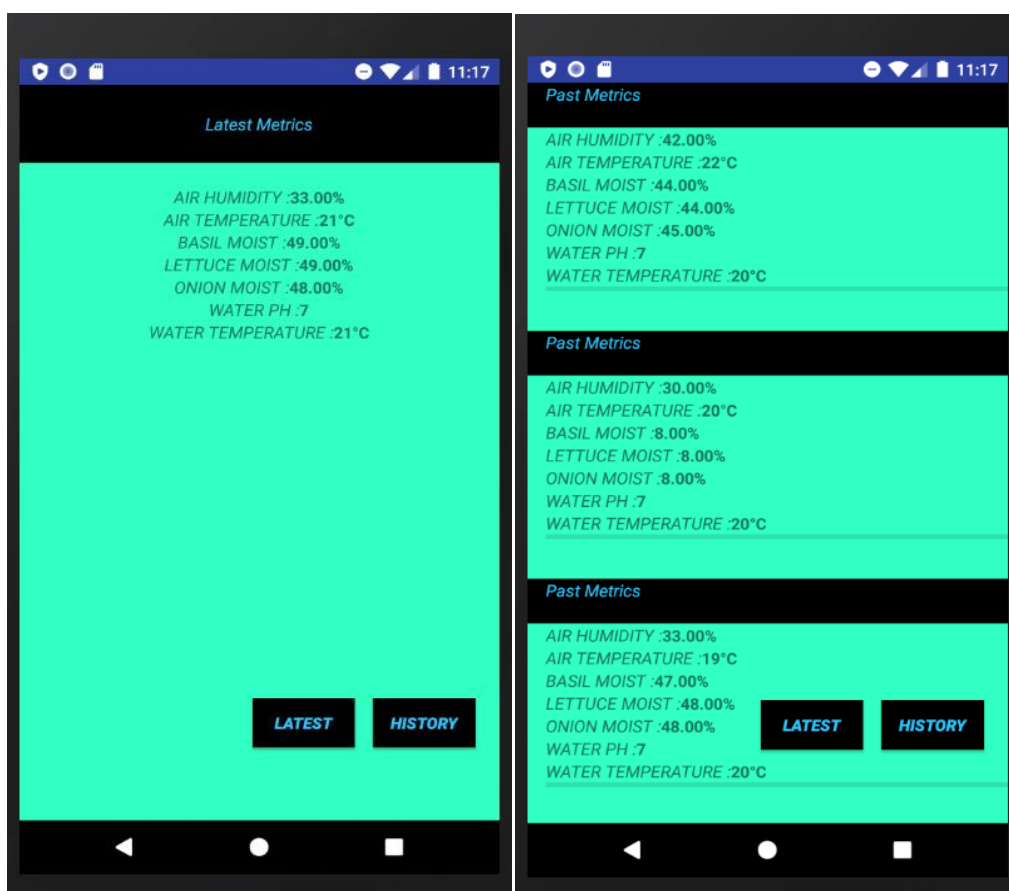
Σχήμα 3.30 Η XML για την υγρασία της ατμόσφαιρας

3.4.5 Λειτουργία Εφαρμογής

Η AQM είναι μία εφαρμογή για Android κινητά που σε συνεργασία με τον μικροελεγκτή WeMos D1R2, τους αισθητήρες, και το Cloud Firebase, εμφανίζει τις μετρήσεις που έχουν καταγράψει οι αισθητήρες που έχουμε εγκαταστήσει στο σύστημα ενυδραιοπονίας. Μια απλή εφαρμογή, παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να παρακολουθεί τις συνθήκες που επικρατούν στην ενυδραιοπονική του εγκατάσταση, χωρίς να χρειάζεται να επέμβει στην ροή των πραγμάτων, καθώς όλες οι ενέργειες είναι αυτοματοποιημένες. Ο χρόνος που απαιτείται για να εμφανιστούν οι νέες μετρήσεις στην οθόνη του κινητού από την στιγμή που αυτές καταγραφούν από τους αισθητήρες δεν ξεπερνά τα 1-2 δευτερόλεπτα. Δύο κουμπιά για τις πιο πρόσφατες (LATEST) αλλά και τις 10 τελευταίες (HISTORY) μετρήσεις είναι τοποθετημένα στο κάτω μέρος της οθόνης του κινητού. Ο χρήστης λαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την παρακολούθηση της ενυδραιοπονικής εγκατάστασης και μπορεί να προβεί σε τυχόν διορθώσεις της κατασκευής, εάν αυτό κρίνεται αναγκαίο. Η ιδέα της κατασκευής βασίζεται στην αυτοματοποιημένη λειτουργία του συστήματος με βάση της συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη. Έτσι, η εφαρμογή έχει καθαρά ενημερωτικό χαρακτήρα χωρίς να επιτρέπει στον χρήστη να επέμβει στην λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 3.31 Λογότυπο εφαρμογής AQM



Σχήμα 3.32 Στιγμιότυπο πρόσφατων και παλαιότερων μετρήσεων

Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις

Τα συμπεράσματα που παρουσιάζονται στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού βασίζονται στην λειτουργία της αυτοματοποιημένης ενυδρειοπονικής κατασκευής που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επιπροσθέτως, στο κεφάλαιο συμπεριλαμβάνονται προτάσεις για μελλοντικές προσθήκες και επεκτάσεις.

4.1 Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία έχει ολοένα και περισσότερες εφαρμογές στον τομέα της καλλιέργειας. Έχουν πραγματοποιηθεί πολύ ενδιαφέρουσες έρευνες και κατασκευές ενυδρειοπονικών συστημάτων, που αποσκοπούν τόσο στην ελαχιστοποίηση της υπέρμετρης σπατάλης υδάτινων πόρων, πρόβλημα που πρόκειται να ταλαιπωρήσει την ανθρωπότητα στο κοντινό μέλλον, όσο και στην παραγωγή βιολογικών προϊόντων χωρίς την χρήση λιπασμάτων και λοιπών χημικών ουσιών. Τέλος, ο απομακρυσμένος έλεγχος μιας αυτοματοποιημένης καλλιέργειας διευκολύνει και το έργο του αγρότη.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη έρευνα σχετικά με πρόσφατες κατασκευές ενυδρειοπονικών και όχι μόνο συστημάτων, αλλά και μια ενυδρειοπονική κατασκευή με την καλλιέργεια μαρουλιού, βασιλικού και κρεμμυδιού. Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή στα διάφορα είδη καλλιέργειας. Έπειτα, γίνεται μια αναφορά στα λαχανικά που επιλέξαμε να καλλιεργήσουμε και συγκεκριμένα στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες που απαιτούνται ώστε να αναπτυχθούν κατάλληλα και να αποδώσουν τα μέγιστα. Στην συνέχεια, ασχοληθήκαμε με το IoT και την εφαρμογή του σε διάφορους κλάδους της καθημερινότητας, αλλά και με την σύνδεσή του με την υπολογιστική νέφος (CC). Τέλος, παρουσιάζονται μια σειρά από προηγούμενες έρευνες και κατασκευές που έχουν πραγματοποιηθεί.

Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας αποτελεί η υλοποίηση του ενυδρειοπονικού συστήματος για την καλλιέργεια διαφόρων λαχανικών, καθώς και η ανάπτυξη λογισμικού για κινητά Android με σκοπό την παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν σε αυτήν. Η κατασκευή αποτελείται από τις φιάλες-δεξαμενές με τα ψάρια, τα μπουκάλια-γλάστρες με την διογκωμένη άργιλο για υπόστρωμα και τα φυτά τοποθετημένα σε αυτήν, αλλά και από διάφορους αισθητήρες τοποθετημένους κατάλληλα για την προσκόμιση των επιθυμητών μετρήσεων, οι οποίες μέσω του WeMos D1R2 που είναι συνδεδεμένο με το διαδίκτυο ανεβαίνουν στο σύννεφο και από εκεί απεικονίζονται στην οθόνη του κινητού. Τέλος, η κατασκευή περιέχει μία αντλία νερού για αυτόματο πότισμα.

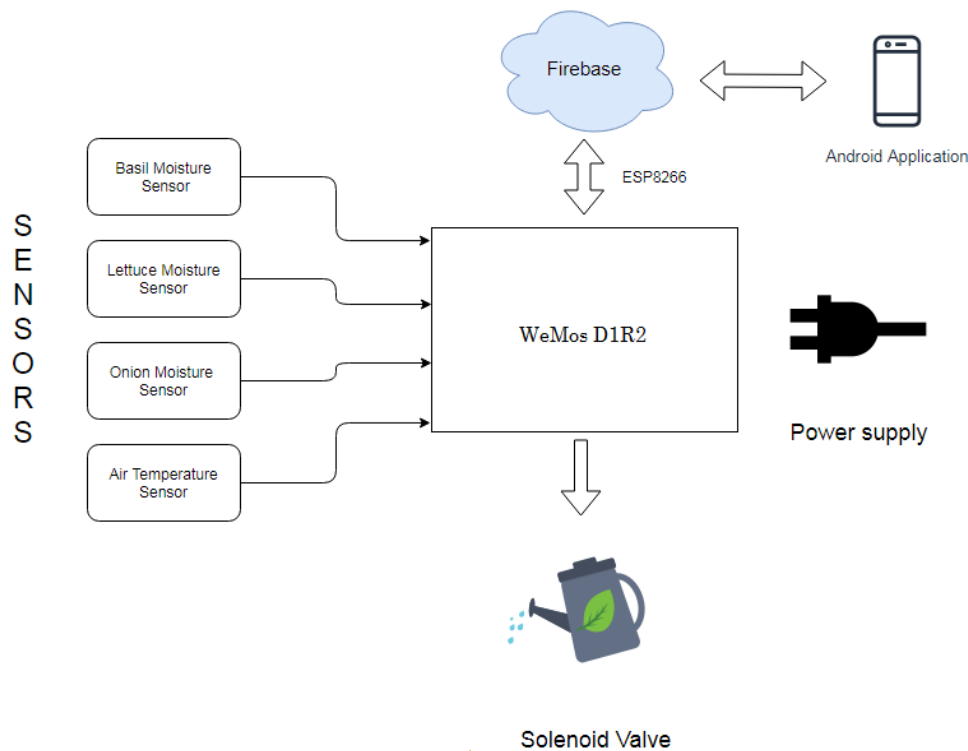
Τα αποτελέσματα της όλης προσπάθειας ήταν αυτά που περιμέναμε και στοχεύαμε. Η τελική παραγωγή, είναι ένα 100% βιολογικό αποτέλεσμα, αφού δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου συμπληρώματα, λιπάσματα, ή φυτοφάρμακα. Πετύχαμε την σωστή ανακύκλωση του

νερού από τις φιάλες-δεξαμενές στις γλάστρες, και πάλι πίσω, χωρίς να υπάρχει αλόγιστη σπατάλη και κατανάλωση, αφού τα φυτά έπαιρναν νερό μόνο όταν χρειαζόταν και στην συνέχεια αυτό επέστρεφε στις δεξαμενές. Συμπληρώσαμε μικροποσότητες κατά την διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής, και αυτό λόγω της απορρόφησης μιας ποσότητας από τα φυτά, αλλά και λόγω του φαινομένου της εξάτμισης.

Επιπλέον, καταφέραμε να κρατήσουμε ζωντανά τα ψάρια, αφού μετά από μελέτη που πραγματοποιήσαμε που έχει να κάνει με την βιομάζα του συστήματος, καταλήξαμε στον σωστό αριθμό ψαριών χωρίς να δημιουργήσουμε συνωστισμό, που είναι και η κύρια αιτία θανάτου των ψαριών πεθαίνουν σε αντίστοιχες κατασκευές. Επίσης, όχι μόνο τα κρατήσαμε ζωντανά, αλλά και αποτελεσματικά, καθώς οι θρεπτικές ουσίες από τα περιττώματά τους ήταν επαρκείς για την ανάπτυξη των φυτών.

Όπως παρατηρήσαμε μετά το πέρας ενός μήνα από την εκκίνηση της λειτουργίας του συστήματος, τα φυτά παρουσίασαν ικανοποιητικό ρυθμό ανάπτυξης. Πιο συγκεκριμένα, τα κρεμμύδια που φυτεύτηκαν με την μορφή βολβών στον πρώτο πύργο ανέπτυξαν βλαστούς ύψους 10 εκατοστών. Ακόμη, οι βασιλικοί και τα μαρούλια τα οποία μεταφυτεύτηκαν στον δεύτερο και τρίτο πύργο, παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια στον αγρό, της τάξης των 13 και 8 εκατοστών αντίστοιχα.

Όσον αφορά το κομμάτι του αυτοματισμού, πετύχαμε την ομαλή επικοινωνία των αισθητήρων με το WeMos D1R2 μετά από κατάλληλη εγκατάστασή τους στον χώρο, την έγκαιρη ενεργοποίηση των ηλεκτρονικών βανών για το αυτόματο πότισμα των φυτών, και την αποστολή όλων των δεδομένων από τις μετρήσεις στο Firebase. Από εκεί η ενημέρωση των αντίστοιχων πινάκων στην εφαρμογή AQM για Android πραγματοποιείται σχεδόν στιγμιαία και εμφανίζονται τα δεδομένα στην οθόνη του χρήστη για προβολή.



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα ροής πληροφοριών

4.2 Μελλοντικές προεκτάσεις

Θα μπορούσαν να εφαρμοστούν πολλές προεκτάσεις μελλοντικά στο σύστημα που υλοποιήσαμε, οι οποίες όμως προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός κεφαλαίου, τόσο για το στήσιμο όσο και για συντήρηση και τα πάγια έξοδα της κατασκευής. Αρχικά, θα μπορούσε να υπάρχει μια συσκευή που εκπέμπει θερμότητα και που θα αυξάνει την θερμοκρασία του χώρου, εφόσον ο αντίστοιχος αισθητήρας καταγράψει χαμηλές τιμές. Αντίθετα σε περίπτωση ανόδου της θερμοκρασίας άνω των επιθυμητών ορίων, ένα σύστημα κλιματισμού θα τίθεται σε λειτουργία και θα μειώνει την θερμοκρασία του χώρου. Έτσι θα γινόταν εφικτή η καλλιέργεια φυτών κατά τους μήνες που το κλίμα δεν το επιτρέπει. Για καλλιέργεια φυτών τους χειμερινούς μήνες, ή ακόμα και κατά την διάρκεια κακοκαιρίας, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν λάμπες LED οι οποίες θα ανάβουν με βάση τις τιμές που θα καταγράφει ένας αισθητήρας ακτινοβολίας φωτός. Επίσης, θα μπορούσε να υπάρχει ένας αισθητήρας που θα ανιχνεύει την περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂, και όταν αυτή πιάνει επίπεδα αποπνικτικά για την καλλιέργεια θα ενεργοποιείται μηχανισμός εξαερισμού στον χώρο που θα ανακυκλώνει τον αέρα. Θα μπορούσαμε επίσης να βάλουμε ειδικούς ψεκαστήρες που θα δροσίζουν τα φύλλα των φυτών, σε περίπτωση που η υγρασία της ατμόσφαιρας έπεφτε κάτω του επιθυμητού.

Στο υδάτινο κομμάτι, αρχικά θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικού είδους ψάρια, πιο κατάλληλα για ενυδρειοπониκές καλλιέργειες από τα χρυσόψαρα. Επιπλέον, ένα βιολογικό φίλτρο που να επιταχύνει και να βελτιώνει την διαδικασία μετατροπής της αμμωνίας σε θρεπτικά συστατικά θα διευκόλυνε την διαδικασία της παραγωγής, αλλά θα δημιουργούσε και καλύτερες συνθήκες διαβίωσης των ψαριών, χωρίς περιττές τοξικές ουσίες στο νερό.

Στο κομμάτι της εφαρμογής για το κινητό, θα μπορούσαμε να έχουμε ειδοποιήσεις έτσι ώστε ο χρήστης να ενημερώνεται άμεσα για την οποιαδήποτε ενέργεια λαμβάνει χώρα στην κατασκευή του, και πάλι χωρίς να μπορεί να επηρεάσει την εξέλιξη κάποιας διαδικασίας, αφού ότι ενέργεια γίνεται πραγματοποιείται αυτόματα, που είναι και ο σκοπός. Τέλος, κάποια στατιστικά και αναλύσεις θα μπορούσαν να προστεθούν για να έχει πιο εμπειριστατωμένη εικόνα ο χρήστης για τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον της κατασκευής του.

Βιβλιογραφία

- [1] De Fraiture, C., & Wichelns, D. (2010). *Satisfying future water demands for agriculture*. *Agricultural water management*, 97(4), 502-511.
- [2] Claire Strom. (1927). *Agricultural History*.
- [3] Mercader, J. (2009). *Mozambican Grass Seed Consumption During the Middle Stone Age*. *Science*, 326(5960), 1680–1683.
- [4] Zeder, M. A. (2011). *The Origins of Agriculture in the Near East*. *Current Anthropology*, 52(S4), S221–S235.
- [5] Molina, J., Sikora, M., Garud, N., Flowers, J. M., Rubinstein, S., Reynolds, A.,... Purugganan, M. D. (2011). *Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8351–8356.
- [6] Fairman, H. W.; B. Grdseloff (1947). *"Texts of Hatshepsut and Sethos I inside Speos Artemidos"*. *Journal of Egyptian Archaeology*. 33: 12–33.
- [7] Texier, W. *Hydroponics for Everybody - All about Home Horticulture*. Mama Publishing, English Edition, Paris (2015), pp. 235.
- [8] Rakocy, James E.; Bailey, Donald S.; Shultz, R. Charlie; Thoman, Eric S. *"Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponic System"* (PDF). University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station. Archived (PDF) from the original on 2 March 2013. Retrieved 11 March 2013.
- [9] Rakocy, James (November 2006). *"Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture"* (PDF). SRAC. Archived from the original (PDF) on 2017-05-17. Retrieved 2017-04-09.
- [10] Menon, Rashmi; Sahana, G.V.; Shruthi, V. *"Small Scale Aquaponic System"*. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*. 4: 941–946.

- [11] Fader, M.; Gerten, D.; Thammer, M.; Heinke, J.; Lotze-Campen, H.; Lucht, W.; Cramer, W. *Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2010, 15, 1641–1660.
- [12] Rakocy, James E. *"Aquaculture – Aquaponic Systems"*. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station. Archived from the original on 4 March 2013. Retrieved 11 March 2013.
- [13] Abbasi, M., Yaghmaee, M. H., & Rahnama, F. (2019, April). *Internet of Things in agriculture: A survey*. In 2019 3rd International Conference on Internet of Things and Applications (IoT) (pp. 1-12). IEEE.
- [14] Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). *Precision agriculture—a worldwide overview*. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 113-132.
- [15] Teslyuk, T., Denysyuk, P., Kernytskyy, A., & Teslyuk, V. (2015, September). *Automated control system for arduino and android based intelligent greenhouse*. In 2015 XI International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 7-10). IEEE.
- [16] Shukla, A. J., Panchal, M. V., & Patel, M. S. (2015). *Intelligent greenhouse design based on internet of things (iot)*. *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics*, 11(2), 78-86.
- [17] International Data Corporation. *IDC Predictions 2014: A Year of Escalation, Consolidation, and Innovation as the Transition to IT's "3rd Platform" Accelerates*.
- [18] Priya Viswanathan, *Cloud Computing – Is it Really All That Beneficial? Advantages and Disadvantages of Cloud Computing*.
- [19] Gajbhiye, A., & Shrivastva, K. M. P. (2014). *Cloud computing: Need, enabling technology, architecture, advantages and challenges*. 2014 5th International Conference - Confluence The Next Generation Information Technology Summit (Confluence).
- [20] Singh, P., & Saikia, S. (2016). *Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module*. 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC).

- [21] Bains, P. S., Jindal, R. K., & Channi, H. K. (2017). *Modeling and Designing of Automatic Plant Watering System Using Arduino*. International Journal of Scientific Research in Science and Technology, 3(7).
- [22] Chuah, Y. D., Lee, J. V., Tan, S. S., & Ng, C. K. (2019, June). *Implementation of smart monitoring system in vertical farming*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 268, No. 1, p. 012083). IOP Publishing.
- [23] Mekki, M., Abdallah, O., Amin, M. B. M., Eltayeb, M., Abdalfatah, T., & Babiker, A. (2015). *Greenhouse monitoring and control system based on wireless Sensor Network*. 2015 International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE).
- [24] Xu Dahua and Li Hua, "Intelligent Greenhouse Control-System Based on Agent", *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA) 2008 International Conference*, vol. 1, pp. 390-394, 20-22 Oct. 2008.
- [25] Tolentino, L. K. S., Fernandez, E. O., Jorda, R. L., Amora, S. N. D., Bartolata, D. K. T., Sarucam, J. R. V., ... Sombol, K. Y. P. (2019). *Development of an IoT-based Aquaponics Monitoring and Correction System with Temperature-Controlled Greenhouse*. 2019 International SoC Design Conference (ISOCC).
- [26] Yanes, A. R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2020). *Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems*. Journal of Cleaner Production, 121571.
- [27] Abel Kuriam Oommen, Adarsh Saji, Shilpa Joseph, Prof Babu P Kuriakose. (2019, May). *Automated Water Quality Monitoring System for Aquaponics*.
- [28] Li, N., Xiao, Y., Shen, L., Xu, Z., Li, B., & Yin, C. (2019). *Smart Agriculture with an Automated IoT-Based Greenhouse System for Local Communities*. Advances in Internet of Things, 9(02), 15.
- [29] Pantazi, D., Dinu, S., & Voinea, S. (2019). *THE SMART AQUAPONICS GREENHOUSE—AN INTERDISCIPLINARY EDUCATIONAL LABORATORY*. Romanian Reports in Physics, 71, 902.
- [30] Valiente, F. L., Garcia, R. G., Domingo, E. J. A., Estante, S. M. T., Ochaves, E. J. L., Villanueva, J. C. C., & Balbin, J. R. (2018). *Internet of Things (IOT)-*

Based Mobile Application for Monitoring of Automated Aquaponics System. 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM).

[31] Vernandhes, W., Salahuddin, N. ., Kowanda, A., & Sari, S. P. (2017). *Smart aquaponic with monitoring and control system based on iot*. 2017 Second International Conference on Informatics and Computing (ICIC).

[32] Nikhil Kurian Jacob. *IoT powered portable system*. ICC '17: Proceedings of the Second International Conference on Internet of things, Data and Cloud Computing. March 2017. Article No.: 66. Pages 1-5.

[33] Defa, R. P., Ramdhani, M., Priramadhi, R. A., & Aprillia, B. S. (2019). *Automatic controlling system and IoT based monitoring for pH rate on the aquaponics system*. Journal of Physics: Conference Series, 1367, 012072.

[34] Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). *Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey*. Aquaculture, 435, 67–74.

[35] Peter Grigson; David Harris (August-October 1983). "*Marvin' - Z80 Control Computer*". Electronics Today International.

[36] David Kushner (2011-10-26). "*The Making of Arduino*". IEEE Spectrum.

[37] Bennett, S. (1993). *A History of Control Engineering 1930-1955*. London: Peter Peregrinus Ltd. on behalf of the Institution of Electrical Engineers. ISBN 978-0-86341-280-6

[38] M.N Afnan Uda, Asral Bahari Jambek, U. Hashim, M. N. A. UDA, M. A. F. Bahrin, *Development of Internet of Thinks (IOT) Based Electronic Reader for Medical Diagnostic System*, IOP Conf. Series.: Materials Science and Engineering 743 (2020) 012020.

[39] Pati, B., Panigrahi, C. R., Buyya, R., & Li, K.-C. (Eds.). (2020). *Advanced Computing and Intelligent Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*.