



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τίτλος Διπλωματικής

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΛΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Συγγραφέας

Αθανάσιος Τέλιος

Αριθμός Μητρώου: 71440994

Επιβλέπων

Δρ. Χρήστος Δρόσος

Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος, 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION
ENGINEERING

Title of the project

COMPARISON OF A SIMPLE GREENHOUSE WITH AN AUTOMATED HYDROPONIC
CULTIVATION SYSTEM WITH REMOTE MONITORING CAPABILITIES OF
ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Author

Athanasios/Telios

Registration Number: 71440994

Supervisor

Dr. Christos Drosos

Assistant Professor

Athens, March, 2024

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Τέλιος Αθανάσιος, με αριθμό μητρώου 71440994, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών
Τέλιος Αθανάσιος

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	Όνομα / Επώνυμο
1	ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ Επίκουρος Καθηγητής
2	ΛΑΣΚΑΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Επίκουρος Καθηγητής
3	ΠΑΠΑΚΙΤΣΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΕΔΙΠ Α΄

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η καταγραφή των δεδομένων και των μετρήσεων που παράχθηκαν από ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) για την απομακρυσμένη παρακολούθηση τους σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα είναι προσαρμοσμένο επάνω σε μία κατασκευή υδροπονίας και ως μέθοδος καλλιέργειας επιλέχθηκε η μέθοδος της άρδευσης σταγόνας(Drip System) για την ανάπτυξη τομάτας. Επιπλέον αποδείχθηκε η αποτελεσματικότερη ανάπτυξη του φυτού με υδροπονική καλλιέργεια σε σύγκριση με μία απλή καλλιέργεια θερμοκηπίου.

Αρχικά γίνεται μία εισαγωγή στα θερμοκήπια, στη συνέχεια παρουσιάζεται η γεωργία ακριβείας καθώς και η ευφυής γεωργία στις θερμοκηπιακές μονάδες και ακολουθεί μία αναφορά για την Υδροπονία και την Ιστορική της αναδρομή. Έπειτα παρουσιάζονται τα οφέλη της υδροπονίας και οι διάφοροι τρόποι υλοποίησης της όπως και η υπολογιστική πλατφόρμα του Arduino η οποία ελέγχει το συγκεκριμένο σύστημα και η δυνατότητές του ως πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα. Αναφέρονται επίσης τα είδη της πλακέτας και τα χαρακτηριστικά τους καθώς και οι αντίστοιχες πληροφορίες για τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την υδροπονία και την γεωργία ακριβείας. Παράλληλα αναλύονται τα βήματα για τον προγραμματισμό του Arduino όπως επίσης γίνεται και μία σύντομη ανάλυση για το εργαλείο ανάπτυξης ανοιχτού κώδικα Node-RED.

Ακολουθεί η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος και της κατασκευής. Γίνεται αναλυτική περιγραφή των αισθητηρίων που συνδέθηκαν στον μικροεπεξεργαστή και της συνδεσμολογίας τους. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος αφορούν την μέτρηση ροής του νερού, θερμοκρασίας, υγρασίας στρώματος στήριξης ρίζας, και pH. Η κατασκευή είναι τύπου μακέτα για να πραγματοποιήσει τις συγκεκριμένες διεργασίες.

Η παρακολούθηση των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο όπως και ο έλεγχος της ανάπτυξης γίνεται με τη βοήθεια ταμπλό(dashboards) ή διαγράμματα(charts) του Node-RED.

Λέξεις κλειδιά: Υδροπονία, IoT, Arduino, Node-RED, Drip System

ABSTRACT

In this thesis, the focus was on recording data and measurements produced by an automated control system that uses the Internet of Things (IoT) for remote real-time monitoring. This system is implemented in a hydroponic setup, specifically using the drip irrigation method to cultivate tomatoes. Moreover, it was demonstrated that plants exhibit more effective growth with hydroponic cultivation compared to traditional greenhouse cultivation.

The thesis starts with an introduction to greenhouses, explaining their role and importance in modern agriculture. Following this, there is a presentation on precision agriculture, which involves the use of advanced technologies to optimize crop yields and reduce waste, and smart farming, which refers to the application of IoT and other technologies to enhance agricultural practices in greenhouse units. A historical overview of hydroponics is also included, outlining its development and evolution over time.

Subsequently, the thesis highlights the numerous benefits of hydroponic farming, such as efficient water usage, faster plant growth, and the ability to grow crops in areas with poor soil quality. Different methods of hydroponic implementation are discussed, including their specific advantages and challenges. The Arduino computing platform, which is used to control the hydroponic system, is introduced next. As an open-source platform, Arduino offers significant flexibility and customization, making it ideal for this application. The various types of Arduino boards and their specific characteristics are examined, along with detailed information about the sensors used in the system. These sensors are critical for precision agriculture as they provide real-time data on various parameters essential for plant growth. The thesis describes the different types of sensors used, such as those measuring water flow, temperature, humidity of the root support layer, and pH levels. Detailed steps for programming the Arduino to interface with these sensors are provided, along with a brief analysis of Node-RED, an open-source development tool used to create dashboards and visualizations for monitoring the system.

The experimental process and the materials used for constructing and implementing the hydroponic system are then described in detail. This includes a comprehensive explanation of the sensors connected to the microprocessor and how they are wired together. The setup described in the thesis is a scaled model designed to carry out specific processes required for hydroponic farming.

Real-time monitoring and control of the measurements and plant development are achieved through the use of dashboards and charts created with Node-RED. These visual tools allow for continuous observation and management of the system, ensuring optimal conditions for plant growth and enabling immediate responses to any changes in the environment.

Keywords: Hydroponics, IoT, Arduino, Node-RED, Drip System

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. Θερμοκηπιακή Καλλιέργεια	2
1.1. Εισαγωγή στα Θερμοκήπια	2
1.2. Γεωργία Ακριβείας στα Θερμοκήπια	3
1.3. Ευφυής Γεωργία στα Θερμοκήπια	6
2. Υδροπονία	8
2.1. Ιστορική Αναδρομή	8
2.2. Η Υδροπονία στη Σύγχρονη Εποχή	10
2.3. Συνθήκες, Είδη Φυτών και Υλικά Υδροπονίας	10
2.4. Τύποι και Συστήματα Υδροπονίας	12
2.4.1. Σύστημα Πλήρωσης και Απορροής (Ebb and Flow or Flood and Drain)	13
2.4.2. Σύστημα Άρδευσης Σταγόνας (Drip System)	13
2.4.3. Σύστημα Καλλιέργειας σε Βαθύ Νερό ή DWC (Deep Water Culture)	14
2.4.4. Nutrient Film Technique (NFT)	15
2.4.5. Αεροπονία (Aeroponics)	16
2.4.6. Ακουαπονική ή Ενυδρειοπονία	16
2.5. Υδροπονία, Περιβάλλον και Υγεία	17
3. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Μικροελεγκτές και Αισθητήρες	18
3.1. Τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων	18
3.2. Το Node-RED στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων	20
3.3. Πλακέτες Arduino	20
3.3.1. Τα Πλεονεκτήματα του Arduino	25
3.4.2. Ψηφιακά και Αναλογικά Αισθητήρια Arduino	25
4. Πειραματικό και Προγραμματιστικό Μέρος	34
4.1. Υλοποίηση Κατασκευαστικού Μέρους και Υλικά	34
4.2. Τα Στάδια Ανάπτυξης της Τομάτας	40
4.3. Το Hardware του συστήματος	47
4.4. Το Software και το Firmware του Συστήματος	52
5. Συμπεράσματα και Πεδία Μελλοντικής Έρευνας	68
5.1. Συμπεράσματα	68
5.2. Πεδία Μελλοντικής Έρευνας	68
6. Βιβλιογραφία	70

Κατάλογος Εικόνων – Σχημάτων

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΜΟΝΑΔΑ	2
ΕΙΚΟΝΑ 2: Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΣ ΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΤΗΣ (PLC)	4
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ SCADA ΣΕ ΕΝΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	5
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΗΜΙ MODULE ΣΕ ΕΝΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	5
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΙΟΤ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	6
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	7
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ	8
ΕΙΚΟΝΑ 8 : ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ EBB AND FLOW	13
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΑΓΟΝΑΣ	14
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ DEEP WATER CULTURE	15
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ NFT	15
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΕΡΟΠΟΝΙΑΣ (AEROPONICS)	16
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΚΟΥΑΠΟΝΙΑΣ (AQUAPONICS)	17
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΕ ΙΟΤ	19
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΤΟ NODE-RED ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ	20
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΠΛΑΚΕΤΑ ARDUINO UNO REV3	21
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΠΛΑΚΕΤΑ ARDUINO UNO WIFI REV2	22
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΠΛΑΚΕΤΑ ARDUINO MEGA 2560 REV3	23
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΠΛΑΚΕΤΑ ARDUINO DUE	24
ΕΙΚΟΝΑ 20: Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ DHT11	26
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ DHT11 ΜΕ ARDUINO	27
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ PH	27
ΕΙΚΟΝΑ 23: Η ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΝΕΡΓΟΥΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ PH	28
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΠΛΑΚΕΤΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟΥ PH	28
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ PH ΜΕ ΤΟ ARDUINO	29
ΕΙΚΟΝΑ 26: Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (SOIL MOISTURE SENSOR)	30
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΣΥΝΔΕΣΗ LM393 ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ARDUINO	31
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΡΟΗΣ ΥΓΡΩΝ (FLOW SENSOR)	31
ΕΙΚΟΝΑ 29: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΟΗΣ ΥΓΡΩΝ ΣΤΟ ARDUINO	32
ΕΙΚΟΝΑ 30: ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	32
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΚΛΙΜΑΚΑ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ PPM	33
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟΥ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ARDUINO	33
ΕΙΚΟΝΑ 33: ΔΙΣΚΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΓΛΑΣΤΡΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΑ	35
ΕΙΚΟΝΑ 34: ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΑΡΓΙΛΟΣ ΚΑΙ ΚΟΚΟΦΟΙΝΙΚΑΣ	36
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΒΑΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΛΑΜΠΑΣ	37
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	38
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΕΙΣΟΔΟΣ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΟΗΣ	38
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΑΝΤΛΙΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΑ	39
ΕΙΚΟΝΑ 39: ΟΡΘΟΓΩΝΙΑ ΑΕΡΟΠΕΤΡΑ	40
ΕΙΚΟΝΑ 40: ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ (ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗ ΣΕ POTS)	41

ΕΙΚΟΝΑ 41: ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ (ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΙ ΕΒΔΟΜΑΔΩΝ)	42
ΕΙΚΟΝΑ 42: ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ	43
ΕΙΚΟΝΑ 43: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (SOIL HUMIDITY SENSOR)	44
ΕΙΚΟΝΑ 44: ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	45
ΕΙΚΟΝΑ 45: ΔΕΚΑΤΗ ΕΒΔΟΜΑΔΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΤΩΣΗ ΦΥΛΛΩΜΑΤΩΝ)	46
ΕΙΚΟΝΑ 46: ΔΩΔΕΚΑΤΗ ΕΒΔΟΜΑΔΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΟ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΥΠΑΡΞΗ ΚΑΡΠΟΥ	47
ΕΙΚΟΝΑ 47: ΑΝΤΛΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	48
ΕΙΚΟΝΑ 48: RELAY ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	49
ΕΙΚΟΝΑ 49: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (SOIL MOISTURE SENSOR)	50
ΕΙΚΟΝΑ 50: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (DHT11)	51
ΕΙΚΟΝΑ 51: ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	52
ΕΙΚΟΝΑ 52: Η ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ VOID SETUP();	53
ΕΙΚΟΝΑ 53: Η ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ VOID LOOP();	54
ΕΙΚΟΝΑ 54: ΑΝΑΓΝΩΣΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ, ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	55
ΕΙΚΟΝΑ 55: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΩΔΙΚΑ, ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΟΗΣ	56
ΕΙΚΟΝΑ 56: Η ΜΑΚΡΟΕΝΤΟΛΗ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΚΑΙ Η VOID PULSECOUNTER();	57
ΕΙΚΟΝΑ 57: ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ARDUINO ΣΤΟ WIFI ΚΑΙ ΣΤΟ MQTT	58
ΕΙΚΟΝΑ 58: ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ NODE-RED	59
ΕΙΚΟΝΑ 59: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΣΤΟ NODE-RED	60
ΕΙΚΟΝΑ 60: Τ Ο ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΝΟΣ JSON ΚΟΜΒΟΥ	61
ΕΙΚΟΝΑ 61: ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΝΟΣ CHANGE ΚΟΜΒΟΥ	62
ΕΙΚΟΝΑ 62: ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΝΟΣ FUNCTION ΚΟΜΒΟΥ	63
ΕΙΚΟΝΑ 63: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ FUNCTION ΚΟΜΒΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ	64
ΕΙΚΟΝΑ 64: ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΝΟΣ TEXT ΚΟΜΒΟΥ	65
ΕΙΚΟΝΑ 65: ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΝΟΣ GAUGE DASHBOARD	66
ΕΙΚΟΝΑ 66: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ DASHBOARD TABLE	67

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ARDUINO UNO REV3	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ARDUINO UNO WI-FI REV2	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ARDUINO MEGA 2560 REV3	24
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ARDUINO DUE	25
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ PIN ΤΟΥ DHT11	26
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ DHT11	27

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΡΙΝ ΤΟΥ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΡΗ.....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΡΗ.....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΡΙΝ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΟΗΣ ΥΓΡΩΝ	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	33

Συντομογραφίες

API – Application Programming Interface
CoAP – Constrained Application Protocol
DWC – Deep Water Culture
ETL – Extract, Transform, and Load
HMI – Human Machine Interface
HTTP – Hyper Transfer Protocol
IoT – Internet of Things
LAN – Local Area Network
LED – Light Emitting Diode
MQTT – Message Queuing Telemetry Transport
NFT – Nutrient Film Technique
NTC – Negative Temperature Coefficient
PLC – Programmable Logic Controller
PVC – Polyvinyl Chloride
PWM – Pulse Width Modulation
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition
TDS – Total Dissolved Solids
USB – Universal Serial Bus
WiFi – Wireless Network Protocol
WPAN – Wireless Personal Area Network

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωπονία, ως ανεξάρτητος επιστημονικός κλάδος έκανε την εμφάνισή της μετά τον 19^ο αιώνα, διαχωρίζοντας το αντικείμενο της από τον πολύ γενικό κλάδο της βιολογίας και των φυσικών επιστημών που άνηκε παλαιότερα. Την εξέλιξη αυτή ενίσχυσε σε μεγάλο βαθμό η ανάπτυξη αυτών των επιστημών και ο μεγάλος όγκος πληροφοριών που προέκυπταν από τις συνεχείς έρευνες. Για το λόγο αυτό, ήταν επιτακτική πλέον η ανάγκη να δημιουργηθεί ένας ειδικός κλάδος που να πραγματεύεται, με δικές του θεωρίες και μεθοδολογίες, τη συνεχή βελτίωση στην καλλιέργεια της γης. Ο ουσιαστικός σκοπός της είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά την παραγωγή αγροτικών προϊόντων. Αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ της παλιάς και της νέας εποχής, ενώνοντας γνώσεις, θεωρητικές και πρακτικές, των παραδοσιακών αγροτών με τις νέες τεχνολογικές εφευρέσεις. Έτσι διευκολύνει τη συστηματική καλλιέργεια προσπερνώντας περιορισμούς που υπήρχαν τα παλαιότερα χρόνια. Με αυτό τον τρόπο ενισχύει την αποδοτικότητα στην παραγωγή προϊόντων και αποδίδει περισσότερα κέρδη στους ανθρώπους που απασχολούνται στον τομέα της γεωργίας.

Παράλληλα με την ανάπτυξη της γεωπονίας, υπάρχουν και δύο άλλες πτυχές που έχουν βοηθήσει αρκετά σε αυτή την πρόοδο, αυτή της θερμοκηπιακής γεωργίας, της γεωργίας ακριβείας στην θερμοκηπιακή καλλιέργεια, η ευφυής γεωργία θερμοκηπίου, καθώς και η μέθοδος της θερμοκηπιακής υδροπονίας. Με την χρήση των αισθητήρων και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούν καθιστούν ακόμα πιο εύκολη την παρακολούθηση και την διαχείριση των καλλιεργειών, μειώνουν αισθητά τα προβλήματα κατά την παραγωγική διαδικασία και αξιοποιούν καλύτερα τους φυσικούς πόρους διασφαλίζοντας έτσι και έναν οικολογικό χαρακτήρα για ένα πιο βιώσιμο περιβάλλον. Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την ποιότητα και την παραγωγικότητα της ανάπτυξης των φυτών είναι η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους και του περιβάλλοντος αλλά θα αποδειχτεί ότι και άλλοι παράγοντες συμβάλουν για την ταχύτερη και καλύτερη ανάπτυξη του φυτού.

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι το να αποδείξει, μέσα από την υλοποίηση αυτού του συστήματος – κατασκευής, ότι η υδροπονική καλλιέργεια είναι ένας τομέας ικανός να σταθεί στις ανάγκες του εμπορίου, δηλαδή σε μεγάλες ποσότητες παραγωγής αγροτικών προϊόντων, να απευθυνθεί σε μικροπαραγωγούς ή ακόμα και σε παραγωγούς προϊόντων οικιακής χρήσης.

1. Θερμοκηπιακή Καλλιέργεια

1.1. Εισαγωγή στα Θερμοκήπια



Εικόνα 1: Θερμοκηπιακή μονάδα

Η θερμοκηπιακή γεωργία, ως γενικός όρος, παρουσιάζει ραγδαία ανάπτυξη στην σύγχρονη εποχή. Η στροφή των παραγωγών προς αυτή έχει αυξηθεί, καθώς οι τεχνολογικές εφαρμογές στην αγροτική βιομηχανία γνωρίζουν μεγάλη άνθιση και συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγικότητας. Ο βασικός κορμός της θερμοκηπιακής γεωργίας βασίζεται πλέον σε ευφυείς και έξυπνες εφαρμογές, όπως παράλληλα και σε ένα ευρύ φάσμα του βιομηχανικού αυτοματισμού.

Η ανάγκη του ανθρώπου για την προστασία των προϊόντων της αγροτικής του παραγωγής από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες οδήγησε στην δημιουργία θερμοκηπίων. Το θερμοκήπιο ορίζεται και ως καλλιέργεια υπό κάλυψη, καθώς είναι μία κατασκευή κλειστού τύπου, η οποία αποτελείται από τον βασικό κορμό και γύρω του τυλίγεται κάποιο είδος καλύμματος, ο κορμός είναι κατασκευασμένος κυρίως από αλουμίνιο και το κάλυμμα είναι από γυαλί ή πολυανθρακικό πάνελ, όπου εντός της εγκατάστασης βρίσκεται η καλλιέργεια. Στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι καλλιεργούνται περίπου 60,000 στρέματα με τα περισσότερα από αυτά να βρίσκονται στη Κρήτη και στη Δυτική Ελλάδα.

Η κλιματική κρίση των τελευταίων ετών έφερε σοβαρές επιπτώσεις στην αγροτική καλλιέργεια, κάποιες από αυτές είναι η αύξηση της θερμοκρασίας, η μείωση των υδάτινων πόρων κ.α. Όσο αυτές οι επιπτώσεις αυξάνονται παρατηρείται πως ένα μεγάλο ποσοστό παραγωγών και γεωργών αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα στην παραγωγή του, κυρίως από την αύξηση ασθενειών στο χώμα και στο νερό, όμως και από τις απότομες μεταβολές των καιρικών συνθηκών.

Η ταυτόχρονη εξέλιξη όμως των τεχνολογικών εφαρμογών κατάφερε να δώσει αρκετές λύσεις στα προβλήματα των παραγωγών, αφού έφερε τεχνολογίες που δημιούργησαν και ανέπτυξαν κλάδους όπως η γεωργία ακριβείας, και έπειτα αυτή της ευφυούς γεωργίας. Όλο και περισσότεροι παραγωγοί πλέον επενδύουν σε αυτές τις τεχνολογίες, καθώς βλέπουν αποδοτικότερη και ποιοτικότερη την παραγωγή τους.

Οι μέθοδοι θερμοκηπιακής καλλιέργειας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, αυτή της καλλιέργειας των αγροτικών προϊόντων στο έδαφος, χαρακτηρίζεται και ως παραδοσιακή μέθοδος καλλιέργειας, και η ανέδαφος καλλιέργεια, όπως η υδροπονία, η αεροπονία και η ακουαπονία. Όλες αυτές οι μέθοδοι ανήκουν στην κατηγορία της θερμοκηπιακής γεωργίας, και παράλληλα όλες αξιοποιούν την τεχνολογία και τις εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας, της ευφυούς γεωργίας, και των βιομηχανικών συστημάτων αυτοματισμού.

1.2. Γεωργία Ακριβείας στα Θερμοκήπια

Η εφαρμογή μίας μεγάλης ποικιλίας αισθητηρίων και άλλων τεχνολογιών είναι πλέον απαραίτητη και στις καλλιέργειες θερμοκηπίων, η οποία επιτρέπει τον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών εντός αυτών.

Ένας βασικός παράγοντας εντός του θερμοκηπίου είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, η οποία είναι πολύ σημαντική για την σωστή ανάπτυξη του φυτού και επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση αισθητηρίων θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του θερμοκηπίου, επίσης η μέτρηση της υγρασίας και της φωτεινότητας είναι απαραίτητη και μετριοούνται από αντίστοιχα αισθητήρια. Επιπλέον, σε ένα θερμοκήπιο που χρησιμοποιεί την γεωργία ακριβείας περιλαμβάνονται συστήματα για τη ρύθμιση των επιπέδων CO₂, πάνελ και σωληνώσεις θερμότητας και ψύξης, αισθητήρες εδάφους, αυτόματα συστήματα αερισμού, και υδρονέφωσης.

Ο τομέας του βιομηχανικού αυτοματισμού έχει κάνει έντονα την εμφανισή του στις έξυπνες θερμοκηπιακές καλλιέργειες αφού παρέχει διαφόρων ειδών σουίτας ανάπτυξης εφαρμογών, για τον έλεγχο, την συλλογή, και την παρακολούθηση των δεδομένων. Παρακάτω θα αναλύσω ένα ολοκληρωμένο μοντέλο συστήματος, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον στην γεωργία ακριβείας.

Οι βιομηχανικοί ελεγκτές, είναι αυτοί οι οποίοι μπορούν να εκτελέσουν μία πληθώρα αυτόματων εργασιών σε ένα θερμοκήπιο λόγω της μεγάλης επεξεργαστικής τους ισχύος, καθώς ταυτόχρονα μέσω κατάλληλου συστήματος λογισμικού σε κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή μπορούν να παρέχουν τον πλήρη

έλεγχο των διεργασιών που απαιτούνται, και συνεπώς όλα αυτά να αποτελέσουν το σύνολο ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης.

Τα PLC (Programmable Logic Controllers) ή αλλιώς προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές, αποτελούν την κύρια βάση ελέγχου. Εφόσον οι είσοδοι και οι έξοδοί του προγραμματιστούν με την κατάλληλη γλώσσα προγραμματισμού, τότε έχουν την δυνατότητα να διαχειρίζονται ένα σύνολο λειτουργιών του θερμοκηπίου, όπως το σύστημα άρδευσης του θερμοκηπίου, ανοίγοντας ή κλείνοντας ηλεκτροβαλβίδες, όλο το σύστημα αερισμού και τα επιπέδα CO₂ της ατμόσφαιρας, καθώς και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης, και λίπανσης αυτού.



Εικόνα 2: Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (PLC)

Το σύστημα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), αντιθέτως με τα PLC που αποτελούν τον βασικό κορμό ελέγχου μίας θερμοκηπιακής μονάδας, είναι ένα σύστημα και λογισμικό βιομηχανικού ελέγχου και τηλεμετρίας, το οποίο μπορεί να λαμβάνει, να επεξεργάζεται, να αποθηκεύει και να παρουσιάζει τα δεδομένα. Επιπλέον, η οπτική παρακολούθηση των τιμών των αισθητηρίων, και η δημιουργία διάφορων γραφημάτων και ενεργειών ελέγχου, δίνουν την δυνατότητα στον παραγωγό να επεξεργάζεται τα δεδομένα που συλλέγονται και να παίρνει έγκαιρες αποφάσεις. Το SCADA μπορεί να συνδεθεί με το PLC μέσω δικτύου Ethernet, Wi-Fi, ή σειριακά και να αλληλεπιδρά με τα δεδομένα και τις εξόδους του, καθώς και να παρέχει συνολική οπτικοποίηση των συστημάτων όλης της θερμοκηπιακής μονάδας, όπως κατάσταση δεξαμενών, ροών κ.α. Μία άλλη λειτουργία του είναι αυτή του data logging, η καταγραφή δηλαδή δεδομένων, ακόμα και συναγεμμένων και συμβάντων σε περιπτώσεις εκτός ορίων παραμέτρων. Τέλος, δίνει την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου της θερμοκηπιακής καλλιέργειας, διαδικασία γνωστή και με την ονομασία remote control.



Εικόνα 3: Σύστημα ελέγχου SCADA σε ένα θερμοκήπιο

Ο όρος HMI (Human Machine Interface) ή Διεπαφή Ανθρώπου – Μηχανής, είναι ο πίνακας ελέγχου, σε επίπεδο μεμονωμένων μηχανημάτων ή μικρότερων συστημάτων, και συνήθως αναφέρεται σε μία οθόνη αφής προσαρμοσμένη σε αυτά, παρέχοντας έτσι ένα πιο απλό και άμεσο περιβάλλον εργασίας. Η διαφορά του από το SCADA, είναι πως ένα HMI μπορεί κανείς να συναντήσει, για παράδειγμα σε έναν ρομποτικό βραχίονα ή στο σύστημα ποτίσματος μεμονωμένα, ενώ το SCADA, μας δίνει την δυνατότητα παρακολούθησης όλων των συστημάτων και καταστάσεων λειτουργίας.

Τέλος, σχεδόν κάθε μεγάλη μονάδα παραγωγής αποτελείται από τέτοιους σχεδιασμούς, των οποίων το κόστος είναι μεγάλο αλλά αποτελεσματικότερο στην παραγωγή ποιοτικότερων, και μεγαλύτερης ποσότητας, αγαθών για τις ανάγκες του σύγχρονου κόσμου.

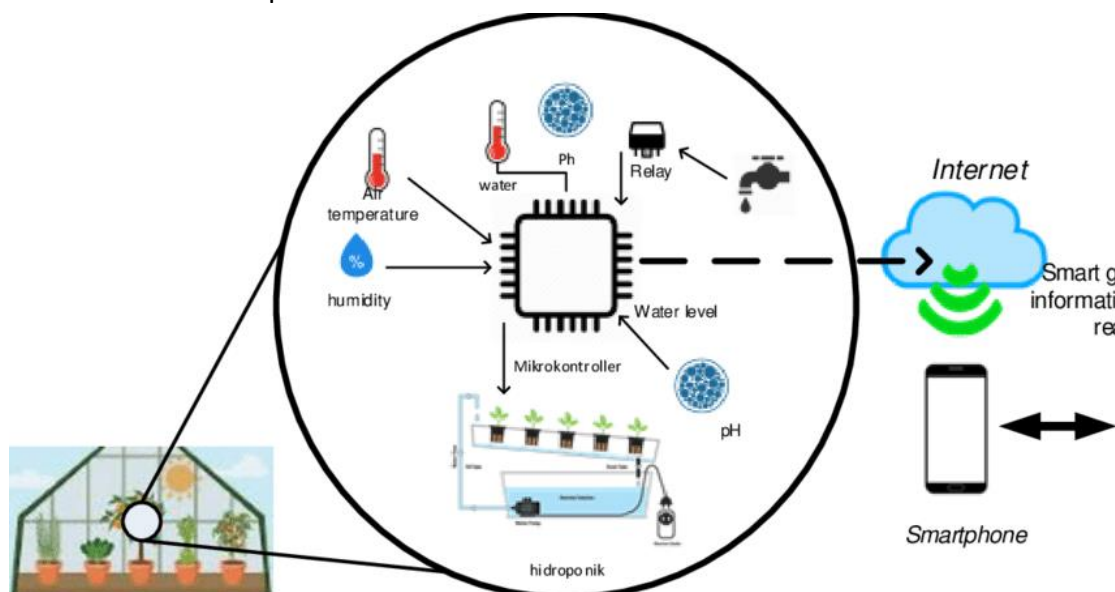


Εικόνα 4: HMI module σε ένα θερμοκήπιο

1.3. Ευφυής Γεωργία στα Θερμοκήπια

Η εξέλιξη της παραγωγής αγροτικών προϊόντων έχει προχωρήσει ακόμα ένα βήμα τα τελευταία περίπου 10 χρόνια, αφού η ραγδαία ανάπτυξη ευφυών εφαρμογών και νέων τεχνολογιών έκαναν την εμφανισή τους. Η ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την παραγωγική διαδικασία επιτυγχάνεται με την χρήση των νέων τεχνολογιών στον τομέα της ρομποτικής σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη. Ένα σύστημα μπορεί να εκπαιδευτεί και να μάθει μέρα με την μέρα τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε εδάφους, φυτού, και ατμοσφαιρικών συνθηκών, και έτσι να παράξει και να συλλέξει δεδομένα προς τον γεωπόνο και τον παραγωγό και επείτα να γίνει η επεξεργασία τους. Παρακάτω θα παρουσιαστεί μία σειρά συστημάτων και τεχνολογιών που χρησιμοποιεί μία ευφυή εγκατάσταση καλλιέργειας:

- Η εφαρμογή των IoT (Internet of Things) συστημάτων είναι από τις βασικές τεχνολογίες σε μία καλλιέργεια ή σε ένα θερμοκήπιο. Ένα IoT σύστημα είναι ένα δίκτυο συσκευών και αισθητηρίων, που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω διάφορων πρωτόκολλων επικοινωνίας και αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων.



Εικόνα 5: Γενική αρχιτεκτονική IoT συστήματος σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια

- Η εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών είναι επίσης ένα κομμάτι των καλλιεργειών ευφυούς γεωργίας. Με τους μετεωρολογικούς σταθμούς μπορεί ο παραγωγός να εντοπίσει την κατεύθυνση του ανέμου (WD) και την ταχύτητά του (WS), όπως και περιβαλλοντικές συνθήκες που έχουν να κάνουν με την ηλιακή ακτινοβολία, την βαρομετρική πίεση, την θερμοκρασία και την υγρασία .
- Τα μη επανδρωμένα συστήματα (Drones) χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση και τη τηλεσκόπηση του εδάφους, μέσω ειδικών

καμερών που είναι τοποθετημένες σε αυτά, ή ακόμα και για ανάγκες ψεκασμού και λιπάνσεων, όποτε αυτό απαιτείται.

- Όλα τα δεδομένα συλλέγονται σε βάσεις δεδομένων και δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης τους μέσω εφαρμογών (apps) σε κινητά, υπολογιστές ή ταμπλέτες (tablets).
- Οι ρομποτικοί βραχίονες βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές παραγωγικές μονάδες όπως και στην θερμοκηπιακή καλλιέργεια. Η χρήση τους για τον ψεκασμό των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων, καθώς και για την συγκομιδή και την συλλογή φρούτων και λαχανικών είναι πολύ συχνή. Σε μία μεγάλη θερμοκηπιακή μονάδα η ανάγκη για ρομποτικές συσκευαστικές μηχανές, είναι πλέον απαραίτητες διότι μειώνουν τον χρόνο εργασίας για την αποθήκευση των προϊόντων πριν καταλήξουν στην αγορά. Ρομποτικά συστήματα συναντάμε και στις διαδικασίες φύτευσης και κλαδέματος των φυτών.



Εικόνα 6: Ρομποτικός βραχίονας θερμοκηπίου

- Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) είναι το πλέον τεχνολογικό άλμα και στην γεωργία. Μέσω αλγοριθμικών μεθόδων καταστεί τις συνθήκες ενός σπορείου ακόμα πιο ακριβείς και συμβάλει στην βελτιστοποίηση των συνθηκών του, στην πρόβλεψη απόδοσης και ποιότητας των καλλιεργειών και στην διαχείριση άρδευσης.

Οι ευφυείς καλλιέργειες και τα ευφυή συστήματα σαν ένα σύνολο διεργασιών και δυνατοτήτων που προσφέρουν έχουν μειώσει σε σημαντικό βαθμό το περιβαλλοντικό αποτύπωμα στην σπατάλη των φυσικών πόρων αλλά έχουν συμβάλει και στο μέγιστο καλύτερο αποτέλεσμα μίας παραγωγικής διαδικασίας.

Ένας παραγωγός μπορεί να γνωρίζει με ακρίβεια το πότε η καλλιέργειά του χρειάζεται τροφή ή πότισμα και να μην βασίζεται στην εμπειρία του, πράγμα που είναι αρκετά σύνηθες σε καλλιέργειες οι οποίες δεν εκμεταλλεύονται την τεχνολογική εξέλιξη.

Κάποιες από τις ανησυχίες ενός παραγωγού είναι τόσο το κόστος, όσο και η ποιότητα παραγωγής. Η προσθήκη των ευφύων συστημάτων μειώνουν σημαντικά το κόστος κατά την παραγωγική διαδικασία, αφού η κατανάλωση ενέργειας, λιπασμάτων, και φυτοφαρμάκων είναι μικρότερη σε σημαντικό βαθμό. Επίσης, αν και το κόστος εγκατάστασης, και έπειτα η εκπαίδευση του εκάστοτε γεωπόνου, και στη συνέχεια του παραγωγού, για την κατανόηση της λειτουργίας των ευφύων συστημάτων, φαίνεται αρκετά δαπανηρή, τα απολέσματα της ποιότητας, η απόσβεση των εξόδων, και η αύξηση των καθαρών εσόδων από την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογικές εφαρμογές επιτυγχάνεται σε σημαντικά γρήγορο χρόνο.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα δούμε το πως η εμφάνιση των ευφύων εφαρμογών και του ευφυούς ελέγχου ανέπτυξε έναν μεγάλο κλάδο της θερμοκηπιακής καλλιέργειας, αυτόν της υδροπονίας.

2. Υδροπονία

2.1. Ιστορική Αναδρομή



Εικόνα 7: Υδροπονική καλλιέργεια στην αρχαιότητα

Η υδροπονία είναι μία σύνθετη λέξη που αποτελείται από τις λέξεις “ύδωρ” που σημαίνει νερό και “πονέω” (το ενεργητικό μεταγενέστερο του ομηρικού πονέομαι-πονούμαι) που σημαίνει μοχθώ ή προσπαθώ πολύ για κάτι. Η υδροπονική καλλιέργεια ήταν μία αρχαία μορφή καλλιέργειας, χωρίς όμως να έχει ανακαλυφθεί ο όρος υδροπονία μέχρι τότε, και συναντήθηκε σε καταγραφές οι οποίες χρονολογούνται από τον 7^ο αιώνα π.Χ. από Ιστορικούς και μελετητές ανά τον κόσμο. Κυρίως την συναντάμε σε αρχαίους πολιτισμούς όπως της αρχαίας Αιγύπτου, της Μεσοποταμίας, της Κίνας ακόμα και στον πολιτισμό των Αζτέκων. Ο κύριος σκοπός ήταν, εκμεταλλευόμενοι τα ύδατα των ποταμών που υπήρχαν κοντά, να χρησιμοποιούν το νερό υλοποιώντας συστήματα άρδευσης και πλωτούς κήπους για την παραγωγή αγροτικών προϊόντων καθώς ακόμα και για την διακόσμηση κήπων των παλατιών.

Υπάρχουν πολλές ιστορικές αναφορές για κατασκευές και συστήματα άρδευσης, που θα μπορούσαν να θεωρηθούν εξελιγμένες για την εποχή εφαρμογές υδροπονικής καλλιέργειας. Ένα από αυτά είναι αυτό των Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας όπου θεωρείται ένα από τα επτά θαύματα του κόσμου και πιθανώς βρισκόντουσαν έξω από τα τείχη της πόλης. Από αρχαίες ελληνικές γραφές όπως του Διόδωρου του Σικελιώτη και του Στράβωνα καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα άρδευσης το οποίο χρησιμοποιούσε τα νερά του ποταμού Εφράτη. Φημολογείται ότι οι κήποι ήταν σχηματισμένοι σε επίπεδα με ένα δίκτυο καναλιών να τα συνδέει. Η άρδευση του νερού γινόταν με την βοήθεια αλυσιδών, τροχών, κάδων και δεξαμενών ώστε να μεταφέρουν το νερό στο υψηλότερο επίπεδο και με τη βοήθεια της βαρύτητας και των καναλιών να διοχετευτεί στα υπόλοιπα επίπεδα. Λόγω το ότι δεν υπάρχουν αναφορές ή καταγραφές για την ύπαρξη χώματος πολλοί μελετητές κατέληξαν στο γεγονός ότι στους Κρεμαστούς Κήπους της Βαβυλώνας ίσως να εφαρμόστηκε το πρώτο ή από τα πρώτα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας.

Οι πλωτοί κήποι, κάνουν την εμφανισή τους στα αρχαία χρόνια ως καινοτόμα γεωργικά συστήματα. Μία ιστορική καταγραφή που αξίζει να σημειωθεί είναι αυτή του γνωστού έμπορου και εξερευνητή Μάρκο Πόλο, ο οποίος κατά τις αναφορές του στα ταξιδιωτικά του ημερολόγια για τα ταξίδια του στην Ανατολή είχε γράψει ότι αντίκρισε πλωτούς κήπους καθώς είχε περιγράψει τις κατασκευές ως “υδάτινες επιφάνειες” όπου ήταν δημιουργημένες για την καλλιέργεια φρούτων, λαχανικών και άλλων αγροτικών προϊόντων κάτι που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο και σήμερα σε περιοχές όπως η Κίνα και η Ινδία.

Πλωτούς κήπους συναντάμε επίσης και κατά τον 10^ο με 11^ο αιώνα και είναι αυτοί των Αζτέκων του Μεξικού γνωστά και ως Chinampas. Πρόκειται για ένα σύστημα τεχνητών νησιών ή μικρών πλωτών σχεδίων που επιπλέουν μέσα σε λίμνες, κατασκευασμένα κυρίως από καλάμια και λάσπη από τον βυθό, εκεί όπου η ανάπτυξη του φυτού γίνεται κυρίως από την ρίζα του η οποία κατεβαίνει στο νερό και έτσι η καλλιέργεια μπορεί να διατηρήσει την υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζεται.

Μία αρχαία τεχνική υδροπονικών συστημάτων συναντάμε και στην αρχαία Αίγυπτο. Εκεί λόγω της μεγάλης ξηρασίας αλλά και της αύξησης του πλυθισμού από σκλάβους δημιουργήθηκε η ανάγκη της κατασκευής συστημάτων άρδευσης από τον Νείλο. Μέσω πολύπλοκων καναλιών και δεξαμενών στις περιόδους

πλημμύρας μετέφεραν και αποθήκευαν το νερό, έτσι δημιουργούσαν τεχνητές λίμνες στις εκτάσεις γης τους και μετά την υποχώριση των υδάτων φύτευαν τα φυτά. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται αρκετή υγρασία στην ρίζα τους όπως επίσης και τα ιζήματα που μεταφέρονταν από τον Νείλο να λειτουργούν ως φυσικά θρεπτικά συστατικά και λιπάσματα.

Ολοκληρώνοντας, με βάση των ιστορικών καταγραφών διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μία άρρηκτη σχέση μεταξύ της υδροπονίας και της γεωργίας γενικότερα, παράλληλα όμως οι δύο αυτές έννοιες δεν πρέπει να σεγχέονται και ως παρόμοιες, διότι οι διαφορές τους είναι πολύ σημαντικές. Η γεωργία σαν κλάδος προϋπήρχε εδώ και πολλά χρόνια και έχει ως αντικείμενο την “εκμετάλλευση” της γης, σα μέσω επιβίωσης του ανθρώπινου είδους. Με την καλπάζουσα όμως ανάπτυξη του πληθυσμού και των αναγκών που δημιουργήθηκαν σε βάθος χρόνου, αλλά και τη βελτίωση της τεχνολογίας, εμφανίστηκε ο κλάδος της υδροπονίας για να καλύψει όλες αυτές τις ανάγκες με πιο βιώσιμα μέσα για το περιβάλλον και πιο ακριβή μέσα παραγωγής αγροτικών προϊόντων.

2.2. Η Υδροπονία στη Σύγχρονη Εποχή

Η υδροπονία είναι μία μέθοδος θερμοκηπιακής καλλιέργειας που βασίζεται στην ανάπτυξη των φυτών μέσω υδάτινων περιβάλλοντων χωρίς την παρουσία εδάφους (χώματος) γνωστή και ως ανέδαφος καλλιέργεια. Η ανάγκη αυτή προέκυψε τόσο για εμπορικούς σκοπούς όσο και οικιακούς αφού τα πλεονεκτήματα της σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας είναι αρκετά. Οι απαιτήσεις της σε λιγότερο νερό και χώρο όπως και η αποτελεσματικότητα της στην ταχύτερη ανάπτυξη προϊόντων (φυτών, λαχανικών κ.α.) συμβάλουν σε μία αποδοτικότερη μέθοδο καλλιέργειας. Επίσης, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που προσφέρει είναι πως μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου το έδαφος δεν είναι τόσο πρόσφορο σε συνδιασμό με το ότι οι εξωτερικοί παράγοντες (θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία, ξηρασία κ.α.) δεν επηρεάζουν την ανάπτυξη. Έτσι, όλα αυτά την καθιστούν από τις πλέον απαραίτητες καλλιέργειες αφού ο παραγωγός μπορεί να την χρησιμοποιήσει καθ’ όλη την διάρκεια του χρόνου.

Ένας από τους τρόπους που επιτυγχάνονται όλα αυτά σχετίζεται με τον απαραίτητο έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών, των θρεπτικών συστατικών που τροφοδοτούν τη ρίζα, με τον σωστό αερισμό της, τον έλεγχο της υγρασίας, της φωτεινότητας, της αγωγιμότητας και θερμοκρασίας του νερού, όπως και του pH του, καθώς όλα αυτά επηρεάζουν άμεσα την υγεία των φυτών, την ανάπτυξη των ριζών και τη συνολική απόδοση της καλλιέργειας.

2.3. Συνθήκες, Είδη Φυτών και Υλικά Υδροπονίας

Τα δημοφιλέστερα είδη φυτών που καλλιεργούνται στην υδροπονία είναι τα λαχανικά, τα λαχανικά με καρπό, τα μικρολαχανικά, καθώς και τα άνθη. Στην Ελλάδα, πολλοί παραγωγοί και μικροπαραγωγοί έχουν βρεί τη λύση της υδροπονικής

καλλιέργειας αυτών των ειδών τόσο στα αστικά κέντρα όσο και σε αγροτικές περιοχές. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που απασχολούν έναν παραγωγό για την ανάπτυξη των φυτών με υδροπονία είναι τόσο οι περιβαλλοντικές συνθήκες εντός του υδροπονικού κήπου, που προαναφέρθηκαν, όσο και τα βασικά υλικά που πρέπει να χρησιμοποιήσουν.

Είναι ευρέως γνωστό ότι τα τρία βασικά θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη όλων των ειδών φυτού είναι το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg) και το θείο (S). Παράλληλα, υπάρχουν και δευτερεύοντα αλλά εξίσου σημαντικά (σίδηρος, ψευδάργυρος, χλώριο κ.α.). Τα είδη υποστρωμάτων επίσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην υδροπονική παραγωγή και τα πιο διαδεδομένα είναι ο κοκοφοίνικας, ο διογκωμένος άργιλος, ο περλίτης, η τύρφη, ο πετροβάμβακας, ο βερμικουλήτης, ο ζεόλιθος, και το ροκγουλ (Rockwool).

Στο εμπόριο μπορεί να βρεί κανείς πληθώρα παραλλαγών όλων των παραπάνω, οι οποίες μπορούν να ανταποκρίθουν στις ανάγκες που απαιτούνται από τον εκάστοτε παραγωγό. Κάποια από τα πλέον διαδεδομένα είδη φυτών και γενικές πληροφορίες για τις συνθήκες και τα υλικά, που είναι καθοριστικά για την ανάπτυξή τους, παρουσιάζονται παρακάτω και είναι τα ακόλουθα:

- Καλλιέργεια Τομάτας

Οι σπόροι της τομάτας κατά την φύτευση μπορούν να τοποθετηθούν σε μικρά δοχεία στηριγμένοι σε νωπό βαμβάκι έως και το πρώτο στάδιο ανάπτυξής τους. Στην συνέχεια ανάλογα με τη μέθοδο καλλιέργειας που θα ακολουθηθεί μεταφυτεύονται. Ένα διαδεδομένο υπόστρωμα για την ανάπτυξη τομάτας είναι αυτό του κοκοφοίνικα αναμνημένο με διογκωμένο άργιλο. Η ιδανική θερμοκρασία πρέπει να μην ξεπερνάει τους 20 – 25 °C και η υγρασία να διατηρείται στο 50 – 70% στη συνέχεια το pH μπορεί να κυμαίνεται στο 6,0 – 6,5. Η αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να είναι από 2 – 3,5 mS / cm μέγιστο και διαφέρει ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκεται το φυτό ενώ η φωτοσύνθεση μπορεί να γίνει μέσω λάμπας LED (Light Emmiting Diode) ή φθορισμού.

- Καλλιέργεια Μαρουλιού

Η καλλιέργεια του μαρουλιού είναι πιο εύκολη από αυτή της ντομάτας καθώς δεν είναι καρποφόρο λαχανικό. Η διαδικασία της σποράς και της μεταφύτευσης μπορεί να είναι η ίδια αλλά κάποιοι παράμετροι αλλάζουν. Εδώ ένα ιδανικό υπόστρωμα θα ήταν αυτό των κύβων πετροβάμβακα με τύρφη ή περλίτη. Η θερμοκρασία που προτείνεται είναι περίπου στους 15 – 21 °C, η υγρασία σε ποσοστό 50 – 70% και το pH στο 6,0 – 7,0. Εδώ η αγωγιμότητα κυμαίνεται στο 1,2 – 2,2 mS / cm. Το μαρούλι χρειάζεται και αυτό φωτισμό για την φωτοσύνθεση του και αυτό μπορεί να επιτευχθεί επίσης με λάμπες ανάπτυξης φυτών αλλά η ανάπτυξή του θα έχει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα εάν η εγκατάσταση του υδροπονικού κήπου είναι ικανή να του παρέχει λίγες ώρες εκθεσή στο φως του ήλιου.

- Καλλιέργεια Πιπεριάς

Η πιπεριά είναι ένα φυτό το οποίο γνωρίζει μεγάλη ζήτηση στην χώρα μας με διαρκή άνοδο. Χρειάζεται μεγαλύτερη θερμοκρασία και ποσοστά υγρασίας σε σχέση με αυτά που αναφέρθηκαν στα δύο παραπάνω καθώς η

Θερμοκρασία του υπολογίζεται περίπου στους 26 – 28 °C και η σχετική υγρασία στο 75 – 80%. Οι κύβοι πετροβάμβακα είναι μία καλή λύση υποστρώματος και η εμβάπτιση του θρεπτικού διαλύματος πάνω σε αυτό υπολογίζεται να έχει αγωγιμότητα της τάξεως των 2,5 mS και pH 5,5 – 7,0.

- Καλλιέργεια μικρολαχανικών ρόκας (Microgreens Rocket)

Η καλλιέργεια μικρολαχανικών ρόκας είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στο εξωτερικό. Το συγκεκριμένο είδος απαιτεί υψηλή υγρασία στις ρίζες του αλλά όχι τόσο μεγάλες θερμοκρασίες. Η υγρασία κυμαίνεται γύρω στο 70 – 80% και η θερμοκρασία περίπου στους 18 – 24 °C. Το συνηθέστερο υπόστρωμα καλλιέργειας τους είναι η μίξη περλίτη βερμικουλήτη και ζεόλιθου και η αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος προς αυτά υπολογίζεται περίπου στα 0,8 – 1,2 mS. Το pH παραμένει και εδώ στο ίδιο εύρος της τάξης του 5,0 – 7,0.

- Καλλιέργεια Βασιλικού

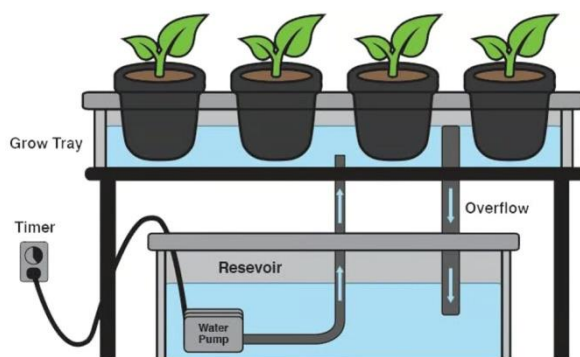
Ο βασιλικός είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα αρωματικά φυτά ο οποίος βρίσκεται συχνά θέση σε συνταγές μαγειρικής. Το υπόστρωμα σε μία υδροπονική καλλιέργεια μπορεί να είναι μία μίξη ροκγουλ (Rockwool) με περλίτη ή κοκοφοίνικα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υγρασία του υποστρώματος δεν πρέπει να είναι υπερβολική καθώς το εύρος κυμαίνεται περίπου στο 40 – 60% και η θερμοκρασία στους 20 – 22 °C. Το pH και η αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος δεν πρέπει να ξεπερνάει το 5,5 – 6,5 και 1,0 – 1,6 mS αντίστοιχα.

2.4. Τύποι και Συστήματα Υδροπονίας

Η μέθοδος ανάπτυξης που θα ακολουθήσει ένας παραγωγός για μία υδροπονική καλλιέργεια ποικίλει και διαφέρει λόγω του ότι υπάρχει μία σειρά διαφορετικών συστημάτων που πρέπει να επιλέξει με βάση των απαιτήσεων που έχει. Η κάθε μία από τις μεθόδους για την υλοποίηση αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων έχει τα δικά της χαρακτηριστικά όπως επίσης πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, που το καθένα από αυτά είναι σημαντικό. Κάποιες από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους απαιτούν την ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού με ειδικές τεχνικές γνώσεις, λόγω των πολύπλοκων ευφύων διαδικασιών που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία των συστημάτων. Παράλληλα το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του εξοπλισμού παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή μεθόδου από τον παραγωγό και ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι μίας υδροπονικής εγκατάστασης χωρίζονται, αρχικά στα συστήματα απορροής θρεπτικών διαλυμάτων, ανοιχτό κύκλωμα (run to waste system), και στα συστήματα τα οποία επαναχρησιμοποιούν το θρεπτικό διάλυμα, κλειστό κύκλωμα (closed loop system). Έπειτα έχουμε τα στάγδην συστήματα, τα συστήματα όπου η ρίζα αναπτύσσεται μέσα στο θρεπτικό διάλυμα και το νερό, την αεροπονία (Aeroponics), και τέλος την ενυδρειοπονία (Aquaponics). Παρακάτω θα γίνει μία παρουσίαση των τύπων συστημάτων καθώς και περαιτέρω ανάλυση τους.

2.4.1. Σύστημα Πλήρωσης και Απορροής (Ebb and Flow or Flood and Drain)

Ο συγκεκριμένος τύπος καλλιέργειας ανήκει στα συστήματα όπου η ρίζα αναπτύσσεται μέσω πλημμύρας του νερού αλλά δεν βρίσκεται συνεχώς μέσα στο νερό. Μέσω μίας αντλίας νερού το θρεπτικό διάλυμα διοχετεύεται απο την δεξαμενή στο δοχείο καλλιέργειας που βρίσκεται από πάνω όπου εκεί το “πλημμυρίζει” για κάποια λεπτά ώστε η ρίζα να τραβήξει τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζεται και στην συνέχεια μέσω περιοδικής υπερχειλίσσης ελεγχόμενη απο μία βαλβίδα περνάει στην φάση της αποστράγγισης και αερισμού της ρίζας του φυτού. Αξίζει να σημειωθεί πως το θρεπτικό διάλυμα επιστρέφει πίσω στην δεξαμενή και επαναχρησιμοποιείται. Όλα αυτά καθιστά τη συγκεκριμένη μέθοδο καλλιέργειας μία απο τις πιο φιλικές προς το περιβαλλον και την κατανάλωση πόρων αλλά και ενέργειας. Το κόστος κατασκευής είναι αρκετά χαμηλό καθώς τα κινούμενα μέρη είναι λιγότερα και η συντήρηση που απαιτείται είναι κυρίως για την αντλία και τις βαλβίδες. Να σημειωθεί ότι η συχνή εναλλαγή των επιπέδων του νερού μπορεί να προκαλέσει ρύπανση του υποστρώματος οπότε απαιτείται συχνός έλεγχος των θρεπτικών συστατικών.



Εικόνα 8 : Αρχιτεκτονική συστήματος Ebb and Flow

2.4.2. Σύστημα Άρδευσης Σταγόνας (Drip System)

Το σύστημα στάγδην ή η μέθοδος άρδευσης σταγόνας είναι ίσως και ο πιο απλός τύπος καλλιέργειας αφού μοιάζει αρκετά με αυτόν μιας απλής καλλιέργειας. Εδώ έχουμε και πάλι μία δεξαμενή και μία αντλία νερού όπου μέσω σωληνώσεων το θρεπτικό διάλυμα φτάνει στις γλάστρες που είναι τα φυτά. Μέσω σταλακτών το υπόστρωμα ποτίζεται και έπειτα η γλάστρα στραγγίζει προς τον δίσκο

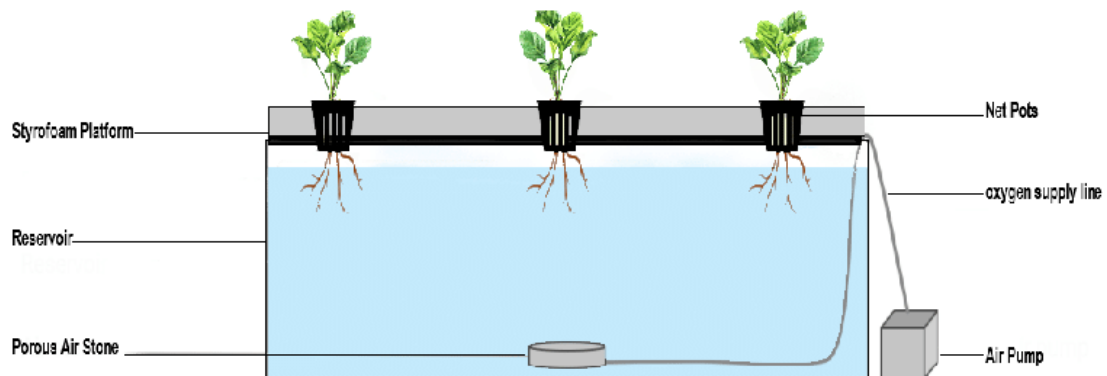
αποστράγγισης. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι με τη συγκεκριμένη μέθοδο το υπόστρωμα που θα επιλεχτεί θα πρέπει να είναι κατάλληλο έτσι ώστε να μπορεί να διατηρεί την υγρασία για εύλογο χρονικό διάστημα. Το σύστημα απαιτεί τακτική συντήρηση και καθαρισμό τόσο των σταλακτών όσο και των σωληνώσεων αλλά είναι απλούστερη διαδικασία σε σχέση με άλλα συστήματα.



Εικόνα 9: Αρχιτεκτονική συστήματος άρδευσης σταγόνας

2.4.3. Σύστημα Καλλιέργειας σε Βαθύ Νερό ή DWC (Deep Water Culture)

Είναι απο τις δύο δημοφιλέστερες μεθόδους καλλιέργειας στη χώρα μας και ανήκει στα συστήματα όπου η ρίζα αναπτύσσεται μέσα στο θρεπτικό διάλυμα. Αποτελείται από μία δεξαμενή όπου απο πάνω προσαρμόζεται ένα διχτυωτό γλαστράκι (Net pot) και αυτό γιατί η ρίζα πρέπει να διαπεράσει και να φτάσει αρκετά κάτω ώστε να συναντήσει το θρεπτικό διάλυμα. Να σημειωθεί, πώς ανάμεσα στο net pot και το νερό πρέπει να υπάρχουν κάποια εκατοστά απόστασης μεταξύ τους για το σωστό αερισμό της ρίζας. Επιπλέον η χρήση αντλίας αέρα και αεραγωγού μέσα στην δεξαμενή είναι απαραίτητη για την καλή οξυγόνωση του νερού. Η διασφάλιση της λειτουργίας της αντλίας και ο τακτικός έλεγχος του θρεπτικού διαλύματος και της αγωγιμότητας είναι κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος. Αν και το σύστημα είναι απλό στην λειτουργία του το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό αφού απαιτεί πολλών ειδών εξαρτήματα. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο η καλλιέργεια φυτών με μεγάλες ρίζες δεν συνιστάται και γι'αυτό ο τύπος αυτής απευθύνεται σε μικρά φυτά.



Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική συστήματος Deep Water Culture

2.4.4. Nutrient Film Technique (NFT)

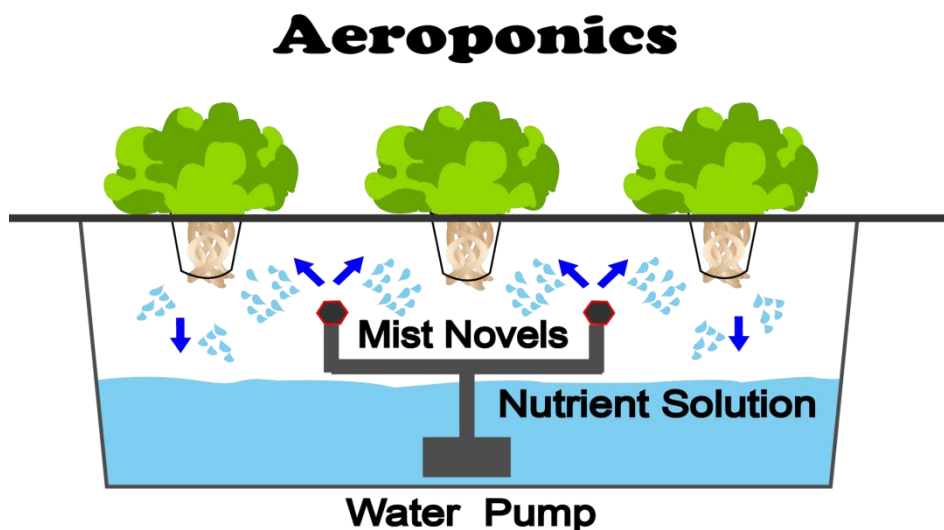
Αυτή είναι η πρώτη δημοφιλέστερη μέθοδος καλλιέργειας και ανήκει και αυτή στα συστήματα όπου η ρίζα αναπτύσσεται μέσα στο θρεπτικό διάλυμα. Αλλά εδώ ο τρόπος είναι διαφορετικός από τον παραπάνω, διότι με την συγκεκριμένη τεχνική το θρεπτικό διάλυμα ρέει συνεχώς μέσα από κεκλιμένους σωλήνες οι οποίοι ανά τακτά διαστήματα έχουν ωπές ώστε να τοποθετούνται τα net pots. Το θρεπτικό διάλυμα επαναχρησιμοποιείται καθώς επιστρέφει πίσω στην δεξαμενή. Οι κεκλιμένοι σωλήνες έχουν μία ελαφρά κλίση προς τα κάτω για να επιτυγχάνεται έτσι καλύτερα η ροή του διαλύματος το οποίο έχει την μορφή φιλμ. Η εγκατάσταση αυτού του τύπου καλλιέργειας μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κάθετη αν υπάρχει η ανάγκη εξοικονόμησης χώρου αλλά είναι κοστοβόρα σε σχέση με άλλες μεθόδους. Οι υδραυλικές εγκαταστάσεις είναι πολύπλοκες αλλά και η συνεχής λειτουργία της αντλίας απαιτεί αρκετή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα NFT απευθύνεται κυρίως σε μεγάλες παραγωγικές μονάδες.



Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική συστήματος NFT

2.4.5. Αεροπονία (Aeroponics)

Η λειτουργία ενός αεροπονικού συστήματος ξεκινάει από μία δεξαμενή που περιέχει το θρεπτικό διάλυμα αφού μία αντλία το διοχετεύει προς τους ψεκαστήρες και αυτοί με τη σειρά τους διασπείρουν το διάλυμα στις ρίζες των φυτών. Τα φυτά είναι στηριγμένα σε δοχεία με πολλές τρύπες στις πλευρές τους και στις βάσεις ώστε η ρίζα να μπορεί να επεκταθεί στον αέρα, όπως επίσης ειδικοί σφιγκτήρες είναι τοποθετημένοι για να παρέχουν στήριξη στον κορμό τους. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η πολύ καλή παροχή οξυγόνου στην ρίζα του φυτού αφού όμως έχει εξασφαλιστεί ο πλήρης έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών στον θάλαμο καλλιέργειας όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η φωτεινότητα. Ο ψεκασμός των φυτών πρέπει να είναι τακτικός όπως και η συντήρηση των ψεκαστικών, ακόμα, η χρήση ελεγκτών για να ενεργοποιούν θερμαντήρες, κλιματιστικά και φωτιστικά καθιστούν απαραίτητο κομμάτι για τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Το κόστος της εγκατάστασης μίας τέτοιας μεθόδου καλλιέργειας είναι αρκετά υψηλό λόγω του εξειδικευμένου εξοπλισμού που απαιτεί όπως επίσης δημιουργείται και η ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού με τεχνικές γνώσεις ως προς τον τομέα της διαχείρισης έξυπνων συστημάτων ελέγχου περιβαλλοντικών συνθηκών.

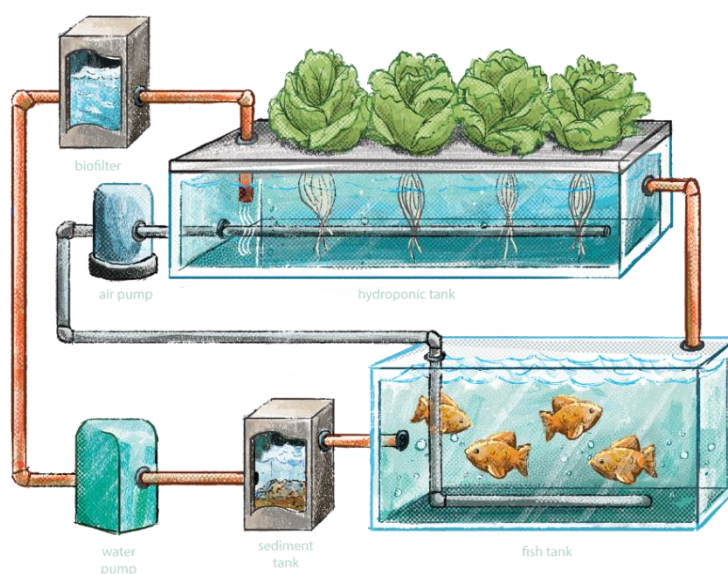


Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική Συστήματος Αεροπονίας (Aeroponics)

2.4.6. Ακουαπονική ή Ενωδρειοπονία

Η συγκεκριμένη μέθοδος καλλιέργειας δεν ανήκει στο κομμάτι της υδροπονίας ωστόσο βασίζεται στην ανάπτυξη φυτών μέσω του νερού. Ας εξετάσουμε λοιπόν τη λειτουργία της και ας δούμε σε τι διαφέρει από την υδροπονία. Στην ακουαπονία η παραγωγή θρεπτικών συστατικών δημιουργείται από τα ψάρια αλλά και από άλλους οργανισμούς που ζουν εντός ενός ενυδρείου. Καταλαβαίνουμε λοιπόν πώς μιλάμε για ένα κλειστό υδάτινο οικοσύστημα όπου ότι θρεπτικό συστατικό παράγεται είναι οργανικό, σε σχέση με τα θρεπτικά συστατικά που χρησιμοποιούμε

στην υδροπονία τα οποία είναι χημικά. Τα φυτά λειτουργούν ως φυσικά φίλτρα καθώς οι ρίζες τους αντλούν όλα τα θρεπτικά συστατικά και έτσι αφήνουν το νερό καθαρό για τα ψάρια. Η ανάπτυξη των φυτών είναι ταχύτερη και η μέθοδος ανάπτυξης απόλυτα οικολογική, αλλά ο έλεγχος των διαφόρων συνθηκών που δημιουργούνται στο νερό απαιτεί εξειδικευμένα αισθητήρια για την μέτρηση, τόσο των χημικών στοιχείων που χρειάζεται ο εκάστοτε παραγωγός, όσο και μετρήσεων θερμοκρασίας, αγωγιμότητας, pH κ.α. Οι απαιτήσεις της τακτικής αλλαγής του νερού και καθαρισμού του συστήματος είναι συχνότερες και το κόστος διαφέρει ανάλογα με το πόσο μεγάλη θα είναι η εγκατάσταση. Τέλος, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω μπορούμε με σιγουριά να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πώς με την ενυδρειοπονική καλλιέργεια εκτός της παραγωγής φυτών επιτυγχάνεται και η παραγωγή ψαριών.



Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική συστήματος Ακουαπονίας (Aquaponics)

2.5. Υδροπονία, Περιβάλλον και Υγεία

Η υδροπονία ως μία από τις πιο σύγχρονες μεθόδους καλλιέργειας του 21^{ου} αιώνα κατατάσσεται και επίσημα σε αυτές με το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η ποσότητες των διαθέσιμων φυσικών πόρων και της ενέργειας, που απαιτούνται για την παραγωγή αγροτικών προϊόντων, σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας είναι αρκετά μικρότερες.

Αρχικά, η παραδοσιακή γεωργία συμβάλει σε μεγάλες απώλειες υδατικών πόρων πράγμα το οποίο αυξάνει το πρόβλημα της κλιματικής κρίσης του πλανήτη. Η υδροπονική καλλιέργεια επιτρέπει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του νερού και της αποτελεσματικής διαχείρισής του αφού χρησιμοποιεί έως και 90% λιγότερο νερό. Η χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων εμφανίζονται σε πολύ

μικρότερες ποσότητες αποφεύγοντας έτσι την εκτεταμένη μόλυνση και ρύπανση του εδάφους και των υδάτων.

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, τα υδροπονικά συστήματα κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες, καθώς πολλές φορές η χρήση συστημάτων, τα οποία εκμεταλεύονται την γεωθερμική ενέργεια για τη θέρμανση ή την ψύξη των χώρων καλλιέργειας, συναντάται στα υδροπονικά θερμοκήπια καθιστώντας τα ενεργειακά αυτόνομα.

Τέλος, η υδροπονία αποτελεί σήμερα μία από τις οικολογικότερες μεθόδους καλλιέργειας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, λόγω της υψηλής ποιότητας προϊόντων, περισσότερες θρεπτικές αξίες στα τρόφιμα, ωφέλιμες για την ανθρώπινη υγεία.

3. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Μικροελεγκτές και Αισθητήρες

Ο όρος Internet of Things (IoT) ή αλλιώς το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ονομάζεται ένα σύνολο συσκευών και αισθητηρίων τα οποία είναι συνδεδεμένα με το διαδίκτυο, είτε σε τοπικά δίκτυα είτε στον παγκόσμιο ιστό, και μέσω πρωτόκολλων επικοινωνίας και κατάλληλων δικτύων, λογισμικών και πλατφόρμων, επιτυγχάνουν την μεταξύ τους επικοινωνία, αλλά και την συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων σε ένα υπολογιστικό νέφος (Cloud). Το σύνολο όλων αυτών των πραγμάτων χρησιμοποιούν την τεχνητή νοημοσύνη και την μηχανική μάθηση για να αναλύσει τα δεδομένα, να εκπαιδευτεί, και να πάρει τις σωστές αποφάσεις.

3.1. Τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Η δικτύωση δηλαδή η διαδικασία σύνδεσης και επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών IoT υποστηρίζεται από μία σειρά τεχνολογιών ασύρματων δικτύων τα οποία χωρίζονται σε προσωπικά δίκτυα, σε τοπικά, και σε δίκτυα ευρείας περιοχής. Κάποια από αυτά είναι τα παρακάτω:

- Το Wi-Fi είναι μία τεχνολογία ασύρματου δικτύου η οποία ανήκει στην κατηγορία των τοπικών δικτύων που ονομάζεται και local area network (LAN), και βασίζεται στο ευρύτερο σύνολο προτύπων IEEE 802.11. Το Wi-Fi είναι από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες παγκοσμίως, και

χρησιμοποιείται κατά κόρον στο διαδίκτυο των πραγμάτων, καθώς μπορεί να επιτύχει υψηλές ταχύτες μεταφοράς δεδομένων, ενώ η εμβέλεια του είναι περιορισμένη, αλλά κατάλληλη στο να μπορεί να πραγματοποιήσει την σύνδεση πολλαπλών συσκευών, συνδεδεμένες σε διάφορους χώρους, όπως σπίτια, γραφεία κ.α.

- Το Bluetooth ανήκει στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα ή Wireless Personal Area Networks (WPAN) και έχει την δυνατότητα να συνδέσει συσκευές και να μεταφέρει δεδομένα σε κοντινές αποστάσεις. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Bluetooth το συναντάμε σε εφαρμογές IoT που χρησιμοποιούνται σε έξυπνα σπίτια, σε αυτοκίνητα, αλλά και στα κινητά τηλέφωνα (smartphones) για την σύνδεση ηχείων ή ακουστικών.
- Το LoRaWAN ή Long Range Wide Area Network ανήκει στην κατηγορία των ασύρματων δικτύων ευρείας περιοχής. Είναι ένα δίκτυο χαμηλής ισχύος, το οποίο είναι σχεδιασμένο για να υποστηρίζει ασύρματες συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία. Η εμβέλεια που προσφέρει είναι έως και 15 χιλιόμετρα, και μπορεί να υποστηρίξει χιλιάδες συσκευές συνδεδεμένες ταυτόχρονα, και έτσι λόγω αυτών των χαρακτηριστικών του εφαρμόζεται στην γεωργία για την παρακολούθηση των εδαφικών και περιβαλλοντικών συνθηκών. Είναι επίσης διαδεδωμένο για την χρήση του σε έξυπνες πόλεις για τον εντοπισμό θορύβου, την κινητικότητα, η και για υπηρεσίες εντοπισμού.

Κάποια από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε IoT εφαρμογές είναι το NB-IoT, το ZigBee, το DASH7, το sigfox, αλλά και τα MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS, SSL/TLS. Όλα αυτά επιτρέπουν, το να μπορούν οι συσκευές να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους, αλλά και να επικοινωνήσουν, παρέχοντας ταυτόχρονα την προστασία, και την ασφαλή αποθήκευση και μεταφορά δεδομένων.



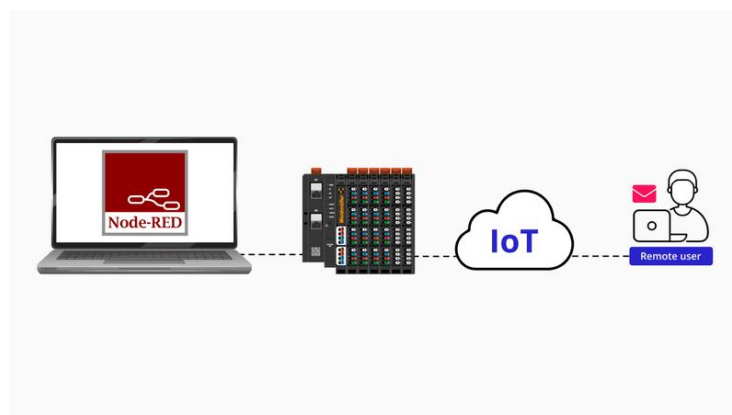
Εικόνα 14: Ασύρματα δίκτυα και πρωτόκολλα επικοινωνίας σε IoT

3.2. Το Node-RED στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Node-RED είναι μία πλατφόρμα η οποία βασίζεται στην διαδικασία εξαγωγής, μετασχηματισμού και φόρτωσης γνωστή και ως Extract Transform Load (ETL), όπου συνδυάζει, καθαρίζει και οργανώνει δεδομένα από πολλαπλές πηγές, σε ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων για αποθήκευση τους σε μία αποθήκη δεδομένων. Το προγραμματιστικό εργαλείο Node-RED προσφέρει πολλές δυνατότητες, ιδιαίτερα για τη δημιουργία προγραμμάτων με εφαρμογή στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων.'

Μία από τις δυνατότητες είναι και η καλωδίωση μεταξύ συσκευών υλικού, προγραμματιζόμενων διεπαφών εφαρμογών ή Application Programming Interfaces (APIs) και online υπηρεσιών με νέους και ενδιαφέροντες τρόπους. Με την χρήση προγραμματισμού (visual programming) μπορούμε να συνδέσουμε μαζί έτοιμα μπλοκ κώδικα, που ονομάζονται "κόμβοι", και έτσι να εκτελέσουν την προγραμματιζόμενη ενέργεια. Οι διασυνδεδεμένοι κόμβοι, που είναι ένας συνδιασμός κόμβων εισόδου, εξόδου και επεξεργασίας, όταν ενώνονται μεταξύ τους, δημιουργούν τις ονομαζόμενες "ροές".

Επίσης, το Node-RED παρέχει τη δυνατότητα επεξεργασίας, αποκτώντας πρόσβαση στο πρόγραμμα μέσω του εκάστοτε περιηγητή (browser), πράγμα που καθιστά εύκολο να δημιουργηθούν και να συνδεθούν μαζί ροές, κάνοντας χρήση ενός ευρέως φάσματος από διαθέσιμους κόμβους, που υπάρχουν στην παλέτα του προγράμματος. Η ανάπτυξη του σχεδιαζόμενου συστήματος συσκευών και ροών μπορεί να αναπτυχθεί για την εκτέλεση με το πάτημα ενός μόνο κουμπιού. Επειδή το Node-RED είναι βασισμένο στο Node.js, εκμεταλλεύεται όλα τα πλεονεκτήματα της γλώσσας Javascript. Ο αριθμός των κόμβων που είναι διαθέσιμοι υπολογίζεται ότι είναι πάνω από 255.000, και αυτό δείχνει την τεράστια δυνατότητα για την μελέτη διαφορετικών σεναρίων και επιλογών.



Εικόνα 15: Το Node-RED και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

3.3. Πλακέτες Arduino

Το Arduino είναι μία πλακέτα ανοιχτού κώδικα η οποία σχεδιάστηκε στην Ιταλία το 2005, από τους Massimo Banzi και David Cueartielles. Είναι ένα σύστημα, που δίνει την δυνατότητα, ελέγχου ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, αισθητήρων και συστημάτων επέκτασης, το οποίο βασίζεται στους μικροελεγκτές της οικογένειας AVR της Atmel, που στη συνέχεια αποκτήθηκε από την Microchip Technology. Στο εμπόριο υπάρχουν πολλές πλακέτες Arduino με διαφορές παραλλαγές στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, καθώς αποτελούνται και από διαφορετικούς μικροελεγκτές. Παρακάτω θα δούμε κάποιες από τις βασικές:

- Arduino Uno Rev3



Εικόνα 16: Πλακέτα Arduino Uno Rev3

Το Arduino Uno είναι από τις πιο βασικές πλακέτες που υπάρχουν στην αγορά, το οποίο βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 της Atmel. Η σύνδεση και ο προγραμματισμός της γίνεται μέσω καλωδίου USB τύπου USB-A male to USB-B male, και η τάση λειτουργίας, όταν το τροφοδοτήσουμε με το USB είναι 5V, αλλά υπάρχει ξεχωριστά και ακόμα μία είσοδος τροφοδοσίας η οποία μπορεί με ένα τροφοδοτικό, επίσης να τροφοδοτήσει το Arduino UNO με 9V ή 12V αντίστοιχα. Η πλακέτα, ακόμη είναι συγχρονισμένη στα 16MHz, και διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους, όπου οι 6 από αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν PWM ή Pulse Width Modulation έξοδοι. Συγκεκριμένα τα pins (3,5,6,9,10,11) έχουν ανάλυση 8bit άρα οι πιθανές τιμές είναι από 0 έως 256 τιμές. Αποτελείται επίσης από μία κεφαλίδα ICSP (In-Circuit Serial Programming) και ένα μπουτόν επαναφοράς.

Επιπλέον χαρακτηριστικά:

DC ρεύμα ανά I/O pin	20mA
DC ρεύμα για 3.3V pin	50mA

Μνήμη Flash	32KB
Μνήμη SRAM	2KB
Μνήμη EEPROM	1KB
Διαστάσεις	68,6mm X 53,4mm
Βάρος πλακέτας	25g

Πίνακας 1: Επιπλέον χαρακτηριστικά πλακέτας Arduino Uno Rev3

- Arduino Uno Wi-Fi Rev2



Εικόνα 17: Πλακέτα Arduino Uno WiFi Rev2

Η διαφορά στην συγκεκριμένη Arduino πλακέτα είναι ένας πιο καινούργιος μικροεπεξεργαστής και συγκεκριμένα ο ATmega4809 της Atmel. Η πλακέτα μπορεί να προγραμματιστεί μέσω Wi-Fi, όπου χρησιμοποιεί το τσιπ κρυπτογράφησης ECC608. Η μονάδα Wi-Fi είναι ένα σύστημα SoC με ενσωματωμένο το πρωτόκολλο TCP/IP, και μπορεί να υποστηρίξει τον προγραμματισμό OTA (over-the-air) για μεταφορά κώδικα.

Επιπλέον χαρακτηριστικά:

Τάση εισόδου	5V
Τάση λειτουργίας	7-12V
Ψηφιακά I/O pins	14 (τα 6 PWM)
Αναλογικές εισόδους	6
DC ρεύμα ανά I/O pin	20mA

DC ρεύμα για 3.3V	50mA
Μνήμη Flash	48KB
Μνήμη SRAM	6.144 Bytes
Διαστάσεις	68,6mm X 53,4mm
Βάρος	25g

Πίνακας 2: Επιπλέον χαρακτηριστικά πλακέτας Arduino Uno Wi-Fi Rev2

- Arduino Mega 2560 Rev3



Εικόνα 18: Πλακέτα Arduino Mega 2560 Rev3

Κύριο χαρακτηριστικό για το Arduino Mega είναι η μεγαλύτερη μνήμη του και οι περισσότερες εισόδους και εξόδους του. Ο μικροελεγκτής του είναι ο ATmega2560 της Atmel. Διαθέτει 54 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους και η μνήμη Flash του είναι 256KB, πράγμα που κάνει την πλακέτα να μπορεί να δεχτεί πολύπλοκα προγράμματα.

Επιπλέον χαρακτηριστικά:

Τάση λειτουργίας	5V
Ψηφιακά I/O pins	54
Αναλογικές εισόδους	16
PWM εισόδους	15
DC ρεύμα ανά I/O pin	40mA

DC ρεύμα για 3.3V	50mA
Μνήμη SRAM	8KB
Μνήμη EEPROM	4KB
Διαστάσεις	101,5mm X 53,3mm
Βάρος	37g

Πίνακας 3: Επιπλέον χαρακτηριστικά πλακέτας Arduino Mega 2560 Rev3

- Arduino Due



Εικόνα 19: Πλακέτα Arduino Due

Το Arduino Due βασίζεται στον μικροελεγκτή SAM3X8E ARM Cortex-M3 με συχνότητα λειτουργίας στα 84MHz. Διαθέτει 54 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους και 12 αναλογικές, και η τάση λειτουργίας είναι στα 3,3V. Το Due είναι σχεδιασμένο για εφαρμογές υψηλότερης επεξεργαστικής ισχύος και εκτεταμένες δυνατότητες επικοινωνίας.

Επιπλέον χαρακτηριστικά:

PWM εισόδους	12
DC ρεύμα ανά I/O pin	130mA
DC ρεύμα για 3.3V	800mA
Μνήμη Flash	512KB

Μνήμη SRAM	96KB
Διαστάσεις	101,52mm X 53,3mm
Βάρος	36g

Πίνακας 4: Επιπλέον χαρακτηριστικά πλακέτας Arduino Due

Όλες οι πλακέτες Arduino προγραμματίζονται και αναπτύσσονται στο περιβάλλον Arduino IDE. Ο προγραμματισμός γίνεται με την γλώσσα Wiring, η οποία βασίζεται στη C++ όπου περιέχει αρκετές βιβλιοθήκες.

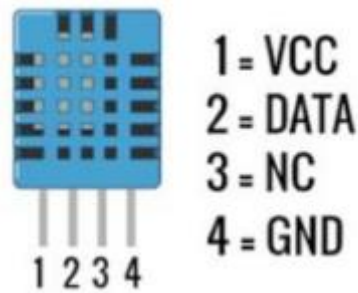
3.3.1. Τα Πλεονεκτήματα του Arduino

Τα πλεονεκτήματα με βάση την ποικιλία των πλακετών είναι πολλά, αφού κάποιες από τις εκδόσεις πλακετών μπορούν να υποστηρίξουν απαιτητικές εφαρμογές. Το κόστος των πλακετών, και των εξαρτημάτων είναι αρκετά χαμηλό σε σχέση με άλλες πλατφόρμες. Η συμβατότητα του περιβάλλοντος προγραμματισμού με λειτουργικά συστήματα όπως Windows, macOS, και Linux τα καθιστά πιο εύκολα στην χρήση. Η επεκτασιμότητα της πλατφόρμας σε προγραμματιστικό επίπεδο είναι επίσης ένα από τα πλεονεκτήματα. Λόγω του ότι το λογισμικό είναι ανοιχτού κώδικα, συμβάλει στην ανάπτυξη και εξελιγή του. Η επέκταση της γλώσσας μπορεί να γίνει μέσω μετατροπής των διαθέσιμων βιβλιοθηκών ή με την δημιουργία νέων. Το περιβάλλον επίσης του προγραμματισμού της πλακέτας είναι αρκετά εύχρηστο για έναν νέο χρήστη, ενώ δίνει και πολλές δυνατότητες στους προχωρημένους.

3.4.2. Ψηφιακά και Αναλογικά Αισθητήρια Arduino

Στο εμπόριο υπάρχει μία μεγάλη γκάμα αισθητηρίων τα οποία είναι συμβατά με μικροελεγκτές όπως το Arduino. Όλα έχουν τα δικά τους χαρακτηριστικά και το κάθε ένα έχει την αρχή λειτουργίας του. Είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά, και ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους έχουν και διαφορετική συνδεσμολογία επάνω στην πλακέτα του Arduino. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι πληροφορίες και τα χαρακτηριστικά κάποιων από αυτών:

- Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας DHT11



Εικόνα 20: Ο αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας DHT11

Ο DHT11, αρχικά βασίζεται στο θερμίστορ NTC (Negative Temperature Coefficient), το οποίο αποτελείται από μία αντίσταση όπου όταν μειώνεται παράλληλα αυξάνει την θερμοκρασία και έτσι επηρεάζει την τιμή.

Η εξίσωση Steinhart & Hart ορίζει τη σχέση ανάμεσα στην αντίσταση και τη θερμοκρασία των θερμίστορ και είναι η

$$T = B / \ln(R) - A, \text{ όπου}$$

R: η αντίσταση

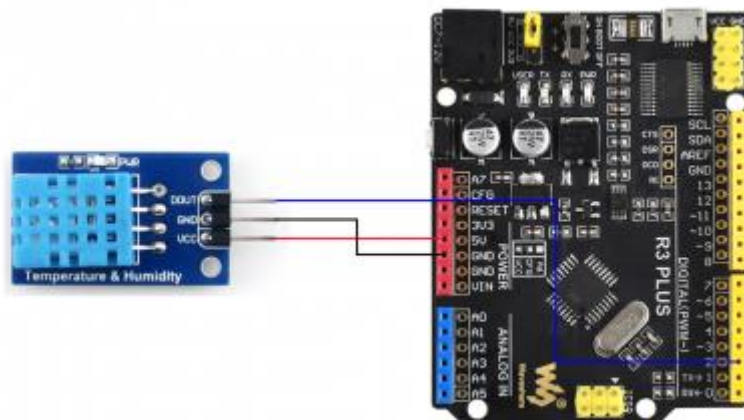
T: η θερμοκρασία

A, B, και C: οι συντελεστές του θερμίστορ

Η μέτρηση της υγρασίας, επιτυγχάνεται με την παρουσία δύο ηλεκτροδίων που ανάμεσα τους υπάρχει ένα υγροσκοπικό υλικό το οποίο απορροφάει την υγρασία, και έτσι μετριέται η αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και μετατρέπεται σε υγρασία επί τις εκατό.

Vcc	Τροφοδοσία 3.3VDC ή 5VDC
Data	Σύνδεση σε ψηφιακή έξοδο του Arduino A0-A5
GND	Σύνδεση στο Ground

Πίνακας 5: Συνδεσμολογία των pin του DHT11



Εικόνα 21: Συνδεσμολογία DHT11 με Arduino

Επιπλέον χαρακτηριστικά είναι :

Μέγιστο Ρεύμα Λειτουργίας	2,5mA
Περιοχή Μέτρησης Υγρασίας	20 – 80% / $\pm 5\%$
Περιοχή Μέτρησης Θερμοκρασίας	0 – 50 °C / $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ρυθμός Δειγματοληψίας	1Hz
Διαστάσεις	15,5mm X 12mm X 5,5mm

Πίνακας 6: Επιπλέον χαρακτηριστικά του DHT11

- Αναλογικός αισθητήρας pH

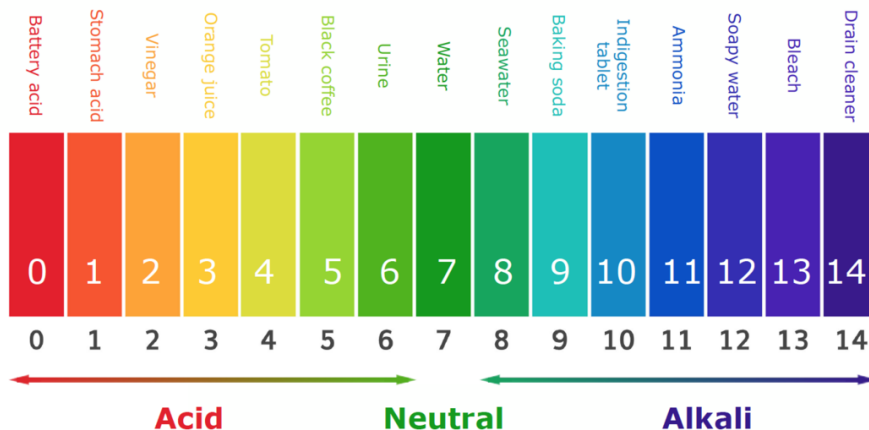


Εικόνα 22: Αναλογικός αισθητήρας pH

Το pH ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης κατιόντων υδρογόνου σε ένα διάλυμα:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

Ο Soren Peter Lauritz Sorensen ήταν Δανός χημικός όπου εισήγαγε την κλίμακα μέτρησης της ενεργούς οξύτητας, δηλαδή το pH.



The University of Waikato Te Whare Wānanga o Waikato | www.sciencelearn.org.nz

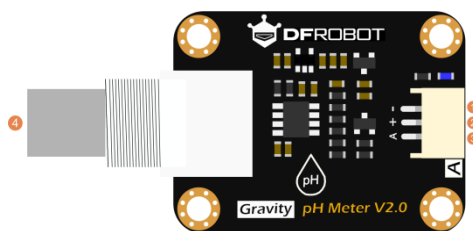
Εικόνα 23: Η κλίμακα ενεργούς οξύτητας pH

Όταν το pH είναι ίσο με το 7 τότε το διάλυμα θεωρείται ουδέτερο.

Όταν το pH είναι μικρότερο του 7 τότε το διάλυμα θεωρείται όξινο.

Όταν το pH είναι μεγαλύτερο του 7 τότε το διάλυμα θεωρείται αλκαλικό.

Η αρχή λειτουργίας του αναλογικού αισθητήρα pH βασίζεται στη διαφορά δυναμικού δύο ηλεκτροδίων. Το ένα ηλεκτρόδιο αποτελείται από ειδικό γυαλί που είναι ευαίσθητο στα ιόντα υδρογόνου. Το δεύτερο ηλεκτρόδιο είναι το ηλεκτρόδιο αναφοράς (Reference electrode). Έτσι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων δημιουργεί ένα αναλογικό σήμα τάσης. Αυτό το σήμα ενισχύεται μέσω ενισχυτή και φίλτρων, για τυχόν θόρυβου στο σήμα, από μία πλακέτα που συνοδεύεται με το αισθητήριο.

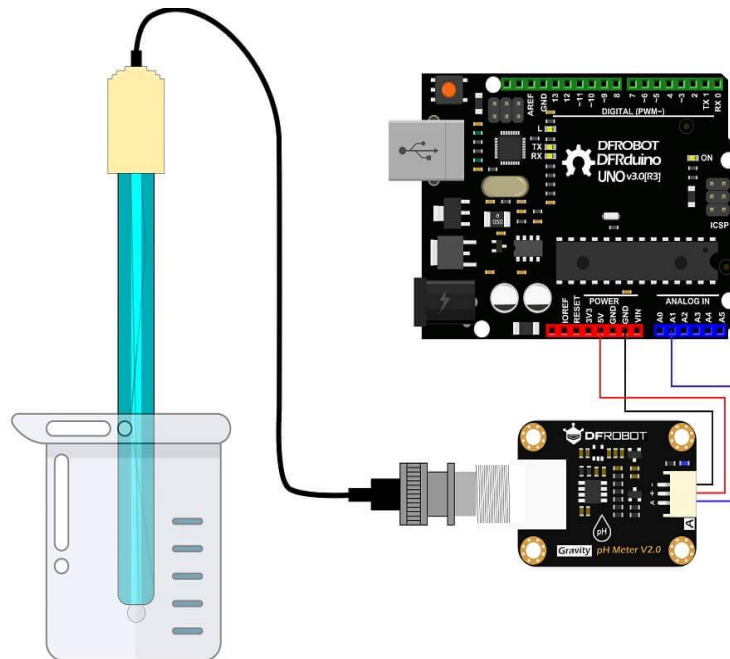


Εικόνα 24: Πλακέτα αναλογικού αισθητήριου pH

Τα χαρακτηριστικά είναι:

1	-	GND
2	+	VCC (3.3V-5.5V)
3	A	Αναλογική έξοδος A0-A5
4	BNC	Σύνδεση αισθητηρίου pH

Πίνακας 7: Συνδεσμολογία των pin του αναλογικού pH



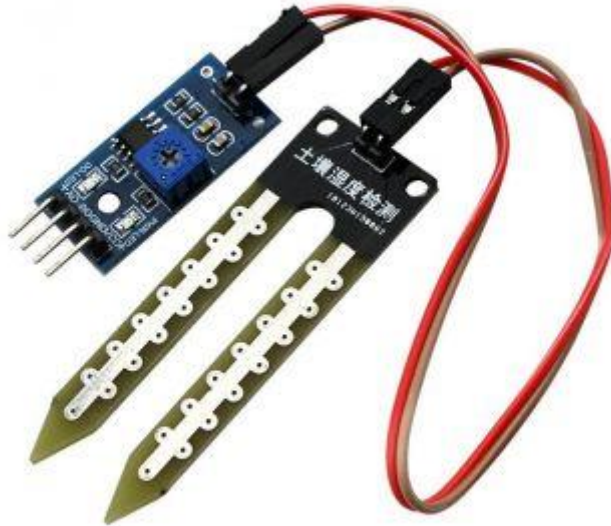
Εικόνα 25: Συνδεσμολογία αναλογικού pH με το Arduino

Επιπλέον χαρακτηριστικά είναι:

Ακρίβεια Μέτρησης	± 1 στους 25°C
Διαστάσεις	42X32mm
Εύρος Ανίχνευσης	0-14
Εύρος Θερμοκρασίας	5-60°C
Σημείο Μηδέν	7 ± 0.5
Χρόνος Απόκρισης	<2min
Εσωτερική Αντίσταση	<250MΩ

Πίνακας 8: Επιπλέον χαρακτηριστικά του αναλογικού pH

- Αισθητήρας υγρασίας εδάφους (soil moisture sensor)



Εικόνα 26: Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους (soil moisture sensor)

Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα υγρασίας εδάφους βασίζεται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι αντιστρόφος ανάλογη της ηλεκτρικής αντίστασης και αυτό ορίζεται από τον τύπο

$$G = 1/R = I/V, \text{ όπου}$$

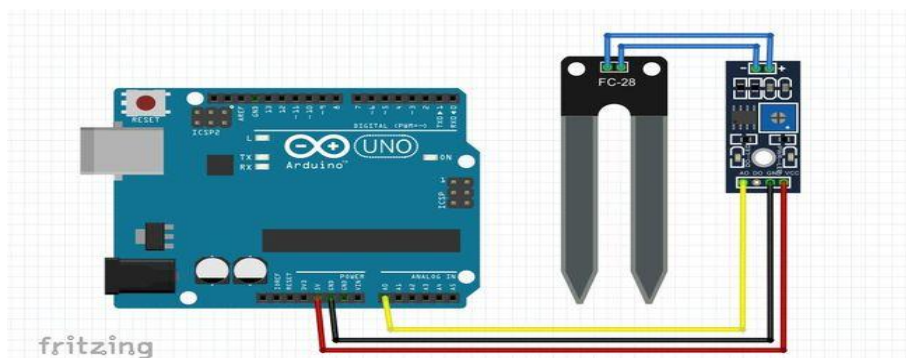
G: η αγωγιμότητα

R: η αντίσταση

V: η διαφορά δυναμικού

I: η ένταση του ρεύματος

Έτσι όσο η αγωγιμότητα του εδάφους αυξάνεται η αντίσταση μειώνεται και το αντίστροφο. Ο αισθητήρας έχει δύο πλάκες αντίστασης, όπου εκεί δημιουργείται διαφορά δυναμικού και έτσι παράγεται αναλογικό σήμα.



Εικόνα 27: Σύνδεση LM393 και αισθητήρα υγρασίας εδάφους με το Arduino

Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους έχει την δυνατότητα να συνδεθεί είτε σε αναλογική είτε σε ψηφιακή έξοδο. Η πλακέτα σύγκρισης και ελέγχου LM393 έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1	VCC	Τροφοδοσία 5VDC
2	GND	GROUND
3	D0	Ψηφιακή έξοδος
4	A0	Αναλογική έξοδος

Πίνακας 9: Συνδεσμολογία pin της πλακέτας του αισθητήρα υγρασίας εδάφους

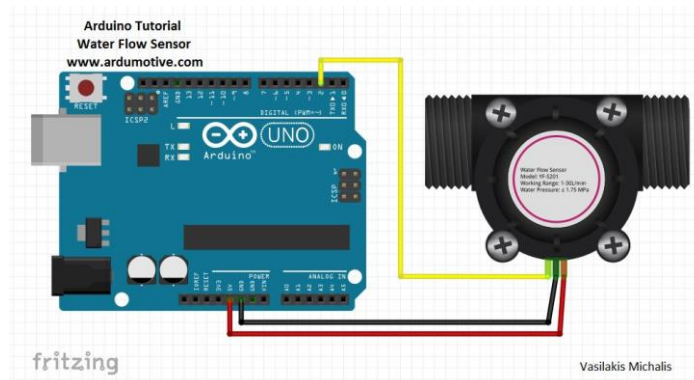
- Αισθητήρας ροής υγρών (Flow sensor)



Εικόνα 28: Αισθητήρας ροής υγρών (Flow sensor)

Ο αισθητήρας ροής υγρών βασίζει την αρχή λειτουργίας του σε έναν στρόβιλο ο οποίος είναι τοποθετημένος στο κέντρο του σωλήνα, όπου όταν

το νερό περάσει από μέσα τότε αυτός αρχίζει να περιστρέφεται. Έτσι μέσω ενός αισθητήρα μέτρησης παροχής, και αφού παράγεται κάποιος ηλεκτρικός παλμός, μετριέται η συχνότητα παλμοσειράς.



Εικόνα 29: Συνδεσμολογία αισθητήρα ροής υγρών στο Arduino

Κόκκινο καλώδιο	5V
Μαύρο καλώδιο	GND
Κίτρινο καλώδιο	Ψηφιακή έξοδος

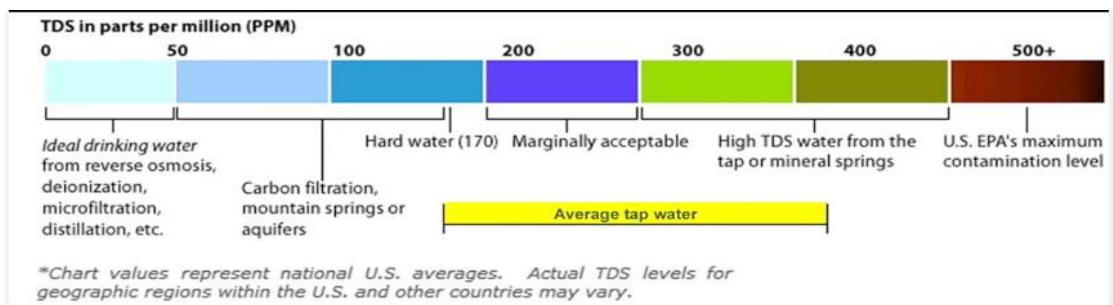
Πίνακας 10: Συνδεσμολογία καλωδίων αισθητήρα ροής υγρών

- Αναλογικός αισθητήρας TDS (Total Dissolved Solids)

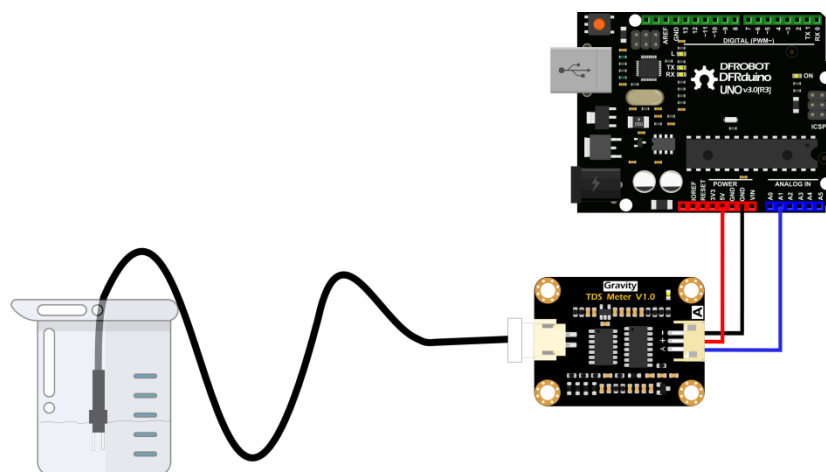


Εικόνα 30: Αναλογικός αισθητήρας διαλυμένων στερεών σωματιδίων

Ο αναλογικός αισθητήρας διαλυμένων στερεών σωματιδίων, ως αρχή λειτουργίας του, βασίζεται στην αγωγιμότητα του νερού, η οποία είναι ανάλογη με τον αριθμό των διαλυμένων στερεών σωματιδίων. Έτσι μέσω δύο ηλεκτροδίων και μίας πηγής τάσης, παράγεται ρεύμα μέσα στο νερό όπου ανάλογα με την αγωγιμότητα του νερού μετρίεται η τάση.



Εικόνα 31: Κλίμακα διαλυμένων στερεών σωματιδίων σε PPM



Εικόνα 32: Συνδεσμολογία αισθητηρίου διαλυμενων στερεών σωματιδίων στο Arduino

Επιπλέον χαρακτηριστικά:

Τάση εισόδου	3.3-5V
Ρεύμα λειτουργίας	3-6mA
Εύρος μέτρησης TDS	0-1000ppm
Ακρίβεια μέτρησης TDS	$\pm 10\%$ F.S (25 °C)

Πίνακας 11: Επιπλέον χαρακτηριστικά του αισθητήρα διαλυμένων στερεών σωματιδίων

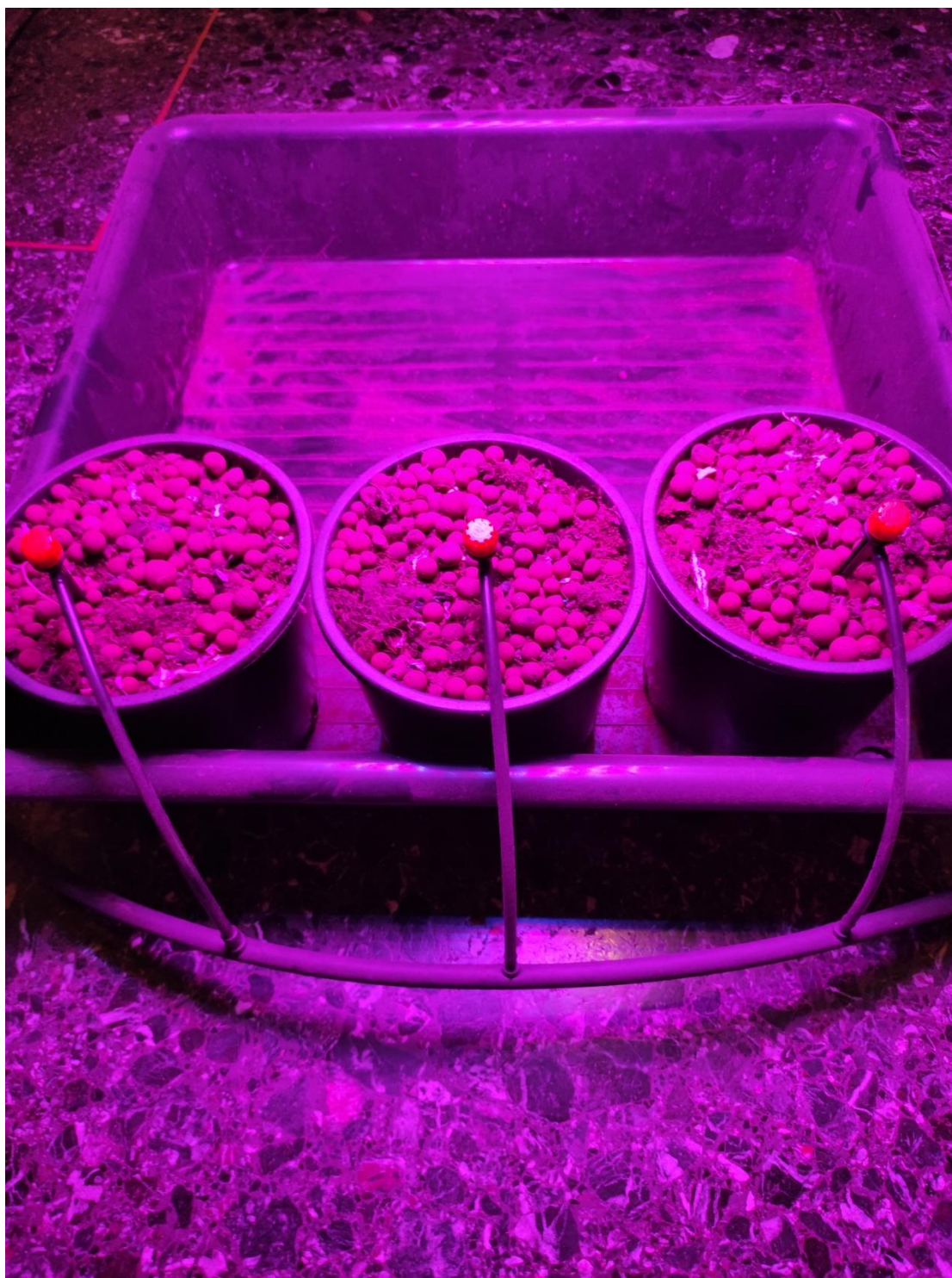
4. Πειραματικό και Προγραμματιστικό Μέρος

Σε αυτό το μέρος γίνεται η παρουσίαση, των υλικών, των εξαρτημάτων, και των αισθητηρίων, που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της κατασκευής, καθώς εξηγείται και η δομή του προγραμματιστικού μέρους. Τέλος, γίνεται η παρουσίαση των σταδίων ανάπτυξης του φυτού και των προβλημάτων που προέκυψαν.

4.1. Υλοποίηση Κατασκευαστικού Μέρους και Υλικά

Αρχικά, για την υλοποίηση της κατασκευής επιλέχθηκε η υδροπονική μέθοδος με το σύστημα άρδευσης σταγόνας ή στάγδην σύστημα (Drip System). Η επιλογή αυτής της μεθόδου καλλιέργειας έγινε γιατί αφενός, μοιάζει με τη μέθοδο παραδοσιακής καλλιέργειας, και αφετέρου διότι το κόστος κατασκευής είναι χαμηλότερο από αυτά που προαναφέρθηκαν.

Η κατασκευή αποτελείται αρχικά από έναν δίσκο καλλιέργειας,



Εικόνα 33: Δίσκος καλλιέργειας, γλάστρες και περιφερειακά

όπου εντός του δίσκου υπάρχουν τρεις γλάστρες στις οποίες καταλήγουν οι σταλάκτες. Το αρδευτικό σύστημα αποτελείται από έναν ειδικό εύκαμπτο σωλήνα PVC, καθώς πάνω του έγιναν τρεις τομές, στις οποίες τοποθετήθηκαν ειδικοί σύνδεσμοι ώστε τρεις μικρότερης διατομής σωλήνες να καταλήξουν στους σταλάκτες. Οι σταλάκτες είναι ρυθμιζόμενοι και έτσι μπορεί να γίνει η ρύθμιση της

έντασης που πέφτει η σταγόνα. Στον δίσκο καλλιέργειας δημιουργήθηκε μία τρύπα για την απορροή του νερού, η οποία καταλήγει σε αποχέτευση, και αυτό έγινε με ειδικό ποτηροτρύπανο. Παράλληλα, εντός των γλαστρών καλλιέργειας τοποθετήθηκε διογκωμένη άργιλος αναμειγμένη με κοκοφοίνικα, για την σωστή στήριξη της τομάτας, καθώς τα δύο αυτά υλικά βοηθούν και στην σωστή απορόφηση των θρεπτικών συστατικών από τη ρίζα.



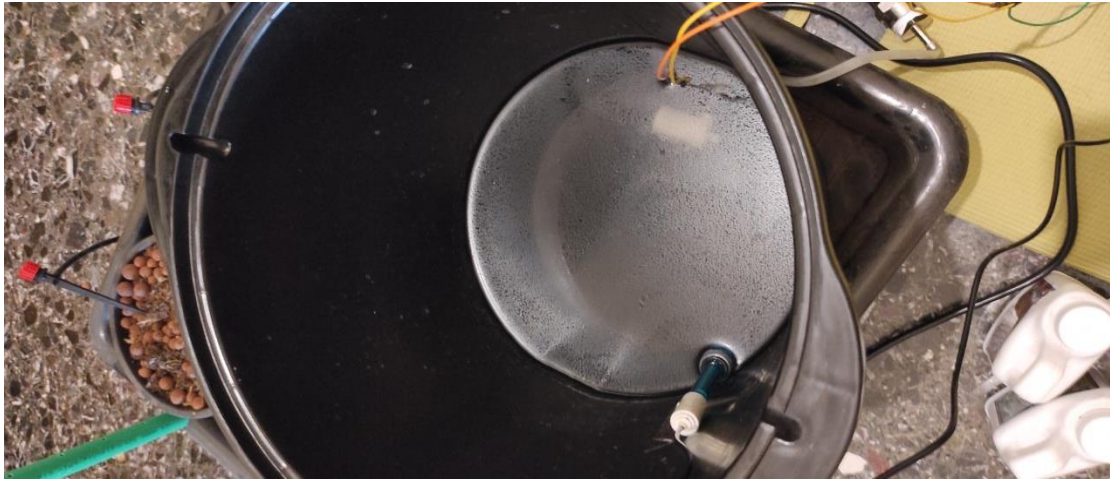
Εικόνα 34: Διογκωμένη άργιλος και κοκοφοίνικας

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε μία ρυθμιζόμενη βάση ώστε να στηριχθεί η λάμπα ανάπτυξης των φυτών. Αυτή η βάση αποτελείται από έναν σκληρό σωλήνα PVC, όπου είναι στηριγμένος στη βάση του δίσκου καλλιέργειας, όπου μέσα του υπάρχει μία μεταλλική ράβδος. Ο σκληρός σωλήνας PVC και η μεταλλική ράβδος έχουν τρυπηθεί κατάλληλα, και έτσι με έναν πείρο επιτυγχάνεται η ρύθμιση του ύψους της λάμπας.



Εικόνα 35: Βάση στήριξης της λάμπας

Έπειτα, ακολουθεί η δεξαμενή του συστήματος όπου αντλούνται τα θρεπτικά συστατικά και το νερό. Πρόκειται για μία δεξαμενή 10 λίτρων, καθώς μέσα της είναι βυθισμένη η αντλία νερού του συστήματος. Το ένα άκρο της αντλίας που είναι βυθισμένη, τραβάει το νερό με τα θρεπτικά συστατικά, και το άλλο άκρο είναι συνδεδεμένο με έναν σωλήνα σιλικόνης, όπου αυτός με την σειρά του, μέσω μίας τρύπας που υπάρχει στη βάση της δεξαμενής, καταλήγει στον αισθητήρα ροής.



Εικόνα 36: Δεξαμενή του συστήματος

Έτσι στο ένα άκρο του αισθητήρα ροής εισέρχεται ο σωληνάς σιλικόνης από την αντλία και στην έξοδο εισέρχεται ο εύκαμπτος σωλήνας PVC.



Εικόνα 37: Είσοδος και έξοδος αισθητήρα ροής

Η δεξαμενή επίσης, εντός της περιέχει μία ορθογώνια αερόπετρα. Η αερόπετρα, η οποία είναι συνδεδεμένη, μέσω σωλήνα σιλικόνης, με μία αντλία παροχής αέρα, εξασφαλίζει την επαρκή διατήρηση του οξυγόνου στο νερό.



Εικόνα 38: Αντλία παροχής αέρα



Εικόνα 39: Ορθογώνια αερόπετρα

Τέλος, εντός της δεξαμενής υπάρχει και ο αισθητήρας του pH για να εξασφαλίζει τον σωστό έλεγχο των θρεπτικών διαλυμάτων.

4.2. Τα Στάδια Ανάπτυξης της Τομάτας

Η διαδικασία της ανάπτυξης της τομάτας θα χωριστεί σε 4 στάδια. Η συνολική διάρκεια της ανάπτυξης, από το πρώτο στάδιο έως το τέταρτο, διήρκεσε περίπου τρεις μήνες. Επίσης, το περιβάλλον της ανάπτυξης έγινε σε ένα δωμάτιο σπιτιού και όχι σε επαγγελματικό θερμοκηπιακό περιβάλλον. Παράλληλα, η ανάπτυξη της τομάτας με παραδοσιακή μέθοδο, ξεκίνησε την ίδια χρονική στιγμή με την μέθοδο της υδροπονίας. Να σημειωθεί ότι, στην ανάπτυξη του φυτού με παραδοσιακή μέθοδο δεν χρησιμοποιήθηκε λίπασμα ή άλλα συστατικά, αντίθετα με την υδροπονική μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν θρεπτικά διαλύματα, που είναι απαραίτητα. Και οι δύο αυτές μορφές καλλιέργειας είχαν την κατάλληλη πρόσβαση στην παροχή νερού και φωτισμού.

- Πρώτο στάδιο ανάπτυξης

Το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης ξεκίνησε στα μέσα της περιόδου της άνοιξης, διότι εκεί ξεκινάει η κατάλληλη περίοδος για την καλλιέργεια τομάτας. Η διαδικασία ξεκίνησε από τον σπόρο της τομάτας, ο οποίος τοποθετήθηκε αρχικά σε ειδικά μικρά γλαστράκια (pots), και στηρίχθηκε σε νωπό βαμβάκι για περίπου 2 εβδομάδες. Μετά το πέρασμα των δύο εβδομάδων έγινε η μεταφύτευση τους σε λίγο μεγαλύτερα pots, ώστε να μπορέσουν να αναπτυχθούν περισσότερο.



Εικόνα 40: Πρώτο στάδιο ανάπτυξης τομάτας (μεταφύτευση σε pots)

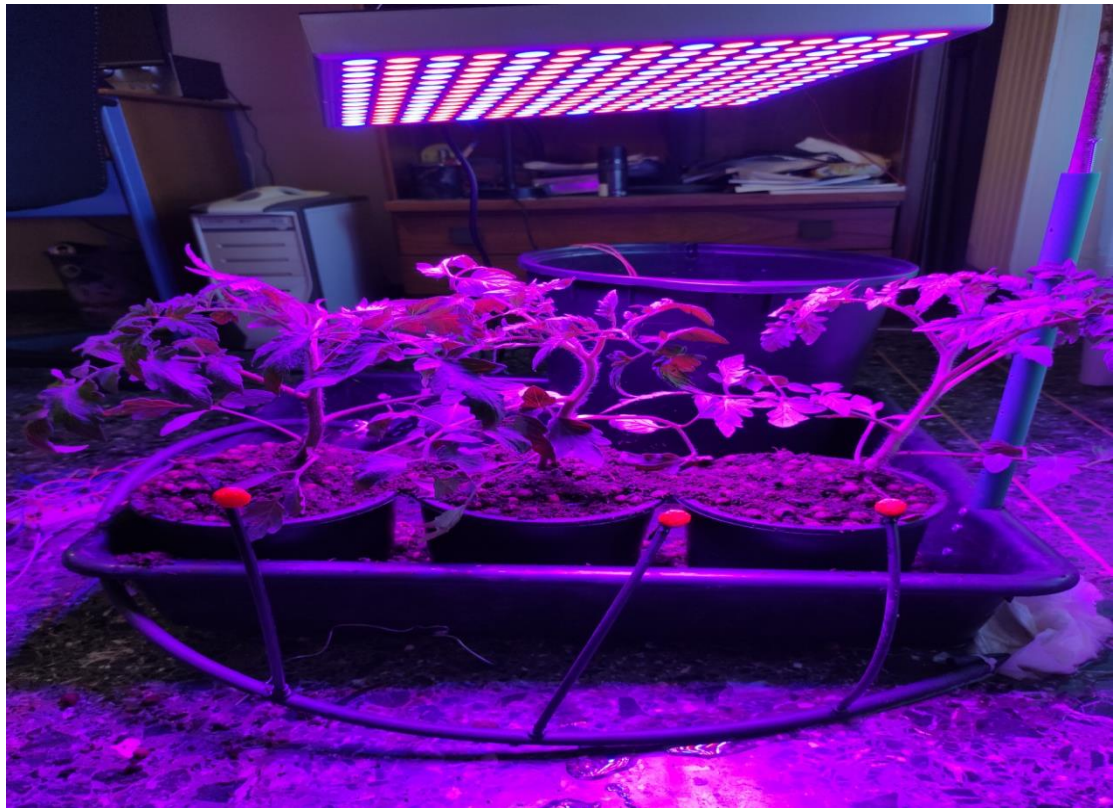
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι το στάδιο ανάπτυξης του φυλλώματος έχει ξεκινήσει. Μετά το πέρας δύο εβδομάδων περίπου μπαίνουμε στο δεύτερο στάδιο της ανάπτυξης.

- Δεύτερο στάδιο ανάπτυξης

Στο δεύτερο στάδιο ανάπτυξης έγινε η δεύτερη και τελευταία μεταφύτευση των φυτών. Για αρχή, το ένα pot (γλαστράκι) το αφήσαμε ως έχει, δηλαδή το φυτό στο χώμα, ενώ τρία φυτά χρησιμοποιήθηκαν για το σύστημα της υδροπονικής καλλιέργειας. Αφού αφαιρέθηκαν από τα pots, και έγινε ο καθαρισμός της ρίζας τους από το χώμα, τοποθετήθηκαν στις γλάστρες που υπάρχουν στον δίσκο καλλιέργειας. Έτσι μετά από περίπου τέσσερις εβδομάδες ξεκινάει η μέθοδος της υδροπονίας και η τοποθέτηση του φυτού στο σύστημα. Έπειτα, αφού έγινε η διαδικασία μεταφύτευσης, προστέθηκε στη δεξαμενή απιονισμένο νερό και θρεπτικά διαλύματα. Το απιονισμένο νερό είναι κατάλληλο για μία υδροπονική μέθοδο καλλιέργειας λόγω ότι το

pH του κυμαίνεται περίπου στο 5.5 – 6.5. Αντίθετα, η αγωγιμότητα του είναι πολύ χαμηλή, καθώς έχουν αφαιρεθεί τα ιόντα και τα υπόλοιπα στοιχεία,

έτσι με την πρόσθεση θρεπτικών διαλυμάτων αυξάνουμε την αγωγιμότητα, αφού αυτά περιέχουν στοιχεία όπως άζωτο, φώσφορο, κάλιο, μαγνήσιο και άλλα. Τα θρεπτικά διαλύματα βοηθούν και στη διατήρηση του pH.



Εικόνα 41: Δεύτερο στάδιο ανάπτυξης τομάτας (ανάπτυξη έξι εβδομάδων)

Οι ποσότητες διαλυμάτων που εισήχθησαν εντός του νερού, το οποίο όπως αναφερθήκε πιο πάνω είναι περίπου δέκα λίτρα, είναι περίπου μία κουταλιά απο το κάθε διάλυμα, που βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 42: Θρεπτικά διαλύματα

Η μέτρηση και ο έλεγχος της αγωγιμότητας επιτεύχθηκε με φορητό όργανο αγωγιμότητας, λόγω υψηλού κόστους για την αγορά ενός αισθητηρίου του εμπορίου, ενώ η μέτρηση του pH και της υγρασίας ελέγχεται από αντίστοιχα αισθητήρια. Να σημειωθεί ότι, έχει γίνει κατάλληλη ρύθμιση του αισθητηρίου υγρασίας, καθώς όταν η υγρασία μειωθεί κάτω από το 60% δίνεται σήμα στην αντλία νερού για να ποτίσει, ενώ όταν η υγρασία αυξηθεί πάνω από το 80% δίνεται σήμα να σταματήσει η αντλία.

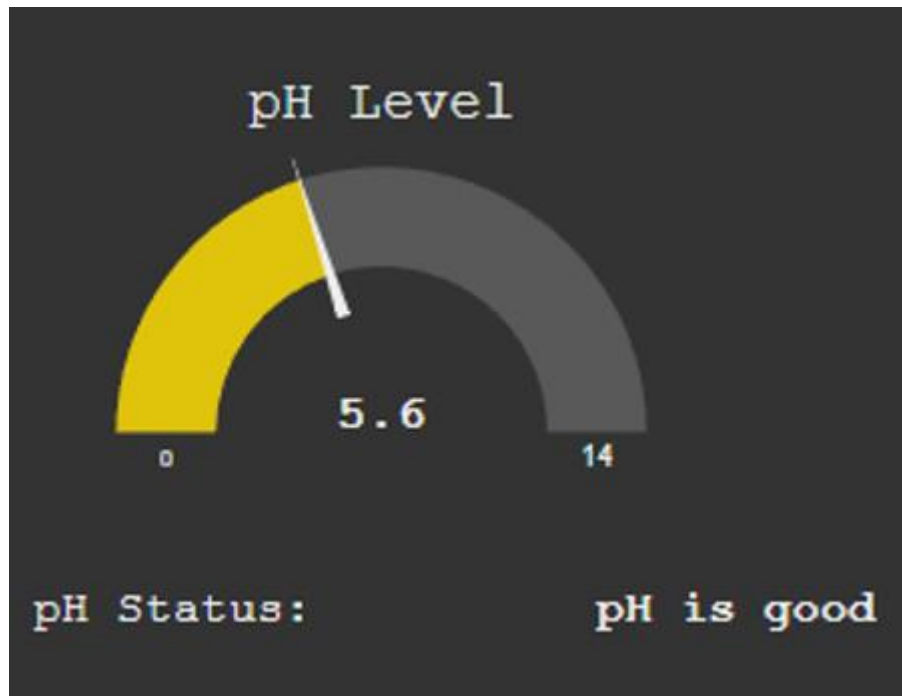


Εικόνα 43: Αισθητήρας υγρασίας (Soil humidity sensor)

Καθώς λοιπόν, έχουμε περάσει στο δεύτερο στάδιο ανάπτυξης της τομάτας, και μετά το πέρας περίπου έξι εβδομάδων, όπως είδαμε στην εικόνα παραπάνω ξεκινάει το τρίτο στάδιο ανάπτυξης

- Τρίτο στάδιο ανάπτυξης

Το τρίτο στάδιο ανάπτυξης, δηλαδή λίγο πριν την καρποφορία, διήρκεσε περίπου μία εβδομάδα. Κατά το δεύτερο αλλά και τρίτο στάδιο αξίζει να σημειωθεί ότι η αλλαγή τόσο του νερού όσο και η προσθήκη θρεπτικών διαλυμάτων και συστατικών, γίνεται τακτικά, δηλαδή κάθε εβδομάδα. Με αυτόν τον τρόπο διατηρούμε το pH στο 5.5 - 6.5 ενώ η αγωγιμότητα κυμαίνεται στα 2.0 – 3.5 mS/cm.



Εικόνα 44: Μέτρηση pH κατά τη διάρκεια ανάπτυξης

Καθόλη τη διάρκεια της ανάπτυξης από το δεύτερο στάδιο και μετά η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών έγινε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (η υλοποίηση του συστήματος θα αναλυθεί σε επόμενη υποενότητα). Κατά το τρίτο στάδιο ανάπτυξης όπου βρισκόμαστε, η μέθοδος με την παραδοσιακή θερμοκηπιακή καλλιέργεια άρχισε να έχει αρνητικά αποτελέσματα. Όπως προαναφέρθηκε το φυτό έχει παροχή νερού καθημερινά και η έκθεση του στον ήλιο είναι καθημερινή. Επίσης κατά τη διάρκεια της νύχτας τοποθετείται κάτω από τη λάμπα ανάπτυξης του υδροπονικού συστήματος ώστε να συνεχίσει την φωτοσύνθεση. Την δέκατη περίπου εβδομάδα που διανύθηκε, παρατηρήθηκε ότι το φυτό άρχισε να παρουσιάζει μία σημαντική πτώση των φυλλωμάτων του.



Εικόνα 45: Δέκατη εβδομάδα ανάπτυξης (σχετική πτώση φυλλωμάτων)

Έπειτα από συχνότερη τροφοδότηση νερού και μεταφοράς του σε μεγαλύτερη γλάστρα το φυτό διατηρήθηκε στην ίδια κατάσταση, για περίπου δύο βδομάδες, και στη συνέχεια έφτασε στο τελικό στάδιο, δηλαδή σε ολική πτώση. Τα φυλλώματα ξεράθηκαν, καθώς παρατηρήθηκε και μία περίεργη ουσία σε κάποια σημεία του φυτού όπου έμοιαζε σαν βαμβάκι. Μία πιθανή υπόθεση είναι ότι κάποια ασθένεια μεταφέρθηκε στις ρίζες του μέσω του χώματος. Παράλληλα, οι τομάτες στο υδροπονικό σύστημα βρίσκονται λίγο πριν την καρποφορία, αφού η ανθοφορία έχει ήδη επιτευχθεί. Έτσι, περνάμε στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο ανάπτυξης.

- Τέταρτο στάδιο ανάπτυξης
Η καλλιέργεια βρίσκεται στο τελικό στάδιο. Σε αυτή τη φάση βρισκόμαστε στην δωδέκατη εβδομάδα ανάπτυξης και στο στάδιο της καρποφορίας. Χρειάστηκαν δηλαδή περίπου τρεις μήνες ώστε να υπάρξει έστω και η ελάχιστη παραγωγή καρπού μέσα σε μία κατοικία. Στην παρακάτω εικόνα διακρίνεται η ύπαρξη καρπού.



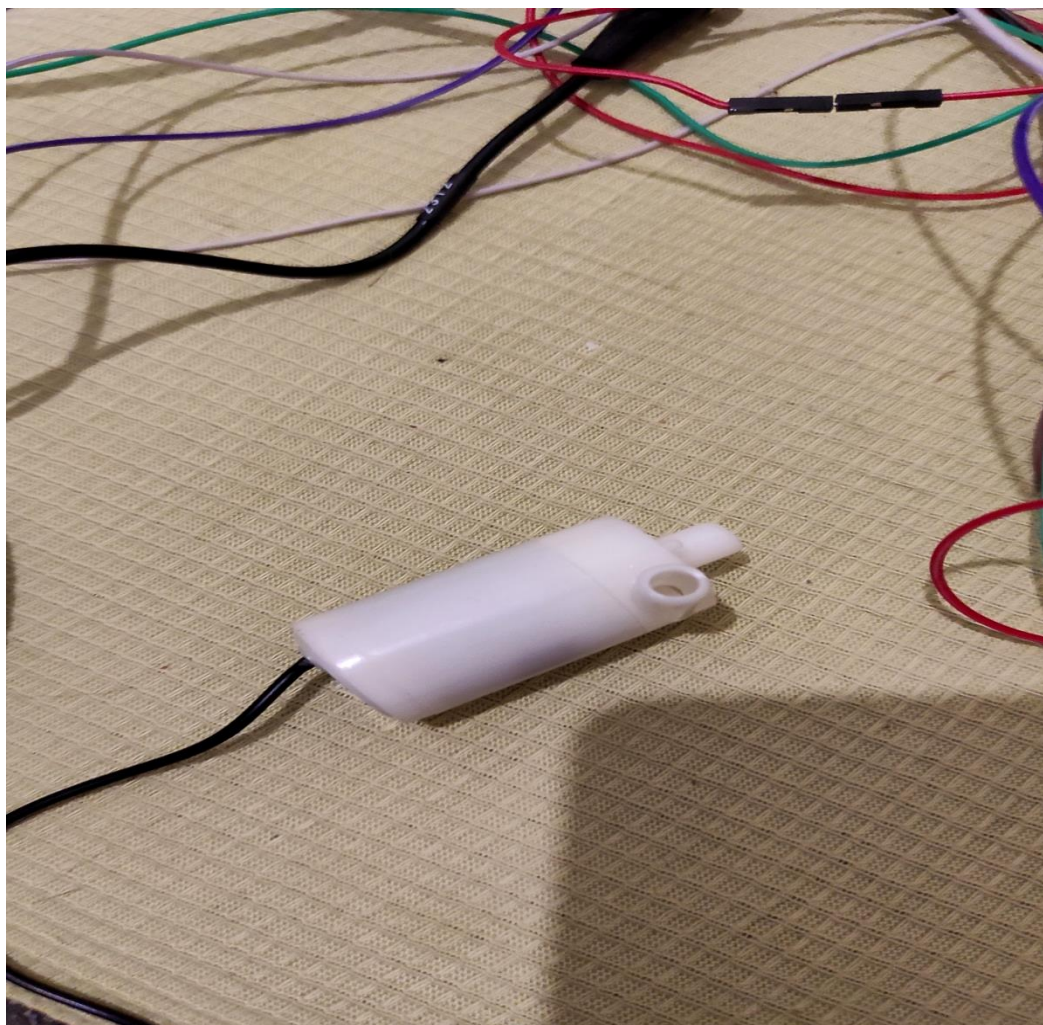
Εικόνα 46: Δωδέκατη εβδομάδα ανάπτυξης στο υδροπονικό σύστημα και ύπαρξη καρπού

Καθώς φτάσαμε πλέον στο τελικό στάδιο ανάπτυξης, και η ύπαρξη καρπού είναι φανερή, παράλληλα αυξήθηκε και το βάρος του φυτού της τομάτας. Αυτό αντιμετωπίστηκε τοποθετώντας βάσεις στήριξης στους κορμούς των φυτών. Κατά την τέταρτη φάση ανάπτυξης επίσης, όπου διήρκεσε δύο εβδομάδες, χρειάστηκε ανανέωση της μίξης του κοκοφοίνικα με τον διογκωμένο άργιλο, όπως επίσης και ένα τυπικό κλάδεμα. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν ολοκληρώθηκε η διαδικασία ανάπτυξης με επιτυχία. Τέλος, όπως προαναφέρθηκε, ο έλεγχος και η παρακολούθηση των συνθηκών όπου αναπτύσσεται το φυτό, παρακολουθείται από μία οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στην επόμενη ενότητα θα αναλυθούν οι τρόποι με τους οποίους πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος και η παρακολούθηση των συνθηκών.

4.3. Το Hardware του συστήματος

Το σύνολο της κατασκευής που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο έρχεται σε διασύνδεση με ένα ολοκληρωμένο σύστημα που αποτελείται από έναν μικροελεγκτή και μία σειρά αισθητηρίων. Το υδροπονικό σύστημα το οποίο εξετάζεται ελέγχεται μέσω της πλακέτας Arduino Uno WiFi Rev2. Η επιλογή της συγκεκριμένης πλακέτας έγινε κυρίως για την δυνατότητά της να συνδεθεί με το δίκτυο. Στην πλακέτα Arduino του συγκεκριμένου συστήματος είναι συνδεδεμένα τα εξής:

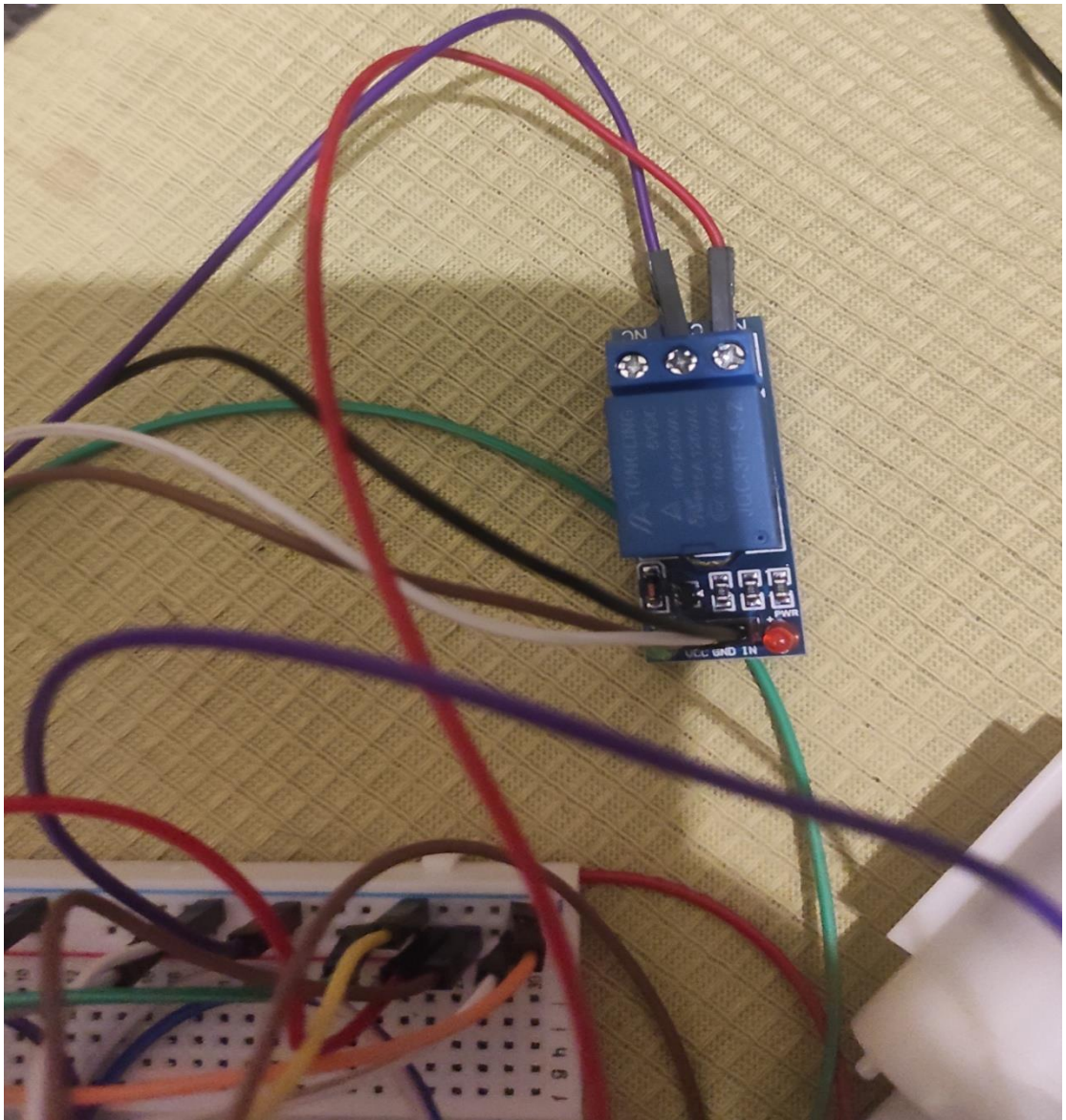
- Η αντλία άρδευσης του θρεπτικού διαλύματος (Water Pump)



Εικόνα 47: Αντλία άρδευσης του θρεπτικού διαλύματος

Η συγκεκριμένη αντλία άρδευσης υγρών είναι ικανή στο να υποστηρίξει μία μικρή σε μέγεθος κατασκευή, καθώς έχει την δυνατότητα να δίνει ένα λίτρο νερού το λεπτό, όπως έχει και την δυνατότητα να συνδεθεί στο Arduino χωρίς την απαίτηση εξωτερικού κυκλώματος τροφοδοσίας (π.χ μπαταρία), αφού η τάση λειτουργίας της είναι 3 - 5V και χρειάζεται περίπου 100 – 200mA έντασης ρεύματος. Η αντλία λειτουργεί μόνο και εφόσον δωθεί σήμα στην ψηφιακή έξοδο του Arduino όπου είναι συνδεδεμένο το relay ενεργοποίησης της.

- Relay ενεργοποίησης αντλίας άρδευσης νερού



Εικόνα 48: Relay ενεργοποίησης αντλίας άρδευσης νερού

- Το συγκεκριμένο relay ενεργοποίησης της αντλίας διαθέτει δύο επαφές VCC και GND και μία επαφή IN για τον έλεγχο από το ψηφιακό pin του Arduino, όπου είναι συνδεδεμένο. Στην έξοδο διαθέτει τρεις επαφές, την κοινή (COM), την κανονικά κλειστή ή αλλιώς Normal Close (NC), και την κανονικά κλειστή ή Normal Open (NO). Ο έλεγχος λοιπόν της αντλίας γίνεται μέσω του relay ενεργοποίησης, όταν σε αυτό σταλθεί σήμα από το ψηφιακό pin που είναι συνδεδεμένο.
- Αισθητήριο υγρασίας εδάφους (Soil moisture sensor)



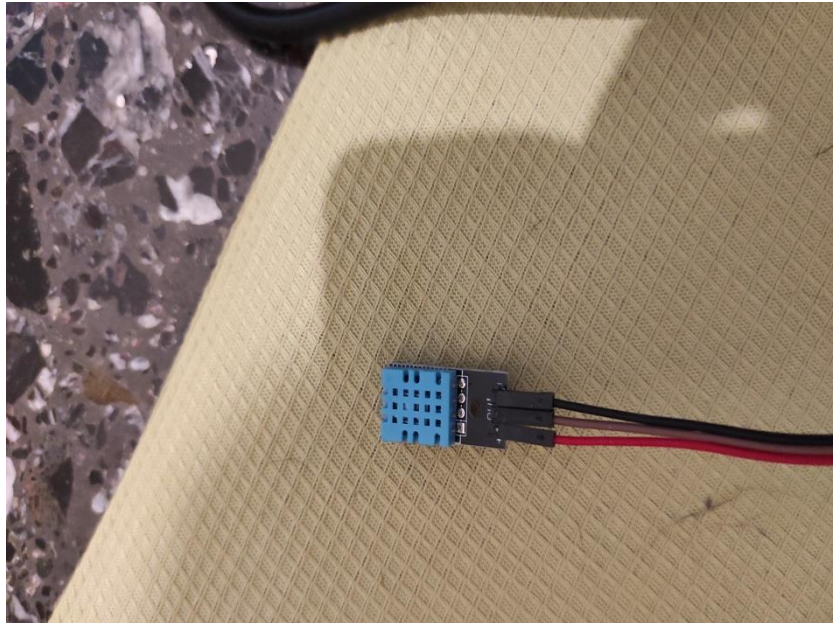
Εικόνα 49: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους (Soil moisture sensor)

Όπως προαναφέρθηκε ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους, είναι αυτός που ελέγχει το κάθε πότε η αντλία νερού μέσω του relay θα ενεργοποιείται. Ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος εντός των pots (γλάστρες), δηλαδή στο υπόστρωμα μίξης κοκοφοίνικα και διογκωμένου άργιλου, και έτσι αποτελεί ένα απο τα βασικότερα στοιχεία ελέγχου της άρδευσης των φυτών. Με την κατάλληλη σύνδεση του στο Arduino, όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, διενεργεί λοιπόν τις συγκεκριμένες λειτουργίες.

- Αισθητήρας ροής υγρών (Flow meter sensor)

Ο αισθητήρας ροής (η εικόνα του παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα) είναι συνδεδεμένος σε σειρά με την έξοδο της αντλίας. Είναι βαθμονομημένος και προγραμματισμένος κατάλληλα ώστε να έχει την ικανότητα να μετρήσει τόσο την ροή, όσο και τη συνολική κατανάλωση νερού, με αποτέλεσμα να υπάρχει πλήρης εικόνα και έλεγχος για την ποσότητα, του θρεπτικού διαλύματος με νερό, που βρίσκεται στην δεξαμενή. Η ροή μετριέται σε χιλιοστόλιτρα ή αλλιώς ένα κυβικό εκατοστό (ml) και η συνολική κατανάλωση μετριέται σε λίτρα (L) ή (lt).

- Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος (DHT11)



Εικόνα 50: Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος (DHT11)

Η μέτρηση των συνθηκών του χώρου στον οποίο είναι εγκατεστημένο το υδροπονικό σύστημα υπήρξε απαραίτητη για την σωστή ανάπτυξη της τομάτας. Με το συγκεκριμένο αισθητήριο δημιουργήθηκε η ικανότητα της κατάλληλης ρύθμισης θερμοκρασίας του δωματίου. Για παράδειγμα, τις ζεστές ημέρες, καθόλη την διαδικασία ανάπτυξης του φυτού, η διεπαφή με τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν στο χώρο, συνέβαλε στο λήψη αποφάσεων για το ανοίγμα ή το κλείσιμο της λειτουργίας του κλιματιστικού (A/C).

- Αισθητήρας μέτρησης pH

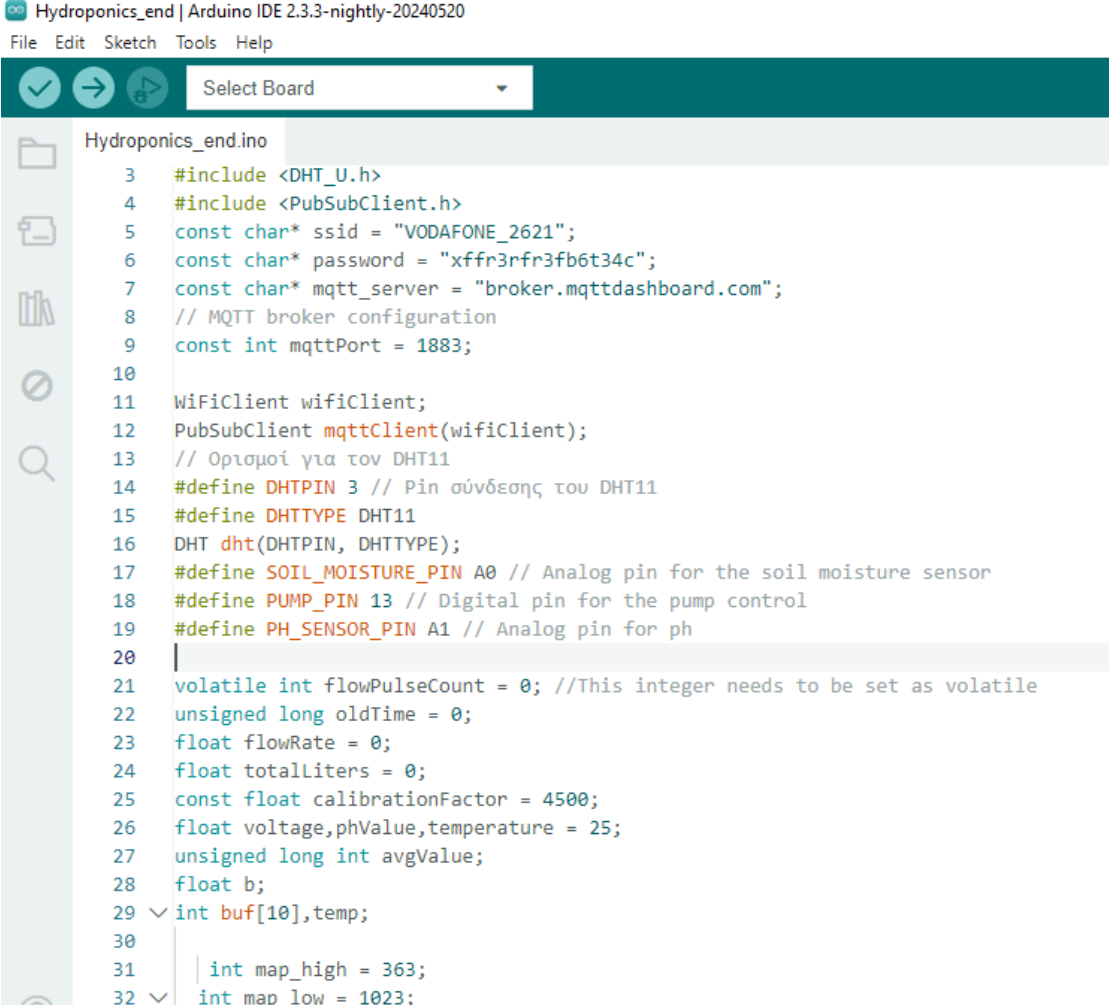
Ο αισθητήρας μέτρησης του pH αποτελεί και αυτός με την σειρά του ένα απαραίτητο εξάρτημα, για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών, και την παρακολούθηση της κατάστασης των θρεπτικών συστατικών εντός της δεξαμενής. Όπως αναφέρθηκε, το συγκεκριμένο αισθητήριο είναι τοποθετημένο μέσα στην δεξαμενή, καθώς έχει πραγματοποιηθεί ο κατάλληλος προγραμματισμός, και η βαθμονόμηση του.

Τέλος, όλα τα παραπάνω εξαρτήματα – αισθητήρια, αποδείχτηκαν αρκετά και ικανά ώστε να αποφέρουν το αποτέλεσμα που έπρεπε ή όπως συνηθίζεται να λέγεται “να αποφέρουν καρπούς”.

4.4. Το Software και το Firmware του Συστήματος

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται αρχικά, από το περιβάλλον εργασίας των Windows 10 pro, από το λογισμικό Arduino IDE, και από το λογισμικό εργαλείο οπτικού προγραμματισμού Node-RED. Το Arduino IDE αποτελεί το περιβάλλον προγραμματισμού, του μικροελεγκτή - πλακέτας Arduino που χρησιμοποιείται, καθώς παράλληλα το Node-RED συμβάλει στην διεπαφή και την απεικόνιση, των δεδομένων που παράγει ο μικροελεγκτής, μέσω της σειριακής ή της ασύρματης επικοινωνίας (USB or WiFi). Αρχικά, θα γίνει μία παρουσίαση και ανάλυση του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε στο περιβάλλον του Arduino IDE, έπειτα θα ακολουθήσει η παρουσίαση της προγραμματιστικής δομής του Node-RED.

- Προγραμματισμός και ανάλυση του κώδικα στο περιβάλλον Arduino IDE



```
Hydroponics_end | Arduino IDE 2.3.3-nightly-20240520
File Edit Sketch Tools Help

Select Board

Hydroponics_end.ino
3  #include <DHT_U.h>
4  #include <PubSubClient.h>
5  const char* ssid = "VODAFONE_2621";
6  const char* password = "xffr3rfr3fb6t34c";
7  const char* mqtt_server = "broker.mqttdashboard.com";
8  // MQTT broker configuration
9  const int mqttPort = 1883;
10
11  WiFiClient wifiClient;
12  PubSubClient mqttClient(wifiClient);
13  // Ορισμοί για τον DHT11
14  #define DHTPIN 3 // Pin σύνδεσης του DHT11
15  #define DHTTYPE DHT11
16  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
17  #define SOIL_MOISTURE_PIN A0 // Analog pin for the soil moisture sensor
18  #define PUMP_PIN 13 // Digital pin for the pump control
19  #define PH_SENSOR_PIN A1 // Analog pin for ph
20
21  volatile int flowPulseCount = 0; //This integer needs to be set as volatile
22  unsigned long oldTime = 0;
23  float flowRate = 0;
24  float totalLiters = 0;
25  const float calibrationFactor = 4500;
26  float voltage, pHValue, temperature = 25;
27  unsigned long int avgValue;
28  float b;
29  int buf[10], temp;
30
31  int map_high = 363;
32  int map_low = 1023;
```

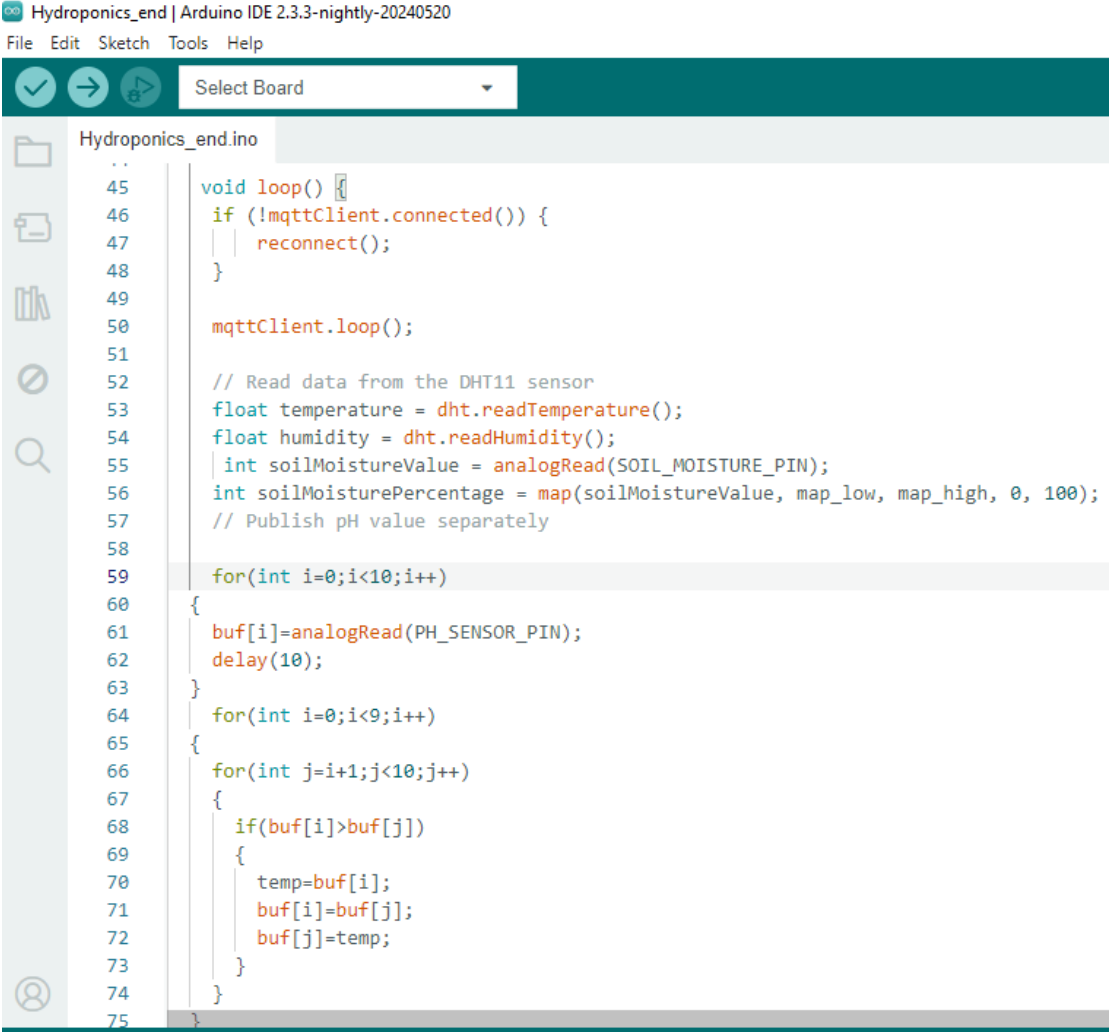
Εικόνα 51: Προσθήκη βιβλιοθηκών και αρχικοποίηση παραμέτρων

Όπως φαίνεται στην παρπάνω εικόνα το πρώτο βήμα του προγραμματισμού περιέχει αρχικά, την προσθήκη των βιβλιοθηκών που χρειάζονται, και στη συνέχεια αρχικοποιούνται οι παράμετροι. Στις σειρές 4 – 12 πραγματοποιείται η σύνδεση με το δίκτυο WiFi, η επικοινωνία, και ανταλλαγή μηνυμάτων, μεταξύ πλακέτας Arduino και του MQTT broker, που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση με το Node-RED. Συγκεκριμένα ο broker που χρησιμοποιήθηκε είναι ο διακομιστής mosquitto broker. Έπειτα, καθορίζονται τα pins στα οποία είναι συνδεδεμένα τα αισθητήρια του συστήματος, και στη συνέχεια γίνεται η αρχικοποίηση των τιμών και των παραμέτρων. Στις σειρές 21 – 32 αρχικοποιούνται κυρίως οι παράμετροι για την βαθμονόμηση των αισθητηρίων ροής, pH, υγρασίας εδάφους. Συγκεκριμένα στη σειρά 25 και 26 αντίστοιχα αρχικοποιούμε τις τιμές βαθμονόμησης, που δίνει ο κατασκευαστής, πρώτα για τον αισθητήρα ροής και μετά για τη θερμοκρασία βαθμονόμησης του Ph. Στο σημείο αυτό θα σημειωθεί ότι ένα μέρος του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση του αισθητηρίου, βασίζεται σε πρότυπο το οποίο παρέχει ο κατασκευαστής. Στις γραμμές 31-32 αρχικοποιείται η τάση που παράγει ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους όταν είναι εκτός υδάτινου περιβάλλοντος και όταν είναι εντός υδάτινου περιβάλλοντος.



Εικόνα 52: Η συνάρτηση void setup();

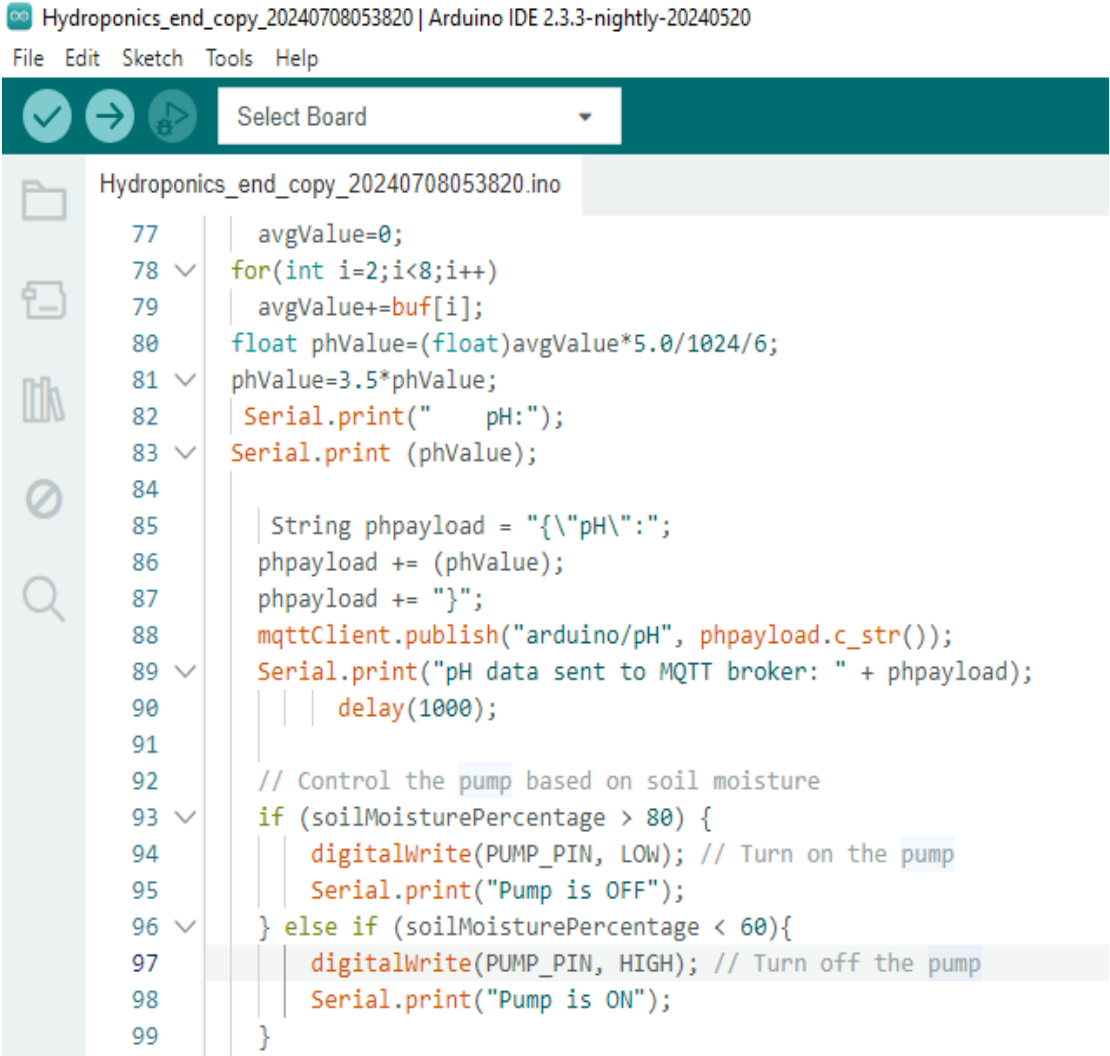
Σε αυτό το σημείο ορίζονται οι τυπικές ενέργειες οι οποίες θα εκτελεστούν μία φορά κατά την εκκίνηση του προγράμματος. Συγκεκριμένα ορίζεται η εκκίνηση της σειριακής επικοινωνίας, η λειτουργία του pin, στο οποίο είναι συνδεδεμένη η επαφή του relay, ώστε να λειτουργεί σαν έξοδος (περιμένει σήμα), η σύνδεση στο δίκτυο WiFi και η διασύνδεση με το MQTT πρωτόκολλο.



```
Hydroponics_end.ino
..
45 void loop() {
46   if (!mqttClient.connected()) {
47     reconnect();
48   }
49
50   mqttClient.loop();
51
52   // Read data from the DHT11 sensor
53   float temperature = dht.readTemperature();
54   float humidity = dht.readHumidity();
55   int soilMoistureValue = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN);
56   int soilMoisturePercentage = map(soilMoistureValue, map_low, map_high, 0, 100);
57   // Publish pH value separately
58
59   for(int i=0;i<10;i++)
60   {
61     buf[i]=analogRead(PH_SENSOR_PIN);
62     delay(10);
63   }
64   for(int i=0;i<9;i++)
65   {
66     for(int j=i+1;j<10;j++)
67     {
68       if(buf[i]>buf[j])
69       {
70         temp=buf[i];
71         buf[i]=buf[j];
72         buf[j]=temp;
73       }
74     }
75   }
```

Εικόνα 53: Η συνάρτηση void loop();

Μέσα στη συνάρτηση void loop αναπαράγεται ο κώδικας του συστήματος που εκτελείται συνεχώς. Αρχικά, εκτελείται συνεχώς ο έλεγχος της σύνδεσης της πλακέτας με τον διακομιστή. Στη συνέχεια, διαβάζει τα δεδομένα του αισθητηρίου υγρασίας εδάφους, και του υγρασίας θερμοκρασίας, καθώς μετατρέπει με την εντολή map την τάση του αισθητηρίου υγρασίας εδάφους σε πραγματικό νούμερο. Ακολουθεί μία σειρά κώδικα για την βαθμονόμηση του αισθητηρίου pH.

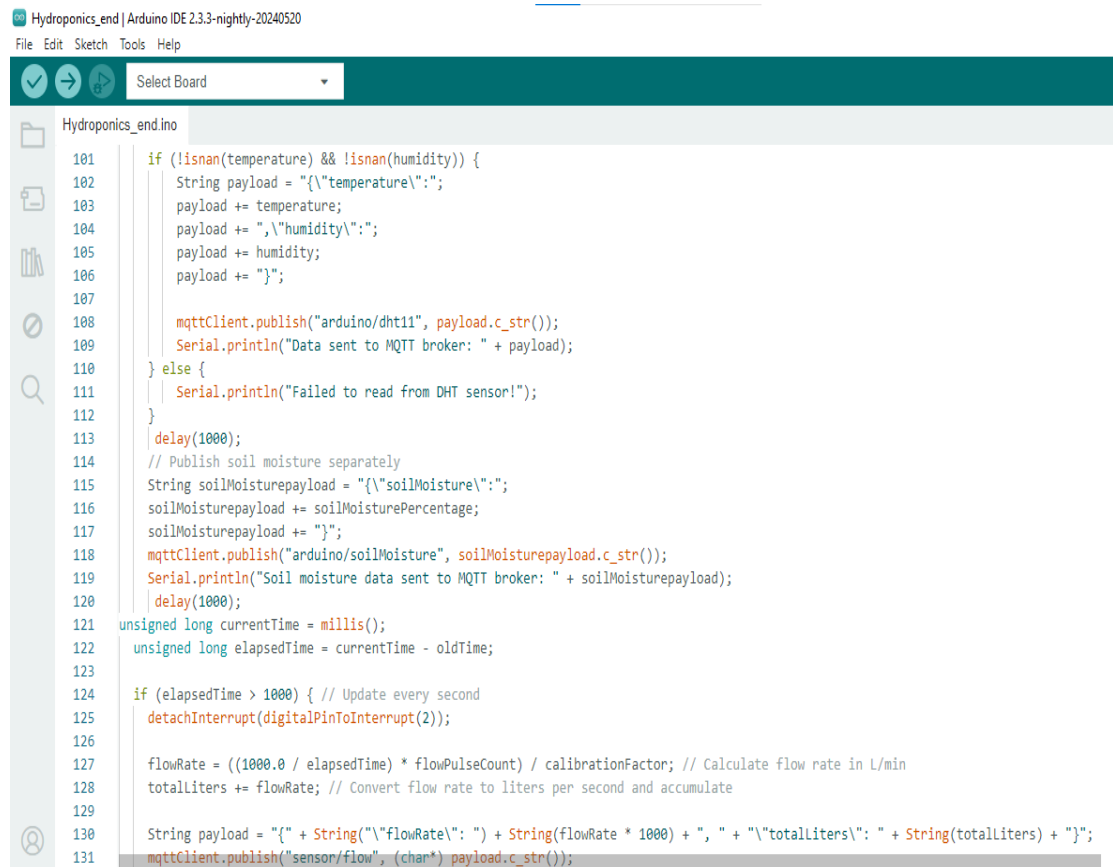


```
Hydroponics_end_copy_20240708053820 | Arduino IDE 2.3.3-nightly-20240520
File Edit Sketch Tools Help

Hydroponics_end_copy_20240708053820.ino
77   avgValue=0;
78   for(int i=2;i<8;i++)
79   {
80     avgValue+=buf[i];
81   }
82   float pHValue=(float)avgValue*5.0/1024/6;
83   pHValue=3.5*pHValue;
84   Serial.print("    pH:");
85   Serial.print (pHValue);
86
87   String phpayload = "{\\"pH\\":\"";
88   phpayload += (pHValue);
89   phpayload += "\"}";
90   mqttClient.publish("arduino/pH", phpayload.c_str());
91   Serial.print("pH data sent to MQTT broker: " + phpayload);
92   delay(1000);
93
94   // Control the pump based on soil moisture
95   if (soilMoisturePercentage > 80) {
96     digitalWrite(PUMP_PIN, LOW); // Turn on the pump
97     Serial.print("Pump is OFF");
98   } else if (soilMoisturePercentage < 60){
99     digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH); // Turn off the pump
100    Serial.print("Pump is ON");
101  }
```

Εικόνα 54: Ανάγνωση, μεταφορά, και έλεγχος λειτουργίας συστήματος

Ο προγραμματισμός των αισθητηρίων συνεχίζεται με την ανάγνωση και την εισαγωγή δεδομένων στον MQTT Client. Στις σειρές 93-98 διακρίνεται το πως επιτυγχάνεται ο έλεγχος της αντλίας μέσω του αισθητηρίου υγρασίας εδάφους. Σε αυτό το σημείο, ένα από τα στοιχεία που πρέπει να δοθεί η απαραίτητη σημασία είναι το όνομα της πρώτης εντολής-στοιχείου, μέσα στην παρένθεση του `mqttClient.publish`. Κάθε ονομασία μετά απο την συγκεκριμένη εντολή θα χρησιμοποιηθεί στα `mqtt nodes` που θα δούμε παρακάτω.



```
Hydroponics_end | Arduino IDE 2.3.3-nightly-20240520
File Edit Sketch Tools Help

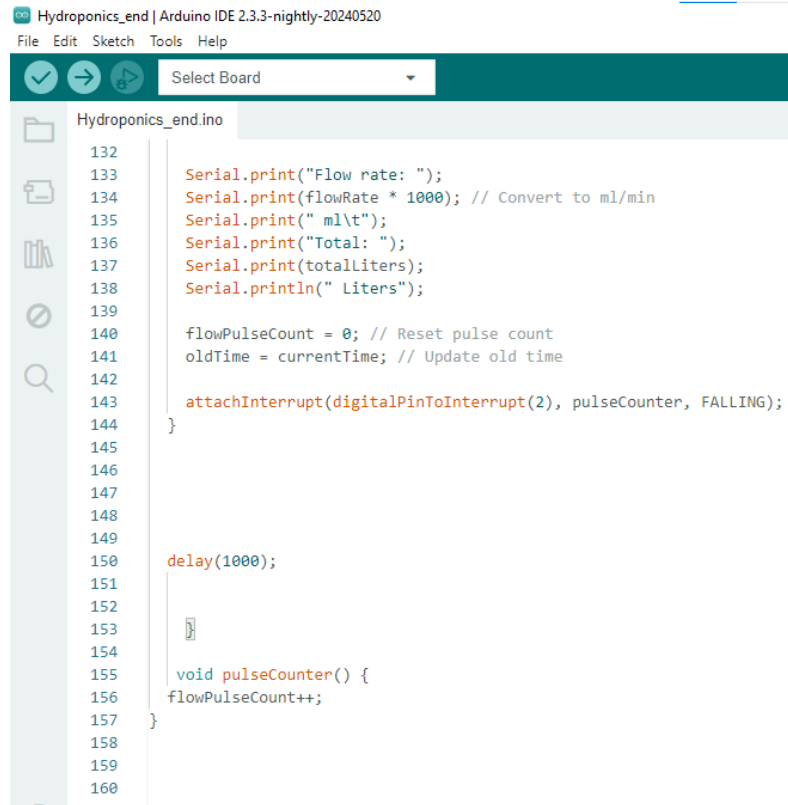
Select Board

Hydroponics_end.ino

101   if (!isnan(temperature) && !isnan(humidity)) {
102       String payload = "{\"temperature\": ";
103       payload += temperature;
104       payload += ", \"humidity\": ";
105       payload += humidity;
106       payload += "}";
107
108       mqttClient.publish("arduino/dht11", payload.c_str());
109       Serial.println("Data sent to MQTT broker: " + payload);
110   } else {
111       Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
112   }
113   delay(1000);
114   // Publish soil moisture separately
115   String soilMoisturepayload = "{\"soilMoisture\": ";
116   soilMoisturepayload += soilMoisturePercentage;
117   soilMoisturepayload += "}";
118   mqttClient.publish("arduino/soilMoisture", soilMoisturepayload.c_str());
119   Serial.println("Soil moisture data sent to MQTT broker: " + soilMoisturepayload);
120   delay(1000);
121   unsigned long currentTime = millis();
122   unsigned long elapsedTime = currentTime - oldTime;
123
124   if (elapsedTime > 1000) { // Update every second
125       detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2));
126
127       flowRate = ((1000.0 / elapsedTime) * flowPulseCount) / calibrationFactor; // Calculate flow rate in L/min
128       totalliters += flowRate; // Convert flow rate to liters per second and accumulate
129
130       String payload = "{" + String("{\"flowRate\": ") + String(flowRate * 1000) + ", " + "\"totalliters\": " + String(totalliters) + "}";
131       mqttClient.publish("sensor/flow", (char*) payload.c_str());
```

Εικόνα 55: Μαθηματικές συναρτήσεις σε μορφή κώδικα, βαθμονόμησης αισθητήρα ροής

Αφού γίνει η αποστολή των δεδομένων των αισθητηρίων θερμοκρασίας υγρασίας, υγρασίας εδάφους, στον MQTT Client, δημιουργείται στη συνέχεια μία μαθηματική ακολουθία για την βαθμονόμηση του αισθητήρα ροής. Αρχικά έγινε η μετατροπή των παλμών ανα λίτρο σε ml, και στη συνέχεια έγινε η προσθήκη της εντολής της γραμμής 128, όπου πραγματοποιείται η προστιθέμενη ποσότητα των ml, του νερού που καταναλώνεται, και έτσι να εμφανιστεί σε λίτρα.



```
Hydroponics_end | Arduino IDE 2.3.3-nightly-20240520
File Edit Sketch Tools Help

Hydroponics_end.ino

132
133 Serial.print("Flow rate: ");
134 Serial.print(flowRate * 1000); // Convert to ml/min
135 Serial.print(" ml\t");
136 Serial.print("Total: ");
137 Serial.print(totalLiters);
138 Serial.println(" Liters");
139
140 flowPulseCount = 0; // Reset pulse count
141 oldTime = currentTime; // Update old time
142
143 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), pulseCounter, FALLING);
144 }
145
146
147
148
149
150 delay(1000);
151
152
153
154
155 void pulseCounter() {
156   flowPulseCount++;
157 }
158
159
160
161
```

Εικόνα 56: Η μακροεντολή διακοπής και η void pulseCounter();

Η εντολή attachInterrupt χρησιμοποιήθηκε για να ενεργοποιήσει μία προσωρινή διακοπή στο ψηφιακό pin που είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας ροής. Επίσης, δίνει την δυνατότητα να καλείται η συνάρτηση void pulseCounter, όπου αυξάνει τη μεταβλητή του μετρητή κατά 1 σε κάθε παλμό που παράγεται.

```

160
161
162 void connectToWiFi() {
163     Serial.print("Connecting to WiFi...");
164     while (WiFi.begin(ssid, password) != WL_CONNECTED) {
165         delay(1000);
166         Serial.print(".");
167     }
168     Serial.println("Connected to WiFi");
169 }
170
171 void reconnect() {
172     while (!mqttClient.connected()) {
173         Serial.print("Attempting MQTT connection...");
174         if (mqttClient.connect("ArduinoClient")) {
175             Serial.println("Connected to MQTT broker");
176         } else {
177             Serial.print("Failed, rc=");
178             Serial.print(mqttClient.state());
179             Serial.println(" Retry in 5 seconds");
180             delay(5000);
181         }
182     }
183 }
184

```

Εικόνα 57: Έλεγχος σύνδεσης του Arduino στο WiFi και στο MQTT

Τέλος, κατά την αποστολή του κώδικα προς το Arduino, όπου πριν γίνουν οι κατάλληλες προγραμματιστικές ρυθμίσεις συνδέεται σειριακά με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, με την χρήση των συγκεκριμένων εντολών επιβεβαιώνεται η σύνδεση του με το δίκτυο και τον MQTT Client.

- Ανάλυση του οπτικού προγραμματισμού του Node-RED
Για τη σύνδεση του υπολογιστή με το περιβάλλον του Node-RED απαιτούνται αρχικά κάποιες ενέργειες εγκατάστασης αρχείων, οι οποίες δίνονται αναλυτικά στο επίσημο site του Node-RED (nodered.org). Εφόσον αυτές οι ενέργειες πραγματοποιήθηκαν, ανοίγουμε το command prompt του υπολογιστή και πληκτρολογείται η εντολή "node-red", έπειτα θα εμφανιστεί η παρακάτω εικόνα

```
node-red
Welcome to Node-RED
=====
8 Jul 07:27:33 - [info] Node-RED version: v3.1.9
8 Jul 07:27:33 - [info] Node.js version: v20.13.1
8 Jul 07:27:33 - [info] Windows_NT 10.0.19045 x64 LE
8 Jul 07:27:33 - [info] Loading palette nodes
8 Jul 07:27:36 - [info] Dashboard version 2.29.0 started at /ui
8 Jul 07:27:37 - [warn] -----
8 Jul 07:27:37 - [warn] [node-red-contrib-wifiscan/wifiscan] Error: Cannot find module '\Users\Thanos\.node-red\node_modules\node-red-contrib-wifiscan\wifiscan\wifiscan.js'
Require stack:
- C:\Users\Thanos\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\node-red\registry\lib\loader.js
- C:\Users\Thanos\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\node-red\registry\lib\index.js
- C:\Users\Thanos\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\node-red\runtime\lib\nodes\index.js
- C:\Users\Thanos\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\node-red\runtime\lib\index.js
- C:\Users\Thanos\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\lib\red.js
- C:\Users\Thanos\AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\red.js
8 Jul 07:27:37 - [warn] -----
8 Jul 07:27:37 - [info] Settings file : C:\Users\Thanos\.node-red\settings.js
8 Jul 07:27:37 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
8 Jul 07:27:37 - [info] User directory : \Users\Thanos\.node-red
8 Jul 07:27:37 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
8 Jul 07:27:37 - [warn] Flows file name not set. Generating name using hostname.
8 Jul 07:27:37 - [info] Flows file : \Users\Thanos\.node-red\flows_DESKTOP-9C8KI6T.json
8 Jul 07:27:37 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
8 Jul 07:27:37 - [warn] -----

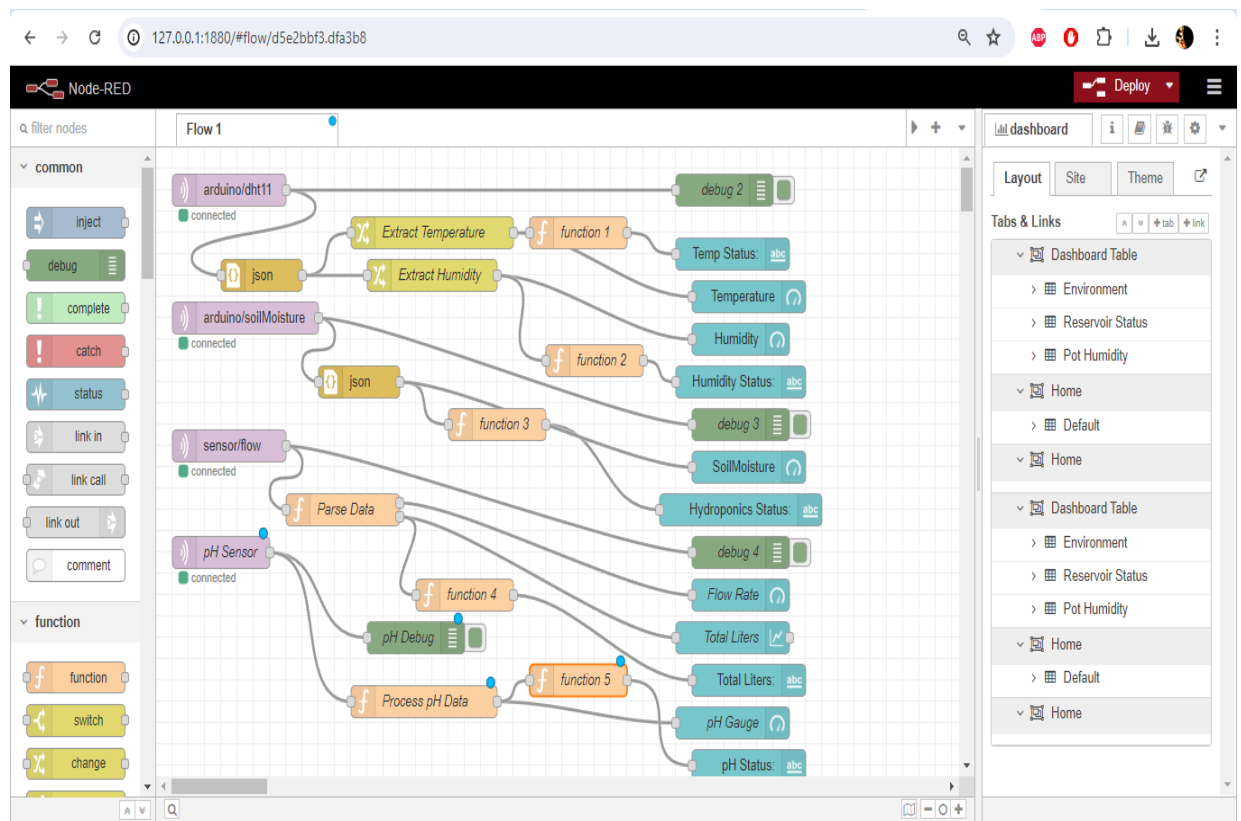
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----
8 Jul 07:27:37 - [info] Starting flows
8 Jul 07:27:37 - [info] Started flows
8 Jul 07:27:37 - [info] [mqtt-broker:MQTT Broker] Connected to broker: mqtt://broker.mqttdashboard.com:1883
```

Εικόνα 58: Σύνδεση στο περιβάλλον του Node-RED

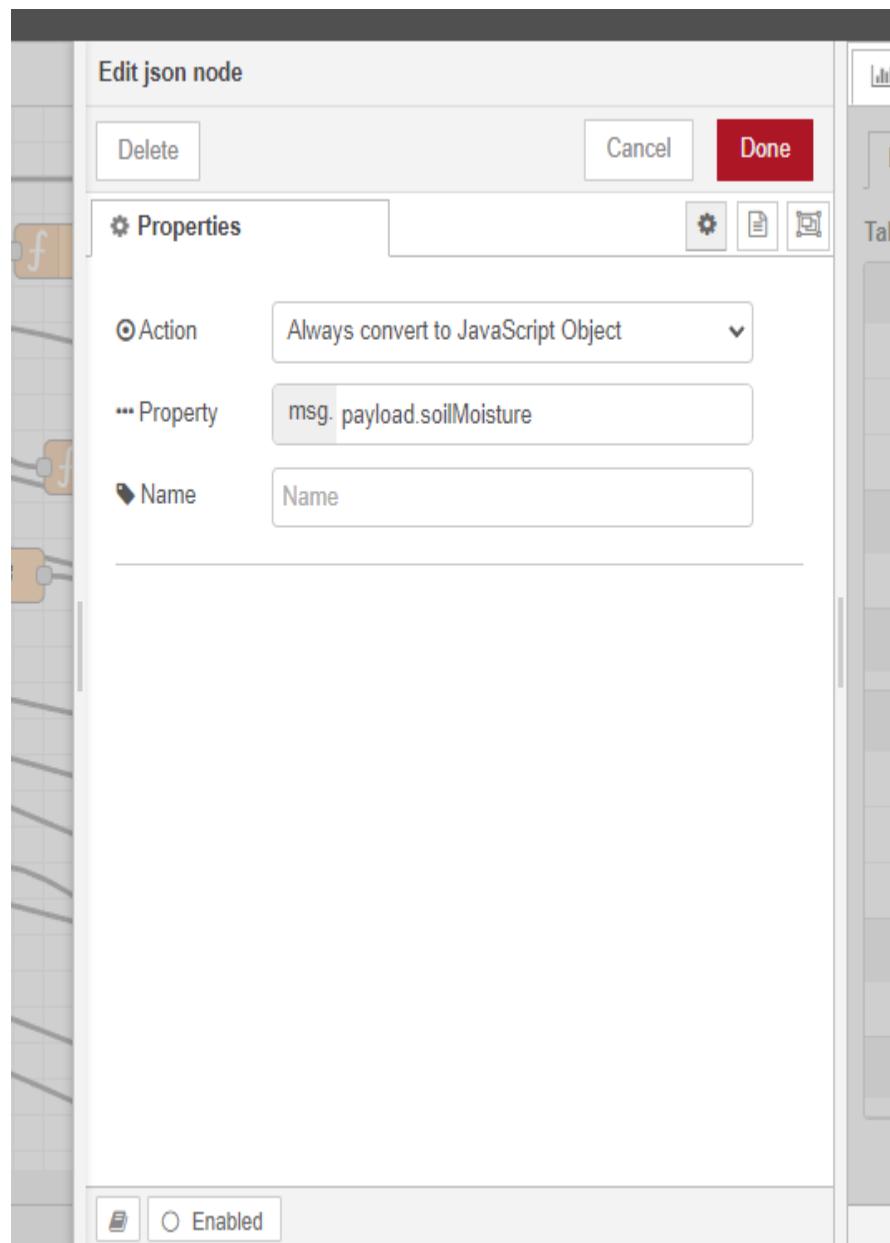
Στην εικόνα βλέπουμε ότι η σύνδεση με τον server έχει πραγματοποιηθεί και τρέχει στην `http://127.0.0.1:1880/`, αφού γίνει αντιγραφή και η επικόλληση της διεύθυνσης, στην αναζήτηση του browser που χρησιμοποιείται, μεταφερόμαστε στο περιβάλλον του Node-RED.



Εικόνα 59: Περιβάλλον και διάγραμμα ροής στο Node-RED

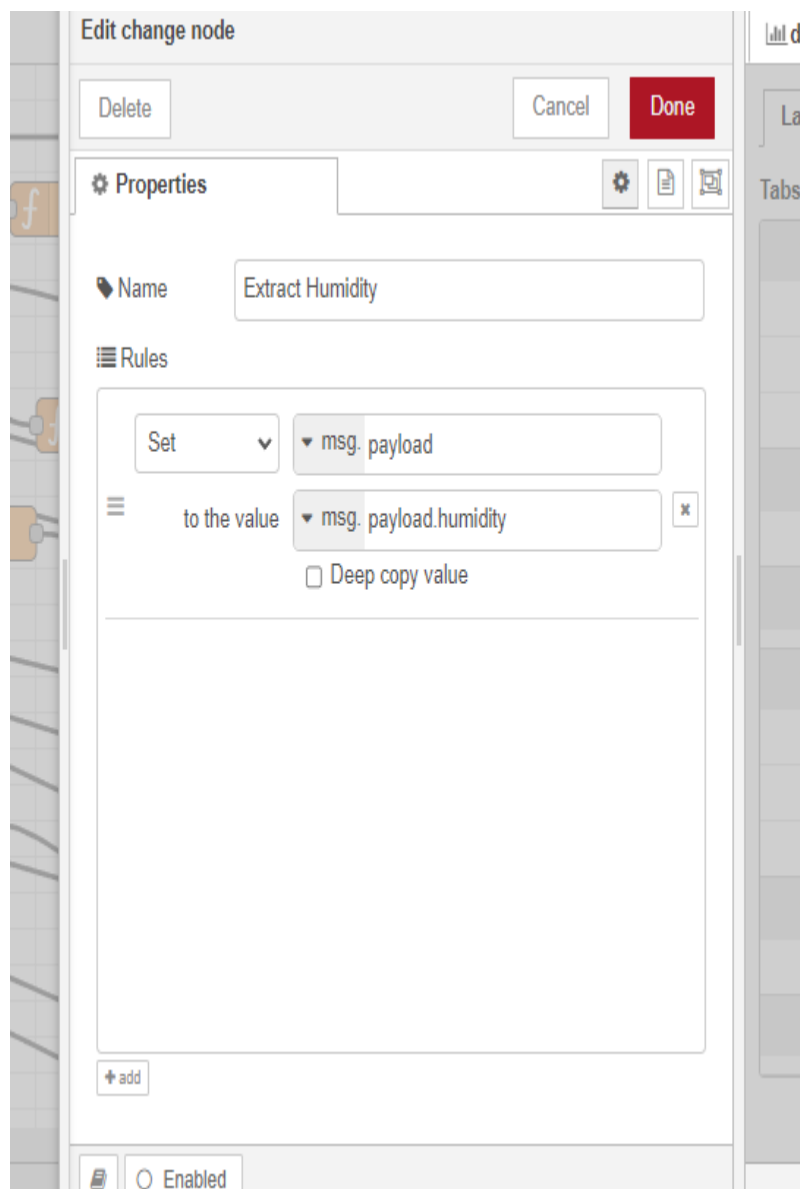
Το περιβάλλον του Node-RED παρέχει την δυνατότητα επιλογής μίας πληθώρας κόμβων (nodes), όπου χρησιμοποιήθηκε για να καταστεί δυνατή η απεικόνιση των δεδομένων, που παράγονται από τα αισθητήρια, που είναι συνδεδεμένα στο Arduino. Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η επιλογή των nodes και των συνδέσεων που έγιναν μεταξύ τους. Η δομή ξεκινάει με την τοποθέτηση τεσσάρων mqtt nodes, όπου το καθένα αντιστοιχεί σε κάθε αισθητήριο του συστήματος, και αντλεί τα δεδομένα τους. Επίσης κάθε ένα από τα nodes συνδέεται σε έναν debug κόμβο, όπου εξασφαλίζει και απεικονίζει, πως τα δεδομένα στέλνονται προς την πλατφόρμα, καθώς μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε και τον τύπο του δεδομένου (π.χ.string, object κ.α.).

Παράλληλα, οι mqtt in κόμβοι συνδέονται με έναν κόμβο json ή function, όπου με τον κατάλληλο προγραμματισμό τους μετατρέπουν την πληροφορία που εισέρχεται σε αντικείμενο JavaScript. Στο τέλος, τα json ή τα function nodes συνδέονται με τα dashboard nodes που επιλέχθηκαν (π.χ. gauges, text, and charts nodes).



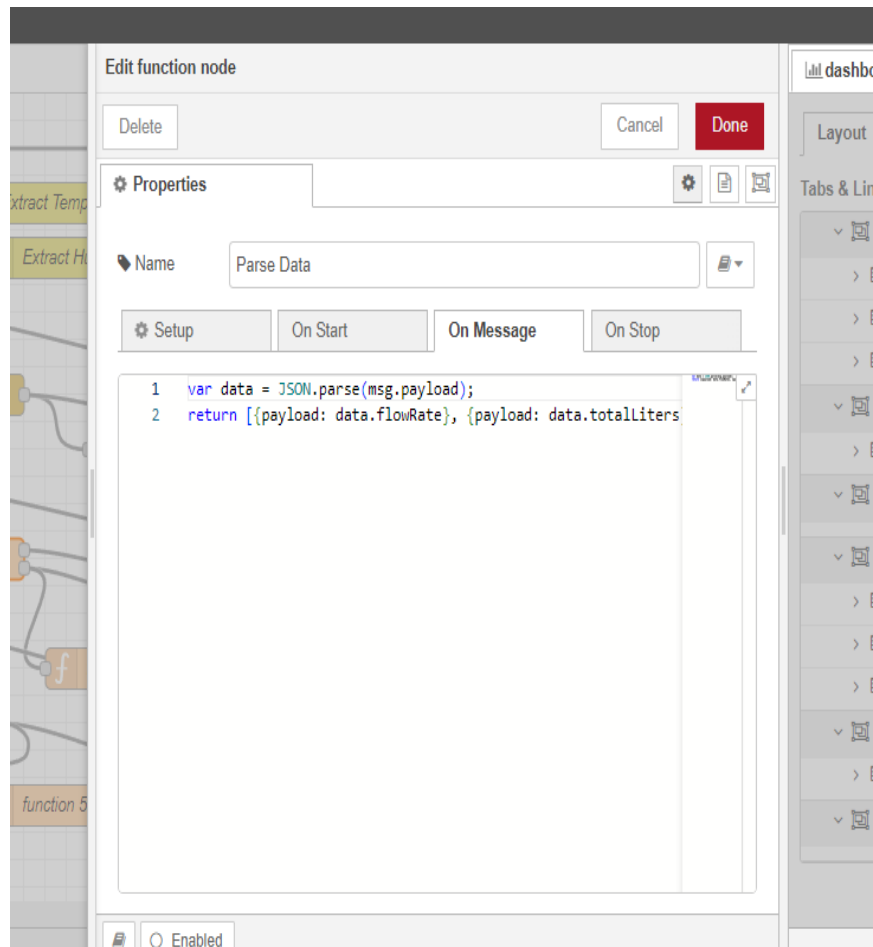
Εικόνα 60: Το εσωτερικό ενός json κόμβου

Στην εικόνα 60 φαίνεται το εσωτερικό ενός json κόμβου. Συγκεκριμένα είναι ο json κομβος που μετατρέπει την πληροφορία που έρχεται απο το αισθητήριο υγρασίας εδάφους.



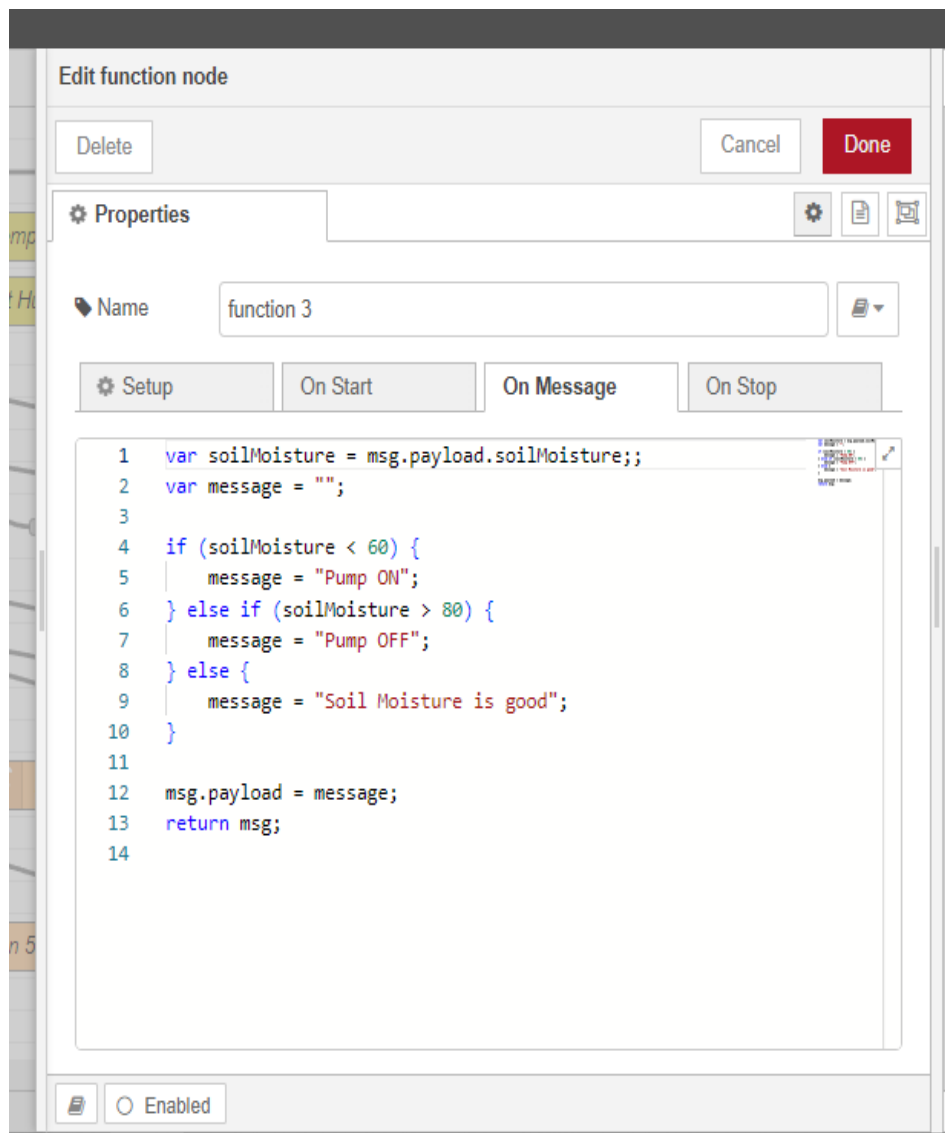
Εικόνα 61: Το εσωτερικό ενός change κόμβου

Οι κόμβοι change είναι πολύ χρήσιμοι αφού παρέχουν την δυνατότητα ώστε να γίνει εξαγωγή δύο τιμών από ένα αισθητήριο. Εδώ μιλάμε για τον αισθητήρα θερμοκρασίας, υγρασίας (DHT11), όπου η έξοδος του json κόμβου συνδέεται με την είσοδο δύο κόμβων change, και με την κατάλληλη ρύθμιση, όπως φαίνεται στο σχήμα 61, τα δεδομένα στέλνονται στα αντίστοιχα dashboard nodes.



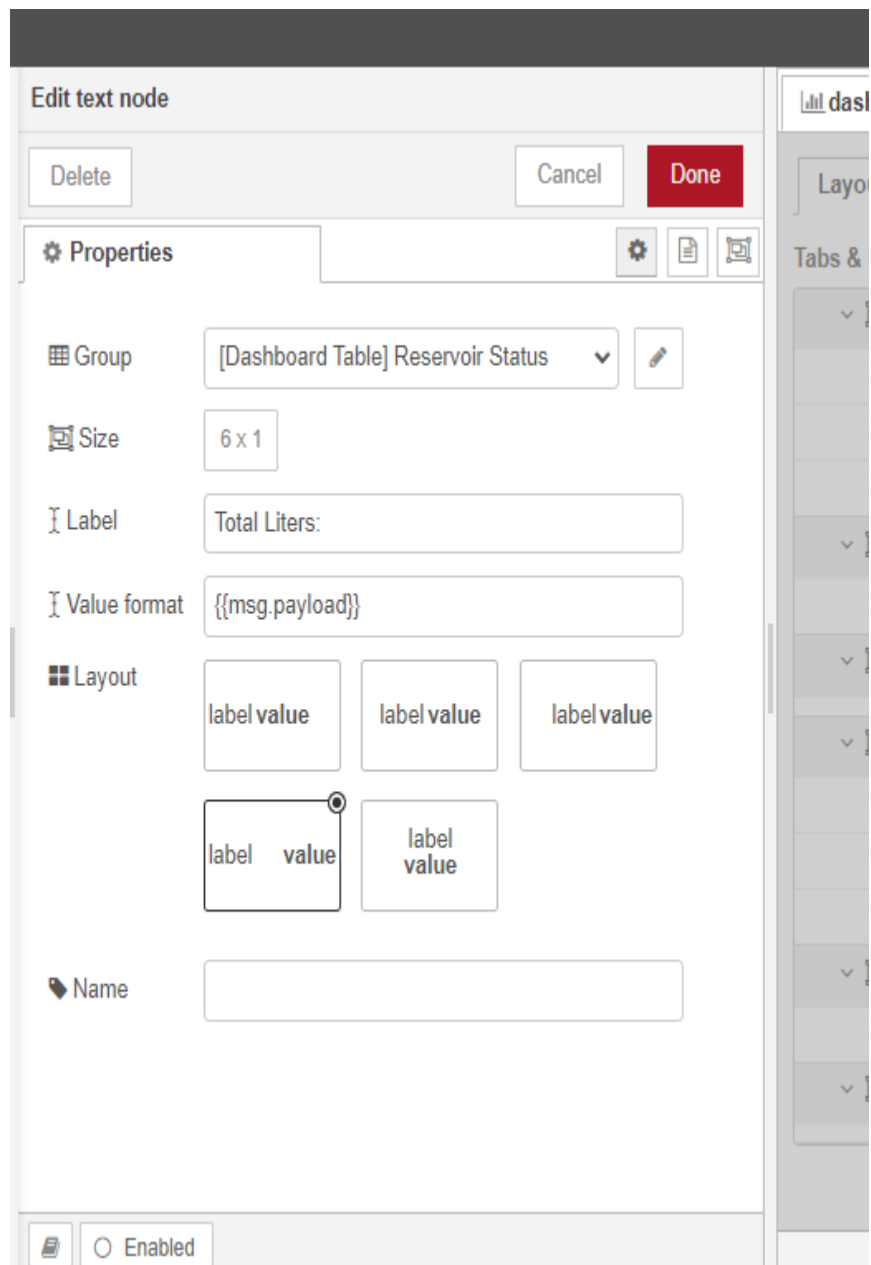
Εικόνα 62: Το εσωτερικό ενός function κόμβου

Σε αυτό το σχήμα ο κόμβος function που τρέχει λειτουργεί όπως ένας κόμβος json, όπως είδαμε και παραπάνω, είναι για παράδειγμα, ένας δεύτερος τρόπος ώστε να μετατρέψει ένα json string σε javascript object η το ανάποδο.



Εικόνα 63: Προγραμματισμός ενός function κόμβου για την αναπαραγωγή μηνυμάτων

Μία πολύ χρήσιμη λειτουργία ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για την τελική εικόνα, είναι ο κατάλληλος προγραμματισμός ενός function κόμβου ώστε να έχει την δυνατότητα να αναπαράγει μηνύματα στο τελικό dashboard table. Στη συγκεκριμένη εικόνα βλέπουμε ότι ο function έχει προγραμματιστεί να στέλνει μηνύματα, ανάλογα με τα νούμερα που εισέρχονται από το αισθητήριο, δηλαδή όταν η υγρασία είναι μικρότερη του 60% να στέλνει μήνυμα "Pump ON" και όταν η υγρασία εδάφους είναι μεγαλύτερη του 80% να στέλνει μήνυμα ότι η αντλία είναι κλειστή "Pump OFF". Η έξοδος του function, μετά τον συγκεκριμένο προγραμματισμό, συνδέεται σε ένα text node από το μενού dashboard.



Εικόνα 64: Το εσωτερικό ενός text κόμβου

Κάποιες από τις ρυθμίσεις ενός text node διακρίνονται στο παραπάνω σχήμα. Ένα από τα πιο σημαντικά πράγματα σε όλα τα dashboard nodes (chart, gauge, text) είναι να δοθεί η προσοχή στο group που θα ανοίξει. Αυτό εδώ βοήθησε για την καλύτερη οργάνωση και για το καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα.

Edit gauge node

Delete Cancel Done

Properties

Group [Dashboard Table] Reservoir Status

Size 5 x 3

Type Gauge

Label Flow Rate (ml)

Value format {{value}}ml

Units ml

Range min 0 max 1000

Colour gradient

Sectors 0 ... optional ... optional ... 1000

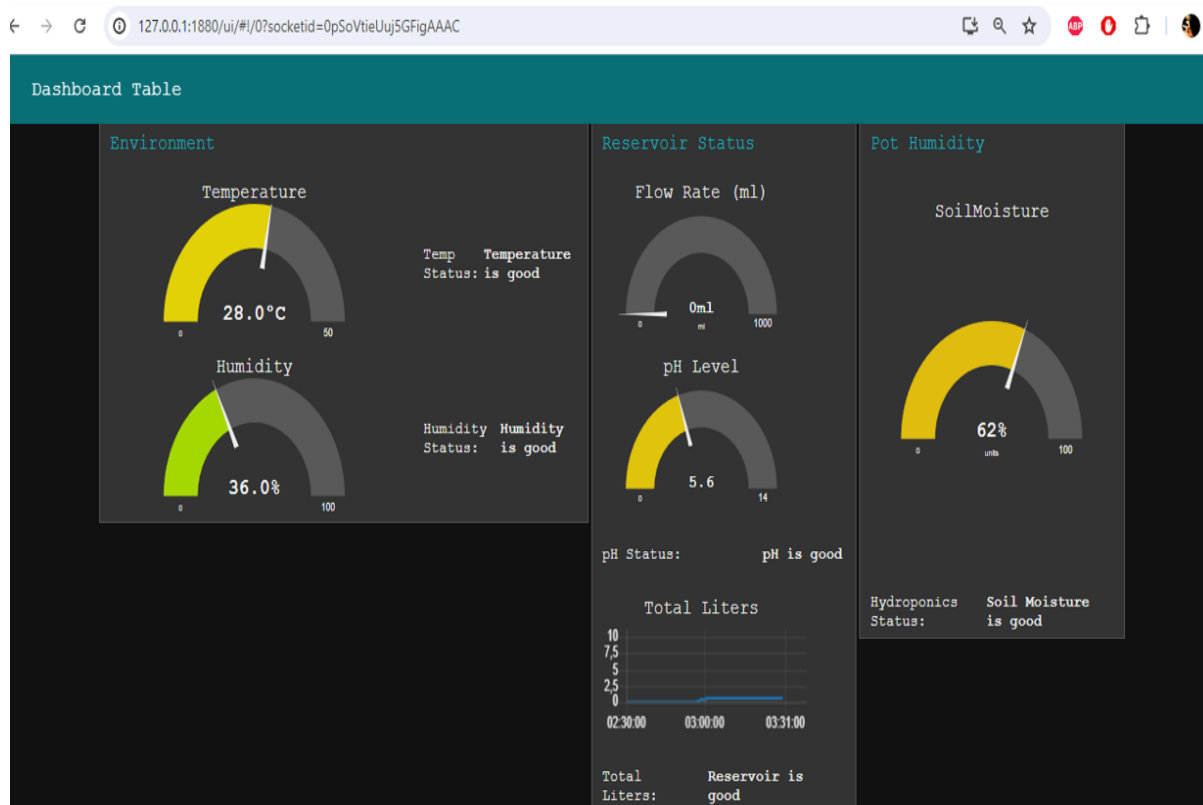
Name Flow Rate

☐ Enabled

Εικόνα 65: Το εσωτερικό ενός gauge dashboard

Όπως φαίνεται σε αυτό το σχήμα, μία σειρά ρυθμίσεων εντός του gauge όπως η ονομασία του, ο ορισμός του τι θέλουμε να μετρηθεί, το range του, ακόμα και αλλαγή χρωμάτων είναι δυνατή.

Έτσι λοιπόν με όλες αυτές τις ρυθμίσεις φτάνουμε στο τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 66: Δημιουργία ενός Dashboard Table

Το τελικό αποτέλεσμα του οπτικού προγραμματισμού με το Node-RED, και η βασική οθόνη ελέγχου των συνθηκών του υδροπονικού συστήματος, έχει ολοκληρωθεί. Στο σχήμα 66 φαίνεται πως ο έλεγχος γίνεται σε τρία διαφορετικά σημεία του συστήματος. Το πρώτο είναι ο έλεγχος της ατμόσφαιρας που επικρατεί στον χώρο, στο δεύτερο ελέγχεται απόλυτα η κατάσταση που επικρατεί στο θρεπτικό διάλυμα, και στο τρίτο διακρίνεται το τι κατάσταση επικρατεί στη γλάστρα. Εδώ να αναφερθεί ότι, στη συγκεκριμένη εικόνα και στη φάση που τραβήχτηκε, για ανάγκες της παρουσίασης, όλες οι καταστάσεις των σημείων ελέγχου είναι καλές. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι εάν κάτι πάει λάθος δεν θα έχουμε την κατάλληλη ενημέρωση. Όπως προαναφέρθηκε, για το dashboard soil moisture ενημερώνεται, και εμφανίζεται στο status αν η αντλία είναι σε λειτουργία η όχι. Αντίστοιχα, στο total liters chart εμφανίζεται μήνυμα για refill πριν φτάσει στα 10 λίτρα όπου είναι και ο συνολικός όγκος της δεξαμενής, και παράλληλα στην θερμοκρασία του χώρου, εμφανίζεται είτε το μήνυμα cooling είτε το heating, στην υγρασία είτε το wetting μήνυμα, ώστε να γίνει ένα ράντισμα των φύλλων με νερό, είτε το stop wetting αν η υγρασία του χώρου έχει αυξηθεί πολύ.

5. Συμπεράσματα και Πεδία Μελλοντικής Έρευνας

5.1. Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγινε η αναλυτική περιγραφή της υλοποίησης και της λειτουργίας ενός υδροπονικού συστήματος καλλιέργειας με τη χρήση του μικροελεγκτή Arduino Uno WiFi Rev2. Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τη συγκεκριμένη έρευνα είναι, αρχικά ότι η υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας αποδείχτηκε ικανή ώστε να αποφέρει τα αποτελέσματα που απαιτήθηκαν, ακόμα και μέσα σε ένα δωμάτιο κατοικίας, ενώ με την κλασσική μέθοδο καλλιέργειας εμφανίστηκαν αρκετές δυσκολίες. Η τομάτα με την παραδοσιακή μέθοδο εμφάνισε μία ασθένεια που κατα πάσα πιθανότητα μεταφέρθηκε στο φυτό μέσω του χώματος, ενώ με το σύστημα της υδροπονίας υπήρχαν κάποιες αυξομειώσεις στο pH του διαλύματος, όμως με την τακτική αντικατάσταση του αυτό δεν αποτέλεσε σημαντικό πρόβλημα. Η χρήση του τοπικού δικτύου της κατοικίας φάνηκε πολύ χρήσιμη, καθώς όταν παρατηρούνταν κυρίως αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου, λόγω της καλοκαιρινής περιόδου, η οπτική διεπαφή με την κατάσταση των συνθηκών στην οθόνη του υπολογιστή και η μεταφορά των δεδομένων σε αυτή μέσω του δικτύου, συνέβαλε στο να παρθούν αποφάσεις όπως το άνοιγμα του κλιματιστικού για μείωση της θερμοκρασίας ή για αερισμό του χώρου για ρύθμιση της υγρασίας. Έτσι λοιπόν αποδुकνείται ότι η χρήση των IoT συστημάτων για εφαρμογές όπως η συγκεκριμένη αποτελούν σημαντικό παράγοντα και συμβάλουν στην ποιότητα των εκάστοτε διεργασιών.

Το κόστος για την υλοποίηση του υδροπονικού συστήματος ήταν αφενός υψηλότερο από αυτό της παραδοσιακής μεθόδου, αφετέρου όχι τόσο υψηλό για τα αποτελέσματα που απέφερε. Το κατασκευαστικό μέρος κόστισε περίπου 150€, ενώ η πλακέτα του Arduino μαζί με τα αισθητήρια κόστισαν περίπου 200€.

5.2. Πεδία Μελλοντικής Έρευνας

Όπως αναφέρθηκε το κόστος της συγκεκριμένης εργασίας ήταν χαμηλό. Το σύστημα μπορεί να δεχτεί επιπλέον βελτιώσεις και επεκτάσεις. Μία από αυτές είναι η χρήση ενός αισθητηρίου αγωγιμότητας όπου θα αυξήσει κι άλλο την ακρίβεια των συνθηκών που επικρατούν στο θρεπτικό διάλυμα. Στο συγκεκριμένο σύστημα επίσης μπορεί να γίνει η χρήση ακριβότερων και περισσότερων αισθητηρίων για μεγαλύτερη ακρίβεια και για μέτρησεις διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η βαρομετρική πίεση και η ένταση του φωτισμού. Δυνατή θα ήταν επίσης η ανάπτυξη ενός πολυπλοκότερου συστήματος άρδευσης όπου θα απαιτεί τη χρήση περισσότερων αντλιών ώστε να συμπληρώνεται με ακρίβεια το κάθε θρεπτικό συστατικό που χρειάζεται. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα για βελτιώσεις στο

software της εφαρμογής. Θα μπορούσε να δημιουργηθεί μία εφαρμογή ώστε να στέλνει τα δεδομένα στο κινητό τηλέφωνο καθώς επιπλέον θα μπορούσε να δημιουργηθεί και μία βάση δεδομένων για την αποθήκευση και την επεξεργασία τους.

6. Βιβλιογραφία

- A. Lizarraga, H. Boesvelr, F. Huibers, C. Robles, 2003, Evaluating irrigation scheduling of hydroponic tomato in Navarra, Spain, Irrig. and Drain.
- J. Benton Jones, 2005, Hydroponics: a practical guide for the soilless grower, CRC Press
- Nikolov, N.V. Atanasov, A.Z. Evstatiev, B.I. Vladut, V.N. Biris, S.-S. 2023, Design of a Small-Scale Hydroponic System for Indoor Farming of Leafy Vegetables. Agriculture. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061191>
- Open-source electronic prototyping platform enabling users to create interactive electronic objects. <https://www.arduino.cc/>
- Δρ Δαμιανός Νεοκλέους, 2014, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών, Εγχειρίδιο Υδροπονίας Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ, Εκδόθηκε από το Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών, Λευκωσία.
[https://www.moa.gov.cy/moa/ari/ari.nsf/all/C810E0B75DCCE0F0C2257B6D003A569D/\\$file/Ydrponia_Exeiridio.pdf?openelement](https://www.moa.gov.cy/moa/ari/ari.nsf/all/C810E0B75DCCE0F0C2257B6D003A569D/$file/Ydrponia_Exeiridio.pdf?openelement)
- Δ. Σάββας, 2011, Καλλιέργειες εκτός εδάφους-υδροπονία, υποστρώματα, Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα.
- Ζ. Παπαφίγκου, 2007, Επίδραση της συχνότητας άρδευσης στην ανάπτυξη και στην παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας, πτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Μαυρογιαννόπουλος, Ν.Γ. 2006, Υδροπονικές εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B9%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1
- https://eclass.emt.ihu.gr/modules/document/file.php/ED153/3.%20%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%A3%CE%A7%CE%95%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F/%CE%91.%20%CE%92%CE%9F%CE%97%CE%98%CE%97%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%9F%CE%9C%CE%91%CE%94%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91/11_%CE%A1%CE%BF%CE%AE%CE%A1%CE%B5%CF%85%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD.pdf
- <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega4809>
- Θωμάς Μπαρτζάνας, Διευθυντής Ερευνών, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας και Αγροτεχνίας

https://www.ypaithros.gr/ekdoseis/thermokipia-georgia-akriveias-texnologia/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR2W0Sqr-wVgdQzEp82jZ5JdCbAD9zTF9tI9cp8ZiZsamnfgD0zuX7yQx9M_aem_6mpwnFoZtZLPCbhN1DVIjw

- Μαλιάτσος Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής, Εργαστηριακοί Συνεργάτες :
Τσίπης Λευτέρης
https://eclass.icsd.aegean.gr/modules/document/file.php/ICSD547/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B5%CF%82/IoT-Projects-2023-2024/Ergasies%20IoT%20.pdf?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR2rJAM7koNXF8lwA3rIJT8lpt9-wKa6cWpFD4VQ7PMaf0moQ1dECf-ZiQ8_aem_F4oWesW1eHpHTx8JbhjEEw
- Dueep Jyot Singh, John Davidson, Introduction to Hydroponics - Growing Your Plants Without Any Soil
https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=RAMtDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=hydroponics%20in%20ancient%20egypt&ots=7edFCyl3Li&sig=grx9WmZAUzSibvl_t7Tqe5IU_qdM&redir_esc=y&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR2OTGJeOP_NNecfHWRb00vkE74m6ooqevYpzdyeRV6He_5Nu56iLwhaCrA_aem_XyynTtdLsS-tiq487dAqRA#v=onepage&q=hydroponics%20in%20ancient%20egypt&f=false
- V. A. Tzanakakis, S. Koo-Oshima, M. Haddad, N. Apostolidis, and A. N. Angelakis, 2014, Evolution of Sanitation and Wastewater Technologies through the Centuries
- https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=mbgrBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA457&dq=hydroponics%20history&ots=rZUPjWbev_&sig=-jzKm97pGE4Zm_N5WyaP13prfvY&redir_esc=y&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR1edamVC2e2D-6CuRpvvqh7vaCyUiDHIDtdsF0bTqIC4LzDOJj0djJpOjg_aem_HPXL4aTcghzdiJ8ysPjXdQ#v=onepage&q=hydroponics%20history&f=false
- Adham M. Ibrahim^{1*}, Walid F. Omar¹, Mohamed A. Mahdy,
THE EFFECT OF HYDROPONICS PLANTED ROOF ON THE THERMAL PERFORMANCE OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN EGYPT
https://sifa.journals.ekb.eg/article_266958_22780fa159aecb0d2020d589f45bf730.pdf?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR0QVBjHWq02GBg7PsyKs4505pj_VFvKPf_L3nM4sdTQxuCWEd6kJhyLmgU_aem_wTgSE7PssCODOSLEPKLbJQ
- McDonald, Beth, 2024, Hydroponics: Creating Food for Today and for Tomorrow
https://scholars.indstate.edu/bitstream/handle/10484/12105/Mcdonald_Beth_2015_HT.pdf?sequence=1&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR1J3RN2_BMAIRqx-geuQp6xr7jpO1St0UkgaCiN7G6-ID7F6nnM7OsWBVE_aem_D9w6NH0vA7E2udWyl8ucwQ

- Dr. Melissa Brechner, Dr. A.J. Both, CEA Staff
- https://www.growit.gr/%CE%B5%CE%BD%CE%B4%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%83-%CF%84%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%83-ph-%CF%80%CE%BF%CF%85-%CE%B5%CF%85%CE%B4%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CF%85%CE%BD-%CF%84%CE%B1/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR1XPjQk1kRA5Zj2wn6s3-5MuBq2R1qd4IRNNOSxeQJ6co4lrFQRI8I169c_aem_2AtrQzDshW_NCM5cU5h2-Q
- https://www.growit.gr/%ce%b5%ce%be%ce%b1%ce%b5%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%bc%cf%8c%cf%82-%ce%b8%ce%b5%cf%81%ce%bc%ce%bf%ce%ba%ce%b7%cf%80%ce%af%cf%89%ce%bd/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR1SiwAOEJngYINyuKguxfDSkUKITqEmdCyyCy7NhPEERw8jlsb9qfH9vPI_aem_yJxmbXlwBc4awh9eHsG9lw
- https://www.viologika.gr/blog/nees-kalliergeies/aquaponiki-enydreioponia/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR3_P6wiUTLLPJAFEDxY8P867FgoWrCK5FtkDz-mvlqSiHTp1V4iGzINsE_aem_5RVb7Ohvl0UqbZB-Q3nQ3g
- https://learnelectronics.gr/%ce%bc%ce%ad%cf%84%cf%81%ce%b7%cf%83%ce%b7-%cf%85%ce%b3%cf%81%ce%b1%cf%83%ce%af%ce%b1%cf%82-%ce%bc%ce%b5-%cf%84%ce%bf%cf%85%cf%82-dht11-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-dht22/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR3aj_frfg-bgPN9x-TakC_aGfxEXXSmFioMdWOwybKZggVp_31Asl6DoCA_aem_bawtMqyfQaBE23uZM5UETA
- Ιάσων Μπαλατσούκας, 2022, Ανάπτυξη IoT συστήματος αυτομάτου ελέγχου παρακολούθησης και διαχείρισης υδροπονικής NFT καλλιέργειας
https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/56507/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%9C%CF%80%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CF%84%CF%83%CE%BF%CF%8D%CE%BA%CE%B1%CF%82.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR3Jm5sRylQOYTbLg6oN3DWdxh9FHUnrsaWNtFDLurludnOmEEVUDkFg75E_aem_WrSm3jl1cDEZObgSgEyndg#page=46&zoom=100,168,618
- <https://www.youtube.com/watch?v=G5HF4uZw7vs>
- https://docs.arduino.cc/tutorials/projects/control-your-iot-cloud-kit-via-mqtt-and-node-red/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR1Bqg-Rkmz50djlB8VZBENilg1tpURpYLvOok95KYx19dAZa5v9dzJ8Ol_g_aem_8ZmwmraprJ4evQEo9Eu8aw
- https://github.com/pmmistry/Node-RED-Series/blob/master/Labs/lab_2.md?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR1SiwAOEJngYINyuKguxfDSkUKITqEmdCyyCy7NhPEERw8jlsb9qfH9vPI_aem_yJxmbXlwBc4awh9eHsG9lw
- <https://fusionautomate.in/how-to-publish-dht11-sensor-data-from-nodemcu-to-mosquitto-mqtt->

broker/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR0kJnmvcfFpMv3oacp5kmH0CeqPIbcQLJ8DaLekZEosl-9INa8av1L2g8M_aem_YUneBBuyX_GS7H1leSb4Ag

- <https://grobotronics.com/robotics/development-tools-el/arduinogreece/arduino-boards/>
- <https://grobotronics.com/robotics/aisthitires/>
- Αντύπας, Παντελεήμων, Αρβανίτης, Ιωάννης, Αβραμόπουλος, Θεόδωρος. 2018 http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/handle/123456789/4365?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMATAAR2UUMGLELFX4nC6fKxWhvvgA0qG6OcuNtgR7U_i_2HdXKib-i339L0Q29Y_aem_W3f7G5zIdECPSfvMwf5HhA

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Arduino

```
#include <WiFiNINA.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include <PubSubClient.h>
const char* ssid = "VODAFONE_2621";
const char* password = "xfr3r3fb6t34c";
const char* mqtt_server = "broker.mqttdashboard.com";

const int mqttPort = 1883;

WiFiClient wifiClient;
PubSubClient mqttClient(wifiClient);

#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#define SOIL_MOISTURE_PIN A0
#define PUMP_PIN 13
#define PH_SENSOR_PIN A1

volatile int flowPulseCount = 0;
unsigned long oldTime = 0;
float flowRate = 0;
float totalLiters = 0;
const float calibrationFactor = 4500;
float voltage,phValue,temperature = 25;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10],temp;
```

```

int map_high = 363;
int map_low = 1023;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT);

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), pulseCounter,
FALLING);
  dht.begin();
  connectToWiFi();
  mqttClient.setServer(mqtt_server, mqttPort);
}

void loop() {
  if (!mqttClient.connected()) {
    reconnect();
  }

  mqttClient.loop();

  float temperature = dht.readTemperature();
  float humidity = dht.readHumidity();
  int soilMoistureValue = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN);
  int soilMoisturePercentage = map(soilMoistureValue,
map_low, map_high, 0, 100);

  if (soilMoisturePercentage > 80) {
    digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);
    Serial.print("Pump is OFF");
  } else if (soilMoisturePercentage < 60){
    digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH);

```

```

    Serial.print("Pump is ON");
}

String soilMoisturepayload = "{\"soilMoisture\":";
soilMoisturepayload += soilMoisturePercentage;
soilMoisturepayload += "}";
mqttClient.publish("arduino/soilMoisture",
soilMoisturepayload.c_str());
    Serial.println("Soil moisture data sent to MQTT broker: " +
soilMoisturepayload);
    delay(1000);

for(int i=0;i<10;i++)
{
    buf[i]=analogRead(PH_SENSOR_PIN);
    delay(10);
}
for(int i=0;i<9;i++)
{
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
        if(buf[i]>buf[j])
        {
            temp=buf[i];
            buf[i]=buf[j];
            buf[j]=temp;
        }
    }
}

avgValue=0;
for(int i=2;i<8;i++)
    avgValue+=buf[i];
float pHValue=(float)avgValue*5.0/1024/6;

```

```
phValue=3.5*phValue;  
Serial.print("  pH:");  
Serial.print (phValue);
```

```
String phpayload = "{\\"pH\\":\"";  
phpayload += (phValue);  
phpayload += "\"}";  
mqttClient.publish("arduino/pH", phpayload.c_str());  
Serial.print("pH data sent to MQTT broker: " + phpayload);  
delay(1000);
```

```
if (!isnan(temperature) && !isnan(humidity)) {  
    String payload = "{\\"temperature\\":\"";  
    payload += temperature;  
    payload += "\",\\"humidity\\":\"";  
    payload += humidity;  
    payload += "\"}";  
  
    mqttClient.publish("arduino/dht11", payload.c_str());  
    Serial.println("Data sent to MQTT broker: " + payload);  
} else {  
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");  
}  
delay(1000);
```

```
unsigned long currentTime = millis();  
unsigned long elapsedTime = currentTime - oldTime;  
  
if (elapsedTime > 1000) {  
    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2));
```

```

    flowRate = ((1000.0 / elapsedTime) * flowPulseCount) /
calibrationFactor;
    totalLiters += flowRate;

    String payload = "{" + String("\"flowRate\": ") +
String(flowRate * 1000) + ", " + "\"totalLiters\": " +
String(totalLiters) + "}";
    mqttClient.publish("sensor/flow", (char*) payload.c_str());

    Serial.print("Flow rate: ");
    Serial.print(flowRate * 1000);
    Serial.print(" ml\t");
    Serial.print("Total: ");
    Serial.print(totalLiters);
    Serial.println(" Liters");

    flowPulseCount = 0;
    oldTime = currentTime;

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), pulseCounter,
FALLING);
}

    delay(1000);

}

void pulseCounter() {
    flowPulseCount++;
}

void connectToWiFi() {

```

```

Serial.print("Connecting to WiFi...");
while (WiFi.begin(ssid, password) != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("Connected to WiFi");
}

void reconnect() {
    while (!mqttClient.connected()) {
        Serial.print("Attempting MQTT connection...");
        if (mqttClient.connect("ArduinoClient")) {
            Serial.println("Connected to MQTT broker");
        } else {
            Serial.print("Failed, rc=");
            Serial.print(mqttClient.state());
            Serial.println(" Retry in 5 seconds");
            delay(5000);
        }
    }
}
}

```

