



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη IoT συστήματος παρακολούθησης και διαχείρισης υδροπονικής NFT καλλιέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιάσων Χ. Μπαλατσούκας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ανάπτυξη IoT συστήματος αυτομάτου ελέγχου παρακολούθησης και
διαχείρισης υδροπονικής NFT καλλιέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιάσων Χ. Μπαλατσούκας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Οκτωβρίου 2022.

.....
Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ευάγγελος Παπαδόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Σπυρίδων Αγγελόπουλος
Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

.....
Ιάσων Χ. Μπαλατσούκας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιάσων Μπαλατσούκας, 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου αυτοματοποιημένου συστήματος βασισμένου σε υλικά και λογισμικό ανοιχτού κώδικα ενσωματώνοντας το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) για την παρακολούθηση και διαχείριση μίας γραμμής υδροπονίας τύπου NFT.

Πρόκειται για ένα σύστημα που στοχεύει στην παροχή ιδανικού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη υδροπονικά βασιλικών, όπου το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία παρακολουθούνται συνεχώς με τη χρήση αισθητήρων. Επιπλέον, με τον κατάλληλο προγραμματισμό του Arduino ως ελεγκτή του συστήματος και την χρήση επενεργητών επιτυγχάνεται η ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος. Τα δεδομένα αποστέλλονται για αποθήκευση, απεικόνιση και περαιτέρω ανάλυση στην εφαρμογή Blynk, όπου σχεδιάστηκαν διεπαφές χρηστών για πρόσβαση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή αλλά και Android εφαρμογής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφονται η αρχή λειτουργίας κάθε χρησιμοποιούμενου εξαρτήματος και αναλύεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την λειτουργία του συστήματος. Επίσης παρουσιάζονται τα δεδομένα από τους ελέγχους για την δοκιμή του συστήματος και την κανονική λειτουργία του. Η περίοδος συνολικής δοκιμής διήρκεσε 22 μέρες κατά την διάρκεια των οποίων καταγράφηκαν όλα τα δεδομένα των μετρήσεων. Από το αποτέλεσμα προκύπτει ότι τα φυτά αναπτύχθηκαν χωρίς την ιδιαίτερη ανάγκη χειρωνακτικής εργασίας καθώς και την ύπαρξη συνέπειας της ανάγνωσης κάθε παραμέτρου και εμφάνισής τους στην IoT πλατφόρμα, συμπεραίνοντας ότι το σύστημα λειτουργούσε όπως αναμενόταν.

Λέξεις-κλειδιά: Υδροπονία, NFT, αυτοματισμός, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Arduino, Blynk

Abstract

The purpose of this thesis is to develop an automated system using open-source hardware and software, integrating Internet of Things (IoT) to monitor and manage an NFT hydroponic cultivation.

It is a system that aims to provide an ideal environment for growing basil hydroponically, where pH, electrical conductivity, air temperature and relevant humidity are constantly monitored using sensors. In addition, with the proper programming of the Arduino as controller of the system and the use of actuators, the regulation of the nutrient solution is achieved. The data is sent for storage, visualization and further analysis to the Blynk application, where user interfaces were designed via a computer and an Android application.

This thesis describes the principle of operation of each component used and analyzes the code developed for the operation of the system. There are also presented the data from the test run of the system and its normal operation. The total test period lasted 21 days during which all the measurement data were recorded. The result shows that the plants were grown without the particular need of manual labour as well as the consistency of reading each parameter and their display on the IoT platform, concluding that the system performed as expected.

Keywords: *Hydroponic, NFT, automation, IoT, Arduino, Blynk*

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η υδροπονική καλλιέργεια είναι μία μέθοδος καλλιέργειας φυτών χωρίς την χρήση εδάφους ως μέσο ανάπτυξης των ριζών. Αντ' αυτού χρησιμοποιούνται υποστρώματα είτε θρεπτικό διάλυμα. Ως εκ τούτου, μέσω του ελέγχου των συνθηκών ανάπτυξης των φυτών, επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της παραγωγής και η αποφυγή προβλημάτων και ασθενειών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της υδροπονικής καλλιέργειας και περιγράφεται η ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος για την ενσωμάτωσή του στην καλλιέργεια. Εκτός από το σύστημα και τα μέρη από τα οποία αποτελείται, αναλύεται η λειτουργία IoT που μας επιτρέπει να έχουμε εξ αποστάσεως παρακολούθηση και έλεγχο της κατάστασης της υδροπονικής καλλιέργειας.

Στο Κεφάλαιο 1 πραγματοποιείται μία εισαγωγή στην υδροπονική καλλιέργεια, μέσω της περιγραφής των τύπων της, των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων, και των φυτών που μπορούν να καλλιεργηθούν. Επίσης, παρουσιάζονται τα απαραίτητα στοιχεία και πώς αυτά επηρεάζουν την υδροπονική καλλιέργεια.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η σύγχρονη υδροπονία, καθώς και η αρχή λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των υλικών (hardware) και λογισμικών (software) που χρησιμοποιούνται. Επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας αντίστοιχων διατάξεων και αναλύονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Το Κεφάλαιο 3 αποτελεί το πειραματικό μέρος της Εργασίας. Γίνεται επεξήγηση στα εξαρτήματα και στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του αυτοματοποιημένου συστήματος, αναλύεται η αρχή λειτουργίας του και παρουσιάζονται τα προβλήματα που προέκυψαν και πώς αυτά επιλύθηκαν.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται φωτογραφίες της διάταξης και των μετρήσεων, αναλύονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που διεξήχθησαν και γίνεται πειραματική αξιολόγηση.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 γίνεται ένας γενικός σχολιασμός της διάταξης και αναφέρονται τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν. Επίσης, παρέχονται υποδείξεις για περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του συστήματος που αναπτύχθηκε.

Με την περάτωση της διπλωματικής εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Καταρχάς, τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Χριστοφόρου Ευάγγελο για την εμπιστοσύνη του στο πρόσωπό μου αναθέτοντάς μου το θέμα αυτό, την καθοδήγησή του και τον χρόνο που διέθεσε για την διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας.

Οφείλω να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Αγγελόπουλο Σπύρο, για την εξαιρετική συνεργασία και την πολύτιμη συνεισφορά του. Η βοήθεια του ήταν απαραίτητη τόσο στην παροχή της σχετικής βιβλιογραφίας, όσο και στο πειραματικό μέρος.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου Νικόλα, Γιάννη και Μανώλη, και όλους όσους με υποστήριξαν και συμπαραστάθηκαν, ο καθένας με τον δικό του τρόπο.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	iii
Abstract	v
Πρόλογος – Ευχαριστίες.....	vii
Πίνακας περιεχομένων.....	ix
Ευρετήριο Εικόνων.....	xiii
Ευρετήριο Πινάκων	xvii
1 Γενικές Πτυχές της Υδροπονίας.....	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή	1
1.3 Υδροπονία.....	4
1.4 Τύποι Υδροπονίας	5
1.4.1 Deep Water Culture (DWC).....	5
1.4.2 Drip system.....	6
1.4.3 Aeroponics	7
1.4.4 Nutrient Film Technique (NFT)	8
1.4.5 Ebb and Flow	9
1.4.6 Aquaponics	10
1.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	11
1.5.1 Πλεονεκτήματα.....	11
1.5.2 Μειονεκτήματα	15
1.6 Φωτοσύνθεση.....	16
1.7 Τεχνητό φως	17
1.8 Υποστρώματα.....	18
1.8.1 Πετροβάμβακας	18
1.8.2 Βότσαλα αργίλου.....	19
1.8.3 Περλίτης.....	20

1.9	Θερμοκρασία.....	20
1.10	Θρεπτικό Διάλυμα.....	21
1.10.1	ρΗ.....	23
1.10.2	Electrical Conductivity (EC).....	25
1.10.3	Θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος.....	26
2	Υδροπονία και Τεχνολογία.....	29
2.1	Internet of Things (IoT).....	29
2.2	Agriculture 4.0.....	33
2.3	Αυτοματισμός.....	35
2.4	Αισθητήρες.....	36
2.4.1	Διακρίβωση.....	37
2.4.2	Τύποι αισθητήρων.....	37
2.5	Επενεργητές.....	38
2.6	Microcontrollers (MCU).....	40
2.7	Communication Protocols.....	41
2.7.1	UART πρωτόκολλο.....	42
2.7.2	I ² C πρωτόκολλο.....	43
2.7.3	SPI πρωτόκολλο.....	44
2.8	Αντίστοιχες Υδροπονικές Διατάξεις.....	45
2.9	Προτεινόμενη λύση.....	48
3	Υλοποίηση.....	49
3.1	Hardware.....	49
3.1.1	Πλαίσιο και δομή.....	50
3.1.2	Arduino Uno R3.....	52
3.1.3	Αισθητήρες.....	53
3.1.4	Επενεργητές.....	60
3.1.5	Περιφερειακά.....	62
3.2	Λογισμικό.....	64
3.2.1	Arduino IDE.....	64
3.2.2	Βιβλιοθήκες.....	65

3.2.3	Blynk.....	65
3.3	Χρησιμοποιούμενος κώδικας.....	69
3.4	Πακετάρισμα του υδροπονικού ελεγκτή	77
3.5	Αρχή λειτουργίας.....	79
3.6	Αντιμετώπιση προβλημάτων	81
3.6.1	Μέτρηση θερμοκρασίας νερού.....	81
3.6.2	Βιβλιοθήκες αισθητήρων pH και EC.....	82
3.6.3	OTA Διακρίβωση	83
3.6.4	Σταθεροποίηση μετρήσεων pH και EC	84
3.6.5	Αποστολή ειδοποιήσεων στο Blynk	84
4	Πειραματική αξιολόγηση και αποτελέσματα.....	87
4.1	Έλεγχοι δοκιμής συστήματος	87
4.1.1	Εξ αποστάσεως ενεργοποίηση περιστατικών αντλιών	87
4.1.2	Ρύθμιση pH θρεπτικού διαλύματος με ανατροφοδότηση	88
4.2	Έλεγχος κανονικής λειτουργίας συστήματος.....	89
5	Συμπεράσματα.....	95
5.1	Τελική αξιολόγηση του ολοκληρωμένου συστήματος.....	95
5.2	Μελλοντική εργασία	97
6	Βιβλιογραφία.....	99
7	Παράρτημα.....	105
7.1	Χρησιμοποιούμενος κώδικας.....	105

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας	2
Εικόνα 2 Υδροπονία στην αρχαία Αίγυπτο	2
Εικόνα 3 Τεχνητά νησιά που δημιουργήθηκαν από τους Αζτέκους	3
Εικόνα 4 Απεικόνιση συστήματος DWC	5
Εικόνα 5 Απεικόνιση συστήματος Drip.....	6
Εικόνα 6 Απεικόνιση συστήματος αεροπονίας.....	7
Εικόνα 7 Απεικόνιση συστήματος NFT	8
Εικόνα 8 Απεικόνιση συστήματος άμπωτης και ροής	9
Εικόνα 9 Απεικόνιση συστήματος ενυδροπονίας	10
Εικόνα 10 Κύβοι πετροβάμβακα.....	18
Εικόνα 11 Βότσαλα αργίλου	19
Εικόνα 12 Περλίτης	20
Εικόνα 13 Διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων με βάση το pH του εδάφους [18]	24
Εικόνα 14 Έξυπνο θερμοκήπιο	35
Εικόνα 15 Είδη αισθητήρων που βρίσκονται σε ένα αυτοκίνητο	37
Εικόνα 16 Πνευματικός επενεργητής.....	39
Εικόνα 17 Επενεργητές σε ρομποτικό βραχίονα.....	39
Εικόνα 18 Μικροελεγκτής και αποτελούμενα μέρη.....	41
Εικόνα 19 UART, I2C, και SPI pins στο Arduino UNO	42
Εικόνα 20 Απεικόνιση επικοινωνίας δύο συσκευών με UART πρωτόκολλο	43
Εικόνα 21 Απεικόνιση επικοινωνίας τεσσάρων συσκευών με I ² C πρωτόκολλο ..	44
Εικόνα 22 Απεικόνιση επικοινωνίας τεσσάρων συσκευών με SPI πρωτόκολλο .	44
Εικόνα 23 Σχηματικό της δομής του hardware	49
Εικόνα 24 Δομή πρότυπου υδροπονικού μοντέλου.....	50
Εικόνα 25 Δομή υδροπονικού μοντέλου που αναπτύχθηκε.....	52
Εικόνα 26 Κύρια μέρη Arduino UNO	53

Εικόνα 27 Αισθητήρας DHT11	54
Εικόνα 28 Συνδεσμολογία αισθητήρα DHT11 με το Arduino	54
Εικόνα 29 Συνολική διαδικασία επικοινωνίας Arduino - DHT11.....	55
Εικόνα 30 Αισθητήρας pH (SEN0161-v2)	56
Εικόνα 31 Συνδεσμολογία αισθητήρα SEN0161-v2 με το Arduino	57
Εικόνα 32 Αισθητήρας EC (DFR0300)	58
Εικόνα 33 Συνδεσμολογία αισθητήρα DFR0300 με το Arduino	59
Εικόνα 34 Αντλία νερού (AD20P-1230A)	61
Εικόνα 35 Περισταλτική αντλία (NKP-DC-S10G)	62
Εικόνα 36 ESP8266-01.....	62
Εικόνα 37 Πηγή τροφοδοσίας 12V (SN-12D500)	64
Εικόνα 38 Ροή δεδομένων μεταξύ MCU - Blynk app.....	66
Εικόνα 39 Δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο στην web εφαρμογή ..	68
Εικόνα 40 Δεδομένα αισθητήρων σε διαγράμματα στην web εφαρμογή.....	68
Εικόνα 41 Δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και εξ' αποστάσεως έλεγχος αντλιών στην εφαρμογή για κινητά.....	69
Εικόνα 42 Σχηματικό υδροπονικού ελεγκτή	77
Εικόνα 43 Κολλήσεις συστήματος μέτρησης ποιότητας νερού [37]	78
Εικόνα 44 Κολλήσεις υδροπονικού ελεγκτή	78
Εικόνα 45 Πίσω όψη υδροπονικού συστήματος.....	79
Εικόνα 46 Προστατευτικό κάλυμμα.....	79
Εικόνα 47 Αρχή λειτουργίας υδροπονικού ελεγκτή.....	80
Εικόνα 48 Απεικόνιση Serial Monitor με συνδεδεμένο τον αισθητήρα θερμοκρασίας νερού	82
Εικόνα 49 Βιβλιοθήκη αισθητήρα pH πριν την τροποποίηση	83
Εικόνα 50 Βιβλιοθήκη αισθητήρα EC πριν την τροποποίηση	83
Εικόνα 51 Βιβλιοθήκη αισθητήρα pH μετά την τροποποίηση	83
Εικόνα 52 Βιβλιοθήκη αισθητήρα EC μετά την τροποποίηση.....	83
Εικόνα 53 Ειδοποίηση για pH εκτός ορίων και ενεργοποίηση αντλίας οξέος στην πλατφόρμα Blynk.....	85
Εικόνα 54 Βασιλικός κατά την 1 ^η μέρα υδροπονικής καλλιέργειας.....	90
Εικόνα 55 Βασιλικός κατά την 11 ^η μέρα υδροπονικής καλλιέργειας.....	90

Εικόνα 56 Βασιλικός κατά την 21 ^η μέρα υδροπονικής καλλιέργειας.....	90
Εικόνα 57 Ανάπτυξη ριζών βασιλικού κατά την υδροπονική καλλιέργεια	91

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 Χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται από τα φυτά.....	22
Πίνακας 2 Βέλτιστο εύρος τιμών EC και pH για υδροπονικές καλλιέργειες [21]	26
Πίνακας 3 Τεχνικά χαρακτηριστικά ESP8266-01.....	63
Πίνακας 4 Συνδέσεις hardware με Arduino	71

1 Γενικές Πτυχές της Υδροπονίας

1.1 Εισαγωγή

Η παραδοσιακή προσέγγιση της βιομηχανίας τροφίμων υφίσταται μεταμόρφωση εκ βάθρων. Η πρώτη τεχνολογική επανάσταση στη γεωργία έκανε εντυπωσιακά βήματα: Μεταξύ 1961 και 2004, οι αποδόσεις των δημητριακών στην Ανατολική Ασία αυξήθηκαν πάνω από 300 τοις εκατό κατά τη διάρκεια της περιόδου, χάρη στις σύγχρονες γεωργικές πρακτικές, όπως η άρδευση, η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, και την ανάπτυξη νέων και πιο παραγωγικών ποικιλιών καλλιεργειών. Όμως, ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης έχει επιβραδυνθεί και οι προκλήσεις είναι μεγαλύτερες: Ο κόσμος πρέπει να παράγει 70 τοις εκατό περισσότερα τρόφιμα μέχρι το 2050, χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια, λιπάσματα και φυτοφάρμακα, ενώ παράλληλα μειώνει τα επίπεδα των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και αντιμετωπίζει την κλιματική αλλαγή [1]. Οι παλιές τεχνολογίες πρέπει να μεγιστοποιηθούν και να δημιουργηθούν νέες. Η ανάπτυξη της πληροφορικής είχε τεράστιο αντίκτυπο στην ανθρώπινη ζωή. Ο αντίκτυπος είναι αισθητός σε όλες σχεδόν τις πτυχές της ζωής, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας. Παράλληλα, η βελτιστοποίηση αυτοματοποιημένων συστημάτων, συνετέλεσαν στην ανάπτυξη ευρέως της υδροπονικής καλλιέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης των καλλιεργειών και την μείωση της ανθρώπινης παρέμβασης.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η υδροπονία ορίζεται γενικά ως η καλλιέργεια φυτών σε υδάτινο μέσο. Τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών παρέχονται μέσω του θρεπτικού διαλύματος στο οποίο βυθίζονται οι ρίζες. Το θρεπτικό διάλυμα μπορεί να είναι στατικό ή ρέον.



Εικόνα 1 Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας

Τα παλαιότερα παραδείγματα υδροπονίας χρονολογούνται κατά τον 6^ο αιώνα π.Χ. Η τεχνική της υδροπονικής καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε από τους Βαβυλωνίους για την δημιουργία των κρεμαστών κήπων [2]. Ομοίως, αρχαία ιερογλυφικά που χρονολογούνται αρκετά εκατοντάδες χρόνια π.Χ. απεικονίζουν την ανάπτυξη φυτών κατά μήκος του ποταμού Νείλου χωρίς χώμα.



Εικόνα 2 Υδροπονία στην αρχαία Αίγυπτο

Αργότερα γύρω στον 10^ο και 11^ο αιώνα μ.Χ. στο Μεξικό αναπτύχθηκαν από τους Αζτέκους οι Επιπλέοντες Κήποι στις ρηχές κοίτες των λιμνών και πιστεύεται ότι η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε και στην ενδοχώρα της Αμερικής [3]. Το υδροσύστημα αυτό κατασκευάστηκε στα περίχωρα της νότιας πόλης Xochimilco και αποτελούνταν από ένα δίκτυο καναλιών και τεχνικών νησιών. Με την κατασκευή αυτή καταδεικνύεται η εφευρετικότητα των Αζτέκων να δημιουργήσουν ένα βιώσιμο

βιότοπο από έναν υγρότοπο. Επιπλέον, αποτελεί την επιτομή της δυνατότητας της υδροκαλλιέργειας ως βιώσιμης πηγής τροφίμων και ως στοιχείου επιρροής τόσο στην κοινωνική όσο και στην περιβαλλοντική ευημερία, αφού η UNESCO αναγνώρισε αυτό το υδροσύστημα ως μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς [4].



Εικόνα 3 Τεχνητά νησιά που δημιουργήθηκαν από τους Αζτέκους

Στις αρχές του 17ου αιώνα μ.Χ. ο Βρετανός επιστήμονας Sir Francis Bacon πειραματίστηκε με την καλλιέργεια των φυτών χωρίς χώμα. Το έργο αυτό θεωρείται καταλύτης, που πυροδότησε το ενδιαφέρον των επιστημόνων για την νέα αυτή προσέγγιση. Το 1600 ο Βέλγος Jean Baptiste Van Helmont διεξήγαγε μία σειρά πειραμάτων για να αποδείξει ότι τα φυτά μπορούν να λάβουν ορισμένα θρεπτικά συστατικά από το νερό. Ενενήντα χρόνια αργότερα ο Βρετανός John Woodward καλλιέργησε φυτά αιωρούμενα σε υδατικά διαλύματα και ανακάλυψε ότι τα φυτά αναπτύχθηκαν καλύτερα σε διαλύματα εμπλουτισμένα με λίπασμα. Αργότερα το 1800, οι Γάλλοι De Saussure και Boussingault έδειξαν ότι τα φυτά χρειάζονται άνθρακα, οξυγόνο, υδρογόνο και άζωτο για να αναπτυχθούν υγιή. Στη συνέχεια, το 1860 οι Sash και Knor στη Γερμανία, προσέθεσαν φώσφορο, θείο, κάλιο, ασβέστιο και μαγνήσιο στον προαναφερθέντα κατάλογο στοιχείων και καλλιέργησαν φυτά σε υδατικά διαλύματα με όλα τα στοιχεία [5]. Η υδροπονία παρουσιάζει ξανά ενδιαφέρον το 1930 μετά από μία σειρά από δημοσιεύσεις του William Frederick Gericke. Είναι αυτός που αναφέρει τον όρο Hydroponics αποδεχόμενος τον όρο όπως είχε προτείνει αρχικά ο Dr. W.A. Setchell. Στη συνέχεια, δημοσίευσε ένα από τα πρώτα βιβλία για την καλλιέργεια χωρίς έδαφος, στο οποίο μεταξύ άλλων πρότεινε

ότι ορισμένες εμπορικές καλλιέργειες θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν σε μεγάλες ποσότητες, χωρίς χώμα αλλά σε λεκάνες που περιέχουν διαλύματα φυτικής τροφής. Αυτό που απέτυχε να προβλέψει ήταν ότι η υδροπονία θα περιοριζόταν στο μέλλον στην εφαρμογή της σε κλειστά περιβάλλοντα για την καλλιέργεια φυτών υψηλής χρηματικής αξίας και δεν θα έβρισκε τον δρόμο της, με τα σημερινά δεδομένα, στην παραγωγή ενός ευρέως φάσματος εμπορικών καλλιεργειών σε ανοικτά περιβάλλοντα.

1.3 Υδροπονία

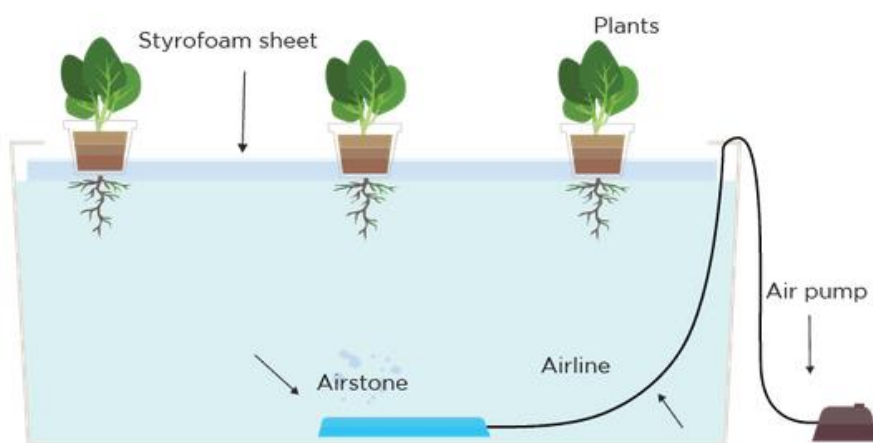
Ο όρος υδροπονία προέρχεται από τις αρχαίες ελληνικές λέξεις ὕδωρ – νερό και πόνος – έργο και σημαίνει νερό εργασίας και ορίζεται ως «Επιστήμη της καλλιέργειας ή της παραγωγής φυτών σε διαλύματα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά ή υγρό αδρανές υλικό, αντί για χώμα» [6]. Ένας άλλος ορισμός είναι «Η καλλιέργεια φυτών σε νερό εμπλουτισμένο με θρεπτικά συστατικά με ή χωρίς τη μηχανική υποστήριξη ενός αδρανούς υλικού, όπως άμμος ή χαλίκι» [7]. Η πιο κοινή πτυχή των ορισμών είναι ότι υδροπονία σημαίνει καλλιέργεια φυτών χωρίς έδαφος, με πηγές θρεπτικών συστατικών είτε ένα θρεπτικό διάλυμα είτε εμπλουτισμένο σε θρεπτικά συστατικά νερό και ότι ένα αδρανές μηχανικό στήριγμα ρίζας μπορεί ή όχι να χρησιμοποιηθεί. Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι δεν ορίζεται παντού η υδροπονία ως επιστήμη. Μία άλλη καθοριστική πτυχή της υδροπονίας είναι ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος θρεπτικών διαλυμάτων, είτε ως «ανοικτό» σύστημα στο οποίο το θρεπτικό διάλυμα απορρίπτεται αφού περάσει από την μάζα ή το μέσο της ρίζας, είτε ως «κλειστό» σύστημα στο οποίο το θρεπτικό διάλυμα αφού περάσει από τη μάζα ή το μέσο της ρίζας, ανακτάται για να επαναχρησιμοποιηθεί. Από το τέλος του 20ου αιώνα και έπειτα γίνονται εκτεταμένες έρευνες σχετικά με την επιστήμη – πρακτική της υδροπονικής καλλιέργειας. Σημαντικά κίνητρα για την προώθηση αυτών των ερευνών είναι το γεγονός ότι η υδροπονία μπορεί να υποστηρίξει την καλλιέργεια σε περιβάλλοντα όπως το διάστημα ή σε περιοχές με ακραίες καιρικές συνθήκες (πολικές περιοχές, έρημοι κλπ.). Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η υδροπονία μπορεί να ενισχύσει την προσπάθεια αντιμετώπισης της επερχόμενης κλιματολογικής κρίσης, αντικαθιστώντας ένα μέρος από τις ενεργοβόρες παραδοσιακές καλλιέργειες.

1.4 Τύποι Υδροπονίας

Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι για την καλλιέργεια τροφίμων με χρήση υδροπονίας και η εφαρμογή τους εξαρτάται από το συγκεκριμένο φυτό, το τοπικό κλίμα και τον προϋπολογισμό, μεταξύ άλλων παραγόντων. Τα περισσότερα συστήματα περιλαμβάνουν μια δεξαμενή αποθήκευσης για το θρεπτικό διάλυμα και μία αντλία παροχής οξυγόνου [8].

1.4.1 Deep Water Culture (DWC)

Η καλλιέργεια σε βαθύ νερό (DWC) είναι ένας απλός τύπος υδροπονικού συστήματος. Αποτελείται από μια δεξαμενή γεμάτη με νερό και θρεπτικό διάλυμα. Τα φυτά αιωρούνται πάνω από τη δεξαμενή χρησιμοποιώντας διάτρητη γλάστρα και μέσα καλλιέργειας. Οι ίδιες οι ρίζες είναι βυθισμένες στη δεξαμενή, ώστε να έχουν μια συνεχή παροχή νερού και θρεπτικών συστατικών. Το οξυγόνο που χρειάζονται τα φυτά για να επιβιώσουν παρέχεται στο νερό από έναν διαχύτη ή μία αντλία αέρα με αερόπετρα. Πρόκειται για ένα χαμηλού κόστους τύπο και εύκολο στη συντήρηση αφού τα κύρια εξαρτήματά του είναι η δεξαμενή, το υποστηρικτικό μέσο και η αντλία αέρα. Το θρεπτικό διάλυμα επαναχρησιμοποιείται εξοικονομώντας κόστος αλλά χρειάζεται σωστή διαχείριση, διότι οι ρίζες των φυτών μπορεί να πνιγούν λόγω μη επαρκούς οξυγόνου.

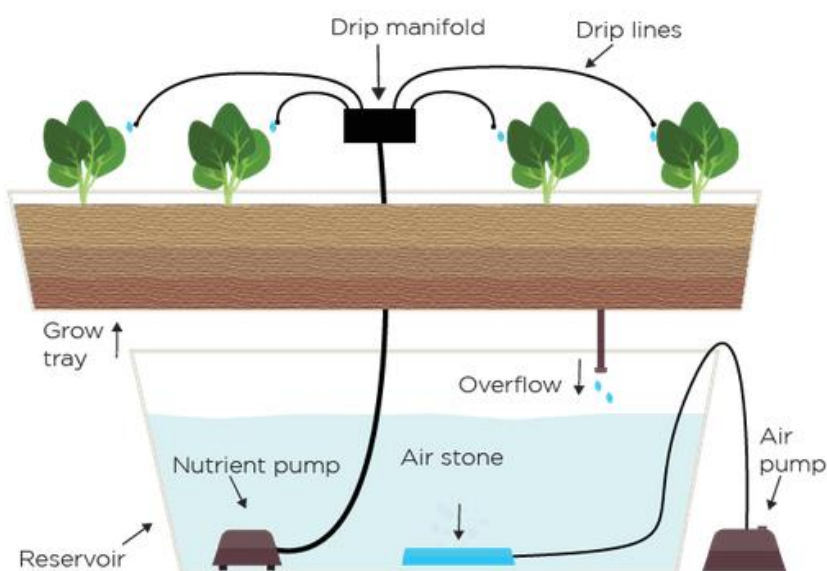


Εικόνα 4 Απεικόνιση συστήματος DWC

1.4.2 Drip system

Το σύστημα σταγόνων είναι ένα εύχρηστο υδροπονικό σύστημα που μπορεί γρήγορα να τροποποιηθεί για την υποστήριξη διαφορετικών τύπων φυτών, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικό σύστημα για κάθε καλλιεργητή που σκοπεύει να κάνει τακτικές αλλαγές. Το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται με ένα σύστημα σταγόνων αντλείται σε ένα σωλήνα που στέλνει το διάλυμα κατευθείαν στη βάση του φυτού. Στο τέλος κάθε σωλήνα υπάρχει ένα ακροφύσιο σταγόνων που ελέγχει πόση ποσότητα διαλύματος πηγαίνει στο φυτό. Η ροή μπορεί να προσαρμοστεί για να καλύψει τις ανάγκες κάθε μεμονωμένου φυτού.

Αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι τόσο μικρά ή μεγάλα με ανάλογη απαίτηση κινούμενων μερών. Μπορούν επίσης να είναι κυκλοφορούντα ή μη κυκλοφορούντα συστήματα. Στο σύστημα κυκλοφορίας θα στάζει σχεδόν συνεχώς, ενώ τυχόν επιπλέον θρεπτικά συστατικά θα επιστρέψουν πίσω στη δεξαμενή που περιέχει το θρεπτικό διάλυμα. Δεδομένου ότι προσφέρεται μεγαλύτερος έλεγχος στον προγραμματισμό και την ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη σχεδόν οποιουδήποτε φυτού. Στην περίπτωση του κυκλοφορούντος συστήματος, το κύριο πρόβλημα που θα αντιμετωπίσετε είναι ότι θα πρέπει να διατηρείτε με συνέπεια τα κυμαινόμενα επίπεδα θρεπτικών συστατικών και pH που θα προκύψουν καθώς το διάλυμα ανακυκλώνεται.

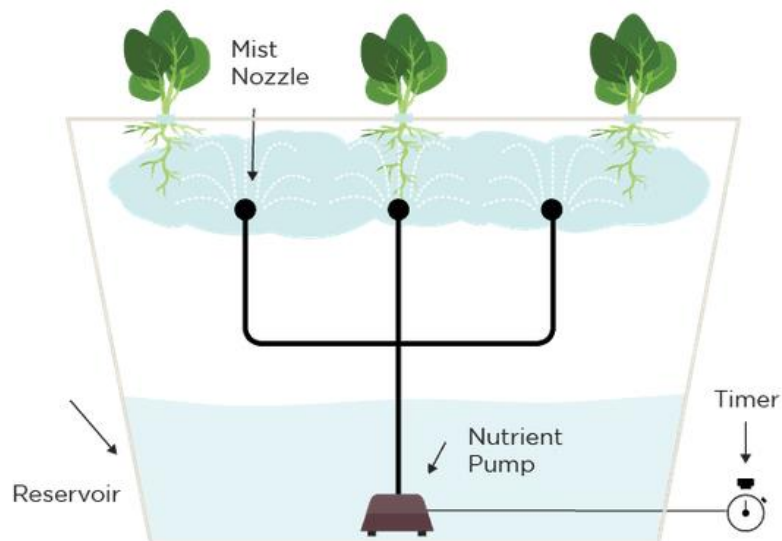


Εικόνα 5 Απεικόνιση συστήματος Drip

1.4.3 Aeroponics

Τα αεροπονικά συστήματα είναι τα πιο υψηλής τεχνολογίας και συνήθως πιο ακριβά, αλλά ανήκουν επίσης στα πιο αποτελεσματικά συστήματα. Σε ένα αεροπονικό σύστημα, τα φυτά και οι ρίζες αιωρούνται στον αέρα. Κάτω από τα φυτά είναι τοποθετημένα μερικά ακροφύσια υδρονέφωσης. Αυτά τα ακροφύσια θα ψεκάσουν το θρεπτικό διάλυμα στις ρίζες κάθε φυτού, κάτι που έχει αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική υδροπονική μέθοδος. Τα ακροφύσια ομίχλης συνδέονται απευθείας με την αντλία νερού. Όταν η πίεση αυξάνεται στην αντλία, το διάλυμα ψεκάζεται με τυχόν περίσσεια που πέφτει κάτω στη δεξαμενή από κάτω.

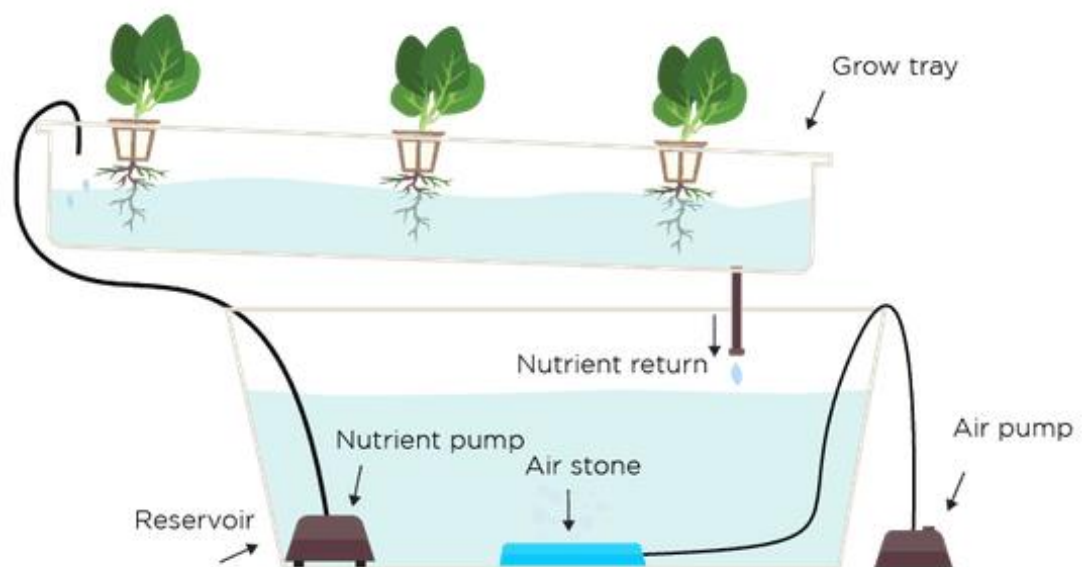
Δεδομένου ότι τα φυτά με αεροπονικό σύστημα αιωρούνται στον αέρα, παίρνουν όλο το οξυγόνο που χρειάζονται. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί επίσης λιγότερο νερό από οποιοδήποτε άλλο υδροπονικό σύστημα, καθιστώντας το πολύ αποδοτικό. Ωστόσο, πρόκειται για ένα από τα πιο ακριβά συστήματα ενώ με τη χρήση μπορεί να φράξει κάποιο ακροφύσιο που θα έχει τρομερή επίπτωση στα φυτά.



Εικόνα 6 Απεικόνιση συστήματος αεροπονίας

1.4.4 Nutrient Film Technique (NFT)

Το σύστημα με την τεχνική του θρεπτικού φιλμ έχει απλό σχεδιασμό, αλλά χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της εφαρμογής του σε πολλών ειδών εφαρμογές, με κύριο χαρακτηριστικό του ότι προμηθεύει τις ρίζες των φυτών με ένα λεπτό φιλμ θρεπτικών συστατικών. Το διάλυμα νερού και θρεπτικών συστατικών διατηρείται σε μια μεγάλη δεξαμενή, η οποία διαθέτει αντλία αέρα και αερόπετρα για να παραμένει οξυγονωμένο, όπως στο σύστημα DWC. Το διάλυμα αντλείται σε κεκλιμένα κανάλια που επιτρέπουν στα πλεονάζοντα θρεπτικά συστατικά να ρέουν πίσω στη δεξαμενή. Όταν το θρεπτικό διάλυμα αποστέλλεται στο κανάλι, ρέει κάτω από την πλαγιά και πάνω από τις ρίζες κάθε φυτού, οι οποίες βρίσκονται εντός διάτρητης γλάστρας για να την συγκρατούν, και έτσι παρέχεται η σωστή ποσότητα θρεπτικών συστατικών. Επειδή συνήθως τα κανάλια που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά μικρά, ενδείκνυται για φυτά με μικρές ρίζες, χωρίς να σημαίνει ότι με μερικές τροποποιήσεις δεν μπορούν να αναπτυχθούν συγχρόνως πολλά φυτά με μεγαλύτερες ρίζες. Λόγω της ευελιξίας που προσφέρει, αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται τόσο από εμπορικούς όσο και από οικιακούς καλλιεργητές.

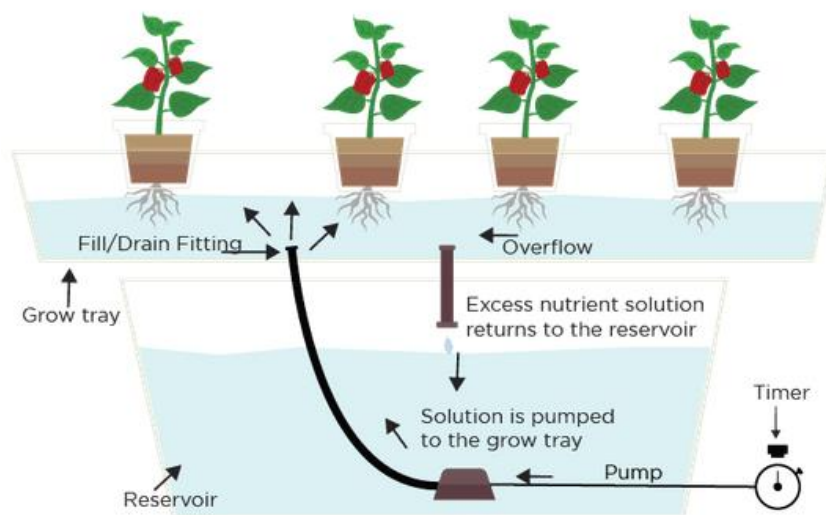


Εικόνα 7 Απεικόνιση συστήματος NFT

1.4.5 Ebb and Flow

Το σύστημα άμπωτης και ροής είναι ένα άλλο δημοφιλές υδροπονικό σύστημα που χρησιμοποιείται κυρίως στους οικιακούς κηπουρούς. Με αυτόν τον τύπο συστήματος, τα φυτά τοποθετούνται σε ένα ευρύχωρο κρεβάτι ανάπτυξης που είναι γεμάτο με υπόστρωμα όπως πετροβάμβακας ή περλίτης. Μόλις φυτευτούν προσεκτικά τα φυτά, το κρεβάτι θα πλημμυρίσει με ένα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά διάλυμα έως ότου το νερό φτάσει μερικές ίντσες κάτω από το ανώτερο στρώμα του μέσου ανάπτυξης, το οποίο διασφαλίζει ότι το διάλυμα δεν ξεχειλίζει.

Η αντλία νερού που πλημμυρίζει την κλίνη καλλιέργειας είναι εξοπλισμένη με ένα χρονόμετρο που θα απενεργοποιεί την αντλία μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν συμβεί αυτό, η βαρύτητα αποστραγγίζει το διάλυμα πίσω στη δεξαμενή για να επαναχρησιμοποιηθεί. Μια αντλία αέρα θα πρέπει να οξυγονώνει το νερό στη δεξαμενή καθώς περιμένει τον επόμενο κύκλο πλημμύρας. Το σύστημα άμπωτης και ροής έχει βρεθεί ότι είναι αποτελεσματικό στην καλλιέργεια σχεδόν όλων των τύπων φυτών, που περιλαμβάνει ορισμένα λαχανικά ρίζας όπως τα καρότα και τα ραπανάκια. Ωστόσο, συνιστάται να μην χρησιμοποιείται ιδιαίτερα μεγάλα φυτά με αυτό το σύστημα. Λόγω του χώρου που θα χρειαστούν αυτά τα φυτά, ενδέχεται να επαρκεί ο χώρος για το υπόστρωμα και το θρεπτικό διάλυμα στο κρεβάτι ανάπτυξης με μεγαλύτερα φυτά. Το κύριο πρόβλημα με το σύστημα άμπωτης και ροής εξαρτάται άμεσα από την κατάσταση και τον προγραμματισμό της αντλίας.

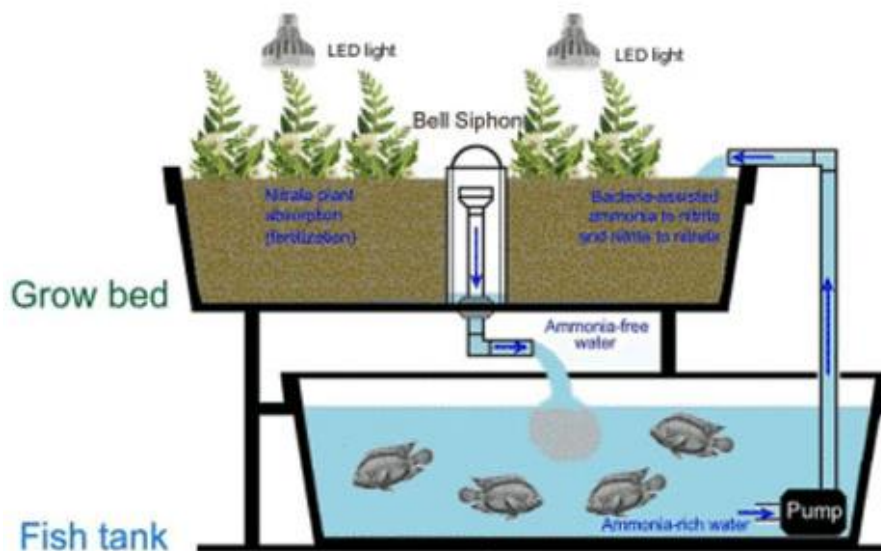


Εικόνα 8 Απεικόνιση συστήματος άμπωτης και ροής

1.4.6 Aquaponics

Η ενυδροπονία είναι ένας συνδυασμός υδατοκαλλιέργειας, που είναι η καλλιέργεια ψαριών και άλλων υδρόβιων ζώων, και υδροπονίας. Η ενυδροπονία χρησιμοποιεί τα παραπάνω σε ένα συμβιωτικό συνδυασμό στον οποίο τα φυτά τρέφονται με τα απόβλητα των υδρόβιων ζώων. Σε αντάλλαγμα, τα φυτά καθαρίζουν το νερό που επιστρέφει στα ψάρια. Μαζί με τα ψάρια και τα απόβλητά τους, τα μικρόβια παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή των φυτών. Αυτά τα ευεργετικά βακτήρια συγκεντρώνονται στα κενά μεταξύ των ριζών του φυτού και μετατρέπουν τα απόβλητα των ψαριών και τα στερεά σε ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα φυτά για να αναπτυχθούν.

Αποτελεί μεγάλη ελπίδα για την βιώσιμη βιολογική υδροπονία, υδατοκαλλιέργεια και κατανάλωση νερού. Τα απόβλητα ψαριών ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των φυτών αντί να πετιούνται στον ωκεανό. Το νερό ανακυκλώνεται σε ένα κλειστό σύστημα μειώνοντας την κατανάλωση στο ελάχιστο.



Εικόνα 9 Απεικόνιση συστήματος ενυδροπονίας

1.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η υδροπονία, όπως κάθε άλλη τεχνική γεωργίας, παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα [9].

1.5.1 Πλεονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι τα κάτωθι:

✓ Δεν απαιτεί ποιοτικό χώμα

Η κηπουρική θεωρείται συχνά ως μια δραστηριότητα που περιορίζεται σε όσους έχουν την τύχη να έχουν κήπο. Η υδροπονία αυξάνει σημαντικά τις επιλογές κηπουρικής για όσους βρίσκονται σε σπίτια χωρίς κήπο ή για όσους έχουν χώμα που δεν είναι κατάλληλο για βρώσιμες καλλιέργειες. Η υδροπονία σε συνδυασμό με τις τεχνικές καλλιέργειας σε εσωτερικούς χώρους δίνει στους κηπουρούς ακόμα περισσότερα επιλογές επεκτείνοντας τον πιθανό χώρο του κήπου σχεδόν σε οποιοδήποτε σημείο του σπιτιού.

✓ Δυνατότητα για ταχύτερη ανάπτυξη των καλλιεργειών

Τα φυτά σπάνια μεγιστοποιούν το πλήρες δυναμικό ανάπτυξής τους στο έδαφος. Σχεδόν πάντα υπάρχει κάποιος περιοριστικός παράγοντας που επιβραδύνει την ανάπτυξή τους. Στο έδαφος, οι ρίζες των φυτών πρέπει να αναζητήσουν θρεπτικά συστατικά που είναι συχνά άνισα κατανομημένα και πιθανώς απρόσιτα επειδή είναι συνδεδεμένα με διάφορα σωματίδια του εδάφους. Ορισμένα θρεπτικά συστατικά είναι απρόσιτα επειδή τα μικρόβια στο έδαφος δεν έχουν ακόμη διασπάσει τη θρεπτική πηγή (για παράδειγμα, κοπριά) σε μια μορφή που είναι διαθέσιμη στις ρίζες του φυτού. Είναι επίσης πιθανό η ανάπτυξη του φυτού να περιορίζεται από έλλειψη ή περίσσια νερού. Το πολύ νερό μπορεί να μειώσει την ποσότητα του οξυγόνου που διατίθεται στις ρίζες και να εμποδίσει τις βιολογικές διεργασίες που είναι απαραίτητες για να προσλάβουν οι ρίζες θρεπτικά συστατικά και νερό. Η υδροπονία βρέχει τις ρίζες με ένα ακριβές μείγμα βασικών θρεπτικών συστατικών με ισορροπία νερού και οξυγόνου. Πολλοί από τους περιορισμούς στη δυναμική ανάπτυξη ενός φυτού μπορούν να εξαλειφθούν ή να μειωθούν χρησιμοποιώντας υδροπονία και τεχνικές καλλιέργειας σε εσωτερικούς χώρους.

✓ Απαιτεί λιγότερο χώρο

Ένα φυτό πρέπει να απλώσει τις ρίζες του μακριά και σε πολλές κατευθύνσεις κατά την διαδικασία αναζήτησης νερού και θρεπτικών συστατικών. Εξαλείφοντας την ανάγκη για τις ρίζες των φυτών να βρουν νερό και θρεπτικά συστατικά, η απόσταση των φυτών περιορίζεται μόνο από την περιοχή που χρειάζεται για το θόλο του φυτού.

✓ Λιγότεροι περιορισμοί στην καλλιεργητική περίοδο

Προφανώς, η καλλιέργεια σε εσωτερικούς χώρους επιτρέπει στους κηπουρούς να παρατείνουν την καλλιεργητική περίοδο. Λιγότερο προφανές, η υδροπονία ειδικά μπορεί να παρατείνει την καλλιεργητική περίοδο ακόμη και όταν τοποθετείται σε εξωτερικούς χώρους. Συχνά η θερμοκρασία των ριζών ενός φυτού είναι πιο κρίσιμη για την υγεία του από τη θερμοκρασία των φύλλων. Είναι δυνατό να αναπτυχθούν χειμερινές καλλιέργειες στους 38°C εάν η θερμοκρασία της ρίζας διατηρείται σε ένα βέλτιστο εύρος κοντά στους 18°C έως 24°C. Είναι επίσης δυνατό να αναπτυχθούν καλλιέργειες που προτιμούν θερμές θερμοκρασίες σε ψυχρά κλίματα αυξάνοντας τη θερμοκρασία της ριζικής ζώνης. Η υδροπονία αυξάνει την ικανότητα ακριβούς ρύθμισης της θερμοκρασίας της ριζικής ζώνης. Μέσω της χρήσης θερμαντήρων, ψυκτών ή απλών πρακτικών όπως η ταφή μιας υδροπονικής δεξαμενής, μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί η θερμοκρασία του νερού και να βελτιωθεί η ανάπτυξη των καλλιεργειών.

✓ Μπορεί να μειώσει ή να εξαλείψει την ανάγκη για φυτοφάρμακα

Οι υδροπονικοί κήποι, ειδικά αυτοί που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους και σε θερμοκήπια, σπάνια είναι απαλλαγμένοι από παράσιτα, αλλά η υδροπονία έχει τη δυνατότητα να μειώσει την παρουσία των παρασίτων. Οι υδροπονικοί κήποι παρουσιάζουν λιγότερες κρυψώνες για παράσιτα που θα τρυπώσουν στο χώμα ή θα κρυφτούν σε υπολείμματα φυτών σε αποσύνθεση. Όταν η υδροπονία συνδυάζεται με τεχνικές καλλιέργειας σε εσωτερικούς χώρους, είναι δυνατό να έχουμε έναν κήπο εντελώς απαλλαγμένο από παράσιτα, εάν ο κηπουρός εφαρμόζει τεχνικές προληπτικής καταπολέμησης παρασίτων.

✓ Μπορεί να μειώσει ή να εξαλείψει τη γεωργική απορροή

Είναι δύσκολη η διαχείριση της απορροής σε ένα παραδοσιακό κήπο, αφού επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, όπως στην περίπτωση καταιγίδας όπου ξεπλένονται πολλά θρεπτικά συστατικά. Χρησιμοποιώντας προηγμένες υδροπονικές τεχνικές είναι δυνατό να έχουμε μηδενική απορροή. Αυτή είναι μια πρακτική που ταιριάζει καλύτερα στους επαγγελματίες καλλιεργητές υδροπονίας, καθώς περιλαμβάνει προηγμένες δοκιμές νερού, χημεία και εκτενή γνώση των ειδικών απαιτήσεων σε θρεπτικά συστατικά μιας καλλιέργειας. Για τους οικιακούς υδροπονικούς κηπουρούς, είναι σύνηθες να ξεπλένουν ή να απορρίπτουν το θρεπτικό διάλυμα στο υδροπονικό σύστημα κάθε λίγες εβδομάδες για να αποφύγουν πιθανές διαταραχές θρεπτικών συστατικών στην καλλιέργεια που δημιουργούνται από ανισορροπία θρεπτικών συστατικών. Τα φυτά δεν καταναλώνουν όλα τα θρεπτικά συστατικά με τον ίδιο ρυθμό, έτσι με την πάροδο του χρόνου κάποια συσσωρεύονται και κάποια γίνονται ελλιπή. Οι περιοδικές εκπλύσεις ή οι αλλαγές του θρεπτικού διαλύματος βοηθούν στην επαναφορά του συστήματος και διασφαλίζουν ότι η καλλιέργεια έχει πρόσβαση στη σωστή ισορροπία θρεπτικών συστατικών. Ωστόσο, αυτά τα λύματα δεν χρειάζεται απλώς να ξεπλυθούν αλλά να χρησιμοποιηθούν για τον υπαίθριο κήπο ή για τα φυτά σε γλάστρες.

✓ Ικανότητα χειρισμού της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά

Μία από τις πιο κοινές παρανοήσεις σχετικά με την υδροπονία είναι ότι τα υδροπονικά προϊόντα έχουν χαμηλότερη θρεπτική πυκνότητα από τα προϊόντα που καλλιεργούνται στο έδαφος, επειδή οι υδροπονικές καλλιέργειες καλλιεργούνται στο νερό. Υπάρχουν τόσοι πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θρεπτική πυκνότητα μιας καλλιέργειας, και παρόλο που το λίπασμα παίζει ρόλο στον οποίο υπάρχουν θρεπτικά συστατικά, το περιβάλλον παίζει τεράστιο ρόλο στα θρεπτικά συστατικά που προσλαμβάνει το φυτό. Η ένταση του φωτός και τα συγκεκριμένα χρώματα του φωτός μπορεί να επηρεάσουν την περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικά. Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει τη συγκέντρωση σακχάρου. Υπάρχει ένας μακρύς κατάλογος παραγόντων που επηρεάζουν τα θρεπτικά συστατικά που υπάρχουν σε μια καλλιέργεια, αλλά, συνολικά, αυτά τα λαχανικά είναι θρεπτικά. Σχεδόν όλα τα φυτά θα εμφανίσουν ορατά σημάδια ανεπάρκειας θρεπτικών συστατικών εάν η θρεπτική

τους πυκνότητα είναι σημαντικά μειωμένα από τα κανονικά επίπεδα, επομένως, εάν το φυτό φαίνεται καλά, είναι περισσότερο από πιθανό να έχει ένα θρεπτικό προφίλ συγκρίσιμο με ένα φυτό παρόμοιας όψης, ανεξάρτητα από το περιβάλλον στο που καλλιεργήθηκε.

✓ Αποφυγή εδαφολογικών παθογενειών

Μερικά από τα πιο επιθετικά φυτικά παθογόνα είναι εδαφολογικά, στα οποία οφείλονται η σήψη των ριζών και ο μαρασμός λόγω βακτηρίων. Πολλά από αυτά τα παθογόνα κρύβονται στο έδαφος μέχρι να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες, και στη συνέχεια πλήττουν την καλλιέργεια. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τα ζιζάνια. Στην υδροπονία, ο κηπουρός μπορεί να καθαρίσει πλήρως το υδροπονικό σύστημα εάν υπάρχει περίπτωση εδαφογενούς παθογόνου. Αυτό επιτρέπει στον κηπουρό να αφαιρέσει γρήγορα την παλιά καλλιέργεια, να καθαρίσει και να αποστειρώσει το σύστημα και στη συνέχεια να ξεκινήσει μια νέα καλλιέργεια.

✓ Μείωση της πιθανότητας μόλυνσης των καλλιεργειών

Αρκετές από τις εθνικές επιδημίες λόγω ασθενειών σε τροφές έχουν εντοπιστεί στην κοπριά. Η ζωική κοπριά, μια από τις κύριες εισροές θρεπτικών συστατικών στις παραδοσιακές φάρμες, είναι πιθανή πηγή επιβλαβών παθογόνων, συμπεριλαμβανομένων των *E.coli*, *Listeria* και *Salmonella*, εάν δεν παρασκευαστεί σωστά πριν από την εφαρμογή. Το 2011, ένα ξέσπασμα *E.coli* στο Όρεγκον πιστεύεται ότι οφειλόταν σε περιττώματα ελαφιών που βρέθηκαν στο ύποπτο αγρόκτημα [10]. Είναι σπάνιο να δει κανείς λιπάσματα που προέρχονται από κοπριά στην υδροπονία και η μόλυνση από την άγρια ζωή είναι πολύ ασυνήθιστη, καθώς οι περισσότερες υδροπονικές φάρμες βρίσκονται σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα που αποκλείουν την άγρια ζωή. Μια άλλη πιθανή πηγή μόλυνσης είναι τα βαρέα μέταλλα που υπάρχουν στο έδαφος ή σε πηγές άρδευσης. Οι υδροπονικοί καλλιεργητές μπορούν εύκολα να φιλτράρουν την πηγή νερού τους για να μειώσουν τα βαρέα μέταλλα, κάτι το οποίο δεν μπορεί να γίνει τόσο εύκολα στο έδαφος. Ως εκ τούτου, οι εδωδόμενες καλλιέργειες μπορούν να προσλάβουν βαρέα μέταλλα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αργή δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα, εάν καλλιεργηθούν χρησιμοποιώντας μολυσμένο έδαφος ή μολυσμένες πηγές νερού.

1.5.2 Μειονεκτήματα

Αντίστοιχα, η υδροπονική καλλιέργεια έχει και μειονεκτήματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

✓ Υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης

Σε σύγκριση με έναν παραδοσιακό κήπο, ένα σύστημα υδροπονίας είναι πιο ακριβό στην απόκτηση και κατασκευή. Απαιτεί πολλά εξαρτήματα, το κόστος ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του συστήματος που αγοράστηκε και το εάν είναι προκατασκευασμένο ή κατασκευασμένο με μεμονωμένα εξαρτήματα για τη δημιουργία ενός προσαρμοσμένου σχεδίου.

✓ Ευάλωτη σε διακοπές ρεύματος

Τόσο τα παθητικά όσο και τα ενεργητικά συστήματα υδροπονίας εξαρτώνται από την ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία των διαφορετικών εξαρτημάτων, όπως φώτα καλλιέργειας, αντλίες νερού, αεριστήρες, ανεμιστήρες κ.λπ. Επομένως, μια διακοπή ρεύματος θα επηρεάσει ολόκληρο το σύστημα. Στα ενεργά συστήματα, η απώλεια ισχύος μπορεί να είναι επιζήμια για τα φυτά, εάν περάσει απαρατήρητη από τον καλλιεργητή.

✓ Απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και συντήρηση

Η υδροπονία απαιτεί υψηλότερο επίπεδο παρακολούθησης και μικροδιαχείρισης από την παραδοσιακή καλλιέργεια φυτών. Για να διατηρηθεί ένα προσεκτικά ελεγχόμενο περιβάλλον ανάπτυξης, όλα τα στοιχεία του συστήματος χρειάζονται συνεχή επαγρύπνηση—φώτα, θερμοκρασία και πολλές πτυχές του θρεπτικού διαλύματος, όπως το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το θρεπτικό διάλυμα πρέπει επίσης να ξεπλένεται και να αντικαθίσταται τακτικά και τα μέρη του συστήματος να καθαρίζονται συχνά για να αποφευχθούν φαινόμενα ιζήματος ή φραξίματος σε κάποια σωλήνωση ή αντλία.

✓ Υδατογενείς ασθένειες

Επειδή τα φυτά που καλλιεργούνται υδροπονικά καλλιεργούνται στο νερό αντί στο έδαφος, οι ασθένειες που μεταδίδονται με νερό είναι σημαντικά υψηλότερες. Ειδικά στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, όπου το θρεπτικό διάλυμα

επανακυκλοφορεί, οι μολύνσεις μπορούν να εξαπλωθούν γρήγορα σε ολόκληρο το αναπτυσσόμενο σύστημα ως σύνολο, επηρεάζοντας ολόκληρη τη παρτίδα των φυτών. Σε ακραίες περιπτώσεις, μια υδατογενής ασθένεια μπορεί να σκοτώσει όλα τα φυτά σε ένα σύστημα υδροπονίας μέσα σε λίγες ώρες με την ύπαρξη συγκεκριμένων προϋποθέσεων όπως ύπαρξη πληγών στις ρίζες κλπ..

✓ Τα φυτά επηρεάζονται πιο γρήγορα

Το έδαφος προστατεύει τις ρίζες από ακραίες αλλαγές θερμοκρασίας, επιβραδύνει τις ασθένειες και τα παράσιτα από την επίθεση και απελευθερώνει και απορροφά τακτικά θρεπτικά συστατικά. Χωρίς το έδαφος να λειτουργεί ως ρυθμιστικό φίλτρο, τα φυτά που αναπτύσσονται σε συστήματα υδροπονίας αντιδρούν άμεσα σε προβλήματα όπως οι ελλείψεις θρεπτικών συστατικών και αρρωσταίνουν πολύ πιο γρήγορα.

✓ Μόλυνση του περιβάλλοντος.

Εάν το υπολειμματικό θρεπτικό διάλυμα δεν απορριφθεί σωστά, το αποβαλλόμενο διάλυμα, εμπλουτισμένο με φώσφορο και νιτρικά άλατα, μπορεί να προκαλέσει υπερβολική ανάπτυξη φυκιών και άλλων μικροοργανισμών σε υδάτινα σώματα και λύματα, δημιουργώντας σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.

1.6 Φωτοσύνθεση

Η φωτοσύνθεση είναι η διαδικασία με την οποία τα φυτά χρησιμοποιούν το ηλιακό φως, το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα για να δημιουργήσουν οξυγόνο και ενέργεια με τη μορφή ζάχαρης. Η περισσότερη ζωή στη Γη εξαρτάται από τη φωτοσύνθεση. Η διαδικασία πραγματοποιείται από φυτά, φύκια και ορισμένους τύπους βακτηρίων, τα οποία συλλαμβάνουν ενέργεια από το ηλιακό φως για να παράγουν οξυγόνο (O_2) και χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στη γλυκόζη (ένα σάκχαρο).

Κατά τη φωτοσύνθεση, τα φυτά προσλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O) από τον αέρα και το έδαφος. Μέσα στο φυτικό κύτταρο, το νερό οξειδώνεται, δηλαδή χάνει ηλεκτρόνια, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα ανάγεται, δηλαδή κερδίζει ηλεκτρόνια. Αυτό μετατρέπει το νερό σε οξυγόνο και το διοξείδιο

του άνθρακα σε γλυκόζη. Στη συνέχεια, το φυτό απελευθερώνει το οξυγόνο πίσω στον αέρα και αποθηκεύει ενέργεια στα μόρια της γλυκόζης. Μέσα στο φυτικό κύτταρο υπάρχουν μικρά οργανίδια που ονομάζονται χλωροπλάστες, τα οποία αποθηκεύουν την ενέργεια του ηλιακού φωτός. Μέσα στις θυλακοειδείς μεμβράνες του χλωροπλάστη υπάρχει μια χρωστική ουσία που απορροφά το φως που ονομάζεται χλωροφύλλη, η οποία είναι υπεύθυνη για το πράσινο χρώμα του φυτού. Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, η χλωροφύλλη απορροφά ενέργεια από το υπεριώδες και το υπέρυθρο φάσμα και αντανακλά στο οπτικό φάσμα, κάνοντας το φυτό να φαίνεται πράσινο.

1.7 Τεχνητό φως

Φυσικά, το φως του ήλιου είναι αναμφίβολα η φθηνότερη πηγή φωτός για την καλλιέργεια φυτών, αλλά δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Με ένα φως εσωτερικού χώρου, είναι δυνατό να αναπτυχθούν αποτελεσματικά όλο το χρόνο. Έξω στο περιβάλλον, ένας λαχανόκηπος απαιτεί περίπου οκτώ ώρες άμεσου ήλιου την ημέρα [11]. Ο τεχνητός φωτισμός για έναν υδροπονικό κήπο θα πρέπει να μιμείται τις απαιτήσεις άμεσης και έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι το σύστημά ώστε να έχει τουλάχιστον 14 έως 16 ώρες τεχνητού φωτός, ακολουθούμενες από 10 έως 12 ώρες σκότους κάθε μέρα για τα ετήσια φυτά. Το σκοτάδι είναι εξίσου σημαντικό με το φως - όπως τα ζώα, τα φυτά χρειάζονται χρόνο για να ξεκουραστούν και να μεταβολιστούν. Τα πολυετή φυτά απαιτούν έναν πιο αυστηρό υπολογισμό για το χρονοδιάγραμμα φωτισμού για να περάσουν τα φυτά στο βλαστικό (ανάπτυξη) και στην ανθοφορία (παραγωγή). Ο ευκολότερος τρόπος για να διατηρήσετε ένα πρόγραμμα φωτισμού είναι με αυτόματο ηλεκτρικό χρονόμετρο. Αυτό διότι ένα λάθος στα χρονικά διαστήματα φωτός και σκότους έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάσει δραματικά τους ρυθμούς ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών [12]. Οι τύποι των λαμπτήρων και τα χαρακτηριστικά του φωτός που δύναται να χρησιμοποιηθούν στην υδροπονία δεν αποτελεί αντικείμενο εξέτασης της παρούσας διπλωματικής και δεν χρησιμοποιήθηκε τεχνητός φωτισμός για την ανάπτυξη του υδροπονικού συστήματος.

1.8 Υποστρώματα

Μία από τις εξελίξεις στον κόσμο της υδροπονίας ήταν η τελειοποίηση των εναλλακτικών μέσων καλλιέργειας και η ανάπτυξη πολλών διαφορετικών μέσων ανάπτυξης. Βασικά, οτιδήποτε μπορεί να αναπτυχθεί ένα φυτό θεωρείται μέσο καλλιέργειας. Μεταξύ των αδρανών που διατίθενται τώρα είναι πετροβάμβακας/πετροβάμβακας (το βιομηχανικό πρότυπο), κύβοι όασης, βερμικουλίτης, περλίτης, ίνες καρύδας (κοκοφοίνικας), τύρφη, κομποστοποιημένος φλοιός, χαλίκι μπιζελιού, άμμος, διογκωμένη άργιλος, πέτρα λάβας, μόνωση από υαλοβάμβακα, πριονίδι, ελαφρόπετρα, τσιπς αφρού, πλάκες καλλιέργειας πολυουρεθάνης και φλούδες ρυζιού. Κάθε μία από τις παραπάνω εναλλακτικές έχει θετικά και αρνητικά, και η επιλογή μεταξύ των αδρανών θα εξαρτηθεί από πολλές μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους και του τύπου των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν και του τύπου του υδροπονικού συστήματος που χρησιμοποιείται.

Παρακάτω αναλύονται τα πιο ευρέως διαδεδομένα αδρανή υποστρώματα τα οποία εξασφαλίζουν την ταχεία ανάπτυξη καλών ριζικών συστημάτων και έχει καλές υποστηρικτικές ιδιότητες.

1.8.1 Πετροβάμβακας



Εικόνα 10 Κύβοι πετροβάμβακα

Κατασκευασμένος από βράχο που έχει λιώσει και μετατραπεί σε ινώδεις κύβους και αναπτυσσόμενες πλάκες, ο πετροβάμβακας έχει την υφή της μόνωσης και παρέχει στις ρίζες καλή ισορροπία νερού και οξυγόνου. Ο πετροβάμβακας μπορεί να

χρησιμοποιηθεί με συστήματα συνεχούς σταγόνας ή άμπωτης και ροής και είναι κατάλληλος για φυτά όλων των μεγεθών, από σπόρους και μοσχεύματα έως μεγάλα φυτά. Ο πετροβάμβακας θεωρείται ως το ιδανικό υπόστρωμα για υδροπονική παραγωγή. Λόγω της μοναδικής δομής του, ο πετροβάμβακας μπορεί να συγκρατήσει νερό και να διατηρήσει επαρκή χώρο αέρα (τουλάχιστον 18 τοις εκατό) για να προωθήσει τη βέλτιστη ανάπτυξη των ριζών [13]. Δεδομένου ότι ο πετροβάμβακας παρουσιάζει ένα αργό, σταθερό προφίλ αποστράγγισης, η καλλιέργεια μπορεί να χειριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια μεταξύ της βλαστικής και της γενετικής ανάπτυξης χωρίς φόβο για δραστικές αλλαγές στο EC ή το pH.

1.8.2 Βότσαλα αργίλου



Εικόνα 11 Βότσαλα αργίλου

Τα βότσαλα από άργιλο παράγονται σχηματίζοντας πηλό σε σφαιρίδια και στη συνέχεια ψήνοντάς τα σε ζεστό κλίβανο. Αυτό κάνει τον άργιλο να διαστέλλεται και να γίνεται πορώδης. Τα βότσαλα από πηλό είναι διαθέσιμα σε διάφορα σχήματα και μεγέθη και με δύο τύπους επιφάνειας, λεία και χονδροειδή. Τα πήλινα βότσαλα χρησιμοποιούνται στην κηπουρική από το 1936 [9]. Έχουν το πλεονέκτημα ότι, εφόσον είναι καλά καθαρισμένα, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν έως και πέντε χρόνια. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των βότσαλων αργίλου είναι ότι δεν μπορούν να απορροφήσουν σχεδόν καθόλου υγρασία, καθιστώντας τα ακατάλληλα ως υπόστρωμα που τρέχει σε απόβλητα. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα επανακυκλοφορίας όπου τα θρεπτικά συστατικά περνούν συνεχώς από τις ρίζες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα βότσαλα αργίλου έχουν καλές υποστηρικτικές ιδιότητες και είναι βαρύτερα από το νερό και επομένως δεν

επιπλέον. Επιπλέον, τα βότσαλα αργίλου χρησιμοποιούνται εκτενώς, όπως σε μείγματα γλάστρες και ως στρώση αποστράγγισης στον πυθμένα των γλαστρών όταν αναπτύσσονται σε κοκοφοίνικα ή σε μείγματα γλάστρας.

1.8.3 Περλίτης



Εικόνα 12 Περλίτης

Ο περλίτης είναι ένα υαλώδες, ηφαιστειακό πέτρωμα που αλέθεται και στη συνέχεια ψήνεται σε υψηλή θερμοκρασία. Ο περλίτης είναι επίσης αδρανής, αλλά λόγω των φτωχών υποστηρικτικών ιδιοτήτων του είναι σχετικά ευάλωτος ως καλλιεργητικό μέσο ο ίδιος [14]. Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό μείγματος γλάστρας και ιδιαίτερα για να αυξήσει την αναλογία αέρα στο μείγμα γλάστρας. Ωστόσο, αυτές τις μέρες υπάρχουν πιο φιλικές προς το περιβάλλον μέθοδοι για αυτό, όπως η προσθήκη λευκής τύρφης.

1.9 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του αέρα είναι πρωταρχικός περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη και τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών. Ωστόσο, η θερμοκρασία του αέρα δεν είναι ποτέ μεμονωμένο ζήτημα. Μαζί με τα επίπεδα φωτός, διοξειδίου του άνθρακα, υγρασίας αέρα, θερμοκρασίας νερού και θρεπτικών συστατικών, η θερμοκρασία επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών και τελικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να είναι σε ισορροπία.

Η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος δεν πρέπει ποτέ να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα σε συστήματα όπου οι

ρίζες των φυτών εκτίθενται σε διαλείπουσες υπερτάσεις μεγάλου όγκου θρεπτικού διαλύματος. Τις ζεστές μέρες, όταν η ατμοσφαιρική ζήτηση στα φυτά είναι υψηλή, η επαφή της ρίζας με θρεπτικό διάλυμα κάτω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να οδηγήσει σε μαρασμό των φυτών, ασκώντας ανεπιθύμητη πίεση στα φυτά. Οι ρίζες των φυτών που βρίσκονται σε δροσερό ή κρύο θρεπτικό διάλυμα δεν μπορούν να απορροφήσουν αρκετό νερό και στοιχεία για να καλύψουν τη ζήτηση των κορυφών των φυτών που εκτίθενται σε ζεστό αέρα και έντονη ηλιοφάνεια. Η επανειλημμένη έκθεση σε δροσερό θρεπτικό διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών, κάτω από τα αναμενόμενα επίπεδα, που αποδεικνύεται από την κακή καρπώδεση και ποιότητα και την καθυστερημένη ωρίμανση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητο να ζεσταθεί το θρεπτικό διάλυμα για να αποφευχθεί αυτό το στρες. Από την άλλη πλευρά, η θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν συνιστάται και μπορεί να βλάψει την καλλιέργεια. Έχει διαπιστωθεί ότι για την υδροπονική ντομάτα που καλλιεργήθηκε εντός θερμοκηπίου, όταν η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος ήταν 70°F (21°C), η μέγιστη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων σημειώθηκε όταν η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος ήταν 80°F (26,7°C), ενώ για τη μέγιστη ρίζα και ανάπτυξη βλαστών, υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης βλαστών και πρόσληψη νερού, η βέλτιστη θερμοκρασία ρίζας ήταν 77°F (25°C) [15].

1.10 Θρεπτικό Διάλυμα

Στην υδροπονία, όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά παρέχονται στο φυτό μέσω του θρεπτικού διαλύματος, εκτός από τον άνθρακα, το υδρογόνο και το οξυγόνο, τα οποία μεταφέρονται από τον αέρα. Τα ανόργανα λιπάσματα χρησιμοποιούνται ως πηγές θρεπτικών συστατικών, εκτός από τον σίδηρο, ο οποίος προστίθεται ως χηλός για τη βελτίωση της διαθεσιμότητάς του. Τα περισσότερα από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων είναι εξαιρετικά διαλυτά ανόργανα άλατα. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται επίσης ορισμένα ανόργανα οξέα [16]. Η διατροφή των φυτών στην υδροπονία έχει μελετηθεί εκτενώς και τα εμπλεκόμενα θρεπτικά συστατικά έχουν ομαδοποιηθεί σε

τρία είδη: πρωτογενή, δευτερογενή και ιχνοστοιχεία ή μικροθρεπτικά συστατικά, όπως συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 1 Χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται από τα φυτά

Primary Macroelements	Symbol	Forms Absorbed
Nitrogen	N	NO_3^{2-}, NH_4^+
Phosphorus	P	$PO_4^{3-}, HP_4^{2-}, H_2PO_4^-$
Potassium	K	K^+
Secondary Macroelements	Symbol	Forms Absorbed
Calcium	Ca	Ca^{2+}
Magnesium	Mg	Mg^{2+}
Sulfur	S	SO_4^{2-}
Microelements	Symbol	Forms Absorbed
Iron	Fe	Fe^{2+}, Fe^{3+}
Manganese	Mn	Mn^{2+}
Zinc	Zn	Zn^{2+}
Copper	Cu	Cu^{2+}
Molybdenum	Mo	MoO_4^{2-}
Boron	B	$BO_3^{2-}, B_4O_7^{2-}$

Τα διαλύματα που διατίθενται στο εμπόριο κωδικοποιούν τα περιεχόμενα μακροθρεπτικών συστατικών ως τριψήφια ακολουθία, σύμφωνα με τη συγκέντρωση N-P-K εκφρασμένη σε ποσοστό βάρους. Για παράδειγμα, ένα σκεύασμα 8-15-36, ιδανικό για καλλιέργειες τομάτας, περιέχει 8% N, 15% P και 36% K. Για καλλιέργειες μαρουλιού, συνιστάται ένα διάλυμα 8-15-16. Είναι επίσης δυνατό να προστεθούν οργανικά θρεπτικά συστατικά όπως το κομπόστ: ένα μείγμα φυτικών απορριμμάτων, ούρων, κοπριάς και νεκρών ζωικών μερών, με έκπλυση του διαλύματος πριν την προσθήκη του στο υδροπονικό σύστημα. Αυτός ο τύπος χρησιμεύει ως πιθανή εναλλακτική λύση στα ανόργανα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται συνήθως στην υδροπονία. Ωστόσο, η προσθήκη τέτοιων υλικών στη σύνθεση μπορεί να μολύνει το σύστημα με ανεπιθύμητα παράσιτα ή βακτήρια, γι' αυτό πρέπει να αναλυθεί προσεκτικά πριν την εισαγωγή του στο υδροπονικό σύστημα.

Η διάρκεια ζωής του διαλύματος είναι υψίστης σημασίας και θα εξαρτηθεί από τις έγκαιρες προσαρμογές στο pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τη στάθμη του νερού. Για να αποκλειστούν αλλαγές στο θρεπτικό διάλυμα, το επίπεδο όγκου στη δεξαμενή αποθήκευσης πρέπει να παραμείνει σταθερό, αναπληρώνοντας το νερό

που απορροφάται από τα φυτά και χάνεται από την αναπνοή τους. Διαφορετικά, η συγκέντρωση των αλάτων θα αλλάξει, επηρεάζοντας την υγιή ανάπτυξη των φυτών. Συνιστάται να αλλάζεται το διάλυμα στη δεξαμενή κάθε 2 έως 3 εβδομάδες, ανάλογα με την καλλιέργεια, να καθαρίζεται και να απολυμαίνεται σχολαστικά η δεξαμενή [8].

1.10.1 pH

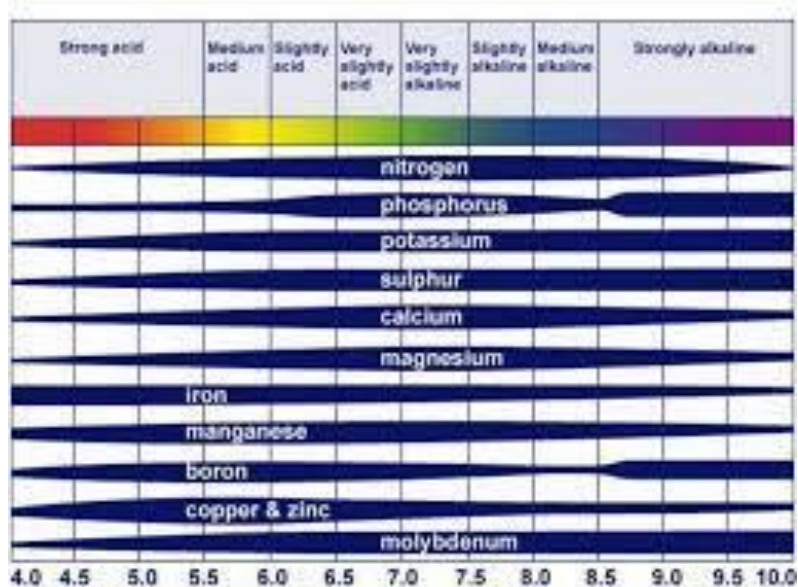
Το pH του εδάφους και το νερό τροφοδοσίας είναι βασικές πτυχές ενός καλού σχεδίου σίτισης. Το pH δεν έχει άμεση επίδραση στο φυτό, αλλά επηρεάζει άμεσα τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών για το φυτό. Η κλίμακα pH, η τυπική μέτρηση της οξύτητας, αναπτύχθηκε από τον επικεφαλής του Χημικού Τμήματος του Εργαστηρίου Carlsberg το 1909. Βασικά σημαίνει «η δύναμη του υδρογόνου», επειδή η κλίμακα παρέχει μια απλή και καθολική μέτρηση της ποσότητας των ιόντων υδρογόνου που υπάρχουν σε μια λύση. Αυτά τα ιόντα επηρεάζουν την οξύτητά του και τον τρόπο με τον οποίο το διάλυμα θα αντιδράσει χημικά. Το pH ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου.

$$pH = -\log_{10}([H^+]) \quad (1.1)$$

Είναι αποτέλεσμα της παρουσίας ανιόντων (αρνητικά φορτισμένα θρεπτικά συστατικά) και κατιόντων (θετικά φορτισμένα θρεπτικά συστατικά). Η κλίμακα pH πηγαίνει από το 0 (όξινο) στο 14 (αλκαλικό) με το pH 7 ως ουδέτερο σημείο. Επιπλέον, μπορεί να είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια εάν το νερό περιέχει λίγα ιόντα. Για παράδειγμα, το pH του καθαρού νερού δεν είναι ένας εύκολα μετρήσιμος προσδιορισμός και εάν αυτό το νερό εκτεθεί στον αέρα, το pH του θα ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα του CO₂ που προσροφάται.

Η πρόσληψη ανιόντων (αρνητικά φορτισμένα θρεπτικά συστατικά) και κατιόντων (θετικά φορτισμένα θρεπτικά συστατικά) από τα φυτά μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στο pH στο σύστημα ανάπτυξης. Εάν απορροφηθούν περισσότερα κατιόντα σε σχέση με τα ανιόντα, το pH θα μειωθεί. Εάν απορροφηθούν περισσότερα ανιόντα από κατιόντα, αυτό οδηγεί σε αύξηση του pH. Δεδομένου ότι το άζωτο (ένα στοιχείο που απαιτείται σε μεγάλες ποσότητες για την υγιή ανάπτυξη των φυτών) μπορεί να παρέχεται είτε ως κατιόν (αμμώνιο - NH₄⁺) είτε ως ανιόν

(νιτρικό - NO₃⁻), η αναλογία αυτών των δύο μορφών αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να έχει σημαντική επίδραση τόσο στον ρυθμό όσο και στην κατεύθυνση των μεταβολών του pH με την πάροδο του χρόνου. Το «ιδανικό pH» ή το «βέλτιστο εύρος pH» για ένα θρεπτικό διάλυμα προέρχεται κυρίως από δεδομένα που λαμβάνονται από έναν συνδυασμό επιδράσεων του pH στη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος ή σε οργανικά μέσα χωρίς έδαφος και ανάλογα με το είδος του φυτού που αναπτύσσεται. Οι περισσότεροι συγγραφείς συμφωνούν ότι το θρεπτικό διάλυμα πρέπει να έχει pH μεταξύ 5 και 7 [17], αφού τότε τα θρεπτικά συστατικά παραμένουν διαλυτά.



Εικόνα 13 Διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων με βάση το pH του εδάφους [18]

Όταν υπάρχει λίγο φως (τις συνεφιασμένες ημέρες ή σε περιβάλλοντα ανάπτυξης εσωτερικού χώρου), τα φυτά απορροφούν περισσότερο κάλιο και φώσφορο από το θρεπτικό διάλυμα, αυξάνοντας την οξύτητα (το pH θα πέσει). Σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού ο ρυθμός διαπνοής είναι επίσης χαμηλότερος, γεγονός που με τη σειρά του μειώνει την πρόσληψη ασβεστίου. Σε συνδυασμό με χαμηλό pH στο υπόστρωμα, μπορεί να εμφανιστούν συμπτώματα ανεπάρκειας ασβεστίου. Όταν υπάρχει άφθονο έντονο φως (τις καθαρές ηλιόλουστες μέρες), τα φυτά θα πάρουν περισσότερο άζωτο από το θρεπτικό διάλυμα. Ως αποτέλεσμα, η οξύτητα μειώνεται (αυξάνεται το pH).

1.10.2 Electrical Conductivity (EC)

Το EC ενός θρεπτικού διαλύματος καθώς και η τιμή του στο καλλιεργητικό μέσο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών. EC σημαίνει ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία είναι η δυνατότητα οποιουδήποτε υλικού να άγει ηλεκτρισμό. Αν και οι περισσότεροι καλλιεργητές συνηθίζουν να μετρούν την ποσότητα της τροφής που δίνουν σε γραμμάρια ανά λίτρο ή κάποια άλλη μονάδα μέτρησης, το EC προχωρά λίγο περισσότερο από αυτό.

Με το EC μετράται η δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του νερού. Τα ηλεκτρόνια μπορούν να ρέουν μέσω του νερού από το ένα σύνολο ηλεκτροδίων στο άλλο όχι λόγω των μορίων του νερού, αλλά λόγω των ιόντων που διαλύονται στο νερό. Αυτά τα ιόντα είναι που μεταφέρουν τα ηλεκτρόνια. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των ιόντων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή των ηλεκτρονίων. Όταν ένα ορυκτό λίπασμα, όπως το νιτρικό κάλιο, διαλύεται στο νερό, διασπάται σε δύο ιόντα. Ένα από αυτά έχει ένα θετικό φορτίο που ονομάζεται κατιόν στην περίπτωση αυτή ιόν καλίου K^+ . Το άλλο έχει αρνητικό φορτίο που ονομάζεται ανιόν, στην περίπτωσή αυτή νιτρικό ιόν NO_3^- . Όπως το νιτρικό κάλιο, έτσι και τα λιπάσματα διαλύονται στο νερό και χωρίζονται σε ανιόντα και κατιόντα. Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση ιόντων, τόσο υψηλότερα είναι τα επίπεδα EC, πράγμα που σημαίνει ότι το EC μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ισχύος υδροπονικού θρεπτικού διαλύματος.

Ως εκ τούτου, οι χαμηλές τιμές EC υποδηλώνουν έλλειψη θρεπτικών ουσιών με τη μορφή ιόντων, ενώ οι πολύ υψηλές τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε καταπόνηση αλατιού στο φυτό [18]. Επομένως, το EC θα πρέπει να διατηρείται εντός ενός συγκεκριμένου εύρους, επειδή επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και την ποιότητα των καλλιεργειών [19]. Επιπλέον, το EC δεν δίνει καμία ένδειξη για την ισορροπία θρεπτικών συστατικών του διαλύματος. Για αυτό το λόγο, έπειτα από κάθε μέτρηση του EC, είναι απαραίτητο να προστεθούν λιπάσματα σε συγκεντρώσεις που μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά. Ο Πίνακας 4 δείχνει τα ιδανικά εύρη EC και pH για ορισμένες δημοφιλείς καλλιέργειες.

Πίνακας 2 Βέλτιστο εύρος τιμών EC και pH για υδροπονικές καλλιέργειες [21]

<i>Crops</i>	<i>EC (mS/cm)</i>	<i>pH</i>
Asparagus	1.4 to 1.8	6.0 to 6.8
African Violet	1.2 to 1.5	6.0 to 7.0
Basil	1.0 to 1.6	5.5 to 6.0
Bean	2.0 to 4.0	6.0
Banana	1.8 to 2.2	5.5 to 6.5
Broccoli	2.8 to 3.5	6.0 to 6.8
Cabbage	2.5 to 3.0	6.5 to 7.0
Celery	1.8 to 2.4	6.5
Carnation	2.0 to 3.5	6.0
Courgettes	1.8 to 2.4	6.0
Cucumber	1.7 to 2.0	5.0 to 5.5
Eggplant	2.5 to 3.5	6.0
Ficus	1.6 to 2.4	5.5 to 6.0
Leek	1.4 to 1.8	6.5 to 7.0
Lettuce	1.2 to 1.8	6.0 to 7.0
Marrow	1.8 to 2.4	6.0
Okra	2.0 to 2.4	6.5
Pak Choi	1.5 to 2.0	7.0
Peppers	0.8 to 1.8	5.5 to 6.0
Parsley	1.8 to 2.2	6.0 to 6.5
Rhubarb	1.6 to 2.0	5.5 to 6.0
Rose	1.5 to 2.5	5.5 to 6.0
Spinach	1.8 to 2.3	6.0 to 7.0
Strawberry	1.8 to 2.2	6.0
Sage	1.0 to 1.6	5.5 to 6.5
Tomato	2.0 to 4.0	6.0 to 6.5

1.10.3 Θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος

Μία ακόμα μεταβλητή που μπορεί να κάνει ουσιαστική διαφορά στις αποδόσεις των καλλιεργειών στην υδροπονία είναι η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος. Η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά ελέγχεται κυρίως από χημικές διεργασίες μέσα στις ρίζες τους και η αποτελεσματικότητα αυτών των διεργασιών καθορίζεται σε σημαντικό μέρος από τη θερμοκρασία στην οποία υπόκεινται οι ρίζες. Δεδομένου ότι τα φυτά δεν διαθέτουν μηχανισμό ενεργούς ρύθμισης της θερμοκρασίας, απλώς αντιδρούν στις αλλαγές της θερμοκρασίας προκειμένου να προσαρμοστούν καλύτερα στο περιβάλλον που τα περιβάλλει.

Η θερμοκρασία του διαλύματος επηρεάζει αρκετές σημαντικές μεταβλητές. Η διαλυτότητα του οξυγόνου αλλάζει ως συνάρτηση της θερμοκρασίας – μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία – έτσι καθώς αυξάνεται τη θερμοκρασία, η διαθεσιμότητα οξυγόνου στις ρίζες των φυτών αρχίζει να μειώνεται. Καθώς αυξάνετε

τη θερμοκρασία, ωστόσο, η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων στις ρίζες των φυτών αυξάνεται, επομένως υπάρχει αύξηση στους ρυθμούς αναπνοής.

Οι αλλαγές θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας ακολουθούν ένα μοτίβο όπου η αγωγιμότητα αυξάνεται κατά δύο έως τρία τοις εκατό με κάθε αύξηση του Κελσίου και μειώνεται με τον ίδιο τρόπο όταν η θερμοκρασία μειώνεται. Η μεταβολή δεν είναι γραμμική, αλλά μεταξύ 0 και 30 βαθμών Κελσίου είναι πολύ κοντά στο να είναι γραμμική και επομένως μπορεί να προσεγγιστεί ως τέτοια. Η εξίσωση με διορθωμένη θερμοκρασία χρησιμοποιεί 25 βαθμούς Κελσίου ως τιμή αναφοράς για τη μέτρηση της τιμής EC. EC_t είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα στη θερμοκρασία t , EC_{25} είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα στους 25 βαθμούς Κελσίου και a είναι ένας συντελεστής αντιστάθμισης που συνιστάται να είναι $a = 0,0191$

Ηλεκτρική αγωγιμότητα με αντιστάθμιση θερμοκρασίας [20]:

$$EC_t = EC_{25}[1 + a(t - 25)] \quad (1.2)$$

2 Υδροπονία και Τεχνολογία

2.1 Internet of Things (IoT)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αντιπροσωπεύει ένα όραμα στο οποίο το διαδίκτυο επεκτείνεται στον πραγματικό κόσμο αφομοιώνοντας καθημερινά πράγματα. Το IoT περιγράφει το δίκτυο φυσικών αντικειμένων — «πράγματα» — που είναι ενσωματωμένα με αισθητήρες, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες με σκοπό τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του Διαδικτύου. Αυτές οι συσκευές μπορούν να είναι από συνηθισμένα οικιακά αντικείμενα έως εξελιγμένα βιομηχανικά εργαλεία.

Ο όρος «Internet of Things» έγινε δημοφιλής από το έργο του Κέντρου Auto-ID στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT), το οποίο το 1999 άρχισε να σχεδιάζει και να διαδίδει μια υποδομή διασύνδεσης των αντικειμένων εντός μίας εταιρίας μέσω ετικέτας RFID. Τα τελευταία χρόνια, το IoT έχει γίνει μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες του 21ου αιώνα. Τώρα που μπορούμε να συνδέσουμε καθημερινά αντικείμενα—συσκευές κουζίνας, αυτοκίνητα, θερμοστάτες, βρεφικές οθόνες—στο διαδίκτυο μέσω ενσωματωμένων συσκευών, είναι δυνατή η απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων, διαδικασιών και πραγμάτων [21].

Με την επανάσταση που ξεκίνησε στην μικροηλεκτρονική και σε συνδυασμό με την σημερινή τεχνολογία που μας προσφέρει χαμηλού κόστους υπολογισμούς, cloud, big data, αναλυτικών στοιχείων και τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας, τα φυσικά πράγματα μπορούν να μοιράζονται και να συλλέγουν δεδομένα με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Παράλληλα, λόγω της συνεχής συρρίκνωσης, την πτώση τιμών και της κατανάλωσης ενέργειας των επεξεργαστών, μονάδων επικοινωνίας και λοιπών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων γίνεται όλο και περισσότερο εφικτό η ενσωμάτωσή τους σε όλο και πιο πολλά καθημερινά αντικείμενα. Σε αυτόν τον υπερσυνδεδεμένο κόσμο, τα ψηφιακά συστήματα μπορούν να καταγράφουν, να παρακολουθούν και να προσαρμόζουν κάθε αλληλεπίδραση μεταξύ συνδεδεμένων πραγμάτων. Ο φυσικός κόσμος συναντά τον ψηφιακό κόσμο — και συνεργάζονται. Κατά αυτόν τρόπο μπορούν να προκύψουν πολλές εφαρμογές που συναντώνται σε

όλες τις πτυχές της καθημερινότητας του ανθρώπου. Παρακάτω αναφέρονται οι πιο διαδεδομένοι και εξελιγμένοι τομείς.

- *Μεταφορές και Logistics (T&L)*

Οι μεταφορές και τα logistics αφορούν ουσιαστικά τη μεταφορά πραγμάτων από το ένα μέρος στο άλλο. Ως εκ τούτου, τα κύρια στοιχεία υπηρεσιών του T&L μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πράγματα που κινούνται και σε πράγματα που κάνουν τη μετακίνηση—την πλευρά της «ζήτησης» και της «προσφοράς» των logistics. Η πλευρά της προσφοράς περιλαμβάνει αποθήκες, όπου αποθηκεύονται και προωθούνται τα εμπορεύματα, ένα δίκτυο μεταφορών (δρόμοι /τούνελ/θάλασσα/αέρα) και τα οχήματα/σκάφη που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αγαθών από τους προμηθευτές στις αποθήκες και, τελικά, τον πελάτη. Η χωρητικότητα, η αποτελεσματικότητα, η διαχείριση, η αξιοπιστία και, φυσικά, το κόστος με το οποίο μπορούν να παρέχουν οι εταιρείες T&L αποτελούν τους βασικούς παράγοντες αξίας από την πλευρά της προσφοράς. Φυσικά, οι κοινές εφαρμογές IoT από την πλευρά της προσφοράς επικεντρώνονται επί του παρόντος στη βελτίωση αυτών των οδηγιών και στη μείωση του κόστους. Μερικά κοινά παραδείγματα περιλαμβάνουν ανίχνευση χωρητικότητας, σχεδιασμό και αναφορά, βελτιστοποίηση δρομολόγησης, διαχείριση ενεργειακής απόδοσης και προληπτική ανίχνευση και επίλυση σφαλμάτων/προβλημάτων.

Η πλευρά της ζήτησης, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει τα προς μεταφορά αγαθά και τους πελάτες που περιμένουν τα αγαθά. Η αξία για τους πελάτες καθορίζεται από το χρόνο, την ασφάλεια, την ιχνηλασιμότητα και την κατάσταση του φορτίου τους. Ομοίως, οι τρέχουσες περιπτώσεις χρήσης IoT επικεντρώνονται στη βελτίωση αυτών των παραγόντων και περιλαμβάνουν την παρακολούθηση περιβάλλοντος, την ανίχνευση και την πρόληψη απειλών και την ιχνηλασιμότητα σε πραγματικό χρόνο μέχρι το επίπεδο πακέτου.

Μέχρι στιγμής, οι εταιρείες T&L έχουν εφαρμόσει τεχνολογίες IoT κυρίως ως εφαρμογές παρακολούθησης και ανίχνευσης, με σκοπό να μειώσουν την πολυπλοκότητα του δικτύου. Για παράδειγμα, η προσθήκη ετικετών στοιχείων GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών σχεδιάζοντας τις τοποθεσίες φορτηγών και παραδόσεων σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιώντας

αναλυτικά στοιχεία για να σχεδιάσετε τη συντομότερη ή την πιο οικονομική διαδρομή μεταξύ τους. Ομοίως, η επισήμανση GPS των εμπορευματοκιβωτίων αποστολής και άλλων αγαθών από την πλευρά της ζήτησης μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση της ροής αυτών των εμπορευμάτων μέσω κόμβων διαμετακόμισης. Μαζί, αυτές οι εφαρμογές επιτρέπουν ταχύτερη κίνηση μέσω του δικτύου με λιγότερες μεταβάσεις. Οι νέες εφαρμογές διατηρούν την εστίαση στα δίκτυα, αλλά στοχεύουν επίσης στην καλύτερη χρήση των πληροφοριών που συλλέγονται για να δημιουργήσουν νέα αξία και ακόμη και νέα έσοδα.

- Υγεία

Η ανάπτυξη του IoT στην αγορά υγειονομικής περίθαλψης είχε σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης στο σύνολό του και ήταν ιδιαίτερα πολύτιμη στην απομακρυσμένη κλινική παρακολούθηση, τη διαχείριση χρόνιων ασθενειών, την προληπτική φροντίδα, την υποβοηθούμενη διαβίωση για ηλικιωμένους και την προσωπική παρακολούθηση της φυσικής κατάστασης. Το IoT άλλαξε το παιχνίδι στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης μειώνοντας το κόστος, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και επαναφέροντας στο προσκήνιο την ποιοτική φροντίδα ασθενών.

Συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο έχουν εισαχθεί στους ασθενείς με διάφορες μορφές. Η ποικιλομορφία των αισθητήρων μπορεί να σχετίζεται με τη φύση των ερεθισμάτων στα οποία ανταποκρίνονται (π.χ. φυσιολογικά ζωτικά σημεία όπως ο καρδιακός παλμός ή η αρτηριακή πίεση και οι κινήσεις του σώματος) και με τη θέση τους στο σώμα (ρούχα, υποδόριο εμφύτευμα, φορητές συσκευές όπως έξυπνο ρολόι και γυαλιά κ.λπ.). Αυτές οι συσκευές έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν τις ανάγκες των ασθενών μεταφέροντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο στα smartphone, τους υπολογιστές ή άλλες ασύρματες συσκευές των ασθενών και έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν τη συμπεριφορά τους. Οι αισθητήρες επιτρέπουν στους ασθενείς να παρακολουθούν μόνοι τους, να παρακολουθούν και να αξιολογούν τις φυσιολογικές παραμέτρους, ενώ παρέχουν επίσης διεπαφές και έναν πίνακα εργαλείων για τους επαγγελματίες υγείας 2 (Εικόνα 1). Πολλά από αυτά τα μέτρα, των οποίων η παρακολούθηση μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας για ορισμένους ασθενείς, απαιτούν συνήθως αλληλεπίδραση παρακολούθησης με έναν

επαγγελματία υγείας. Αυτό ανοίγει ένα παράθυρο ευκαιρίας για εξυπνότερες συσκευές να παρέχουν πιο πολύτιμα δεδομένα και μειώνει την ανάγκη για άμεση αλληλεπίδραση ασθενή-ιατρού. Για παράδειγμα, ορισμένα νοσοκομεία έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν το σύστημα των «έξυπνων κρεβατιών», που μπορεί να συλλάβει πληροφορίες ζωτικής σημασίας για καλύτερη διαχείριση της υγείας, να ανιχνεύσει πότε ένα κρεβάτι είναι κατειλημμένο και να ανιχνεύσει πότε ένας ασθενής προσπαθεί να σηκωθεί για να αποτρέψει τις πτώσεις. Μπορεί επίσης να προσαρμόζεται για να διασφαλίσει ότι παρέχεται κατάλληλη πίεση και υποστήριξη στον ασθενή χωρίς τη φυσική επίδραση των νοσηλευτών.

- Έξυπνες πόλεις

Οι πόλεις είναι πιθανό να δουν περισσότερες αλλαγές τα επόμενα 30 χρόνια από ό,τι τα τελευταία 100. Οι άνθρωποι συνεχίζουν να μεταναστεύουν στις αστικές περιοχές με προσδοκίες άνεσης, καλού επιπέδου διαβίωσης και συμμετοχής σε μια ζωντανή οικονομία. Αυτή η εισροή ασκεί αυξανόμενη πίεση στις υποδομές των πόλεων και έχει κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις που καθιστούν τις πόλεις λιγότερο βιώσιμες. Η διαχείριση της πόλης και του κράτους, οι υποδομές και οι πάροχοι υπηρεσιών αντιμετωπίζουν το πολύπλοκο πρόβλημα της διατήρησης ενός αστικού περιβάλλοντος που ενθαρρύνει τους ανθρώπους και τις επιχειρήσεις να παραμείνουν.

Οι τεχνολογίες έξυπνων πόλεων παρουσιάζουν μια συναρπαστική λύση στα περίπλοκα προβλήματα που δημιουργεί η αστικοποίηση. Η έννοια των έξυπνων πόλεων είναι ελκυστική και εύκολη στην κατανόηση, τη συλλογή, ανάλυση και ανταλλαγή δεδομένων για τη βελτίωση του τρόπου διαχείρισης των περιουσιακών στοιχείων και των πόρων που οδηγεί σε βελτιωμένες δημόσιες υπηρεσίες, αστική διαβίωση και κινητικότητα. Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι κάτωθι εφαρμογές:

Συνδεδεμένες δημόσιες συγκοινωνίες

Η πολωνική πόλη Λούμπλιν τιμήθηκε με τον τίτλο της Έξυπνης Πόλης της Χρονιάς στο πλαίσιο της πληθυσμιακής της κατηγορίας το 2016, κυρίως χάρη στο μεγαλύτερο έργο έξυπνης πόλης της: ένα καινοτόμο σύστημα πληροφοριών επιβατών για συνδεδεμένες δημόσιες συγκοινωνίες [22].

Το σύστημα έφερε επανάσταση στο σύστημα μεταφοράς λεωφορείων της πόλης. Αυτό το έκανε εγκαθιστώντας συσκευές GSM και GPRS σε οχήματα, που μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε ένα λογισμικό κέντρου αποστολής, το οποίο στη συνέχεια μεταδίδει αυτές τις πληροφορίες σε ηλεκτρονικές οθόνες σε στάσεις λεωφορείων και σε διαδικτυακές πύλες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πιο αποτελεσματικές δημόσιες συγκοινωνίες, μείωση του χρόνου αναμονής και ενίσχυση της αξιοπιστίας.

Παρακολούθηση Κυκλοφορίας

Η διαχείριση της ροής της κυκλοφορίας είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τις έξυπνες πόλεις. Χάρη στο IoT, υπάρχουν πολλές πρακτικές λύσεις. Στο Λος Άντζελες, η κυβέρνηση της πόλης έχει εγκαταστήσει ένα τεράστιο δίκτυο ενσωματωμένων αισθητήρων στο πεζοδρόμιο. Αυτοί οι αισθητήρες μεταδίδουν ενημερώσεις κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο σε μια πλατφόρμα διαχείρισης της κυκλοφορίας, η οποία προσαρμόζει το χρονοισμό των σημάτων κυκλοφορίας για τη βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας [23].

Συνδεδεμένα φώτα δρόμου

Τα συνδεδεμένα φώτα δρόμου και οι λύσεις φωτισμού είναι ένας πολύ δημοφιλής τρόπος για την ενίσχυση της παραγωγικότητας μιας έξυπνης πόλης. Τα βασικά οφέλη του έξυπνου φωτισμού περιλαμβάνουν μείωση του κόστους ενέργειας και συντήρησης, αυξημένη δημόσια ασφάλεια, ασφαλέστερη κυκλοφορία και μετρήσιμο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Τα έξυπνα φώτα δρόμου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως φορτιστές EV, οθόνες εκπομπών και σημεία ασύρματης ευρυζωνικής σύνδεσης [24].

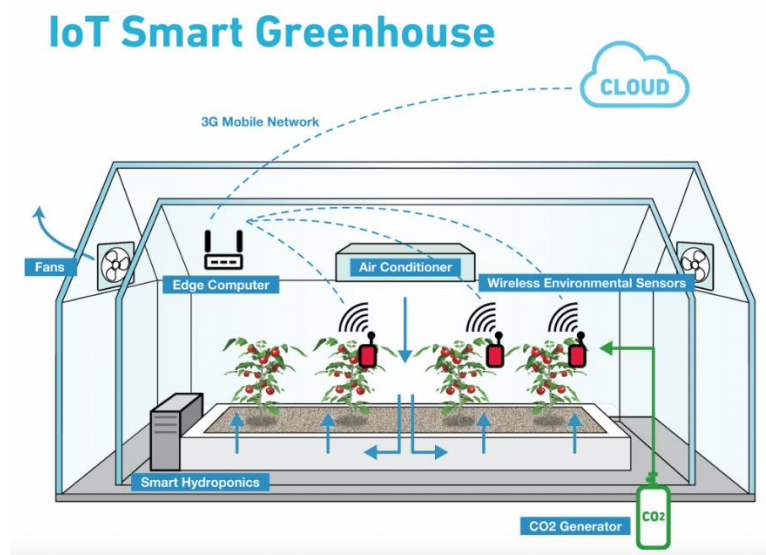
2.2 Agriculture 4.0

Κάθε πτυχή της γεωργίας που μπορεί να αυτοματοποιηθεί, να σχεδιαστεί ψηφιακά και να διαχειριστεί, θα ωφεληθεί από τις τεχνολογίες IoT. Για παράδειγμα αυτοματοποίηση κάποιων επιμέρους συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί μέσω των επενεργητών και αφορά στην άρδευση, στην διαχείριση της ποιότητας του νερού και στην παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Χρησιμοποιώντας το IoT,

το υδροπονικό σύστημα μπορεί να αυτοματοποιηθεί πλήρως. Οι υδροπονικές παράμετροι όπως το pH, η EC, η στάθμη του νερού, η ένταση φωτός, η θερμοκρασία και η υγρασία μπορούν να παρακολουθούνται και ελέγχονται εξ αποστάσεως. Τα δεδομένα που συλλέγονται από πράγματα αποστέλλονται στο Cloud για αποθήκευση. Τα δεδομένα από το Cloud μπορούν να ληφθούν από διάφορες κινητές συσκευές για σκοπούς όπως παρακολούθηση, ανάλυση, ανατροφοδότηση κ.λπ. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μια ιστοσελίδα, μια εφαρμογή iOS ή μια εφαρμογή Android [25].

Η έννοια της βιομηχανίας 4.0 στον τομέα της γεωργίας γεννήθηκε το 2017, όπου έννοιες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Internet of Things (IoT) και τα Big Data (BD) ενσωματώθηκαν σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής τροφίμων για άρδευση ακριβείας, έλεγχο παρασίτων, ταυτοποίηση φυτικών ασθενειών και διαχείριση παραγωγής. Το Agriculture 4.0 ενσωματώνει την εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας και αναφέρεται σε όλες τις ενέργειες που πραγματοποιούνται στη γεωργία βασιζόμενες σε έγκυρη και ακριβή ανάλυση δεδομένων και πληροφοριών που συλλέγονται και μεταδίδονται μέσω προηγμένων εργαλείων και τεχνολογίας. Αυτό αναφέρεται στα εργαλεία και τις στρατηγικές που επιτρέπουν τη συνεργική χρήση μιας σειράς ψηφιακών τεχνολογιών 4.0, επιτρέποντας με τη σειρά της την αυτόματη συλλογή, ενσωμάτωση και ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από το πεδίο, από αισθητήρες ή από άλλες πηγές τρίτων. Τα υδροπονικά συστήματα ταιριάζουν απόλυτα στο πλαίσιο του Agriculture 4.0 και ωφελούνται πολύ από τη συλλογή περισσότερων πληροφοριών, καθώς αυτό δίνει στον καλλιεργητή τη δυνατότητα να διαγνώσει καλύτερα τα προβλήματα και να κατανοήσει καλύτερα την εξέλιξη των υδροπονικών καλλιεργειών του. Η υδροπονία, καθώς οι μεγάλες εταιρείες αυξάνουν τη χρήση καινοτομιών στην κάθετη γεωργία εσωτερικού χώρου, την τεχνητή νοημοσύνη και τη βιολογία φυτών για να αναπτύξουν μια εκτεταμένη σειρά προϊόντων [26]. Με την υποστήριξη προηγμένων τεχνολογιών και άρτιων επιστημονικών γνώσεων που εγγυώνται υψηλή απόδοση, μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι η υδροπονία έχει κατακτήσει κεντρική θέση στα μελλοντικά συστήματα παραγωγής τροφίμων.

Αυτό συμβαίνει διότι, η καλλιέργεια με αυτόν τον υδροπονικό τρόπο χρειάζεται περισσότερο χειρισμό, συντήρηση και παρακολούθηση από τη συμβατική καλλιέργεια με εδαφικά μέσα. Έτσι ο καλλιεργητής πρέπει να δώσει μεγαλύτερη προσοχή στο φυτό. Από αυτά τα προβλήματα, χρειαζόμαστε ένα έξυπνο εργαλείο συστήματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο συντήρησης που λειτουργεί αυτόματα για να καθορίσει την κατάσταση των λύσεων στο πρόβλημα στο σύστημα υδροπονίας. Επιπλέον, αυτό το σύστημα νοημοσύνης μπορεί επίσης να παραμετροποιηθεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του φυτού υδροπονίας.



Εικόνα 14 Έξυπνο θερμοκήπιο

2.3 Αυτοματισμός

Τα σύγχρονα αγροκτήματα και οι γεωργικές εργασίες θα λειτουργούν διαφορετικά, κυρίως λόγω των προόδων της τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων, των συσκευών, των μηχανών και της τεχνολογίας πληροφοριών. Η μελλοντική γεωργία θα χρησιμοποιεί εξελιγμένες τεχνολογίες όπως ρομπότ, αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, αεροφωτογραφίες και τεχνολογία GPS.

Ένας άλλος σημαντικός μετασχηματισμός στη διαδικασία της γεωργικής παραγωγής είναι ο αυξανόμενος ρόλος της αυτοματοποίησης που αυξάνει την παραγωγικότητα μειώνοντας τον φόρτο εργασίας του καλλιεργητή. Οι λειτουργίες θα γίνονται εξ αποστάσεως, οι διαδικασίες θα αυτοματοποιούνται, οι κίνδυνοι θα

εντοπίζονται και ό,τι ζητήματα προκύπτουν θα επιλύονται. Στο μέλλον, οι δεξιότητες ενός καλλιεργητή θα είναι όλο και περισσότερο ένας συνδυασμός δεξιοτήτων τεχνολογίας και βιολογίας παρά αμιγώς γεωργικών.

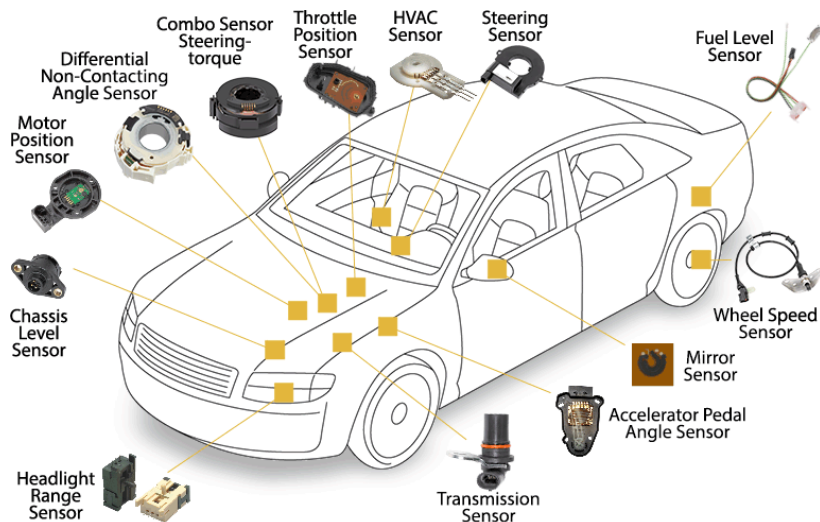
2.4 Αισθητήρες

Ένας βασικός πυλώνας της αυτοματοποίησης έγκειται στην ικανότητα συλλογής περισσότερων δεδομένων και μετρήσεων σχετικά με την παραγωγή: ποιότητα θρεπτικού διαλύματος, επίπεδα άρδευσης και καιρικές συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση διαφόρων αισθητήρων στο υδροπονικό σύστημα.

Ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που ανιχνεύει την αλλαγή στο περιβάλλον και ανταποκρίνεται σε κάποια έξοδο στο άλλο σύστημα. Ένας αισθητήρας μετατρέπει ένα φυσικό φαινόμενο σε μετρήσιμη αναλογική τάση (ή μερικές φορές ψηφιακό σήμα) που μετατρέπεται σε αναγνώσιμη από τον άνθρωπο οθόνη ή μεταδίδεται για ανάγνωση ή περαιτέρω επεξεργασία [27].

Ένας από τους πιο γνωστούς αισθητήρες είναι το μικρόφωνο, το οποίο μετατρέπει την ηχητική ενέργεια σε ηλεκτρικό σήμα που μπορεί να ενισχυθεί, να μεταδοθεί, να εγγραφεί και να αναπαραχθεί. Ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα, η ηλεκτρική του έξοδος μπορεί να είναι τάση, ρεύμα, αντίσταση ή άλλο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό που ποικίλλει με την πάροδο του χρόνου. Ορισμένοι αισθητήρες είναι διαθέσιμοι με ψηφιακές εξόδους, με τις οποίες εξάγουν μια σειρά byte δεδομένων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας για την μέτρηση μίας μεμονωμένης τιμής ή να χρησιμοποιηθούν πολλοί διαφορετικοί μαζί για την λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος όπως συμβαίνει στο αυτοκίνητο και απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.

Η χρήση αισθητήρων σε υδροπονικά συστήματα βοηθά κυρίως στη διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος. Υπάρχουν τέσσερα συστατικά που πρέπει να μετρηθούν στην υδροπονία: η συνολική συγκέντρωση αλατιού, η τιμή του pH, η αλκαλικότητα και η συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών.



Εικόνα 15 Είδη αισθητήρων που βρίσκονται σε ένα αυτοκίνητο

2.4.1 Διακρίβωση

Επειδή όλες οι αποφάσεις που θα ληφθούν εξαρτώνται από τις μετρήσεις, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι όλος ο εξοπλισμός λειτουργεί καλά και κάνει μετρήσεις σύμφωνα με τις εκάστοτε προδιαγραφές του. Σύμφωνα με το Διεθνές Γραφείο Βαρών και Μέτρων η διακρίβωση ή η βαθμονόμηση μιας συσκευής «καταδεικνύει την ποιότητα των μετρήσεων που καταγράφονται με τη χρήση ενός εξοπλισμού. Η διακρίβωση μιας συσκευής, ορίζεται στον χώρο της μετρολογίας, ως η σύγκριση ανάμεσα στην προς μελέτη συσκευή και σε ένα πρότυπο βαθμονόμησης γνωστής ακρίβειας. Τέτοιο πρότυπο μπορεί να είναι μια άλλη συσκευή γνωστής ακρίβειας ή μια συσκευή η οποία παράγει την προς μέτρηση ποσότητα ή τέλος ένα κατασκευασμένο αντικείμενο γνωστής ακρίβειας. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι οποιεσδήποτε αβεβαιότητες μέτρησης εξασφαλίζοντας την ακρίβεια των μετρήσεων. Η διακρίβωση ποσοτικοποιεί τα σφάλματα και ελέγχει τις αβεβαιότητες με στόχο να κυμαίνονται σε αποδεκτό επίπεδο [28].

2.4.2 Τύποι αισθητήρων

Αναλόγως το είδος του παραγόμενου σήματος, οι αισθητήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Αναλογικοί αισθητήρες

Στους αναλογικούς συμπεριλαμβάνονται εκείνοι οι αισθητήρες, οι οποίοι δημιουργούν συνεχές αναλογικό σήμα εξόδου και είναι ανάλογο της μέτρησης. Πιο συγκεκριμένα, οι αισθητήρες που είναι συμβατοί με μικροελεγκτή, κατά την μέτρηση τους, παράγουν στην έξοδό τους αναλογική τάση, η οποία κυμαίνεται από 0 έως 5V. Όταν η τάση είναι από 0 έως 3.5V τότε έχουμε χαμηλό επίπεδο σήματος ή αλλιώς “0”, ενώ όταν η τάση είναι από 3.5 έως 5V τότε το επίπεδο σήματος είναι υψηλό ή αλλιώς “1”.

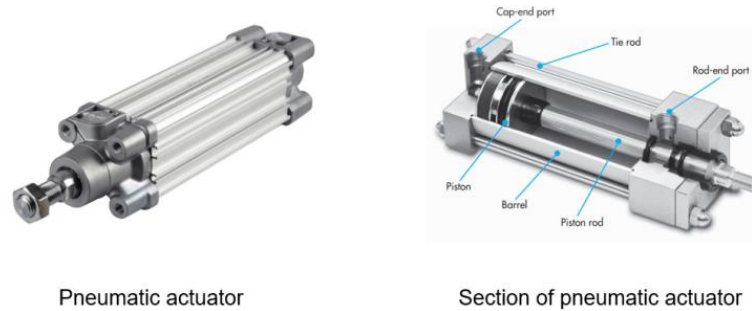
Ψηφιακοί Αισθητήρες

Οι ψηφιακοί αισθητήρες, σε αντίθεση με τους αναλογικούς, παράγουν διακριτές τιμές, 0 ή 1. Οι τιμές αυτές αναφέρονται ως ψηφιακό ή δυαδικό σήμα. Αφού γίνει η μέτρηση από τον αισθητήρα, το σήμα μετατρέπεται κατευθείαν σε ψηφιακό και μεταδίδεται μέσω καλωδίου, ενώ αν χρειάζεται να μεταδοθεί μέσω ενός αναλογικού καναλιού, τότε χρειάζεται διαμόρφωση του σήματος μέσω ενός μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα (ADC). Στις μέρες μας, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο οι ψηφιακοί αισθητήρες έναντι των αναλογικών διότι τα σήματα εξόδου τους διαδίδονται και αναπαράγονται εύκολα ακόμη και αν υπάρχει θόρυβος, ενώ στην περίπτωση του αναλογικού σήματος, θα παραμορφωθεί και θα προκύψει λάθος αποτέλεσμα.

2.5 Επενεργητές

Ένας άλλος τύπος μορφοτροπέα που συναντάται στα συστήματα αυτοματισμού είναι ο επενεργητής, ο οποίος λειτουργεί στην αντίστροφη κατεύθυνση ενός αισθητήρα. Ο επενεργητής είναι το εξάρτημα εκείνο, που είναι υπεύθυνο για τη μετακίνηση και τον έλεγχο ενός μηχανισμού ή συστήματος, για παράδειγμα ανοίγοντας μια βαλβίδα. Με απλά λόγια, είναι «κινούμενος». Αφού λάβει το απαραίτητο σήμα ελέγχου, μετατρέπει την ενέργεια, συχνά ηλεκτρική, αέρα ή υδραυλική, σε μηχανική δύναμη και έτσι επιτρέπει την συσκευή να επιτύχει φυσική κίνηση. Η ποσότητα και η φύση της εισόδου εξαρτώνται από το είδος της ενέργειας που θα μετατραπεί και τη λειτουργία του επενεργητή. Οι ηλεκτρικοί και πιεζοηλεκτρικοί επενεργητές, για παράδειγμα, εργάζονται στην είσοδο ηλεκτρικού ρεύματος ή τάσης, για τους υδραυλικούς επενεργητές, το ασυμπίεστο υγρό τους και

για τους πνευματικούς επενεργητές, η είσοδος είναι αέρας. Η έξοδος είναι πάντα μηχανική ενέργεια.

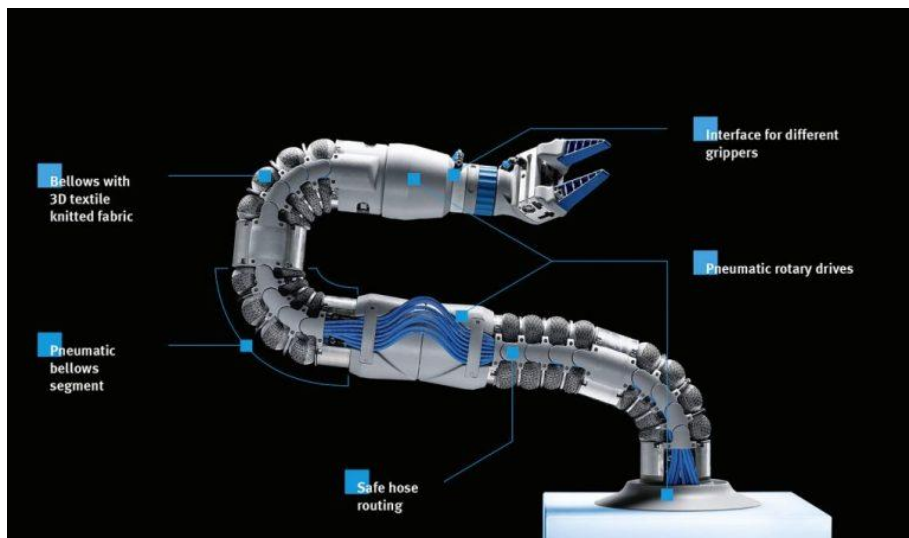


Pneumatic actuator

Section of pneumatic actuator

Εικόνα 16 Πνευματικός επενεργητής

Στην μηχανοτρονική, για παράδειγμα, οι επενεργητές είναι υπεύθυνοι για τη διασφάλιση ότι μια συσκευή όπως ένας ρομποτικός βραχίονας μπορεί να κινείται όταν παρέχεται ηλεκτρική είσοδος.



Εικόνα 17 Επενεργητές σε ρομποτικό βραχίονα

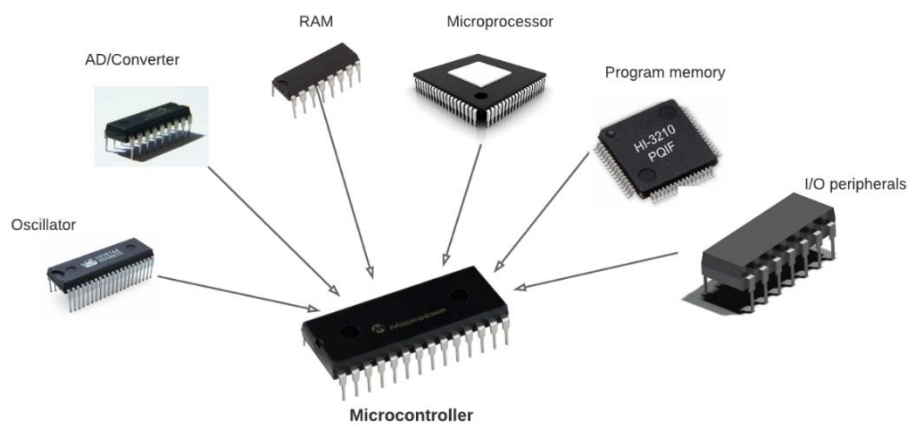
2.6 Microcontrollers (MCU)

Η αυτοματοποίηση των αισθητήρων δεν είναι μόνο η ύπαρξη αισθητήρων που μπορούν να λαμβάνουν μετρήσεις σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, αλλά και η διασφάλιση ότι οι μετρήσεις από αυτούς τους αισθητήρες αποθηκεύονται έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανάλυση και διάγνωση αργότερα. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η χρήση των μικροελεγκτών. Οι μικροελεγκτές αποτελούν τον εγκέφαλο του αυτοματοποιημένου συστήματος. Οι μετρήσεις των αισθητήρων αποτελούν είσοδο για το σύστημα, και αποστέλλονται σήματα ελέγχου στους επενεργητές.

Ένας μικροελεγκτής είναι ένα συμπαγές ολοκληρωμένο κύκλωμα σχεδιασμένο να διέπει μια συγκεκριμένη λειτουργία σε ένα ενσωματωμένο σύστημα. Ένας τυπικός μικροελεγκτής περιλαμβάνει επεξεργαστή, μνήμη και περιφερειακές συσκευές εισόδου/εξόδου (I/O) σε ένα μόνο τσιπ. Μερικές φορές αναφέρεται ως ενσωματωμένος ελεγκτής ή μονάδα μικροελεγκτή (MCU) και βρίσκονται σε οχήματα, ρομπότ, μηχανές γραφείου, ιατρικές συσκευές, μηχανήματα αυτόματης πώλησης και οικιακές συσκευές, μεταξύ άλλων συσκευών. Είναι ουσιαστικά απλοί μικροσκοπικοί προσωπικοί υπολογιστές (PC) που έχουν σχεδιαστεί για να ελέγχουν μικρές δυνατότητες ενός μεγαλύτερου στοιχείου, χωρίς ένα πολύπλοκο λειτουργικό σύστημα (OS). Αυτό το κάνουν ερμηνεύοντας δεδομένα που λαμβάνουν από τα περιφερειακά I/O του χρησιμοποιώντας τον κεντρικό τους επεξεργαστή. Οι προσωρινές πληροφορίες που λαμβάνει ο μικροελεγκτής αποθηκεύονται στη μνήμη δεδομένων του, όπου ο επεξεργαστής έχει πρόσβαση σε αυτές και χρησιμοποιεί οδηγίες που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη του προγράμματος για να αποκρυπτογραφήσει και να εφαρμόσει τα εισερχόμενα δεδομένα.

Οι μικροελεγκτές στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα χρησιμοποιώντας τα περιφερειακά I/O τους και επεξεργάζονται αυτά τα δεδομένα για να εκτελέσουν τις καθορισμένες εργασίες τους. Μπορούν να χρησιμοποιούν δυναμικούς τύπους μνήμης, όπως μνήμη τυχαίας πρόσβασης (RAM) και μη δυναμικούς τύπους μνήμης, οι οποίες είναι: μνήμη flash, διαγραφόμενη προγραμματιζόμενη μνήμη μόνο για ανάγνωση (EPROM) και ηλεκτρικά διαγραφόμενη προγραμματιζόμενη μνήμη μόνο

για ανάγνωση (EEPROM). Γενικά, οι μικροελεγκτές έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα χωρίς πρόσθετα υπολογιστικά εξαρτήματα, επειδή έχουν σχεδιαστεί με επαρκή ενσωματωμένη μνήμη και προσφέρουν ακίδες για γενικές λειτουργίες I/O, ώστε να μπορούν να διασυνδέονται απευθείας με αισθητήρες και άλλα εξαρτήματα. Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα συστημάτων και συσκευών. Οι συσκευές συχνά χρησιμοποιούν πολλαπλούς μικροελεγκτές που συνεργάζονται μέσα στη συσκευή για να χειριστούν τις αντίστοιχες εργασίες τους.



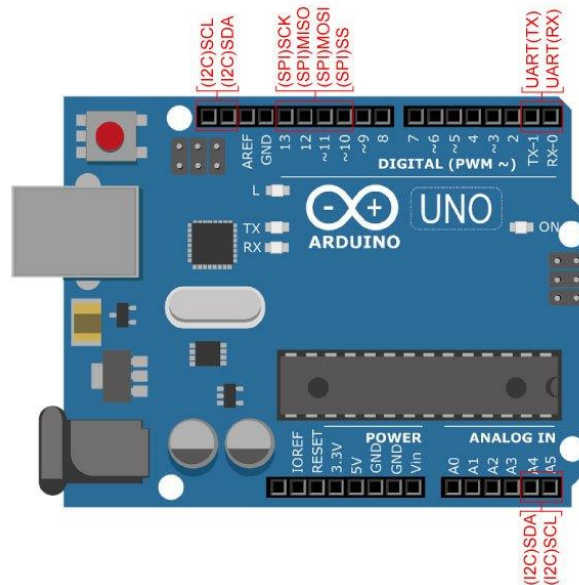
Εικόνα 18 Μικροελεγκτής και αποτελούμενα μέρη

Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε πολλαπλές βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των οικιακών και επιχειρήσεων, αυτοματισμού κτιρίων, κατασκευών, ρομποτικής, αυτοκινητοβιομηχανίας, φωτισμού, έξυπνης ενέργειας, βιομηχανικού αυτοματισμού, επικοινωνιών και εφαρμογών στο Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Στις μέρες μας, ο δημοφιλέστερος μικροελεγκτής και ειδικότερα για εφαρμογές IoT είναι το Arduino.

2.7 Communication Protocols

Μία συσκευή χρειάζεται να επικοινωνήσει είτε για να μεταδώσει πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον είτε για να μοιραστεί τα δεδομένα με κάποια άλλη συσκευή. Υπάρχουν ορισμένοι κανόνες για αυτήν την επικοινωνία και ονομάζονται πρωτόκολλα επικοινωνίας. Υπάρχουν συγκεκριμένα τρία πρωτόκολλα: το UART, το

SPI και το I2C [29]. Μπορεί να είναι διαφορετικά στην εφαρμογή αλλά εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό.



Εικόνα 19 UART, I2C, και SPI pins στο Arduino UNO

2.7.1 UART πρωτόκολλο

Τα αρχικά UART σημαίνουν Universal Asynchronous Reception Transmission. Αυτό το πρωτόκολλο επιτρέπει στο Arduino να επικοινωνεί με άλλες σειριακές συσκευές. Αυτό το πρωτόκολλο αναπτύχθηκε από τον Gordon Bell τη δεκαετία του 1960. Η απλότητα και η ευρεία εφαρμογή του έχει του έχει επιτρέψει να είναι μια δημοφιλής μέθοδος για την επικοινωνία δεδομένων. Ο κύριος σκοπός του είναι η μετάδοση και λήψη σειριακών δεδομένων.

Το UART είναι μια υλοποίηση υλικού που υποστηρίζει αμφίδρομες, ασύγχρονες, σειριακές επικοινωνίες. Απαιτεί δύο γραμμές δεδομένων - μία για μετάδοση και μία για λήψη. Η γραμμή μετάδοσης μιας συσκευής συνδέεται με τη γραμμή λήψης της δεύτερης συσκευής και αντίστροφα για μετάδοση και προς τις δύο κατευθύνσεις. Στα MCU υπάρχει μια γραμμή για μετάδοση δεδομένων (TX) ενώ η άλλη γραμμή είναι για λήψη δεδομένων (RX). Είναι ασύγχρονο επειδή δεν χρησιμοποιείται ρολόι για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών.

Ένα UART μπορεί να συνδεθεί μόνο μεταξύ δύο συσκευών. Μπορεί να λειτουργήσει μεταξύ συσκευών σε: 1) Simplex - μετάδοση δεδομένων προς μία μόνο

κατεύθυνση. 2) Half Duplex - μετάδοση δεδομένων προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, αλλά όχι ταυτόχρονα. ή, 3) Full Duplex - μετάδοση δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα.

Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων UART αναφέρεται ως Ρυθμός BAUD (ο ρυθμός BAUD βασίζεται στον ρυθμό μετάδοσης συμβόλων, αλλά είναι παρόμοιος με τον ρυθμό μετάδοσης bit).



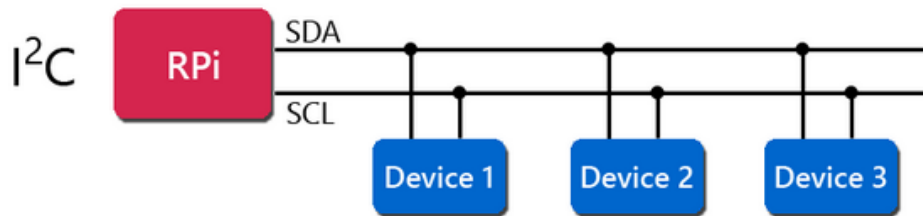
Εικόνα 20 Απεικόνιση επικοινωνίας δύο συσκευών με UART πρωτόκολλο

2.7.2 I²C πρωτόκολλο

Το I²C είναι αμφίδρομη, σύγχρονη, σειριακή διεπαφή επικοινωνίας. Λειτουργεί σε δύο γραμμές σε λειτουργία half-duplex. Αρχικά δημιουργήθηκε από την Philips Semiconductor που αργότερα έγινε NXP Semiconductors. Ένας μόνο κύριος (το MCU) μπορεί να επικοινωνήσει με μία ή περισσότερες εξαρτημένες συσκευές. Κάθε συνδεδεμένη συσκευή επιλέγεται μέσω μιας διεύθυνσης 7 bit (η επιλογή διεύθυνσης 10 ή περισσότερων bit είναι δυνατή, αλλά πιο περίπλοκη). Αρχικά περιοριζόταν στα 100 kbits ανά δευτερόλεπτο, αλλά πλέον υποστηρίζει ταχύτερους ρυθμούς μετάδοσης.

Με τη διευθυνσιοδότηση 7 bit, το I²C μπορεί να υποστηρίξει έως και 127 συσκευές (ή κόμβους). Οι δύο γραμμές ονομάζονται SCL και SDA. Το SCL είναι η γραμμή ρολογιού για το συγχρονισμό της μετάδοσης. Το SDA είναι η γραμμή δεδομένων μέσω της οποίας αποστέλλονται ή λαμβάνονται bits δεδομένων. Κατά τη μετάδοση, το πρώτο byte περιλαμβάνει τη διεύθυνση 7 bit συν ένα bit ανάγνωσης/εγγραφής. Τα επόμενα bits αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά δεδομένα.

Η απόσταση καλωδίωσης I²C θεωρείται σχετικά μικρή, συνήθως από εκατοστά έως λίγα μέτρα. Η απόσταση επηρεάζεται από την ταχύτητα δεδομένων, την ποιότητα του καλωδίου και τον εξωτερικό θόρυβο.



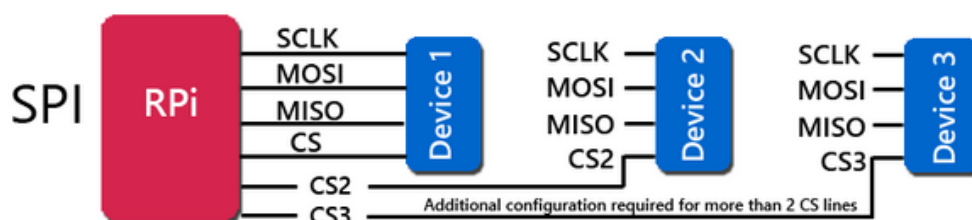
Εικόνα 21 Απεικόνιση επικοινωνίας τεσσάρων συσκευών με I²C πρωτόκολλο

2.7.3 SPI πρωτόκολλο

Το SPI είναι μια αμφίδρομη, σύγχρονη, σειριακή διεπαφή επικοινωνίας - όπως το I²C. Επίσης, όπως το I²C, χρησιμοποιείται για σχετικά μικρές αποστάσεις. Σε αντίθεση με το I²C, ωστόσο, το SPI λειτουργεί σε full duplex, που σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορούν να αποστέλλονται και να λαμβάνονται ταυτόχρονα. Επιπλέον, μπορεί να λειτουργεί με ταχύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, με ταχύτητες άνω των 8 Mbps.

Το SPI μπορεί να επικοινωνήσει με πολλές συσκευές με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι επιλέγοντας κάθε συσκευή με μια γραμμή Chip Select. Απαιτείται ξεχωριστή γραμμή Chip Select για κάθε συσκευή. Ο δεύτερος είναι μέσω της σύνδεσης αλυσίδας όπου κάθε συσκευή συνδέεται με την άλλη μέσω των δεδομένων της προς τα δεδομένα στη σειρά της επόμενης, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Δεν υπάρχει καθορισμένο όριο στον αριθμό των συσκευών SPI που μπορούν να συνδεθούν. Ωστόσο, υπάρχουν πρακτικά όρια λόγω περιορισμών ως προς τον αριθμό των γραμμών επιλογής υλικού που είναι διαθέσιμες στην κύρια μέθοδο στην πρώτη μέθοδο ή λόγω της πολυπλοκότητας της μετάδοσης δεδομένων μέσω συσκευών στη δεύτερη μέθοδο σύνδεσης αλυσίδας.



Εικόνα 22 Απεικόνιση επικοινωνίας τεσσάρων συσκευών με SPI πρωτόκολλο

2.8 Αντίστοιχες Υδροπονικές Διατάξεις

Στην ενότητα αυτή θα μελετηθούν διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί και αφορούν στην χρήση σύγχρονων συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και αυτοματισμού στην υδροπονική καλλιέργεια. Γνωρίζοντας ό,τι έχει αναλυθεί στο θεωρητικό μέρος παραπάνω, θα δοθεί έμφαση στα μετρούμενα μεγέθη και τις τεχνικές παρακολούθησης και αυτοματισμού που έχουν εφαρμοστεί στο προς μελέτη σύστημά μας, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την δική μας ανάλυση που θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Μελετώντας όλη την βιβλιογραφία, η οποία παρατίθεται στο τέλος της παρούσας διπλωματικής, παρατηρείται ότι οι βασικοί παράγοντες ευημερίας ενός υδροπονικού συστήματος είναι η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα, η προσλαμβανόμενη από τα φυτά φωτεινότητα, και το pH και το EC του θρεπτικού διαλύματος. Οι εξεταζόμενες έρευνες, όπως θα δούμε παρακάτω, παρακολουθούν ασύγχρονα ή σύγχρονα μέρος ή το σύνολο των παραπάνω μεταβλητών και σε ορισμένες περιπτώσεις επεμβαίνουν ώστε να τις ρυθμίσουν στα βέλτιστα επίπεδα.

Αρχικά το 2017 δημιουργήθηκε ένα πρωτότυπο σύστημα NFT με δυνατότητα μέτρησης της ισχύς του θρεπτικού διαλύματος με δυνατότητα ρύθμισής του [30]. Χρησιμοποιήθηκε μία πλακέτα Arduino Uno, εξοπλισμένη με έναν αισθητήρα απόστασης (Sharp GP2Y0A21) για την μέτρηση της στάθμης του νερού, ένα αισθητήρα σωματιδίων (TDS) και σερβοκινητήρες τύπου MG996R για την συμπλήρωση νερού ή θρεπτικών ουσιών. Αρχικά διαβάζεται η τιμή του βοηθητικού αισθητήρα απόστασης για να καταλάβει το σύστημα ότι ο αισθητήρας σωματιδίων είναι βυθισμένος στο νερό, άρα και οι τιμές του έγκυρες. Αν η μετρούμενη τιμή βρίσκεται εκτός των προκαθορισμένων ορίων, τότε ο ελεγκτής δίνει εντολή στον αντίστοιχο σερβοκινητήρα ώστε να συμπληρωθεί το θρεπτικό διάλυμα με νερό ή θρεπτικές ουσίες και ο έλεγχος επαναλαμβάνεται. Το μειονέκτημα που παρατηρείται εδώ είναι ότι δεν υπάρχει καμία γνώση του pH του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο είναι εξίσου σημαντική μεταβλητή και υπεύθυνη για την σωστή ανάπτυξη των φυτών.

Το 2021 μία ομάδα φοιτητών δημιούργησε ένα αυτόματο σύστημα, κατάλληλο για κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα, το οποίο παρακολουθεί και ρυθμίζει το pH και το EC του θρεπτικού διαλύματος. Υπάρχουν αισθητήρες για την συνεχή μέτρηση του pH και του EC, και αντλίες συνδεδεμένες με δεξαμενές, οξέος και βάσεως για την ρύθμιση του pH, και θρεπτικού διαλύματος και νερού για την ρύθμιση του EC. Για την αξιολόγηση του συστήματος παραπάνω, δημιουργήθηκαν παράλληλα δύο γραμμές υδροπονικής καλλιέργειας μαρουλιού στις οποίες παρακολουθούνταν οι βασικές μεταβλητές του θρεπτικού διαλύματος. Η πρώτη γραμμή ήταν κλειστού βρόχου και πλήρως ελεγχόμενη, δηλαδή χρησιμοποιούσε ελεγκτή για την ρύθμιση της ποιότητας του θρεπτικού διαλύματος μέσω αντλιών, ενώ στη δεύτερη γραμμή γινόταν χειροκίνητη ρύθμιση από ανθρώπινο χέρι όποτε χρειαζόταν. Στο τέλος έγινε φυσιολογική ανάλυση, συγκρίνοντας χρώμα και διάμετρο φύλλων, ύψος και διάμετρος φυτού και συνολικό βάρος. Το αποτέλεσμα ήταν συντριπτικά υπέρ της αυτόματης υδροπονίας, αφού τα μαρούλια που αναπτύχθηκαν εκεί ήταν πιο υγιή και μεγαλύτερα σε σχέση με τα μαρούλια της μη αυτόματης γραμμής [31].

Σε μία μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2017, αναπτύχθηκε ένα IoT σύστημα παρακολούθησης της ροής του θρεπτικού διαλύματος και της θερμοκρασίας των φυτών [32]. Σκοπός ήταν η στάθμη του νερού να έχει το σωστό ύψος για να μην παρατηρούνται φαινόμενα πλημμύρας των ριζών ή έλλειψης θρεπτικού διαλύματος και παράλληλα γινόταν παρακολούθηση της θερμοκρασίας του φυτού. Χρησιμοποιήθηκε πλακέτα Arduino, η οποία εξοπλίστηκε με τον αισθητήρα υπερήχων HC-SR04 για την μέτρηση της στάθμης του θρεπτικού διαλύματος, τον αισθητήρα LM35 για την μέτρηση θερμοκρασίας στα φυτά, τον περιφερειακό esp8266 για την σύνδεση της πλακέτας με το ίντερνετ μέσω Wi-Fi, οθόνη LCD για την εμφάνιση τιμών και αντλία για την παροχή θρεπτικού διαλύματος. Το σύστημα αυτό μετράει συνεχώς την στάθμη του νερού και την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι τιμές αυτές εμφανίζονται στην LCD οθόνη αλλά επίσης μεταδίδονται μέσω ίντερνετ στο κινητό μέσω κατάλληλης εφαρμογής για Android. Αν η στάθμη του διαλύματος πέσει κάτω από ένα όριο, ενεργοποιείται η αντλία ώστε να συμπληρωθεί με νέο έτοιμο διάλυμα το οποίο είναι αποθηκευμένο σε δεξαμενή πλησίον του υδροπονικού

συστήματος. Μηνύματα ενεργοποίησης της αντλίας στέλνονται επίσης στην οθόνη LCD και στην Android εφαρμογή. Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε εξ αποστάσεως γνώση για την υγεία του συστήματος και τις μετρούμενες τιμές, αλλά δεν γνωρίζουμε τίποτα για την ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2021, οι ερευνητές ανέπτυξαν ένα σύστημα υδροπονίας με λειτουργία παρακολούθησης αρκετών μεταβλητών για τις επικρατούσες συνθήκες χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Blynk σε ένα Android κινητό μέσω του IoT. Χρησιμοποιήθηκε μία πλακέτα Raspberry Pi-3, εξοπλισμένη με έναν αισθητήρα DHT11 για την μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα, αισθητήρα pH, αισθητήρα στάθμης διαλύματος και οθόνης LCD [33]. Κύριος στόχος ήταν η κατασκευή ενός φτηνού υδροπονικού συστήματος και την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση, το οποίο επικοινωνεί με ένα δίκτυο αισθητήρων και μεταδίδει τις τιμές εξ αποστάσεως στον χρήστη μέσω του IoT. Ο χρήστης με αυτόν τον τρόπο έχει εικόνα για την υγεία της καλλιέργειας ανά πάσα στιγμή, αλλά πρέπει να επέμβει ο ίδιος φυσικά για να ρυθμίσει το διάλυμα.

Το 2019 μία ομάδα σχεδίασε ένα υδροπονικό σύστημα με πλακέτα NodeMCU ως εγκέφαλο της διάταξης. Με τον αισθητήρα TDS παρακολουθεί συνεχώς την διαλυτότητα του θρεπτικού διαλύματος και είναι ικανό να την ρυθμίσει μόνο του με τη χρήση αντλιών, όπως συμβαίνει και στις προηγούμενες έρευνες. Χρησιμοποιεί επίσης έναν αισθητήρα υπερήχων για την μέτρηση της στάθμης του διαλύματος, και έχοντας δημιουργήσει σύνδεση μέσω Wi-Fi και στέλνει συνεχώς όλα τα δεδομένα στην IoT πλατφόρμα Blynk. Μία επιπλέον λειτουργία που υπάρχει λόγω του IoT είναι η εξ αποστάσεως λειτουργία των αντλιών από τον χρήστη [34].

Παρόμοιας φιλοσοφίας και δυνατοτήτων είναι το υδροπονικό σύστημα παρακολούθησης και αυτοματισμού που αναπτύχθηκε το 2020 [35]. Και εδώ μετράται συνεχώς και ρυθμίζεται η διαλυτότητα του θρεπτικού διαλύματος, και παρακολουθείται η στάθμη του νερού και μπορούμε να τα βλέπουμε ταυτόχρονα και να ελέγχουμε εξ αποστάσεως μέσω της πλατφόρμας Blynk. Η παραπάνω λειτουργία που συναντάται εδώ είναι η παρακολούθηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα από τον αισθητήρα DHT11.

Τέλος, το 2018 δημιουργήθηκε ένα ολοκληρωμένο IoT σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης υδροπονικής καλλιέργειας. Σε αυτή την περίπτωση, παρακολουθείται και ρυθμίζεται το pH του θρεπτικού διαλύματος, ενώ παράλληλα έχουμε γνώση για την στάθμη του νερού, και την υγρασία και την θερμοκρασία του αέρα. Χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα Raspberry Pi 3, η οποία είναι υπεύθυνη για την ρύθμιση του pH και στέλνει όλα τα δεδομένα για διαδικτυακή αποθήκευση στο Google Firebase. Παράλληλα, αναπτύχθηκε μία εφαρμογή συμβατή για υπολογιστές και κινητά, όπου εμφανίζονται όλες οι μετρούμενες μεταβλητές και είναι διαθέσιμος ο εξ αποστάσεως έλεγχος των επενεργητών [36].

2.9 Προτεινόμενη λύση

Γενικά, σε όλα τα παραπάνω υδροπονικά συστήματα που κατασκευάστηκαν συναντώνται πολλές ομοιότητες υπό άλλες οπτικές. Βλέπουμε ότι όλες οι έρευνες είναι πολύ πρόσφατες και στην πλειονότητά τους έχουν ενσωματώσει την IoT λειτουργία. Επίσης παρατηρείται ότι, κατά κύριο λόγο πέρα από παρακολούθηση μεταβλητών επιλέγεται τουλάχιστον μία μεταβλητή η οποία ρυθμίζεται από τον μικροελεγκτή μέσω επενεργητών. Το βασικό μειονέκτημα που εντοπίζεται σε όλες τις παραπάνω έρευνες είναι ότι καμία από αυτές δεν διαχειρίζεται ταυτόχρονα και τις δύο βασικές μεταβλητές του θρεπτικού διαλύματος, το pH και το EC.

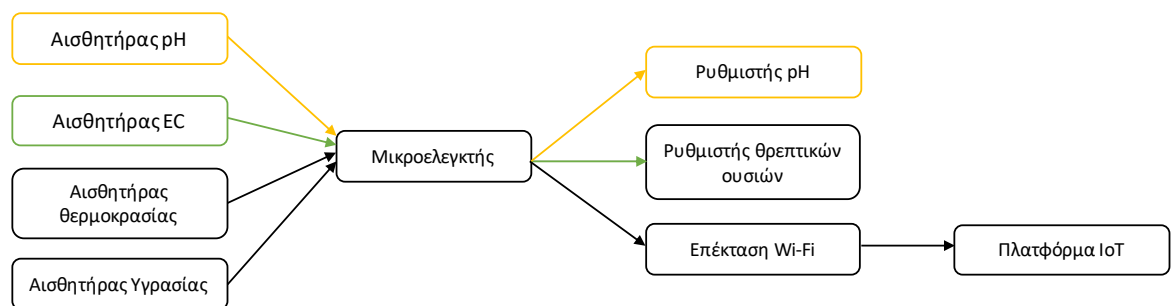
Έπειτα από εκτενή μελέτη των διαφόρων υπαρχόντων συστημάτων καταλήξαμε στην δημιουργία ενός IoT συστήματος που θα είναι ικανό να διαχειρίζεται αυτόνομα το pH και το EC του διαλύματος και θα παρακολουθεί τις μεταβλητές του αέρα. Έτσι, θα προσφέρεται στον χρήστη άμεση και συνεχή εικόνα της κατάστασης της υδροπονικής του καλλιέργειας και θα έχει την δυνατότητα να χειρίζεται εξ αποστάσεως αντλίες για την ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος. Όλες αυτές οι λειτουργίες δεν θα είναι εις βάρος του κόστους, που είναι πρωταρχικός στόχος η διατήρησή του σε χαμηλά επίπεδα. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκαν φτηνά υλικά για την κατασκευή καθώς και λειτουργίες όπως θέρμανση ή ψύξη και τεχνητός φωτισμός αποφεύχθηκαν ώστε και η συνολική κατανάλωση ρεύματος να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα.

3 Υλοποίηση

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται όλη η πορεία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση του ολοκληρωμένου συστήματος. Μετά από εκτενή μελέτη των διαφόρων συστημάτων υδροπονίας κρίθηκε απαραίτητη προϋπόθεση να είναι κλειστού τύπου. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να γίνεται συνεχής και απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος στο επανακυκλοφορούν θρεπτικό διάλυμα. Πρωταρχικός στόχος ήταν η χρήση ευρέως διαδεδομένων υλικών, που μπορούν να βρεθούν στο εμπόριο μαζί με ανακυκλώσιμα υλικά, ώστε να κρατηθεί το κόστος κατασκευής σε όσο πιο χαμηλά επίπεδα γίνεται. Τελικώς, κατέληξα στην επιλογή ενός τύπου NFT αφού πληρούσε τις παραπάνω προϋποθέσεις αλλά και λόγω της ευκολίας του στην κατασκευή και την συντήρηση. Αντίστοιχα, επιλέχθηκε βασιλικός για καλλιέργεια λόγω της ευρείας διάδοσης ως φυτού για υδροπονία και ευκολίας στην καλλιέργειά του στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

3.1 Hardware

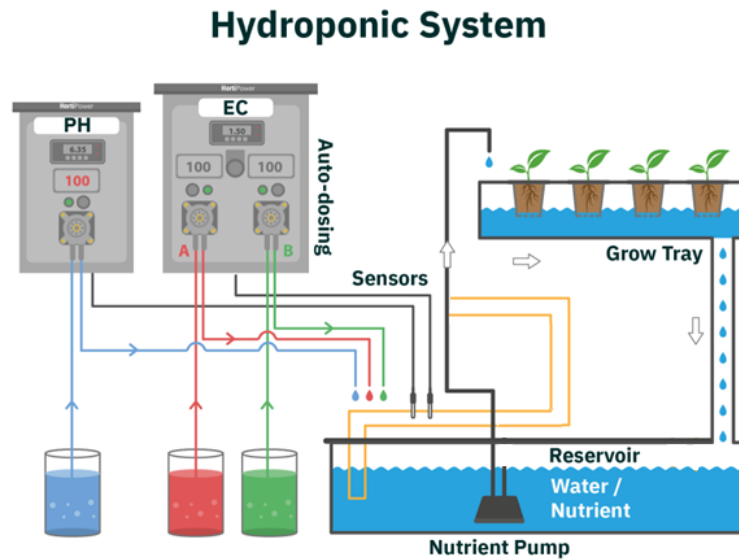
Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια σχηματική απεικόνιση των διαφορετικών στοιχείων υλικού που χρησιμοποιούνται στο σύστημα. Τα βέλη στο σχήμα υποδεικνύουν τη ροή πληροφοριών μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων υλικού. Το σύστημα αποτελούνταν από τέσσερα διαφορετικά είδη εξαρτημάτων: τους αισθητήρες, έναν μικροελεγκτή, τους επενεργητές και περιφερειακά.



Εικόνα 23 Σχηματικό της δομής του hardware

3.1.1 Πλαίσιο και δομή

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλυθεί η επιλογή των υλικών και η κατασκευή των δομικών μερών της γραμμής υδροπονίας. Το μοντέλο πάνω στο οποίο στηρίχθηκε η κατασκευή παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 24 Δομή πρότυπου υδροπονικού μοντέλου

Στη βάση του υδροπονικού συστήματος υπάρχει ένα δοχείο, το οποίο περιέχει το νερό μαζί με τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για το φυτό που πρόκειται να αναπτυχθεί. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε ένα δοχείο χωρητικότητας 15 λίτρων στο οποίο έγινε εγκάρσια αφαίρεση του άνω μέρους για λόγους προσιτότητας και άνεσης κατασκευής. Στο άνω μέρος του συστήματος βρίσκεται η γραμμή υδροπονίας για την οποία χρησιμοποιήθηκε πλαστικός σωλήνας τύπου PVC, μήκους ενός μέτρου, διατομής 75 χιλιοστών και στον οποίο τοποθετήθηκαν πώματα και στις δύο άκρες του. Στο επάνω μέρος ανοίχτηκαν οπές κατάλληλου μεγέθους ανά 15 εκατοστά, ώστε να στερεωθούν διάτρητα γλαστράκια, τα οποία περιείχαν τον βασιλικό μαζί με βότσαλα αργίλου. Για την τροφοδότηση της γραμμής υδροπονίας από την δεξαμενή χρησιμοποιήθηκε εύκαμπτος πλαστικός σωλήνας εσωτερικής διατομής 7 χιλιοστών, στον οποίο τοποθετήθηκε διακλάδωση ακριβώς πριν καταλήξει στον πλαστικό σωλήνα. Η κύρια ροή τροφοδοτούσε την γραμμή υδροπονίας με θρεπτικό διάλυμα ενώ η δευτερεύουσα ροή τροφοδοτούσε έναν δειγματολήπτη με διάλυμα και τελικώς κατέληγε στην δεξαμενή μέσω υπερχειλίσης.

Στον δειγματολήπτη ήταν τοποθετημένοι αισθητήρες για την μέτρηση της ποιότητας του διαλύματος και για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε δοχείο νερού 1,5 λίτρου έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία. Στην άλλη άκρη της γραμμής υδροπονίας ανοίχτηκε οπή και συνδέθηκε πλαστικός σωλήνας εσωτερικής διατομής 12 χιλιοστών, αισθητά μεγαλύτερης από την διατομή του σωλήνας παροχής, που κατέληγε πίσω στην δεξαμενή διαλύματος. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίστηκε ότι το διάλυμα επανακυκλοφορεί και ότι θα διατηρείται το διάλυμα θρέψης των ριζών του βασιλικού στο ύψος της οπής, ένα μόλις εκατοστό πάνω από το κάτω μέρος των γλαστρών. Επιπρόσθετα, έγινε μία οπή στην αρχή της γραμμής υδροπονίας και πάνω από την στάθμη του θρεπτικού διαλύματος ώστε να εισάγεται αέρας στην γραμμή υδροπονίας. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίστηκε ότι οι ρίζες των βασιλικών θα βρέχονται από τον θρεπτικό μίγμα αλλά ένα μέρος τους θα είναι στεγνό και θα λαμβάνει οξυγόνο από τον αέρα. Για τις ανάγκες στήριξης της όλης κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν ξύλα από παλέτες και καρφιά. Στο ξύλινο πλαίσιο κατασκευάστηκαν θέσεις έδρασης δοχείων, τα οποία περιείχαν οξύ, θρεπτικό τύπου Α και θρεπτικό τύπου Β. Για τα δοχεία χρησιμοποιήθηκαν μπουκάλια νερού 0,5 λίτρου. Πάνω από κάθε μπουκάλι και επί της ξύλινης κατασκευής, κατασκευάστηκαν κατάλληλες υποδοχές όπου τοποθετήθηκαν αντλίες, υπεύθυνες για την κατά περίπτωση συμπλήρωση του θρεπτικού διαλύματος της δεξαμενής. Όλη η πίσω μεριά του πλαισίου ήταν καλυμμένη με κάλυμμα δερματίνης ώστε να προστατευτούν οι καλωδιώσεις και τα δοχεία από την ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης αντίστοιχη προστασία τοποθετήθηκε στο πάνω μέρος της δεξαμενής, ώστε να προστατευτεί το διάλυμα από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και μόλυνση με σκουπίδια και σκόνη που μεταφέρονται στον αέρα. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η τελική κατασκευή.



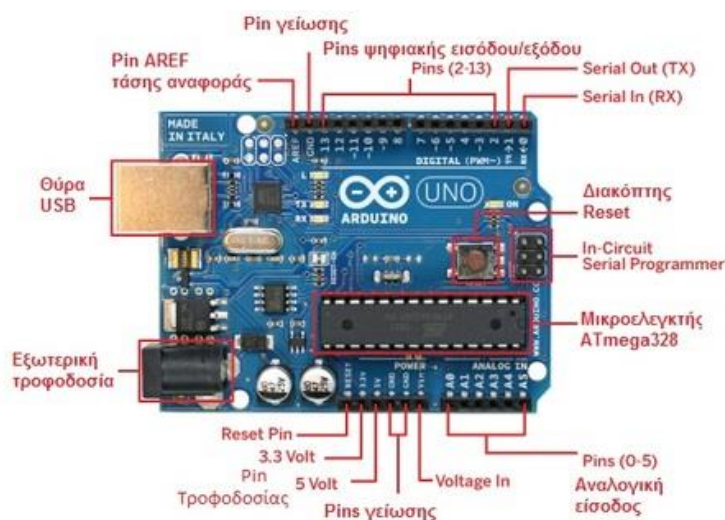
Εικόνα 25 Δομή υδροπονικού μοντέλου που αναπτύχθηκε

3.1.2 Arduino Uno R3

Ως πλακέτα ανάπτυξης με μικροελεγκτή, επιλέχθηκε το Arduino Uno R3, το οποίο αποτελούσε μέρος του συστήματος ανάλυσης ποιότητας νερού [37]. Ο υδροπονικός ελεγκτής δεν ξεπερνά κατά πολύ σε υπολογιστικές απαιτήσεις σε σχέση με το προηγούμενο σύστημα και όπως διαπιστώθηκε ήταν συμβατός πλήρως με τους δύο αισθητήρες μέτρησης pH και EC, οι οποίοι επίσης χρησιμοποιήθηκαν. Στην περίπτωση αγοράς πλακέτας ανάπτυξης, πάλι το Arduino Uno R3 θα ήταν η πρώτη επιλογή λόγω του χαμηλού κόστους της τάξης των 20 €.

Ένας άλλος βασικός λόγος επιλογής του συγκεκριμένου MCU είναι η υποστήριξη όλων των ειδών πρωτόκολλων επικοινωνίας και των πολλών αναλογικών και ψηφιακών pins, καθιστώντας το συμβατό με μία τεράστια γκάμα hardware. Συγκεκριμένα, διαθέτει έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB και να επικοινωνεί σειριακά. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται μεταφορά των προγραμμάτων από τον υπολογιστή προς το Arduino και υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία κατά την εκτέλεσή τους. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, το Arduino διαθέτει 14 θηλυκά pins, τα οποία λειτουργούν ως ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι. Λειτουργούν με τάση 5V και έχουν δύο καταστάσεις που τίθενται από το πρόγραμμα (HIGH ή LOW). Αντίστροφα, αν ρυθμιστεί ως είσοδος κάποιο ψηφιακό pin, τότε το Arduino μπορεί να διαβάσει την κατάσταση της συσκευής (π.χ.

διακόπτης). Πέρα από τα ψηφιακά pins, το Arduino διαθέτει και μία σειρά από 6 pins τα οποία λειτουργούν ως αναλογικές εισοδοί κάνοντας χρήση του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC) που έχει ενσωματωμένο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να διαβάσει όλο το εύρος της εισερχόμενης τάσης από 0 έως 5V και να το μετατρέψει σε ένα αριθμό 10 bit.



Εικόνα 26 Κύρια μέρη Arduino UNO

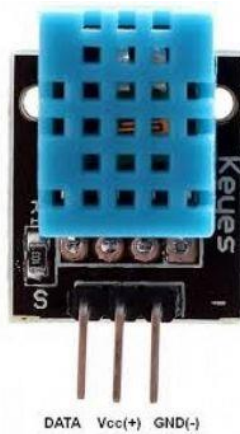
Επίσης, καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή του Arduino Uno είναι ότι πρόκειται για την πιο πολύ χρησιμοποιημένη πλακέτα στην κοινότητα με τεράστιο εύρος εφαρμογών και διαθέτει εκτενή βιβλιογραφία. Το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί πολλές βιβλιοθήκες και παραδείγματα από την ίδια την εταιρία και την κοινότητα, βοηθάει πολύ στην επίλυση προβλημάτων με μία απλή αναζήτηση στο διαδίκτυο.

3.1.3 Αισθητήρες

3.1.3.1 DHT11

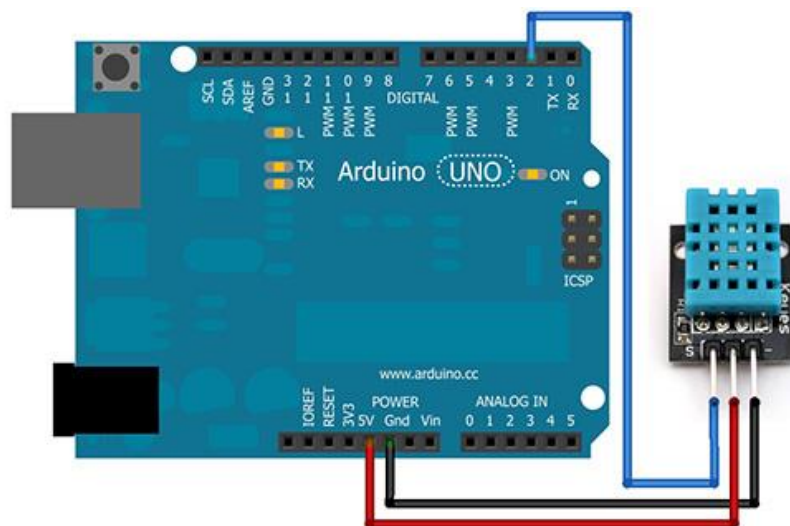
Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, και χρησιμοποιώντας μία βαθμονομημένη έξοδο ψηφιακού σήματος, διασφαλίζει μεγάλη αξιοπιστία και μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Αποτελείται από ένα εξάρτημα μέτρησης υγρασίας τύπου αντίστασης και ένα στοιχείο τύπου NTC για την μέτρηση της θερμοκρασίας, που συνδέεται με μικροελεγκτή 8 bit. Η τροφοδοσία του κυμαίνεται 3 έως 5,5 V DC και η επικοινωνία του με τον μικροελεγκτή γίνεται μέσω 1

wire bus, προσφέροντας γρήγορη απόκριση, ικανότητα κατά των παρεμβολών, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και οικονομική απόδοση. Διακρίβωση γίνεται άπαξ στην κατασκευή του αισθητήρα στο εργαστήριο και οι συντελεστές της διακρίβωσης αποθηκεύονται στην μνήμη του DHT11.



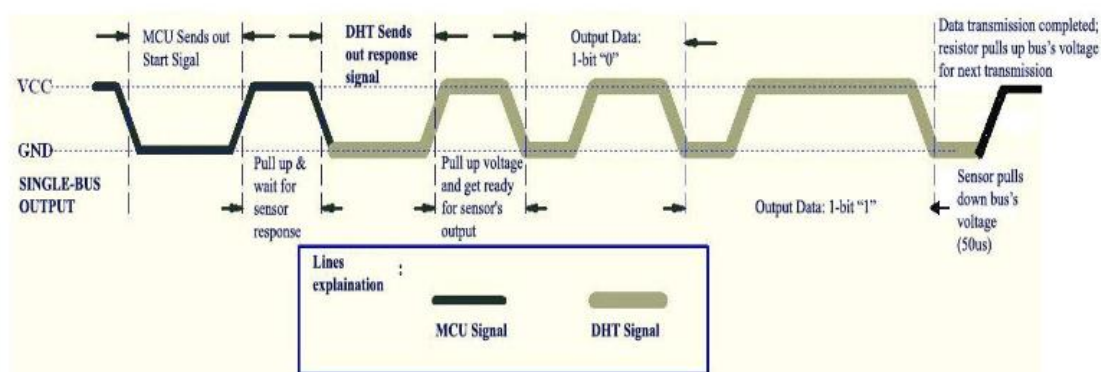
Εικόνα 27 Αισθητήρας DHT11

Στο παρακάτω σχήμα παρατίθεται η σύνδεση του αισθητήρα με το Arduino. Το μαύρο καλώδιο συνδέει την γειώσεις των δύο εξαρτημάτων και το κόκκινο καλώδιο τροφοδοτεί τον αισθητήρα. Συνδέεται στο pin των 5V DC, το οποίο είναι εντός ορίων όπως είδαμε παραπάνω. Το μπλε καλώδιο συνδέει την αριστερή ακίδα του αισθητήρα με ένα οποιοδήποτε από τα ψηφιακά pins του Arduino και έχει διπλή λειτουργία: χρησιμοποιείται για επικοινωνία αλλά και για συγχρονισμό μεταξύ των δύο εξαρτημάτων.



Εικόνα 28 Συνδεσμολογία αισθητήρα DHT11 με το Arduino

Αρχικά το Arduino στέλνει ένα σήμα έναρξης, και τότε το DHT11 αλλάζει από την λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης σε κανονική λειτουργία, περιμένοντας να ολοκληρωθεί το σήμα έναρξης από το Arduino. Μόλις ολοκληρωθεί, το DHT11 στέλνει ένα σήμα απόκρισης δεδομένων 40 bit στο Arduino, που περιλαμβάνουν την σχετική υγρασία και την θερμοκρασία. Οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν να διαβάσουν ορισμένα δεδομένα. Χωρίς το σήμα έναρξης από το Arduino, το DHT11 δεν θα στείλει σήμα απόκρισης. Μόλις συλλεχθούν τα δεδομένα από το Arduino, το DHT11 θα μπει πάλι σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης έως ότου λάβει ξανά σήμα εκκίνησης από το Arduino. Η όλη διαδικασία επικοινωνίας διαρκεί 4 ms και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 29 Συνολική διαδικασία επικοινωνίας Arduino - DHT11

3.1.3.2 Αισθητήρας pH

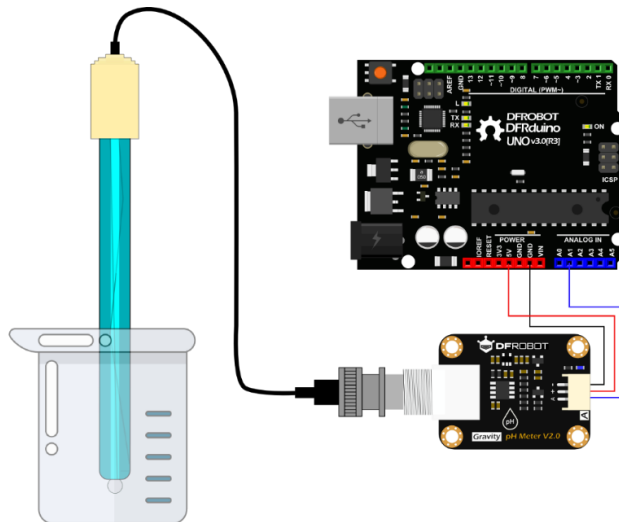
Ο αισθητήρας pH που χρησιμοποιήθηκε ήταν μέρος του συστήματος μέτρησης ποιότητας νερού [37] και κάλυπτε πλήρως τις απαιτήσεις του υδροπονικού συστήματος. Πρόκειται για τον Gravity: analog pH Sensor/Meter Kit V2 (SEN0161-v2), κατασκευάζεται από την εταιρία DFRobot και έχει σχεδιαστεί να μετράει το pH ενός διαλύματος και να αντικατοπτρίζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητά του χρησιμοποιώντας ένα γυάλινο ηλεκτρόδιο.

Η συσκευασία περιέχει τον αισθητήρα pH, μία πλακέτα μετατροπής σήματος, τα απαραίτητα καλώδια για τις συνδέσεις και φιαλίδια με πρότυπα υγρά για βαθμονόμηση, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 30 Αισθητήρας pH (SEN0161-v2)

Η πλακέτα μετασχηματισμού σήματος δέχεται από 3.3 έως 5.5V και τα μετατρέπει στην έξοδό του σε τάση 0 έως 3V, η οποία είναι η τάση εισόδου του αισθητήρα. Επίσης, μετατρέπει το σήμα από ψηφιακό σε αναλογικό και παράλληλα βοηθά στη μείωση του θορύβου του σήματος, και προστατεύει τον αισθητήρα από εναλλαγές τάσης. Ο αισθητήρας pH συνδέεται με την πλακέτα μετατροπής σήματος με ομοαξονικό καλώδιο (BCN) και στη συνέχεια η πλακέτα συνδέεται με το Arduino με τρία καλώδια. Ένα για την τροφοδοσία (κόκκινο καλώδιο – 5V), ένα για την γείωση μεταξύ τους (μαύρο καλώδιο) και ένα για την μεταφορά δεδομένων (μπλε καλώδιο – αναλογική ακίδα Arduino). Ο αισθητήρας είναι αδιάβροχος, όμως η υποδοχή BNC και η πλακέτα πρέπει να διατηρούνται καθαρές και στεγνές, ειδικά μπορεί να επηρεαστεί η αντίσταση εισόδου και να έχουμε ως αποτέλεσμα λανθασμένες ενδείξεις. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στο άκρο του αισθητήρα όπου βρίσκεται η γυάλινη μεμβράνη, διότι οποιαδήποτε ζημιά μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις ή να καταστρέψει το γυάλινο ηλεκτρόδιο.



Εικόνα 31 Συνδεσμολογία αισθητήρα SEN0161-v2 με το Arduino

Πριν από κάθε μέτρηση ενός διαλύματος πρέπει να ξεπλένεται ο αισθητήρας με απιονισμένο νερό και να απομακρύνονται όλες οι σταγόνες νερού, που έχουν παραμείνει, με χαρτί. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η μόλυνση μεταξύ των δειγμάτων και μειώνονται οι πιθανότητες λανθασμένης τιμής pH του μετρούμενου διαλύματος. Αντίστοιχα, όταν ολοκληρωθεί η μέτρηση ακολουθείται η ίδια διαδικασία καθαρισμού του αισθητήρα και τοποθετούμε καπάκι με ουδέτερο διάλυμα για την προστασία της γυάλινης μεμβράνης. Ο αισθητήρας έχει εύρος μέτρησης pH από 0 έως 14 με ακρίβεια ± 0.1 στους 25°C. Λειτουργεί σε θερμοκρασία από 5 έως 60°C και ο χρόνος απόκρισης είναι κάτω από 2 λεπτά, μέχρι να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις και να στέλνει σωστό αποτέλεσμα. Επειδή πρόκειται για αισθητήρα εργαστηριακής χρήσης, το όριο ζωής του είναι περίπου μισός χρόνος και συνιστάται η λήψη μεμονωμένων μετρήσεων και όχι η συνεχόμενη χρήση ώστε να μην μειωθεί περαιτέρω το όριο ζωής. Όπως αναλύθηκε και στην θεωρία, το pH εξαρτάται από την θερμοκρασία του μετρούμενου δείγματος. Ο αισθητήρας έχει την δυνατότητα να μετράει την τιμή του pH συνυπολογίζοντας την εκάστοτε θερμοκρασία του διαλύματος. Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η μέτρηση της θερμοκρασίας αυτής, δηλώνεται ως σταθερά στον κώδικα και οι μετρήσεις που θα λαμβάνουμε θα είναι ανεξάρτητες της πραγματικής θερμοκρασίας.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, για να διασφαλιστεί η ακρίβεια μιας μέτρησης, ο αισθητήρας διακρίβώνεται πριν από την πρώτη χρήση και έπειτα σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανάλογα με την χρήση του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται βαθμονόμηση δύο σημείων, με την χρήση των δύο πρότυπων διαλυμάτων που περιέχονται στην συσκευασία, με τιμές pH 4.0 και 7.0 και με τη χρήση βιβλιοθήκης της κατασκευάστριας εταιρίας. Η ακριβής διαδικασία βαθμονόμησης και αποθήκευσης των συντελεστών που ακολουθήθηκε περιγράφεται στον ιστότοπο της κατασκευάστριας εταιρίας [38].

3.1.3.3 Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας

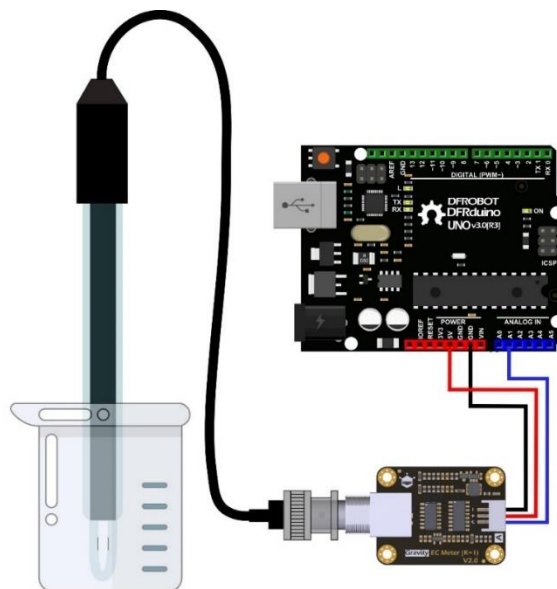
Όπως και με τον αισθητήρα pH, ο αισθητήρας για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) ήταν μέρος του συστήματος μέτρησης ποιότητας νερού που αναπτύχθηκε [37] και κάλυπτε πλήρως τις απαιτήσεις του υδροπονικού συστήματος. Ο αισθητήρας αυτός είναι ο Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor/Meter for Arduino (DFR0300), κατασκευάζεται από την εταιρία DFRobot και πρόκειται για έναν αισθητήρα δύο ηλεκτροδίων με σταθερά κυττάρου 1.0.

Η συσκευασία περιέχει τον αισθητήρα pH, μία πλακέτα μετατροπής σήματος, τα απαραίτητα καλώδια για τις συνδέσεις και φιαλίδια με πρότυπα υγρά για βαθμονόμηση, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 32 Αισθητήρας EC (DFR0300)

Ο ρόλος της πλακέτας είναι ίδιος με την αντίστοιχη του αισθητήρα pH, δηλαδή να φιλτράρει το σήμα από τον θόρυβο και να το μετατρέπει από αναλογικό σε ψηφιακό. Η σύνδεση γίνεται κατά σειρά Arduino, πλακέτα μετασχηματισμού σήματος και αισθητήρας και είναι αντίστοιχες οι συνδέσεις των καλωδίων όπως και με τον αισθητήρα pH. Πιο συγκεκριμένα, ο αισθητήρας συνδέεται με την πλακέτα με ομοαξονικό καλώδιο (BNC) και με τη σειρά της η πλακέτα με το Arduino με τρία καλώδια. Το κόκκινο καλώδιο αφορά στην τροφοδοσία της πλακέτας και είναι ίση με 5V, το μαύρο γειώνει την πλακέτα στο Arduino και το μπλε καλώδιο είναι για την μεταφορά του σήματος και συνδέεται σε ένα μία από τις αναλογικές ακίδες του Arduino. Στην περίπτωση αυτή, στο άκρο του αισθητήρα υπάρχουν δύο ηλεκτρόδια αντιδιαμετρικά τοποθετημένα, τα οποία είναι πολύ ευαίσθητα και οποιαδήποτε φθορά τους επηρεάζει τις μετρήσεις και μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του αισθητήρα.



Εικόνα 33 Συνδεσμολογία αισθητήρα DFR0300 με το Arduino

Όπως και στον αισθητήρα pH, πριν από κάθε μέτρηση ενός διαλύματος πρέπει να ξεπλένεται ο αισθητήρας με απιονισμένο νερό και να απομακρύνονται με χαρτί όλες οι σταγόνες νερού που έχουν παραμείνει. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η μόλυνση των μεταξύ δειγμάτων και μειώνεται η πιθανότητα λανθασμένης τιμής EC του μετρούμενου διαλύματος. Αντίστοιχα, όταν ολοκληρωθεί η μέτρηση ακολουθείται η ίδια διαδικασία καθαρισμού του αισθητήρα και τοποθετούμε το

προστατευτικό πώμα, στεγνό από οποιοδήποτε υγρό για την προστασία των ηλεκτροδίων. Ο αισθητήρας έχει εύρος μέτρησης pH από 0 έως 20 ms/cm με ακρίβεια $\pm 5\%$ στους 25°C. Λειτουργεί σε θερμοκρασία από 0 έως 40°C και ο χρόνος απόκρισης είναι κάτω από 2 λεπτά, μέχρι να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις και να στέλνει σωστό αποτέλεσμα. Επειδή πρόκειται για αισθητήρα εργαστηριακής χρήσης, το όριο ζωής του είναι περίπου μισός χρόνος και συνιστάται η λήψη μεμονωμένων μετρήσεων και όχι η συνεχόμενη χρήση ώστε να μην μειωθεί περαιτέρω το όριο ζωής. Όπως ισχύει και με το pH, το EC εξαρτάται από την θερμοκρασία του μετρούμενου δείγματος. Ο αισθητήρας έχει την δυνατότητα να μετράει την τιμή του EC συνυπολογίζοντας την εκάστοτε θερμοκρασία του διαλύματος. Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η μέτρηση της θερμοκρασίας αυτής, δηλώνεται ως σταθερά στον κώδικα και οι μετρήσεις που θα λαμβάνουμε θα είναι ανεξάρτητες της πραγματικής θερμοκρασίας.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, για να διασφαλιστεί η ακρίβεια μιας μέτρησης, ο αισθητήρας πρέπει να διακριβώνεται πριν από την πρώτη χρήση και έπειτα σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανάλογα την χρήση του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται βαθμονόμηση δύο σημείων, με την χρήση των δύο πρότυπων διαλυμάτων που περιέχονται στην συσκευασία, με τιμές 1413 $\mu\text{s}/\text{cm}$ και 12.88ms/cm. Η ακριβής διαδικασία βαθμονόμησης και αποθήκευσης των συντελεστών είναι πανομοιότυπη με την αντίστοιχη του αισθητήρα pH και περιγράφεται στον ιστότοπο της κατασκευάστριας εταιρίας [39].

3.1.4 Επενεργητές

3.1.4.1 Αντλία νερού

Πρόκειται για μία υποβρύχια αντλία τύπου brushless, η οποία τροφοδοτείται με 12V DC και έχει την ικανότητα να αντλεί 4 λίτρα ανά λεπτό. Βυθίστηκε εντός της δεξαμενής και ήταν υπεύθυνη για την συνεχή τροφοδοσία της γραμμής υδροπονίας και του δειγματολήπτη με θρεπτικό διάλυμα. Επιλέχθηκε λόγω της υψηλής αξιοπιστίας της, του χαμηλού κόστους και της ικανοποιητικής ταχύτητας ροής που έχει. Λόγω της συνεχόμενης λειτουργίας της αντλίας και της μη ύπαρξης παύσεων λειτουργίας κατά την διάρκεια όλου του πειράματος, δεν απαιτήθηκε κάποιας

μορφής έλεγχος της τάσης και για αυτό τον λόγο συνδέθηκε απευθείας στην εξωτερική πηγή.



Εικόνα 34 Αντλία νερού (AD20P-1230A)

3.1.4. Περισταλτικές αντλίες

Δίπλα από την δεξαμενή του θρεπτικού διαλύματος βρίσκονται τρία δοχεία που περιέχουν κατά σειρά οξύ, θρεπτικό διάλυμα τύπου A και θρεπτικό διάλυμα τύπου B για την ρύθμιση του pH και του EC αντίστοιχα. Επειδή όσο το φυτό θρέφεται, το διάλυμα τείνει να γίνει πιο βασικό, επιλέχθηκε μόνο οξύ για την ρύθμιση του pH προς τα κάτω. Τρεις αντλίες χρησιμοποιούνται συνολικά για την δοσολογία των ουσιών στην δεξαμενή νερού, ώστε να μεταφέρουν την απαιτούμενη δοσολογία από το δοχείο στην κύρια δεξαμενή όταν αυτό ζητηθεί. Η εκάστοτε περισταλτική αντλία ενεργοποιείται μέσω ενός τρανζίστορ, στην περίπτωση που ζητηθεί από τον χρήστη χειροκίνητα με την βοήθεια της IoT πλατφόρμας είτε σταλεί κατάλληλο σήμα ελέγχου από το σύστημα ελέγχου. Στην πρώτη περίπτωση, ο χρήστης ενεργεί αυθαίρετα και ενεργοποιεί όποια αντλία θέλει για όσο χρόνο θέλει. Στην δεύτερη περίπτωση, το σύστημα ελέγχου ελέγχει περιοδικά την ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος ως προς το pH και το EC. Όταν οι μετρήσεις από τους αντίστοιχους αισθητήρες δώσουν τιμές κάτω των προκαθορισμένων ορίων, θα δοθεί εντολή από τον μικροελεγκτή να προστεθεί μία δόση από την κατάλληλη αντλία. Μετά από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα που το θρεπτικό διάλυμα θα ομογενοποιηθεί θα γίνουν πάλι μετρήσεις της ποιότητας του θρεπτικού διαλύματος και αναλόγως θα σταλεί το κατάλληλο σήμα ελέγχου. Επιλέχθηκαν περισταλτικές αντλίες επειδή χρησιμοποιούνται ευρέως ως αντλίες δοσολογίας, είναι χαμηλού κόστους και απαιτούν ίδια τάση με την κύρια αντλία, 12V DC, για αυτό συνδέονται και αυτές με εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Για να μπορέσει να στείλει σήμα ελέγχου το Arduino, από την στιγμή που δεν είναι ικανό

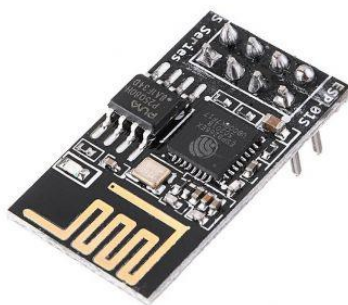
να τροφοδοτήσει τις περισταλτικές αντλίες (μέγιστη τάση εξόδου από Arduino τα 5 V), χρησιμοποιήθηκαν τρανζίστορες, τα οποία λειτουργούσαν ως διακόπτες. Σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ο ρυθμός ροής της αντλίας ήταν ίσος με 90 mL/min ή 1,5mL/s, οπότε μπορούμε να ελέγξουμε έμμεσα την ποσότητα που θα στείλει η περισταλτική αντλία ανάλογα με το χρονικό διάστημα που θα την έχουμε ενεργοποιημένη.



Εικόνα 35 Περισταλτική αντλία (NKP-DC-S10G)

3.1.5 Περιφερειακά

3.1.5.1 Πρόσθετο Wi-Fi ESP8266-01



Εικόνα 36 ESP8266-01

Για τις ανάγκες υλοποίησης του IoT απαιτείται η αποστολή δεδομένων από τον μικροελεγκτή στο διαδίκτυο. Επιλέχθηκε η σύνδεση να γίνει μέσω Wi-Fi ώστε να είναι πιο ευέλικτο το υδροπονικό σύστημα και να μπορούμε να το τοποθετήσουμε όπου εμείς θέλουμε, κάτι το οποίο δεν θα ίσχυε στην περίπτωση ενσύρματης σύνδεσης. Το εξάρτημα που επιλέχθηκε ήταν το ESP8266-01 λόγω του χαμηλού κόστους και των

μικρών διαστάσεων. Πρόκειται για ένα αυτόνομο SOC με ενσωματωμένο πρωτόκολλο TCP/IP, που του επιτρέπει να φιλοξενήσει από μόνο του μία εφαρμογή είτε να μεταδίδει δεδομένα μέσω Wi-Fi, τα οποία στέλνει άλλος μικροελεγκτής. Στην πρώτη περίπτωση, εκκινείται απευθείας από την μνήμη flash. Διαθέτει επίσης ενσωματωμένη κρυφή μνήμη για την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Εναλλακτικά, όταν χρησιμοποιείται ως προσαρμογέας Wi-Fi, η ασύρματη σύνδεση του μικροελεγκτή του μικροελεγκτή στο διαδίκτυο επιτυγχάνεται με απλή επικοινωνία μεταξύ τους (διεπαφή SPI/SDIO ή I2C/UART).

Πίνακας 3 Τεχνικά χαρακτηριστικά ESP8266-01

Παράμετρος	Τιμή
Wi-Fi Protocols	802.11 b/g/n
Operating temperature range	40°C ~ 125°C
Power Supply	+3.3V DC
Current Consumption	100mA
Flash Memory	512kB
Size	14.3mm*24.8mm*3mm
Wake up and transmit packets	< 2ms

3.1.5.2 Πηγή τροφοδοσίας 12V

Όπως είδαμε και παραπάνω, το κάθε εξάρτημα λειτουργεί με συγκεκριμένη τάση. Το Arduino έχει δυνατότητα τροφοδοσίας 3.3V και 5V, καθιστώντας το ικανό να τροφοδοτήσει όλους τους αισθητήρες και το παρελκόμενο του Wi-Fi, όχι όμως τους επενεργητές. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η εξωτερική πηγή τροφοδοσίας SN-12D500, η οποία συνδέεται σε οποιαδήποτε πρίζα με τάση από 100 έως 240V AC και στην έξοδο της παρέχει τάση 12V DC ρεύματος 5A προστατεύοντας παράλληλα από υπέρταση και υπερφόρτωση. Πέρα από την τροφοδοσία όλων των αντλιών χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία του ίδιου του Arduino.



Εικόνα 37 Πηγή τροφοδοσίας 12V (SN-12D500)

3.2 Λογισμικό

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλυθούν οι απαιτήσεις σε λογισμικό για την ανάπτυξη του IoT συστήματος παρακολούθησης NFT υδροπονίας. Η πλακέτα προγραμματίστηκε ώστε να λαμβάνει μετρήσεις από διάφορους αισθητήρες, να τις επεξεργάζεται και να τις στέλνει μέσω Wi-Fi στην πλατφόρμα Blynk. Από εκεί, ο χρήστης μπορεί να έχει εικόνα των συνθηκών σε πραγματικό χρόνο, είτε να δει τα δεδομένα σε διαγράμματα για όλο το χρονικό διάστημα που λειτουργούσε η γραμμή υδροπονίας. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Arduino IDE, έτοιμες βιβλιοθήκες και η πλατφόρμα Blynk.

3.2.1 Arduino IDE

Το Arduino IDE είναι γραμμένο σε Java και χρησιμοποιεί φιλική προς το χρήστη γλώσσα προγραμματισμού, η οποία βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Wiring, μία παραλλαγή της C/C++. Αυτή η γλώσσα χρησιμοποιεί τις ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις όπως και στην C και παρέχει συγκεκριμένες βιβλιοθήκες, που χρησιμοποιούνται μόνο σε αυτό το περιβάλλον. Είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού που επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάζει διαφορετικά είδη προγραμμάτων και να τα φορτώνει στον μικροελεγκτή Arduino. Πρόκειται για ένα πρακτικό περιβάλλον, όπου γίνεται συγγραφή των προγραμμάτων ή αλλιώς sketches. Διαθέτει compiler για την μεταγλώττιση του sketch και έναν ενσωματωμένο αναλυτή κώδικα που θα ελέγχει τον κώδικα που έχει γράψει ο χρήστης πριν τον στείλει στο

Arduino. Μετά τη δοκιμή του προγράμματος, μπορεί αυτό να μεταφορτωθεί στο Arduino με καλώδιο USB. Έχοντας τον υπολογιστή συνδεδεμένο με USB μπορούμε μέσω του serial monitor να παρακολουθήσουμε όλες τις σειριακές επικοινωνίες του Arduino με τις συσκευές που έχει συνδεθεί, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το debugging των sketches. Τέλος, είναι σημαντικό ότι είναι μια ανοιχτή πλατφόρμα, δηλαδή δεν απαιτείται η αγορά άδειας, αποφεύγοντας ένα σημαντικό κόστος.

3.2.2 Βιβλιοθήκες

Το περιβάλλον του Arduino μπορεί να επεκταθεί μέσω της χρήσης βιβλιοθηκών, όπως και οι περισσότερες πλατφόρμες προγραμματισμού. Οι βιβλιοθήκες παρέχουν επιπλέον λειτουργικότητα για χρήση σε sketch, π.χ. επικοινωνία με κάποιο hardware ή χειρισμός δεδομένων. Οι ακόλουθες βιβλιοθήκες χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα:

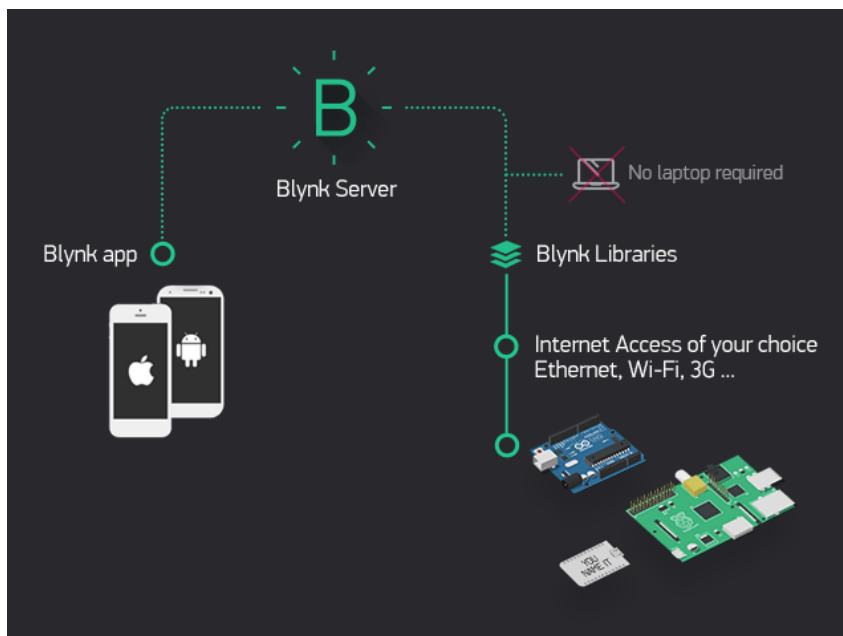
- SoftwareSerial.h
- DHT.h
- EEPROM.h
- OneWire.h
- DFRobot_PH.h
- DFRobot_EC.h
- ESP8266_Lib.h
- BlynkSimpleShieldEsp8266.h

3.2.3 Blynk

Το Blynk είναι μια πλήρης σουίτα λογισμικού που επιτρέπει τη δημιουργία πρωτοτύπων, την ανάπτυξη και την απομακρυσμένη διαχείριση συνδεδεμένων ηλεκτρονικών συσκευών σε οποιαδήποτε κλίμακα: από προσωπικά πρότζεκτ IoT έως εμπορικά προϊόντα. Με το Blynk οποιοσδήποτε μπορεί να συνδέσει το hardware του στο cloud και να δημιουργήσει εφαρμογές iOS, Android και web χωρίς κώδικα για να αναλύει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και χρονοσειρές δεδομένων που προέρχονται από συσκευές, να τα ελέγχει εξ αποστάσεως από οπουδήποτε στον κόσμο, να λαμβάνει σημαντικές ειδοποιήσεις και να αυτοματοποιεί εξ αποστάσεως. Οι εφαρμογές που γίνονται με το Blynk είναι έτοιμες για τους τελικούς χρήστες. Το

μόνο που αρκεί, είναι ο χρήστης να κατεβάσει την εφαρμογή, να συνδέσει τη συσκευή και να αρχίσει να τη χρησιμοποιεί.

Προτού χρησιμοποιηθεί από τους τελικούς χρήστες πρέπει η πλατφόρμα να διαμορφωθεί κατάλληλα από έναν ειδικό χρήστη, ο οποίος έχει πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες του Blynk. Αυτός είναι ο προγραμματιστής και είναι συνήθως κάποιος που κατασκευάζει το υλικό, αναπτύσσει το υλικολογισμικό και κάνει όλες τις διαμορφώσεις της συσκευής. Επίσης, είναι αυτός που θα διαμορφώσει προφίλ χρηστών, καθορίζοντας ποια δεδομένα μπορεί να δει ο καθένας και με τι δικαιώματα.



Εικόνα 38 Ροή δεδομένων μεταξύ MCU - Blynk app

Οι βασικές δυνατότητες του Blynk είναι οι κάτωθι:

- Με το Blynk μπορούμε να στείλουμε ακατέργαστα ή επεξεργασμένα δεδομένα από οποιονδήποτε αισθητήρα ή επενεργητή που είναι συνδεδεμένος στην πλακέτα MCU. Όταν στέλνονται δεδομένα στο Blynk, μεταδίδονται μέσω μιας ροής δεδομένων χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Blynk. Στη συνέχεια, κάθε τιμή αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων Blynk.Cloud. Το Datastream είναι ένα κανάλι που καθοδηγεί το Blynk σχετικά με το ποιος τύπος δεδομένων ρέει μέσα από αυτό. Ανάλογα με το σχέδιο που θα επιλεγεί, τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν ως έχουν (ακατέργαστα δεδομένα) ή να υπολογιστούν σε μέσο όρο ενός λεπτού. Ο μέσος όρος σημαίνει ότι αν στείλαμε 60 τιμές ανά λεπτό, το Blynk θα αποθηκεύσει

μόνο μία τιμή. Όμως, υπάρχει και η δυνατότητα να δούμε τα δεδομένα να ρέουν σε πραγματικό χρόνο.

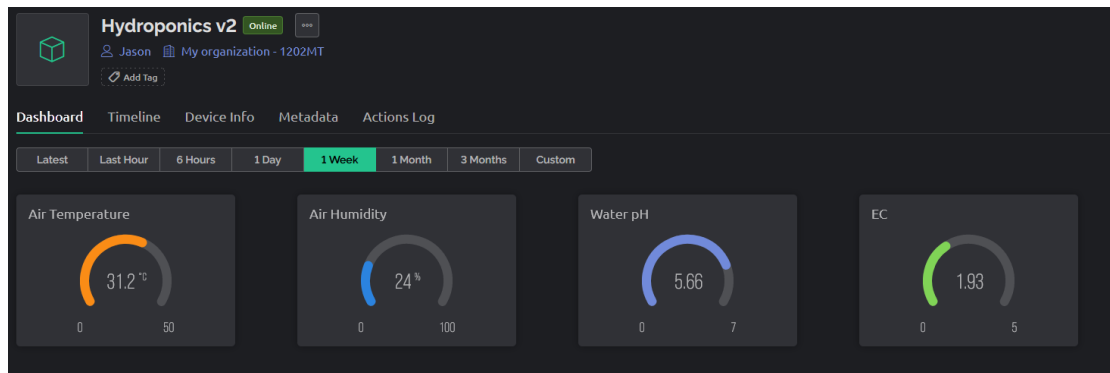
- Τα εικονικά pins (virtual pins) είναι μια λειτουργία του Blynk που έχει σχεδιαστεί για την ανταλλαγή οποιωνδήποτε δεδομένων μεταξύ του υλικού και του Blynk. Μας προσφέρει την δυνατότητα, οτιδήποτε hardware συνδέουμε στο MCU να μπορεί να επικοινωνήσει με το Blynk. Με τα Virtual Pins μπορούμε να στείλουμε κάτι από την εφαρμογή, να το επεξεργαστούμε στον μικροελεγκτή και, στη συνέχεια, να το στείλουμε πίσω στο smartphone. Μπορούμε να ενεργοποιήσουμε λειτουργίες, να διαβάσουμε συσκευές I2C, να μετατρέψουμε τιμές, να ελέγξουμε σερβοκινητήρες και κινητήρες συνεχούς ρεύματος κ.λπ.

- Αφού οριστούν, οι ροές δεδομένων χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε εφαρμογές για κινητά και πίνακες εργαλείων ιστού τα widgets για την οπτικοποίηση των δεδομένων στα γραφικά στοιχεία. Ο κύριος σκοπός του Blynk είναι να διευκολύνει τον έλεγχο και την παρακολούθηση των συσκευών από εφαρμογές web και κινητών.

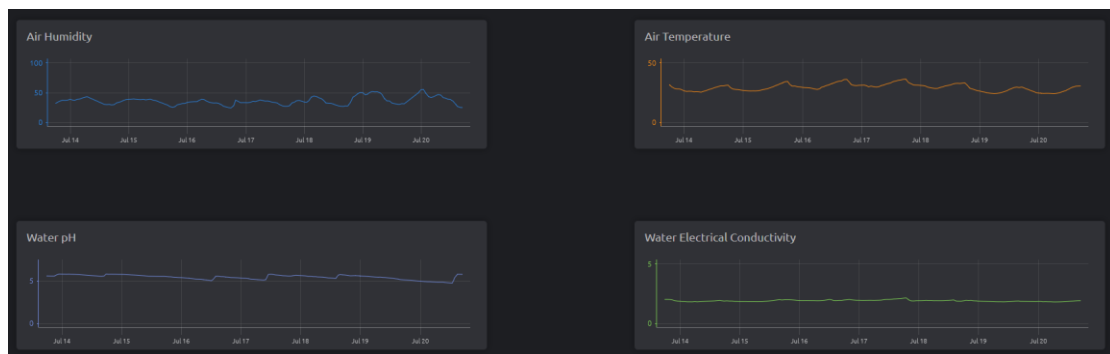
- Στις εφαρμογές IoT είναι πολύ σημαντικός ο συγχρονισμός του MCU και του server. Συγκεκριμένα για να λειτουργεί αποτελεσματικά το Blynk, η συσκευή πρέπει να πραγματοποιεί «χειραψία» με τον διακομιστή Blynk όσο το δυνατόν συχνότερα, κατά προτίμηση εκατοντάδες φορές ανά δευτερόλεπτο, ώστε να γνωρίζει οποιαδήποτε είσοδο χρήστη στην εφαρμογή. Εάν δεν υπάρξει «χειραψία» από τη συσκευή για κάποιο χρονικό διάστημα (η προεπιλογή είναι 10 δευτερόλεπτα), θα χαθεί το heartbeat με τον διακομιστή Blynk και με την σειρά του θα θεωρήσει τη συσκευή ως "Αγνοούμενη εν δράσει", θα την εμφανίσει ως αποσυνδεδεμένη και θα κλείσει το κανάλι επικοινωνίας με τη συσκευή. Για αυτό το λόγο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την συγγραφή του κώδικα, καθότι μπορεί να γίνει αναποτελεσματικός όταν καλούνται πολλές συναρτήσεις σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

Το έργο στην IoT πλατφόρμα Blynk ονομάστηκε Hydroponics και δημιουργήσαμε web εφαρμογή για πρόσβαση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και Android εφαρμογή για πρόσβαση μέσω smartphone. Και στις δύο εφαρμογές αποστέλλονται τα ίδια δεδομένα, το μόνο που διαφοροποιείται κυρίως είναι στην εμφάνιση και σε μία λειτουργία.

Στην web εφαρμογή χρησιμοποιήσαμε ενδείκτες και γραφήματα. Με το πρώτο είδος widget έχουμε γνώση σε πραγματικό χρόνο των τιμών των μετρούμενων ποσοτήτων. Με τα γραφήματα βλέπουμε το ιστορικό των τιμών για διάφορα χρονικά διαστήματα, είτε πρόκειται για τις τελευταίες ώρες, τους τελευταίους τρεις μήνες, είτε για προσαρμοσμένη επιλογή και μπορούμε να κάνουμε περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων μας.



Εικόνα 39 Δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο στην web εφαρμογή



Εικόνα 40 Δεδομένα αισθητήρων σε διαγράμματα στην web εφαρμογή

Στην εφαρμογή για κινητά χρησιμοποιήθηκαν ενδείκτες δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μόνο. Τα διαγράμματα δεν χρησιμοποιήθηκαν αφενός γιατί δεν προσφέρουν πληροφορία άμεση ούτε είναι χρήσιμα βραχυπρόθεσμα ώστε να χρειάζεται ο χρήστης αυτή την λειτουργία, αφετέρου γιατί δεν είναι τόσο αποδοτικά και ευκρινή λόγω των περιορισμένων διαστάσεων της συσκευής. Η εφαρμογή επίσης επιτρέπει την εξ αποστάσεως ενεργοποίηση των περισταλτικών αντλιών. Για την ανάπτυξη αυτής της λειτουργίας χρησιμοποιήθηκαν widgets τύπου πιεζόμενων κουμπιών με “επαναφορά”. Για όσο χρόνο κρατείται πατημένο το κουμπί, η αντλία

λειτουργεί ρίχνοντας το αντίστοιχο περιεχόμενο στην κεντρική δεξαμενή και σταματάει μόλις απομακρύνουμε το δάχτυλό μας.



Εικόνα 41 Δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και εξ' αποστάσεως έλεγχος αντλιών στην εφαρμογή για κινητά

3.3 Χρησιμοποιούμενος κώδικας

Έγινε συγγραφή του κώδικα στο Arduino IDE και μεταμορφώθηκε στο Arduino Uno μέσω USB. Το sketch εκτελούνταν συνεχώς κατά την διάρκεια της ημέρας και για όσο χρόνο διήρκεσε η υδροπονική καλλιέργεια. Παρακάτω αναλύεται τμηματικά ο χρησιμοποιούμενος κώδικας.

```
// Template ID, Device Name and Auth Token are provided by the Blynk.Cloud
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLIs_Q7YiZ"
#define BLYNK_DEVICE_NAME "Hydroponics v2"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "KYauSEMY4r8ut2inVWaZxRa6tSLejRBJ"
#define BLYNK_PRINT Serial

// Blynk credentials
char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

// WiFi credentials
char ssid[] = "jason";
char pass[] = "hydroponics";
```

Αρχικά δηλώνονται όλα τα πιστοποιητικά για την σύνδεση του Arduino στο Wi-Fi και μετέπειτα στο πρότυπο, όπως δημιουργήθηκε στην πλατφόρμα Blynk.

```
/* Libraries */
// Software Serial on Uno
#include <SoftwareSerial.h>
#include <EEPROM.h>
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include "DFRobot_PH.h"
#include "DFRobot_EC.h"
#include <ESP8266_Lib.h>
#include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h>
```

Σε αυτό το σημείο εισάγονται όλες οι απαραίτητες εξωτερικές βιβλιοθήκες ώστε να μπορέσει να εκτελεστεί το πρόγραμμα. Αυτές αφορούν στην έναρξη σειριακής επικοινωνίας και της μνήμης EEPROM του Arduino και στην πρόσβαση στους χρησιμοποιούμενους αισθητήρες και της πλατφόρμας Blynk.

```
/* Blynk Handshake */
BlynkTimer timer;

/*Hardware Configuration*/
// ESP8266-01
SoftwareSerial esp8266(2, 3); // RX, TX
#define ESP8266_BAUD 9600 // ESP8266 baud rate:
#define DEBUG true
ESP8266 wifi(&esp8266);

// DHT11
#define DHTPIN 5 // Digital pin connected to the DHT sensor
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11 type
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// EC sensor DFR0300
#define EC_PIN A5
DFRobot_EC ec;

// PH sensor SEN0161-v2
#define PH_PIN A2
DFRobot_PH ph;

// Peristaltic pumps pins
int phPumpPin = 8;
int nutrAPumpPin = 10;
int nutrBPumpPin = 12;
```

Στη συνέχεια δηλώνονται τα pins του Arduino που έχουν συνδεθεί οι αισθητήρες και οι περισταλτικές αντλίες, και δημιουργούμε αντικείμενα από τις κλάσεις των εξωτερικών βιβλιοθηκών, ώστε να μπορέσουμε να τα χρησιμοποιήσουμε αργότερα στις συναρτήσεις. Για την περίπτωση του ESP8266 δηλώνονται δύο pins, ένα για την αποστολή και ένα για την λήψη δεδομένων από το Arduino, καθώς και ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων, ο οποίος είναι στα 9600 bps. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται αναλυτικά οι συνδέσεις των παρελκομένων στο Arduino.

Πίνακας 4 Συνδέσεις hardware με Arduino

Υλικό	Pin
DHT11	Ψηφιακό, 5
DFR0300	Αναλογικό, A5
SEN0161-v2	Αναλογικό, A2
ESP8266-01	Ψηφιακά, 2 & 3
Περισταλτική αντλία νο.1	Ψηφιακό, 8
Περισταλτική αντλία νο.2	Ψηφιακό, 10
Περισταλτική αντλία νο.3	Ψηφιακό, 12

```

/*Sensors Params Declaration*/
float volt, voltage_ec, voltage_ph;
float temperature = 25;

// Air Params
float t;
float h;

// Water Params
float pHVal;
float ecVal;

// Pump states
int pumpOn = HIGH;
int pumpOff = LOW;

/*Hydroponics Params Declaration*/
float pHUpperLimit = 5.9; // pH range 5.5 - 6.0
float ecThreshold = 1.1; // EC range 1.0 - 1.6

```

Σε αυτό το σημείο δηλώνονται οι παράμετροι όλων των αισθητήρων, οι οποίες θα υπολογιστούν από τις συναρτήσεις είτε δίνονται σε αυτές προεπιλεγμένες τιμές. Ακόμη, δηλώνονται καταστάσεις για τις αντλίες (HIGH και LOW) καθώς και τα όρια του pH και του EC, όπως αυτά προέκυψαν από την βιβλιογραφία, για να μπορούμε να συγκρίνουμε και να κάνουμε ελέγχους στην ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος.

```
void setup()
{
  // Debug console
  Serial.begin(4800);

  dht.begin();
  ph.begin();
  ec.begin();

  // Declare Peristaltic Pumps as outputs and initializing them as switched off
  pinMode(phPumpPin, OUTPUT);
  digitalWrite(phPumpPin, pumpOff);
  pinMode(nutrAPumpPin, OUTPUT);
  digitalWrite(nutrAPumpPin, pumpOff);
  pinMode(nutrBPumpPin, OUTPUT);
  digitalWrite(nutrBPumpPin, pumpOff);

  // Set ESP8266 baud rate
  esp8266.begin(ESP8266_BAUD);
  delay(10);

  Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass);

  // Setup functions to be called at specific intervals
  timer.setInterval(30000L, sendSensor);
  timer.setInterval(5000L, getAirData);
  timer.setInterval(3000L, getWaterData);
  timer.setInterval(550000L, checkWaterpH);
  timer.setInterval(600000L, checkWaterEC);
}
```

Η συνάρτηση setup() εκτελείται μία φορά και κατά την έναρξη εκτέλεσης του sketch στο Arduino. Κατά σειρά, γίνεται έναρξη της σειριακής επικοινωνίας με υπολογιστή στα 4800 bps, διαφορετικός ρυθμός με την επικοινωνία με το ESP8266 ώστε να μην υπάρξει σύγχυση, γίνεται έναρξη χρήσης των εξωτερικών βιβλιοθηκών, δηλώνονται καταστάσεις των περισταλτικών αντλιών και έναρξη επικοινωνίας με το ESP8266 και με το Blynk. Τέλος, αρχικοποιούνται συναρτήσεις, οι οποίες θα καλούνται περιοδικά σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Η πρώτη παράμετρος αφορά το χρόνο και είναι σε milliseconds και η δεύτερη παράμετρος είναι η συνάρτηση που θα εκτελείται κάθε φορά.

```

void loop()
{
  Blynk.run();
  timer.run();
}

```

Η συνάρτηση loop() κάνει ό,τι υποδηλώνει η μετάφρασή του, εκτελείται συνεχώς και κυκλικά, επιτρέποντας στο πρόγραμμα να κάνει αλλαγές και να δώσει αποτελέσματα. Η πρώτη συνάρτηση που εκτελείται περιοδικά πραγματοποιείται «χειραψία» μεταξύ Arduino και Blynk. Η δεύτερη γραμμή θέτει σε συνεχή λειτουργία τις συναρτήσεις με την περιοδικότητά τους, όπως αυτές δηλώθηκαν στην setup(). Βλέπουμε ότι υπάρχει πολύ λίγος κώδικας γραμμένος στην loop(), ενώ συνήθως ο κύριος κώδικας συμπεριλαμβάνεται εδώ. Η ιδιαιτερότητα αυτή είναι επιθυμητή και συμβαίνει γιατί δεν θέλουμε να βαρύνουμε το loop() και χαθεί το heartbeat με το Blynk και εν τέλει χαθεί η σύνδεσή μας με την IoT πλατφόρμα.

```

void sendSensor()
{
  /* Air Readings */
  float t = getAirTemp(); // Air temperature to Celsius
  float h = getAirHumidity(); // Air Humidity as percentage

  /* Water Readings */
  float phVal = getpH();
  float ecVal = getEC();

  // You can send any value at any time.
  // Please don't send more than 10 values per second.
  Blynk.virtualWrite(V0, t);
  Blynk.virtualWrite(V1, h);
  Blynk.virtualWrite(V2, phVal);
  Blynk.virtualWrite(V3, ecVal);

  Serial.println(F("*** Data sent to Blynk ***"));
}

```

Πρόκειται για την πρώτη συνάρτηση από αυτές που εκτελούνται περιοδικά και σκοπός της είναι η αποστολή των μετρήσεων των αισθητήρων μέσω ίντερνετ και των εικονικών pins στο Blynk.Cloud κάθε τριάντα δευτερόλεπτα. Αντίστοιχα έχουν δημιουργηθεί κατάλληλα datastreams στην πλατφόρμα, ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση των τιμών στην έκδοση για υπολογιστή και για κινητό.

```

float getAirTemp() {
    t = dht.readTemperature();
    return t;
}

float getAirHumidity() {
    h = dht.readHumidity();
    return h;
}

void getAirData() {
    Serial.println(F("Air Data"));
    float t = getAirTemp(); // Air temperature to Celsius
    float h = getAirHumidity(); // Air Humidity as percentage
    // Check if any reads failed and exit early (to try again).
    if (isnan(h) || isnan(t)) {
        Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
        // Blynk.logEvent("failed_to_read_from_dht_sensor");
        return;
    }
    // Compute heat index in Celsius
    float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);

    Serial.print(F("Humidity: "));
    Serial.print(h);
    Serial.println("% ");
    Serial.print(F("Temperature: "));
    Serial.print(t);
    Serial.println(F("°C "));
    Serial.print(F("Heat index: "));
    Serial.print(hic);
    Serial.println(F("°C "));
}

```

Σε αυτήν την εικόνα βλέπουμε όλες τις συναρτήσεις που έχουν σχέση με τις μετρήσεις του αέρα. Οι πρώτες δύο συναρτήσεις υπολογίζουν την θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα αντίστοιχα μέσω του αισθητήρα DHT11. Χρησιμοποιούνται μόνο από την συνάρτηση `sendSensor()`, ώστε να επικαιροποιεί τα δεδομένα που πρόκειται να στείλει στο Blynk. Η συνάρτηση `getAirData()` κάνει τις ίδιες μετρήσεις με τις προηγούμενες συναρτήσεις, με την διαφορά ότι τις τιμές αυτές τις τυπώνει στο Serial Monitor του υπολογιστή και ότι έχει μικρότερη περιοδικότητα εκτέλεσης από την `sendSensor()`, μόλις πέντε δευτερόλεπτα.

```

float getpH() {
    voltage_ph = analogRead(PH_PIN) / 1024.0 * 5000; // read the voltage
    pHVal = ph.readPH(voltage_ph, temperature); // convert voltage to pH
    return pHVal;
}

float getEC() {
    voltage_ec = analogRead(EC_PIN) / 1024.0 * 5000; // read the voltage_ec
    ecVal = ec.readEC(voltage_ec, temperature); // convert voltage_ec to EC
    return ecVal;
}

void getWaterData() {
    Serial.println(F("Water Data"));
    printpH();
    printEC();
}

void printpH() {
    float pHVal = getpH();
    Serial.print(F("pH:"));
    Serial.println(pHVal, 2);
}

void printEC() {
    float ecVal = getEC();
    Serial.print(F("EC: "));
    Serial.println(ecVal, 2);
}

```

Εδώ βλέπουμε όλες τις συναρτήσεις που έχουν σχέση με τις μετρήσεις της ποιότητας του θρεπτικού διαλύματος. Οι πρώτες δύο συναρτήσεις υπολογίζουν το pH και το EC του θρεπτικού διαλύματος μέσω των αντίστοιχων αισθητήρων που βρίσκονται στον δειγματολήπτη. Όπως και πριν, χρησιμοποιούνται από την συνάρτηση `sendSensor()`, η οποία επικαιροποιεί τις μετρήσεις στην πλατφόρμα Blynk. Η συνάρτηση `getWaterData()` καλεί τις συναρτήσεις `printpH()` και `printEC()`, οι οποίες κάνουν τις ίδιες μετρήσεις στο νερό αλλά με περιοδικότητα τρία δευτερόλεπτα και τυπώνει τα αποτελέσματα στο Serial Monitor.

```

void checkWaterpH() {
  Serial.println("Checking Water Quality");
  if (phVal > phUpperLimit)
  {
    Serial.println(F("Too high ph, activating pH pump"));
    //    Blynk.logEvent("high_ph");
    digitalWrite(phPumpPin, pumpOn);
    timer.setTimeout(1000L, [] ()
    {
      digitalWrite(phPumpPin, pumpOff);
    });
  }
}

```

Η συνάρτηση checkWaterpH() συγκρίνει το μετρούμενο pH του θρεπτικού διαλύματος με το άνω όριο που έχει δηλωθεί στην αρχή του προγράμματος, ήτοι 6.3. Αν η μετρούμενη τιμή είναι εντός ορίων δεν γίνεται τίποτα. Σε αντίθετη περίπτωση, ενεργοποιείται η περισταλτική αντλία του δοχείου με το οξύ για 1 δευτερόλεπτο, στέλνοντας συγκεκριμένη ποσότητα οξέος στην κεντρική δεξαμενή. Στον επόμενο έλεγχο που θα γίνει μετά από πενήντα πέντε δευτερόλεπτα και θα έχει ομογενοποιηθεί το διάλυμα, αν το pH εξακολουθεί να είναι πιο βασικό από ότι πρέπει, θα ενεργοποιηθεί ξανά η αντλία.

```

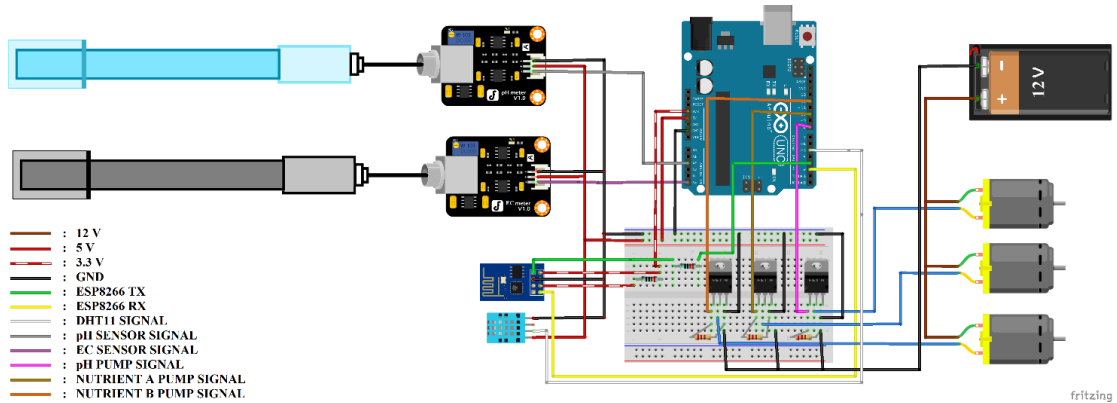
void checkWaterEC() {
  if (ecVal < ecThreshold) {
    Serial.println(F("Low nutrients, activating nutrient pumps"));
    //    Blynk.logEvent("low_nutrients");
    digitalWrite(nutrAPumpPin, pumpOn);
    digitalWrite(nutrBPumpPin, pumpOn);
    timer.setTimeout(1000L, [] ()
    {
      digitalWrite(nutrAPumpPin, pumpOff);
      digitalWrite(nutrBPumpPin, pumpOff);
    });
  }
}

```

Η συνάρτηση checkWaterEC() είναι όμοια με την παραπάνω με την διαφορά ότι εκτελείται κάθε εξήντα δευτερόλεπτα και ελέγχει εάν έχει πέσει το EC του θρεπτικού διαλύματος κάτω από το προβλεπόμενο όριο. Επίσης, στην περίπτωση που δεν περάσει τον έλεγχο, θα ενεργοποιηθούν δύο περισταλτικές αντλίες ώστε να τροφοδοτηθεί η κύρια δεξαμενή με θρεπτικά τύπου A και τύπου B.

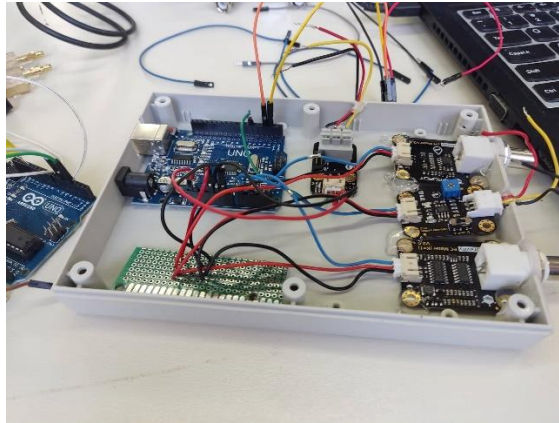
3.4 Πακετάρισμα του υδροπονικού ελεγκτή

Το υδροπονικό σύστημα αποτελείται από δύο επιμέρους συστήματα, το σύστημα κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος και τον υδροπονικό ελεγκτή, δηλαδή τον μικροελεγκτή με τα περιφερειακά εξαρτήματα και τις καλωδιώσεις του. Στο παρακάτω σχηματικό αποτυπώνονται όλες οι συνδέσεις των εξαρτημάτων με το Arduino.



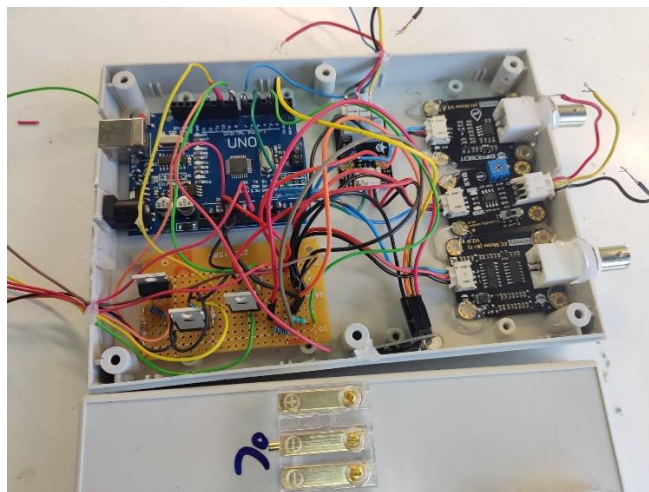
Εικόνα 42 Σχηματικό υδροπονικού ελεγκτή

Επειδή ανά πάσα στιγμή εγκυμονεί ο κίνδυνος, μία διαρροή θρεπτικού διαλύματος να βραχυκυκλώσει τον υδροπονικό ελεγκτή, είναι αναγκαίο να κατασκευαστεί ένα κουτί που θα περιέχει τον μικροελεγκτή με όσες πλακέτες δεν απαιτείται να είναι εκτεθειμένες στο περιβάλλον και τις συνδέσεις μεταξύ τους, και να δρομολογηθούν τα εξωτερικά καλώδια ώστε να είναι προστατευμένα από το νερό. Επειδή κάλυπτε όλες τις χωροταξικές απαιτήσεις με τις επιπλέον πλακέτες και συνδέσεις, χρησιμοποιήθηκε το κουτί που είχε κατασκευαστεί στο πλαίσιο ανάπτυξης του συστήματος ανάλυσης ποιότητας νερού [37] της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 43 Κολλήσεις συστήματος μέτρησης ποιότητας νερού [37]

Έγινε αφαίρεση της πλακέτας, όπου ήταν βραχυκυκλωμένα τα καλώδια και τοποθετήθηκε νέα πλακέτα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Εντός του κουτιού τοποθετήθηκαν τρανζίστορ, τα οποία λειτουργούν ως διακόπτες για τις περισταλτικές αντλίες, και ο ESP8266 για προστασία. Για όσα περιφερειακά χρειάζεται να είναι εξωτερικά του κουτιού και στερεωμένα στο πλαίσιο, δρομολογήθηκαν καλωδιώσεις οι οποίες εξέρχονται από το κουτί από δύο οπές. Οι βραχυκυκλώσεις έγιναν σύμφωνα με την εικόνα 42, ενώ σε όσες πλακέτες και υλικά χρειάστηκε, έγινε κόλληση και στερέωση με θερμόκολλα.



Εικόνα 44 Κολλήσεις υδροπονικού ελεγκτή

Για την προστασία του κουτιού και των εξωτερικών καλωδιώσεων, έγινε τοποθέτησή τους και δρομολόγηση αντίστοιχα στο πίσω μέρος του ξύλινου πλαισίου, το οποίο δεν βρέχεται ή κυκλοφορεί σε αυτό κάποιος σωλήνας, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος βραχυκύκλωσης και καταστροφής του υδροπονικού

ελεγκτή από διαρροή νερού. Επιπλέον καλύφθηκε όλο το πίσω μέρος με πανί ώστε να προστατεύεται επιπλέον από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και άλλους εξωτερικούς κινδύνους.



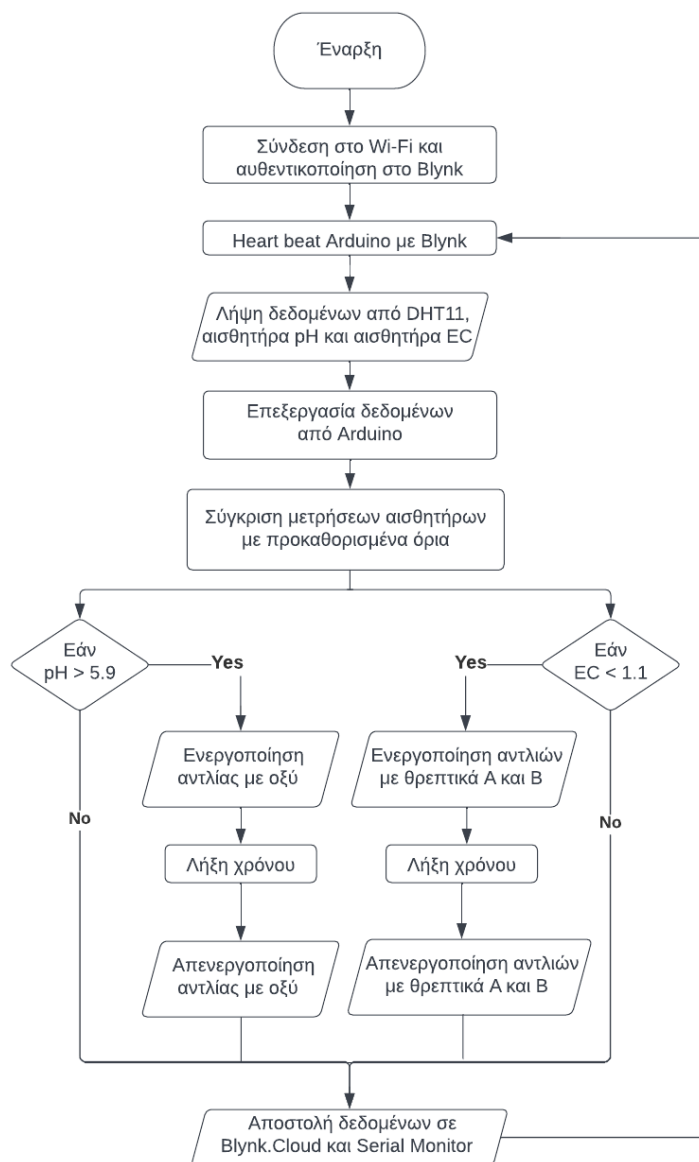
Εικόνα 45 Πίσω όψη υδροπονικού συστήματος



Εικόνα 46 Προστατευτικό κάλυμμα

3.5 Αρχή λειτουργίας

Με την τοποθέτηση του υδροπονικού ελεγκτή πάνω στο πλαίσιο της γραμμής υδροπονίας και την φόρτωση του προγράμματος, το σύστημα είναι έτοιμο προς λειτουργία. Εδώ εξηγείται η αρχή λειτουργίας του συστήματος, όπως αυτή απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα δομής.



Εικόνα 47 Αρχή λειτουργίας υδροπονικού ελεγκτή

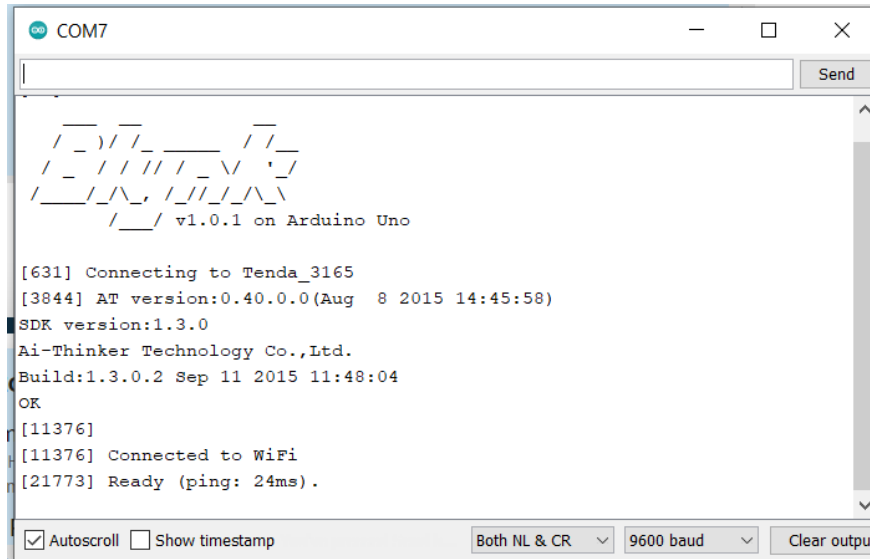
Με την τροφοδοσία του συστήματος, αρχικά ο ελεγκτής συνδέεται στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi και αποστέλλει τα πιστοποιητικά στο Blynk για επαλήθευση. Στη συνέχεια, συνδέεται στην διεπαφή που έχει δημιουργηθεί και αφού γίνει η πρώτη «χειραψία», η κατάσταση της διεπαφής αλλάζει σε ενεργή. Σε προκαθορισμένα διαστήματα, το Arduino λαμβάνει δεδομένα από τους τρεις αισθητήρες για τις καταστάσεις του αέρα και του θρεπτικού διαλύματος. Το Arduino θα κάνει τους κατάλληλους υπολογισμούς ώστε να μετατρέψει τα δεδομένα σε μετρήσεις και θα τις συγκρίνει με τα αντίστοιχα όρια, όπως αυτά έχουν δηλωθεί στο πρόγραμμα. Αν το pH είναι πάνω από το όριο τότε ενεργοποιείται η περισταλτική αντλία που συνδέει

το δοχείο με οξύ με την δεξαμενή και παράλληλα ένα χρονόμετρο. Μόλις λήξει ο χρόνος, στέλνεται σήμα για να απενεργοποιηθεί η περισταλτική αντλία. Όμοια αν η μέτρηση EC είναι κάτω από το όριο, που σημαίνει ότι το διάλυμα είναι φτωχό σε θρεπτικά, ενεργοποιούνται οι περισταλτικές αντλίες των δοχείων που περιέχουν τα θρεπτικά τύπου A και τύπου B μέχρι να λήξει το αντίστοιχο χρονόμετρο. Παράλληλα, το Arduino θα στείλει όλες τις μετρήσεις στο Blynk, όπου θα ενημερωθούν τα διαγράμματα και οι ενδείκτες, και στη συνέχεια θα εκτελέσει «χειραψία» ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν έχει χαθεί η σύνδεση.

3.6 Αντιμετώπιση προβλημάτων

3.6.1 Μέτρηση θερμοκρασίας νερού

Παρόλο που το σύστημα μέτρησης ποιότητας νερού [37], πάνω στο οποίο έγινε η επέκτασή του σε υδροπονικό ελεγκτή, περιείχε αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας νερού (DFRobot DS18B20) δεν κατέστη δυνατή η χρησιμοποίησή του. Ο αισθητήρας λειτουργούσε κανονικά και επικοινωνούσε με το Arduino εκτός σύνδεσης, αλλά συνδυαστικά με τον κώδικα για την IoT λειτουργία, δεν μπορούσε να γίνει σύζευξη του Arduino με τον διακομιστή του Blynk και το πρόγραμμα έμενε κολλημένο σε ένα συγκεκριμένο σημείο χωρίς να συνεχίζει την κανονική ροή του. Έγινε αφαίρεση του αισθητήρα και του αντίστοιχου κώδικα. Κατά συνέπεια, δεν μπορούσαμε να παρακολουθήσουμε την θερμοκρασία του νερού κατά την διάρκεια της καλλιέργειας ούτε να γνωρίζουμε την ακριβή τιμή των pH και EC, μιας και επηρεάζονται από την θερμοκρασία του μετρούμενου μέσου. Επειδή, οι συναρτήσεις των pH και EC έχουν παράμετρο για θερμοκρασία, ώστε να κάνουν την κατάλληλη διόρθωση, δηλώθηκε στην αρχή του προγράμματος ως σταθερά και ίση με 25°C.



```
COM7  
[631] Connecting to Tenda_3165  
[3844] AT version:0.40.0.0(Aug 8 2015 14:45:58)  
SDK version:1.3.0  
Ai-Thinker Technology Co.,Ltd.  
Build:1.3.0.2 Sep 11 2015 11:48:04  
OK  
[11376]  
[11376] Connected to WiFi  
[21773] Ready (ping: 24ms).  
 Autoscroll  Show timestamp Both NL & CR 9600 baud Clear output
```

Εικόνα 48 Απεικόνιση Serial Monitor με συνδεδεμένο τον αισθητήρα θερμοκρασίας νερού

3.6.2 Βιβλιοθήκες αισθητήρων pH και EC

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, είναι πολύ σημαντική η διακρίβωση των αισθητήρων για την ακρίβεια των μετρήσεών τους. Στην περίπτωση μας, απαιτείται για τους αισθητήρες pH και EC και γίνεται με την ύπαρξη των πρότυπων διαλυμάτων και μέσω εντολών από το serial monitor. Από την διαδικασία αυτή, προκύπτουν κάποιοι συντελεστές, οι οποίοι πρέπει να αποθηκευτούν στην EEPROM του Arduino ώστε να μην χάνονται σε ενδεχόμενη επανεκκίνηση του Arduino και να είναι άμεσα διαθέσιμοι κατά την διαδικασία εκκίνησης. Επειδή είναι της ίδιας εταιρίας, ο αισθητήρας pH αποθηκεύει στις πρώτες εννέα θέσεις τις EEPROM του Arduino, ενώ ο αισθητήρας EC αποθηκεύει στις θέσεις δέκα έως δεκαεννέα. Όμως και το Blynk χρειάζεται να γράψει στην μνήμη EEPROM του Arduino κάποιες ρυθμίσεις διαμόρφωσης και συγκεκριμένα στις θέσεις μηδέν έως δεκάξι. Ως εκ τούτου, επανεγγράφονται οι συντελεστές διακρίβωσης ακυρώνοντας τη διακρίβωση. Για αυτό τον λόγο, τροποποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες των αισθητήρων ώστε να γράφουν στην EEPROM από τις θέσεις είκοσι και τριάντα αντίστοιχα.

```

#include "DFRobot_PH.h"
#include <EEPROM.h>

#define EEPROM_write(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) EEPROM.wr
#define EEPROM_read(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) pp[i]=EEP

#define PHVALUEADDR 0x00 //the start address of the pH calibration parameters stored in the EEPROM

DFRobot_PH::DFRobot_PH()

```

Εικόνα 49 Βιβλιοθήκη αισθητήρα pH πριν την τροποποίηση

```

#define EEPROM_write(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) EEPROM.wr
#define EEPROM_read(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) pp[i]=EEP

#define KVALUEADDR 0x0A //the start address of the K value stored in the EEPROM
#define RES2 820.0
#define ECREF 200.0

DFRobot_EC::DFRobot_EC()

```

Εικόνα 50 Βιβλιοθήκη αισθητήρα EC πριν την τροποποίηση

```

#include "DFRobot_PH.h"
#include <EEPROM.h>

#define EEPROM_write(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) EEPROM.wr
#define EEPROM_read(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) pp[i]=EEP

#define PHVALUEADDR 0x14 //the start address of the pH calibration parameters stored in the EEPROM

DFRobot_PH::DFRobot_PH()

```

Εικόνα 51 Βιβλιοθήκη αισθητήρα pH μετά την τροποποίηση

```

#include "DFRobot_EC.h"
#include <EEPROM.h>

#define EEPROM_write(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) EEPROM.wr
#define EEPROM_read(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) pp[i]=EEP

#define KVALUEADDR 0x1E //the start address of the K value stored in the EEPROM
#define RES2 820.0
#define ECREF 200.0

DFRobot_EC::DFRobot_EC()

```

Εικόνα 52 Βιβλιοθήκη αισθητήρα EC μετά την τροποποίηση

3.6.3 ΟΤΑ Διακρίβωση

Αρχικά, είχε σχεδιαστεί να μπορούμε να κάνουμε οποιαδήποτε στιγμή (Over The Air – ΟΤΑ) διακρίβωση στους αισθητήρες μας παράλληλα με την κανονική λειτουργία του υδροπονικού συστήματος. Για να γίνει όμως διακρίβωση στους αισθητήρες μας, πρέπει να στείλουμε συγκεκριμένες εντολές μέσω του Serial Monitor. Αντίστοιχα για να λειτουργήσει η IoT λειτουργία, το Arduino στέλνει μέσω της κονσόλας (CMD) δεδομένα. Ως εκ τούτου, η κονσόλα είναι διαθέσιμη στον χρήστη μόνο για ανάγνωση

δεδομένων και όχι εγγραφή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, έγινε διακοπή της κανονικής λειτουργίας κατά την ενδέκατη μέρα, φορτώθηκε ο κώδικας της κατασκευάστριας εταιρείας για να διακριβωθούν οι αισθητήρες και τέλος φορτώθηκε ο κώδικας που σχεδιάστηκε για την υδροπονία και επανασυνδέθηκε το σύστημα στο Blynk.

3.6.4 Σταθεροποίηση μετρήσεων pH και EC

Τα μίγματα για την ρύθμιση του pH και του EC σε συστήματα υδροπονίας είναι πολύ ισχυρά, μιας και απαιτούνται ένα έως τρία mL ανά λίτρο νερού. Εγκυμονούν δύο ειδών κίνδυνοι για την εκ παραδρομής ενεργοποίηση κάποιας από τις περισταλτικές αντλίες:

- Κάποιος από τους αισθητήρες pH ή EC να μην έχει σταθεροποιηθεί και να δώσει εσφαλμένα κάποια ακραία τιμή (spike).
- Να έχει γίνει μόλις συμπλήρωση του θρεπτικού της δεξαμενής με κάποιο μίγμα και να μην έχει προλάβει να έχει ομογενοποιηθεί πλήρως. Μέχρι να συμβεί αυτό ο αισθητήρας να μην δίνει σωστές μετρήσεις αλλά δεν αντικατοπτρίζει την κατάσταση του θρεπτικού διαλύματος.

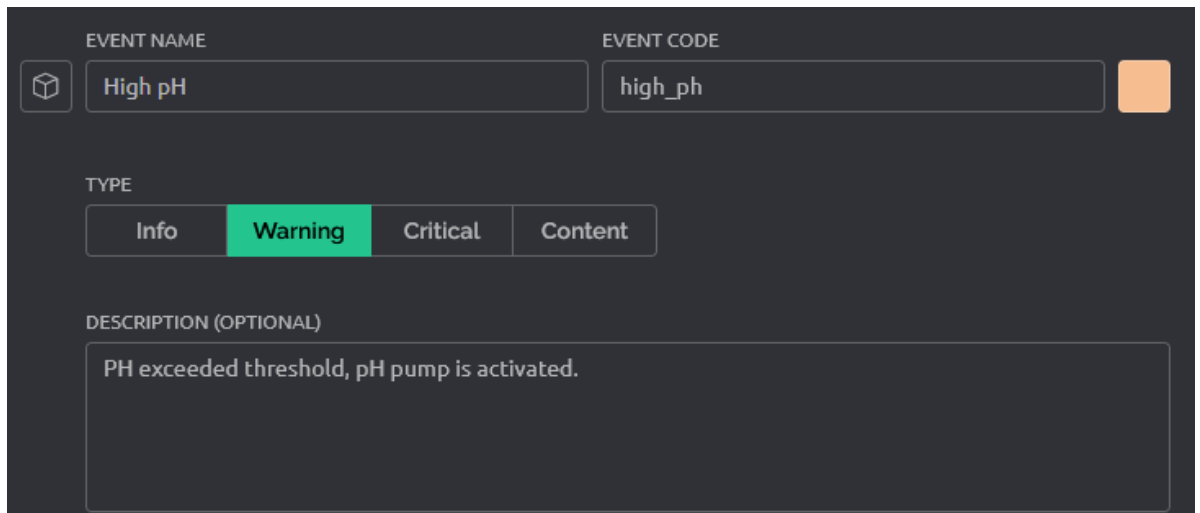
Για το λόγο αυτό μετρήσεις για το pH και το EC λαμβάνονται συνεχώς ανά τρία δευτερόλεπτα, ώστε να βεβαιωθούμε ότι έχουν σταθεροποιηθεί οι τιμές. Όσον αφορά στους ελέγχους του pH και του EC του θρεπτικού και την ενεργοποίηση κάποιας από τις περισταλτικές αντλίες, λαμβάνοντας υπόψη την ικανότητα ροής της αντλίας και την συνολική ποσότητα του θρεπτικού στο σύστημα, αυτός γίνεται ανά λεπτό ώστε να έχει ανακατευτεί επαρκώς το διάλυμα.

3.6.5 Αποστολή ειδοποιήσεων στο Blynk

Πέρα από την αποστολή δεδομένων, το Blynk υποστηρίζει και την αποστολή ειδοποιήσεων από το Arduino. Διαπιστώθηκε ότι όσο γέμιζε ο κώδικας με συναρτήσεις και βιβλιοθήκες, το Arduino λόγω υπολογιστικών περιορισμών, αδυνατούσε να συγχρονιστεί με το Blynk εγκαίρως και αποσυνδεόταν. Δεν πρόκειται για κάποια κρίσιμη λειτουργία για αυτό δεν χρησιμοποιείται και έχει μείνει ως

σχόλιο, όπου κρίθηκε ότι πρέπει να στέλνεται ειδοποίηση (π.χ. Υψηλό pH και προσθήκη οξέος).

```
if (phVal > pHUpperLimit)
{
  Serial.println(F("Too high ph, activating pH pump"));
  //   Blynk.logEvent("high_ph");
}
```



The image shows a dark-themed configuration interface for an event. At the top, there are two input fields: 'EVENT NAME' containing 'High pH' and 'EVENT CODE' containing 'high_ph'. To the right of the 'EVENT CODE' field is a small orange square. Below these fields is a 'TYPE' section with four buttons: 'Info', 'Warning' (which is highlighted in green), 'Critical', and 'Content'. At the bottom, there is a 'DESCRIPTION (OPTIONAL)' section with a text area containing the text 'PH exceeded threshold, pH pump is activated.'

Εικόνα 53 Ειδοποίηση για pH εκτός ορίων και ενεργοποίηση αντλίας οξέος στην πλατφόρμα Blynk

4 Πειραματική αξιολόγηση και αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται περιγραφή των δοκιμών λειτουργίας του υδροπονικού συστήματος καθώς και των προβλημάτων που προέκυψαν και πως αυτά αντιμετωπίστηκαν. Τέλος παρουσιάζονται τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν με τη μορφή εικόνων και διαγραμμάτων.

4.1 Έλεγχοι δοκιμής συστήματος

Σε αυτό το στάδιο έγινε έλεγχος της ευαισθησίας του συστήματος στις μεταβολές των μετρούμενων μεγεθών και της απόκρισής του στην ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος. Το πλαστικό δοχείο αρχικά περιείχε 12 λίτρα νερού βρύσης και από τις μετρήσεις προέκυψε το pH ίσο με 7,67 και το EC ίσο με 0,25 mS/cm. Ο κάθε έλεγχος είχε διάρκεια μίας ώρας, κατά την οποία το νερό ανακυκλωνόταν 20 φορές. Τα δεδομένα των μετρήσεων αποστέλλονταν στην πλατφόρμα Blynk κάθε 30 δευτερόλεπτα. Παρακάτω αναλύονται οι δοκιμές που διεξήχθησαν:

4.1.1 Εξ αποστάσεως ενεργοποίηση περισταλτικών αντλιών

Κατά την 1^η φάση θέλουμε να διαπιστώσουμε την ευαισθησία του συστήματος στις μεταβολές των τιμών των παραμέτρων του θρεπτικού διαλύματος. Αρχικά δόθηκε εντολή από την Android εφαρμογή στην περισταλτική αντλία να προσθέσει θρεπτικό διάλυμα τύπου A για τρία δευτερόλεπτα, που ισούται με περίπου 4,5 ml. Από την προσθήκη θρεπτικού αυξήθηκε το EC όπως αναμενόταν και σταθεροποιήθηκε σχετικά άμεσα με τιμή 0,47 mS/cm. Το pH αυξήθηκε με σταθερό ρυθμό έως την τιμή 8,47.

Μετά από μία ώρα ενεργοποιήσαμε μέσω της Android εφαρμογής την περισταλτική αντλία για τρία δευτερόλεπτα για την προσθήκη οξέος στο διάλυμα. Το pH αρχικά είχε μία απότομη πτώση στα πρώτα δέκα λεπτά με κατώτατη τιμή ίση με 5,6. Στη συνέχεια αυξανόταν με μειούμενο ρυθμό έως ότου σταθεροποιήθηκε στην τιμή 6,6. Το EC έμεινε ανεπηρέαστο καθ' όλη τη διάρκεια και ίσο με 0,47 mS/cm.



Γράφημα 1 Μεταβολή EC κατά την 1^η φάση δοκιμών

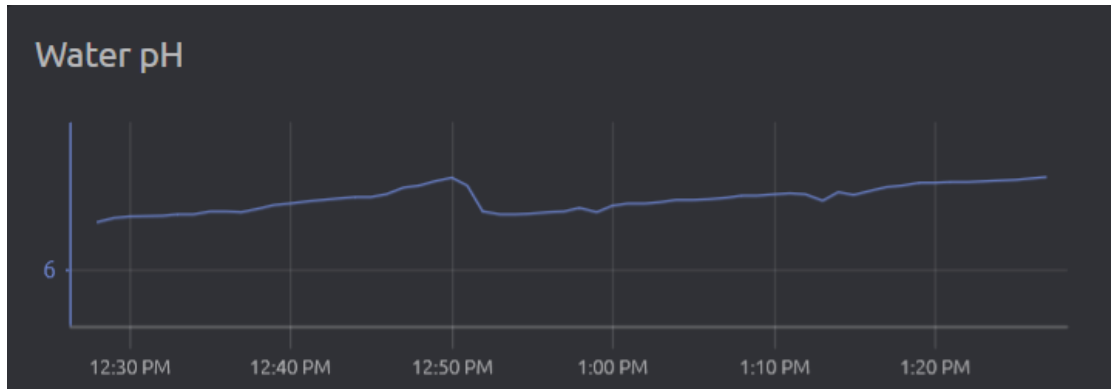


Γράφημα 2 Μεταβολή pH κατά την 1^η φάση δοκιμών

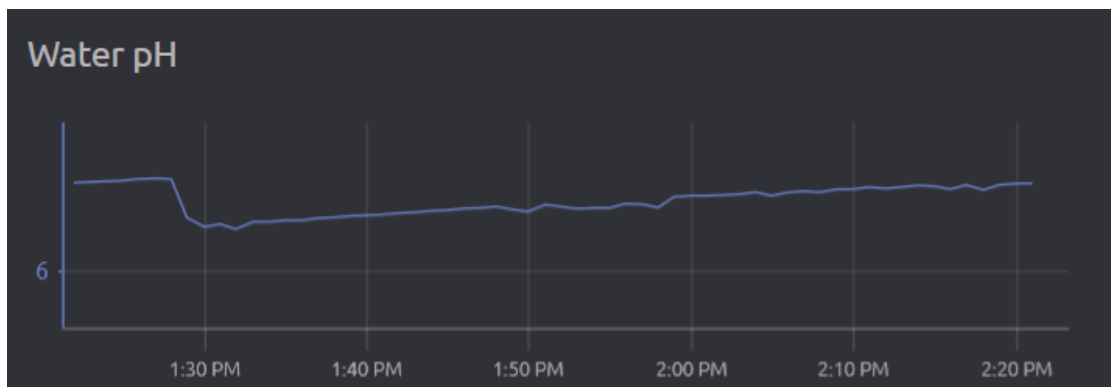
4.1.2 Ρύθμιση pH θρεπτικού διαλύματος με ανατροφοδότηση

Στη φάση αυτή θέλαμε να διαπιστώσουμε την απόκριση του συστήματος με ανατροφοδότηση κατά την ρύθμιση του pH του θρεπτικού διαλύματος. Το τρέχον pH ήταν ίσο με 6,6, οπότε θέσαμε ανώτατο όριο pH ίσο με 7. Προσθέσαμε νερό βρύσης μέχρι το pH να ξεπεράσει το όριο που ορίσαμε και να δούμε πως θα ανταποκριθεί το κλειστό σύστημα ελέγχου. Το σύστημα ελέγχου ανίχνευσε την αλλαγή εκτός ορίων, ενεργοποίησε την περισταλτική αντλία με το οξύ για όσο χρόνο έχουμε ορίσει και περίμενε μέσω της ανατροφοδότησης την νέα μέτρηση του pH. Η πτώση του pH ήταν άμεση και όχι τόσο απότομη όπως πριν, αφού μειώθηκε από το 7,02 στο 6,65. Με την συμπλήρωση μίας ώρας το pH του θρεπτικού διαλύματος έλαβε πάλι την τιμή 7,02, οπότε το σύστημα έδωσε εντολή ενεργοποίησης της αντλίας εκ νέου. Το pH μειώθηκε στιγμιαία στην τιμή 6,47 και στη συνέχεια είχε αυξητική τάση. Λαμβάνοντας υπόψη

ότι το εύρος των εντός ορίων του pH είναι ίσο με 0,5, πρόκειται για ένα αποδεκτό αποτέλεσμα.



Γράφημα 3 Μεταβολή του pH κατά την πρώτη ενεργοποίηση της αντλίας



Γράφημα 4 Μεταβολή του pH κατά την δεύτερη ενεργοποίηση της αντλίας

4.2 Έλεγχος κανονικής λειτουργίας συστήματος

Η λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος υδροπονίας έγινε σε οικιακό περιβάλλον για λόγους συνεχούς παρακολούθησης της εύρυθμης λειτουργίας. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, καλλιεργήθηκαν 5 βλαστοί βασιλικών για συνολικά 21 ημέρες, κατά τις οποίες ο έλεγχος και ρύθμιση του pH και του EC ελεγχόταν μόνο από τη συσκευή. Μέσα στην γραμμή υδροπονίας κυκλοφορούσε συνολικά θρεπτικό διάλυμα 12 λίτρων. Έγινε αλλαγή του θρεπτικού διαλύματος και διακρίβωση των αισθητήρων pH και EC κατά την 11^η ημέρα. Το Arduino ήταν συνδεδεμένο με υπολογιστή μέσω USB για την τροφοδοσία του αλλά και για σειριακή επικοινωνία. Έτσι, ήταν δυνατή η εμφάνιση αποτελεσμάτων στο Serial Monitor του υπολογιστή και έγινε επαλήθευση των μετρήσεων που εμφανίζονται στο Blynk. Έχοντας σιγουρευτεί

για την αξιοπιστία του συστήματος, τις τελευταίες τρεις μέρες αποσυνδέθηκε ο υπολογιστής και το Arduino τροφοδοτήθηκε από γραμμή της εξωτερικής πηγής ρεύματος. Τα δεδομένα αποστέλλονταν στο Blynk κάθε τριάντα δευτερόλεπτα, ενώ για την ημερήσια ένδειξη λαμβάνεται υπόψη η μέτρηση η οποία ελήφθη στις 3 π.μ. Τα αποτελέσματα της κανονικής λειτουργίας παρατίθενται παρακάτω.



Εικόνα 54 Βασιλικός κατά την 1^η μέρα υδροπονικής καλλιέργειας



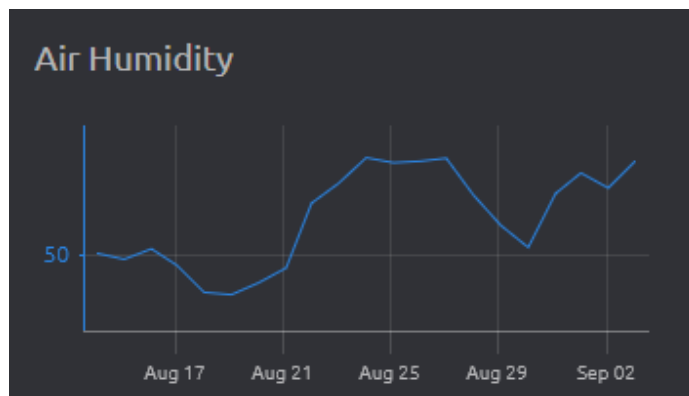
Εικόνα 55 Βασιλικός κατά την 11^η μέρα υδροπονικής καλλιέργειας



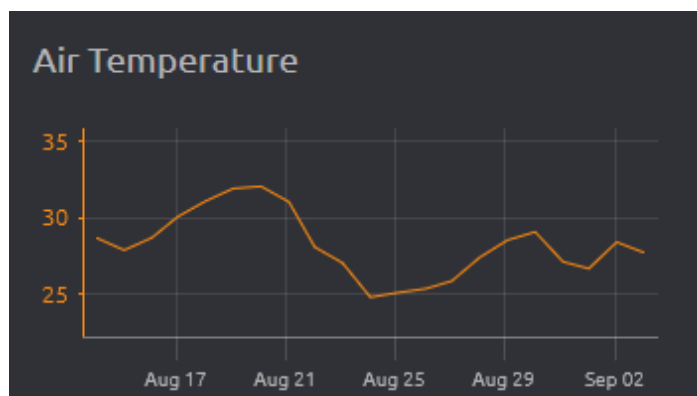
Εικόνα 56 Βασιλικός κατά την 21^η μέρα υδροπονικής καλλιέργειας



Εικόνα 57 Ανάπτυξη ριζών βασιλικού κατά την υδροπονική καλλιέργεια



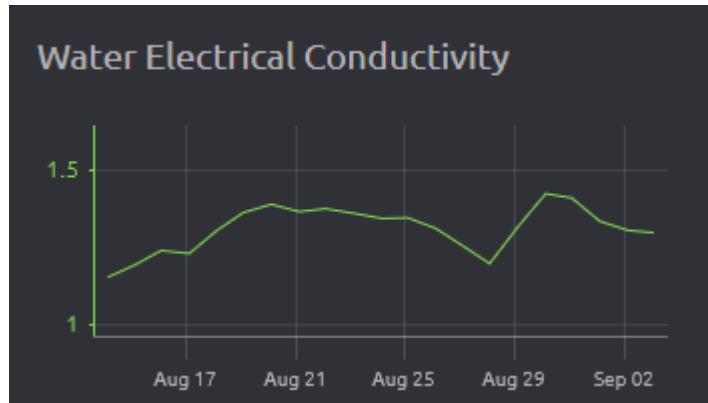
Γράφημα 5 Διακύμανση σχετικής υγρασίας κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας



Γράφημα 6 Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας

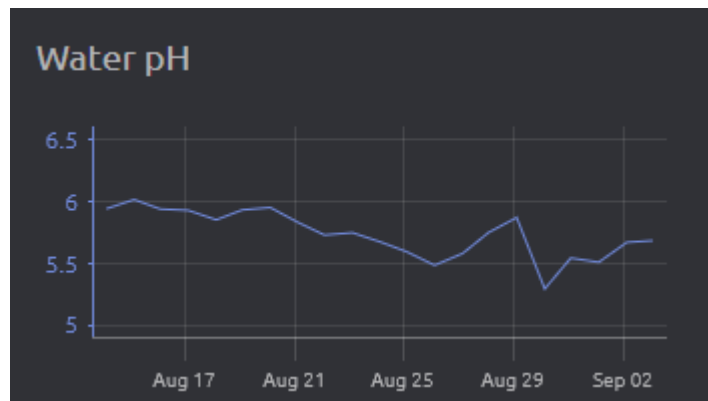
Στις παραμέτρους του αέρα γινόταν μόνο παρακολούθηση των τιμών τους, χωρίς την ύπαρξη δυνατότητα ρύθμισής τους. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε ο βασιλικός ως

φυτό για την υδροπονική καλλιέργεια, ώστε να ευνοηθεί με βάση τις επικρατούσες περιβαλλοντολογικές συνθήκες.



Γράφημα 7 Διακύμανση EC θρεπτικού διαλύματος κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας

Κατά της διάρκεια της υδροπονικής καλλιέργειας παρατηρήθηκε ότι το EC παρέμεινε σε σχετικά σταθερά επίπεδα. Ενώ αναμενόταν με την πάροδο του χρόνου να μειώνεται το EC, αφού τα φυτά θρέφονται και καθιστούν το διάλυμα πιο φτωχό, εντούτοις σε μερικές περιπτώσεις το EC οριακά αυξανόταν. Αυτό οφείλεται στην εξάτμιση του νερού, το οποίο συμπληρωνόταν από τον χρήστη συχνά. Επίσης, το EC κυμάνθηκε από 1,21 έως 1,51 με τα αντίστοιχα όρια να είναι 1,0 έως 1,6.



Γράφημα 8 Διακύμανση pH θρεπτικού διαλύματος κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας

Αντίστοιχα, το pH του θρεπτικού διαλύματος παρέμεινε εντός ορίων (5,5 έως 6,0) σε όλη την διάρκεια της υδροπονικής καλλιέργειας πέρα από τις 30 Αυγούστου που είχε τιμή 5,3, χωρίς να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών. Η εξάτμιση του νερού

ειδικά κατά τις ζεστές μέρες, συντέλεσε στην περαιτέρω μείωση του pH, η οποία αντισταθμιζόταν από την συμπλήρωση με νερό και την θρέψη των φυτών.

Τέλος, κατά την διάρκεια της υδροπονικής καλλιέργειας παρατηρήθηκε ανάπτυξη μούχλας (πρασίνισμα) εσωτερικά των διαφανών σωλήνων. Το γεγονός ότι το διάλυμα ήταν συνεχώς τρεχούμενο και δροσερό αλλά και ότι έγινε αντικατάστασή του και καθαρισμός δεξαμενής κατά την 11^η μέρα συνετέλεσε στο να μην μεταφερθεί η μούχλα στην κύρια δεξαμενή θρεπτικού διαλύματος και να επηρεάσει την ανάπτυξη των βασιλικών.

5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την λειτουργία του αυτοματοποιημένου IoT συστήματος υδροπονίας τύπου NFT, που κατασκευάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τέλος, συμπεριλαμβάνονται προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις.

5.1 Τελική αξιολόγηση του ολοκληρωμένου συστήματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε διερεύνηση της παρακολούθησης περιβαλλοντολογικών παραμέτρων, της ρύθμισης κάποιων από αυτών, της εξ αποστάσεως παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο όλων των λειτουργιών και της εξέτασης συνεργασίας όλων των παραπάνω μεταξύ τους για την κατασκευή ενός φθηνού και αξιόπιστου IoT συστήματος αυτοματοποιημένης υδροπονικής καλλιέργειας φυτών.

Από την έρευνα που έγινε, προέκυψε ότι παράμετροι όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Όμως πιο ζωτικές για την ρύθμιση του συστήματος είναι η ποσότητα θρεπτικών ουσιών και η τιμή του pH στο διάλυμα. Για την μέτρηση όλων αυτών των παραμέτρων έγινε χρήση αισθητήρων, ενώ στις περιπτώσεις ρύθμισής τους χρησιμοποιήθηκαν επενεργητές για την προσθήκη κατάλληλων ουσιών στη δεξαμενή του διαλύματος. Το εξάρτημα εκείνο που ήταν ο συνδετικός κρίκος των παραπάνω υλικών ήταν ο μικροελεγκτής. Για να μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα και να λαμβάνει σωστά όλες τις αποφάσεις του συστήματος, χρειάστηκε η συγγραφή κατάλληλου κώδικα.

Για την προσθήκη IoT λειτουργίας αρχικά απαιτείται η σύνδεση του συστήματος στο διαδίκτυο. Η χρήση του Wi-Fi προσέδωσε στο σύστημα ευελιξία και παράλληλα με την ανάπτυξη προσωποποιημένου γραφικού περιβάλλοντος στο Blynk, ο χρήστης έχει την δυνατότητα, είτε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή είτε Android κινητού, παρακολούθησης της κατάστασης του συστήματος σε πραγματικό χρόνο, της αποθήκευσης και ανάλυσης των δεδομένων, και του απομακρυσμένου ελέγχου των αντλιών. Με την επίτευξη όλων αυτών των λειτουργιών μειώνεται σημαντικά ο

παράγοντας του σφάλματος και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας της καλλιέργειας χωρίς την απαίτηση συνεχούς παρουσίας του παραγωγού.

Το κόστος του συνολικού συστήματος παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα, της τάξης των 300€, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους κατασκευής του συστήματος μέτρησης ποιότητας νερού [37] πάνω στο οποίο έγινε επέκταση. Σε αντίστοιχη περίπτωση, η αγορά ενός παρόμοιου συστήματος στο εμπόριο με τις προαναφερόμενες λειτουργίες αλλά με μεγαλύτερη ακρίβεια μέτρησης, έχει κόστος γύρω στα 2000€.

Η χρήση ερευνητικών αισθητήρων συντέλεσε στη μείωση του κόστους αλλά επέφερε επίσης κάποια μειονεκτήματα. Για την διασφάλιση ακρίβειας στις μετρήσεις, απαιτείται η τακτική βαθμονόμηση τους. Ακόμη, η κατασκευή και τα υλικά τους είναι τέτοια, που τα κάνουν πολύ ευπαθή σε ζημιά, οδηγώντας σε εσφαλμένες μετρήσεις ή ακόμα και στην καταστροφή τους. Ακόμη και αν προστατευτούν και συντηρηθούν όπως πρέπει, το χαμηλό όριο ζωής τους (έξι μήνες) είναι ανασταλτικός παράγοντας για την χρήση τους σε μόνιμα συστήματα.

Κατά την διάρκεια της υδροπονικής καλλιέργειας παρατηρήθηκε ότι το EC αυξανόταν, λόγω της μείωσης νερού από το διάλυμα, αλλά παρέμενε εντός ορίων. Αντίθετα το pH λόγω των μικρών περιθωρίων (5,5 - 6,0) και καθώς οι ρίζες του βασιλικού θρέφονταν από το θρεπτικό διάλυμα, αυξανόταν και ξεπερνούσε τα όρια πολύ συχνά μέσα στη διάρκεια της ημέρας. Εντούτοις, προτιμήθηκε η μικρή μείωση του pH (0,3) και σε συχνά διαστήματα από το σύστημα, παρά μεγαλύτερες μειώσεις του pH (0,6) και πιο αραιά, ώστε να μην επηρεαστεί η υγεία των φυτών από τις μεγάλες μεταβολές.

Τα φυτά αναπτύχθηκαν με σταθερό ρυθμό κατά την διάρκεια του πειράματος. Τις μέρες με φυσιολογικά επίπεδα θερμοκρασίας για τον μήνα Αύγουστο ο ρυθμός ανάπτυξης ήταν πιο γρήγορος, από ότι στις ημέρες με ακραίες θερμοκρασίες. Επίσης, η χρήση παγοκύστης για την μείωση της θερμοκρασίας του θρεπτικού διαλύματος όπως και η αλλαγή του θρεπτικού διαλύματος με καινούριο, επιτάχυνε τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών.

Κατά την διάρκεια της καλλιέργειας παρατηρήθηκε η ανάπτυξη μούχλας επιφανειακά των διαφανών σωλήνων λόγω της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Λόγω του ότι το θρεπτικό διάλυμα ήταν συνεχώς τρεχούμενο και δροσερό, και ότι αλλάχτηκε κατά την 11η μέρα του πειράματος, δεν μεταφέρθηκε η μούχλα εντός της δεξαμενής.

Στο τέλος της κανονικής λειτουργίας, η τελική παραγωγή ήταν ένα εξ ολοκλήρου βιολογικό προϊόν, αφού δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο λίπασμα ή φυτοφάρμακο. Επίσης, αν και μικρή παραγωγή, κανένα φυτό δεν προσβλήθηκε από ασθένεια ή παράσιτο. Η συνεχής επανακυκλοφορία του νερού, περιόρισε την αλόγιστη σπατάλη και κατανάλωσή του, αφού τα φυτά χρησιμοποιούσαν όσο νερό χρειάζονταν. Συμπληρώθηκε νερό μόνο για την περίπτωση του φαινομένου μείωσής του από την δεξαμενή λόγω εξάτμισης και αναπνοής των φυτών.

5.2 Μελλοντική εργασία

Το σύστημα, το οποίο κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία, είναι λειτουργικό αλλά έχει περιθώρια βελτίωσης. Για την περαιτέρω αυτοματοποίηση του συστήματος υδροπονίας, υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά και λειτουργίες που θα ήταν σκόπιμο να προστεθούν και παρατίθενται παρακάτω:

- ✓ Προσθήκη περισταλτικής αντλίας για την προσθήκη νερού στην δεξαμενή σε συνδυασμό με αισθητήρα για την μέτρηση του επιπέδου του διαλύματος για την αντιμετώπιση του φαινομένου μείωσης νερού από την δεξαμενή λόγω εξάτμισης και αναπνοής των φυτών.
- ✓ Για να γίνει το σύστημα ανεξάρτητο της τοποθεσίας και να μπορέσει να έχει την δυνατότητα τοποθέτησής του σε εσωτερικούς χώρους (π.χ. υπόγειο), θα πρέπει να προστεθεί τεχνητό φως ανάπτυξης LED με έλεγχο από τον μικροεπεξεργαστή ή με χρονοδιακόπτη.
- ✓ Χρήση αισθητήρων βιομηχανικού τύπου για αύξηση αξιοπιστίας των μετρήσεων. Επίσης θα ξεπεραστούν ζητήματα όπως αυτά της συχνής βαθμονόμησης και μικρής διάρκειας ζωής των ερευνητικών αισθητήρων.

- ✓ Χρήση ισχυρότερης επεξεργαστικής ισχύος μικροελεγκτή, ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας θερμοκρασίας νερού και να προστεθεί η λειτουργία αποστολής ειδοποιήσεων στο Blynk χωρίς την απώλεια συγχρονισμού μικροεπεξεργαστή με διακομιστή Blynk.
- ✓ Χρήση συστημάτων εξαερισμού και ψύξης/θέρμανσης ώστε να γίνει εφικτός ο έλεγχος της υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα.

6 Βιβλιογραφία

- [1] Clercq M., Vats A., and Biel A., “AGRICULTURE 4.0: THE FUTURE OF FARMING TECHNOLOGY,” 2018. Accessed: Aug. 19, 2022. [Online]. Available: <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farming-technology.html>
- [2] Malik Aatif, Iqbal Kaiser, Aziem Showkat, Mahato Prasanto, and Negi Ajeet K, “A Review On The Science Of Growing Crops Without Soil (Soilless Culture)-A Novel Alternative For Growing Crops,” *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 2014, [Online]. Available: www.ijagcs.com
- [3] R. Ebel *et al.*, “Urban Horticulture, from Local Initiatives to Global Success Stories,” *Horttechnology*, vol. 30, no. 1, pp. 4–5, Feb. 2020, doi: 10.21273/HORTTECH04525-19.
- [4] “Historic Centre of Mexico City and Xochimilco - UNESCO World Heritage Centre.” <https://whc.unesco.org/en/list/412/> (accessed Aug. 19, 2022).
- [5] M. Schwarz, *Soilless Culture Management*, vol. 24. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1995. doi: 10.1007/978-3-642-79093-5.
- [6] Michael. Agnes, *Webster’s New World College Dictionary*, 4th Edition. Webster’s New World, 2000, 2002.
- [7] McHenry Robert, *The New Encyclopedia Britannica*, vol. 5. Encyclopaedia Britannica, 1998. Accessed: Aug. 19, 2022. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/The_New_Encyclopaedia_Britannica.html?id=pqIWFWRdrosC
- [8] R. S. Velazquez-Gonzalez, A. L. Garcia-Garcia, E. Ventura-Zapata, J. D. O. Barceinas-Sanchez, and J. C. Sosa-Savedra, “A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations,” *Agriculture*, vol. 12, no. 5, p. 646, Apr. 2022, doi: 10.3390/agriculture12050646.
- [9] Benton Jones, *Hydroponics A Practical Guide for the Soilless Grower*, Second Edition. CRC Press, 2005.

- [10] M. R. Laidler *et al.*, “Escherichia coli O157:H7 Infections Associated With Consumption of Locally Grown Strawberries Contaminated by Deer,” *Clinical Infectious Diseases*, vol. 57, no. 8, pp. 1129–1134, Oct. 2013, doi: 10.1093/CID/CIT468.
- [11] Sideman B., “Preparing a Vegetable Garden Site,” 2019. https://extension.unh.edu/sites/default/files/migrated_unmanaged_files/Resource007671_Rep11252.pdf (accessed Jun. 19, 2022).
- [12] J. Ebba, “Growing Seedlings Under Lights,” 2020. https://extension.unh.edu/sites/default/files/migrated_unmanaged_files/Resource008038_Rep11733.pdf (accessed Jun. 19, 2022).
- [13] N. S. Gruda, “Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems,” *Agronomy 2019, Vol. 9, Page 298*, vol. 9, no. 6, p. 298, Jun. 2019, doi: 10.3390/AGRONOMY9060298.
- [14] G. Vinci and M. Rapa, “Hydroponic cultivation: life cycle assessment of substrate choice,” *British Food Journal*, vol. 121, no. 8, pp. 1801–1812, Jul. 2019, doi: 10.1108/BFJ-02-2019-0112/FULL/XML.
- [15] J. A. Tindall, H. A. Mills, and D. E. Radcliffe, “The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato,” <http://dx.doi.org/10.1080/01904169009364127>, vol. 13, no. 8, pp. 939–956, Aug. 2008, doi: 10.1080/01904169009364127.
- [16] Food and Agriculture Organization of the United Nations., *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops : principles for Mediterranean climate areas*. 2013.
- [17] Kozai T., *Smart Plant Factory*. Singapore: Springer Singapore, 2018. doi: 10.1007/978-981-13-1065-2.
- [18] D. Savvas and N. Gruda, “Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review,” *Eur J Hortic Sci*, vol. 83, no. 5, pp. 280–293, Oct. 2018, doi: 10.17660/EJHS.2018/83.5.2.

- [19] C. Sonneveld and W. Voogt, "Plant nutrition of greenhouse crops," *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*, pp. 1–431, 2009, doi: 10.1007/978-90-481-2532-6/COVER.
- [20] M. Hayashi, "Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion," *Environ Monit Assess*, vol. 96, no. 1–3, pp. 119–128, Aug. 2004, doi: 10.1023/B:EMAS.0000031719.83065.68.
- [21] F. Mattern and C. Floerkemeier, "From the Internet of Computers to the Internet of Things," Springer, 2010, pp. 242–259. doi: 10.1007/978-3-642-17226-7_15.
- [22] "Lublin recognised with prestigious Smart City Award / Lublin City Office," 2020. <https://lublin.eu/en/lublin-4-all/news/lublin-recognised-with-prestigious-smart-city-award,64,1413,1.html> (accessed Aug. 19, 2022).
- [23] City of Los Angeles, *SmartLA 2028 Technology for a better Los Angeles*. 2020. Accessed: Aug. 01, 2022. [Online]. Available: <https://ita.lacity.org/sites/g/files/wph1626/files/2021-05/SmartLA2028%20-%20Smart%20City%20Strategy.pdf>
- [24] Colclough G, *Smart lighting in cities*. Accessed: Jul. 06, 2022. [Online]. Available: https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-06/Smart%20Lighting%20Factsheet_0.pdf
- [25] Bonneau V. and Copigneaux B., "Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects," 2017.
- [26] A. J. Hati and R. R. Singh, "Smart Indoor Farms: Leveraging Technological Advancements to Power a Sustainable Agricultural Revolution," *AgriEngineering 2021, Vol. 3, Pages 728-767*, vol. 3, no. 4, pp. 728–767, Oct. 2021, doi: 10.3390/AGRIENGINEERING3040047.
- [27] J. Fraden, "Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications," *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, pp. 1–758, Jan. 2016, doi: 10.1007/978-3-319-19303-8/COVER.

- [28] D. Métrologie Légale, *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*, 3rd Edition. International Organization of Legal Metrology, 2007.
- [29] W. Staszewski, A. Jabłoński, K. DZIEDZIECH Akademia Górniczo-Hutnicza im Stanisława Staszica Krakowie, W. Inżynierii Mechanicznej Robotyki, and K. Robotyki Mechatroniki, “A SURVEY OF COMMUNICATION PROTOCOLS IN MODERN EMBEDDED CONDITION MONITORING SYSTEMS,” *DIAGNOSTYKA*, vol. 19, no. 2, pp. 53–62, 2018, doi: 10.29354/diag/86409.
- [30] D. Eridani, O. Wardhani, and E. D. Widiyanto, “Designing and implementing the arduino-based nutrition feeding automation system of a prototype scaled nutrient film technique (NFT) hydroponics using total dissolved solids (TDS) sensor,” in *2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Oct. 2017, pp. 170–175. doi: 10.1109/ICITACEE.2017.8257697.
- [31] M.-C. Mabitazan and R. Mabitazan, “Automated System that Monitors and Controls the pH and Electrical Conductivity of a Closed-Hydroponic Setup,” *ASRJETS-Journal*, 2021, [Online]. Available: <http://asrjetsjournal.org/>
- [32] P. Sihombing, N. A. Karina, J. T. Tarigan, and M. I. Syarif, “Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Mar. 2018, vol. 978, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/978/1/012014.
- [33] C. Joshitha, P. Kanakaraja, K. S. Kumar, P. Akanksha, and G. Satish, “An eye on hydroponics: The iot initiative,” in *Proceedings of the 7th International Conference on Electrical Energy Systems, ICEES 2021*, Feb. 2021, pp. 553–557. doi: 10.1109/ICEES51510.2021.9383694.
- [34] R. Maulana, A. De, and W. M. Sidik, “Design of an Automatic Nutrition System for Hydroponic Plants with an IoT-based NodeMCU Microcontroller,” *FIDELITY: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, Sep. 2019, doi: 10.52005/FIDELITY.V4I2.

- [35] D. Afriyantari, P. Putri, and T. Prasetyo, "The Implementation of Hydroponic Automation System and Monitoring Through the BLYNK Application," 2020. [Online]. Available: <http://www.irphouse.com>
- [36] C. J. G. Aliac and E. Maravillas, "IOT Hydroponics Management System," in *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, Nov. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666372.
- [37] N. B. Ντόγκας, "Ανάπτυξη συστήματος αισθητήρων για τη μέτρηση της ποιότητας νερού με βάση τη θολότητα, το pH, την αγωγιμότητα και τη θερμοκρασία," NTUA, 2020.
- [38] "Gravity__Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2-DFRobot." https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2 (accessed Aug. 19, 2022).
- [39] "Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor___Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300-DFRobot." https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor___Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300 (accessed Aug. 19, 2022).

7 Παράρτημα

7.1 Χρησιμοποιούμενος κώδικας

```
/* *****  
WARNING!  
It's very tricky to get it working. Please read this article:  
http://help.blynk.cc/hardware-and-libraries/arduino/esp8266-with-at-firmware  
  
You'll need:  
- Blynk IoT app (download from App Store or Google Play)  
- Arduino Uno board  
- Decide how to connect to Blynk (USB, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, ...)  
  
There is a bunch of great example sketches included to show you how to get started. Think of them as LEGO bricks and combine them as you wish. For example, take the Ethernet Shield sketch and combine it with the Servo example, or choose a USB sketch and add a code from SendData example.  
*****/  
  
// Template ID, Device Name and Auth Token are provided by the Blynk.Cloud  
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLIs_Q7YiZ"  
#define BLYNK_DEVICE_NAME "Hydroponics"  
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "KYauSEMY4r8ut2inWVaZxRa6tSLejRBJ"  
#define BLYNK_PRINT Serial  
  
// Blynk credentials  
char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;  
  
// WiFi credentials  
char ssid[] = "jason";  
char pass[] = "hydroponics";  
  
/* Libraries */  
// Software Serial on Uno  
#include <SoftwareSerial.h>  
#include <EEPROM.h>  
#include <DHT.h>  
#include <OneWire.h>  
#include "DFRobot_PH.h"  
#include "DFRobot_EC.h"  
#include <ESP8266_Lib.h>  
#include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h>  
  
/* Blynk Handshake */  
BlynkTimer timer;  
  
/*Hardware Configuration*/  
// ESP8266-01  
SoftwareSerial esp8266(2, 3); // RX, TX  
#define ESP8266_BAUD 9600 // ESP8266 baud rate:
```

```

#define DEBUG true
ESP8266 wifi (&esp8266);

// DHT11
#define DHTPIN 5 // Digital pin connected to the DHT sensor
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11 type
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// EC sensor DFR0300
#define EC_PIN A5
DFRobot_EC ec;

// PH sensor SEN0161-v2
#define PH_PIN A2
DFRobot_PH ph;

// Peristaltic pumps pins
int phPumpPin = 8;
int nutrAPumpPin = 10;
int nutrBPumpPin = 12;

/*Sensors Params Declaration*/
float volt, voltage_ec, voltage_ph;
float temperature = 25;

// Air Params
float t;
float h;

// Water Params
float phVal;
float ecVal;

// Pump states
int pumpOn = HIGH;
int pumpOff = LOW;

/*Hydroponics Params Declaration*/
float phUpperLimit = 5.9; // pH range 5.5 - 6.0
float ecThreshold = 1.1; // EC range 1.0 - 1.6

void sendSensor()
{
  /* Air Readings */
  float t = getAirTemp(); // Air temperature to Celsius
  float h = getAirHumidity(); // Air Humidity as percentage

  /* Water Readings */
  float phVal = getpH();
  float ecVal = getEC();

  // You can send any value at any time.
  // Please don't send more that 10 values per second.
  Blynk.virtualWrite(V0, t);
  Blynk.virtualWrite(V1, h);
  Blynk.virtualWrite(V2, phVal);
  Blynk.virtualWrite(V3, ecVal);
}

```

```

    Serial.println(F("*** Data sent to Blynk ***"));
}

void checkWaterpH() {
    Serial.println("Checking Water Quality");
    if (phVal > phUpperLimit)
    {
        Serial.println(F("Too high ph, activating pH pump"));
        // Blynk.logEvent("high_ph");
        digitalWrite(phPumpPin, pumpOn);
        timer.setTimeout(500L, []()
        {
            digitalWrite(phPumpPin, pumpOff);
        });
    }
}

void checkWaterEC() {
    if (ecVal < ecThreshold) {
        Serial.println(F("Low nutrients, activating nutrient pumps"));
        // Blynk.logEvent("low_nutrients");
        digitalWrite(nutrAPumpPin, pumpOn);
        digitalWrite(nutrBPumpPin, pumpOn);
        timer.setTimeout(500L, []()
        {
            digitalWrite(nutrAPumpPin, pumpOff);
            digitalWrite(nutrBPumpPin, pumpOff);
        });
    }
}

void getAirData() {
    Serial.println(F("Air Data"));
    // Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
    // Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very
    slow sensor)
    printAirData();
}

float getAirTemp() {
    t = dht.readTemperature();
    return t;
}

float getAirHumidity() {
    h = dht.readHumidity();
    return h;
}

void getAirData() {
    Serial.println(F("Air Data"));
    float t = getAirTemp(); // Air temperature to Celsius
    float h = getAirHumidity(); // Air Humidity as percentage
    // Check if any reads failed and exit early (to try again).
    if (isnan(h) || isnan(t)) {
        Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
        // Blynk.logEvent("failed_to_read_from_dht_sensor");
        return;
    }
}

```

```

// Compute heat index in Celsius
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);

Serial.print(F("Humidity: "));
Serial.print(h);
Serial.println("% ");
Serial.print(F("Temperature: "));
Serial.print(t);
Serial.println(F("°C "));
Serial.print(F("Heat index: "));
Serial.print(hic);
Serial.println(F("°C "));
}

float getpH() {
  voltage_ph = analogRead(PH_PIN) / 1024.0 * 5000; // read the voltage
  phVal = ph.readPH(voltage_ph, temperature); // convert voltage to pH
  return phVal;
}

float getEC() {
  voltage_ec = analogRead(EC_PIN) / 1024.0 * 5000; // read the
  voltage_ec
  ecVal = ec.readEC(voltage_ec, temperature); // convert voltage_ec to
  EC
  return ecVal;
}

void getWaterData() {
  Serial.println(F("Water Data"));
  printpH();
  printEC();
}

void printpH() {
  float phVal = getpH();
  Serial.print(F("pH:"));
  Serial.println(phVal, 2);
}

void printEC() {
  float ecVal = getEC();
  Serial.print(F("EC: "));
  Serial.println(ecVal, 2);
}

void setup()
{
  // Debug console
  Serial.begin(4800);

  dht.begin();
  ph.begin();
  ec.begin();

  // Declare Peristaltic Pumps as outputs and initializing them as
  switched off
  pinMode(phPumpPin, OUTPUT);
  digitalWrite(phPumpPin, pumpOff);
  pinMode(nutrAPumpPin, OUTPUT);
}

```



```

digitalWrite(nutrAPumpPin, pumpOff);
pinMode(nutrBPumpPin, OUTPUT);
digitalWrite(nutrBPumpPin, pumpOff);

// Set ESP8266 baud rate
esp8266.begin(ESP8266_BAUD);
delay(10);

Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass);

// Setup functions to be called at specific intervals
timer.setInterval(3000L, sendSensor);
timer.setInterval(5000L, getAirData);
timer.setInterval(3000L, getWaterData);
timer.setInterval(600000L, checkWaterpH);
timer.setInterval(600000L, checkWaterEC);
}

void loop()
{
  Blynk.run();
  timer.run();
}

```