

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



Σχολή Μηχανικών

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής

Διπλωματική Εργασία

**Αυτοματοποιημένο σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας με τη δυνατότητα
ελέγχου με χρήση εφαρμογής σε Smartphone**

Αλέξανδρος Γαλάνης

A.M. 71447585

Επιβλέπων Καθηγητής

Νικόλαος Λάσκαρης

Αθήνα, Ιούλιος 2024

UNIVERSITY OF WEST ATTICA



SCHOOL OF ENGINEERING

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION
ENGINEERING**

Diploma Thesis

**Automated hydroponic cultivation system with the ability to control using a
smartphone app**

Alexandros Galanis
Registration Number 71447585

Supervision:
Nikolaos Laskaris

Athens, July 2024

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

No	Όνοματεπώνυμο και Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
1	Νικόλαος Λάσκαρης Επίκουρος Καθηγητής	
2	Δρ. Ευάγγελος Παπακίτσος ΕΔΙΠ Α΄	
3	Δρ. Χρήστος Δρόσος ΕΔΙΠ Α΄	


ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αλέξανδρος Γαλάνης με αριθμό μητρώου 71447585 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, **δηλώνω υπεύθυνα** ότι:

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

Date 19/7/2024

Ο Δηλών



Αλέξανδρος Γαλάνης

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	10
1.1 Ιστορικό και πλαίσιο.....	10
1.2 Η σημασία της γεωργίας	10
1.3 Δήλωση Προβλήματος και στόχοι - Αναγνώριση εμποδίων στη Σύγχρονη Υδροπονική Γεωργία.....	10
1.3.1 Βελτιστοποίηση και απόδοση πόρων	11
1.3.2 Ενοποίηση τεχνολογίας	11
1.3.3 Βιωσιμότητα και περιβαλλοντικός αντίκτυπος	11
1.3.4 Προκλήσεις ειδικών απαιτήσεων για τις καλλιέργειες.....	11
1.3.5 Πληροφορίες και κενό δεξιοτήτων	11
1.3.6 Οικονομική βιωσιμότητα.....	12
1.3.7 Ανησυχίες σχετικά με τη ρύθμιση και την πιστοποίηση.....	12
1.3.8 Ζήτηση αγοράς και αντίληψη του πελάτη.....	12
1.4 Εκσυγχρόνιση της Γεωργίας και Υδροπονία.....	12
1.4.1 Μηχανοποίηση.....	12
1.4.2 Βιοτεχνολογία.....	13
1.4.3 Τηλεπισκόπηση	13
Κεφάλαιο 2 - Εισαγωγή στην Υδροπονία ως Νέα Μέθοδος Γεωργίας	14
2.1 Αποδοτικότητα πόρων.....	14
2.2 Μειωμένη ζήτηση για φυτοφάρμακα	15
2.3 Οικονομική βιωσιμότητα.....	15
2.3.1 Οικονομικά οφέλη.....	15
2.3.2 Ζήτηση στην αγορά	16
2.3.3 Αρχικό κόστος εγκατάστασης	16
Κεφάλαιο 3 - Αυτοματισμός και IoT στην Υδροπονία	17
3.1 Προγνωστική Ανάλυση.....	19
3.2 Τεχνολογία αισθητήρων	19
3.2.1 Αισθητήρες θρεπτικών διαλυμάτων	19
3.2.2 Αισθητήρες pH.....	20
3.2.3 Περιβαλλοντικοί αισθητήρες	21

3.2.4 Αισθητήρες ριζικής ζώνης	21
3.2.5 Αυτοματισμός.....	22
3.3 Τηλεπαρακολούθηση και ο έλεγχος	22
3.3.1 Ανίχνευση και Συλλογή Δεδομένων	23
3.3.2 Κεντρική μονάδα ελέγχου.....	24
3.3.3 Πρόσβαση στο Διαδίκτυο	25
3.3.4 Διακομιστής που βασίζεται σε cloud	25
3.3.5 Διεπαφή χρήστη	26
3.3.6 Απομακρυσμένη Πρόσβαση στο Σύστημα Μέσω Δυναμικού DNS και No-IP.....	28
Κεφάλαιο 4 - Αεροπονία	29
4.1 Βασικές αρχές της αεροπονικής καλλιέργειας	29
4.1.1 Μια σύντομη ιστορία της αεροπονικής καλλιέργειας	29
4.1.2 Αρχές Αεροπονικής Καλλιέργειας	29
4.2 Πλεονεκτήματα Αεροπονίας στην Υδροπονία.....	30
4.2.1 Αυξημένη παροχή οξυγόνου ρίζας	30
4.2.2 Καλύτερη απορρόφηση και αποδοτικότητα χρήσης νερού και θρεπτικών συστατικών	30
4.2.3 Η κάθετη καλλιέργεια.....	31
4.2.4 Διαχείριση ασθενειών και παρασίτων	32
4.3 Εφαρμογή της αεροπονικής	33
4.3.1 Θάλαμος ανάπτυξης	33
4.3.2 Ακροφύσια ομίχλης / ψεκάσματος	33
4.3.3 Επιλογή μέσου καλλιέργειας	33
Κεφάλαιο 5 - Εγκατάσταση υδροπονίας - Μηχανική, Αυτοματισμός, Βιομηχανικός Σχεδιασμός και Παραγωγή.....	34
5.1 Μηχανικές Πτυχές ενός Υδροπονικού Συστήματος.....	34
5.1.1 Πλαίσιο και Δομές Στήριξης	34
5.1.1.1 Επιλογή υλικού	35
5.1.1.2 Παρατηρήσεις για το σχεδιασμό	35
5.1.1.3 Υλικά Δοχείων καλλιέργειας	36
5.2 Ενσωμάτωση Αυτοματισμού και IoT σε Υδροπονικά Συστήματα	37
5.2.1 Συστήματα Ελέγχου και Αυτοματισμός.....	38

5.2.1.1 Κεντρικές Μονάδες Ελέγχου	38
5.2.1.2 Ενσωμάτωση με αισθητήρες IoT	38
5.2.1.3 Αλγόριθμοι ελέγχου ακριβείας	39
5.2.1.4 Ο προσαρμοστικός έλεγχος	39
5.2.1.6 Καταγραφή και η ανάλυση δεδομένων.....	40
5.2.1.7 Πλεονασμός και αξιοπιστία	40
5.2.1.8 Επεκτασιμότητα.....	40
5.3 Περιβαλλοντική Παρακολούθηση και Έλεγχος	41
5.3.1 Hardware συστήματος αυτοματοποιημένης παροχής θρεπτικών συστατικών ...	42
5.3.1.1 Αντλίες παροχής θρεπτικών συστατικών	42
5.3.1.2 Σωληνώσεις και εξαρτήματα.....	42
5.3.1.3 Μηχανισμοί ελέγχου ροής.....	42
5.3.1.4 Δεξαμενές.....	43
5.4 Ενεργειακή απόδοση και βιωσιμότητα.....	43
5.4.1 Στρατηγικές Διαχείρισης Ενέργειας	43
5.4.1.1 Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα φωτισμού	43
5.4.1.2 Αισθητήρες και αυτοματοποίηση	43
5.4.1.3 Συστήματα ελέγχου του κλίματος	43
5.4.1.4 Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	44
5.4.1.5 Ενεργειακή απόδοση	44
5.5 Συμβατότητα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	44
5.5.1 Ενοποίηση ηλιακής και αιολικής ενέργειας	44
5.5.1.1 Ηλιακά πάνελ.....	45
5.5.2 Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας	45
5.5.2.1 Συστήματα διαχείρισης μπαταριών (BMS)	45
5.5.2.2 Μετατροπείς.....	46
5.6 Θεωρήσεις σχεδιασμού συστήματος υδροπονίας	47
5.6.1 Επιλογή συστήματος	47
5.6.1.1 Nutrient Film Technique (NFT)	48
5.6.1.2 Καλλιέργεια βαθέων υδάτων (DWC).....	49
5.6.1.3 Ebb and Flow (Flood and Drain)	50
5.6.1.4 Συστήματα στάγδην	50

5.6.1.5 Αεροπονία	51
5.6.1.6 Aquaponics	51
5.6.1.7 Αναφορές	52
5.6.2 Δοχεία καλλιέργειας	52
5.6.3 Οπές φύτευσης.....	53
5.6.4 Ροή Νερού	54
5.6.5 Σύστημα Φωτισμού	55
5.6.6 Θρεπτικό Διάλυμα	56
5.6.7 Ρολόι Πραγματικού Χρόνου	57
5.6.8 Πλατφόρμα Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....	57
5.6.9 Υπολογισμός Κόστους.....	58
5.7 Διαχείριση θρεπτικών διαλυμάτων	59
5.8 Υδροπονικά Υποστρώματα	60
5.8.1 Τύποι Υποστρωμάτων.....	61
5.8.2 Θεωρήσεις υποστρώματος ανάπτυξης φυτών	61
5.8.3 Επιλογή υποστρώματος για βιωσιμότητα	61
5.9 Ανακύκλωση και Βιωσιμότητα.....	62
Κεφάλαιο 6 - Υλικό, Ασφάλεια και Εφαρμογή για κινητά Υλικο, συνδεσμολογία, διεπαφή χρήστη, κώδικας	64
Κεφάλαιο 7 - Λειτουργία του κώδικα	66
7.7 Ο Κώδικας	72
Κεφάλαιο 8 – Πρακτικό μέρος.....	89

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Ιστορικό και πλαίσιο

Για χιλιάδες χρόνια, η γεωργία ήταν και είναι η ραχοκοκαλιά της ανθρώπινης κοινωνίας, παρέχοντας διατροφή, οικονομική ασφάλεια και θεμέλιο για την κοινωνική ανάπτυξη. Όμως με την πάροδο του χρόνου, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, το γεωργικό περιβάλλον έχει αλλάξει δραματικά. Ένας από τους κύριους λόγους είναι το αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας στις μεθόδους καλλιέργειας. Αυτή η εργασία εισάγει την υδροπονία ως μια πρωτοποριακή και απίστευτα αποτελεσματική γεωργική τεχνική, ενώ ταυτόχρονα εξετάζει τον επαναστατικό ρόλο που παίζει η τεχνολογία στη σύγχρονη γεωργία και τη θεμελιώδη σημασία της γεωργίας.

1.2 Η σημασία της γεωργίας

Η σημασία της γεωργίας για την ανθρώπινη κοινωνία δεν μπορεί να τονιστεί. Είναι η κύρια πηγή παραγωγής τροφίμων, προμηθεύοντας δισεκατομμύρια ανθρώπους με τροφή σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, η γεωργία συμβάλλει στην οικονομική σταθερότητα, την απασχόληση και το εμπόριο, διαμορφώνοντας έτσι την ευημερία των εθνών. Η γεωργία, πέρα από την παροχή τροφίμων για ανθρώπους και ζώα, προσφέρει ακατέργαστους πόρους σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων σε εκείνους των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, των βιοκαυσίμων, των οικοδομικών υλικών, των φυσικών λιπασμάτων, των βιοδιασπώμενων προϊόντων και των φαρμακευτικών προϊόντων.

Η γεωργία έχει υποστεί πολυάριθμους μετασχηματισμούς σε όλη την ιστορία. Για πολλά χρόνια, κυριαρχούσαν οι παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές, που χαρακτηρίζονται από τη χειρωνακτική εργασία και τη μικρή χρήση της τεχνολογίας. Αλλά καθώς οι πληθυσμοί αυξάνονταν και η αστικοποίηση επιταχύνθηκε, το ίδιο αυξήθηκε και η ζήτηση για παραγωγή τροφίμων. Αυτή η απαίτηση, μαζί με τις ανησυχίες για το περιβάλλον και την ανάγκη για βιώσιμες μεθόδους καλλιέργειας, ώθησαν την ενσωμάτωση της χρήσης της τεχνολογίας στη γεωργία.

1.3 Δήλωση Προβλήματος και στόχοι - Αναγνώριση εμποδίων στη Σύγχρονη Υδροπονική Γεωργία

Η σύγχρονη υδροπονική γεωργία είναι μια νέα και αποτελεσματική μέθοδος καλλιέργειας. Ωστόσο, καθώς αυτή η τεχνολογία αιχμής κερδίζει δημοτικότητα στην κάλυψη των διευρυνόμενων απαιτήσεων της βιώσιμης παραγωγής τροφίμων, εισάγει επίσης ένα νέο σύνολο ζητημάτων που πρέπει να εξεταστούν και να επιλυθούν διεξοδικά. Για να παράσχει μια πλήρη αντίληψη των προκλήσεων που υπάρχουν, αυτή η ενότητα εξετάζει τις κύριες προβληματικές περιοχές της τρέχουσας υδροπονικής γεωργίας. Οι στόχοι αυτής της διατριβής είναι να διερευνήσει, να αναλύσει και να δώσει απαντήσεις στα ζητήματα της τρέχουσας υδροπονικής γεωργίας, καθώς και να προσφέρει μια εικόνα για τον σχεδιασμό και τη δημιουργία ενός συστήματος υδροπονίας. Αυτή η έρευνα σκοπεύει να συμβάλει στην πρόοδο και την ευρεία υιοθέτηση της υδροπονίας ως βιώσιμης και

αποτελεσματικής μεθόδου παραγωγής καλλιεργειών αντιμετωπίζοντας πλήρως αυτές τις ανησυχίες. Οι ακόλουθοι στόχοι καθορίζουν τους κύριους τομείς έμφασης της μελέτης:

1.3.1 Βελτιστοποίηση και απόδοση πόρων

Μία από τις πιο προκλητικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν όλοι οι τομείς παραγωγής είναι η μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης χρήσης των πόρων. Το ίδιο και η υδροπονική γεωργία, με στόχο την μέγιστη εκμετάλλευση των κύριων συστατικών που χρησιμοποιούνται σε αυτή, του νερού και των θρεπτικών ουσιών.

Ενώ τα υδροπονικά συστήματα διακρίνονται για τη χρήση λιγότερου νερού σε σχέση με την παραδοσιακή γεωργία βασιζόμενη στο έδαφος, η διατήρηση επαρκών επιπέδων λιπασμάτων και η αποφυγή των διατροφικών ανισορροπιών παραμένουν σημαντικές, δύσκολες εργασίες. Η εξισορρόπηση της αποδοτικότητας των πόρων με παράλληλη διασφάλιση της υγιούς ανάπτυξης των φυτών είναι ένα περίπλοκο έργο που απαιτεί προσεκτική παρακολούθηση και έλεγχο.

1.3.2 Ενοποίηση τεχνολογίας

Τα επιτυχημένα συστήματα υδροπονίας απαιτούν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things ή IoT), ο αυτοματισμός και η τηλεπισκόπηση. Η πολυπλοκότητα της ενσωμάτωσης αυτών των τεχνολογιών, η διασφάλιση της ποιότητας και η προσφορά φιλικών προς τον χρήστη διεπαφών, μπορεί να είναι τρομακτική. Το να ξεπεράσουμε αυτά τα τεχνολογικά εμπόδια είναι ζωτικής σημασίας για να αποκομίσουμε τα πλήρη οφέλη της υδροπονικής γεωργίας.

1.3.3 Βιωσιμότητα και περιβαλλοντικός αντίκτυπος

Ενώ η υδροπονία μειώνει την ανάγκη για χημικά φυτοφάρμακα και λιπάσματα, εξακολουθούν να υπάρχουν ανησυχίες για την κατανάλωση ενέργειας, τη διαχείριση των απορριμμάτων και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της γεωργίας ελεγχόμενου περιβάλλοντος. Πρέπει να αντιμετωπιστεί η δυσκολία επίτευξης ισορροπίας μεταξύ της έντονης γεωργικής παραγωγής και των μέτρων φιλικών προς το περιβάλλον.

1.3.4 Προκλήσεις ειδικών απαιτήσεων για τις καλλιέργειες

Οι διαφορετικές καλλιέργειες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε ένταση και χρονοδιάγραμμα φωτός, θερμοκρασία, υγρασία και θρεπτικά συστατικά. Η προσαρμογή των συστημάτων υδροπονίας για την υποστήριξη μιας ποικιλίας καλλιεργειών με αποτελεσματικό και οικονομικά αποδοτικό τρόπο είναι ένα δύσκολο έργο. Για να βελτιωθούν οι συνθήκες καλλιέργειας για πολλά είδη φυτών, το έργο απαιτεί μελέτη και καινοτομία. Κομμάτι της σχεδίασης θα περιλαμβάνει την τμηματοποίηση.

1.3.5 Πληροφορίες και κενό δεξιοτήτων

Η υδροπονία απαιτεί συγκεκριμένες ικανότητες και πληροφορίες που δεν διαθέτουν όλοι οι αγρότες. Ένα τεράστιο πρόβλημα που αδιαμφισβήτητα απαιτεί

γεφύρωση είναι το χάσμα γνώσης. Είναι απαραίτητη προϋπόθεση να διασφαλιστεί ότι οι επαγγελματίες έχουν την απαραίτητη εμπειρία για να λειτουργούν σωστά τα υδροπονικά συστήματα.

1.3.6 Οικονομική βιωσιμότητα

Το αρχικό κόστος της δημιουργίας υδροπονικών εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων σε τεχνολογία και εξοπλισμό, μπορεί να είναι σημαντικό. Είναι μόνιμο πρόβλημα η εξασφάλιση της ορθής οικονομικής σκοπιμότητας της δημιουργίας συστήματος υδροπονικής γεωργίας, ιδιαίτερα για τους γεωργούς μικρής κλίμακας και για αναπτυσσόμενους αγρότες.

1.3.7 Ανησυχίες σχετικά με τη ρύθμιση και την πιστοποίηση

Το ρυθμιστικό περιβάλλον για την υδροπονία και άλλα συστήματα ανάπτυξης χωρίς έδαφος, αλλάζει. Η πλοήγηση στα ρυθμιστικά πλαίσια, η απόκτηση πιστοποιήσεων και η διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα πρότυπα ασφάλειας των τροφίμων μπορεί να είναι δύσκολη διαδικασία για τους υδροπονικούς αγρότες.

1.3.8 Ζήτηση αγοράς και αντίληψη του πελάτη

Είναι κρίσιμο να ικανοποιηθεί η ζήτηση της αγοράς για υδροπονικά καλλιεργούμενα προϊόντα καθώς και να ληφθούν υπόψη οι απόψεις και οι προτιμήσεις των πελατών σχετικά με την υδροπονική γεωργία. Οι υδροπονικοί καλλιεργητές αντιμετωπίζουν εμπόδια από μεταβλητές της αγοράς όπως ο ανταγωνισμός με την παραδοσιακή γεωργία, η τιμολόγηση και η έλλειψη ορθής πληροφόρησης των καταναλωτών σχετικά με την καινοτομική αυτή πρακτική.

Συνοψίζοντας, η σύγχρονη υδροπονική γεωργία παρέχει τεράστια υπόσχεση για μακροπρόθεσμη και αποτελεσματική παραγωγή τροφίμων με μικρό έως ελάχιστο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Ωστόσο, η αντιμετώπιση των προαναφερθέντων δυσκολιών είναι κρίσιμη για την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού του. Αυτή η διατριβή θα διερευνήσει αυτά τα ζητήματα σε βάθος και θα προσφέρει πρακτικές απαντήσεις προκειμένου να συμβάλει στην πρόοδο και την ευρεία υιοθέτηση της υδροπονικής γεωργίας ως κρίσιμο συστατικό των μελλοντικών συστημάτων τροφίμων.

1.4 Εκσυγχρόνιση της Γεωργίας και Υδροπονία

Διαχρονικά, η τεχνολογία έχει μεταμορφώσει τη γεωργία με διάφορους τρόπους, όπως:

1.4.1 Μηχανοποίηση

Η εκμηχάνιση της γεωργίας ήταν και είναι μια μετατόπιση, άξια παραδείγματος, από τις παραδοσιακές έντονες γεωργικές εργασίες σε μια εξαιρετικά αποδοτική και τεχνολογικά καθοδηγούμενη προσέγγιση. Η εκμηχάνιση μειώνει το φυσικό φόρτο εργασίας των αγροτών ενώ αυξάνει τη δυνατότητα των γεωργικών δραστηριοτήτων εισάγοντας μηχανήματα όπως τρακτέρ, θεριζοαλωνιστικές μηχανές και εξοπλισμό οργώματος. Αυτές οι

συσκευές όχι μόνο βελτιώνουν την ταχύτητα και την ακρίβεια εργασιών όπως η φύτευση, η συγκομιδή και η προετοιμασία του εδάφους, αλλά έχουν επίσης ως αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Η μηχανοποίηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη πραγματοποίηση της ακρίβειας της γεωργίας, καθώς επιτρέπει την ενσωμάτωση της τεχνολογίας, όπως GPS και αισθητήρων, δημιουργώντας δυνατότητα για τον ακριβή έλεγχο του βάθους φύτευσης, της απόστασης των σπόρων και της εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Επιπλέον, η μηχανοποίηση βοηθά τις προσπάθειες βιωσιμότητας μειώνοντας τη σπατάλη πόρων, όπως η χρήση καυσίμων, καθώς ενισχύει την υγεία της καλλιέργειας.

Συνολικά, η μηχανοποίηση έχει γίνει βασικό συστατικό της σύγχρονης γεωργίας, αυξάνοντας την παραγωγή, ενισχύοντας την επισιτιστική ασφάλεια και ανοίγοντας το δρόμο για νέες γεωργικές πρακτικές, όπως η υδροπονία.

1.4.2 Βιοτεχνολογία

Η βιοτεχνολογία βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της σύγχρονης γεωργίας, αλλάζοντας τις μεθόδους καλλιέργειας και παραγωγής τροφίμων. Οι βιοτεχνολόγοι έχουν αναπτύξει γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες με βελτιωμένα χαρακτηριστικά όπως αντοχή σε παράσιτα, ασθένειες και περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, καθώς και βελτιωμένο θρεπτικό περιεχόμενο, μέσω γενετικής μηχανικής. Αυτές οι γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν τις αποδόσεις, να ελαχιστοποιήσουν τη χρήση χημικών φυτοφαρμάκων και να λύσουν τα διατροφικά ελλείμματα στα βασικά τρόφιμα, βελτιώνοντας έτσι την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια.

Επιπρόσθετα, η βιοτεχνολογία έχει αυξήσει την κατανόησή μας για τη βιολογία των φυτών, επιτρέποντας την ανάπτυξη νέων τεχνικών αναπαραγωγής όπως το CRISPR-Cas9, που επιτρέπει την ακριβή επεξεργασία γονιδίων και την ανάπτυξη νέων τύπων καλλιεργειών με επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Καθώς αντιμετωπίζουμε ζητήματα όπως τη κλιματική αλλαγή και τον αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό, η βιοτεχνολογία συνεχίζει να διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό του μέλλοντος της γεωργίας, παρέχοντας βιώσιμες λύσεις για τη διατροφή του πλανήτη, μετριάζοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

1.4.3 Τηλεπισκόπηση

Η τεχνολογία τηλεπισκόπησης είναι ζωτικής σημασίας στη γεωργία, αλλά κυριότερα στη σύγχρονη υδροπονία επειδή παρέχει ένα κρίσιμο επίπεδο πληροφοριών για την καλλιέργεια ακριβείας. Η τηλεπισκόπηση είναι εξαιρετικά ευεργετική και για τα υδροπονικά συστήματα, τα οποία βασίζονται σε υδάτινα διαλύματα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά αντί για το έδαφος. Επιτρέπει την παρακολούθηση σημαντικών παραγόντων σε πραγματικό χρόνο, όπως τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών, τα επίπεδα οξύτητας ή βασικότητας του περιβάλλοντος (pH), της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της έντασης και των χρονοπεριόδων του φωτός.

Οι πολυφασματικές και υπέρυθρες κάμερες, οι οποίες μπορούν να είναι τοποθετημένες ακόμη και σε drones, συλλέγουν εικόνες υδροπονικών εγκαταστάσεων και

όχι μόνο, επιτρέποντας στους αγρότες να ελέγχουν την υγεία των καλλιεργειών, να εντοπίζουν παράγοντες άγχους και να εντοπίζουν ανωμαλίες το συντομότερο δυνατό. Επιπλέον, οι επίγειοι αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε υδροπονικές εγκαταστάσεις συλλέγουν δεδομένα συνεχώς, τα οποία, όταν συνδυάζονται με δεδομένα τηλεπισκόπησης, επιτρέπουν στους αγρότες να τελειοποιήσουν τις τακτικές παραγωγής τους.

Η τηλεπισκόπηση είναι αναπόσπαστο κομμάτι της υδροπονίας. Μέσω αυτής μαζεύονται δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια επεξεργάζονται και ανάλογα με τους παράγοντες που έχουν τεθεί, αντιδρά το σύστημα με σκοπό την επίτευξη των προκαθορισμένων στόχων.

Κεφάλαιο 2 - Εισαγωγή στην Υδροπονία ως Νέα Μέθοδος Γεωργίας

Αν και δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι η τεχνολογία έχει βελτιώσει την παραδοσιακή γεωργία, έχει επίσης ανοίξει την πόρτα για εντελώς νέες μεθόδους καλλιέργειας, όπως η υδροπονία ή η αεροπονία. Τα υδροπονικά συστήματα είναι μηχανές ακριβείας και βελτιστοποίησης. Ως μέσο καλλιέργειας, αντί του εδάφους γίνεται χρήση διαλυμάτων νερού πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά. Η τεχνολογία επιβλέπει και προσαρμόζει τη λειτουργία του συστήματος.

Η αστική γεωργία είναι πλέον μια βιώσιμη εναλλακτική λύση λόγω καινοτόμων τεχνικών κάθετης γεωργίας που ενισχύουν την αποδοτικότητα του χώρου και των πόρων. Η υδροπονία σηματοδοτεί μια αλλαγή αξία παραδείγματος στη γεωργία. Αυτή η νέα προσέγγιση έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

2.1 Αποδοτικότητα πόρων

Επειδή η υδροπονία ανακυκλώνει νερό και θρεπτικά συστατικά, χρησιμοποιεί σημαντικά λιγότερο νερό από τη συμβατική γεωργία που βασίζεται στο έδαφος. Σε σύγκριση με τις τυπικές προσεγγίσεις, αυτή η στρατηγική μπορεί να εξοικονομήσει έως και το 90% του νερού. Αυτό το καθιστά ιδιαίτερα δελεαστικό σε περιοχές με έλλειψη νερού.

Τα υδροπονικά συστήματα επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο της παροχής θρεπτικών ουσιών απευθείας στις ρίζες των φυτών. Έτσι, παρέχεται στα φυτά μια βέλτιστη διατροφική ισορροπία διασφαλίζοντας τις καλύτερες δυνατές συνθήκες ανάπτυξης. Αυτή η αποτελεσματικότητα όχι μόνο αυξάνει την ανάπτυξη των φυτών αλλά μειώνει επίσης τη ζήτηση για επιπλέον λίπασμα, μειώνοντας την περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Η υδροπονία επιτρέπει επίσης την παραγωγή όλο το χρόνο σε ελεγχόμενο περιβάλλον, ανεξάρτητα από τον καιρό έξω, παράγοντας αξιόπιστες συγκομιδές. παρέχει στα φυτά μια βέλτιστη διατροφική ισορροπία.

Τα υδροπονικά συστήματα, ιδιαίτερα η κάθετη γεωργία, κάνουν βέλτιστη χρήση του χώρου. Ο αντίκτυπος στη γεωργία μειώνεται σημαντικά όταν οι καλλιέργειες αναπτύσσονται κάθετα σε στοιβαγμένα στρώματα. Δεδομένου ότι σχεδόν το 40% της έκτασης της γης είναι καλλιέργειες, ένας μπορεί μόνο να φανταστεί τις προοπτικές που θα

είχε η εφαρμογή κάθετης καλλιέργειας, εκμεταλλευόμενη πλέον και το ύψος, όχι μόνο την επιφάνεια του χώρου.

2.2 Μειωμένη ζήτηση για φυτοφάρμακα

Ένα σημαντικό ακόμη πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η μειωμένη ανάγκη για φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα. Ο έλεγχος παρασίτων και ασθενειών στην παραδοσιακή γεωργία βασίζεται συχνά σε χημικές παρεμβάσεις, οι οποίες μπορεί να έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να θέτουν κινδύνους για την υγεία. Η υδροπονία, από την άλλη πλευρά, είναι μια πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος.

Συνήθως, τα υδροπονικά συστήματα καλλιεργούνται σε ελεγχόμενες συνθήκες, όπως θερμοκήπια ή εσωτερικές εγκαταστάσεις. Αυτά τα ελεγχόμενα περιβάλλοντα μειώνουν την έκθεση των καλλιεργειών σε εξωτερικά παράσιτα και ασθένειες, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για χημικές επεξεργασίες. Επίσης, το γεγονός ότι τα φυτά δεν περνάνε καθόλου χρόνο στο χώμα, μειώνει την πρόσβαση σε αυτά από ένα μεγάλο ποσοστό παρασίτων.

Στην υδροπονική γεωργία, ο βιολογικός έλεγχος παρασίτων και η ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων χρησιμοποιείται ευρέως. Εισάγονται ωφέλιμα έντομα και πλάσματα για να αντιμετωπίσουν φυσικά παράσιτα. Επειδή αυτή η βιολογική προσέγγιση μειώνει τη χρήση συνθετικών χημικών ουσιών, η υδροπονία είναι μια περιβαλλοντικά υπεύθυνη επιλογή.

Η στενή παρακολούθηση και ο έλεγχος βάσει δεδομένων επιτρέπουν, μεταξύ άλλων πραγμάτων, την έγκαιρη διάγνωση προβλημάτων παρασίτων και ασθενειών. Τα γρήγορα μέτρα, όπως οι στοχευμένες παρεμβάσεις, μπορούν να σταματήσουν την εξάπλωση των προσβολών και να μειώσουν την ανάγκη για δαπανηρές χημικές επεξεργασίες.

Συμπερασματικά, ο κρίσιμος ρόλος της γεωργίας στην κοινωνία, σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας και την άνοδο δημιουργικών μεθόδων όπως η υδροπονία, υπογραμμίζει τη σημασία της συνεχούς έρευνας και καινοτομίας στον τομέα της γεωργίας. Αυτές οι βελτιώσεις είναι κρίσιμες όχι μόνο για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης τροφίμων στον κόσμο, αλλά και για την αντιμετώπιση θεμάτων βιωσιμότητας και τη διαφύλαξη του μέλλοντος της γεωργίας σε έναν όλο και πιο περίπλοκο και συνδεδεμένο κόσμο. Αυτή η εργασία υπογραμμίζει τις επαναστατικές δυνατότητες της υδροπονίας στην προώθηση της βιώσιμης και περιβαλλοντικά υπεύθυνης γεωργίας.

2.3 Οικονομική βιωσιμότητα

2.3.1 Οικονομικά οφέλη

Η υδροπονική καλλιέργεια είναι ένα ελκυστικό επιχειρηματικό μοντέλο, λόγω της δυνατότητας για υψηλότερες αποδόσεις σε σημαντικά λιγότερο χώρο από την παραδοσιακή γεωργία με βάση το έδαφος. Αυτή η αποτελεσματικότητα μεταφράζεται άμεσα σε υψηλότερη κερδοφορία για τους αγρότες και τους καλλιεργητές.

Τα υδροπονικά συστήματα καθώς είναι μηχανές ακριβείας και βελτιστοποίησης, καθιστούν τα φυτά να ευδοκιμούν σε ελεγχόμενες συνθήκες με εξειδικευμένη παροχή θρεπτικών συστατικών και ενισχυμένη παρακολούθηση. Αυτό οδηγεί συχνά σε ταχύτερη

ανάπτυξη και μεγαλύτερες γεωργικές αποδόσεις. Οι αγρότες μπορούν να συγκεντρώσουν περισσότερα προϊόντα με μικρότερο αποτύπωμα, αυξάνοντας την κερδοφορία μακροπρόθεσμα.

Η συνοχή της καλλιέργειας ενισχύεται από προβλέψιμες συνθήκες καλλιέργειας και χαμηλή έκθεση σε εξωτερικές περιβαλλοντικές επιδράσεις. Αυτή η αξιοπιστία είναι επωφελής για τους αγρότες επειδή παρέχει μια σταθερή προσφορά προϊόντων υψηλής ποιότητας που μπορούν να πωληθούν σε κορυφαίες τιμές.

Δεδομένου ότι τα υδροπονικά συστήματα με αυτοματοποιημένη παροχή θρεπτικών ουσιών απαιτούν λιγότερη φυσική εργασία, το λειτουργικό κόστος μειώνεται.

Ένα από τα οικονομικά οφέλη της υδροπονίας είναι η δυνατότητά της να μειώνει τις τιμές των εισροών. Αρκετές μεταβλητές συμβάλλουν στη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, σαν μερικούς παράγοντες που προαναφέρθηκαν όπως η αποδοτικότητα νερού, ακριβής παροχή θρεπτικών συστατικών και μείωση φυτοφαρμάκων. Τα υδροπονικά συστήματα δεδομένου ότι χρησιμοποιούν σύστημα νερού κλειστού βρόχου, μειώνει δραματικά την κατανάλωση νερού έως και 90% σε σχέση με τις κλασικές καλλιέργειες. Οι αγρότες μπορούν να ανακαταλείψουν πόρους αλλού όταν μειώνονται οι δαπάνες τους για νερό. Επίσης, αποφεύγοντας την ανάγκη για περιττά λιπάσματα και χημικά φυτοφάρμακα, σημαίνει χαμηλότερο κόστος εισροών, εξοικονομώντας στον καλλιεργητή χρήματα.

2.3.2 Ζήτηση στην αγορά

Τα φρέσκα λαχανικά τοπικής καλλιέργειας εκτιμώνται ιδιαίτερα στη σημερινή καταναλωτική αγορά. Αυτή η ζήτηση καλύπτεται απόλυτα από την υδροπονική γεωργία, ιδιαίτερα στις μητροπολιτικές αγορές.

Οι υδροπονικές φάρμες μπορεί να ευδοκιμήσουν σε αστικές περιοχές, φέρνοντας τα φρέσκα λαχανικά πιο κοντά στους καταναλωτές. Οι κάτοικοι της πόλης προτιμούν προϊόντα τοπικής καλλιέργειας χωρίς φυτοφάρμακα, δημιουργώντας μια εξειδικευμένη αγορά για υδροπονικές εργασίες. Η εξειδικευμένη αγορά αυξάνει τη κερδοφορία.

Ακριβώς επειδή η υδροπονία επιτρέπει την καλλιέργεια όλο το χρόνο, οι παραγωγοί μπορούν να ανταποκριθούν στη σταθερή ζήτηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές με σκληρούς χειμώνες ή σύντομες περιόδους ανάπτυξης. Η σταθερή ζήτηση προσφέρει μια οικονομική ασφάλεια στον παραγωγό.

Καθώς οι καταναλωτές συνειδητοποιούν περισσότερο τα ζητήματα βιωσιμότητας, είναι πιο πιθανό να υποστηρίξουν φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες γεωργίας, όπως η υδροπονία. Ο χαμηλότερος περιβαλλοντικός αντίκτυπος ωθεί τη ζήτηση της αγοράς ακόμη περισσότερο.

2.3.3 Αρχικό κόστος εγκατάστασης

Ενώ η υδροπονική γεωργία έχει σημαντικά μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα αρχικά έξοδα εγκατάστασης, τα οποία μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του συστήματος.

Η κατασκευή μιας υδροπονικής φάρμας απαιτεί επενδύσεις σε υποδομές, όπως θερμοκήπια, συστήματα κλιματισμού και συστήματα άρδευσης. Αυτά τα αρχικά κόστη μπορεί να είναι σημαντικά, ειδικά για μεγαλύτερες εμπορικές εταιρείες.

Ένα μεγάλο ποσοστό της αρχικής επένδυσης δαπανάται σε εξειδικευμένο υδροπονικό εξοπλισμό, όπως συστήματα παροχής θρεπτικών ουσιών, φώτα καλλιέργειας, αισθητήρες και συσκευές παρακολούθησης. Η πολυπλοκότητα αυτών των τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει το συνολικό κόστος.

Απαιτείται επαρκής εκπαίδευση για τους ανθρώπους να λειτουργούν και να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τα υδροπονικά συστήματα. Ο αρχικός προϋπολογισμός θα πρέπει να περιλαμβάνει τις χρεώσεις εργασίας για την εγκατάσταση και τη συνεχή λειτουργία, καθώς και χρεώσεις εκπαίδευσης και εξειδίκευσης.

Ένα άλλο αρχικό κόστος είναι η αγορά σπόρων υψηλής ποιότητας και οι αρχικές προμήθειες λιπασμάτων. Για να διασφαλιστεί ένα καλό ξεκίνημα, είναι κρίσιμο να επενδυθούν εισροές υψηλής ποιότητας.

Κατά τη φάση του σχεδιασμού και της εγκατάστασης, πολλές υδροπονικές επιχειρήσεις αναζητούν συμβουλές και εμπειρογνωμοσύνη. Η πρόσληψη επαγγελματιών αυξάνει το αρχικό κόστος αλλά αυξάνει τις πιθανότητες μιας επιτυχημένης επιχείρησης.

Ενώ τα αρχικά έξοδα εγκατάστασης ενός υδροπονικού συστήματος μπορεί να είναι υψηλά, συχνά καλύπτονται από τα μακροπρόθεσμα οφέλη της βελτιωμένης απόδοσης, της αποδοτικότητας των πόρων και του χαμηλότερου λειτουργικού κόστους. Επιπλέον, οι κρατικές επιχορηγήσεις, οι επιδοτήσεις και τα κίνητρα για τεχνικές βιώσιμης γεωργίας μπορεί να συμβάλουν στην αντιστάθμιση ορισμένων από αυτές τις αρχικές δαπάνες.

Για να εξετάσουν τη συνολική οικονομική βιωσιμότητα του μοναδικού τους έργου, οι υποψήφιοι υδροπονικοί αγρότες θα πρέπει να κάνουν μια πλήρη ανάλυση κόστους που να περιλαμβάνει τόσο την αρχική επένδυση όσο και τις τρέχουσες λειτουργικές δαπάνες. Ακόμη και με την αρχική οικονομική επένδυση, η μακροπρόθεσμη κερδοφορία και βιωσιμότητα της υδροπονικής γεωργίας την καθιστούν δελεαστική εναλλακτική σε πολλές περιπτώσεις.

Συνοψίζοντας, η οικονομική βιωσιμότητα της υδροπονίας είναι περίπλοκη. Συνδυάζει κερδοφορία από μεγαλύτερες αποδόσεις και σταθερή ποιότητα καλλιέργειας με χαμηλότερο κόστος εισροών από την αποδοτικότητα των πόρων και τη μειωμένη χρήση φυτοφαρμάκων. Επιπλέον, αντιστοιχεί στη ζήτηση της αγοράς για φρέσκα, τοπικά καλλιεργούμενα και βιώσιμα προϊόντα, ειδικά στις αστικές περιοχές. Ενώ το αρχικό κόστος μπορεί να είναι ανεβασμένο, αυτά τα χαρακτηριστικά, μαζί, αναδεικνύουν τις ευήμερες οικονομικές δυνατότητες της υδροπονικής γεωργίας.

Κεφάλαιο 3 - Αυτοματισμός και IoT στην Υδροπονία

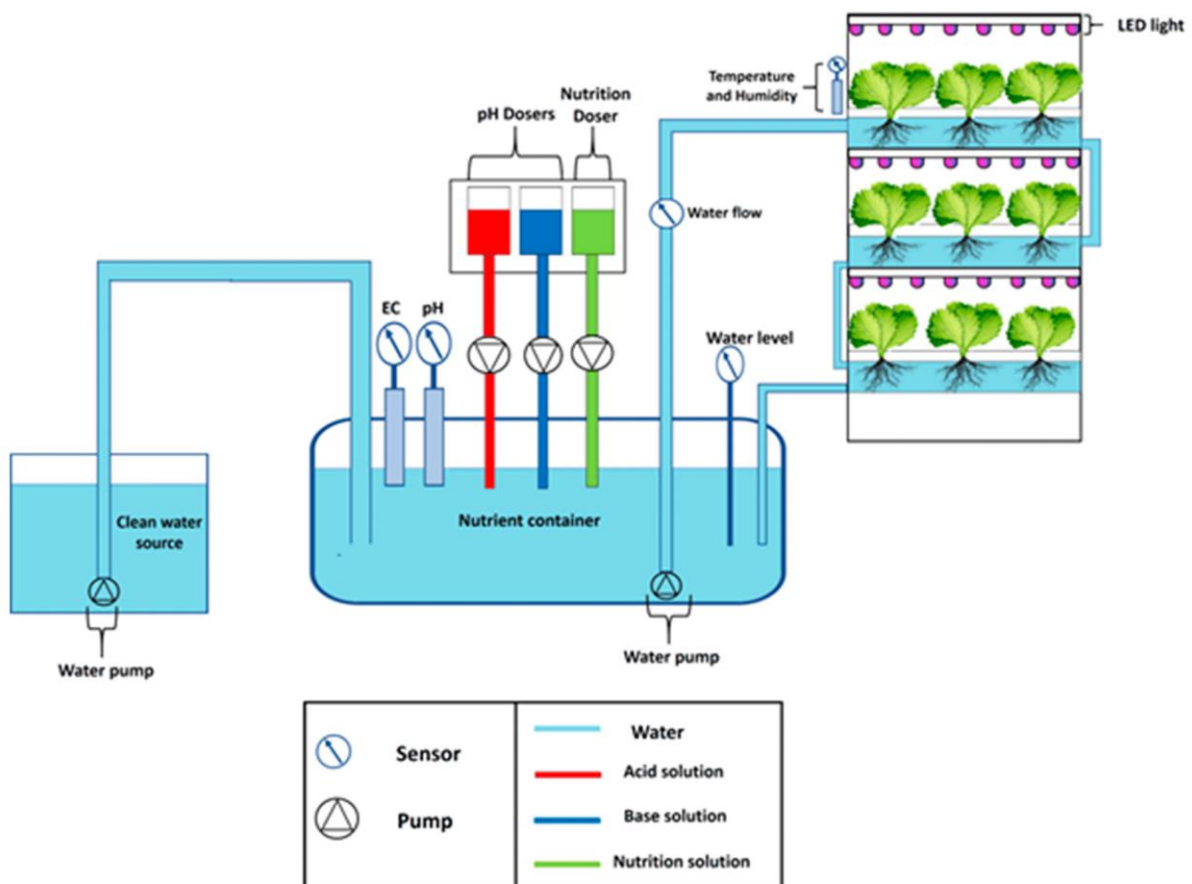
Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και οι τεχνολογίες αυτοματισμού έχουν αναδειχθεί ως επαναστατικές δυνάμεις στη σύγχρονη γεωργία, με την υδροπονία στην πρωτοπορία αυτής της γεωργικής επανάστασης. Ο αυτοματισμός και το IoT συνδυάζονται

στον τομέα της υδροπονίας για να επαναπροσδιορίσουν την αποδοτικότητα των πόρων, τη βιωσιμότητα και την παραγωγή. Σε αυτές τις τεχνολογίες χρησιμοποιούνται προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία, ισχυρά δίκτυα αισθητήρων και εξελιγμένα συστήματα ελέγχου για τη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων, την παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών και τη διατήρηση τέλειων συνθηκών ανάπτυξης. Επιπλέον, οι διαχειριστές αγροκτημάτων έχουν πλέον, άνευ προηγουμένου, έλεγχο στα υδροπονικά τους συστήματα χάρη στις δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης. Αυτή η απρόσκοπτη ενοποίηση ανθρώπινων δεξιοτήτων και τεχνολογικής ικανότητας όχι μόνο βελτιώνει τη διαχείριση των πόρων, αλλά καθιερώνει επίσης την υδροπονία ως μια κρίσιμη λύση για τη βιώσιμη και ελεγχόμενη γεωργία στο περιβάλλον. Έχει, επίσης, μειωθεί δραστικά η ανάγκη για χειρωνακτική εργασία ενώ έχει αυξηθεί η παραγωγή της φάρμας.

Καθώς αντιμετωπίζονται ζητήματα κόστους και ασφάλειας δεδομένων, το μέλλον της γεωργίας έγκειται στη συνεχή ενσωμάτωση της τεχνολογίας AI, blockchain και 5G, η οποία υπόσχεται ακόμη υψηλότερη απόδοση και βιωσιμότητα στα συστήματα παραγωγής τροφίμων στον κόσμο.

Ο αυτοματισμός και η ενσωμάτωση του IoT δημιουργούν ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον, όπου η ακρίβεια και η βιωσιμότητα είναι το κλειδί.

Στη παρακάτω εικόνα προβάλλεται οπτικά ένα απλό σύστημα υδροπονίας.



Εικόνα 1

3.1 Προγνωστική Ανάλυση

Η προγνωστική ανάλυση είναι ζωτικής σημασίας στον τομέα της υδροπονίας, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τη συλλογή πληροφοριών που βασίζονται σε δεδομένα. Τα υδροπονικά συστήματα μπορούν να εφαρμόσουν αλγόριθμους μηχανικής εκμάθησης για να κατανοήσουν σε βάθος τη δυναμική των πόρων κάνοντας κατάδυση σε αρχεία ιστορικών δεδομένων, μελετώντας εισόδους αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και παρατηρώντας προσεκτικά τις αποκρίσεις των εγκαταστάσεων. Αυτοί οι αλγόριθμοι, οι οποίοι είναι εμποτισμένοι με χαρακτηριστικά τεχνητής νοημοσύνης, μπορούν όχι μόνο να αναλύσουν τη σημασία των αριθμών, αλλά και να αναγνωρίσουν διακριτικά μοτίβα και αναδυόμενες τάσεις. Για παράδειγμα, εάν το σύστημα ανιχνεύσει μια σταθερή πτώση θερμότητας κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων φάσεων της ημέρας, μπορεί να οργανώσει προληπτικά προσαρμογές με ακρίβεια στα προγράμματα θέρμανσης, διασφαλίζοντας ότι οι καλλιέργειες αναπτύσσονται στο περιβάλλον που χρειάζονται.

Αυτή η πρόβλεψη χρησιμεύει ως βασικός λίθος στην ενορχήστρωση της κατανομής των υδροπονικών πόρων, θέτοντας τις βάσεις για τη βέλτιστη χρήση των πόρων, η οποία προάγει την επιτυχία και τη βιωσιμότητα της υδροπονικής καλλιέργειας.

Συνοπτικά, η προγνωστική ανάλυση παρέχει στους επαγγελματίες υδροπονίας μια προνοητική άποψη, επιτρέποντάς τους να παραμείνουν ένα βήμα μπροστά από τις απαιτήσεις της καλλιέργειας, με αποτέλεσμα πλούσιες συγκομιδές και εξασφάλιση πόρων.

3.2 Τεχνολογία αισθητήρων

Η τεχνολογία αισθητήρων διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στα υδροπονικά συστήματα, καθώς το παραδοσιακό έδαφος αντικαθίσταται από αδρανή υλικά καλλιέργειας. Αυτοί οι εξειδικευμένοι αισθητήρες λειτουργούν ως μάτια και αυτιά του συστήματος, παρακολουθώντας συνεχώς κρίσιμους παράγοντες με σκοπό την αποτελεσματική ανάπτυξη των φυτών. Η τεχνολογία αισθητήρων στην υδροπονία, στην ουσία, μετατρέπει τη διαχείριση των πόρων σε μια καλά συντονισμένη ορχήστρα. Οι αισθητήρες θρεπτικών διαλυμάτων διασφαλίζουν ότι τα φυτά λαμβάνουν ακριβώς αυτό που χρειάζονται, όταν το χρειάζονται. Οι αισθητήρες EC αναγνωρίζουν την ανάγκη για θρεπτικές ουσίες. Οι αισθητήρες pH διασφαλίζουν ότι το περιβάλλον pH είναι κατάλληλο για απορρόφηση θρεπτικών συστατικών. Οι περιβαλλοντικοί αισθητήρες δημιουργούν το ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτών. Εάν χρησιμοποιούνται αισθητήρες ριζικής ζώνης, παρέχουν ένα επιπλέον επίπεδο γνώσης.

Αυτοί οι αισθητήρες βοηθούν σημαντικά στη διατήρηση των πόρων, τη μείωση των απορριμμάτων και τη συνολική αποδοτικότητα της υδροπονικής γεωργίας μέσω συνεχούς παρακολούθησης και γρήγορης απόκρισης.

3.2.1 Αισθητήρες θρεπτικών διαλυμάτων

Το θρεπτικό διάλυμα είναι η πηγή ζωής της ανάπτυξης των φυτών στην υδροπονία. Οι αισθητήρες θρεπτικών διαλυμάτων που μετρούν την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ή τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) είναι κρίσιμα. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών στο νερό,

διασφαλίζοντας ότι παραμένουν ακριβώς εντός του επιδιωκόμενου εύρους. Με αυτό το επίπεδο ακρίβειας, οι χειριστές υδροπονίας μπορούν να ρυθμίσουν την παροχή λιπασμάτων, αποφεύγοντας την υπερβολική λίπανση ή τα ελλείμματα θρεπτικών συστατικών.

Αυτός ο αισθητήρας λειτουργεί με την προϋπόθεση ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος είναι ευθέως ανάλογη με τη συγκέντρωση ιόντων του. Αποτελείται από πολλά ηλεκτρόδια που εισάγονται μέσα σε ένα μη αγώγιμο σώμα ανιχνευτή, συχνά κατασκευασμένο από πλατίνα ή γραφίτη. Μια μέτρια τάση τοποθετείται μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων για να δοκιμαστεί η αγωγιμότητα και μετράται το ηλεκτρικό ρεύμα που προκύπτει, το οποίο είναι ανάλογο με τη συγκέντρωση ιόντων του διαλύματος. Κρίνεται απαραίτητη η αρχική ρύθμιση (καλιμπράρισμα) με τυπικά διαλύματα, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια βάση για ακριβή αποτελέσματα. Επιπλέον, πολλοί αισθητήρες EC έχουν αντιστάθμιση θερμοκρασίας για να λάβουν υπόψη τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα ακριβείς μετρήσεις για την παρακολούθηση και τη ρύθμιση των θρεπτικών διαλυμάτων σε υδροπονικά συστήματα. Αυτοί οι αισθητήρες βελτιώνουν την αποδοτικότητα των πόρων και την υγεία των φυτών μειώνοντας τα απόβλητα και μεγιστοποιώντας τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών.

3.2.2 Αισθητήρες pH

Η διατήρηση του σωστού επιπέδου pH στο διάλυμα του λιπάσματος είναι ύψιστης σημασίας για την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών των φυτών. Οι αισθητήρες pH μετρούν συνεχώς την οξύτητα ή την αλκαλικότητα (βασικότητα) του διαλύματος. Εάν το pH πέσει εκτός του ιδανικού εύρους, αυτοί οι αισθητήρες πυροδοτούν γρήγορη διορθωτική δράση. Είτε με προσθήκη χημικών που ρυθμίζουν το pH, είτε αλλάζοντας το περιεχόμενο του θρεπτικού διαλύματος, αυτή η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο εγγυάται ότι τα φυτά λαμβάνουν τις βέλτιστες συνθήκες pH για την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Αυτό το επίπεδο ακρίβειας όχι μόνο εξοικονομεί πόρους αλλά προάγει επίσης την υγιή ανάπτυξη των φυτών.

Αυτοί οι αισθητήρες αποτελούνται από ένα μόνο ηλεκτρόδιο, το οποίο είναι ένα γυάλινο ηλεκτρόδιο, ευαίσθητο στα ιόντα υδρογόνου (H⁺). Το γυάλινο ηλεκτρόδιο παράγει μια τάση ανάλογη με τη συγκέντρωση των ιόντων H⁺ στο διάλυμα όταν βυθιστεί σε αυτό. Η ρύθμιση του αισθητήρα ολοκληρώνεται με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς, το οποίο συχνά παρέχεται με ένα διάλυμα αναφοράς όπως το χλωριούχο κάλιο. Η διαφορά τάσης μεταξύ του ηλεκτροδίου γυαλιού και του ηλεκτροδίου αναφοράς μετράται και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του pH του διαλύματος.

Η κλίμακα pH κυμαίνεται από το 0 έως το 14, με το 7 να υποδηλώνει ουδετερότητα, κάτω από 7 να δείχνει την οξύτητα και πάνω από 7 να δείχνει την αλκαλικότητα. Οι αισθητήρες pH παρέχουν μετρήσεις pH σε πραγματικό χρόνο και μετρώντας με ακρίβεια αυτή τη διαφορά τάσης, επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται τα επίπεδα pH σε ποικιλία εφαρμογών που κυμαίνονται από τη διασφάλιση επαρκών

διαλυμάτων θρεπτικών συστατικών στην υδροπονία έως την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού στην περιβαλλοντική έρευνα.

3.2.3 Περιβαλλοντικοί αισθητήρες

Αν και τα υδροπονικά συστήματα δεν απαιτούν παραδοσιακό έδαφος, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες εξακολουθούν να είναι σημαντικοί. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και επιπέδου φωτός είναι κρίσιμα στοιχεία. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας συμβάλλουν στη διατήρηση της κατάλληλης ατμόσφαιρας για την ανάπτυξη των φυτών, διασφαλίζοντας ότι τα φυτά ευδοκιμούν εντός του επιθυμητού εύρους θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες υγρασίας ελέγχουν την ποσότητα υγρασίας στον αέρα, μειώνοντας την υπερβολική διαπνοή και τα προβλήματα που σχετίζονται με την υγρασία. Οι αισθητήρες φωτός, σε συνδυασμό με τα προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού, εξοικονομούν ενέργεια αλλάζοντας τον τεχνητό φωτισμό ώστε να ταιριάζει με τα επίπεδα φυσικού φωτός. Αυτοί οι περιβαλλοντικοί αισθητήρες μαζί συμβάλλουν στην ανάπτυξη και διατήρηση ιδανικών συνθηκών καλλιέργειας.

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας, όπως τα θερμίστορ ή τα θερμοστοιχεία, ανιχνεύουν τις αλλαγές θερμοκρασίας παρακολουθώντας τις αλλαγές στην ηλεκτρική αντίσταση ή την τάση και μετατρέποντας αυτά τα δεδομένα σε εύκολα ερμηνεύσιμα ηλεκτρικά σήματα. Εν τω μεταξύ, οι αισθητήρες υγρασίας, οι οποίοι μπορεί να είναι χωρητικοί ή αντίστασης, τροποποιούν τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες σε απόκριση στα επίπεδα υγρασίας. Οι χωρητικοί αισθητήρες μετρούν την υγρασία μετρώντας τις αλλαγές χωρητικότητας μεταξύ δύο πλακών, ενώ οι αισθητήρες αντίστασης τροποποιούν την αντίσταση σε απόκριση στα επίπεδα υγρασίας, δίνοντας ακριβείς μετρήσεις υγρασίας. Οι αισθητήρες φωτός, όπως οι φωτοδιόδοι ή τα φωτοτρανζίστορ, συλλέγουν επίσης την ένταση του φωτός μετατρέποντας τα φωτόνια σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ως αποτέλεσμα, αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να αλλάξουν τον τεχνητό φωτισμό με βάση τα επίπεδα φωτισμού περιβάλλοντος, βελτιώνοντας την εξοικονόμηση ενέργειας σε διάφορες εφαρμογές.

3.2.4 Αισθητήρες ριζικής ζώνης

Οι αισθητήρες ριζικής ζώνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν προαιρετικά σε προηγμένες υδροπονικές εγκαταστάσεις. Αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται στρατηγικά για να παρακολουθούν τις συνθήκες απευθείας γύρω από τις ρίζες των φυτών. Παρέχουν ζωτικής σημασίας πληροφορίες σχετικά με την υγεία των ριζών και την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών παρακολουθώντας παραμέτρους όπως τα επίπεδα υγρασίας και η θερμοκρασία στη ζώνη της ρίζας. Αν και αυτοί οι αισθητήρες δεν είναι τυπικοί, αποδεικνύουν το επίπεδο ακρίβειας που μπορούν να επιτύχουν τα υδροπονικά συστήματα, επιτρέποντας στους καλλιεργητές να προσαρμόσουν την κατανομή των πόρων για μέγιστη απόδοση.

Οι αισθητήρες ζώνης ρίζας, οι οποίοι αρχικά δημιουργήθηκαν για γεωργία με βάση το έδαφος, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στην υδροπονία για την παρακολούθηση και τη διαχείριση των επιπέδων υγρασίας στη ζώνη ρίζας των φυτών που αναπτύσσονται στο νερό. Για να χρησιμοποιηθούν αυτοί οι αισθητήρες σε υδροπονικά

συστήματα, είναι σημαντικό να επιλεγεί ένας αισθητήρας που είναι κατάλληλος για τα μέσα καλλιέργειας, με τους αισθητήρες που βασίζονται στην χωρητικότητα να είναι καλοί για υποστρώματα χωρίς έδαφος. Μόλις εισαχθεί σωστά στο υδροπονικό μέσο, η επιλεγμένη τεχνολογία μετράει συνεχώς την περιεκτικότητα σε υγρασία. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται στη συνέχεια σε ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου, όπου αξιολογούνται και μετατρέπονται σε χρησιμοποιήσιμες μετρήσεις υγρασίας. Αυτές οι πληροφορίες υγρασίας σε πραγματικό χρόνο είναι ανεκτίμητες στην υδροπονία, καθώς επιτρέπουν στους καλλιεργητές να αυτοματοποιήσουν το σύστημα άρδευσης σύμφωνα με τα μετρούμενα επίπεδα υγρασίας. Οι αισθητήρες ζώνης ρίζας βοηθούν στη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των φυτών, στη βελτίωση της απορρόφησης θρεπτικών ουσιών και τελικά στη βελτίωση της παραγωγής. Η συνεχής συλλογή δεδομένων δίνει τη δυνατότητα στους καλλιεργητές να βελτιώσουν τις τακτικές άρδευσης, διασφαλίζοντας ότι τα φυτά λαμβάνουν τα ακριβή επίπεδα υγρασίας που απαιτούνται για υγιή ανάπτυξη.

3.2.5 Αυτοματισμός

Ο αυτοματισμός είναι κρίσιμος για τη διασφάλιση ότι τα φυτά λαμβάνουν την ακριβή ποσότητα των θρεπτικών ουσιών που χρειάζονται χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Για παράδειγμα, εάν ένας αισθητήρας ανιχνεύσει τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών που πέφτουν κάτω από το καθορισμένο εύρος, το σύστημα αυτοματισμού μπορεί να ξεκινήσει αμέσως την παροχή θρεπτικών ουσιών, αποτρέποντας τις ελλείψεις θρεπτικών συστατικών. Ομοίως, εάν περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία ή η υγρασία αποκλίνουν από το σωστό εύρος, τα αυτόματα χειριστήρια μπορούν να κάνουν τροποποιήσεις σε πραγματικό χρόνο για να διατηρήσουν το καλύτερο περιβάλλον ανάπτυξης. Το θέμα του αυτοματισμού θα αναπτυχθεί περισσότερο παρακάτω.

3.3 Τηλεπαρακολούθηση και ο έλεγχος

Βασικό συστατικό της σύγχρονης υδροπονικής γεωργίας είναι η τηλεπαρακολούθηση και ο έλεγχος, ο οποίος καθίσταται δυνατός από τις επαναστατικές δυνατότητες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Αυτή η τεχνολογία αιχμής παρέχει στους ιδιοκτήτες αγροκτημάτων πρόσβαση άνευ προηγουμένου στα υδροπονικά τους συστήματα, ανεξάρτητα από τη φυσική τους θέση. Οι υδροπόνοι μπορούν εύκολα να έχουν πρόσβαση σε έναν θησαυρό δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο, μέσω εύχρηστων εφαρμογών smartphone ή πλατφορμών που βασίζονται στο cloud, παρέχοντας μια λεπτομερή εικόνα των συνθηκών περιβάλλοντος, των επιπέδων θρεπτικών συστατικών και της υγείας των φυτών στις καλλιέργειές τους.

Αυτή η απομακρυσμένη προσβασιμότητα σηματοδοτεί μια νέα εποχή υδροπονικής αντιδραστικότητας και προσαρμοστικότητας. Έστω μια απροσδόκητη αύξηση της θερμοκρασίας απειλεί να διαταράξει τη λεπτή ισορροπία σε μια υδροπονική εγκατάσταση. Η γρήγορη και ακριβής δράση απέχει λίγα μόνο κλικ με την απομακρυσμένη παρακολούθηση με δυνατότητα IoT. Τα θρεπτικά διαλύματα μπορούν να τροποποιηθούν γρήγορα, εξοικονομώντας απόβλητα και ενισχύοντας την υγεία των φυτών. Οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να ενεργοποιήσουν εξ αποστάσεως μέτρα ψύξης,

αποκαθιστώντας τέλειες συνθήκες καλλιέργειας το συντομότερο δυνατό. Αυτή η ικανότητα παρέμβασης σε πραγματικό χρόνο, ακόμη και από απόσταση, παρέχει σημαντική βελτίωση στην αποτελεσματικότητα και παραγωγικότητα της καλλιέργειας.

Η τηλεπαρακολούθηση και ο έλεγχος, ουσιαστικά, έχουν γίνει το θεμέλιο πάνω στο οποίο οικοδομείται η ευελιξία, η αποτελεσματικότητα και η βιωσιμότητα της σύγχρονης υδροπονικής γεωργίας, επιτρέποντας στους παραγωγούς να χειρίζονται τις δυσκολίες με κομψότητα εξασφαλίζοντας παράλληλα άφθονες αποδόσεις.

Για την προώθηση της απρόσκοπτης επικοινωνίας μεταξύ του υδροπονικού συστήματος και του χρήστη, η απομακρυσμένη παρακολούθηση στην υδροπονία βασίζεται σε έναν συνδυασμό στοιχείων υλικού και λογισμικού. Λειτουργικά κομμάτια είναι:

3.3.1 Ανίχνευση και Συλλογή Δεδομένων

Μια σειρά από εξειδικευμένους αισθητήρες, όπως προαναφέρθηκαν, τοποθετούνται στρατηγικά σε ένα υδροπονικό σύστημα για συνεχή παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων. Οι αισθητήρες εργάζονται ακατάπαυστα για να συλλέξουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που θα παρέχουν μια λεπτομερή εικόνα της υδροπονικής οικολογίας. Οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα συνεχώς σε χρονικά διαστήματα προκαθορισμένα από το χρήστη ή από το σύστημα, που μπορεί να κυμαίνονται από δευτερόλεπτα έως λεπτά ανάλογα με την παράμετρο που παρακολουθείται. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, για παράδειγμα, μπορεί να συλλέγουν δεδομένα κάθε λεπτό, ενώ οι αισθητήρες EC διατροφικών διαλυμάτων μπορούν να μετρούν συνεχώς. Αυτή η συχνή συλλογή δεδομένων επιτρέπει στους χρήστες να παρατηρούν γρήγορα αλλαγές και πρότυπα.

Τα δεδομένα που συλλέγονται έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης με την πάροδο του χρόνου, δημιουργώντας ένα ιστορικό αρχείο των περιβαλλοντικών συνθηκών και της απόδοσης της εγκατάστασης σε σχέση με το χρόνο. Αυτά τα αρχεία καταγραφής είναι ανεκτίμητα για την παρακολούθηση τάσεων, την αντιμετώπιση προβλημάτων και τη λήψη εκπαιδευμένων αποφάσεων βελτιστοποίησης του συστήματος. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκάλυψη λεπτών τάσεων που διαφορετικά θα χάνονταν. Τα δεδομένα αισθητήρων μπορούν να οπτικοποιηθούν χρησιμοποιώντας γραφικές διεπαφές, διευκολύνοντας τους καλλιεργητές να εντοπίσουν και να αναλύσουν αυτές τις τάσεις. Τα γραφήματα και οι πίνακες ελέγχου εμφανίζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις επιπτώσεις τους στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, με έναν οπτικό τρόπο εύκολα κατανοητό. Οι καλλιεργητές είναι σε θέση να λαμβάνουν μορφωμένες αποφάσεις σχετικά με τις φόρμουλες θρεπτικών συστατικών, τα προγράμματα άρδευσης, τις τεχνικές φωτισμού και τη συνολική διαχείριση του συστήματος.

Η τεχνολογία Internet of Things (IoT) χρησιμοποιείται ευρέως σε υδροπονικά συστήματα. Οι αισθητήρες συνδέονται με μια πλατφόρμα Internet of Things, η οποία συγκεντρώνει και αποθηκεύει δεδομένα στο cloud. Αυτή η κεντρική λύση δίνει τη δυνατότητα στους καλλιεργητές να έχουν απομακρυσμένη πρόσβαση σε δεδομένα από

οποιαδήποτε συσκευή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο.

Συνοψίζοντας, η απομακρυσμένη παρακολούθηση και η συλλογή δεδομένων σε υδροπονικά συστήματα παρέχουν στους παραγωγούς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και ιστορικά δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των συνθηκών καλλιέργειας και τη χρήση των πόρων. Η ενσωμάτωση του IoT, η ανάλυση δεδομένων και οι δυνατότητες τηλεχειρισμού βελτιώνουν την αποδοτικότητα, την παραγωγή και την ποιότητα των καλλιεργειών, ενώ μειώνουν την ανθρώπινη εργασία και τον κίνδυνο αποτυχίας των καλλιεργειών.

3.3.2 Κεντρική μονάδα ελέγχου

Η κεντρική μονάδα ελέγχου, συχνά γνωστή ως «πύλη IoT», είναι η καρδιά ενός υδροπονικού συστήματος, που ενορχηστρώνει τα πολυάριθμα εξαρτήματά του για βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών. Αυτή η πολύπλοκη συσκευή χρησιμεύει ως συνδετικός κρίκος του συστήματος για την επεξεργασία και την επικοινωνία δεδομένων και είναι κρίσιμος με διάφορους τρόπους, μεταξύ των οποίων είναι και η συγκέντρωση και επεξεργασία δεδομένων, η λογική και απόκριση ελέγχου, η απομακρυσμένη πρόσβαση και η επεκτασιμότητα.

Η συγκέντρωση δεδομένων από μια σειρά αισθητήρων τοποθετημένων με προσοχή σε όλη την υδροπονική εγκατάσταση βρίσκεται στο επίκεντρο της λειτουργικότητάς της. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν δεδομένα στην κεντρική μονάδα ελέγχου σε συνεχή βάση. Η μονάδα εδώ αναλύει ακατέργαστα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επαληθεύοντας ότι ακολουθούν καθιερωμένες φόρμες, διορθώνοντας σφάλματα και πιστοποιώντας την ακρίβειά τους. Η μονάδα μετατρέπει αυτόν τον πλούτο δεδομένων σε ουσιαστικές γνώσεις χρησιμοποιώντας μαθηματικούς αλγόριθμους και υπολογισμούς, επιτρέποντας ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με το περιβάλλον των φυτών. Λαμβάνει δεδομένα από εισροές πληροφοριών, και στέλνει δεδομένα σε ενεργοποιητές.

Η κεντρική μονάδα ελέγχου χρησιμεύει ως ο εγκέφαλος που κατευθύνει την απόκριση του συστήματος στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες εκτός από την επεξεργασία δεδομένων. Η μονάδα μπορεί να λάβει αποφάσεις ανεξάρτητα για να εξασφαλίσει ένα ιδανικό περιβάλλον ανάπτυξης αξιοποιώντας καθιερωμένους κανόνες και αλγόριθμους. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία υπερβεί ένα προκαθορισμένο επίπεδο, η μονάδα μπορεί να ενεργοποιήσει αμέσως συστήματα ψύξης ή να ρυθμίσει με ακρίβεια τις ρυθμίσεις φωτισμού για να παρέχει ιδανικές συνθήκες υγείας και ανάπτυξης των φυτών. Αυτή η απόκριση σε πραγματικό χρόνο προστατεύει την υγεία των φυτών, και όχι μόνο.

Εκτός από τις κύριες εργασίες της, η κεντρική μονάδα ελέγχου επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση και έλεγχο, συνδέοντας το υδροπονικό σύστημα με το μεγαλύτερο ψηφιακό τοπίο. Οι καλλιεργητές μπορούν να παρακολουθούν και να αλλάζουν το σύστημα από οπουδήποτε με πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Επιπλέον, ο σχεδιασμός της μονάδας λαμβάνει υπόψη την επεκτασιμότητα, επιτρέποντας την ενσωμάτωση πρόσθετων

αισθητήρων και συσκευών καθώς αυξάνεται η υδροπονική λειτουργία. Αυτό διασφαλίζει ότι συνεχίζει να λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος πληροφοριών του συστήματος, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την πολυπλοκότητά του.

Συνοψίζοντας, η κεντρική μονάδα ελέγχου χρησιμεύει ως το θεμέλιο των υδροπονικών συστημάτων, συνδυάζοντας τη συλλογή δεδομένων, την επεξεργασία και τη λογική ελέγχου για τη μεγιστοποίηση των συνθηκών ανάπτυξης των φυτών. Η ικανότητά του να κατανοεί δεδομένα, να τα επεξεργάζεται, να κάνει επιλογές σε πραγματικό χρόνο, να επιτρέπει την απομακρυσμένη διαχείριση και να προσαρμόζεται στην ανάπτυξη του συστήματος το καθιστά απαραίτητο συστατικό για την επίτευξη αποτελεσματικότητας, παραγωγικότητας και αξιοπιστίας στην υδροπονική γεωργία.

3.3.3 Πρόσβαση στο Διαδίκτυο

Η κεντρική μονάδα ελέγχου πρέπει να μπορεί να είναι συνδεδεμένη στο Διαδίκτυο για να παρέχει απομακρυσμένη παρακολούθηση. Αυτή η σύνδεση χρησιμεύει ως νευρωνικό δίκτυο, συνδέοντας το υδροπονικό σύστημα με τον διακομιστή που βασίζεται σε σύννεφο και τη διεπαφή του καλλιεργητή. Αυτός ο σύνδεσμος διασφαλίζει ότι τα δεδομένα μπορούν να παρακολουθούνται γρήγορα και με ασφάλεια, είτε μέσω ενσύρματου Ethernet, Wi-Fi, δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ή άλλων μεθόδων επικοινωνίας.

3.3.4 Διακομιστής που βασίζεται σε cloud

Στα υδροπονικά συστήματα, ο διακομιστής που βασίζεται σε σύννεφο χρησιμεύει ως κεντρικός κόμβος για την αποθήκευση δεδομένων, την επεξεργασία και την απομακρυσμένη πρόσβαση. Αυτό το ψηφιακό αποθετήριο ασφαλίζει δεδομένα που παρέχονται από πολυάριθμους αισθητήρες στο υδροπονικό οικοσύστημα, συμπεριλαμβανομένων των συνθηκών περιβάλλοντος, των επιπέδων λιπασμάτων, των μετρήσεων του pH και των δεικτών υγείας των φυτών.

Εκτός από την αποθήκευση, ο διακομιστής επεξεργάζεται δεδομένα τυποποιώντας, συγκεντρώνοντας και, σε ορισμένες περιπτώσεις, αναλύοντάς τα για να παρέχει σημαντικές πληροφορίες στους αγρότες. Είναι προσβάσιμος από σχεδόν οποιαδήποτε τοποθεσία με σύνδεση στο Διαδίκτυο, με αποτέλεσμα η δυνατότητα απομακρυσμένης προσβασιμότητας να επιτρέπει στους κηπουρούς να παρακολουθούν τα υδροπονικά τους συστήματα χρησιμοποιώντας μια φιλική προς τον χρήστη πλατφόρμα web ή εφαρμογή για κινητά από οπουδήποτε με σύνδεση στο Διαδίκτυο.

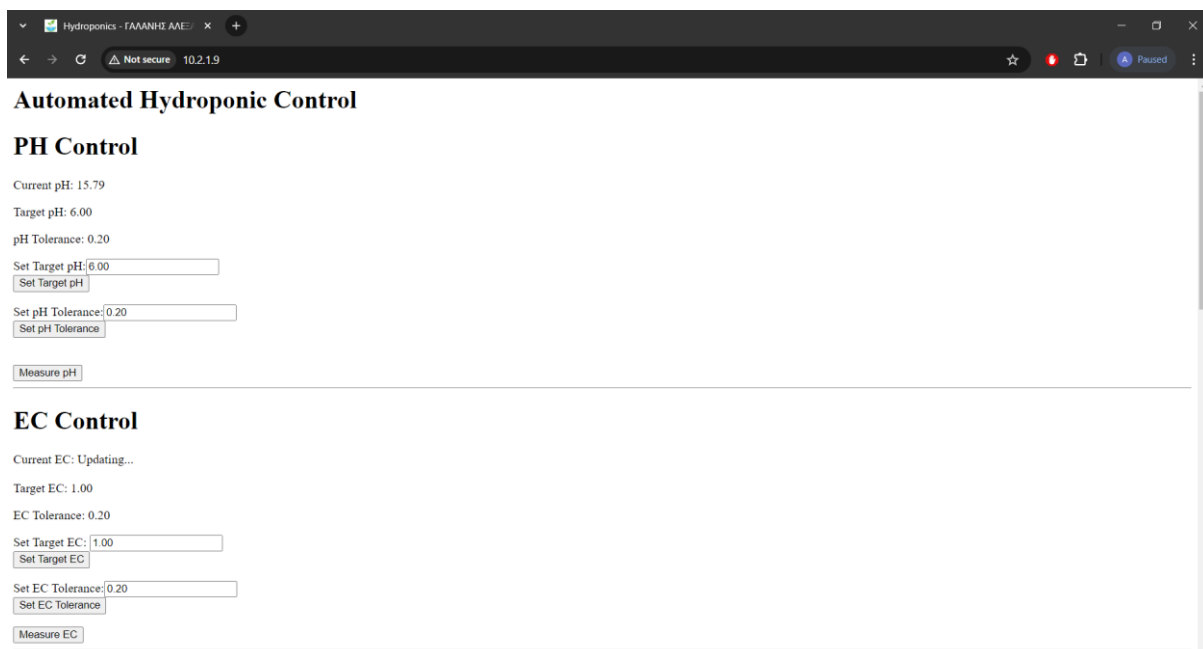
Η διεπαφή χρήστη φιλοξενείται επίσης στον διακομιστή, επιτρέποντας στους καλλιεργητές να αλληλεπιδρούν με τα συστήματά τους, να αλλάζουν παραμέτρους, να ορίζουν όρια και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο. Οι μηχανισμοί ασφαλείας προστατεύουν κρίσιμα δεδομένα και η επεκτασιμότητα διασφαλίζει ότι ο διακομιστής μπορεί εύκολα να φιλοξενήσει επεκτατικές υδροπονικές λειτουργίες. Ο διακομιστής που βασίζεται σε σύννεφο, ουσιαστικά, εξουσιοδοτεί τους καλλιεργητές παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες και έλεγχο της υδροπονικής τους γεωργίας, ανεξάρτητα από τη φυσική τους τοποθεσία.

3.3.5 Διεπαφή χρήστη

Η διεπαφή χρήστη που φιλοξενείται από διακομιστή είναι ένας κρίσιμος σύνδεσμος που συνδέει τους καλλιεργητές με τα υδροπονικά τους συστήματα, παρέχοντας ένα δυναμικό και διαδραστικό ψηφιακό ταμπλό. Οι καλλιεργητές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε μια πληθώρα πληροφοριών που συλλέγονται από δεδομένα αισθητήρων, ιστορικά αρχεία και ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο μέσω αυτής της διεπαφής. Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές, τα επίπεδα λιπάσματος και οι παράμετροι υγείας των φυτών απεικονίζονται για να παρέχουν μια λεπτομερή προοπτική του υδροπονικού οικοσυστήματος.

Αυτό που διακρίνει αυτή τη διεπαφή είναι η ικανότητά της να παρέχει έλεγχο στους καλλιεργητές. Οι χρήστες μπορούν να προσαρμόσουν τις ρυθμίσεις, να ορίσουν μεταβλητά όρια και να δημιουργήσουν μοναδικές ρουτίνες αυτοματισμού. Εάν η διεπαφή ανιχνεύσει μια ξαφνική απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, για παράδειγμα, μπορεί να στείλει ένα άμεσο μήνυμα στο smartphone του καλλιεργητή, επιτρέποντας γρήγορη απόκριση. Λόγω του συνδυασμού της προσβασιμότητας δεδομένων μέσω της διεπαφής χρήστη και των δυνατοτήτων ελέγχου, οι παραγωγοί μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να μεγιστοποιήσουν την κατανομή πόρων, και διασφαλίζουν την υγεία και την παραγωγικότητα των υδροπονικών καλλιεργειών τους.

Παρακάτω φαίνονται στις εικόνες 2, 3 και 4 η διεπαφή χρήστη που σχεδιάστηκε συγκεκριμένα για αυτό το σύστημα. Φαίνονται καθαρά οι επιλογές χειρισμού του συστήματος.

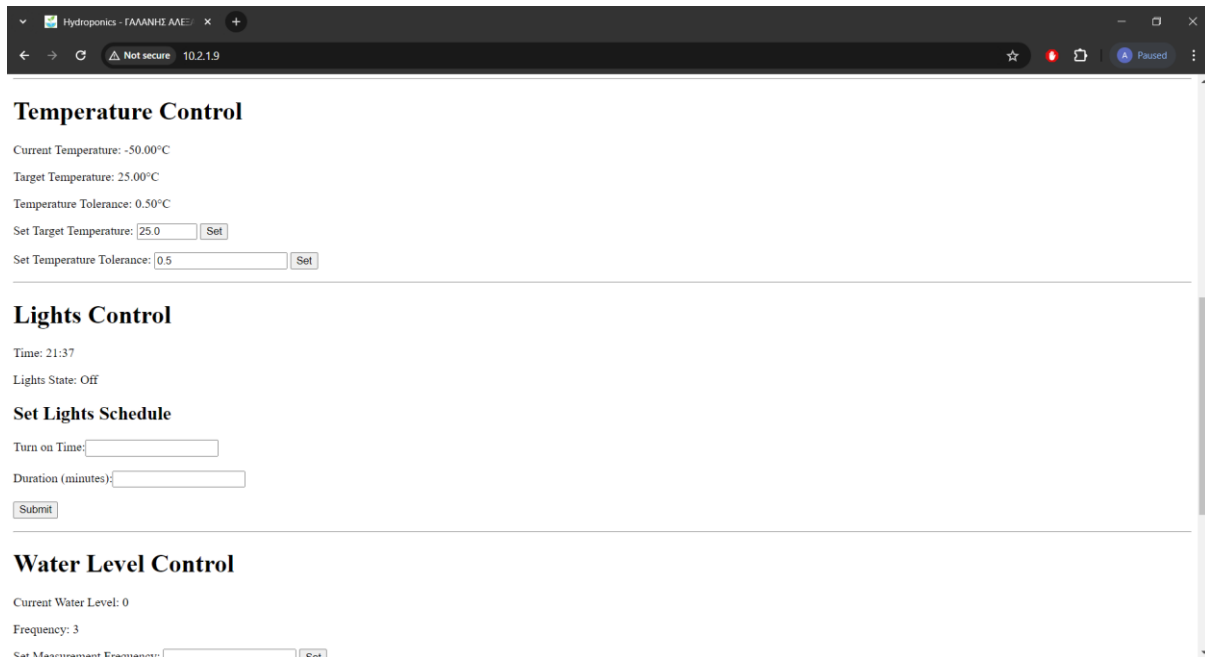


Εικόνα 2

Στην εικόνα 2 φαίνεται ο έλεγχος του pH δηλαδή τα επίπεδα οξύτητας. Φαίνεται το τρέχον επίπεδο pH, το επιθυμητό επίπεδο, και η ανοχή που δίνουμε στο σύστημα. Αν ξεπεραστεί αυτή η ανοχή, τότε το σύστημα θα δράσει ανάλογα, ενεργοποιώντας τους

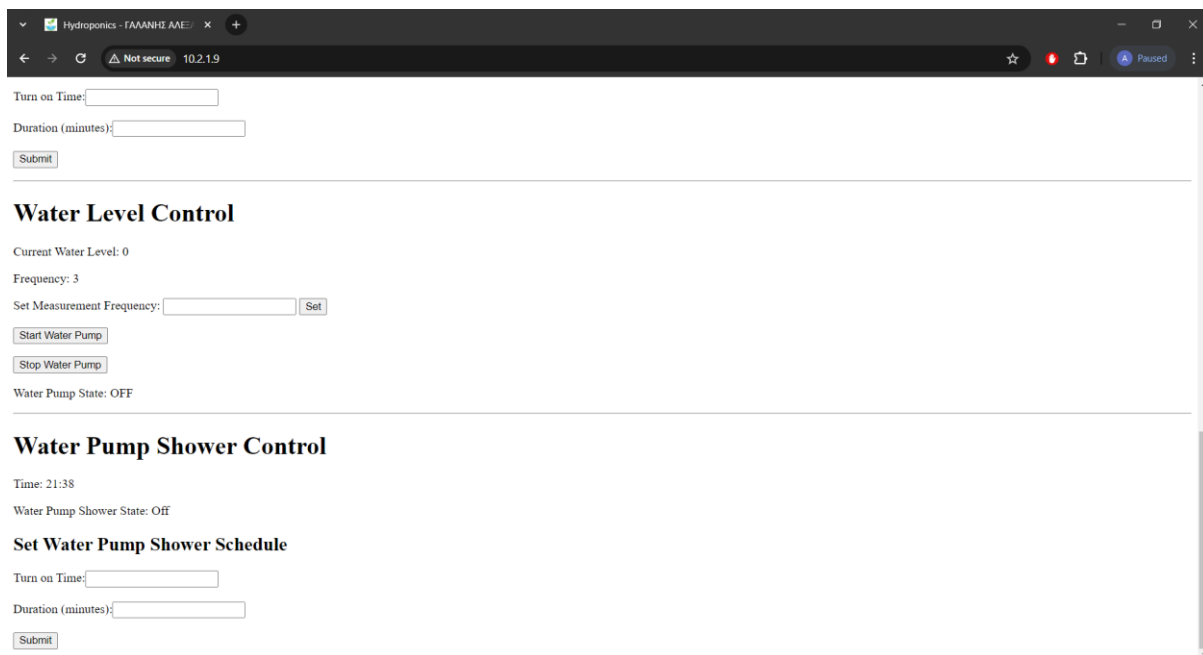
ρυθμιστές κλπ. Από κάτω δίνονται οι επιλογές στο χρήστη να επιλέξει το επιθυμητό επίπεδο, καθώς και την ανοχή. Το σύστημα από μόνο του κάνει μετρήσεις pH κάθε ένα καθορισμένο διάστημα, παρόλα αυτά, προσφέρεται επίσης η δυνατότητα στο χρήστη να μετρήσει τα επίπεδα pH οποιαδήποτε ώρα.

Παρακάτω συμβαίνει το ίδιο για τον έλεγχο του EC, δηλαδή της αγωγιμότητας, για να κρίνει αν το διάλυμα έχει αρκετές θρεπτικές ουσίες. Παρέχονται ίδιες επιλογές ρύθμισης.



Εικόνα 3

Στην εικόνα 3, φαίνεται ο έλεγχος για ρύθμιση θερμοκρασίας, όμοια με τα παραπάνω. Φαίνεται επίσης ο έλεγχος του φωτισμού. Ο έλεγχος του φωτισμού έχει διαφορετική νοοτροπία, καθώς είναι διαφορετικές οι ανάγκες. Για αρχή, παρουσιάζεται η κατάσταση του φωτισμού. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αν είναι ενεργός ή ανενεργός. Έπειτα, δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα, τι ώρα να ανάβουν και να σβήνουν, καθώς και τη διάρκεια (σε λεπτά).



Εικόνα 4

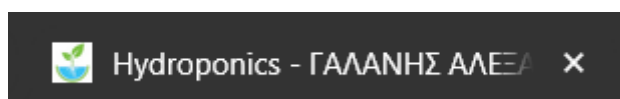
Στην εικόνα 4 φαίνεται ο έλεγχος του νερού, καθώς και ο έλεγχος της αντλίας ποτίσματος.

Φαίνεται το επίπεδο του νερού στο δοχείο, η συχνότητα με την οποία γίνονται οι μετρήσεις, η δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης τη συχνότητα αυτή, επιλογές να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί αντίστοιχα η αντλία, καθώς και τη κατάσταση λειτουργίας της αντλίας.

Παρακάτω, στον τομέα ελέγχου της αντλίας ποτίσματος, παρουσιάζονται η ώρα, η κατάσταση της αντλίας, καθώς και επιλογή δημιουργίας ποτίσματος, τι ώρα να ενεργοποιείται, και τη διάρκεια.

Σε κάθε περίπτωση έχουν οριστεί κουμπιά set και submit, για να κατοχυρώνουν τις όποιες επιλογές έχει κάνει ο χρήστης.

Ωραία λεπτομέρεια είναι η προσθήκη εικονιδίου και ονόματος της ιστοσελίδας, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5

3.3.6 Απομακρυσμένη Πρόσβαση στο Σύστημα Μέσω Δυναμικού DNS και No-IP

Μια ίσως απαραίτητη αναβάθμιση στο σύστημα που θα το καθιστούσε ακόμα πιο εύχρηστο, είναι η δυνατότητα να συνδέεται ο χρήστης διαδικτυακά σε αυτό χωρίς να χρειάζεται να είναι συνδεδεμένος στο ίδιο δίκτυο, συνεπώς να μην χρειάζεται να βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το σύστημα. Αυτό αυξάνει τη δυνατότητα προσβασιμότητας, με αποτέλεσμα να προσδίδει μεγαλύτερη ευελιξία οργάνωσης, διαχείρισης και ελέγχου.

Πρακτικά, για να πραγματοποιηθεί τούτη η μετατροπή, πρέπει να ακολουθηθεί μια

απλή, αλλά ευαίσθητη διαδικασία. Η διαδικασία είναι η εξής:

Αρχικά, πρέπει να γίνει πρόσβαση στην ιστοσελίδα noip.com και να δημιουργηθεί ένας λογαριασμός. Μετά την επαλήθευση του λογαριασμού, γίνεται σύνδεση και δημιουργείται ένα νέο δυναμικό DNS όνομα (π.χ., GreenField.noip.info). Έπειτα γίνεται σύνδεση στις ρυθμίσεις του router το οποίο χρησιμοποιείται από το σύστημα. Στην ενότητα Dynamic DNS ή DDNS, επιλέγεται No-IP από τη λίστα των παρόχων και εισάγονται τα στοιχεία του λογαριασμού που δημιουργήθηκε. (όνομα χρήστη, κωδικό πρόσβασης και το όνομα του δυναμικού DNS).

Στη συνέχεια, ρυθμίζεται το Port Forwarding στο router. Καθορίζεται η IP διεύθυνση της συσκευής που επιθυμείται να έχει απομακρυσμένη πρόσβαση (π.χ., την IP του ESP32). Ανοίγεται η θύρα 80 για την IP αυτή, με σκοπό να υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης στην ιστοσελίδα διαχείρισης της συσκευής.

Ο router με τη σειρά του ενημερώνει αυτόματα την IP διεύθυνση της συσκευής στο No-IP κάθε φορά που εκείνη αλλάζει. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να έχει πρόσβαση ο χρήστης στο σύστημά μέσω του GreenField.noip.info από οπουδήποτε υπάρχει σύνδεση στο διαδίκτυο.

Κεφάλαιο 4 - Αεροπονία

4.1 Βασικές αρχές της αεροπονικής καλλιέργειας

4.1.1 Μια σύντομη ιστορία της αεροπονικής καλλιέργειας

Ως υποκατηγορία της υδροπονίας, η αεροπονία προσφέρει μια ξεχωριστή μέθοδο στην καλλιέργεια χωρίς έδαφος. Η προέλευσή της εντοπίζεται στα μέσα του εικοστού αιώνα, όταν επιστήμονες και γεωπονικοί ερευνητές πειραματίστηκαν με την ομίχλη ή τον ψεκασμό υγρών πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά απευθείας στις ρίζες των φυτών. Αυτή η νέα μέθοδος στοχεύει να αντιμετωπίσει τα όρια της παραδοσιακής γεωργίας με βάση το έδαφος, ιδιαίτερα σε ξηρούς τόπους με περιορισμένους υδάτινους πόρους. Η αεροπονία έχει εξελιχθεί σε ένα σύνθετο σύστημα με πολυάριθμες χρήσεις όλα αυτά τα χρόνια, παρουσιάζοντας πιθανές λύσεις σε σύγχρονες αγροτικές δυσκολίες.

4.1.2 Αρχές Αεροπονικής Καλλιέργειας

Η αεροπονική ορίζεται από ένα σύνολο βασικών εννοιών που την ξεχωρίζουν από άλλα υδροπονικά συστήματα. Η αεροπονική ασχολείται σε μεγάλο βαθμό με την ανάρτηση των ριζών των φυτών σε έναν θάλαμο ανάπτυξης ή μια δομή που μοιάζει με θάλαμο. Αυτές οι ρίζες θολώνονται ή ψεκάζονται με διάλυμα λιπάσματος σε τακτική βάση, δημιουργώντας ένα περιβάλλον εξαιρετικά οξυγονωμένο και πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά που τις περιβάλλει. Αυτή η νέα στρατηγική χρησιμοποιεί το γεγονός ότι οι ρίζες των φυτών απαιτούν οξυγόνο για την αναπνοή και ευδοκιμούν σε περιβάλλοντα πλούσια τόσο σε οξυγόνο όσο και σε θρεπτικά συστατικά. Η αεροπονία, σε αντίθεση με την τυπική υδροπονία, όπου τα φυτά βυθίζονται σε θρεπτικό διάλυμα, παρέχει στις ρίζες τον βέλτιστο

συνδυασμό οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών, ενισχύοντας την ταχύτερη ανάπτυξη, υψηλότερη απορρόφηση θρεπτικών ουσιών και εύρωστη συνολική υγεία των φυτών.

4.2 Πλεονεκτήματα Αεροπονίας στην Υδροπονία

4.2.1 Αυξημένη παροχή οξυγόνου ρίζας

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα της αεροπονικής είναι η ικανότητά της να παρέχει άνευ προηγουμένου οξυγόνο απευθείας στις ρίζες των φυτών. Όταν οι ρίζες θάβονται σε διαλύματα λιπασμάτων σε παραδοσιακά υδροπονικά συστήματα, η πρόσβαση σε οξυγόνο μπορεί να είναι περιορισμένη. Συνήθως, για να αντισταθμιστεί η έλλειψη του απαραίτητου οξυγόνου καλείται η χρήση αντλιών αέρα οι οποίες ελευθερώνουν οξυγόνο μέσα στο διάλυμα με αποτέλεσμα να το οξυγονώνουν.

Η αεροπονική, από την άλλη, εξασφαλίζει σταθερή και άμεση παροχή οξυγόνου στη ζώνη της ρίζας. Αυτό το περιβάλλον υψηλής περιεκτικότητας σε οξυγόνο προάγει την ανάπτυξη των ριζών ενώ παράλληλα βελτιώνει την ικανότητα της ρίζας να απορροφά κρίσιμα θρεπτικά συστατικά. Τα φυτά μπορούν να ενισχύσουν την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών χρησιμοποιώντας μια αποτελεσματική διαδικασία αναπνοής που τροφοδοτείται από άφθονο οξυγόνο. Ως αποτέλεσμα, τα φυτά που καλλιεργούνται στην αεροπονία έχουν συχνά πιο υγιή ριζικά συστήματα, υψηλότερη πρόσληψη θρεπτικών ουσιών και γενικά ανώτερη ανάπτυξη σε σύγκριση με φυτά που καλλιεργούνται στην παραδοσιακή υδροπονία.

Αυτό το πλεονέκτημα είναι ιδιαίτερα ευεργετικό όταν παράγονται φυτά με υψηλές διατροφικές απαιτήσεις ή όταν επιδιώκεται να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή των καλλιεργειών. Η ικανότητα της αεροπονικής να παρέχει στα φυτά τη βέλτιστη ισορροπία οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών οδηγεί στην αυξανόμενη απήχησή της σε εμπορικά και οικιακά υδροπονικά συστήματα.

4.2.2 Καλύτερη απορρόφηση και αποδοτικότητα χρήσης νερού και θρεπτικών συστατικών

Η αεροπονική καλλιέργεια διακρίνεται για την εξαιρετική της ακρίβεια στην παροχή θρεπτικών συστατικών. Η ομίχλη ή ο ψεκασμός διατροφικών διαλυμάτων απευθείας στις ρίζες των φυτών με τη μορφή λεπτής ομίχλης είναι η κύρια διαφορετική προσέγγιση. Αυτή η λεπτή ψεκασμένη ομίχλη διατροφής τυλίγει τις ρίζες, δημιουργώντας ένα περιβάλλον στο οποίο τα θρεπτικά συστατικά απορροφώνται εύκολα.

Επιπλέον, αυτή η ακριβή χορήγηση λιπασμάτων όχι μόνο προάγει την ανάπτυξη των φυτών αλλά βελτιώνει επίσης και την αποδοτικότητα των πόρων. Η αεροπονική χρησιμοποιεί λιγότερο νερό και λιπάσματα από τις παραδοσιακές υδροπονικές μεθόδους αφού τα θρεπτικά συστατικά παραδίδονται απευθείας στο φυτό. Η λεπτή ομίχλη της τεχνολογίας της αεροπονικής παρέχει εξαιρετική χρήση θρεπτικών συστατικών, καθώς τα φυτά μπορούν να απορροφήσουν θρεπτικά συστατικά αποτελεσματικά από τα αιωρούμενα σταγονίδια. Επιπλέον, λόγω του ακριβούς ελέγχου της κατανομής των

θρεπτικών ουσιών, τα πλεονάζοντα θρεπτικά συστατικά είναι λιγότερο πιθανό να εισχωρήσουν στο περιβάλλον, συμβάλλοντας έτσι στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Τα παραδοσιακά υδροπονικά συστήματα ενδέχεται να υπερπροσφέρουν θρεπτικά συστατικά κατά καιρούς, με αποτέλεσμα ανισορροπίες και σπατάλη, καθώς και πιθανά προβλήματα ως προς την υγεία των φυτών. Δεν υπάρχει καμία πιθανότητα διατροφικών ανισορροπιών με την αεροπονία, καθώς τα φυτά απορροφούν θρεπτικά συστατικά όπως απαιτείται, υποστηρίζοντας την υγιή ανάπτυξη.

Αυτή η αποτελεσματικότητα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των αεροπονικών συστημάτων, καθώς ευθυγραμμίζεται με τους στόχους της βιώσιμης γεωργίας με γνώμονα τους πόρους και την περιβαλλοντική συνείδηση.

4.2.3 Η κάθετη καλλιέργεια

Η κάθετη καλλιέργεια, ιδιαίτερα με τη μορφή κάθετων πύργων, έχει πολλά οφέλη στην αεροπονική. Η αποτελεσματική χρήση του χώρου είναι ένα βασικό πλεονέκτημα. Οι κάθετοι πύργοι μεγιστοποιούν τον χώρο καλλιέργειας, καθιστώντας τους κατάλληλους για αστικές περιοχές ή περιοχές με περιορισμένη καλλιεργήσιμη γη. Αυτή η κατακόρυφη δομή επιτρέπει στους καλλιεργητές να αυξήσουν σημαντικά την απόδοση των καλλιεργειών ανά τετραγωνικό μέτρο, καθιστώντας την μια εφικτή λύση για την αντιμετώπιση προβλημάτων έλλειψης τροφίμων σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Οι κάθετοι πύργοι στα αεροπονικά συστήματα παρέχουν επίσης ανώτερο έλεγχο στην έκθεση των φυτών στο φως και τις κλιματικές συνθήκες, με αποτέλεσμα τη συνεπή και υγιή ανάπτυξη των καλλιεργειών. Συνολικά, η κάθετη γεωργία με τη μορφή πύργων αλλάζει το παιχνίδι στην αεροπονική, επιτρέποντας την ανάπτυξη υψηλής απόδοσης σε περιορισμένες ρυθμίσεις, ενώ παράλληλα βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα των πόρων.

Δίνοντας έμφαση σε αυτή τη δυνατότητα της αεροπονικής καλλιέργειας με χρήση πύργων γεωργίας, πρέπει να συγκριθούν οι ποσότητες φυτών μιας αεροπονικής καλλιέργειας με μιας κλασικής καλλιέργειας στο χώμα.

Δεδομένου ότι σε ένα τετραγωνικό μέτρο μπορεί να εγκατασταθεί ένας πύργος ύψους τριών μέτρων, με 12 διαφορετικά υποστρώματα (ένα κάθε 25 εκατοστά), όπου το κάθε υπόστρωμα φιλοξενεί τέσσερα φυτά, συνεπάγεται ότι ένα τετραγωνικό μέτρο αεροπονικής καλλιέργειας μπορεί να παράξει 48 φυτά, ενώ ένα τετραγωνικό μέτρο καλλιεργήσιμης γης στο χώμα μπορεί οριακά να χωρέσει 10.

Η διαφορά είναι δραματική. Να σημειωθεί ότι η ποσότητα παραγόμενων φυτών εξαρτάται από τη μηχανοποίηση των πύργων, όπως το ύψος και το σχέδιό τους, με πολλά ενδεχόμενα ανοιχτά προς προσαρμογή.

Το κύριο μάθημα είναι ότι η αεροπονία κάθετου πύργου επιτρέπει στους παραγωγούς να αυξάνουν την φυτική παραγωγή ανά τετραγωνικό μέτρο, καθιστώντας την μια εξαιρετικά αποδοτική εναλλακτική λύση για την αστική γεωργία και τη γεωργία μικρών χώρων. Αυτό το όφελος μεγεθύνεται όταν εξετάζονται τεχνολογίες αποδοτικής χρήσης

πόρων, όπως η αεροπονία, όπου η ακριβής παροχή θρεπτικών ουσιών και νερού βελτιώνει την ανάπτυξη και την παραγωγή των καλλιεργειών.



Εικόνα 6

4.2.4 Διαχείριση ασθενειών και παρασίτων

Η αεροπονική έχει ένα φυσικό πλεονέκτημα όταν πρόκειται για τη διαχείριση ασθενειών και παρασίτων. Ο κίνδυνος σήψης των ριζών και ασθενειών που μεταδίδονται στο έδαφος είναι σημαντικά μειωμένος, καθώς οι ρίζες των φυτών αιωρούνται στον αέρα και όχι σε ένα στάσιμο θρεπτικό διάλυμα. Επιπλέον, η απουσία εδάφους ή υποστρώματος μειώνει το περιβάλλον για ορισμένα παράσιτα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερη εξάρτηση από χημικά φυτοφάρμακα, κάτι που συνάδει με τις έννοιες της φιλικής προς το περιβάλλον και της βιώσιμης γεωργίας.

4.3 Εφαρμογή της αεροπονικής

Η εγκατάσταση του αεροπονικού συστήματος είναι μια σημαντική φάση που περιλαμβάνει πολλά βασικά στάδια ειδικά για την αεροπονία που επικεντρώνονται στη διατροφή και την παροχή οξυγόνου στις ρίζες των φυτών που αιωρούνται στον αέρα. Ενώ ορισμένα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι κοινά με τις υδροπονικές εγκαταστάσεις, θα επικεντρωθούμε στις πτυχές που είναι μοναδικές για την αεροπονία:

4.3.1 Θάλαμος ανάπτυξης

Η κατασκευή ενός κατάλληλου θαλάμου ανάπτυξης είναι το πρώτο βήμα για τη δημιουργία ενός αεροπονικού συστήματος καθώς χρησιμεύει ως το κύριο συστατικό ενός αεροπονικού συστήματος. Αυτός ο θάλαμος θα πρέπει να παρέχει ένα ελεγχόμενο περιβάλλον που να ταιριάζει με τις ατομικές ανάγκες των φυτών. Ο σωστός αερισμός, ο έλεγχος της υγρασίας και η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι όλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ο επαρκής αερισμός διασφαλίζει ότι τα φυτά λαμβάνουν σταθερή ροή καθαρού αέρα, βοηθώντας στη διατήρηση των βέλτιστων συνθηκών ανάπτυξης. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι κρίσιμοι για την υγεία των φυτών επειδή επηρεάζουν την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και τους ρυθμούς διαπνοής. Οι ρίζες των φυτών συνήθως αιωρούνται στον αέρα, μέσα σε έναν τέτοιο περιορισμένο βιότοπο. Είναι σημαντικό να μην έχουν επαφή με το φως του ηλίου.

Αυτοί οι θάλαμοι μπορεί να είναι κάθετοι πύργοι, οριζόντιοι δίσκοι ή προσαρμοσμένες διαμορφώσεις. Η αρχιτεκτονική του θαλάμου καθορίζεται από στοιχεία όπως η διαθεσιμότητα χώρου και το είδος της καλλιέργειας. Για να εξασφαλίσουν περιβαλλοντικό έλεγχο, πολλοί καλλιεργητές επιλέγουν κλειστούς θαλάμους ή θερμοκήπια για την εγκατάσταση της αεροπονικής καλλιέργειας τους.

4.3.2 Ακροφύσια ομίχλης / ψεκάσματος

Αρκετά κρίσιμα συστατικά είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και τη διατήρηση της ομίχλης θρεπτικών συστατικών. Για την παραγωγή λεπτών σταγονιδίων θρεπτικού διαλύματος, τα ακροφύσια ομίχλης υψηλής πίεσης είναι απαραίτητα. Αυτά τα ακροφύσια τοποθετούνται προσεκτικά μέσα στο θάλαμο για να διασφαλιστεί η ομοιόμορφη κατανομή των θρεπτικών συστατικών στις ρίζες των φυτών. Η θέση των ακροφυσίων μπορεί να προσαρμοστεί στις ακριβείς απαιτήσεις των φυτών που καλλιεργούνται. Τα ακροφύσια τοποθετούνται συνήθως σε τακτά διαστήματα για να καλύπτουν ολόκληρη τη ζώνη ρίζας.

Το θρεπτικό διάλυμα συμπιέζεται από ένα αξιόπιστο σύστημα αντλίας, επιτρέποντάς του να ψεκαστεί σε λεπτό νέφος. Η αντλία που θα επιλεγεί πρέπει να είναι κατάλληλη για το μέγεθος και την κλίμακα του ανάλογου αεροπονικού συστήματος. Μια δεξαμενή θρεπτικών συστατικών αποθηκεύει επίσης και παραδίδει το θρεπτικό διάλυμα στο σύστημα ομίχλης. Θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να εξασφαλίζει σταθερή παροχή χωρίς διακοπές.

4.3.3 Επιλογή μέσου καλλιέργειας

Ενώ ορισμένα αεροπονικά συστήματα λειτουργούν χωρίς μέσο καλλιέργειας, άλλα

χρησιμοποιούν υλικά όπως πετροβάμβακας, αφρός ή άλλα υποστηρικτικά υποστρώματα για να διατηρούν σταθερές τις ρίζες των φυτών. Ο τύπος του μέσου ανάπτυξης που χρησιμοποιείται καθορίζεται από το φυτό και τον σχεδιασμό του συστήματος. Πολλά φυλλώδη χόρτα και βότανα μπορούν να αναπτυχθούν στην αεροπονία χωρίς μέσο, αν και τα μεγαλύτερα φυτά ή αυτά με πιο εκτεταμένο ριζικό σύστημα μπορεί να ωφεληθούν από ένα. Η σταθερότητα των φυτών και η απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών βοηθούνται από το μέσο ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 5 - Εγκατάσταση υδροπονίας - Μηχανική, Αυτοματισμός, Βιομηχανικός Σχεδιασμός και Παραγωγή

Η εγκατάσταση της υδροπονίας σηματοδοτεί το κρίσιμο σημείο στο οποίο η θεωρία γίνεται πραγματικότητα, όταν οι έννοιες της μηχανικής, οι αρχές σχεδιασμού και οι τεχνολογίες αυτοματισμού ενώνονται για να δημιουργήσουν ένα λειτουργικό και αποτελεσματικό περιβάλλον υδροπονικής παραγωγής. Η ενότητα για την εγκατάσταση υδροπονίας είναι κρίσιμη στο πλαίσιο της μηχανικής, του αυτοματισμού, του βιομηχανικού σχεδιασμού και της παραγωγής. Αυτή η ενότητα διερευνά τα πρακτικά ζητήματα της κατασκευής υδροπονικών συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις περιπλοκές της ειδικότητας του αντικειμένου.

Θα συζητηθούν επίσης οι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την υδροπονική κάθετη γεωργία, τονίζοντας τη σημασία της μηχανικής και του αυτοματισμού στην αξιοποίηση τόσο μικρής όσο και μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεων. Επιπλέον, θα αναπτυχθεί η μετάβαση από την παραδοσιακή γεωργία με βάση το έδαφος στην υδροπονία, συμπεριλαμβανομένων των προβλημάτων μηχανικής, των μελετών σχεδιασμού και των εμπλεκόμενων τακτικών παραγωγής.

Συνοπτικά, αυτή η ενότητα γεφυρώνει τα θεωρητικά ζητήματα που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες ενότητες με την πρακτική εκτέλεση των υδροπονικών συστημάτων. Υπογραμμίζει την κρίσιμη σημασία της μηχανικής ακρίβειας, της αισθητικής του βιομηχανικού σχεδιασμού και της αποδοτικότητας της παραγωγής για την εκπλήρωση των δυνατοτήτων της υδροπονικής γεωργίας.

5.1 Μηχανικές Πτυχές ενός Υδροπονικού Συστήματος

Για τα υδροπονικά συστήματα, ο δομικός σχεδιασμός και η επιλογή υλικού είναι κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα, την απόδοση και την αποδοτικότητα του συστήματος.

5.1.1 Πλαίσιο και Δομές Στήριξης

Οι δομές πλαισίου και στήριξης στα υδροπονικά συστήματα είναι η βάση, κρίσιμα εξαρτήματα που δίνουν συνολική σταθερότητα, αντοχή και ανθεκτικότητα. Οι μηχανικοί επιλέγουν υλικά και σχεδιάζουν σκελετούς με προσοχή, καθώς πρέπει να αντέξουν μια ποικιλία περιστάσεων για να εξασφαλίσουν την επιτυχία της υδροπονικής καλλιέργειας.

Πιο αναλυτικά, στοιχεία αυτών των δομών είναι:

5.1.1.1 Επιλογή υλικού

Όταν πρόκειται για την επιλογή υλικών για το πλαίσιο και τα συστήματα στήριξης, οι μηχανικοί έχουν διάφορες εναλλακτικές λύσεις. Ο χάλυβας, το αλουμίνιο και τα πολυμερή υψηλής αντοχής είναι δημοφιλή υλικά. Κάθε υλικό έχει πλεονεκτήματα και επιλέγεται ανάλογα με τις ατομικές απαιτήσεις του υδροπονικού συστήματος.

Χάλυβας

Ο χάλυβας είναι ένα ισχυρό και μακράς διάρκειας υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στα πλαίσια υδροπονικών συστημάτων. Έχει υψηλή φέρουσα ικανότητα, καθιστώντας το ιδανικό για την υποστήριξη του βάρους της επέκτασης της υποδομής, των δεξαμενών νερού και των δεξαμενών διατροφικών λύσεων. Οι χαλύβδινες κατασκευές είναι γνωστές για την ανθεκτικότητά τους και την αντοχή τους σε περιβαλλοντικά στοιχεία όπως η σκουριά και η διάβρωση.

Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι ένα ελαφρύ αλλά ισχυρό υλικό που χρησιμοποιείται συχνά στην κατασκευή υδροπονικών κουφωμάτων. Έχει καλή αντοχή στη διάβρωση, καθιστώντας το κατάλληλο για χρήση σε υγρές ή εξωτερικές συνθήκες. Το αλουμίνιο, αν και δεν είναι τόσο ισχυρό όσο ο χάλυβας, είναι μια κοινή επιλογή για υδροπονικές εγκαταστάσεις μικρότερης κλίμακας λόγω της ευκολίας χειρισμού του.

Πλαστικά υψηλής αντοχής

Το ενισχυμένο πολυαιθυλένιο και άλλα πλαστικά υψηλής αντοχής κερδίζουν απήχηση στην υδροπονία. Αυτά τα υλικά είναι ελαφριά, ανθεκτικά στη διάβρωση και είναι απλά στη χρήση. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά όταν το πλαίσιο δεν χρειάζεται να χειριστεί υπερβολικά σοβαρά φορτία.

5.1.1.2 Παρατηρήσεις για το σχεδιασμό

Πολλά βασικά στοιχεία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό του πλαισίου και των δομών στήριξης.

Κατανομή βάρους

Όπως σε κάθε κατασκευή, πρέπει να καθοριστεί υπεύθυνα η κατανομή βάρους ολόκληρου του υδροπονικού συστήματος, το οποίο περιλαμβάνει τα φυτά, τα μέσα καλλιέργειας, το νερό, τα διαλύματα λιπασμάτων και άλλα συστατικά. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της δομής έτσι ώστε να μπορεί να αντέξει αυτά τα φορτία χωρίς παραμόρφωση ή αστοχία.

Περιβαλλοντικές Συνθήκες

Η θέση του υδροπονικού συστήματος και οι περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν σημαντικές ανησυχίες. Οι μηχανικοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη πτυχές όπως ο άνεμος, τα φορτία χιονιού και η έκθεση στα στοιχεία. Για την αποφυγή δομικών ζημιών, μπορεί να απαιτηθούν επαρκή στηρίγματα και αγκυρώσεις.

Ευελιξία και επεκτασιμότητα

Ο σχεδιασμός πρέπει να παρέχει ευελιξία και επεκτασιμότητα, επιτρέποντας στο υδροπονικό σύστημα να επεκτείνεται ή να τροποποιείται εύκολα. Αυτή η προσαρμοστικότητα είναι κρίσιμη για την ικανοποίηση των μεταβαλλόμενων απαιτήσεων των καλλιεργειών ή την ενίσχυση της παραγωγικής ικανότητας.

Προσβασιμότητα

Οι μηχανικοί πρέπει να εξετάσουν πώς ο σχεδιασμός του πλαισίου επηρεάζει την πρόσβαση των φυτών για συντήρηση, συγκομιδή και παρακολούθηση. Οι καλλιεργητές μπορούν εύκολα να έχουν πρόσβαση σε όλα τα τμήματα του υδροπονικού συστήματος χάρη σε έναν αποτελεσματικό σχεδιασμό.

Συμβατότητα υλικού

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του πλαισίου θα πρέπει να είναι συμβατά με τα θρεπτικά διαλύματα και τις συνθήκες καλλιέργειας. Αυτή είναι μια διαδικασία που θα έπρεπε να συμβαίνει πάντα με την ύψιστη διαδικαστική επιμέλεια και υπευθυνότητα αφού είναι ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια για την εξασφάλιση ποιότητας. Πρέπει να εγγυηθεί ότι τα υλικά δεν αντιδρούν με το θρεπτικό διάλυμα και δεν εκπέμπουν τοξικές ενώσεις που θα μπορούσαν να βλάψουν την υγεία των φυτών, αργότερα ακόμα και των καταναλωτών.

Τέλος, το πλαίσιο και τα εξαρτήματα στήριξης στα υδροπονικά συστήματα σχεδιάζονται με γνώμονα την επιλογή υλικού και τα σχεδιαστικά στοιχεία. Αυτές οι δομές παρέχουν την απαιτούμενη σταθερότητα και ανθεκτικότητα για να υποστηρίξουν ολόκληρη την υδροπονική εγκατάσταση, εξασφαλίζοντας βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης των φυτών ενώ αντέχουν μια ποικιλία περιβαλλοντικών εμποδίων. Οι μηχανικοί συμβάλλουν στην επιτυχία και την αποτελεσματικότητα της υδροπονικής γεωργίας παίρνοντας έξυπνες αποφάσεις και σχέδια.

5.1.1.3 Υλικά Δοχείων καλλιέργειας

Ένα ακόμη σημαντικό βήμα στο σχεδιασμό υδροπονικών συστημάτων είναι η επιλογή των δοχείων ή κλινών καλλιέργειας. Συχνά χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι δοχείων ή καλλιεργούνται κρεβάτια για να στεγάσουν φυτά σε υδροπονικά συστήματα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των δοχείων είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη της μόλυνσης με θρεπτικά διαλύματα και τη διασφάλιση της δομικής ακεραιότητας. Ανάλογα με τις ακριβείς απαιτήσεις της υδροπονικής διάταξης, οι επιλογές μπορεί να περιλαμβάνουν πλαστικά για τρόφιμα, υαλοβάμβακα ή επικαλυμμένα μέταλλα. Εδώ, θα εξεταστούν βαθύτερα τα τυπικά υλικά και οι εκτιμήσεις.

Πλαστικά για τρόφιμα

Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και πολυπροπυλένιο (PP) είναι δημοφιλή υλικά για δοχεία ανάπτυξης. Έχουν διάφορα πλεονεκτήματα, όπως αντοχή στη διάβρωση, μακροζωία και ευκολία συντήρησης. Επειδή αυτά τα πλαστικά δεν αντιδρούν με το θρεπτικό διάλυμα, δεν διαχέονται τοξικές ενώσεις στο νερό. Επιπλέον, είναι ελαφριά και μπορούν να διαμορφωθούν σε διάφορες μορφές και μεγέθη για να φιλοξενήσουν διάφορα είδη φυτών.

Υαλοβάμβακας

Τα δοχεία από υαλοβάμβακα είναι γνωστά για την στιβαρότητα και την αντοχή τους στη διάβρωση και την υπεριώδη ακτινοβολία. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε καταστάσεις με υψηλή υγρασία αφού ο υαλοβάμβακας δεν αποσυντίθεται σε τέτοιες συνθήκες. Επιπλέον, τα δοχεία από υαλοβάμβακα μπορούν να κατασκευαστούν κατά παραγγελία για να ανταποκρίνονται στις ακριβείς απαιτήσεις του υδροπονικού συστήματος.

Επικαλυμμένα μέταλλα

Τα επικαλυμμένα μέταλλα όπως ο γαλβανισμένος χάλυβας ή το αλουμίνιο χρησιμοποιούνται ως δοχεία καλλιέργειας σε ορισμένες υδροπονικές εγκαταστάσεις. Αυτά τα υλικά είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και μακράς διάρκειας. Για να αποφευχθεί η σκουριά ή η διάβρωση και για να εξασφαλιστεί ότι δεν διαχέονται επικίνδυνες ενώσεις στο θρεπτικό διάλυμα, συχνά επικαλύπτονται με μη αντιδραστικά υλικά. Τα μεταλλικά δοχεία χρησιμοποιούνται συνήθως σε εμπορικές υδροπονικές εργασίες μεγαλύτερης κλίμακας όπου η ανθεκτικότητα είναι κορυφαία προτεραιότητα.

Ξύλο

Αν και είναι λιγότερο διαδεδομένο από τα πλαστικά, τον υαλοβάμβακα ή τα μέταλλα, το ξύλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για δοχεία υδροπονικής ανάπτυξης. Είναι κρίσιμο να τονιστεί ότι το ξύλο πρέπει να υποστεί διεξοδική επεξεργασία και να σφραγιστεί για να αποφευχθεί η σήψη ή η απελευθέρωση ρύπων στο θρεπτικό διάλυμα. Ο κέδρος και το κοκκινόξυλο είναι παραδείγματα ξύλων φυσικώς ανθεκτικά στη φθορά.

Σκυρόδεμα

Τα δοχεία καλλιέργειας σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως υδροπονικά συστήματα μεγάλης κλίμακας ή εμπορικά. Το σκυρόδεμα είναι εξαιρετικά σταθερό και μακράς διάρκειας. Το σκυρόδεμα επικαλύπτεται συχνά με ασφαλή για τρόφιμα στεγανωτικά ή επενδύσεις για να εγγυηθεί ότι δεν επηρεάζει το θρεπτικό διάλυμα.

Όπως είναι λογικό, το υλικό που χρησιμοποιείται για τα δοχεία ανάπτυξης καθορίζεται από μια σειρά κριτηρίων, συμπεριλαμβανομένων των μοναδικών απαιτήσεων του υδροπονικού συστήματος, του τύπου των καλλιεργειών που καλλιεργούνται και των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής ανάπτυξης.

Γενικότερα, οι μηχανικοί μπορούν να διασφαλίσουν τη δομική ακεραιότητα των δοχείων, να αποτρέψουν τη μόλυνση με θρεπτικά διαλύματα και να προωθήσουν την υγιή ανάπτυξη των φυτών στο υδροπονικό περιβάλλον επιλέγοντας το κατάλληλο υλικό.

5.2 Ενσωμάτωση Αυτοματισμού και IoT σε Υδροπονικά Συστήματα

Όπως έγινε ξεκάθαρο στα προηγούμενα κεφάλαια, η πραγματοποίηση της γεωργίας ακριβείας μέσω της λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων καθίσταται αδύνατη χωρίς αισθητήρες IoT. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν σχεδιαστεί για να παρακολουθούν ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών στοιχείων και συνθηκών των φυτών, παρέχοντας ουσιαστικές πληροφορίες για τη διαχείριση της καλλιέργειας.

5.2.1 Συστήματα Ελέγχου και Αυτοματισμός

Η κεντρική νοημοσύνη που συγχρονίζει και οδηγεί ολόκληρη την αυτοματοποιημένη διαδικασία στην υδροπονία είναι το σύστημα ελέγχου, το οποίο διασφαλίζει ότι οι συνθήκες περιβάλλοντος και η παροχή θρεπτικών ουσιών είναι ιδανικές για την ανάπτυξη των φυτών.

5.2.1.1 Κεντρικές Μονάδες Ελέγχου

Οι κεντρικές μονάδες ελέγχου (central control units ή CCU) είναι οι κόμβοι ελέγχου των αυτοματοποιημένων υδροπονικών συστημάτων, που συντονίζουν την περίπλοκη αλληλεπίδραση των περιβαλλοντικών μεταβλητών και την παροχή θρεπτικών ουσιών. Οι μηχανικοί είναι υπεύθυνοι για το σχεδιασμό και τον προγραμματισμό αυτών των CCU. Είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία εξελιγμένων αλγορίθμων που μπορούν να επεξεργάζονται γρήγορα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που εισρέουν από αισθητήρες IoT, να ερμηνεύουν τα δεδομένα και να εκτελούν ακριβείς ενέργειες ως αντίδραση σε αποκλίσεις από ιδανικές συνθήκες.

Η ανάγκη για στιβαρότητα και αξιοπιστία είναι μία από τις βασικές προκλήσεις μηχανικής στην ανάπτυξη των CCU. Αυτές οι συσκευές ελέγχου πρέπει να λειτουργούν άψογα, συχνά σε σκληρές καταστάσεις. Για την αποφυγή καταστροφικών αστοχιών και την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας, έχουν ενσωματωθεί τεχνικές πλεονασμού και ασφάλειας έναντι αστοχιών.

Επιπλέον, η διεπαφή χρήστη είναι μέρος τεχνικών εργασιών των CCU. Η διεπαφή πρέπει να είναι φιλική προς το χρήστη και απλή, προκειμένου οι καλλιεργητές να αλληλεπιδρούν σωστά με το σύστημα ελέγχου. Οι μηχανικοί παρέχουν γραφικές διεπαφές που δίνουν στους καλλιεργητές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, ανάλυση ιστορικών δεδομένων και την επιλογή να κάνουν χειροκίνητες προσαρμογές όπως απαιτείται.

Ουσιαστικά, η μηχανική κεντρικής μονάδας ελέγχου είναι μια πολυδιάστατη δραστηριότητα που απαιτεί εξειδίκευση στην ανάπτυξη λογισμικού, στα ηλεκτρονικά και στο σχεδιασμό εμπειρίας χρήστη. Αυτές οι μονάδες αποτελούν το θεμέλιο του υδροπονικού αυτοματισμού και ο σωστός σχεδιασμός και η εκτέλεσή τους είναι ζωτικής σημασίας για την αποδοτικότητα των πόρων και τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών.

5.2.1.2 Ενσωμάτωση με αισθητήρες IoT

Είναι σημαντικό να επιλεγθεί ο κατάλληλος αισθητήρας για την κατάλληλη λειτουργία, να ληφθεί υπόψη η ανθεκτικότητά τους και η διάρκεια ζωής τους, καθώς και η διάρκεια ορθής λειτουργίας τους. Ένας αισθητήρας ο οποίος για παράδειγμα βρίσκεται σε λειτουργία μόνιμα, πιθανότατα θα φθαρεί νωρίτερα από έναν ο οποίος ενεργοποιείται και απενεργοποιείται σε τακτική βάση. Επίσης πρέπει να υπολογιστούν οι συνθήκες στις οποίες ένας αισθητήρας τοποθετείται, όπως για παράδειγμα ένα περιβάλλον υγρασίας. Πάντα είναι προτιμότερο να υπάρχουν πάνω από ένας αισθητήρες για τον ίδιο σκοπό, έτσι ώστε το σύστημα ελέγχου να μπορέσει να συγκρίνει τη διαφορά δεδομένων και να μπορέσει να αναγνωρίσει κάποια πιθανή δυσλειτουργία, άμεσα.

5.2.1.3 Αλγόριθμοι ελέγχου ακριβείας

Οι αλγόριθμοι ελέγχου δημιουργούνται για να καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα ανταποκρίνεται στην είσοδο του αισθητήρα. Αυτοί οι αλγόριθμοι προορίζονται για τη διατήρηση των βέλτιστων παραμέτρων ανάπτυξης των φυτών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και τα επίπεδα φωτισμού. Η ακρίβεια είναι απαραίτητη στο σχεδιασμό του αλγορίθμου, καθώς οι μικρές αποκλίσεις από τις βέλτιστες συνθήκες μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην παραγωγή και την ποιότητα των καλλιεργειών. Για να τελειοποιηθούν αυτοί οι αλγόριθμοι, οι μηχανικοί αξιολογούν μαθηματικά μοντέλα ανάπτυξης φυτών, βρόχους ανάδρασης αισθητήρων και προγνωστικές αναλύσεις.

Ένας αλγόριθμος για να σχεδιασθεί, πρέπει για αρχή να είναι ξεκάθαρο το ζητούμενο λειτουργίας του, ο στόχος. Εφόσον αυτό γίνει ξεκάθαρο, πρέπει μετά να γίνει γνωστό το μέσο με το οποίο θα χρησιμοποιηθεί. Ένας μικροελεγκτής όπως για παράδειγμα ο Arduino, χρησιμοποιεί κυρίως γλώσσα προγραμματισμού μορφής C++, οπότε αν επιλεγθεί το σύστημα να υποστηριχθεί από Arduino, ο αλγόριθμος θα γραφτεί σε αυτή τη γλώσσα. Έπειτα από αυτό, πλήρως βοηθητικό ως προς τη κατασκευή ενός αλγορίθμου είναι ο σχεδιασμός ενός διαγράμματος ροής, δηλαδή ένα σχεδιάγραμμα το οποίο να παριστάνει τη λειτουργικότητα του κώδικα. Στη συνέχεια διευκολυντικό είναι να κατασκευαστούν ξεχωριστά τα κομμάτια του αλγορίθμου που είναι για διαφορετικές λειτουργίες και στο τέλος να ενσωματωθούν μεταξύ τους προσεκτικά, δίνοντας σημασία στην αποφυγή της επικάλυψης ενός κομματιού από ένα άλλο, με σκοπό την ομαλή λειτουργία του.

5.2.1.4 Ο προσαρμοστικός έλεγχος

Ο προσαρμοστικός έλεγχος είναι μια εξελιγμένη μηχανική προσέγγιση που επιτρέπει την προσαρμογή των παραμέτρων ενός συστήματος ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Για παράδειγμα, εάν παρατηρηθεί ξαφνική πτώση θερμοκρασίας, το σύστημα ελέγχου μπορεί να αυξήσει τη θέρμανση από μόνο του για να αντισταθμίσει. Συχνά χρησιμοποιούνται τεχνικές προσαρμοστικού ελέγχου για να διασφαλίσουν ότι το υδροπονικό σύστημα μπορεί να αντιδράσει σε απρόβλεπτες περιβαλλοντικές αλλαγές, μειώνοντας το στρες ή τις ζημιές στις καλλιέργειες. Είναι επίσης μια ασπίδα ασφαλείας, αφού το σύστημα τίθεται υπεύθυνο για την εξασφάλιση ομαλών συνθηκών για την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

5.2.1.5 Πρότυπα ασφαλείας

Η ενσωμάτωση των πρωτοκόλλων ασφαλείας σε συστήματα υδροπονικού ελέγχου είναι μια ισχυρή προφύλαξη έναντι πιθανών καταστροφικών βλαβών. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές λειτουργούν ως συναγερμοί για το περιβάλλον παραγωγής, σχεδιασμένες ακριβώς για να διασφαλίζουν την προστασία των καλλιεργειών καθώς και την ακεραιότητα του εξοπλισμού. Οι διαδικασίες επικύρωσης αισθητήρα βρίσκονται συνεχώς σε επιφυλακή για ανωμαλίες ή αποκλίσεις στη λειτουργία του αισθητήρα. Όταν

έναν αισθητήρα αποτύχει ή συμβεί ένα σημαντικό σφάλμα συστήματος, το σύστημα ελέγχου τίθεται σε λειτουργία, εφαρμόζοντας γρήγορα προκαθορισμένα μέτρα ασφαλείας. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να περιλαμβάνουν την άμεση διακοπή της παροχής θρεπτικών συστατικών, την ενεργοποίηση περιβαλλοντικών ελέγχων έκτακτης ανάγκης ή την αυτόματη ειδοποίηση συγκεκριμένων προσώπων. Εκτός από τις ικανότητές τους ταχείας απόκρισης, οι διαδικασίες ασφαλείας συλλέγουν και αναλύουν μακροπρόθεσμα δεδομένα με μεθοδικό τρόπο. Αυτή η συνεχής διαδικασία βοηθά στη βελτίωση και βελτιστοποίηση του υδροπονικού συστήματος με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα αυξημένη αξιοπιστία και απόδοση. Η εκτεταμένη δοκιμή και επικύρωση αυτών των τεχνικών διασφαλίζει ακλόνητη εμπιστοσύνη στην ικανότητά τους να προστατεύουν τις καλλιέργειες και τον εξοπλισμό, τονίζοντας την κρίσιμη σημασία τους στον τομέα της υδροπονικής μηχανικής.

5.2.1.6 Καταγραφή και η ανάλυση δεδομένων

Η καταγραφή και η ανάλυση δεδομένων είναι βασικά στοιχεία των συστημάτων υδροπονικού ελέγχου, παρέχοντας σημαντικούς πόρους τόσο για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο όσο και για τη μακροπρόθεσμη βελτίωση του συστήματος.

Όπως είναι γνωστό, η πρόληψη είναι ο σημαντικότερος παράγοντας εξασφάλισης ομαλής λειτουργίας και πρόβλεψης λάθους. Οι σχεδιαστές κατασκευάζουν τέτοια συστήματα με αυτά τα χαρακτηριστικά για να αποτυπώσουν μια πλούσια εικόνα προηγούμενων δεδομένων αισθητήρων και μετρήσεων απόδοσης συστήματος. Αυτός ο θησαυρός πληροφοριών χρησιμεύει ως το θεμέλιο για τις τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων για να κάνουν τη μαγεία τους. Η προηγμένη στατιστική ανάλυση, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης και οι προσεγγίσεις προγνωστικής μοντελοποίησης είναι μεταξύ των μέσων που έχουν στη διάθεσή τους. Αυτοί οι ερευνητές δεδομένων περνούν τις πληροφορίες, εντοπίζοντας κρυφές τάσεις, μοτίβα και ανωμαλίες. Παρέχουν απόψεις για το μέλλον αποκωδικοποιώντας το παρελθόν, επιτρέποντας στους αγρότες και τους μηχανικούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να εφαρμόζουν προληπτικές μεθόδους. Η ανάλυση δεδομένων όχι μόνο βελτιώνει την απόδοση του συστήματος αλλά οδηγεί επίσης τα υδροπονικά συστήματα προς ένα μέλλον καλύτερης απόδοσης.

5.2.1.7 Πλεονασμός και αξιοπιστία

Η αξιοπιστία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στο σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου. Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν πλεονασμό για να εγγυηθούν ότι σημαντικά εξαρτήματα έχουν αντίγραφα ασφαλείας σε περίπτωση βλάβης. Ο πλεονασμός είναι κρίσιμος για τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και την προστασία της υγείας των καλλιεργειών.

5.2.1.8 Επεκτασιμότητα

Η επεκτασιμότητα είναι ένα κρίσιμο μέλημα στο σχεδιασμό συστημάτων υδροπονικής διαχείρισης, καθώς αυτά τα συστήματα πρέπει να είναι αρκετά προσαρμόσιμα ώστε να ταιριάζουν σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθών, από μικρές οικιακές

εγκαταστάσεις έως μεγάλες εμπορικές λειτουργίες. Η επεκτασιμότητα προσεγγίζεται από μηχανικούς με μεγάλη έμφαση στην ευελιξία και την προσαρμοστικότητα. Δημιουργούν συστήματα ελέγχου που μπορεί να “διαστέλλονται” και να “συστέλλονται” για να ανταποκρίνονται στις ακριβείς απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης υδροπονικής εγκατάστασης. Οι μηχανικοί επιτρέπουν στους καλλιεργητές απλώς να επεκτείνουν ή να τροποποιούν τα συστήματά τους παρέχοντας αρθρωτά εξαρτήματα και τυποποιημένες διεπαφές, εξαλείφοντας την ανάγκη για εκτεταμένο επανασχεδιασμό ή αναδιαμόρφωση. Αυτή η επεκτασιμότητα συνεπάγεται ότι οι ίδιες βασικές αρχές και τεχνολογία μπορούν να εφαρμοστούν με συνέπεια σε ποικίλα υδροπονικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας πρακτικές παραγωγής αποδοτικών ως προς τους πόρους σε μικρά και μεγάλα μεγέθη.

Ουσιαστικά, τα συστήματα υδροπονικού ελέγχου και ο αυτοματισμός είναι παραδείγματα μηχανικής εφευρετικότητας.

5.3 Περιβαλλοντική Παρακολούθηση και Έλεγχος

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος του περιβάλλοντος, με ιδιαίτερη έμφαση στην αυτοματοποιημένη παροχή λιπασμάτων, είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των υδροπονικών συστημάτων στα οποία η μηχανική παίζει βασικό ρόλο. Σε αυτή την ενότητα, θα εξετάσουμε τα μηχανικά στοιχεία της αυτοματοποιημένης παροχής λιπασμάτων και τη σημασία τους στην υδροπονική γεωργία.

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα παροχής θρεπτικών ουσιών στην υδροπονία έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν θρεπτικά διαλύματα στις ρίζες των φυτών με ακρίβεια και συνέπεια. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται συνήθως από δεξαμενές διαλυμάτων διατροφής, αντλίες, σωλήνες και δίκτυα διανομής που μεταφέρουν θρεπτικά συστατικά σε μεμονωμένα φυτά ή δοχεία καλλιέργειας. Αισθητήρες όπως αισθητήρες θρεπτικών διαλυμάτων και αισθητήρες pH προσφέρουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στην κεντρική μονάδα ελέγχου, επιτρέποντας συνεχή παρακολούθηση και διόρθωση θρεπτικών συστατικών.

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα χορήγησης θρεπτικών ουσιών έχουν διάφορα πλεονεκτήματα. Αρχικά, επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο των συγκεντρώσεων λιπάσματος, των επιπέδων pH και των προγραμμάτων παροχής θρεπτικών συστατικών, βελτιώνοντας έτσι την ανάπτυξη των φυτών. Λόγω αυτής της ακρίβειας, τα απόβλητα λιπασμάτων μειώνονται, καθιστώντας την υδροπονία πιο αποδοτική από πλευράς πόρων. Εξετάζεται επίσης η βιωσιμότητα, καθώς τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να βοηθήσουν στην ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών, μειώνοντας ακόμη περισσότερο την περιβαλλοντική επίδραση.

Επειδή αυτά τα συστήματα τροφοδοτούν μόνο τα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται από κάθε φυτό, μειώνουν τη σπατάλη θρεπτικών συστατικών και επομένως είναι πιο αποτελεσματικά από τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας στο έδαφος. Η ικανότητα ρύθμισης των συγκεντρώσεων λιπασμάτων με βάση τις ανάγκες των φυτών σε πραγματικό χρόνο αυξάνει τη σωστή χρήση των πόρων.

5.3.1 Hardware συστήματος αυτοματοποιημένης παροχής θρεπτικών συστατικών

Τα φυσικά εξαρτήματα και ο εξοπλισμός που είναι υπεύθυνοι για την ακριβή και ρυθμισμένη κατανομή των θρεπτικών διαλυμάτων αναφέρονται ως Hardware στο πλαίσιο των αυτοματοποιημένων συστημάτων παροχής θρεπτικών ουσιών για υδροπονία. Όπως όλα τα μέρη του συστήματος, σχεδιάζονται και επιλέγονται μεθοδικά αυτά τα εξαρτήματα για να εξασφαλίσουν την ανθεκτικότητα και την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

5.3.1.1 Αντλίες παροχής θρεπτικών συστατικών

Στην καρδιά των συστημάτων παροχής θρεπτικών ουσιών βρίσκονται οι αντλίες. Οι αντλίες επιλέγονται με βάση την ικανότητά τους να παράγουν ακριβείς και σταθερούς ρυθμούς ροής. Λόγω της ακρίβειας και της προσαρμοστικότητάς τους για υδροπονικές εφαρμογές, οι περισταλτικές αντλίες, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται συχνά. Λόγω της ακρίβειας, της αξιοπιστίας και της καταλληλότητάς τους για την παροχή θρεπτικών διαλυμάτων, οι περισταλτικές αντλίες είναι μια δημοφιλής επιλογή στα υδροπονικά συστήματα. Αυτές οι αντλίες λειτουργούν με έναν νέο μηχανισμό που είναι γνωστός ως "άντληση σωλήνων" ή "άντληση σωλήνα". Οι περισταλτικές αντλίες κυκλοφορούν το θρεπτικό διάλυμα μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα. Ο σωλήνας βρίσκεται ανάμεσα σε έναν περιστρεφόμενο ρότορα εξοπλισμένο με κυλίνδρους και ένα σταθερό περίβλημα. Οι κύλινδροι συμπιέζουν τον σωλήνα σε προκαθορισμένα διαστήματα ενώ ο ρότορας περιστρέφεται, με αποτέλεσμα μια σειρά απομονωμένων θαλαμών. Όταν ένας θάλαμος συμπιέζεται, το θρεπτικό διάλυμα αναγκάζεται να ταξιδέψει μέσω του σωλήνα. Οι περισταλτικές αντλίες, συνοπτικά, παρέχουν ακριβή, ανθεκτική στη μόλυνση και παροχή θρεπτικών συστατικών χαμηλής συντήρησης, καθιστώντας τις μια καλή επιλογή για αυτοματοποιημένα υδροπονικά συστήματα. Η ικανότητά τους να ανέχονται λειαντικά διαλύματα και αντιστέκονται στην αντίστροφη ροή προσθέτει στη χρησιμότητά τους για τις μοναδικές απαιτήσεις της υδροπονικής καλλιέργειας.

Οι αντλίες διαφράγματος είναι μια άλλη επιλογή που είναι γνωστή για την αξιοπιστία τους.

5.3.1.2 Σωληνώσεις και εξαρτήματα

Οι σωλήνες και τα εξαρτήματα αποτελούν το δίκτυο μεταφοράς διατροφικών λύσεων. Για να αποφευχθούν τυχόν αντιδράσεις με το θρεπτικό διάλυμα, αυτά τα συστατικά επιλέγονται για την αδράνεια και την αντοχή τους στη διάβρωση. Για ομαλή ροή, ο σωλήνας έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιεί την τριβή και το φράξιμο.

5.3.1.3 Μηχανισμοί ελέγχου ροής

Η ακρίβεια παροχής θρεπτικών ουσιών επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μηχανισμούς ελέγχου ροής όπως βαλβίδες, μετρητές ροής και ρυθμιστές. Αυτά τα εξαρτήματα επιτρέπουν τη λεπτή ρύθμιση των ρυθμών ροής των θρεπτικών συστατικών και τις τροποποιήσεις όπως απαιτείται.

5.3.1.4 Δεξαμενές

Τα θρεπτικά διαλύματα διατηρούνται σε δεξαμενές, το μέγεθος των οποίων ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του υδροπονικού συστήματος. Κατά το σχεδιασμό των δεξαμενών, λαμβάνονται όλα υπόψη, η επιλογή υλικού, η χωρητικότητα και η προσβασιμότητα.

5.4 Ενεργειακή απόδοση και βιωσιμότητα

5.4.1 Στρατηγικές Διαχείρισης Ενέργειας

Η βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας στα υδροπονικά συστήματα αποτελεί χρήσιμο μέρος της βιώσιμης κηπουρικής. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές και στοιχεία υλικού.

5.4.1.1 Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα φωτισμού

Ο φωτισμός είναι μια σημαντική ανησυχία γιατί είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των φυτών. Οι μηχανικοί επιλέγουν συχνά ενεργειακά αποδοτικά συστήματα φωτισμού LED. Αυτά τα συστήματα δεν έχουν σχεδιαστεί μόνο για να παρέχουν το καλύτερο φάσμα για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά είναι επίσης εξαιρετικά ενεργειακά αποδοτικά, χρησιμοποιώντας πολύ λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τις τυπικές λύσεις φωτισμού. Μπορούν να προστεθούν έξυπνοι ελεγκτές στα φωτιστικά LED για τη ρύθμιση της έντασης και της διάρκειας του φωτός με βάση τις ανάγκες των φυτών και τις μεταβλητές του περιβάλλοντος.

5.4.1.2 Αισθητήρες και αυτοματοποίηση

Όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιούνται πολυάριθμοι αισθητήρες εντός του συστήματος για να παρακολουθούνται περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά όπως τα επίπεδα φωτός, θερμοκρασία και υγρασία. Αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την ακριβή διαχείριση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Για βέλτιστη εξοικονόμηση, το σύστημα μπορεί να προσαρμόζεται με σκοπό την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Για παράδειγμα, όταν υπάρχει φυσική ηλιοφάνεια, οι αισθητήρες φωτός μπορεί να προκαλέσουν μείωση ή απενεργοποίηση των τεχνητών φώτων, πιθανά σε συνδυασμό με μία αυτοκινούμενη οροφή η οποία θα ανοίγει για να δώσει δρόμο στο φυσικό φως. Ομοίως, οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροποποίηση των συστημάτων εξαερισμού και ψύξης προκειμένου να διατηρηθούν οι βέλτιστες συνθήκες.

5.4.1.3 Συστήματα ελέγχου του κλίματος

Τα ενεργειακά αποδοτικά συστήματα κλιματισμού αποτελούν ένα ακόμη θεμέλιο για τη διαχείριση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στις υδροπονικές λειτουργίες. Αυτά τα συστήματα με πρωτοποριακή τεχνολογία, όπως συστήματα ανάκτησης θερμότητας, συλλαμβάνουν και επαναχρησιμοποιούν τη σπατάλη θερμότητας για να μειώσουν την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση. Επιπλέον, η εξαιρετική μόνωση και οι

σφραγισμένες κατασκευές βοηθούν στη διατήρηση σταθερών συνθηκών χωρίς να ξοδεύεται υπερβολική ενέργεια.

5.4.1.4 Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακοί συλλέκτες και ανεμογεννήτριες, είναι ένα άλλο μέρος, ίσως το επόμενο βήμα, του υλικού της διαχείρισης ενέργειας. Δημιουργούνται αυτά τα συστήματα για να χρησιμοποιείται η φυσική ενέργεια, μειώνοντας την εξάρτηση από το δίκτυο και μειώνοντας το αποτύπωμα άνθρακα των υδροπονικών λειτουργιών. Συχνά περιλαμβάνονται συστήματα αποθήκευσης μπαταριών για την αποθήκευση επιπλέον ενέργειας για χρήση σε περιόδους χαμηλής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

5.4.1.5 Ενεργειακή απόδοση

Οι σχεδιαστές επιλέγουν προσεκτικά και κατασκευάζουν εξαρτήματα υλικού, όπως αντλίες, ανεμιστήρες, συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού, και κλιματισμού με γνώμονα την ενεργειακή απόδοση. Οι κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας και οι αποδοτικοί κινητήρες μειώνουν τη χρήση ισχύος, διατηρώντας παράλληλα τον ακριβή έλεγχο της παροχής θρεπτικών ουσιών και των συνθηκών περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, οι λύσεις διαχείρισης ενέργειας σε υδροπονικά συστήματα είναι μια πολυδιάστατη εργασία που απαιτεί την ενσωμάτωση πολλών εξαρτημάτων υλικού και αρχών μηχανικής. Οι μηχανικοί μπορούν να κατασκευάσουν υδροπονικές εγκαταστάσεις φιλικές προς το περιβάλλον και οικονομικά αποδοτικές βελτιστοποιώντας τον φωτισμό, χρησιμοποιώντας αισθητήρες και αυτοματισμό, υιοθετώντας αποτελεσματική διαχείριση του κλίματος, ενσωματώνοντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αξιοποιώντας συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου ενέργειας.

5.5 Συμβατότητα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα υδροπονικά συστήματα εξελίσσονται παράλληλα με την παγκόσμια στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βελτιώνει τη βιωσιμότητα ενώ μειώνει τα λειτουργικά έξοδα.

5.5.1 Ενοποίηση ηλιακής και αιολικής ενέργειας

Οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία υδροπονικών λειτουργιών. Τα ηλιακά πάνελ μετατρέπουν την ηλιοφάνεια σε ηλεκτρική ενέργεια, καθιστώντας τα μια φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια συλλαμβάνοντας την κινητική ενέργεια από τον άνεμο. Για να επιτευχθεί η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας, απαιτείται προσεκτική βελτιστοποίηση της τοποθέτησης και του σχεδιασμού αυτών των συστημάτων. Αυτή η ενοποίηση όχι μόνο μειώνει την εξάρτηση από το δίκτυο, αλλά μειώνει επίσης τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

5.5.1.1 Ηλιακά πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα στα φωτοβολταϊκά πάνελ μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι δομές τοποθέτησης, οι μετατροπείς για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα και οι συσκευές παρακολούθησης περιλαμβάνονται επίσης στο σύστημα για βέλτιστη απόδοση ισχύος.

5.5.1.2 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες προορίζονται για την επιτυχή σύλληψη της αιολικής ενέργειας. Τα πτερύγια των στροβίλων, οι πύργοι για την ανύψωση των στροβίλων, τα κιβώτια ταχυτήτων για τη μετάδοση της περιστροφής των πτερυγίων και οι γεννήτριες για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ισχύ αποτελούν όλα μέρος του συστήματος. Τα μοτίβα ανέμου και το τοπικό κλίμα λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό της τοποθέτησης και του είδους των ανεμογεννητριών.

5.5.1.3 Αποθήκευση Ενέργειας

Η αποθήκευση ενέργειας όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι ένα σημαντικό μέρος της αποδοτικής κατανάλωσης ενέργειας. Χρησιμοποιούνται καινοτόμα συστήματα μπαταριών για να αποθηκευτεί επιπλέον ενέργεια που παράγεται υπό ιδανικές συνθήκες. Η ηλιακή και η αιολική ενέργεια μπορεί επίσης να είναι διακοπτόμενη, επομένως οι λύσεις αποθήκευσης ενέργειας είναι απαραίτητες. Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται στο σύστημα για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται κατά τις περιόδους αιχμής παραγωγής, όπως ηλιόλουστες μέρες ή νύχτες με αέρα. Αυτές οι μπαταρίες αποτελούνται από πολλά μέρη, όπως στοιχεία ιόντων λιθίου, συστήματα διαχείρισης μπαταριών (BMS) και μετατροπείς. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και της αξιοπιστίας τους. Αυτές οι μπαταρίες αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια ως χημική ενέργεια και την απελευθερώνουν όταν είναι απαραίτητο.

Η ενσωμάτωση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας στα υδροπονικά συστήματα όχι μόνο μειώνει την εξάρτηση από παραδοσιακές πηγές ενέργειας, αλλά προσθέτει επίσης στη βιωσιμότητα μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Αυτή η βελτιστοποίηση του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρει βέλτιστη παραγωγή ενέργειας και οικονομική αποδοτικότητα για υδροπονικές εργασίες.

5.5.2 Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας

Τα συστήματα μετατροπής ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της κατάλληλης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις υδροπονικές εγκαταστάσεις. Βασικό βήμα είναι η ανάπτυξη αποτελεσματικών τεχνικών για τη μεταφορά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή και ο άνεμος σε χρήσιμες μορφές. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

5.5.2.1 Συστήματα διαχείρισης μπαταριών (BMS)

Τα Συστήματα Διαχείρισης Μπαταριών (BMS) είναι βασικά στοιχεία των

υδροπονικών συστημάτων που διασφαλίζουν την αποτελεσματική και ασφαλή λειτουργία των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας. Το BMS είναι κρίσιμο για την παρακολούθηση της υγείας των μεμονωμένων κυψελών μπαταρίας, διασφαλίζοντας ότι λειτουργούν εντός ασφαλών ορίων τάσης και θερμοκρασίας και αποτρέποντας ζητήματα όπως η υπερφόρτιση και η υπερβολική εκφόρτιση. Το BMS βελτιώνει την απόδοση και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας εξισορροπώντας συνεχώς τις τάσεις της κυψέλης και διαχειριζόμενο την κατάσταση φόρτισης. Επιπλέον, το BMS παρέχει ζωτικά δεδομένα για ανάλυση, επιτρέποντας στους χειριστές να αναλύουν την κατάσταση της μπαταρίας, να βελτιστοποιούν τα πρότυπα κατανάλωσης και να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις συντήρησης ή αντικατάστασης. Εγγυάται επίσης ασφαλή φόρτιση και αποστράγγιση, ενισχύει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και προστατεύει από υπερφόρτιση και αποφόρτιση. Η τεχνολογία BMS είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της υγείας και της καλής απόδοσης των συστημάτων μπαταριών. Συνολικά, το BMS προστατεύει τις μπαταρίες, μεγιστοποιεί την απόδοσή τους και συμβάλλει στη μακροπρόθεσμη και απρόσκοπτη λειτουργία των υδροπονικών συστημάτων.

5.5.2.2 Μετατροπείς

Στις υδροπονικές εγκαταστάσεις, οι μετατροπείς είναι βασικά στοιχεία των συστημάτων μετατροπής ενέργειας. Οι μετατροπείς διασφαλίζουν ότι η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές και αποθηκεύεται σε μπαταρίες ή προέρχεται από το δίκτυο μετατρέπεται σε μορφή συμβατή με τις ηλεκτρικές απαιτήσεις των υδροπονικών συστημάτων. Η ικανότητά τους να συγχρονίζονται με πολλαπλές πηγές ενέργειας, καθώς και να διατηρούν σταθερή συχνότητα και τάση, βοηθά στην αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία των υδροπονικών εγκαταστάσεων.

Ο κύριος ρόλος τους είναι να βοηθήσουν στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος (Συνεχές Ρεύμα), η οποία συνήθως αποθηκεύεται σε μπαταρίες, σε ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος (εναλλασσόμενο ρεύμα). Αυτή η μετατροπή είναι κρίσιμη, καθώς οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές και εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται σε υδροπονικά συστήματα, καθώς και στις περισσότερες κατοικίες και χώρους εργασίας, λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Οι μετατροπείς μετατρέπουν την ηλεκτρική κυματομορφή από DC σε AC χρησιμοποιώντας πολύπλοκα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Αυτό το επιτυγχάνουν αλλάζοντας την κατεύθυνση της ροής του ρεύματος σε τακτική βάση, με αποτέλεσμα ένα εναλλασσόμενο σχέδιο παρόμοιο με το συνηθισμένο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτός ο μετασχηματισμός διασφαλίζει ότι η ενέργεια που αποθηκεύεται στις μπαταρίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία των διαφόρων εξαρτημάτων της υδροπονικής εγκατάστασης με ομαλό τρόπο.

Τα συστήματα μετατροπής ενέργειας, σε συνδυασμό με λύσεις αποθήκευσης ενέργειας, εξασφαλίζουν συνεχή παροχή ρεύματος. Ακόμη και όταν η παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι χαμηλή, οι υδροπονικές λειτουργίες μπορούν να συνεχιστούν. Αυτή η αξιοπιστία είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της τακτικής ανάπτυξης και παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών μετατροπής

ενέργειας σε υδροπονικές εγκαταστάσεις συνάδει με τους στόχους βιωσιμότητας. Τα υδροπονικά συστήματα έχουν χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο καθώς χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποτελεσματική μετατροπή ενέργειας. Συμβάλλουν στη διασφάλιση της βιωσιμότητας μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, η ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οικονομικά αποδοτική. Οι υδροπονικοί χειριστές μπορούν να μειώσουν δραστικά τις ενεργειακές τους δαπάνες και να επιτύχουν μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία με την πάροδο του χρόνου. Η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση και η καλύτερη οικονομική βιωσιμότητα εξισορροπούν την αρχική επένδυση σε υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Συμπερασματικά, τα συστήματα μετατροπής ενέργειας σε υδροπονικές εγκαταστάσεις καταδεικνύουν πώς η μηχανική και η τεχνολογία οδηγούν τη γεωργική βιωσιμότητα. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την αποτελεσματική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ παράλληλα μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αυξάνουν την οικονομική απόδοση στις υδροπονικές λειτουργίες.

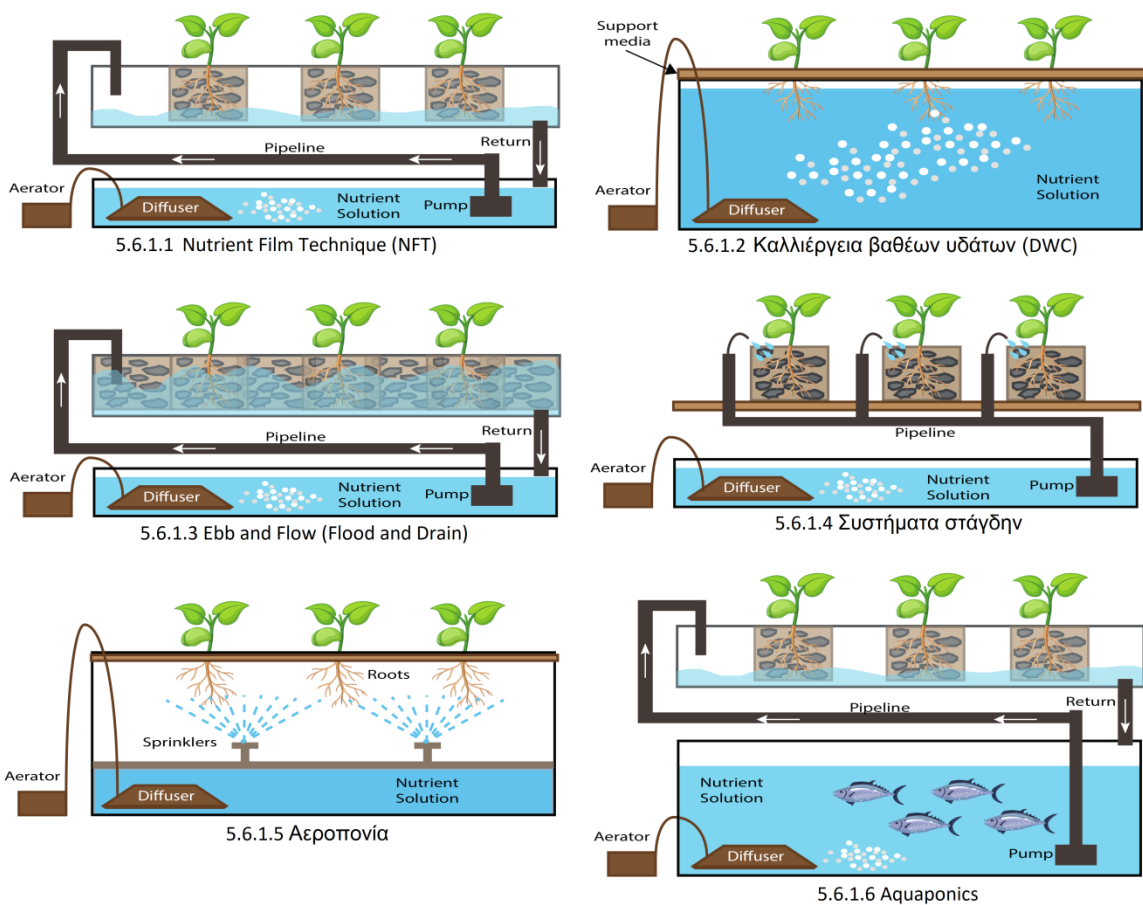
5.6 Θεωρήσεις σχεδιασμού συστήματος υδροπονίας

Πολλά χαρακτηριστικά σε κάθε υδροπονικό σύστημα, όπως το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η στάθμη του νερού του δοχείου, πρέπει να διατηρούνται σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Ένα αυτόματο υδροπονικό σύστημα θα πρέπει αυτόματα και ανεξάρτητα να μεταβάλλει και να διατηρεί αυτές τις παραμέτρους εντός των κατάλληλων ορίων χωρίς την ανάγκη συμμετοχής του χρήστη. Για την παρακολούθηση των διαφόρων παραμέτρων του υδροπονικού συστήματος, συνδέονται διάφοροι αισθητήρες στον ελεγκτή. Τα τεχνητά φώτα, οι αντλίες νερού και οι δοσομετρικές αντλίες που χρησιμοποιούνται για την προσθήκη pH και θρεπτικών συστατικών στο νερό ελέγχονται όλα από έναν ηλεκτρομηχανικό πίνακα ρελέ. Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από το κεντρικό κύκλωμα ελεγκτή μπορούν να μεταδοθούν ενσύρματα ή ασύρματα σε μια ηλεκτρονική βάση δεδομένων με σκοπό την επεξεργασία και ανάλυσή τους.

5.6.1 Επιλογή συστήματος

Το είδος του υδροπονικού συστήματος που επιλέγεται καθορίζεται από κριτήρια όπως οι καλλιέργειες προς ανάπτυξη, ο διαθέσιμος χώρος, ο προϋπολογισμός, το επιθυμητό επίπεδο αυτοματισμού, και προσωπική άποψη. Κάθε σύστημα έχει το δικό του σύνολο πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων, επομένως κατά τη λήψη μιας απόφασης, είναι σημαντικό να αξιολογηθούν οι ατομικές ανάγκες και στόχοι. Στη παρακάτω εικόνα 7 προβάλλονται οπτικά μερικά από τα διαφορετικά είδη συστήματος που μπορούν να

χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 7

5.6.1.1 Nutrient Film Technique (NFT)

Ένα κάθετο σύστημα Nutrient Film Technique (NFT) για υδροπονική καλλιέργεια παρέχει πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα, καθιστώντας το μια δημοφιλή επιλογή μεταξύ των αγροτών. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του είναι η εκπληκτική εκμετάλευση χώρου. Τα κάθετα συστήματα NFT έχουν σχεδιαστεί έξυπνα για να χρησιμοποιούν τον διαθέσιμο χώρο, καθιστώντας τα ιδανικά για αστικά ή εσωτερικά αγροτικά περιβάλλοντα όπου ο χώρος είναι περιορισμένος. Οι καλλιεργητές μπορούν να καλλιεργήσουν έναν σημαντικό αριθμό φυτών σε μια πολύ μικρή περιοχή τοποθετώντας τα κάθετα σε κανάλια ή αγωγούς.

Τα κάθετα συστήματα NFT μεγιστοποιούν, επίσης, την απόδοση του νερού και των θρεπτικών συστατικών. Χρησιμοποιούν ένα λεπτό στρώμα διαλύματος λιπάσματος που περνά πάνω από τις ρίζες των φυτών για να εξασφαλίσει η αποτελεσματική απορρόφηση θρεπτικών συστατικών ενώ καταναλώνει τη λιγότερη ποσότητα νερού. Επειδή αυτά τα συστήματα επανακυκλοφορούν, το επιπλέον θρεπτικό διάλυμα μπορεί να ανακτηθεί και να ανακυκλωθεί, μειώνοντας αποτελεσματικά τα απόβλητα. Επιπλέον, με τα συστήματα NFT, η έκθεση των ριζών των φυτών σε αέρα πλούσιο σε οξυγόνο προάγει την εύρωστη

ανάπτυξη των ριζών και αποτρέπει την ασφυξία, με αποτέλεσμα πιο υγιείς και πιο ζωηρές καλλιέργειες.

Τα κάθετα συστήματα NFT προσφέρουν χαμηλότερους κινδύνους παρασίτων και ασθενειών, επειδή η υψηλότερη θέση των φυτών μειώνει την πιθανότητα δυσκολιών που προκαλούνται από το έδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα καλύτερες καλλιέργειες και λιγότερη εξάρτηση από φυτοφάρμακα. Είναι επίσης φιλικά προς το χρήστη, επιτρέποντας την εύκολη επιθεώρηση και συντήρηση των φυτών χωρίς να διαταράσσουν το ριζικό σύστημα και είναι εξαιρετικά επεκτάσιμα, επιτρέποντας την προσθήκη περισσότερων καναλιών ή σωλήνων για αύξηση της παραγωγικής ικανότητας όπως απαιτείται. Αυτή η επεκτασιμότητα αντιστοιχεί καλά με τη δυνατότητα αυτοματισμού και ενσωμάτωσης IoT, επιτρέποντας στους καλλιεργητές να δημιουργήσουν προηγμένα συστήματα παρακολούθησης και διαχείρισης για αποτελεσματική καλλιέργεια. Συνολικά, τα κάθετα συστήματα NFT στην υδροπονία είναι δημοφιλή λόγω της απόδοσης χώρου, της απόδοσης του νερού και της συνολικής παραγωγικότητάς τους. Είναι μια ελκυστική επιλογή για τους καλλιεργητές που αναζητούν τη μέγιστη απόδοση σε μικρά μέρη.

5.6.1.2 Καλλιέργεια βαθέων υδάτων (DWC)

Το Deep Water Culture (DWC) είναι ένα υδροπονικό σύστημα που ξεχωρίζει για την αισθητική του απλότητα και αποτελεσματικότητα στην παραγωγή μιας ευρείας ποικιλίας φυτών, ιδιαίτερα εκείνων με εκτεταμένα ριζικά συστήματα. Τα φυτά στο DWC αιωρούνται σε ένα υδατικό διάλυμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, με τις ρίζες τους πλήρως βυθισμένες. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα του DWC είναι η προσέγγιση οξυγόνωσης, η οποία είναι κρίσιμη για την υγεία και τη ζωτικότητα των ριζών των φυτών. Οι πέτρες αέρα ή οι διαχυτές τοποθετούνται στρατηγικά στη διατροφική λύση για να διασφαλιστεί η κατάλληλη παροχή οξυγόνου. Αυτές οι συσκευές παράγουν λεπτές φυσαλίδες οξυγόνου που ανεβαίνουν μέσα από το νερό, δημιουργώντας ένα περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο, σημαντικό για τις ρίζες.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της DWC είναι η ικανότητά της να υποστηρίζει την ανάπτυξη μεγαλύτερων φυτών όπως οι ντομάτες, τα αγγούρια, ακόμη και τα μικροσκοπικά οπωροφόρα δέντρα. Η εκτεταμένη βυθισμένη ριζική ζώνη επιτρέπει τη σημαντική ανάπτυξη των ριζών, με αποτέλεσμα τα εύρωστα και επιθετικά αναπτυσσόμενα φυτά. Αυτό κάνει το DWC ιδιαίτερα ελκυστικό στους κηπουρούς που ενδιαφέρονται να δημιουργήσουν καλλιέργειες που απαιτούν μεγαλύτερη έκταση για τα ριζικά τους συστήματα. Το DWC είναι επίσης μια δημοφιλής εναλλακτική λύση λόγω της ευκολίας συντήρησης και της απλής εγκατάστασης. Επειδή οι ρίζες των φυτών έχουν άμεση πρόσβαση στα σημαντικά θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται ελλείψει εδάφους, η παροχή θρεπτικών συστατικών απλοποιείται, με αποτέλεσμα υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης και λιγότερα απόβλητα λιπασμάτων.

Συμπερασματικά, το DWC ξεχωρίζει μεταξύ των υδροπονικών συστημάτων λόγω του βασικού σχεδιασμού και της ικανότητάς του να καλλιεργεί μεγαλύτερα φυτά. Παρέχει

μια ατμόσφαιρα που ενθαρρύνει την ισχυρή ανάπτυξη και εξορθολογίζει τη διαδικασία καλλιέργειας βυθίζοντας τις ρίζες των φυτών σε ένα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά διάλυμα και παρέχοντας οξυγόνο μέσω πετρών αέρα ή διαχυτών. Η προσαρμοστικότητα και η αποτελεσματικότητά του το καθιστούν εξαιρετική επιλογή για υδροπονικούς κηπουρούς που αναζητούν αποτελεσματικές και παραγωγικές μεθόδους καλλιέργειας φυτών.

5.6.1.3 Ebb and Flow (Flood and Drain)

Το Ebb and Flow είναι ένα ευέλικτο και ευρέως χρησιμοποιούμενο υδροπονικό σύστημα που αναγνωρίζεται για την κυκλική του προσέγγιση στην παροχή αζώτου. Τα φυτά συχνά αναπτύσσονται σε δοχεία ή δίσκους που τοποθετούνται πάνω από μια δεξαμενή διαλύματος λιπάσματος με αυτή τη διάταξη. Το σύστημα πλημμυρίζει αυτά τα δοχεία με νερό πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά σε τακτική βάση, τροφοδοτώντας τα φυτά με τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και ενυδάτωση.

Η συμβατότητα του συστήματος Ebb and Flow για ένα ευρύ φάσμα φυτών, συμπεριλαμβανομένων των φυλλωδών χόρτων, των ανθοφόρων φυτών, ακόμη και των ποικιλιών που καρποφορούν, είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του, καθιστώντας το μια δημοφιλή επιλογή μεταξύ των παραγωγών υδροπονίας. Αυτή η ευελιξία είναι ένα μεγάλο στοιχείο ενδιαφέροντος για τους καλλιεργητές που έχουν διαφορετικές επιλογές καλλιέργειας. Επιπλέον, η τεχνική Ebb and Flow είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στην οξυγόνωση των ριζών των φυτών. Το διατροφικό διάλυμα ορμάει πάνω από τις ρίζες κατά την περίοδο της πλημμύρας, εισάγοντας οξυγόνο και κρίσιμα θρεπτικά συστατικά. Καθώς το διάλυμα στραγγίζει πίσω στη δεξαμενή, αφαιρεί την περίσσεια υγρασία από τις ρίζες, εμποδίζοντάς τις να μουσκέψουν. Η περιοδική πλημμύρα και η αποστράγγιση βοηθούν στην απομάκρυνση συσσωρευμένων αλάτων και αποθεμάτων ορυκτών, μειώνοντας τον κίνδυνο ανισορροπίας των θρεπτικών συστατικών και διατηρώντας ένα υγιές περιβάλλον ριζών. Αυτός ο εναλλασσόμενος κύκλος ενυδάτωσης και αερισμού προάγει την υγιή ανάπτυξη των ριζών και μπορεί να οδηγήσει σε έντονη ανάπτυξη των φυτών.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του συστήματος Ebb and Flow είναι η απλότητα και η ευκολία εγκατάστασης. Δεν απαιτεί πολύπλοκο εξοπλισμό ή αυτοματισμό, καθιστώντας το κατάλληλο για άπειρους λάτρεις της υδροπονίας.

Συμπερασματικά, το υδροπονικό σύστημα Ebb and Flow, γνωστό και ως Flood and Drain, είναι δημοφιλές λόγω της προσαρμοστικότητας, της καλής παροχής λιπάσματος και της οξυγόνωσης της ρίζας. Η ευελιξία του για ένα ευρύ φάσμα ειδών φυτών και η απλή λειτουργία του το καθιστούν μια δελεαστική εναλλακτική λύση τόσο για αρχάριους όσο και για επαγγελματίες καλλιεργητές υδροπονίας που αναζητούν αξιόπιστες και αποτελεσματικές μεθόδους παραγωγής.

5.6.1.4 Συστήματα στάγδην

Τα συστήματα στάγδην (Drip Systems) παρέχουν ιδιαίτερα καλό έλεγχο στη διαδικασία άρδευσης. Ανάλογα με την ποικιλία του φυτού, το στάδιο ανάπτυξης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οι εκπομποί μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να παράγουν μια

αργή, σταθερή ή πιο γρήγορη ροή. Αυτή η προσαρμοστικότητα ωφελεί τους παραγωγούς, επιτρέποντάς τους να προσαρμόσουν τα υδροπονικά τους συστήματα για βέλτιστη ανάπτυξη και αξιοποίηση των πόρων. Επιπλέον, η ικανότητα αυτοματισμού των συστημάτων σταγόνας απλοποιεί τη συντήρηση, απαλλάσσοντας τους παραγωγούς από τη δουλειά του χειροκίνητου ποτίσματος και παρέχοντας συνεχή φροντίδα των φυτών. Οι ρίζες των φυτών βρίσκονται συχνά σε ένα καλλιεργητικό μέσο ή υπόστρωμα, όπως κοκοφοίνικα καρύδας, πετροβάμβακας ή περλίτης. Αυτά τα υποστρώματα υποστηρίζουν τα φυτά ενώ παράλληλα επιτρέπουν στις ρίζες να έχουν πρόσβαση στο θρεπτικό διάλυμα. Σε αντίθεση με άλλα υδροπονικά συστήματα, όπως το Nutrient layer Technique (NFT), που εκθέτει τις ρίζες σε ένα λεπτό στρώμα θρεπτικού διαλύματος, τα συστήματα στάγδην μεταφέρουν το θρεπτικό διάλυμα απευθείας στη ζώνη ρίζας μέσω ενός δικτύου σωλήνων και εκπομπών. Οι ρίζες ενός συστήματος σταγόνων βρίσκονται συχνά εντός του καλλιεργητικού μέσου, το οποίο διατηρεί κάποια υγρασία και παρέχει υποστήριξη στα φυτά.

5.6.1.5 Αεροπονία

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, Τα αεροπονικά συστήματα είναι μια μορφή υδροπονικού συστήματος που αιωρεί τις ρίζες των φυτών στον αέρα εντός ενός θαλάμου ή μιας δομής ανάπτυξης. Οι ρίζες εκτίθενται στον αέρα αντί να θάβονται σε θρεπτικό διάλυμα ή μέσα καλλιέργειας. Η εφαρμογή μιας λεπτής ομίχλης ή ψεκασμού διαλύματος λιπάσματος απευθείας στις ρίζες σε τακτά χρονικά διαστήματα είναι η κύρια πτυχή της αεροπονίας. Αυτή η διαδικασία ομίχλης εγγυάται ότι οι ρίζες λαμβάνουν επαρκές οξυγόνο καθώς και σημαντικά θρεπτικά συστατικά.

Η Αεροπονία είναι ιδανική για ταχέως αναπτυσσόμενα φυτά λόγω της υψηλής ποσότητας οξυγόνωσης και απορρόφησης θρεπτικών συστατικών που παρέχει. Η λεπτή ομίχλη προάγει την εύρωστη και την καλή ανάπτυξη των ριζών, επιτρέποντας την αποτελεσματική πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Επιπλέον, η έλλειψη ενός στερεού καλλιεργητικού μέσου ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο παρασίτων και ασθενειών που μεταδίδονται στο έδαφος, καθιστώντας τα αεροπονικά συστήματα μια αποστειρωμένη και καθαρή λύση για τη φυτική παραγωγή.

Ενώ η αεροπονία έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και αποτελεσματική παροχή λιπασμάτων, είναι πιο δύσκολο να εγκατασταθεί και να διατηρηθεί από άλλα υδροπονικά συστήματα. Η διατήρηση των ακροφυσίων εκνέφωσης σε καλή κατάσταση λειτουργίας, η διατήρηση ενός υγειονομικού περιβάλλοντος και η εξάλειψη των φραγμών στο σύστημα παροχής θρεπτικών συστατικών είναι όλα κρίσιμοι παράγοντες για την αποτελεσματική αεροπονική καλλιέργεια.

5.6.1.6 Aquaponics

Η Aquaponics είναι μια νέα και φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία γεωργίας που συνδυάζει υδροπονία και υδατοκαλλιέργεια. Τα ψάρια εκτρέφονται σε δεξαμενές ή λίμνες σε αυτήν την ολοκληρωμένη τεχνική και τα περιττώματά τους, τα οποία είναι πλούσια σε χημικά στοιχεία, ενεργούν ως φυσική παροχή αζώτου μεταξύ άλλων, για τα φυτά. Τα φυτά

λαμβάνουν αυτά τα θρεπτικά συστατικά ενώ αναπτύσσονται σε υδροπονικά μέσα όπως χαλίκι ή περλίτης, καθαρίζοντας αποτελεσματικά το νερό και απομακρύνοντας επικίνδυνες ουσίες όπως η αμμωνία, τα νιτρώδη και τα νιτρικά άλατα. Αυτή η φυσική συμβιωτική σχέση μεταξύ ψαριών και φυτών δημιουργεί μια οικολογία κλειστού βρόχου στην οποία ευδοκούν και τα δύο.

Η Aquaponics έχει διάφορα πλεονεκτήματα. Είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον από την παραδοσιακή γεωργία επειδή ενισχύει την αποδοτικότητα των πόρων εξοικονομώντας νερό και λιπάσματα. Τα συστήματα Aquaponics μπορούν να λειτουργήσουν όλο το χρόνο, εξασφαλίζοντας σταθερή παροχή φρέσκων τροφών και ψαριών ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Είναι επίσης αποδοτικά από άποψη χώρου και μπορούν να εγκατασταθούν σε αστικές περιοχές ή τοποθεσίες όπου η γη είναι σπάνια. Η Aquaponics παράγει βιολογικά και χωρίς χημικά προϊόντα αποφεύγοντας τη χρήση συνθετικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Έχει επίσης εκπαιδευτική αξία, καθώς διδάσκει βιώσιμες γεωργικές πρακτικές και οικολογικές έννοιες και μπορεί να κλιμακωθεί ώστε να ταιριάζει σε ποικίλες απαιτήσεις, από οικιακές εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας έως τεράστιες εμπορικές δραστηριότητες. Συνολικά, η aquaponics είναι μια ολιστική και βιώσιμη προσέγγιση στη γεωργία που μειώνει τα απόβλητα, εξοικονομεί πόρους και έχει χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

5.6.1.7 Αναφορές

Υπάρχουν διάφορα άλλα διαθέσιμα υδροπονικά συστήματα, το καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προσαρμοσμένα στις συγκεκριμένες συνθήκες ανάπτυξης. Το σύστημα Wick, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί ένα απλό φυτίλι για να μεταφέρει θρεπτικά συστατικά στις ρίζες των φυτών, καθιστώντας το μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για μικρότερες ρυθμίσεις. Η μέθοδος Kratky βασίζεται σε ένα σταθερό επίπεδο θρεπτικού διαλύματος, καθιστώντας την μια επιλογή χαμηλής συντήρησης με περιορισμούς για συγκεκριμένα είδη φυτών και επεκτασιμότητα. Τα συστήματα κάθετων πύργων, όπως αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4 είναι οπτικά όμορφα και κατάλληλα για αστικά περιβάλλοντα ή περιβάλλοντα περιορισμένου χώρου, επειδή χρησιμοποιούν κατακόρυφους πύργους που λειτουργούν αποδοτικά στο χώρο με διαδοχική παροχή θρεπτικών ουσιών. Το Fogponics, όπως το αεροπονικό, χρησιμοποιεί ομίχλη πλούσια σε θρεπτικά συστατικά για τη βέλτιστη απορρόφηση της διατροφής των ριζών και χρησιμοποιείται συχνά για ευαίσθητα φυτά. Ενώ αυτά τα συστήματα απαιτούν λιγότερο αυτοματισμό από άλλες προσεγγίσεις, παρέχουν στους υδροπονικούς καλλιεργητές μια ποικιλία εναλλακτικών λύσεων για να προσαρμόσουν τις ρυθμίσεις τους στις προσωπικές τους ανάγκες και προτιμήσεις.

5.6.2 Δοχεία καλλιέργειας

Η επιλογή του σωστού δοχείου για το υδροπονικό σύστημα υπό σχεδιασμό είναι κρίσιμη για την επιτυχία της παραγωγής. Όταν αποφασίζεται για το καλύτερο μέγεθος και διαμόρφωση δοχείου, πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλά πράγματα. Πρώτα και κύρια, πρέπει να εξετασθεί το είδος των φυτών που σκοπεύεται να καλλιεργηθούν και τις

ατομικές απαιτήσεις απόστασης. Επειδή τα διαφορετικά είδη φυτών απαιτούν διαφορετικές ποσότητες χώρου, είναι σημαντικό να επιλεγεί ένα δοχείο που να μπορεί να χειριστεί την απαραίτητη πυκνότητα φυτών.

Ο τύπος του υδροπονικού συστήματος που επιλέγεται είναι πολύ σημαντικός στην επιλογή δοχείων. Για παράδειγμα, το Nutrient Film Technique (NFT) μπορεί να απαιτεί μακριά, στενά δοχεία με κανάλια ή αγωγούς, σε αντίθεση με τη καλλιέργεια βαθέων υδάτων (DWC) μπορεί να απαιτεί μεγαλύτερα, βαθύτερα δοχεία για να θάψουν επαρκώς τις ρίζες των φυτών. Είναι σημαντικό να ταιριάζει ο σχεδιασμός του δοχείου με το επιλεγμένο υδροπονικό σύστημα.

Δεν πρέπει επίσης να αγνοούνται πρακτικοί παράγοντες. Είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ο διαθέσιμος χώρος στην τοποθεσία που διατίθεται για την υδροπονική εγκατάσταση. Δεδομένο ότι το δοχείο που θα επιλεγεί χωράει άνετα στον διαθέσιμο χώρο, πρέπει να προσφέρει εύκολη πρόσβαση σε όλα τα τμήματα του συστήματος για συντήρηση χωρίς να προκαλείται βλάβη στις εγκαταστάσεις ή στα εξαρτήματα του συστήματος. Επιπλέον, ορισμένα υδροπονικά συστήματα μπορεί να απαιτούν ξεχωριστές δεξαμενές για διαλύματα νερού και θρεπτικών συστατικών, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση δοχείων που μπορούν να χωρέσουν αυτά τα επιπλέον συστατικά. Το μέγεθος του δοχείου που χρειάζεται το υδροπονικό σύστημα μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τον αριθμό των φυτών που σκοπεύεται να αναπτυχθούν και τις απαιτήσεις απόστασης αυτών των φυτών.

Για να υπολογιστεί το μέγεθος του δοχείου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας απλός τύπος

Όγκος δοχείου (σε λίτρα) = Αριθμός φυτών × Απαιτούμενος χώρος ανά φυτό (σε λίτρα)

Για παράδειγμα, εάν είναι ζητούμενο να καλλιεργηθούν 20 φυτά μαρουλιού που απαιτούν 4 λίτρα χώρο το καθένα, ο όγκος του δοχείου που απαιτείται θα είναι

$\text{Όγκος δοχείου} = 20 \text{ φυτά} \times 4 \text{ λίτρα/φυτό} = 80 \text{ λίτρα}$

Αυτός ο τύπος παρέχει μια χονδρική εκτίμηση του μεγέθους του δοχείου που απαιτείται για να στεγαστούν τα φυτά. Είναι πάντα μια καλή ιδέα να αφήνεται λίγος επιπλέον χώρος για την ανάπτυξη φυτών και πιθανή επέκταση του συστήματος στο μέλλον.

Όπως και στην αεροπονία, ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας είναι η επιλογή υλικού. Πρέπει να επιλεγθούν δοχεία κατασκευασμένα από υλικά μεγάλης διάρκειας που είναι ανθεκτικά στο νερό και τις χημικές ουσίες, όπως πλαστικά για τρόφιμα και PVC. Ανάλογα με την κατάσταση, ενδέχεται να ληφθούν υπόψη και αισθητικά ζητήματα, καθώς ορισμένα υδροπονικά συστήματα προορίζονται να είναι οπτικά όμορφα και ιδανικά για εσωτερικούς χώρους ή διακοσμητικές καταστάσεις. Η εξισορρόπηση των απαιτήσεων των εγκαταστάσεων, των απαιτήσεων συστήματος και της πρακτικότητας θα οδηγήσει στο βέλτιστο δοχείο για τις υδροπονικές αναζητήσεις.

5.6.3 Οπές φύτευσης

Ο αριθμός των οπών φύτευσης ή των σχισμών σε ένα υδροπονικό σύστημα

καθορίζεται από διάφορους παράγοντες.

Το σχέδιο και η ποσότητα των θέσεων φύτευσης που είναι προσβάσιμα θα καθοριστούν από τον τύπο του υδροπονικού συστήματος που θα επιλεγθεί. Διαφορετικές διατάξεις οπών φύτευσης είναι διαθέσιμες σε συστήματα όπως το NFT και το DWC και η επιλογή θα καθορισθεί με τη μέθοδο που επιθυμείται. Στη συνέχεια, πρέπει να δοθεί σκέψη στα φυτικά είδη που υπάρχει σκοπός να καλλιεργηθούν. Αυτό συμβαίνει διότι ορισμένα φυτά ευδοκούν σε κοντινή απόσταση, επιτρέποντας μεγαλύτερη πυκνότητα φύτευσης, ενώ τα μεγαλύτερα φυτά μπορεί να απαιτούν περισσότερο χώρο για να ωριμάσουν πλήρως. Είναι σημαντική η συμβουλευτική άποψη των ειδικών συστάσεων απόστασης για το κάθε φυτό για να εντοπιστεί ο καλύτερος σχεδιασμός

Ο αριθμός των τρυπών φύτευσης καθορίζεται επίσης από την ποσότητα της προσβάσιμης περιοχής. Αφού προσδιοριστεί το μέγεθος του υδροπονικού δοχείου ή του συστήματός σας και διατεθεί αναλόγως ο χώρος καλλιέργειας, μπορεί να γίνει ένας υπολογισμός ως προς το χώρο που ζητάει κάθε φυτό, άρα και το συνολικό αριθμό φυτών που χωράνε στον διαθέσιμο αυτόν χώρο.

Τέλος, η πυκνότητα φύτευσης θα επηρεαστεί από τους αναπτυξιακούς στόχους. Εάν ο στόχος είναι να βελτιστοποιηθεί η απόδοση σε μια μικρή τοποθεσία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος αριθμός οπών φύτευσης. Εάν από την άλλη είναι προτιμότερες μεγαλύτερες, πιο ευρύχωρες ρυθμίσεις ανάπτυξης, ίσως χρειαστεί να μειωθεί ο αριθμός των οπών για να αφηθεί αρκετός χώρος για κάθε φυτό. Η εύρεση της σωστής ισορροπίας μεταξύ αυτών των παραμέτρων επιτρέπει τη μέγιστη ανάπτυξη των εγκαταστάσεων και την αποτελεσματική χρήση της χωρητικότητας, ενώ όλα αυτά ευθυγραμμίζονται με τους μοναδικούς στόχους της κάθε παραγωγής.

5.6.4 Ροή Νερού

Σε μια υδροπονική διάταξη, η δημιουργία ενός κατάλληλου συστήματος ροής νερού είναι βασική για την υγεία και την ανάπτυξη των φυτών. Αυτό το σύστημα θα πρέπει να διασφαλίζει την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών παρέχοντας μια σταθερή παροχή θρεπτικού διαλύματος στις ρίζες των φυτών. Τα βασικά στοιχεία αυτού του συστήματος είναι μια σωστή αντλία, σωλήνωση μεγάλης διάρκειας και μια δεξαμενή θρεπτικών συστατικών κατάλληλου μεγέθους.

Η αντλία είναι η καρδιά του συστήματος ροής νερού, που αντλεί το θρεπτικό διάλυμα μέσω των καναλιών ή των σωλήνων. Η αντλία συνήθως προωθεί το θρεπτικό διάλυμα νερού στο πιο ψηλό σημείο του συστήματος, και από εκεί ρέει προς τα κάτω, περνώντας από όλα τα φυτά, καταλήγοντας εν τέλη πίσω στην αρχική δεξαμενή θρεπτικών συστατικών. Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας νερού είναι κρίσιμη γιατί διασφαλίζει ότι μια επαρκής ποσότητα νερού ρέει συνεχώς στο σύστημα. Για τον σχεδιασμό μικρών συστημάτων είναι συνηθισμένη τεχνική η χρήση υποβρύχιων αντλιών. Το μέγεθος της αντλίας μπορεί να προσδιοριστεί σε τρία βήματα. Το πρώτο βήμα είναι να υπολογιστούν τα λίτρα ανά ώρα που απαιτείται η αντλία να τροφοδοτήσει το σύστημα, το δεύτερο είναι να μετρηθεί το ύψος της κεφαλής του υδροπονικού συστήματος και το τρίτο είναι να

χρησιμοποιηθούν οι δύο πρώτες πληροφορίες για να προσδιοριστεί εάν η αντλία είναι κατάλληλη χρησιμοποιώντας το φύλλο δεδομένων της αντλίας νερού. Θα πρέπει να μπορεί να παρέχει τουλάχιστον την ποσότητα νερού σε λίτρα ανά ώρα που απαιτείται από το σύστημα και να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να ωθεί το νερό μέχρι το πιο ψηλό σημείο του συστήματος ή υψηλότερα. Στους υπολογισμούς παροχής νερού της αντλίας στο σύστημα κάθε ώρα, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η απώλεια απόδοσης της αντλίας 15-30%.

Η επιλογή του σωλήνα είναι εξίσου σημαντική. Θα πρέπει να είναι σκληρό, ανθεκτικό στην τριβή και συμβατό με διαλύματα υδροπονικών λιπασμάτων, υλικό. Η χρήση κατάλληλων σωληνώσεων βοηθά στην πρόληψη διαρροών και διαταραχών στη ροή του θρεπτικού διαλύματος. Πρέπει επίσης να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην εγκατάσταση των σωληνώσεων, αφού ο βασικότερος παράγοντας των υπολογισμών είναι η βαρύτητα, ώστε να υπάρχει κατάλληλη, ομαλή ροή.

Πριν το διάλυμα λιπάσματος τροφοδοτηθεί στα κανάλια ανάπτυξης ή στους σωλήνες, αποθηκεύεται στη δεξαμενή θρεπτικών συστατικών. Το μέγεθός του θα πρέπει να καθορίζεται από τις ανάγκες του συστήματος και την ποσότητα των φυτών που καλλιεργούνται. Για να αποφευχθούν διατροφικές ανισορροπίες, πρέπει να διατηρούνται επαρκή επίπεδα θρεπτικών συστατικών και οι δεξαμενές πρέπει να παρακολουθούνται σε τακτική βάση.

Κρίσιμο στάδιο της ομαλής λειτουργίας του συστήματος είναι η προσαρμογή φιλτραρίσματος και συντήρησης σε αυτό. Φρόνιμο είναι να εγκατασταθούν συσκευές φιλτραρίσματος ή οθόνες σε σημαντικά σημεία για να διατηρούνται τα φράγματα και τα υπολείμματα έξω από τους σωλήνες ή τα κανάλια. Απαιτείται τακτική συντήρηση για να διατηρείται η διαδρομή ροής του νερού καθαρή και να λειτουργεί με μέγιστη απόδοση. Επίσης, στο πνεύμα της ασφάλειας και πρόληψης, συνετό θα ήταν αν συμπεριληφθούν μέτρα για την αποστράγγιση έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση βλάβης της αντλίας ή δυσλειτουργίας του συστήματος. Αυτό εμποδίζει το υδροπονικό σύστημα να πλημμυρίσει και να προκαλέσει βλάβη.

Συμπερασματικά, η κατασκευή ενός αποτελεσματικού συστήματος ροής νερού χρειάζεται προσεκτική σκέψη της αντλίας, του σωλήνα και της δεξαμενής θρεπτικών ουσιών. Στα υδροπονικά συστήματα, το σωστό μέγεθος, η χρήση εξαρτημάτων υψηλής ποιότητας και η συχνή συντήρηση είναι κρίσιμα για την παροχή σταθερής παροχής διαλύματος λιπάσματος και την ενίσχυση της βέλτιστης ανάπτυξης των φυτών.

5.6.5 Σύστημα Φωτισμού

Το σωστό σύστημα φωτισμού για τις υδροπονικές εγκαταστάσεις είναι πολύ βασικό για την υγιή ανάπτυξη των φυτών. Υπάρχουν συγκεκριμένοι παράγοντες που πρέπει να υποστούν επεξεργασία κατά τον υπολογισμό.

Για αρχή, και βασικότερα, πρέπει να δοθεί βάση στις απαιτήσεις φωτός των φυτών που σκοπεύεται να καλλιεργηθούν. Διαφορετικά φυτά απαιτούν διαφορετικά επίπεδα φωτός. Μερικά ευδοκούν σε περιβάλλοντα χαμηλού φωτισμού, ενώ άλλα απαιτούν έντονο φως για να ανθίσουν σωστά. Πρέπει να επιλεγεί ένα σύστημα φωτισμού ικανό να

παρέχει τη σωστή ένταση και φάσμα φωτός.

Οι ρυθμίσεις φωτισμού εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον του υδροπονικού συστήματος. Ο καλύτερος έλεγχος φωτισμού μπορεί να επιτευχθεί στο περιβάλλον εάν η καλλιέργεια βρίσκεται σε εσωτερικούς χώρους. Λόγω της ενεργειακής τους απόδοσης και της ικανότητάς τους να δημιουργούν το σωστό φάσμα φωτός για την ανάπτυξη των φυτών, τα φώτα LED είναι μια δημοφιλής επιλογή για υδροπονία εσωτερικού χώρου. Ωστόσο, εάν το υδροπονικό σύστημα βρίσκεται έξω ή σε θερμοκήπιο, μπορεί να σχεδιαστεί μία συνδυαστική συνθήκη βασιζόμενη στη φυσική ηλιοφάνεια που συμπληρώνεται με τεχνητό φωτισμό, όπως απαιτείται.

Η ένταση του φωτός αξιολογείται ως προς την πυκνότητα της φωτοσυνθετικής ροής φωτονίων (PPFD) και απαιτείται για τη φωτοσύνθεση των φυτών. Για μια σωστή και αποδοτική καλλιέργεια πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη PPFD των φυτών με βάση το στάδιο ανάπτυξής τους και τις απαιτήσεις φωτός τους.

Συνετός είναι επίσης ο υπολογισμός του κατάλληλου ολοκληρώματος ημερήσιου φωτός (DLI) λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα των ωρών φωτός που απαιτούν τα φυτά προς καλλιέργεια κάθε μέρα. Τα φώτα ανάπτυξης LED συχνά περιλαμβάνουν τιμές εξόδου PPFD, διευκολύνοντας την επιλογή του βέλτιστου φωτός για τα φυτά σας.

Άλλο στοιχείο που επηρεάζει την απόφαση επιλογής του συστήματος φωτός, είναι το φάσμα φωτός. Τα φυτά απαιτούν διαφορετικά φάσματα φωτός σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Το μπλε φως (400-500 nm) υποστηρίζει τη βλαστική ανάπτυξη, ενώ το κόκκινο φως (600-700 nm) απαιτείται για την ανθοφορία και την καρποφορία. Ορισμένα φώτα ανάπτυξης LED έχουν ρυθμιζόμενα φάσματα, επιτρέποντάς να προσαρμοστεί το φως στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών.

Η ενεργειακή απόδοση είναι επίσης μια βασική ιδιαιτερότητα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαδικασία επιλογής συστήματος φωτισμού αφού αυτή είναι η κύρια σπατάλη, δεδομένου ότι τα φυτά, ανάλογα το στάδιο ανάπτυξής τους, μπορεί να χρειάζονται ως και δεκαοχτώ ώρες φωτός τη μέρα. Τα φώτα ανάπτυξης LED είναι γνωστά για την ενεργειακή τους απόδοση και την ελάχιστη παραγωγή θερμότητας. Αποτελούν μια πιο βιώσιμη επιλογή για υδροπονία εσωτερικών χώρων επειδή καταναλώνουν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια και απαιτούν λιγότερα συστήματα ψύξης.

Συνοψίζοντας, η επιλογή του ιδανικού συστήματος φωτισμού συνεπάγεται από την αξιολόγηση των απαιτήσεων φωτισμού των φυτών προς ανάπτυξη, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον, τον υπολογισμό της έντασης και της διάρκειας του φωτός, την επιλογή του κατάλληλου φάσματος φωτός και την εγγύηση της ενεργειακής απόδοσης. Λόγω της προσαρμοστικότητας και των χαρακτηριστικών εξοικονόμησης ενέργειας, όπως ήδη αναφέρθηκε, τα φώτα LED είναι μια δημοφιλής επιλογή για υδροπονία εσωτερικού χώρου. Ωστόσο, για αποτελεσματική υδροπονική ανάπτυξη, πρέπει να προσαρμόζεται πάντα το σύστημα φωτισμού στις ακριβείς ανάγκες των φυτών που παράγονται.

5.6.6 Θρεπτικό Διάλυμα

Το θρεπτικό διάλυμα που τροφοδοτείται σε φυτά σε υδροπονικά συστήματα πρέπει

να έχει ένα ισορροπημένο μείγμα έως και 17 απαραίτητων στοιχείων για μέγιστη ανάπτυξη. Είναι σημαντικό να διατηρηθεί η σωστή περιεκτικότητα του κάθε θρεπτικού συστατικού, επειδή οι παραλλαγές μπορούν να βλάψουν τα φυτά. Η συνεχής παρακολούθηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) βοηθά να διασφαλιστεί ότι τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών παραμένουν εντός του βέλτιστου εύρους για κάθε είδος φυτού. Μια ακατάλληλη διατροφική ισορροπία πιθανότατα να έχει αρνητικές συνέπειες στην υγεία της καλλιέργειας.

Η παρακολούθηση και η αλλαγή του επιπέδου pH του θρεπτικού διαλύματος είναι επίσης κρίσιμη για την ανάπτυξη των φυτών. Όπως και στο ανθρώπινο σώμα, είναι εξίσου σημαντικές τόσο οι βιταμίνες που λαμβάνει, όσο και η δυνατότητά του να τις απορροφήσει αποτελεσματικά. Στα φυτά, αυτό που κρίνει αν εκείνα μπορούν να απορροφήσουν αποτελεσματικά τις θρεπτικές ουσίες είναι το pH. Για να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών, το εύρος του pH στα υδροπονικά συστήματα θα πρέπει συνήθως να είναι μεταξύ 5,0 και 7,5. Εκτός αυτού του εύρους, τα επίπεδα pH μπορεί να προκαλέσουν ελλείμματα θρεπτικών συστατικών ή τοξικότητα, τα οποία και τα δύο μπορεί να βλάψουν τα φυτά. Τα κατάλληλα εύρη pH και EC μπορεί να διαφέρουν για διαφορετικά είδη φυτών και φάσεις ανάπτυξης, επομένως είναι σημαντικό να τηρούνται οι ατομικές απαιτήσεις τους.

Το θρεπτικό διάλυμα, το οποίο περιλαμβάνει τα συστατικά που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών, παρέχεται συνήθως σε ένα μόνο δοχείο. Στην αγορά υπάρχουν έτοιμα διαλύματα. Σύνηθες είναι ένα διάλυμα λιπάσματος που περιλαμβάνει τα απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών: άζωτο (3%), φώσφορο (2%) και κάλιο (6%). Για να ρυθμιστεί με ακρίβεια τα επίπεδα pH στο θρεπτικό διάλυμα, παρέχονται διαλύματα διόρθωσης pH. Οι υδροπονικοί καλλιεργητές εγγυώνται ότι τα φυτά τους λαμβάνουν τα ακριβή θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται για υγιή και εύρωστη ανάπτυξη ρυθμίζοντας προσεκτικά αυτά τα στοιχεία.

5.6.7 Ρολόι Πραγματικού Χρόνου

Ορισμένα σημεία του συστήματος βασίζονται στην ώρα, όπως είναι, μεταξύ άλλων, ο προγραμματισμός της ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του συστήματος των φώτων, της αντλίας, κλπ. Το σύστημα ελέγχου έχει ανάγκη τη προσαρμογή ενός ρολογιού πραγματικού χρόνου (RTC). Υπάρχει η δυνατότητα προγραμματισμού του συστήματος να διαβάζει την ώρα από το ρολόι πραγματικού χρόνου κατά την ενεργοποίησή του, και να χρησιμοποιεί αυτή τη πληροφορία για να κρίνει τις πράξεις που πρέπει να τεθούν σε λειτουργία. Ένα ρολόι πραγματικού χρόνου συνήθως περιέχει μια εφεδρική μπαταρία η οποία του επιτρέπει να διατηρεί την ακριβή ροή του χρόνου ακόμα κι όταν ο ελεγκτής, για κάποιον λόγο, είναι σβηστός. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα για χειροκίνητη επέμβαση στο πρόγραμμα, με τη χρήση ενός κουμπιού, διακόπτη, ή ασύρματης μονάδας επικοινωνίας.

5.6.8 Πλατφόρμα Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Επιτρέποντας την απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο, η ενσωμάτωση μιας πλατφόρμας Internet of Things (IoT) η οποία μπορεί να μεταμορφώσει το υδροπονικό

σύστημα, κρίνεται απαραίτητη. Οι αισθητήρες IoT συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για κρίσιμα χαρακτηριστικά όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών και το pH. Αυτές οι ροές δεδομένων μπορούν να συνδεθούν με την πλατφόρμα IoT για εις βάθος ανάλυση και λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Οι καλλιεργητές μπορούν να παρακολουθούν εξ αποστάσεως τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την παροχή θρεπτικών ουσιών και τη συνολική υγεία του συστήματος χρησιμοποιώντας τεχνολογίες IoT. Αυτή η συνδεσιμότητα επεκτείνεται σε διακομιστές ιστού, επιτρέποντας στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα που συλλέγονται μέσω του Διαδικτύου από υπολογιστές ή κινητά τηλέφωνα, παρέχοντας ευελιξία και προσβασιμότητα.

Επιπλέον, η τεχνολογία IoT που χρησιμοποιείται σε αυτό το πλαίσιο έχει πολλά οφέλη. Επιτρέπει την οπτικοποίηση δεδομένων και την εκτέλεση αλγορίθμων στα δεδομένα που λαμβάνονται, επιτρέποντας προηγμένες εφαρμογές ανάλυσης, ακόμη και εφαρμογές μηχανικής εκμάθησης. Προσφέρει μια οικονομικά αποδοτική και αξιόπιστη λύση για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της υδροπονικής σας εγκατάστασης, με υποστήριξη για πολλές παραμέτρους συστήματος και ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η ικανότητα της πλατφόρμας να εξαγάγει ιστορικά δεδομένα σε μορφή CSV διευκολύνει την περαιτέρω ανάλυση και αυξάνει την εφαρμογή της για μελλοντικές μελέτες που βασίζονται στη μηχανική μάθηση, τονίζοντας τις δυνατότητές της για συνεχή πρόοδο και καινοτομία στην υδροπονική γεωργία.

5.6.9 Υπολογισμός Κόστους

Όταν ξεκινάει ένα έργο, είναι σημαντικό να σταθμίζεται προσεκτικά η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Υπάρχουν δύο επιλογές, αγορά προκατασκευασμένων υδροπονικών συστημάτων ή η κατασκευή και συναρμολόγηση εξαρτημάτων τοπικά. Οι αντισταθμίσεις μεταξύ της εξοικονόμησης κόστους και του χρόνου ανάπτυξης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε αυτήν την αξιολόγηση, καθώς και η ποιότητα.

Η αγορά προκατασκευασμένων υδροπονικών συστημάτων μπορεί να προσφέρει ευκολία και εξοικονόμηση χρόνου. Αυτά τα συστήματα συχνά σχεδιάζονται για να είναι φιλικά προς τον χρήστη, απαιτώντας λιγότερες εξειδικευμένες γνώσεις ή δεξιότητες κατά την εγκατάσταση και τη λειτουργία. Ωστόσο, έχουν υψηλότερο αρχικό κόστος επένδυσης. Οι καλλιεργητές θα πρέπει να σκεφτούν τα οικονομικά τους όρια και εάν η επιπλέον δαπάνη είναι σύμφωνη με τους στόχους και τους πόρους τους. Σε μια καλλιέργεια μεγάλου μεγέθους, η οποία είναι πρόθυμη να επενδύσει με ένα σημαντικό αρχικό κεφάλαιο, ίσως αυτή να είναι η προτιμότερη λύση αφού μπορεί να δοθεί συγκεκριμένο πλάνο απαιτήσεων, με κατάλληλη προσαρμογή και υποστήριξη από την παρεχόμενη εταιρία.

Η δημιουργία ενός υδροπονικού συστήματος από τοπικά παραγόμενα εξαρτήματα έχει τη δυνατότητα εξοικονόμησης χρημάτων. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την προσαρμογή σε μοναδικές ανάγκες και περιορισμούς προϋπολογισμού. Μπορεί, ωστόσο, να απαιτήσει επιπλέον χρόνο και προσπάθεια όσον αφορά την έρευνα, την προμήθεια και τη συναρμολόγηση. Οι καλλιεργητές θα πρέπει να εξετάσουν εάν έχουν τις κατάλληλες τεχνικές γνώσεις ή πρόσβαση σε βοήθεια και πόρους για επιτυχημένη κατασκευή, μόνον

τους.

Τέλος, η επιλογή θα πρέπει να βασίζεται στους οικονομικούς πόρους, τον διαθέσιμο χρόνο και τους επιμέρους στόχους του έργου. Για να επιλεγθεί η καλύτερη διαδρομή για την υδροπονική επιχείρηση, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια ενδελεχής ανάλυση κόστους-οφέλους, διασφαλίζοντας ότι η προσέγγισή αντιστοιχεί στους στόχους και τα όρια.

5.7 Διαχείριση θρεπτικών διαλυμάτων

Τα θρεπτικά διαλύματα παρέχουν σημαντικά συστατικά στα φυτά, επιτρέποντάς τους να αναπτυχθούν. Ο ακριβής έλεγχος του μείγματος είναι μια προσεκτική διαδικασία για τη διασφάλιση της μέγιστης υγείας και απόδοσης των φυτών. Είτε τα φυτά αποκτούν τα απαραίτητα στοιχεία τους απευθείας από το διάλυμα, είτε με ομίχλη ή ψεκασμό όπως στην περίπτωση της αεροπονίας, αυτό το διάλυμα λειτουργεί ως η κύρια πηγή τροφής τους. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί εξαρτήματα υλικού, όπως δεξαμενές θρεπτικών ουσιών, δοσομετρικές αντλίες και συστήματα ανάμειξης. Οι δοσομετρικές αντλίες εκκενώνουν με ακρίβεια αυτά τα μητρικά διαλύματα σε έναν θάλαμο ανάμειξης, όπου συνδυάζονται για να παράγουν ένα καλά καθορισμένο θρεπτικό διάλυμα. Αυτός ο εξοπλισμός εγγυάται ότι τα φυτά λαμβάνουν την ακριβή θρεπτική ισορροπία που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη, αποφεύγοντας τα ελλείμματα ή τις υπερβολές.

Πιο αναλυτικά, αυτή η διαδικασία ξεκινά συνήθως με την επιλογή νερού υψηλής ποιότητας, καθώς η ποιότητα του νερού είναι καθοριστική για τη δημιουργία θρεπτικών διαλυμάτων. Οι καλλιεργητές μπορούν να χρησιμοποιούν καθαρισμένο ή φιλτραρισμένο νερό για να εγγυηθούν ότι δεν περιέχει ρύπους ή υπερβολικά μέταλλα που θα μπορούσαν να βλάψουν την υγεία των φυτών.

Κατόπιν αυτού, οι συγκεκριμένοι τύποι και οι ποσότητες των θρεπτικών ουσιών εκτιμώνται σχολαστικά με βάση το είδος του φυτού που καλλιεργείται, το στάδιο ανάπτυξής του και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Άζωτο (N), φώσφορος (P), κάλιο (K), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), θείο (S) και ιχνοστοιχεία όπως σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), χαλκός (Cu), και ο ψευδάργυρος (Zn) περιλαμβάνονται συνήθως στο διάλυμα. Η ειδική σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος προσαρμόζεται ώστε να καλύπτει τις διατροφικές ανάγκες του φυτού σε κάθε στάδιο ανάπτυξης. Σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια, χρειάζεται άλλη ποσότητα από κάθε θρεπτική ουσία, με αποτέλεσμα να πρέπει το διάλυμα να προσαρμόζεται ανάλογα με τη φάση του φυτού.

Οι καλλιεργητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν εμπορικά διαθέσιμες φόρμουλες υδροπονικών θρεπτικών συστατικών που συνοδεύονται από οδηγίες ανάμειξης. Αυτά τα σκευάσματα έχουν σχεδιαστεί για να διαλύονται γρήγορα στο νερό, επιτρέποντας στους καλλιεργητές να επιτύχουν εύκολα τις απαραίτητες συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών.

Μετά τον προσδιορισμό των συστατικών, αναμιγνύονται σε καλά αεριζόμενο χώρο για να εξασφαλιστεί η πλήρης διάλυση. Τα επίπεδα pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) παρακολουθούνται με ακρίβεια και προσαρμόζονται όπως απαιτείται για να διατηρείται το διάλυμα σταθερό και εντός του βέλτιστου εύρους απορρόφησης από τα φυτά. Το επίπεδο pH κανονικά κυμαίνεται από 5.0 έως 7.0 ενώ το επίπεδο EC ποσοτικοποιεί τη συγκέντρωση

των διαλυμένων αλάτων στο διάλυμα. Το τελικό διάλυμα λιπάσματος στο σύστημα αεροπονίας είναι τότε έτοιμο για μετάδοση στις ρίζες των φυτών. Είναι ζωτικής σημασίας η διατήρηση της κατάλληλης σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος και επιπέδων pH με αποτέλεσμα να είναι μια συνεχής προσπάθεια, καθώς αυτές οι παράμετροι ενδέχεται να αλλάξουν λόγω της πρόσληψης, της εξάτμισης και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η τακτική παρακολούθηση της υγείας και της ανάπτυξης των φυτών και οι αλλαγές είναι κρίσιμες στα συστήματα αεροπονίας.

Ο αυτοματισμός βελτιώνει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της παραγωγής και παράδοσης διατροφικών διαλυμάτων. Οι κεντρικές μονάδες ελέγχου, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες και συστήματα ανάδρασης, παρακολουθούν συνεχώς τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Αυτές οι συσκευές μπορούν να τροποποιήσουν τις δόσεις των θρεπτικών συστατικών όταν εντοπίζονται αποκλίσεις από τις βέλτιστες συνθήκες. Τα φυτά, για παράδειγμα, μπορεί να απαιτούν επιπλέον νερό και θρεπτικά συστατικά σε περιόδους υψηλής θερμοκρασίας. Ο εξοπλισμός αυτοματισμού λειτουργεί παράλληλα με δοσομετρικές αντλίες και δεξαμενές θρεπτικών ουσιών για να κάνει τις κατάλληλες τροποποιήσεις, διασφαλίζοντας ότι τα φυτά λαμβάνουν τη σωστή ποσότητα θρεπτικών συστατικών όταν τα χρειάζονται. Αυτή η ενσωμάτωση υλικού απλοποιεί τη διαδικασία διαχείρισης θρεπτικών συστατικών, μειώνοντας τη χειροκίνητη παρέμβαση και αυξάνοντας τη συνολική απόδοση των υδροπονικών συστημάτων.

Συμπερασματικά, τα συστατικά υλικού που εμπλέκονται στην παρασκευή και την παροχή θρεπτικών διαλυμάτων σε υδροπονικά συστήματα είναι κρίσιμα για τη διατήρηση της σωστής σύνθεσης θρεπτικών συστατικών και την παράδοση στα φυτά. Οι δεξαμενές θρεπτικών ουσιών, οι δοσομετρικές αντλίες, τα συστήματα ανάμειξης και οι συσκευές αυτοματισμού συμβάλλουν στην υγεία και την παραγωγικότητα των υδροπονικά παραγόμενων καλλιεργειών, παρέχοντας στους καλλιεργητές τους πόρους που χρειάζονται για να πετύχουν.

5.8 Υδροπονικά Υποστρώματα

Τα υδροπονικά υποστρώματα είναι τα υλικά ανάπτυξης που αντικαθιστούν το κανονικό έδαφος στα υδροπονικά, αλλά και αεροπονικά συστήματα. Ενώ δεν είναι απαραίτητος παράγοντας μιας υδροπονικής καλλιέργειας, τα υποστρώματα επιλέγονται από τους ειδικούς σε πιο εξειδικευμένες καλλιέργειες. Τα συστήματα χρησιμοποιούν μια ποικιλία υποστρωμάτων για να παρέχουν δομική υποστήριξη, να κρατούν τα φυτά στη θέση τους και να επιτρέπουν σε κρίσιμα θρεπτικά συστατικά και οξυγόνο να φτάσουν στη ζώνη της ρίζας. Το υπόστρωμα που επιλέγεται καθορίζεται από μια σειρά κριτηρίων, όπως το είδος καλλιέργειας που καλλιεργείται, οι στόχοι αποδοτικότητας των πόρων και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Αυτή η ενότητα αναφέρεται στα διάφορα χαρακτηριστικά των υδροπονικών υποστρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των διαφόρων διαθέσιμων ποικιλιών, των παραγόντων για τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών και του κρίσιμου παράγοντα βιωσιμότητας στην επιλογή υποστρώματος.

5.8.1 Τύποι Υποστρωμάτων

Το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται καθορίζεται κυρίως από διάφορες πτυχές, συμπεριλαμβανομένης της μεμονωμένης καλλιέργειας που αναπτύσσεται, της στοχευμένης αποδοτικότητας των πόρων και των τρεχουσών περιβαλλοντικών συνθηκών.

Ο πετροβάμβακας, για παράδειγμα, είναι μια δημοφιλής επιλογή λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων συγκράτησης του νερού που κατέχει, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την επαρκή είσοδο οξυγόνου στη ζώνη της ρίζας. Η δομή των ινών του ελέγχει αποτελεσματικά τα επίπεδα υγρασίας, αποτρέποντας την υπερυδάτωση και διατηρώντας μια σταθερή ροή νερού στα φυτά.

Ο περλίτης, από την άλλη πλευρά, είναι γνωστός για την ελαφριά και πορώδη φύση του, η οποία παρέχει εξαιρετικό αερισμό της ριζικής ζώνης. Βοηθά στην ελαχιστοποίηση της υπερυδάτωσης, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε συνθήκες όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος της υγρασίας.

Η κοκοφοίνικα καρύδας, η οποία είναι φτιαγμένη από τον ινώδη φλοιό των καρυδών, προάγει τη διατήρηση της υγρασίας καθώς και τον αερισμό. Η φιλική προς το περιβάλλον φύση του το καθιστά ελκυστικό για κηπουρούς με περιβαλλοντική συνείδηση και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί, μειώνοντας τα απόβλητα.

5.8.2 Θεωρήσεις υποστρώματος ανάπτυξης φυτών

Η επιλογή υδροπονικού υποστρώματος απαιτεί μια ενδελεχή κατανόηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Αυτές οι ιδιότητες έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη και την ευημερία των φυτών. Τα ζητήματα υποστρώματος περιλαμβάνουν πράγματα όπως η ικανότητα συγκράτησης νερού, οι ιδιότητες αερισμού και ο τρόπος με τον οποίο το υπόστρωμα επηρεάζει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών.

Η ικανότητα συγκράτησης νερού ενός υποστρώματος θα πρέπει να είναι προσεκτικά ισορροπημένη. Πρέπει να διατηρεί αρκετή υγρασία για να διασφαλίσει ότι τα φυτά λαμβάνουν συνεχή ροή νερού, αλλά πρέπει επίσης να επιτρέπει την αποστράγγιση της περίσσειας νερού για να αποφευχθεί η υπερυδάτωση και η σήψη των ριζών. Τα χαρακτηριστικά αερισμού είναι επίσης σημαντικά επειδή οι ρίζες χρειάζονται οξυγόνο για να αναπνεύσουν. Ένα καλό υπόστρωμα πρέπει να παρέχει επαρκή αερισμό στη ζώνη της ρίζας, διασφαλίζοντας ότι οι ρίζες λαμβάνουν αρκετό οξυγόνο.

Επιπλέον, τα υποστρώματα θα πρέπει ιδανικά να έχουν ουδέτερο pH ή να επιτρέπουν αλλαγές στο pH. Αυτό το στοιχείο απαιτείται για τη βέλτιστη πρόσληψη της διατροφής από τις ρίζες των φυτών. Το pH του υποστρώματος έχει άμεσο αντίκτυπο στη διατροφική διαθεσιμότητα, επομένως η διατήρηση του σωστού επιπέδου pH είναι κρίσιμη για την αποφυγή ελλειμμάτων θρεπτικών συστατικών ή τοξικοτήτων.

5.8.3 Επιλογή υποστρώματος για βιωσιμότητα

Καθώς η σύγχρονη γεωργία προσπαθεί να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της, η βιωσιμότητα στην επιλογή υποστρώματος γίνεται όλο και πιο σημαντική. Οι μηχανικοί και οι αγρότες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τον κύκλο ζωής του υποστρώματος, από την κατασκευή έως τη χρήση και την απόρριψη ή την ανακύκλωση. Για τη μείωση της

σπατάλης και της εξάρτησης από μη ανανεώσιμους πόρους, τα μέτρα βιωσιμότητας μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση ανανεώσιμων και βιοαποικοδομήσιμων υποστρωμάτων, όπως αντικαταστάσεις κοκοφοίνικα ή τύρφης. Επιπλέον, η χρήση τοπικά παραγόμενων υποστρωμάτων μειώνει τις εκπομπές που σχετίζονται με τη μεταφορά.

Τέλος, τα υδροπονικά υποστρώματα είναι ένα κρίσιμο συστατικό των συστημάτων παραγωγής χωρίς έδαφος, παρέχοντας μια ποικιλία εναλλακτικών λύσεων προσαρμοσμένων στις ειδικές απαιτήσεις της καλλιέργειας.

5.9 Ανακύκλωση και Βιωσιμότητα

Η ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών είναι μια βασική μέθοδος στην υδροπονία που συμβάλλει σημαντικά στη βιωσιμότητα. Τα θρεπτικά διαλύματα διαμορφώνονται προσεκτικά και παρέχονται στα φυτά σε υδροπονικά συστήματα για να ενθαρρύνουν την ανάπτυξή τους. Ωστόσο, όταν τα φυτά λαμβάνουν θρεπτικά συστατικά, αυτά τα διαλύματα μπορεί να εξαντληθούν. Τα συστήματα ανακύκλωσης θρεπτικών συστατικών χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού διαλύματος, μειώνοντας τα απόβλητα και την απαίτηση για νέες εισροές θρεπτικών συστατικών.

Η συλλογή του θρεπτικού διαλύματος που αποστραγγίζεται από τα δοχεία ή τα κανάλια ανάπτυξης είναι το πρώτο βήμα στη διαδικασία. Αυτή η απόρριψη, γνωστή και ως απορροή ή έκπλυση, περιέχει θρεπτικά συστατικά που δεν ελήφθησαν από τα φυτά. Είναι σημαντικό να συλλέγεται αυτή η απορροή προκειμένου να αποφευχθεί η σπατάλη θρεπτικών συστατικών και η πιθανή περιβαλλοντική βλάβη. Η συλλεγόμενη αποστράγγιση μεταφέρεται σε μια δεξαμενή θρεπτικών ουσιών. Αυτή η δεξαμενή προορίζεται για την αποθήκευση της απορροής μέχρι να μπορέσει να καθαριστεί και να εισαχθεί ξανά στο υδροπονικό σύστημα. Η δεξαμενή μπορεί να είναι ειδικά σχεδιασμένη για να περιορίζει την έκθεση στον ήλιο και την ανάπτυξη φυκιών, η οποία θα μπορούσε να διαταράξει το θρεπτικό διάλυμα.

Το θρεπτικό διάλυμα ανακατασκευάζεται μόλις εισέλθει στη δεξαμενή. Αυτό συνήθως συνεπάγεται παρακολούθηση και τροποποίηση της θρεπτικής σύνθεσης, των επιπέδων pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) για να διασφαλιστεί ότι καλύπτουν τις ανάγκες των φυτών. Επιπρόσθετο νερό και θρεπτικά συστατικά μπορούν να προστεθούν εάν είναι απαραίτητο για να αντισταθμιστούν τυχόν απώλειες ή να διατηρηθεί η βέλτιστη ισορροπία θρεπτικών συστατικών.

Τα συστήματα ανακύκλωσης θρεπτικών ουσιών μπορεί να περιλαμβάνουν εργασίες διήθησης και επεξεργασίας για την απομάκρυνση ρύπων, ιζημάτων ή παθογόνων παραγόντων από τη συλλεγόμενη αποστράγγιση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές όπως μηχανικό φιλτράρισμα, αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία ή χημικές επεξεργασίες για να εξασφαλιστεί η καθαρότητα του θρεπτικού διαλύματος πριν από την επανεισαγωγή. Στη συνέχεια το συλλεγμένο θρεπτικό διάλυμα είναι έτοιμο για επανεισαγωγή στο υδροπονικό σύστημα αφού έχει επισκευαστεί και, εάν είναι απαραίτητο, υποβληθεί σε επεξεργασία και φιλτράρισμα. Τέλος, σπρώχνεται πίσω στα







δοχεία ή στα κανάλια ανάπτυξης, όπου τα φυτά μπορούν να απορροφήσουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη.

Οι υδροπονικοί παραγωγοί μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τα απόβλητα, να εξοικονομήσουν πόρους και να παρέχουν μια σταθερή και βιώσιμη παροχή λιπασμάτων για τις καλλιέργειές τους ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία ανακύκλωσης θρεπτικών συστατικών. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα επωφελής σε μεγάλης κλίμακας υδροπονικές επιχειρήσεις, όπου η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων είναι κρίσιμη τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους.

Κεφάλαιο 6 - Υλικό, Ασφάλεια και Εφαρμογή για κινητά Υλικο, συνδεσμολογία, διεπαφή χρήστη, κώδικας

Αυτή η εργασία υποθετικά παράγει ένα αυτοματοποιημένο σύστημα υδροπονίας. Αυτό το σύστημα αποτελείται από δύο κομμάτια, το ένα είναι του προγραμματισμού και της δημιουργίας του κώδικα, το άλλο είναι τα υλικά που θα χρειαζόντουσαν για να παραχθεί λειτουργικά αυτό το σύστημα.

Στο υποθετικό σενάριο πραγματοποίησης του συστήματος, σε έναν χώρο όχι μεγαλύτερο από 4 τετραγωνικά μέτρα τα υλικά που θα χρησιμοποιούνταν είναι τα εξής ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Μετρητές		
Θερμοκρασία και Υγρασία Περιβάλλοντος	DHT22	
pH	DFROBOT SEN0169	
EC	DFROBOT DFR0300	
Επίπεδο Νερού	DFROBOT KIT0139	
Ενεργοποιητές		
Σύστημα Φώτων	Led Grow Light 225L-1000W IdeaGrow	
Αντλία Νερού Ποτίσματος	YSSOA Submersible Water Pump 3000L/H, 24W	

Αντλία Καθαρού Νερού	Simple Deluxe 85W 3997 L/H Submersible Water Pump	
Ρυθμιστής pH Πάνω	Gravity Digital Peristaltic Pump	
Ρυθμιστής pH Κάτω	Gravity Digital Peristaltic Pump	
Ρυθμιστής EC (Πάνω)	Gravity Digital Peristaltic Pump	
Αντλία αέρα - Αναδευτήρας	Dc 6v Mini Air Pump Motor For Oxygenating Bubble Aquarium Tank	
Σύστημα Διατήρησης Θερμοκρασίας πάνω	EcoHeat Greenhouse Heater 45w	
Σύστημα Διατήρησης Θερμοκρασίας κάτω	Rotary Fan 45 W / 30 cm	
Μονάδα Wi-Fi	Arduino ESP32	
Επεξεργαστής	Arduino Mega 2560	
Ρελέ	Ρελέ 5V 16 καναλιών Συμβατό με Arduino	

Ρολόι πραγματικού Χρόνου	DS3231 RTC	
Σύστημα Ψύξης Επεξεργαστή	TISHRIC CPU Cooler Fan 122mm Air Cooler	
Σε δεύτερο χρόνο		
Μετρητής Θερμοκρασίας Νερού	Gravity Kit Αισθητήρας Θερμοκρασία DS18B20 Αδιάβροχος	
Ενεργοποιητής Θέρμανσης νερού	Small Aquarium Heater Adjustable Temperature 6w	
Μετρητής Κατανάλωσης Ρεύματος		

Πέρα από τα ηλεκτρονικά αυτά εξαρτήματα που απαιτούνται, κρίνονται αναγκαία και ένα βασικό δοχείο ανάμιξης χωριτηκότητας 75 λίτρων, ένα δοχείο φρέσκου νερού χωριτικότητας 40 λίτρων, τους αγωγούς για τη στέγαση των φυτών από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας και σωλήνες για τη μετάδοση του νερού στα φυτά, ίδιου υλικού. Πιθανότατα να χρειαστεί να ενισχυθεί ο χώρος καλλιέργειας με θερμομόνωση έτσι ώστε να μπορεί να ελεγχθεί και το κλίμα πιο αποδοτικά.

Κεφάλαιο 7 - Λειτουργία του κώδικα

Ο κώδικας έχει σχεδιαστεί για ένα ελέγχει ένα σύστημα Υδροπονικής καλλιέργειας σε ελεγχόμενο περιβάλλον, αυτόματα. Βασίζεται σε χρήση Arduino, το οποίο διαχειρίζεται, επεξεργάζεται και ελέγχει διάφορες παραμέτρους του συστήματος, βασικές για την υγιή ανάπτυξη των φυτών. Τέτοιες παράμετροι είναι η οξύτητα, η βασικότητα του(pH), η στάθμη του νερού, η θερμοκρασία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και τα φώτα. Ο σκοπός του είναι να διατηρήσει συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες σε συγκεκριμένα πλαίσια, έτσι ώστε να θριαμβεύσει η φυτική παραγωγή.

Αυτό συμβαίνει παρακολουθώντας συνεχώς τα δεδομένα των αισθητήρων (inputs) και λαμβάνοντας κατάλληλες ενέργειες (outputs) για να διασφαλίσει ότι πληρούνται αυτές οι συνθήκες.

Το σύστημα συνδέεται στο διαδίκτυο μέσω τοπικής σύνδεσης, και έπειτα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να το διαχειριστεί μέσω μίας σελίδας web εξ αποστάσεως. Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα σε αυτόν να ορίσει, να παρακολουθήσει και να προσαρμόσει όπως εκείνος κρίνει απαραίτητο τις συνθήκες στις οποίες θα λειτουργήσει το σύστημα.

Ακολουθεί μια ανάλυση των βασικών συστατικών του ονομαστικά, προς ευκολία ανάγνωσης και κατανόησης, καθώς είναι επίσης δομημένο με την ίδια σειρά που είναι δομημένος και ο κώδικας.

Βιβλιοθήκες και ορισμοί: Για την επίτευξη λειτουργικότητας, ο κώδικας χρησιμοποιεί έναν αριθμό εξωτερικών βιβλιοθηκών (DFRobot_ESP_PH_WITH_ADC, WiFi, WebServer, DFRobot_EC10, time).

Οι ακίδες του μικροελεγκτή έχουν οριστεί για τον έλεγχο εξαρτημάτων όπως αντλίες νερού, φωτισμός, ρύθμιση pH και EC, αισθητήρες θερμοκρασίας και ούτω καθεξής.

Ρύθμιση δικτύου: Ρυθμίζει διόδους επικοινωνίας μέσω WiFi (SSID και κωδικό πρόσβασης) για σύνδεση σε τοπικό δίκτυο. Ορίζει ένα αντικείμενο WebServer για να επιτρέψει την απομακρυσμένη διαχείριση μέσω μιας ιστοσελίδας. Ορίζει επίσης τις παραμέτρους διακομιστή NTP (ntpServer, gmtOffset_sec, daylightOffset_sec) για συγχρονισμό ώρας.

Ρύθμιση αισθητήρα pH: Για τη ρύθμιση αισθητήρα pH και ανίχνευσή του, χρησιμοποιείται το DFRobot_ESP_PH_WITH_ADC. Προσδιορίζει τις μετατοπίσεις βαθμονόμησης και τις τιμές στόχου pH για τη ρύθμιση του pH.

Ρύθμιση αισθητήρα EC: Το DFRobot_EC10 χρησιμοποιείται για ανίχνευση EC. Διαχειρίζεται τις τρέχουσες και τις επιθυμητές τιμές EC εντός των ρυθμιστικών ανοχών.

Σύστημα ποτίσματος: Το σύστημα ποτίσματος ρυθμίζει χρονοδιαγράμματα (Schedule) για τις λειτουργίες της αντλίας νερού. Ρυθμίζει παραμέτρους για αισθητήρες στάθμης νερού καθώς και χρονισμούς χρήσης της αντλίας.

Έλεγχος φωτισμού: Δημιουργεί προγράμματα φωτισμού (LightsSchedule) για τον έλεγχο των χρόνων ενεργοποίησης/απενεργοποίησης των φώτων.

Έλεγχος θερμοκρασίας: Καθορίζει επιθυμητές τιμές θερμοκρασίες και τιμές ανοχής για να παρέχει ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

String Constants: Δημιουργεί επαναχρησιμοποιήσιμες σταθερές συμβολοσειράς (π.χ. plainTextStr, onTimeStr) για αποκρίσεις διακομιστή web και χειρισμό δεδομένων. Αυτή η διαμόρφωση επιτρέπει στο Arduino να παρακολουθεί και να τροποποιεί τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που είναι κρίσιμες για την υδροπονική ανάπτυξη των φυτών, διασφαλίζοντας ότι το pH, η EC, η στάθμη του νερού, ο φωτισμός και η θερμοκρασία παραμένουν εντός των προβλεπόμενων ορίων για μέγιστη υγεία των φυτών.

favicon_ico: Ορίζει έναν πίνακα C με το όνομα ο οποίος περιέχει δεκαεξαδικές τιμές που αντιπροσωπεύουν τα bytes ενός αρχείου ICO. Χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία

εικονιδίου στο πάνω μέρος της ιστοσελίδας, δίπλα στο όνομα.

Κεφαλίδα αρχείου ICO: Τα πρώτα 6 byte (0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x01, 0x00) είναι η κεφαλίδα της μορφής αρχείου ICO. Αυτά τα byte προσδιορίζουν:

0x00, 0x00: Με κράτηση. Πρέπει να είναι μηδέν.

0x01, 0x00: Καθορίζει ότι είναι αρχείο ICO (τύπος 1).

0x01, 0x00: Υποδεικνύει ότι υπάρχει μία εικόνα εικονιδίου σε αυτό το αρχείο.

Περιγραφή εικόνας: Τα επόμενα 16 byte (0x20, 0x20, 0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x18, 0x00, 0xA8, 0x0C, 0x00, 0x00, 0x16, 0x00, 0x00, 0x00) είναι εικόνα. Αυτό παρέχει λεπτομέρειες σχετικά με την εικόνα, όπως πλάτος, ύψος, παλέτα χρωμάτων κ.λπ.

Δεδομένα εικόνας: Ο υπόλοιπος πίνακας περιέχει τα πραγματικά δεδομένα εικόνας, pixel προς pixel, που αντιπροσωπεύονται σε δεκαεξαδικές τιμές. Κάθε ζεύγος byte αντιπροσωπεύει ένα μόνο pixel στο εικονίδιο.

Αρχικοποίηση (void setup):

Οι ακίδες έχουν διαμορφωθεί για διάφορες εξόδους (ρυθμιστές, αντλίες, φώτα) και εισόδους (αισθητήρες). Η σειριακή επικοινωνία ενεργοποιείται για σκοπούς εντοπισμού σφαλμάτων. Η σύνδεση με WiFi έχει δημιουργηθεί για τη σύνδεση του Arduino στο τοπικό δίκτυο.

Χειρισμός χρόνου: Ο συγχρονισμός ώρας μέσω NTP (Network Time Protocol) έχει οριστεί έτσι ώστε να διατηρείται η ακριβής ώρα. Μια συνάρτηση getTimeString μετατρέπει τις τιμές του χρόνου σε αναγνώσιμες προτάσεις στη μορφή HH:MM

Ρύθμιση διακομιστή Web: Ένας τοπικός διακομιστής ιστού έχει ρυθμιστεί για να χειρίζεται αιτήματα HTTP. Οι διαδρομές ορίζονται για να χειρίζονται διαφορετικές λειτουργίες:

/updateTargetEC, /getCurrentEC, /measureEC: Διαδρομές για διαχείριση αισθητήρων EC

/measureph, /updateph: Διαδρομές για διαχείριση αισθητήρα pH

/setTargetTemperature, /setTemperatureTolerance: Διαδρομές για ρυθμίσεις ελέγχου θερμοκρασίας

/setMeasurementFrequency: Δρομολόγηση για να ορίσετε τη συχνότητα μέτρησης της στάθμης του νερού

/setwaterschedules, /deleteschedule: Διαδρομές για τον προγραμματισμό της αντλίας νερού

/setlightsschedule, /deletelightsschedule: Διαδρομές για προγραμματισμό φώτων

/startWaterPump, /stopWaterPump: Διαδρομές εκκίνησης και διακοπής αντλιών νερού

Χειριστές αιτημάτων διακομιστή (Server Request Handlers):

Για κάθε διαδρομή ορίζονται χειριστές για την επεξεργασία των εισερχόμενων αιτημάτων και την αποστολή κατάλληλων απαντήσεων. Περιλαμβάνονται:

handleMeasurePH(): Μετράει το pH και προωθεί το αποτέλεσμα στον χρήστη.

handleUpdatePH(): Ενημερώνει το επιθυμητό επίπεδο pH με βάση την είσοδο του χρήστη.

handleMeasureEC(): Μετράει το EC και προωθεί το αποτέλεσμα στον χρήστη.

handleUpdateTargetEC(): Ενημερώνει το επιθυμητό επίπεδο EC με βάση την είσοδο του χρήστη.

handleSetWaterSchedule(), handleSetLightsSchedule(): Χρονοδιαγράμματα για αντλίες νερού και φώτα αντίστοιχα.

handleDeleteSchedule(), handleDeleteLightsSchedule(): Διαγραφή χρονοπρογραμμάτων για αντλίες νερού και φώτα αντίστοιχα.

handleStartWaterPump(), handleStopWaterPump(): Λειτουργίες ελέγχου για την εκκίνηση και τη διακοπή της αντλίας νερού.

Άλλες λειτουργίες: Υπάρχουν λειτουργίες που δεν εμφανίζονται πλήρως (measureActualpH(), readECSensor()) που χειρίζονται πραγματικές μετρήσεις αισθητήρα.

Οι ακίδες για έλεγχο θερμοκρασίας (heaterPin, fanPin) ορίζονται ως έξοδοι.

Βασικά σημεία που πρέπει να σημειωθούν είναι ότι το Arduino επικοινωνεί με εξωτερικές συσκευές και αισθητήρες μέσω αιτημάτων HTTP που χειρίζεται ο διακομιστής. Συγκεκριμένα:

Έλεγχος: Διαχειρίζεται ο arduino εξαρτήματα (αντλίες, ρελέ, αισθητήρες) σχετικά με τις εισερχόμενες εντολές από τη διεπαφή ιστού του χρήστη.

Προγραμματισμός: Υποστηρίζει εργασίες προγραμματισμού (π.χ. ενεργοποίηση φώτων ή αντλιών σε συγκεκριμένες ώρες).

Η συνάρτηση handleRoot() στον κώδικα διακομιστή ιστού Arduino δημιουργεί μια σελίδα HTML. Αυτή η σελίδα χρησιμεύει ως κύριος πίνακας εργαλείων για τον έλεγχο και την παρακολούθηση διαφόρων πτυχών του υδροπονικού συστήματος.

Τμήμα pH Control - Ελέγχου pH

Current pH: Δείχνει την τωρινή τιμή pH που μετρήθηκε από τους αισθητήρες.

Target pH: Εμφανίζει το επιθυμητό επίπεδο pH που έχει ορίσει ο χρήστης.

pH Tolerance:: Υποδεικνύει το αποδεκτό εύρος ανοχής γύρω από το pH στόχο.

Set Target pH: Επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει μια νέα τιμή pH στόχο και να την υποβάλει.

Set pH Tolerance: Επιτρέπει στον χρήστη να προσαρμόσει το εύρος ανοχής pH.

Measure pH: Κουμπί για να ενεργοποιηθεί μια μέτρηση pH.

Τμήμα EC Control (Electrical Conductivity) – Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Current EC: Αρχικά εμφανίζεται η ένδειξη "Ενημέρωση..." και στη συνέχεια εμφανίζεται η τρέχουσα ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) που ανακτήθηκε μέσω JavaScript.

Target EC: Εμφανίζει το επιθυμητό επίπεδο EC που έχει ορίσει ο χρήστης.

EC Tolerance: Δείχνει το αποδεκτό εύρος γύρω από το επιθυμητό επίπεδο EC.

Set Target EC: Φόρμα για εισαγωγή και υποβολή νέας τιμής επιθυμητού επιπέδου EC.

Set EC Tolerance: Επιτρέπει τη ρύθμιση του εύρους ανοχής EC.

Measure EC: Κουμπί για ενεργοποίηση μέτρησης EC.

Τμήμα Temperature Control - Ελέγχου θερμοκρασίας

Current Temperature: Εμφανίζει την τρέχουσα θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

Target Temperature: Δείχνει την επιθυμητή θερμοκρασία που έχει ορίσει ο χρήστης.

Temperature Tolerance: Εμφανίζει το αποδεκτό εύρος θερμοκρασίας.

Set Target Temperature: Φόρμα για εισαγωγή μίας νέας επιθυμητής θερμοκρασίας και για

υποβολή της.

Set Temperature Tolerance: Επιτρέπει τη ρύθμιση του εύρους ανοχής θερμοκρασίας.

Τμήμα Lights Control - Ελέγχου φώτων

Time:: Εμφανίζει την τρέχουσα ώρα χωρίς δευτερόλεπτα.

Lights State: Υποδεικνύει εάν τα φώτα είναι αναμμένα ή σβηστά αυτήν τη στιγμή.

Lights Schedule: Εμφανίζει τις προγραμματισμένες ώρες για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των φώτων, με επιλογές για τη διαγραφή κάθε προγράμματος.

Set Lights Schedule: Φόρμα για να οριστεί ένα νέο χρονοδιάγραμμα για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των φώτων.

Τμήμα Water Level Control - Ελέγχου Στάθμης Νερού

Current Water Level: Εμφανίζει τη τωρινή στάθμη νερού.

Frequency: Εμφανίζει την τωρινή συχνότητα μέτρησης στάθμης του νερού.

Set Measurement Frequency: Φόρμα για να οριστεί μια νέα συχνότητα μέτρησης και να υποβληθεί.

Start/Stop Pump Water: Κουμπιά για χειροκίνητη εκκίνηση ή διακοπή της αντλίας νερού.

Water Pump State: Υποδεικνύει εάν η αντλία νερού είναι ενεργοποιημένη ή απενεργοποιημένη αυτήν τη στιγμή.

Τμήμα Water Pump Shower Control – Ποτίσματος

Time: Εμφανίζει την τρέχουσα ώρα χωρίς δευτερόλεπτα.

Water Pump Shower State: Υποδεικνύει εάν η αντλία νερού για πότισμα είναι ενεργοποιημένη ή απενεργοποιημένη αυτήν τη στιγμή.

Water Pump Shower Schedule: Εμφανίζει τις προγραμματισμένες ώρες για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της αντλίας νερού, με επιλογές για τη διαγραφή κάθε προγράμματος.

Set Water Pump Shower Schedule: Φόρμα για να οριστεί από το χρήστη ένα νέο πρόγραμμα για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της αντλίας νερού.

Η λειτουργία loop() είναι ο κύριος βρόχος που τρέχει συνεχώς και που εκτελεί και ελέγχει πολύπλευρα ένα υδροπονικό σύστημα. Ενορχηστρώνει τη συνεχή λειτουργία του υδροπονικού συστήματος διαχειρίζοντας ρυθμίσεις pH, χρονοδιαγράμματα φωτός, μετρήσεις στάθμης νερού, έλεγχο θερμοκρασίας, μετρήσεις EC και χειρισμό αιτημάτων διακομιστή web. Χρησιμοποιεί χρονόμετρα (millis()), μετρήσεις αισθητήρων, ελέγχους υπό όρους και έλεγχο υλικού για να διασφαλίσει ότι το σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τμήμα pH Adjustment - Ρύθμισης pH

pH Adjustment Timing: Ελέγχει εάν είναι ώρα να ρυθμιστεί το pH με βάση ένα καθορισμένο διάστημα (pHAdjustmentInterval).

pH Adjustment Execution: Ελέγχει αν είναι ώρα για ρύθμιση pH, καθώς κι και η ρύθμιση pH δεν είναι ήδη σε εξέλιξη (pHAdjusting). Ενεργοποιεί τη συνάρτηση startpHAdjustment().

Τμήμα Lights Schedule - Χρονοδιαγράμματος φώτων

Current Time Calculation: Υπολογίζει τη τρέχουσα ώρα της ημέρας σε χιλιοστά του

δευτερολέπτου.

Active Lights Schedule Handling: Ελέγχει αν κάποιο πρόγραμμα ενεργών φώτων έχει διαγραφεί ή χρειάζεται να απενεργοποιηθεί με βάση την τρέχουσα ώρα.

Lights State Update: Επαναλαμβάνεται μέσω καθορισμένων χρονοδιαγραμμάτων φωτός (lightsSchedules) για να ενημερώσει την κατάσταση (lightsState) και να ελέγξει μια ακίδα (lightsControlPin) ανάλογα.

Τμήμα Water Level Measurement and Pump Control - Μέτρηση στάθμης νερού και ελέγχου αντλίας

Water Level Measurement Timing: Ελέγχει αν είναι ώρα να μετρηθεί η στάθμη του νερού με βάση μια προκαθορισμένη συχνότητα (WaterLevelMeasurementFrequency).

Water Level Measurement: Διαβάζει τον αισθητήρα στάθμης νερού (analogRead(WaterLevelWaterLevelPin)) και αντιστοιχίζει την τιμή σε ένα συγκεκριμένο εύρος (WaterLevelMappedLevel).

Pump Control: Ξεκινά ή σταματά την αντλία νερού (WaterLevelPumpRelayPin) βασιζόμενο στη μετρούμενη στάθμη νερού και τους προκαθορισμένους χρόνους χρήσης της αντλίας (WaterLevelPumpUsage).

Τμήμα Water Pump Shower Schedule - Πρόγραμμα Αντλίας Νερού Ποτίσματος

Water Pump Shower State Handling: Παρόμοια με τα φώτα, διαχειρίζεται χρονοδιαγράμματα (WaterPumpShowerSchedules) για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μιας αντλίας νερού για πότισμα (WaterPumpShowerPin) με βάση την τρέχουσα ώρα.

pH Adjustment Function - Λειτουργία ρύθμισης pH (startpHAdjustment())

pH Adjustment Initialization - Ρύθμιση pH αρχικοποίησης: Ενεργοποιεί τη διαδικασία ρύθμισης του pH ορίζοντας σημαίες και ενεργοποιώντας το υλικό (WaterLevelPumpRelayPin για αντλία νερού και μίκτη).

Τμήμα Temperature Control - Ελέγχου θερμοκρασίας

Temperature Measurement - Μέτρηση θερμοκρασίας: Διαβάζει τον αισθητήρα θερμοκρασίας (analogRead(temperatureSensorPin)) και υπολογίζει την τρέχουσα θερμοκρασία.

Heater and Fan Control -Έλεγχος θερμαντήρα και ανεμιστήρα: Ρυθμίζει την κατάσταση ενός θερμαντήρα (heaterPin) και ενός ανεμιστήρα (fanPin) με βάση τη διαφορά μεταξύ της τρέχουσας θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας στόχου (targetTemperature).

Τμήμα Electrical Conductivity (EC) Measurement - Μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).

EC Measurement Timing - Χρόνος μέτρησης EC: Μετρά το EC σε καθορισμένο διάστημα (measurementECInterval).

EC Measurement - Μέτρηση EC: Διαβάζει τον αισθητήρα EC (readECSensor()), προσαρμόζει την κατάσταση ενός ρυθμιστή EC (RegulatorECPin) εάν χρειάζεται για να ρυθμίσει την τιμή EC και ενεργοποιεί έναν μίκτη (mixerPin) για να ανακατευτεί και να οξυγονωθεί το διάλυμα.

Χειρισμός Web Server

Server Request Handling - Διαχείριση αιτημάτων διακομιστή: Επιτρέπει στο Arduino να χειρίζεται εισερχόμενα αιτήματα HTTP από έναν διακομιστή ιστού (server.handleClient()).

Διάφορες βοηθητικές λειτουργίες: Αυτές περιλαμβάνουν λειτουργίες όπως activateRegulatorEC(), deactivateRegulatorEC(), activateMixer(), deactivateMixer(), meterActualpH() και readECSensor() που χειρίζονται συγκεκριμένες εργασίες όπως η ενεργοποίηση στοιχείων hardware και η ανάγνωση τιμών αισθητήρα.

7.7 Ο Κώδικας

```
/* *****
 * Hydroponics
 * =====
 * Author: Alexandros Galanis
 * *****/
//===== Includes =====
//Need to use external libraries
#include "DFRobot_ESP_PH_WITH_ADC.h"
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <DFRobot_EC10.h>
#include "time.h"
#define CONFIG_DISABLE_PSRAM_ALLOC
//===== Definitions =====
#define WaterPumpShowerPin 2 //
#define lightsControlPin 3 //
#define WaterLevelPumpRelayPin 4 //
#define WaterLevelWaterLevelPin A7 //Analog pin to measure the water level (pressure sensor)
#define pHAnalogPin A0 //
#define pHRegulatorPin 15 //Pins for pH regulator (peristaltic pump, relay, etc.)
#define RegulatorECPin 13 //Pin for controlling the EC regulator (activator)
#define mixerPin 14 //Example pin for the mixer pump
#define heaterPin 16 //
#define fanPin 17 //
#define temperatureSensorPin A6 //
#define ECAnalogPin A3 //Analog pin the EC sensor is connected to
//Some functional configuration definitions
#define maxSchedules 5 //Size of the array that holds the watering schedules
#define maxLightsSchedules 5 //Size of the array that holds the lighting schedules
//===== Networking =====
//WiFi Settings
const char* ssid = "ASTERIX";
const char* password = "katsarola";
WebServer server(80); //Web Server listens on port 80
//NTP Settings
const char* ntpServer = "pool.ntp.org"; //NTP to be polled
const long gmtOffset_sec = 7200; //GMT+2
const int daylightOffset_sec = 3600; //Daylight Saving goes to GMT+3
//NTP Settings for lights
//===== PH Sensor =====
//Necessary Sensor objects
DFRobot_ESP_PH_WITH_ADC pHSensor; //pH Sensor handling object
//pH calibration values
float pHCalibrationOffset = 0.0;
float pHCalibrationProbe = 7.0;
//pH range for regulation
float targetpH = 6.0;
float pHtolerance = 0.2;
```

```

//Variables for pH adjustment
bool pHAdjusting = false;
unsigned long pHAdjustmentStartTime = 0;
const unsigned long pHAdjustmentDuration = 1000; //1 second
//Time interval for pH adjustment (in milliseconds)
//Set to 6 hours
const unsigned long pHAdjustmentInterval = 6 * 60 * 60 * 1000;
unsigned long previouspHAdjustmentTime = 0;
//===== EC Sensor =====
DFRobot_EC10 ecSensor; //EC Sensor handling object
// Variables to store EC values and timing
float currentEC = 0.0;
float targetEC = 1.0; //Initial target EC value
float ECTolerance = 0.2; //Initial EC tolerance value
unsigned long LastMeasurementECTime = 0;
unsigned long RegulatorECTime = 0;
unsigned long mixingStartTime = 0;
//EC Measurement interval set to 6 hours, in milliseconds
const unsigned long measurementECInterval = 6 * 60 * 60 * 1000;
const unsigned long RegulatorActivationDurationEC = 1000; //1 second
const unsigned long mixingDuration = 5000; //5 seconds
bool isRegulatorECActivated = false;
bool isMixing = false;
//===== Watering =====
//Watering Schedules Configuration
struct Schedule {
    unsigned long onTime; //Time to keep on watering
    unsigned long offTime; //Time to pause watering
}; //Watering Schedule definition
//The array that holds the Watering Schedules
Schedule WaterPumpShowerSchedules[maxSchedules];
int WaterPumpShowerScheduleCount = 0;
bool WaterPumpShowerState = false; //Initial state is off
// User-configurable parameters
int WaterLevelMeasurementFrequency = 3; //Default number of measurements per day
//Corresponding pump usage times for water level 1-10
int WaterLevelPumpUsage[] = {10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 0};
int WaterLevelSensorMinValue = 0; //Set the actual minimum sensor value here
int WaterLevelSensorMaxValue = 1023; //Set the actual maximum sensor value here
unsigned long WaterLevelLastMeasurementTime = 0;
unsigned long WaterLevelPumpStartTime = 0;
int WaterLevelCurrentPumpLevel = 0;
bool WaterLevelPumpState = false;
//===== Lighting =====
//Lighting Schedules Configuration
struct LightsSchedule {
    unsigned long onTimeL; //Time to keep on lighting
    unsigned long offTimeL; //Time to pause lighting
}; //Lighting Schedule definition
//The array that holds the Watering Schedules
LightsSchedule lightsSchedules[maxLightsSchedules];
int lightsScheduleCount = 0; //Updated schedule count
bool lightsState = false; //Initial state of lights is off
//===== Temperature =====
float currentTemperature = 25.0;
float targetTemperature = 25.0;
float temperatureTolerance = 0.5;
//===== Strings used more than once =====
const char* plainTextStr = "text/plain";
const char* onTimeStr = "on_time";
const char* durationStr = "duration";
const char* locStr = "Location";
const char* idxStr = "index";

```


OxEC, OxCA, OxE5, OxD4, OxF8, OxFD, OxFA, OxF1, OxF8, OxF5, OxFB, OxFE, OxFC, OxFE, OxFF, OxFF,
OxFE, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFE, OxFF, OxFF, OxF7, OxFD, OxFA, Ox8D, OxD4, OxA8, Ox45, OxC2, Ox7E, Ox45,
OxC3, Ox7D, Ox76, OxCF, Ox9A, Ox87, OxD3, OxA6, Ox48, OxC2, Ox7E, Ox9B, OxDA, OxB3, OxFC, OxFF,
OxFD, Ox9A, OxD9, OxB3, Ox57, OxC6, Ox87, Ox47, OxC4, Ox7F, Ox88, OxD4, OxA7, OxEO, OxF1, OxE6,
OxFC, OxFF, OxFD, OxFE, OxFF, OxFE, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFE, OxFF, OxFF, OxCC, OxEC, OxD9, Ox46, OxC3, Ox7F, Ox43, OxC3, Ox7D, Ox4A,
OxC5, Ox81, Ox49, OxC6, Ox80, Ox44, OxC3, Ox7E, Ox4A, OxC2, Ox80, OxDA, OxF2, OxE3, OxB9, OxE3,
OxC8, OxDB, OxFO, OxE4, Ox49, OxC2, Ox7F, Ox43, OxC2, Ox7D, Ox44, OxC2, Ox7D, Ox47, OxC2, Ox7D,
OxA8, OxDC, OxBC, OxFB, OxFE, OxFC, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFC, OxFE, OxFD, Ox81, OxD1, OxA1, Ox40, OxC3, Ox7D, Ox42, OxC2, Ox7D, Ox43,
OxC2, Ox7D, Ox43, OxC3, Ox7E, Ox66, OxC6, Ox90, OxC2, OxE6, OxCF, OxCF, OxEB, OxDA, Ox49, OxC3,
Ox7F, OxCF, OxE9, OxDA, Ox9F, OxD6, OxB3, Ox42, OxC3, Ox7C, Ox45, OxC2, Ox7D, Ox45, OxC2, Ox7D,
Ox4E, OxC4, Ox83, OxD9, OxF1, OxE3, OxFE, OxFF, OxFE, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxEA, OxF6, OxEF, Ox59, OxC4, Ox87, Ox62, OxCA, Ox90, Ox65, OxC9, Ox91, Ox9A,
OxDA, OxB4, OxBB, OxE4, OxC9, OxF4, OxFC, OxF6, OxFC, OxFF, OxFD, OxBO, OxDC, OxBF, Ox44, OxC3,
Ox7D, Ox5C, OxC6, Ox88, OxD2, OxED, OxDE, Ox64, OxC9, Ox8E, Ox45, OxC2, Ox7D, Ox45, OxC2, Ox7D,
Ox44, OxC2, Ox7D, Ox85, OxDO, OxA2, OxF7, OxFC, OxFA, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFE, OxFF, OxFE, OxFB, OxFD, OxFC, OxFC, OxFD, OxFD, OxFA, OxFD, OxFD, OxFD,
OxFE, OxFE, OxFE, OxFE, OxFE, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxCE, OxEB, OxDA, Ox46, OxC4,
Ox7E, Ox43, OxC2, Ox7D, Ox68, OxC9, Ox91, OxBC, OxE4, OxCB, Ox4C, OxC3, Ox83, Ox44, OxC2, Ox7D,
Ox43, OxC3, Ox7C, Ox42, OxC4, Ox7C, OxC5, OxE7, OxD1, OxFF, OxFE, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFE,
OxFE, OxFE, OxFE, OxFE, OxFE, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxF4, OxF8, OxF6, Ox4A, OxC2,
Ox80, Ox41, OxC2, Ox7D, Ox43, OxC2, Ox7D, Ox5A, OxC7, Ox88, Ox81, OxD3, OxA4, Ox44, OxC3, Ox7D,
Ox43, OxC3, Ox7C, Ox42, OxC4, Ox7C, OxAD, OxE2, OxC2, OxFF, OxFE, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFD, OxFE, OxFE, OxAF, OxDF, OxC1, Ox53, OxC5, Ox87, Ox44, OxC2, Ox7C, Ox43, OxC2, Ox7C,
Ox44, OxC2, Ox7D, Ox44, OxC2, Ox7D, Ox48, OxC2, Ox7F, OxE1, OxF2, OxE8, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFE, OxFF, OxFE, OxE7, OxF4, OxED, OxA2, OxD9, OxB8, Ox53, OxC5, Ox85,
Ox4D, OxC4, Ox80, Ox42, OxC2, Ox7D, Ox43, OxC2, Ox7D, OxC4, OxE7, OxDO, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,
OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF, OxFF,


```

xhr.onload = function() {\
  if (xhr.status === 200) {\
    document.getElementById('ph_tolerance_value').innerText = newTolerance;\
  }\
};\
xhr.send('ph_tolerance=' + newTolerance);\
location.reload(); <!-- Reload the page after setting pH tolerance -->\
}\
\
<!-- Add the "Measure EC" button -->\
function updateTargetEC() {\
  var newTargetEC = document.getElementById('newTargetEC').value;\
  var xhttp = new XMLHttpRequest();\
  xhttp.onreadystatechange = function() {\
    if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {\
      document.getElementById('targetEC').innerHTML = 'Target EC: ' + parseFloat(newTargetEC).toFixed(2);\
    }\
  };\
  xhttp.open('POST', '/updateTargetEC', true);\
  xhttp.setRequestHeader('Content-type', 'application/x-www-form-urlencoded');\
  xhttp.send('targetEC=' + newTargetEC);\
}\
\
<!-- function to set EC tolerance -->\
function setECTolerance() {\
  var newECTolerance = document.getElementById('ec_tolerance').value;\
  var xhttp = new XMLHttpRequest();\
  xhttp.onreadystatechange = function() {\
    if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {\
      document.getElementById('ec_tolerance_value').innerText = newECTolerance;\
    }\
  };\
  xhttp.open('POST', '/updateECTolerance', true); <!-- Define a new server route -->\
  xhttp.setRequestHeader('Content-type', 'application/x-www-form-urlencoded');\
  xhttp.send('ec_tolerance=' + newECTolerance);\
}\
\
<!-- updateCurrentEC -->\
function updateCurrentEC() {\
  var xhttp = new XMLHttpRequest(); \
  xhttp.onreadystatechange = function() {\
    if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {\
      document.getElementById('currentEC').innerHTML = 'Current EC: ' + parseFloat(this.responseText).toFixed(2);\
    }\
  };\
  xhttp.open('GET', '/getCurrentEC', true);\
  xhttp.send();\
}\
setInterval(updateCurrentEC, 600000);\
</script>;
//===== Main Code =====
//===== Initialization =====
void setup() {
  //I/O Initialization
  pinMode(RegulatorECPin, OUTPUT);
  pinMode(mixerPin, OUTPUT);
  digitalWrite(RegulatorECPin, LOW); //Turn off the EC regulator initially
  digitalWrite(mixerPin, LOW); //Turn off the mixer pump initially
  pinMode(WaterLevelPumpRelayPin, OUTPUT);
  digitalWrite(WaterLevelPumpRelayPin, LOW); //Water pump is initially off
  pinMode(WaterPumpShowerPin, OUTPUT);
  pinMode(lightsControlPin, OUTPUT);
}

```

```

pinMode(pHAnalogPin, INPUT);      //pH analog sensor input
pinMode(WaterLevelWaterLevelPin, INPUT); //Water Level Pressure sensor input
pinMode(temperatureSensorPin, INPUT); //Temperature analog sensor input
pinMode(ECAAnalogPin, INPUT);    //EC analog sensor input
// Initialize pH sensor
pHSensor.begin(pHAnalogPin);
// Initialize pH regulator and water pump pins
pinMode(pHRegulatorPin, OUTPUT);
pinMode(WaterLevelPumpRelayPin, OUTPUT);
//Temp
pinMode(heaterPin, OUTPUT);
pinMode(fanPin, OUTPUT);
// Initialize Serial communication
Serial.begin(115200);

// Connect to Wi-Fi
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(1000);
  Serial.println("Connecting to WiFi...");
}
Serial.println("Connected to WiFi");
Serial.println(WiFi.localIP());
ecSensor.begin(); //Initialize the EC sensor
//We are connected. Lets configure local time
configTime(gmtOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer);
//configTime(lightsGmtOffset_sec, lightsDaylightOffset_sec, ntpServer);
// Define web server routes
//Setup server target request
server.on("/", HTTP_GET, handleRoot); //Main page
server.on("/favicon.ico", HTTP_GET, sendFavicon);
server.on("/updateTargetEC", HTTP_POST, handleUpdateTargetEC);
server.on("/getCurrentEC", HTTP_GET, handleGetCurrentEC);
server.on("/measureEC", HTTP_GET, handleMeasureEC);
server.on("/updateph", HTTP_POST, handleUpdatePH);
server.on("/measureph", HTTP_GET, handleMeasurePH); // New route for measuring pH
server.on("/setTargetTemperature", tempControlHandleSetTargetTemperature);
server.on("/setTemperatureTolerance", tempControlHandleSetTemperatureTolerance);
server.on("/updateECTolerance", HTTP_POST, handleUpdateECTolerance);
server.on("/updatetolerance", HTTP_POST, handleUpdateTolerance); // PH
server.on("/", handleRoot); //eliaschr@NOTE: Why do you add the main page, again?
server.on("/lights", HTTP_GET, handleRoot);
server.on("/setlightsschedule", handleSetLightsSchedule); // Updated route
server.on("/deletelightsschedule", handleDeleteLightsSchedule); // Updated route
server.on("/startWaterPump", handleStartWaterPump); // Unique server name
server.on("/stopWaterPump", handleStopWaterPump); // Unique server name
server.on("/setMeasurementFrequency", HTTP_GET, handleSetMeasurementFrequency); // Unique server name
server.on("/setwaterschedules", handleSetWaterSchedule);
server.on("/deleteschedule", handleDeleteSchedule);
//Start the web server
server.begin();
Serial.println("Web server started");
Serial.println("IP address: " + WiFi.localIP().toString()); // Print the IP address
}
//===== Time Conversions =====
//Converts a time value to time string in format HH:MM. If the input value is 0 or absent, the
// system returns the local time from the RTC. If not, the input value is converted from ms
// to a time string in the form HH:MM
String getTimeString(unsigned long timeValue = 0) {
  if (timeValue == 0) {
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
      return "Failed to obtain time";
    }
  }
}

```



```

    }
    char timeString[6];
    snprintf(timeString, sizeof(timeString), "%02d:%02d", timeinfo.tm_hour, timeinfo.tm_min);
    return String(timeString);
} else {
    unsigned long seconds = timeValue / 1000;
    unsigned long minutes = (seconds % 3600) / 60;
    unsigned long hours = seconds / 3600;
    return String(hours) + ":" + String(minutes);
}
}
//===== Server Code =====
//===== Server Queries and Responses =====
void sendFavIcon() {
    server.send_P(200, "image/x-icon", favIcon_ico, sizeof(favIcon_ico));
}
//Handle server request "/setMeasurementFrequency" to set the WaterLevelMeasurementFrequency
//check wether there is a correct answer or not and always return a response.
void handleSetMeasurementFrequency() {
    if (server.args() > 0) { //Do we have any parameters to parse?
        //If there are any arguments we need to parse only the "frequency" one.
        //"frequency" parameter is an integer value
        int newFrequency = server.arg("frequency").toInt();
        if (newFrequency >= 1) { //Check the validity of the input parameter
            //Valid. Need to use the new value
            WaterLevelMeasurementFrequency = newFrequency;
            server.send(200, plainTextStr, "Frequency set: " + String(newFrequency));
        } else {
            //need to send an error response
        }
    } else {
        //need to send an error response
    }
}
//Handle server request "/setwaterschedules".
void handleSetWaterSchedule() {
    String onTime = server.arg(onTimeStr);
    int durationMinutes = server.arg(durationStr).toInt();
    int onHour = onTime.substring(0, 2).toInt();
    int onMinute = onTime.substring(3, 5).toInt();
    // milliseconds
    unsigned long onTimeMillis = (onHour * 3600 + onMinute * 60) * 1000;
    // Calculate the off time based on the duration
    unsigned long offTimeMillis = onTimeMillis + (durationMinutes * 60 * 1000);
    // Check if the maximum number of schedules has been reached
    if (WaterPumpShowerScheduleCount >= maxSchedules) {
        server.send(400, plainTextStr, "Maximum number of schedules reached");
        return;
    }
    // Add the new schedule
    WaterPumpShowerSchedules[WaterPumpShowerScheduleCount].onTime = onTimeMillis;
    WaterPumpShowerSchedules[WaterPumpShowerScheduleCount].offTime = offTimeMillis;
    WaterPumpShowerScheduleCount++;

    server.sendHeader(locStr, "");
    server.send(302, plainTextStr, "");
}
//Handle server request "/setlightsschedule".
void handleSetLightsSchedule() {
    String onTimeL = server.arg(onTimeStr);
    int durationMinutes = server.arg(durationStr).toInt();

    // Validate the input time value and duration

```

```

int onHour = onTimeL.substring(0, 2).toInt();
int onMinute = onTimeL.substring(3, 5).toInt();
unsigned long onTimeLMillis = (onHour * 3600 + onMinute * 60) * 1000;
// Calculate the off time based on the duration
unsigned long offTimeLMillis = onTimeLMillis + (durationMinutes * 60 * 1000);
// Check if the maximum number of schedules has been reached
if (lightsScheduleCount >= maxLightsSchedules) {
    server.send(400, plainTextStr, "Maximum number of Lights schedules reached");
    return;
}
// Add the new Lights schedule
lightsSchedules[lightsScheduleCount].onTimeL = onTimeLMillis;
lightsSchedules[lightsScheduleCount].offTimeL = offTimeLMillis;
lightsScheduleCount++;
server.sendHeader(locStr, "");
server.send(302, plainTextStr, "");
}
//Handle server request "/deleteschedule".
void handleDeleteSchedule() {
    if (server.hasArg(idxStr)) {
        int index = server.arg(idxStr).toInt();
        if (index >= 0 && index < WaterPumpShowerScheduleCount) {
            // Shift the remaining schedules to remove the deleted one
            for (int i = index; i < WaterPumpShowerScheduleCount - 1; i++) {
                WaterPumpShowerSchedules[i] = WaterPumpShowerSchedules[i + 1];
            }
            WaterPumpShowerScheduleCount--;
            server.sendHeader(locStr, "");
            server.send(302, plainTextStr, "");
            return;
        }
    }
    server.send(400, plainTextStr, "Invalid schedule index");
}
//Handle server request "/deletelightsschedule".
void handleDeleteLightsSchedule() {
    if (server.hasArg(idxStr)) {
        int index = server.arg(idxStr).toInt();
        if (index >= 0 && index < lightsScheduleCount) {
            // Shift the remaining Lights schedules to remove the deleted one
            for (int i = index; i < lightsScheduleCount - 1; i++) {
                lightsSchedules[i] = lightsSchedules[i + 1];
            }
            lightsScheduleCount--;
            server.sendHeader(locStr, "");
            server.send(302, plainTextStr, "");
            return;
        }
    }
    server.send(400, plainTextStr, "Invalid Lights schedule index");
}
//Handle measuring pH and sending the result to the client, "/measureph" request
void handleMeasurePH() {
    float measuredpH = measureActualpH();
    server.send(200, plainTextStr, String(measuredpH, 2));
}
//Handle server request "/updateph".
void handleUpdatePH() {
    if (server.hasArg(tpHStr)) {
        String newTargetpH = server.arg(tpHStr);
        targetpH = newTargetpH.toFloat(); // Update the target pH
        server.send(200, plainTextStr, "Target pH updated");
    } else {

```

```

    //Send a response in this case of error.
}
}
//Handle server request "/setTargetTemperature".
void tempControlHandleSetTargetTemperature() {
    if (server.hasArg(tTempStr)) {
        targetTemperature = server.arg(tTempStr).toFloat();
        // Limit the target temperature within the range of 20 - 40 degrees
        targetTemperature = constrain(targetTemperature, 20.0, 40.0);
    }
    handleRoot(); // Refresh the page to update the target temperature
}
//Handle server request "/setTemperatureTolerance".
void tempControlHandleSetTemperatureTolerance() {
    if (server.hasArg(tTempTolStr)) {
        temperatureTolerance = server.arg(tTempTolStr).toFloat();
    }
    handleRoot(); // Refresh the page to update the temperature tolerance
}
//Handle server request "/measureEC".
void handleMeasureEC() {
    // Measure EC here (replace with actual sensor reading code)
    currentEC = readECSensor();
    server.send(200, plainTextStr, String(currentEC, 2));
}
//Handle server request "/updateTargetEC".
void handleUpdateTargetEC() {
    String newTargetEC = server.arg("targetEC");
    targetEC = newTargetEC.toFloat();
    server.send(200, plainTextStr, String(targetEC, 2)); // Send the new target EC value back to the client
}
//Handle server request "/getCurrentEC".
void handleGetCurrentEC() {
    currentEC = readECSensor();
    server.send(200, plainTextStr, String(currentEC, 2));
}
//Handle server request "/updateECTolerance".
void handleUpdateECTolerance() {
    String newECTolerance = server.arg("ec_tolerance");
    ECTolerance = newECTolerance.toFloat(); // Update the EC Tolerance value
    server.send(200, plainTextStr, "EC Tolerance updated");
}
//Handle server request "/updatetolerance".
void handleUpdateTolerance() {
    if (server.hasArg("ph_tolerance")) {
        String newTolerance = server.arg("ph_tolerance");
        pHtolerance = newTolerance.toFloat(); // Update the pH tolerance
        server.send(200, plainTextStr, "pH Tolerance updated");
    }
}
//Handle server request "/startWaterPump".
void handleStartWaterPump() {
    digitalWrite(WaterLevelPumpRelayPin, HIGH); // Unique pin name
    WaterLevelPumpState = true; // Update the water pump state
    server.sendHeader(locStr, "/"); // Unique server name
    server.send(302, plainTextStr, ""); // Unique server name
}
//Handle server request "/stopWaterPump".
void handleStopWaterPump() {
    digitalWrite(WaterLevelPumpRelayPin, LOW); // Unique pin name
    WaterLevelPumpState = false; // Update the water pump state
    server.sendHeader(locStr, "/"); // Unique server name
    server.send(302, plainTextStr, ""); // Unique server name
}

```

```

}
//Handle server request "/". The code presents the root web page
void handleRoot() {
    String html = HTML_Head;
    html += "</head><body>";
    // pH Control Section
    html += "<h1>PH Control</h1>";
    float measuredpH = measureActualpH();
    html += "<p>Current pH: <span id='ph_value'>" + String(measuredpH, 2) + "</span></p>";
    html += "<p>Target pH: <span id='target_ph_value'>" + String(targetpH, 2) + "</span></p>";
    html += "<p>pH Tolerance: <span id='ph_tolerance_value'>" + String(pHTolerance, 2) + "</span></p>";
    html += "<form onsubmit='setTargetpH(); return false;'>";
    html += "<label for='target_ph'>Set Target pH:</label>";
    html += "<input type='number' step='0.1' name='target_ph' id='target_ph' value='" + String(targetpH) + "'><br>";
    html += "<button onclick='setTargetpH()'>Set Target pH</button>"; // Button for setting target pH
    html += "</form>";
    // Add a new form for setting pH tolerance below the display
    html += "<form>";
    html += "<label for='ph_tolerance'>Set pH Tolerance:</label>";
    html += "<input type='number' step='0.1' name='ph_tolerance' id='ph_tolerance' value='" + String(pHTolerance, 2) +
"><br>";
    html += "<button onclick='setTolerance()'>Set pH Tolerance</button>"; // Button for setting pH tolerance
    html += "</form><br>";
    html += "<button onclick='measurepH()'>Measure pH</button>";
    html += "<hr>"; // Separator between sections
    // Hydroponic Control Section
    html += "<h1>EC Control</h1>";
    html += "<div id='currentEC'>Current EC: Updating...</div>";
    html += "<br>";
    // Display the target EC value
    html += "<div id='targetEC'>Target EC: " + String(targetEC, 2) + "</div>";
    // Display the EC Tolerance value below the EC Tolerance form
    html += "<p>EC Tolerance: <span id='ec_tolerance_value'>" + String(ECTolerance, 2) + "</span></p>";
    html += "<form method='POST' action=''" + String(targetEC, 2) + "' onsubmit='updateTargetEC(); return false;'>";
    html += "Set Target EC: <input type='text' id='newTargetEC' value='" + String(targetEC, 2) + "'><br>";
    html += "<input type='submit' value='Set Target EC'>";
    html += "</form>";
    // Add a new form for setting EC tolerance
    html += "<form>";
    html += "<label for='ec_tolerance'>Set EC Tolerance:</label>";
    html += "<input type='number' step='0.1' name='ec_tolerance' id='ec_tolerance' value='" + String(ECTolerance, 2) +
"><br>";
    html += "<button onclick='setECTolerance()'>Set EC Tolerance</button>"; // Button for setting EC tolerance
    html += "</form>";
    // Add the "Measure EC" button
    html += "<button onclick='measureEC()'>Measure EC</button>";
    html += "<script>";
    html += "function measureEC() {";
    html += "    var xhr = new XMLHttpRequest();";
    html += "    xhr.open('GET', '/measureEC', true);";
    html += "    xhr.onload = function() {";
    html += "        if (xhr.status === 200) {";
    html += "            document.getElementById('currentEC').innerText = 'Current EC: ' + parseFloat(xhr.responseText).toFixed(2);";
    html += "        }";
    html += "    }";
    html += "    xhr.send();";
    html += "};";
    html += "</script>";
    html += "<hr>";
    //temperature information
    html += "<h1>Temperature Control</h1>";
    html += "<p>Current Temperature: " + String(currentTemperature, 2) + "&deg;C</p>";
    html += "<p>Target Temperature: " + String(targetTemperature, 2) + "&deg;C</p>";

```

```

html += "<p>Temperature Tolerance: " + String(temperatureTolerance, 2) + "&deg;C</p>";
html += "<form action=\"/setTargetTemperature\">";
html += " Set Target Temperature: <input type=\"number\" step=\"0.1\" name=\"targetTemperature\" min=\"20\"
max=\"40\" value=\"\" + String(targetTemperature, 1) + "\">";
html += " <input type=\"submit\" value=\"Set\">";
html += "</form>";
html += "<form action=\"/setTemperatureTolerance\">";
html += " Set Temperature Tolerance: <input type=\"number\" step=\"0.1\" name=\"temperatureTolerance\" value=\"\" +
String(temperatureTolerance, 1) + "\">";
html += " <input type=\"submit\" value=\"Set\">";
html += "</form>";
html += "<hr>"; // Separator between sections
// Lights Control Section
html += "<h1>Lights Control</h1>";
html += "<p>Time: ";
//html += getLightsTimeString().substring(0, 5); // Extract only the Lights time portion without seconds
html += getTimeString().substring(0, 5); // Extract only the Lights time portion without seconds
html += "</p>";
html += "<p>Lights State: ";
html += (lightsState ? "On" : "Off");
html += "</p>";
if (lightsScheduleCount > 0) {
html += "<h2>Lights Schedule:</h2>";
for (int i = 0; i < lightsScheduleCount; i++) {
html += "<p>Turn on ";
//html += getLightsTimeString(lightsSchedules[i].onTimeL).substring(0, 5); // Extract only the Lights time portion
without seconds
html += getTimeString(lightsSchedules[i].onTimeL).substring(0, 5); // Extract only the Lights time portion without
seconds
html += " | Turn off ";
//html += getLightsTimeString(lightsSchedules[i].offTimeL).substring(0, 5); // Extract only the Lights time portion
without seconds
html += getTimeString(lightsSchedules[i].offTimeL).substring(0, 5); // Extract only the Lights time portion without
seconds
html += " | <a href=\"/deletelightsschedule?index=\"";
html += String(i);
html += "\">Delete</a></p>";
}
}
html += "<h2>Set Lights Schedule</h2>";
html += "<form action=\"/setlightsschedule\" method=\"POST\">";
html += "<label for=\"on_time\">Turn on Time:</label>";
html += "<input type=\"text\" id=\"on_time\" name=\"on_time\" pattern=\"[0-9]{2};[0-9]{2}\" required<br><br>";
html += "<label for=\"duration\">Duration (minutes):</label>";
html += "<input type=\"number\" id=\"duration\" name=\"duration\" min=\"1\" required<br><br>";
html += "<input type=\"submit\" value=\"Submit\">";
html += "</form>";
html += "<hr>"; // Separator between sections
// Water Level Control Section
html += "<h1>Water Level Control</h1>";
html += "<p>Current Water Level: " + String(WaterLevelCurrentPumpLevel) + "</p>"; // Unique name
// Display the current frequency
html += "<p id=\"frequencyDisplay\">Frequency: " + String(WaterLevelMeasurementFrequency) + "</p>"; // Unique name
// Add a form to set the measurement frequency
html += "<form id=\"setFrequencyForm\">";
html += " Set Measurement Frequency: <input type=\"number\" id=\"frequency\" name=\"frequency\" min=\"1\">";
html += " <input type=\"submit\" value=\"Set\">";
html += "</form>";
// Add buttons to manually start and stop the water pump
html += "<form action=\"/startWaterPump\">";
html += " <input type=\"submit\" value=\"Start Water Pump\">";
html += "</form>";
html += "<form action=\"/stopWaterPump\">";

```

```

html += " <input type=\"submit\" value=\"Stop Water Pump\">";
html += "</form>";
// Add the water pump state display
html += "<p>Water Pump State: " + String(WaterLevelPumpState ? "ON" : "OFF") + "</p>"; // Unique name
// Add the JavaScript code to handle the form submission
html += "<script>";
html += "document.getElementById('setFrequencyForm').addEventListener('submit', function(event) {";
html += " event.preventDefault();"; // Prevent the default form submission
html += " var frequency = document.getElementById('frequency').value;";
html += " var xhr = new XMLHttpRequest();";
html += " xhr.open('GET', '/setMeasurementFrequency?frequency=' + frequency);";
html += " xhr.onload = function() {";
html += " if (xhr.status === 200) {";
html += " document.getElementById('frequency').value = "; // Clear the input field
html += " document.getElementById('frequencyDisplay').innerText = 'Frequency: ' + frequency;";
html += " }";
html += " }";
html += " xhr.send();";
html += "});";
html += "</script>";
html += "<hr>"; // Separator between sections
// Water Pump Shower Control Section
html += "<h1>Water Pump Shower Control</h1>";
html += "<p>Time: ";
html += getTimeString().substring(0, 5); // Extract only the time portion without seconds
html += "</p>";
html += "<p>Water Pump Shower State: ";
html += (WaterPumpShowerState? "On" : "Off");
html += "</p>";
if (WaterPumpShowerScheduleCount > 0) {
html += "<h2>Water Pump Shower Schedule:</h2>";
for (int i = 0; i < WaterPumpShowerScheduleCount; i++) {
html += "<p>Turn on ";
html += getTimeString(WaterPumpShowerSchedules[i].onTime).substring(0, 5); // Extract only the time portion
without seconds
html += " | Turn off ";
html += getTimeString(WaterPumpShowerSchedules[i].offTime).substring(0, 5); // Extract only the time portion
without seconds
html += " | <a href=\"/deleteschedule?index=";
html += String(i);
html += "\">Delete</a></p>";
}
}
html += "<h2>Set Water Pump Shower Schedule</h2>";
html += "<form action=\"/setwaterschedules\" method=\"POST\">"; // Separate action for Water Pump Shower
html += "<label for=\"on_time\">Turn on Time:</label>";
html += "<input type=\"text\" id=\"on_time\" name=\"on_time\" pattern=\"[0-9]{2}:[0-9]{2}\" required<br><br>";
html += "<label for=\"duration\">Duration (minutes):</label>";
html += "<input type=\"number\" id=\"duration\" name=\"duration\" min=\"1\" required<br><br>";
html += "<input type=\"submit\" value=\"Submit\">";
html += "</form>";
html += "</body></html>";
server.send(200, "text/html", html);
}
//===== Main Loop =====
void loop() {
// Current time
unsigned long currentpHAdjustmentTime = millis();
unsigned long currentTime = millis();
// Check if it's time for pH adjustment
if (!pHAdjusting && (currentpHAdjustmentTime - previouspHAdjustmentTime >= pHAdjustmentInterval)) {
startpHAdjustment();
}
}

```

```

struct tm timeinfoL;
if (getLocalTime(&timeinfoL)) {
    unsigned long currentMillis = (timeinfoL.tm_hour * 3600 + timeinfoL.tm_min * 60 + timeinfoL.tm_sec) * 1000;
    // Check if the currently active Lights schedule is deleted
    bool activeScheduleDeleted = false;
    if (lightsState) {
        for (int i = 0; i < lightsScheduleCount; i++) {
            if (currentMillis >= lightsSchedules[i].onTimeL && currentMillis < lightsSchedules[i].offTimeL) {
                activeScheduleDeleted = false; // The currently active Lights schedule is not deleted
                break;
            }
            activeScheduleDeleted = true; // The currently active Lights schedule is deleted
        }
    }
    // If the currently active Lights schedule is deleted, turn off the lights
    if (activeScheduleDeleted) {
        lightsState = false;
        digitalWrite(lightsControlPin, LOW);
    }
    // Check all Lights schedules and update lightsState if necessary
    for (int i = 0; i < lightsScheduleCount; i++) {
        if (lightsState) {
            if (currentMillis >= lightsSchedules[i].offTimeL) {
                lightsState = false;
                digitalWrite(lightsControlPin, LOW);
            }
        } else {
            if (currentMillis >= lightsSchedules[i].onTimeL && currentMillis < lightsSchedules[i].offTimeL) {
                lightsState = true;
                digitalWrite(lightsControlPin, HIGH);
            }
        }
    }
}
// Check if it's time for a measurement
if (currentTime - WaterLevelLastMeasurementTime >= 24 * 3600 * 1000 / WaterLevelMeasurementFrequency) {
    WaterLevelLastMeasurementTime = currentTime;
    // Perform water level measurement
    int WaterLevelWaterLevel = analogRead(WaterLevelWaterLevelPin); // Unique pin name
    int WaterLevelMappedLevel = map(WaterLevelWaterLevel, WaterLevelSensorMinValue, WaterLevelSensorMaxValue, 1,
10); // Unique names
    if (WaterLevelMappedLevel >= 1) {
        // Start the pump if the water level is above the threshold
        WaterLevelCurrentPumpLevel = WaterLevelMappedLevel; // Unique name
        digitalWrite(WaterLevelPumpRelayPin, HIGH); // Unique pin name
        WaterLevelPumpStartTime = currentTime; // Unique name
    }
}
// Check if the pump usage time has passed
if (WaterLevelCurrentPumpLevel > 0 && currentTime - WaterLevelPumpStartTime >=
WaterLevelPumpUsage[WaterLevelCurrentPumpLevel - 1] * 1000) {
    // Turn off the pump
    digitalWrite(WaterLevelPumpRelayPin, LOW); // Unique pin name
    WaterLevelCurrentPumpLevel = 0; // Unique name
}
struct tm timeinfo;
if (getLocalTime(&timeinfo)) {
    unsigned long currentMillis = (timeinfo.tm_hour * 3600 + timeinfo.tm_min * 60 + timeinfo.tm_sec) * 1000;
    // Check if the currently active schedule is deleted
    bool activeScheduleDeleted = false;
    if (WaterPumpShowerState) {
        for (int i = 0; i < WaterPumpShowerScheduleCount; i++) {

```

```

    if (currentMillis >= WaterPumpShowerSchedules[i].onTime && currentMillis <
WaterPumpShowerSchedules[i].offTime) {
        activeScheduleDeleted = false; // The currently active schedule is not deleted
        break;
    }
    activeScheduleDeleted = true; // The currently active schedule is deleted
}
// If the currently active schedule is deleted, turn off the water pump
if (activeScheduleDeleted) {
    WaterPumpShowerState = false;
    digitalWrite(WaterPumpShowerPin, LOW);
}
// Check all schedules and update WaterPumpShowerPin if necessary
bool scheduleActive = false;
for (int i = 0; i < WaterPumpShowerScheduleCount; i++) {
    if (currentMillis >= WaterPumpShowerSchedules[i].onTime && currentMillis < WaterPumpShowerSchedules[i].offTime)
{
        scheduleActive = true;
        break;
    }
}
if (scheduleActive) {
    WaterPumpShowerState = true;
    digitalWrite(WaterPumpShowerPin, HIGH);
} else {
    WaterPumpShowerState = false;
    digitalWrite(WaterPumpShowerPin, LOW);
}
}
// Handle pH adjustment
if (pHAdjusting) {
    if (currentpHAdjustmentTime - pHAdjustmentStartTime < pHAdjustmentDuration) {
        // pH Regulation and iterative adjustment
        float pHVoltageValue = analogRead(pHAnalogPin) / 1024.0 * 5.0; // Convert to voltage
        float pHTemperatureValue = 25.0; // You should provide the actual temperature
        float pHPHValue = pHSensor.readPH(pHVoltageValue, pHTemperatureValue);
        if (pHPHValue < (targetpH - pHTolerance)) {
            // Activate pH up (base) solution
            digitalWrite(pHRegulatorPin, HIGH);
            activateMixer(); // Activate the mixer when adjusting pH
        } else if (pHPHValue > (targetpH + pHTolerance)) {
            // Activate pH down (acid) solution
            digitalWrite(pHRegulatorPin, HIGH);
            activateMixer(); // Activate the mixer when adjusting pH
        } else {
            // Stop adjustments
            digitalWrite(pHRegulatorPin, LOW);
            digitalWrite(mixerPin, LOW); // Turn off the mixer
            pHAdjusting = false;
            previouspHAdjustmentTime = currentpHAdjustmentTime;
        }
    } else {
        // Adjustment duration reached, stop adjustments
        digitalWrite(pHRegulatorPin, LOW);
        digitalWrite(mixerPin, LOW); // Turn off the mixer
        pHAdjusting = false;
        previouspHAdjustmentTime = currentpHAdjustmentTime;
    }
}
// Read temperature
int sensorValue = analogRead(temperatureSensorPin);
float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);

```



```

currentTemperature = (voltage - 0.5) * 100;
// Control heater and fan based on temperature
if (currentTemperature < targetTemperature - temperatureTolerance) {
    digitalWrite(heaterPin, HIGH); // Turn on the heater
    digitalWrite(fanPin, LOW); // Turn off the fan
} else if (currentTemperature > targetTemperature + temperatureTolerance) {
    digitalWrite(heaterPin, LOW); // Turn off the heater
    digitalWrite(fanPin, HIGH); // Turn on the fan
} else {
    digitalWrite(heaterPin, LOW); // Turn off the heater
    digitalWrite(fanPin, LOW); // Turn off the fan
}
unsigned long currentTimeEC = millis();
// Measure EC at the specified interval
if (currentTimeEC - LastMeasurementECTime >= measurementECInterval) {
    LastMeasurementECTime = currentTimeEC;
    currentEC = readECSensor();
    // Check and adjust EC if needed
    if (currentEC < targetEC) {
        if (!isRegulatorECActivated) {
            activateRegulatorEC();
            RegulatorECTime = currentTimeEC;
        } else if (currentTimeEC - RegulatorECTime >= RegulatorActivationDurationEC) {
            if (!isMixing) {
                activateMixer();
                mixingStartTime = currentTimeEC;
            } else if (currentTimeEC - mixingStartTime >= mixingDuration) {
                deactivateMixer();
            }
        }
    } else {
        deactivateRegulatorEC();
    }
}
// Handle web server requests
server.handleClient();
}
//===== Hardware Handling Functions =====
//Starts the pH adjustment. The water pump is activated to pour some pH adjuster, together
// with the mixing motor to make a smooth solution. This provides better water treatment.
void startpHAdjustment() {
    pHAdjusting = true;
    pHAdjustmentStartTime = millis();
    digitalWrite(WaterLevelPumpRelayPin, HIGH); // Activate water pump during adjustments
    activateMixer(); // Activate the mixer when adjusting pH
}
//Function to measure actual pH.
float measureActualpH() {
    //You need to provide the actual voltage and temperature values here
    float actualVoltage = analogRead(pHAnalogPin) / 1024.0 * 5.0;
    float actualTemperature = 25.0; // Replace with the actual temperature value
    float measuredpH = pHSensor.readPH(actualVoltage, actualTemperature); // Read pH using the DFRobot library
    return measuredpH;
}
//Activates the motol that pours "plant food" into the water solution
void activateRegulatorEC() {
    digitalWrite(RegulatorECPin, HIGH);
    isRegulatorECActivated = true;
}
//Deactivates the EC motor
void deactivateRegulatorEC() {
    digitalWrite(RegulatorECPin, LOW);
    isRegulatorECActivated = false;
}

```

```

}
//Activate the mixer motor to make a smooth water solution
void activateMixer() {
  digitalWrite(mixerPin, HIGH);
  isMixing = true;
}
//Deactivates the mixer motor
void deactivateMixer() {
  digitalWrite(mixerPin, LOW);
  isMixing = false;
}
//Reads the EC value from the EC sensor
float readECSensor() {
  float voltage = analogRead(A0) / 1024.0 * 5.0; // Read voltage from analog pin A0
  //float voltage = analogRead(ECAnalogPin) / 1024.0 * 5.0; // Read voltage from EC analog pin
  float temperature = 25.0; // Assuming a constant temperature of 25°C (adjust as needed)
  float ecValue = ecSensor.readEC(voltage, temperature); // Use the correct library function
  return ecValue;
}

```

Κεφάλαιο 8 – Πρακτικό μέρος

Για να πετύχει η πραγματοποίηση ενός απλοποιημένου, λειτουργικού συστήματος υδροπονίας ελεγχόμενο από μικροελεγκτή Arduino, πέρα από τη χρήση κώδικα που γράφτηκε για αυτό το σκοπό, είναι απαραίτητη και η σύνδεση των εξαρτημάτων που επίσης επιλέχθηκαν για αυτό το σκοπό.

Η μεθοδολογία είναι απλή, απεικονίζεται λογικά στην Εικόνα 1.

Η βάση είναι η δεξαμενή νερού (Πλαστικό 600mm*600mm*45mm). Εκεί θα αποθηκεύεται το νερό. Σε εκείνο το δοχείο, θα τοποθετηθούν οι αισθητήρες του PH, EC, ο μετρητής της στάθμης του νερού του δοχείου, η αντλία ποτίσματος (υποβρύχια) με έναν προσκολλημένο σωλήνα που θα οδηγεί το νερό στο επόμενο στάδιο (στη δεξαμενή με τα φυτά). Στο βασικό δοχείο νερού θα προστεθούν επίσης οι ρυθμιστές του PH και EC, δηλαδή δύο δοχεία (χωρητικότητας 500ml) προσκολλημένα πάνω από το δοχείο, τα οποία θα έχουν ένα βασικό διάλυμα και ένα διατροφικό διάλυμα αντίστοιχα, καθώς και ηλεκτρικές περισταλτικές αντλίες. Οι περισταλτικές αντλίες θα είναι προσκολλημένες με τα δοχεία, δηλαδή η ροή των υγρών διαλυμάτων που εμπεριέχονται στα δοχεία αυτά θα καθίσταται δυνατή μόνο με τη χρήση των αντλιών αυτών. Στο δοχείο με το νερό θα προστεθεί επίσης μία υποβρύχια αντλία αέρα, με στόχο τη δημιουργία μιας διαδικασίας ανάδευσης όποτε χρειάζεται, δηλαδή όταν αλλάζει χημική σύσταση το βασικό μας διάλυμα νερού από τις προσθήκες. Στο δοχείο αυτό θα υπάρχει επίσης ένας μετρητής που θα αναλογίζεται τη στάθμη του νερού.

Οι αισθητήρες PH και EC πιθανότατα να απαιτούν αρχική ρύθμιση (calibration).

Συνδεδεμένο με το βασικό μας δοχείο νερού, θα είναι συνδεδεμένο ,με έναν σωλήνα, ένα δοχείο καθαρού νερού. Θα υπάρχει ακόμη μία αντλία νερού υποβρύχια στο δοχείο εκείνο με σκοπό την αναπλήρωση νερού και τη διατήρηση μιας σταθερής ποσότητας αυτού στο σύστημα. Αυτό το δεύτερο δοχείο καθαρού νερού μπορεί να είναι συνδεδεμένο άμεσα με κάποια κεντρική παροχή νερού. Η μόνη προϋπόθεση είναι να εισαχθεί ένα φίλτρο νερού με σκοπό την κατακράτηση άχρηστων και βλαβερών ουσιών

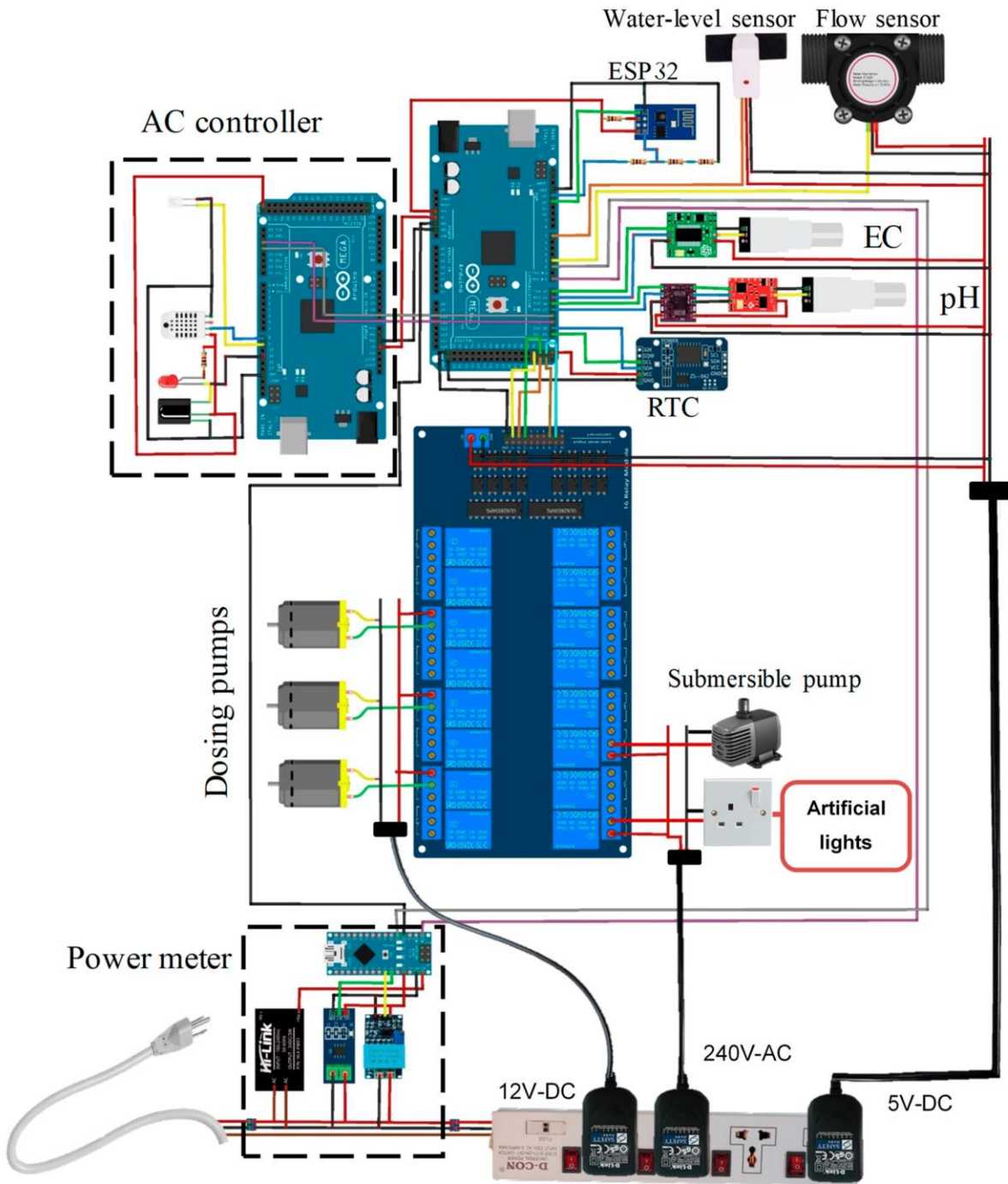
από το να φτάσουν στο σύστημα, δεδομένου ότι το καλής ποιότητας νερό είναι το βασικότερο στοιχείο στο σύστημα μας.

Η δεξαμενή που φιλοξενεί τα φυτά θα έχει οπές σε μέγεθος και σε απόσταση ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Στο χώρο, επίσης, θα προστεθούν ένα θερμόμετρο, ένας μετρητής υγρασίας, μία θερμάστρα και ένας αεραγωγός, καθώς και ένας υγραντήρας/αφυγραντήρας για τη διατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Επιπρόσθετα, στη κορυφή της κατασκευής μας, πάνω από τη δεξαμενή με τα φυτά, θα τοποθετηθούν φώτα LED. Θα απέχουν 600mm – 1000mm από αυτά. Για τη τοποθέτηση πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαχυτικότητα του φωτός. Πρέπει όλα τα φυτά να λαμβάνουν ιδανικά την ίδια ποσότητα φωτός.

Όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα χρειάζεται, έμμεσα ή άμεσα, να συνδεθούν με τον μικροελεγκτή για τη διαχείριση πληροφοριών. Η συνδεσμολογία περιγράφεται, γενικώς, οπτικά στην εικόνα παρακάτω. Στον μικροελεγκτή θα φορτωθεί ο κώδικας που γράφτηκε για αυτό το σκοπό.

Στην εφαρμογή αργότερα θα πρέπει να τεθούν κάποιες αρχικές συνθήκες, όπως η συγχρότητα ύδρευσης, το πρόγραμμα της παροχής φωτός, τα επιθυμητά όρια για τις τιμές pH και EC, καθώς και την ανοχή αυτών των τιμών.



Βιβλιογραφία:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroponics>

<https://www.nal.usda.gov/farms-and-agricultural-production-systems/hydroponics#:~:text=Hydroponics%20is%20the%20technique%20of,%2C%20hobbyists%2C%20and%20commercial%20enterprises.>

https://www.youtube.com/watch?v=Yocja_N5s1I&ab_channel=CrashCourse

Khan Academy -

https://www.youtube.com/watch?v=JvBHWVpBCwM&ab_channel=KhanAcademy

National Geographic - <https://education.nationalgeographic.org/resource/development-agriculture/>

TED-Ed - https://www.youtube.com/watch?v=xFqecEtdGZ0&ab_channel=TED-Ed

Κάθετη αεροπονία

https://www.youtube.com/watch?v=pmNTcsNyqoc&t=62s&ab_channel=SpicyMoustache

<https://www.mdpi.com/2077-0472/12/5/646>

<https://www.mdpi.com/2077-0472/13/6/1191>

<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/19/5637>

https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=rwlMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=hydroponic+system+diy&ots=f8XiKlUx27&sig=w77b1mNIMJUOwhFRAEwyNMoUSr4&redir_esc=y#v=onepage&q=hydroponic%20system%20diy&f=false

<https://extension.umn.edu/how/small-scale-hydroponics#pots-and-substrate-2644461>

De Clercq, M.; Vats, A.; Biel, A. Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology. 2018. Available online: <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2021/apr/agriculture-4-0-the-future-of-farming-technology.pdf> (accessed on 20 January 2022).

Savvas, D.; Gianquinto, G.; Tuzel, Y.; Gruda, N. Soilless Culture. In FAO Plant Production and Protection Paper No. 217: Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops; FAO: Rome, Italy, 2013; Volume 217, pp. 303–354. [Google Scholar]

Savvas, D.; Gruda, N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *Eur. J. Hortic. Sci.* 2018, 83, 280–293. [Google Scholar] [CrossRef]

Tatas, K.; Al-Zoubi, A.; Antoniou, A.; Zolotareva, D. iPONICS: IoT Monitoring and Control for Hydroponics. In *Proceedings of the 2021 10th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, Thessaloniki, Greece, 5–7 July 2021; pp. 1–5. [Google Scholar] [CrossRef]

Fernandes, M.B.; Costa, B.A.; Lemos, J.M. Hydroponic Greenhouse Crop Optimization. In *Proceedings of the 2018 13th APCA International Conference on Control and Soft Computing (CONTROLO)*, Ponta Delgada, Portugal, 4–6 June 2018; pp. 270–275. [Google Scholar] [CrossRef]

United Nations for Food and Agriculture Organization (FAO). *How to Feed the World in 2050*. 2018. Available online: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf (accessed on 20 December 2021).

Dutta, M.; Gupta, D.; Sahu, S.; Limkar, S.; Singh, P.; Mishra, A.; Kumar, M.; Mutlu, R. Evaluation of Growth Responses of Lettuce and Energy Efficiency of the Substrate and Smart Hydroponics Cropping System. *Sensors* 2023, 23, 1875. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

NIDO ONE Hydroponic Controller System. Available online: <https://www.nidopro.com/en/prodotto/nido-one/> (accessed on 14 April 2023).

Niu, G.; Masabni, J. Chapter 9—Hydroponics. In *Plant Factory Basics, Applications and Advances*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 153–166. [Google Scholar] [CrossRef]

van Delden, S.H.; SharathKumar, M.; Butturini, M.; Graamans, L.J.A.; Heuvelink, E.; Kacira, M.; Kaiser, E.; Klamer, R.S.; Klerkx, L.; Kootstra, G.; et al. Current status and future

challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. *Nat. Food* 2021, 2, 944–956. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

Martin, M.; Molin, E. Environmental Assessment of an Urban Vertical Hydroponic Farming System in Sweden. *Sustainability* 2019, 11, 4124. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]

Kasturi, S.B.; Ellaji, C.H.; Ganesh, D.; Somasundaram, K.; Sreedhar, B. IoT and Machine Learning Approaches for Classification in Smart Farming. *J. Surv. Fish. Sci.* 2023, 10, 3373–3385. [Google Scholar]

Dhal, S.B.; Bagavathiannan, M.; Braga-Neto, U.; Kalafatis, S. Nutrient optimization for plant growth in Aquaponic irrigation using Machine Learning for small training datasets. *Artif. Intell. Agric.* 2022, 6, 68–76. [Google Scholar] [CrossRef]

Stevens, J.D.; Murray, D.; Diepeveen, D.; Toohey, D. Development and Testing of an IoT Spectroscopic Nutrient Monitoring System for Use in Micro Indoor Smart Hydroponics. *Horticulturae* 2023, 9, 185. [Google Scholar] [CrossRef]

AlShrouf, A. Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.* 2017, 27, 247–255. [Google Scholar]

Storey, A. Sizing a Pump for Hydroponics or Aquaponics. Available online: <https://university.upstartfarmers.com/blog/sizing-a-pump-hydroponics-aquaponics> (accessed on 5 July 2020).

Avgoustaki, D.D.; Xydis, G. Indoor Vertical Farming in the Urban Nexus Context: Business Growth and Resource Savings. *Sustainability* 2020, 12, 1965. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]

Markets & Markets. Hydroponics Market. 2021. Available online:
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydroponic-market-94055021.html>
(accessed on 8 January 2022).

Kaewwiset, T.; Yooyativong, T. Electrical Conductivity and pH Adjusting System for Hydroponics by using Linear Regression. In Proceedings of the 2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Phuket, Thailand, 27–30 June 2017; pp. 761–764. [Google Scholar] [CrossRef]

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα εξής ηλεκτρονικά εργαλεία:

<https://chatgpt.com/> - Τεχνητή νοημοσύνη για οργάνωση

Google Translate & Word Reference για την ακριβή μετάφραση πληροφοριών ορισμένων πηγών από ξένες γλώσσες στην ελληνική

Tinkercad για το σχεδιασμό του διαγράμματος συνδεσμολογίας του κυκλώματος.