



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ
υπό
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΤΣΙΓΑΡΙΔΑ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ
υπό
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΤΣΙΓΑΡΙΔΑ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2024

© 2024 Αλέξανδρος Τσιγαρίδας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Γεώργιος Σαχαρίδης Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
---------------------------------	---

Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
--------------------	---

Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Παντελής Δημήτριος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
------------------	---

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Σαχαρίδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο και κ. Παντελή Δημήτριο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΤΣΙΓΑΡΙΔΑΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2024

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Σαχαρίδης,
Αναπληρωτής Καθηγητής Επιχειρησιακής Έρευνας

Περίληψη

Οι προκλήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος με την πάροδο των χρόνων συνεχώς αυξάνονται. Η συσσώρευση αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα έχει επιπτώσεις και στους υδάτινους πόρους μέσω της βροχής. Η ανάγκη λοιπόν, για τον έλεγχο της ποιότητας του βρόχινου νερού είναι επιτακτική. Στην παρούσα διπλωματική κατασκευάζεται μια συσκευή ανάλυσης της ποιότητας του βρόχινου νερού. Ο σκοπός αυτής της συσκευής είναι ερευνητικός και αφορά την ανάλυση της ποιότητας του βρόχινου νερού παράλληλα με την ανάλυση της ποιότητας του αέρα. Για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση συσχετίσεων μεταξύ των αέριων ρύπων και της ποιότητας του νερού, η συσκευή κατασκευάστηκε ώστε να στέλνει δεδομένα ασύρματα και σε πραγματικό χρόνο. Η αποστολή και η αποθήκευση των δεδομένων από τις μετρήσεις, γίνεται στην πλατφόρμα Cloud που ονομάζεται ThinkSpeak. Η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει συσκευές για IoT σενάρια. Η παρακολούθηση των αποτελεσμάτων γίνεται σε πραγματικό χρόνο και με μορφή διαγραμμάτων. Τα δεδομένα που η συσκευή κατασκευάστηκε για να στέλνει, είναι οι παράμετροι ποιότητας της θερμοκρασίας, της θολότητας, του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η συσκευή μπορεί να λειτουργεί απομακρυσμένα, αλλά απαιτεί τη δυνατότητα σύνδεσης σε τοπικό δίκτυο WiFi.

Λέξεις-κλειδιά: Συσκευή ανάλυσης βρόχινου νερού, ζωντανή παρακολούθηση, IoT, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα, θολότητα, pH

RAINWATER QUALITY ANALYSIS SYSTEM

ALEXANDROS TSIGARIDAS

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2024

Supervisor: Dr George Saxaridis

Associate Professor of Operational Research

Abstract

The challenges for protecting the environment have increased over the years. The accumulation of air pollutants in the atmosphere also affects water resources through rainfall. The need to monitor and control rainwater quality is therefore imperative. In this thesis, a rainwater quality analysis device is constructed. The purpose of this device is research oriented and involves the analysis of rainwater quality along with the analysis of air quality. To identify and monitor correlations between air pollutants and water quality, the device is constructed to send data wirelessly and in real time. The data from the measurements is sent and stored on the cloud platform called ThinkSpeak. The platform is designed to support devices for IoT scenarios. The monitoring of the results is done in real time and in the form of charts. The data that the device is built to send is the quality parameters of temperature, turbidity, pH and electrical conductivity. The device can be operated remotely but requires the ability to connect to a local Wi-Fi network

Key words: rainwater quality analysis system, live monitoring, IoT, temperature, electrical conductivity, turbidity, pH

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Εισαγωγή για την ποιότητα του νερού	1
1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας	1
Κεφάλαιο 2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ.....	2
2.1 Φυσικές παράμετροι	2
2.2 Χημικές παράμετροι	5
2.3 Βιολογικές παράμετροι	6
Κεφάλαιο 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ.....	7
3.1 Συσκευή για την αξιολόγηση αλγορίθμου βαθμονόμησης	7
3.3 Συσκευή ανάλυσης του νερού σε πραγματικό χρόνο	11
3.3 Σύστημα για την αξιολόγηση κατασκευής αισθητήρων.....	15
3.3 Συσκευή για τη μέτρηση της ποιότητας του νερού	20
Κεφάλαιο 4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	25
4.1 Μικροελεγκτής... ..	25
4.2 Αισθητήρας θερμοκρασίας.....	26
4.3 Αισθητήρας θολότητας	28
4.4 Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	31
4.5 Αισθητήρας pH	33
Κεφάλαιο 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	37
5.1 Πείραμα για τη θερμοκρασία, τη θολότητα και το pH.....	37
5.2 Πείραμα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα	40
Κεφάλαιο 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	43
Βιβλιογραφία	46

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Αναλυτικά αποτελέσματα 1 ^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (1-35).....	48
Πίνακας 2: Αναλυτικά αποτελέσματα 1 ^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (36-54).....	49
Πίνακας 3: Αναλυτικά αποτελέσματα 2 ^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (1-34).....	50
Πίνακας 4: Αναλυτικά αποτελέσματα 2 ^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (34-69).....	51
Πίνακας 5: Αναλυτικά αποτελέσματα 2 ^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (69-91).....	52

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή για την ποιότητα του νερού

Πάνω από το 70% του πλανήτη αποτελείται από νερό γεγονός που τον κατέστησε κατάλληλο ώστε να αναπτυχθούν διάφορων ειδών οργανισμοί και οικοσυστήματα. Το νερό αποτελεί θεμελιώδες συστατικό αυτών των συστημάτων και η ποιότητα του επηρεάζει την καθημερινότητα των πολιτών αλλά και κάθε έμβιου οργανισμού στη Γη. Πολλοί είναι οι παράγοντες που διαφοροποιούν το νερό κατά τόπους, όπως για παράδειγμα η αυξημένη αλατότητα του νερού στη θάλασσα ή η αυξημένη οξύτητά του σε περιοχές με πετρώματα πλούσια σε ανθρακικό οξύ.

1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε τρεις ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαιο 2 - 6, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

- Στο Κεφάλαιο 2 αναλύουμε μερικές από τις πιο χρήσιμες παραμέτρους ανάλυσης της ποιότητας του νερού.
- Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζουμε μερικά συστήματα ανάλυσης νερού που βοηθούν στην κατανόηση και την κατασκευή της συσκευής βρόχινου νερού.
- Στο Κεφάλαιο 4 Κατασκευή του συστήματος μέτρησης βρόχινου νερού.
- Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε αριθμητικά αποτελέσματα για την λειτουργία της συσκευής.
- Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6.

Κεφάλαιο 2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η αυξανόμενη ανθρώπινη δραστηριότητα υποβαθμίζει σημαντικά την ποιότητα των υδάτων, λόγω των οικιακών, των βιομηχανικών και διάφορων άλλων δραστηριοτήτων. Επιπλέον, λόγω της ραγδαίας αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού, παράλληλα αυξάνονται και οι απαιτήσεις χρήσης και κατανάλωση του νερού. Διεθνείς οργανισμοί που αφορούν την προστασία της υγείας των πολιτών και του περιβάλλοντος έχουν εκφράσει τους προβληματισμούς τους, για τη ρύπανση των υδάτων, καθώς κινητοποιούνται για τη λήψη δραστικών μέτρων που θα προστατέψουν τους πολίτες και θα μειώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον.

Η ευρωπαϊκή ένωση έχει αποφασίσει από το 2000, μέσω του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου, την πολιτική διαχείρισης των υδάτων και περιγράφεται στην οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα Water Framework Directive (WFD)2000/60/EC που αναθεωρήθηκε το 2014. Με αυτό τον τρόπο επιχειρήθηκε να καθοριστεί ένα πλαίσιο για την προστασία όλων των υδάτινων πόρων, θέτοντας στόχους για την επίτευξη καλής ποιότητας υδάτων. Αυτή η οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα αφορά γενικές αρχές και γενικούς κανόνες σύμφωνα με τους οποίους τα κράτη μέλη θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν.

Η ποιότητα του νερού δεν είναι μετρήσιμο μέγεθος, αλλά συνήθως κατηγοριοποιείται σε ζώνες ποιότητας που καθορίζονται από τον κάθε οργανισμό που κάνει την εκάστοτε έρευνα ή έλεγχο. Επομένως, η αξιολόγηση της ποιότητας του νερού εμπίπτει στη χρήση για την οποία αυτό προορίζεται να έχει. Ως εκ τούτου έχουν γίνει προσπάθειες για την μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού ώστε να συγκριθούν κατά το δυνατό οι αναφορές μεταξύ δειγμάτων.

Οι δείκτες ποιότητας νερού WQI (Water Quality Index) διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο που μοντελοποιούνται. Η μοντελοποίηση γίνεται με συγκεκριμένη μεθοδολογία. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται σε τέσσερα βήματα, τα οποία είναι τα εξής:

1. Η επιλογή των παραμέτρων βάση των οποίων θα γίνει αξιολόγηση.
2. Δημιουργία των επί μέρους δεικτών που χαρακτηρίζουν βάση των επιλεγμένων παραμέτρων.
3. Καθορισμός των συντελεστών στάθμισης κάθε παραμέτρου για κάθε επιλεγμένη παράμετρο.
4. Συνάθροιση των επιμέρους δεικτών για τον υπολογισμό του συνολικού δείκτη ποιότητας νερού.

Ακόμα λοιπόν και ίδια να είναι η μεθοδολογία, οι δείκτες ποιότητας του νερού αλλάζουν βάση την οπτική αξιολόγησης. Οι μετρήσιμοι παράμετροι βάσει των οποίων μπορεί να αξιολογηθεί η ποιότητα του νερού είναι βιολογικοί, φυσικοί και χημικοί. Για την λειτουργία της συσκευής βρόχινου νερού επιλέχθηκε να μετρούνται η θερμοκρασία, το Ph, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η θολότητα του βρόχινου νερού. Παρόλα αυτά υπάρχουν και παράμετροι που θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμοι στη συσχέτιση της ποιότητας του αέρα με αυτή των όμβριων υδάτων.

2.1 Φυσικές παράμετροι

Θερμοκρασία: Η θερμοκρασία των ρευστών είναι μια κρίσιμη φυσική παράμετρος που επηρεάζει τη συμπεριφορά τους. Σε γενικές γραμμές, η θερμοκρασία ενός ρευστού είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κινητική ενέργεια των μορίων του. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, η κινητική ενέργεια των μορίων του ρευστού αυξάνεται επίσης. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας των μορίων και στην αύξηση της συνολικής κινητικής ενέργειας του ρευστού. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του βρόχινου νερού, στο ίδιο δείγμα, επηρεάζονται οι τιμές σε μερικές ιδιότητές του, όπως για παράδειγμα το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έτσι καθίσταται πολύ βασική παράμετρος για μέτρηση, αφού θα μπορεί να υπάρξει συσχέτιση με τις τιμές των άλλων παραμέτρων.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα: Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού είναι μια φυσική ιδιότητα και αναφέρεται στη δυνατότητά του νερού να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Το νερό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος, ωστόσο αυτό διαφέρει κατά περίπτωση. Η ηλεκτρική αγωγιμότητά του νερού εξαρτάται από την παρουσία διαλυμένων αλάτων ή στερεών καθώς και από το σύνολο των ιόντων που περιέχει το δείγμα. Η κινητικότητα των μορίων του δείγματος, δηλαδή η θερμοκρασία του, επηρεάζει την αγωγιμότητά του. Η μέτρηση της αγωγιμότητας μπορεί επομένως να συνδεθεί άμεσα με την καθαρότητα ενός δείγματος βρόχινου νερού, της θερμοκρασίας του, αλλά και του Ph του. Το απιονισμένο νερό δεν είναι καλός αγωγός του ρεύματος επειδή τα φορτισμένα ιόντα είναι ελάχιστα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού έχει σημαντικές εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως η υγεία (για τη δοκιμή της καθαρότητας του νερού), η βιομηχανία (σε διεργασίες όπως η επεξεργασία νερού), η γεωλογία (για τη μέτρηση της συγκέντρωσης αλάτων στα εδάφη σε συνάρτηση με αυτή των υδάτων. Επίσης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού είναι

σημαντική στη βιολογία, καθώς επηρεάζει τις βιολογικές και χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα υδάτινα περιβάλλοντα.

Θολότητα: Η θολότητα είναι και αυτή μια φυσική ιδιότητα του νερού η οποία μετρείται συνήθως σε NTU (Nephelometric Turbidity Units). Η θολότητα, είναι χαρακτηριστικό που ταυτίζεται με το κατά πόσο ένα δείγμα νερού απορροφά το φως που το διαπερνάει. Οι μικρές τιμές NTU αναφέρονται σε διαυγή δείγματα και αντίστοιχα όσο περισσότερες μονάδες NTU έχει ένα δείγμα τόσο μεγαλύτερη θολότητα έχει. Η αύξηση της θολότητας προκαλείται από σωματίδια όπως άμμος, λάσπη, άλατα, οργανικά υλικά και άλλες ουσίες. Οι προεκτάσεις της μη διαύγειας του βρόχινου νερού μπορεί να είναι καταστροφικές για υδάτινα οικοσυστήματα και υδρόβιους οργανισμούς. Για παράδειγμα, σε μια λίμνη αν αυξηθεί η θολότητα των υδάτων, μειώνεται το βάθος που φτάνει το ηλιακό φως και άρα μειώνονται και το υδρόβια φυτά που μπορούν να φωτοσυνθέσουν. Σαν αποτέλεσμα, μειώνεται το διαθέσιμο οξυγόνο που οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να καταναλώσουν.

TDS και TSS: Τα TDS (Total Dissolved Solids) και τα TSS (Total Suspended Solids) είναι τα συνολικά διαλυμένα στερεά και τα συνολικά αιωρούμενα στερεά, αντίστοιχα. Τα συνολικά διαλυμένα στερεά αναφέρονται στο σύνολο των διαλυμένων στερεών ουσιών σε ένα υγρό δείγμα. Αυτά τα μικρά σωματίδια που διαλύονται στο νερό και δεν μπορούν να φιλτραριστούν με συμβατικά φίλτρα είναι ομογενοποιημένα. Οι διαλυμένες ουσίες μπορεί να περιλαμβάνουν άλατα, ιόντα, οργανικές ενώσεις και άλλες χημικές ενώσεις. Τα TSS αναφέρονται στο σύνολο των στερεών σωματιδίων που είναι αιωρούμενα στο νερό και δεν έχουν διαλυθεί. Αυτά τα σωματίδια μπορεί να περιλαμβάνουν λάσπη, άμμο, φυτικά υπολείμματα και άλλα στερεά υλικά που αιωρούνται στο νερό. Οι μετρήσεις των TSS και των TDS εκφράζεται συνήθως σε μονάδες ppm (parts per million) ή mg/L (milligrams per liter). Τα TDS και TSS είναι σημαντικά για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού και την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Υψηλά επίπεδα TDS και TSS μπορεί να υποδεικνύουν ρύπανση ή άλλα προβλήματα που επηρεάζουν την υγεία του υδάτινου οικοσυστήματος και την ανθρώπινη χρήση του νερού. Η ύπαρξη τους στο δείγμα του νερού αυξάνει τη θολότητα του δείγματος, γεγονός το οποίο θα καθιστούσε δύο τέτοιους αισθητήρες πολύ χρήσιμους για τη συσκευή. Ωστόσο οι χαμηλού κόστους αισθητήρες δίνουν εύρη μετρήσεων και συνήθως με σφάλμα 10% γεγονός που δεν θα έκανε τη μέτρηση των TDS και TSS αξιόπιστη και ιδιαίτερα χρήσιμη αυτή τη χρονική στιγμή. Με την ανάπτυξη όμως της

τεχνολογίας τους και της ακρίβειάς τους θα ήταν απαραίτητη η προσθήκη τους και αρκετά χρήσιμα τα αποτελέσματα τους.

2.2 Χημικές παράμετροι

pH: Το pH είναι από τις βασικότερες χημικές παραμέτρους που αναφέρεται στην οξύτητα ή την αλκαλικότητα ενός ρευστού. Το pH μετρά τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (H^+) ή υδροξειδίου (OH^-) σε ένα ρευστό. Η κλίμακα pH κυμαίνεται από 0 έως 14. Τα ρευστά με pH μικρότερο του 7 είναι οξέα, ενώ αυτά με pH μεγαλύτερο του 7 είναι βάσεις. Ουδέτερο χαρακτηρίζεται ένα διάλυμα του οποίου το pH είναι ίσο με 7, σαν το απιονισμένο νερό. Το pH του ρευστού μπορεί να επηρεάσει τη διάλυση και την απορρόφηση ορισμένων ουσιών σε αυτό. Για παράδειγμα, ορισμένα χημικά είναι πιο διαλυτά σε όξινα περιβάλλοντα, ενώ άλλα είναι πιο διαλυτά σε βασικά. Επιπλέον, η αλλαγή του pH μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία βιολογικών συστημάτων, καθώς η πλειονότητα των ζώων και των φυτών είναι ευαίσθητα στις αλλαγές που αφορούν το pH. Είναι μια παράμετρος που από μόνη της παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του βρόχινου νερού, για παράδειγμα η οξίνιση της βροχής μπορεί να επηρεάσει το φύλλωμα ή τους κορμούς των δέντρων αλλοιώνοντας το περιβάλλον διαβίωσης των οργανισμών.

Διαλυμένο οξυγόνο: Υπάρχουν δύο κύριες πηγές που επηρεάζουν το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό, η ατμόσφαιρα και η φωτοσύνθεση. Το διαλυμένο οξυγόνο (DO) είναι μια μέτρηση που δείχνει την ποσότητα του οξυγόνου που διαλύεται στο νερό. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό είναι η θερμοκρασία του νερού, η πίεση και το αλάτι. Συνήθως, το κρύο νερό μπορεί να κρατήσει περισσότερο οξυγόνο από το θερμό νερό, ενώ η πίεση επίσης μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα του οξυγόνου να διαλυθεί στο νερό. Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου είναι σημαντική για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε υδροβιότοπους. Συνήθως μετριέται σε μονάδες όπως mg/L (milligrams per liter) ή ppm (parts per million). Για την συσκευή μέτρησης της ποιότητας νερού δεν μπορούσε να γίνει προσθήκη αισθητήρα μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου λόγω σημαντικά μεγάλου κόστους. Για τη συσχέτιση όμως της ποιότητας του αέρα με την ποιότητα του νερού, θα είναι μια πολύ σημαντική προσθήκη μελλοντικά στη συσκευή

Χλώριο: Το χλώριο προστίθεται στο νερό του συστήματος υδροδότησης και λειτουργεί ως απολυμαντικό από βακτήρια και μικροοργανισμούς, που είναι επιβλαβή για

την ανθρώπινη υγεία. Το χλώριο που έχει είδη απολυμάνει τμήμα του νερού, ονομάζεται δεσμευμένο και η αντισηπτική του ικανότητα μειώνεται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό. Το ελεύθερο χλώριο είναι αυτό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απολύμανση τη στιγμή της μέτρησης του δείγματος νερού. Η τιμή του είναι ενδεικτική για το βαθμό απολύμανσης του δείγματος νερού, αλλά από την άλλη υψηλές τιμές του έχουν επιβλαβές αποτέλεσμα για την υγεία των κατοίκων. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας συστήνει χρήση μεταξύ του εύρους (2-3)ppm στο πόσιμο νερό και (1.5-2)ppm σε πισίνες. Εξαρτάται και από τη θερμοκρασία αλλά και από το pH, σαν μέτρηση, σε ένα δείγμα νερού.

2.3 Βιολογικές παράμετροι

Βιολογικές παράμετροι: Τα βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού είναι εξίσου σημαντικά με τα φυσικοχημικά που προαναφέρθηκαν. Η υγεία των ανθρώπων εξαρτάται από την ύπαρξη ή όχι βακτηρίων, πρωτόζωων και άλλων βιολογικών δεικτών. Ωστόσο δεν υπάρχουν αρκετοί ανεπτυγμένοι μετρητές οι οποίοι εκτός εργαστηριακού περιβάλλοντος, να δίνουν επαρκή εικόνα για την κατάσταση δείγματος νερού. Το γεγονός αυτό καθιστά βιολογικές παραμέτρους δύσκολο να καταγραφούν σε πραγματικό χρόνο και να συνεισφέρουν στη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης συσκευής μέτρησης.

Κεφάλαιο 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Η αναλυτική μέτρηση της ποιότητας του νερού, είναι μια διαδικασία χρονοβόρα και αρκετά δαπανηρή, που απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό. Μέχρι και τις αρχές του αιώνα ο τρόπος ανάλυσης δειγμάτων νερού ήταν μέσω εργαστηριακών ελέγχων. Η διαδικασία αυτή, όπως αναφέρθηκε, εκτός από το ότι είναι χρονοβόρα και δαπανηρή, υστερεί στην αποτελεσματική αξιολόγηση μεταβαλλόμενων φαινομένων. Για παράδειγμα, η λήψη δειγμάτων από ένα ποταμό και η ανάλυσή τους σε κάποιο επαρκώς εξοπλισμένο εργαστήριο, δεν δύναται να βοηθήσει σε περίπτωση που μεσολαβήσει μια καταιγίδα ή πλημύρα στην περιοχή αυτή.

Τα τελευταία χρόνια όμως, γίνεται εκτεταμένη προσπάθεια και έρευνα για την κατασκευή αισθητήρων, μικροελεγκτών και διατάξεων. Στόχος είναι η βελτίωση της ταχύτητας, της αποτελεσματικότητας, της συχνότητας και του κόστους των μετρήσεων της ποιότητας του νερού αλλά και άλλων παραγόντων όπως για παράδειγμα του αέρα. Ο όρος internet of things (IoT) αναφέρεται σε δίκτυα φυσικών συσκευών με ενσωματωμένους αισθητήρες και λογισμικό με σκοπό την μεταξύ τους σύνδεση και ανταλλαγή δεδομένων μέσω του διαδικτύου. Επιπλέον, χαρακτηριστικά εγχειρημάτων IoT, εκτός από την συλλογή δεδομένων και την επεξεργασία τους είναι οι συσκευές να λειτουργούν αυτόνομα ή ακόμα καλύτερα να ελέγχονται από απόσταση.

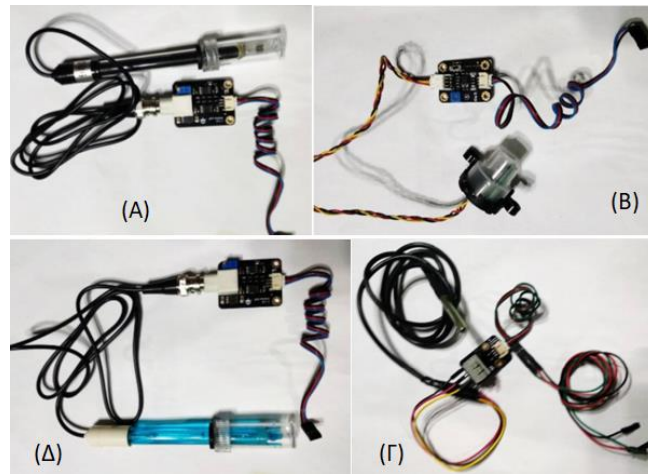
Οι προεκτάσεις τέτοιων εγχειρημάτων έχουν είδη αρχίσει να επηρεάζουν την καθημερινότητα των ανθρώπων. Για παράδειγμα η λειτουργία έξυπνων σπιτιών είναι μία αποτύπωση της προσπάθειας που γίνεται στον αυτοματισμό στην λήψη, την επεξεργασία και την αξιοποίηση δεδομένων. Επιπλέον, εκτός από την βελτίωση της καθημερινότητας των πολιτών τέτοιες προσπάθειες ανοίγουν νέους ορίζοντες για πεδία έρευνας και επιστήμης.

Στην ίδια κατεύθυνση με το στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία των εξής συστημάτων:

3.1 Συσσκευή για την αξιολόγηση αλγορίθμου βαθμονόμησης

Η συσκευή αυτή είναι ένα σύστημα αξιολόγησης της ποιότητας δειγμάτων νερού με βάση τις παραμέτρους του Ph, της θολότητας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας[1]. Η κατασκευή έγινε με σκοπό την αποτελεσματική μέτρηση αυτών των

στοιχείων, για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων που λαμβάνονται από τα αισθητήρια όργανα που την αποτελούν. Περιορισμός ήταν το χαμηλό κόστος της συσκευής.



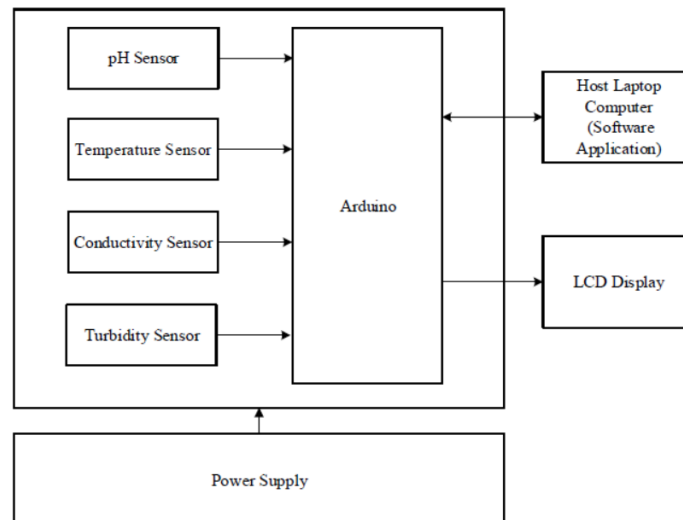
Εικόνα 1: (Α)αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας, (Β)αισθητήρας θολότητας, (Γ)αισθητήρας pH, (Δ)αισθητήρας θερμοκρασίας [1].

Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη των αισθητήρων, της οθόνης και για την αποστολή των δεδομένων είναι ο Mega 2560 Rev3 της Arduino, Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Arduino Mega 2560 Rev3 [1].

Η πλακέτα και ο υπολογιστής συνδέονταν με καλώδιο μέσω θύρας USB για την μεταφορά των δεδομένων που συλλέγονται. Ωστόσο, όπως φαίνεται και παρακάτω, Εικόνα 3, η πλακέτα τροφοδοτείται από εξωτερική συνεχούς πηγή τάσης. Οι αισθητήρες τοποθετούνται στις αναλογικές εισόδους της πλακέτας (μικροελεγκτής), ενώ στις ψηφιακές τοποθετείται μια οθόνη LSD στην οποία εμφανίζονται οι τιμές που καταγράφονται στον υπολογιστή προς επεξεργασία, εικόνα[3].



Εικόνα 3: Σχηματικό διάγραμμα [1].

Αρχικά, η διαδικασία επέβαλλε την τοποθέτηση του αισθητήρα στο νερό, με τρόπο που επιτρέπει τη μέτρηση του δείγματος από τα αισθητήρια όργανα του. Στη συνέχεια ο εμπορικός μετρητής τοποθετούνταν επίσης στο ίδιο δείγμα νερού. Οι αισθητήρες μετρούσαν παράλληλα την ίδια παράμετρο, από τις επιλεγμένες και καταγράφονταν οι τιμές τους. Έπειτα υπολογιζόταν το απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα μεταξύ των τιμών των δύο, αν το σφάλμα που πρόκυπτε ήταν μεγαλύτερο του πέντε τις εκατό ο αισθητήρας προς μέτρηση υποβάλλονταν εκ νέου σε βαθμονόμηση. Σε περίπτωση που το απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα ήταν μικρότερο του πέντε τοις εκατό η διαδικασία επαναλαμβανόταν για αισθητήρα άλλης παραμέτρου. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώθηκε όταν το σύνολο των αισθητήρων υποβλήθηκε την διαδικασία της βαθμονόμησης.

Μετά από αυτό το στάδιο, για να αξιολογηθεί η επίδραση της διαδικασίας βαθμονόμησης στην συνολική ακρίβεια της συσκευής, έγινε λήψη τεσσάρων δειγμάτων όπως φαίνεται στην Εικόνα[4], ενώ παράλληλα μετρούσαν και οι εμπορικοί μετρητές.



Εικόνα 4: Δείγματα διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων [1].

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν για τις τέσσερις παραμέτρους των τεσσάρων αυτών διαλυμάτων συγκρίθηκαν για την συνολική αξιολόγηση της ακρίβειας της συσκευής. Τα δείγματα από αριστερά προς το δεξιό όπως φαίνεται και στην Εικόνα[4] είναι (Α) διάλυμα με αλάτι, (Β) διάλυμα με κρέμα γάλακτος, (Γ) διάλυμα με μαγειρική σόδα, (Δ) νερό ποταμού. Δεν αναφέρεται η περιεκτικότητα κάθε στοιχείου για τη διαμόρφωση των διαλυμάτων, καθώς δεν αναφέρεται ούτε το δείγμα με το νερό ποταμού από που λήφθηκε. Ωστόσο, λόγω του ότι οι μετρήσεις γίνονται ταυτόχρονα και με τους αντίστοιχους μετρητές του εμπορίου δύναται να γίνει αξιόπιστη αξιολόγηση της ακρίβειας. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε εργαστήριο του πανεπιστημίου της Μαρυα.

CALIBRATION OF PH SENSOR		
Sample	Meter	Prototype
A	9.728	9.61
B	10.14	10.316
C	12.334	12.504
D	10.35	10.568

Εικόνα 5: Αποτελέσματα μετρήσεων για το pH των τεσσάρων δειγμάτων που ελέγχθηκαν [1].

Το ελάχιστο επί τοις εκατό σχετικό σφάλμα στη μέτρηση του δείγματος (Α) είναι στο 1,21% και μέγιστο στο 2,1% στο δείγμα (Δ).

CALIBRATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY SENSOR		
Sample	Meter (in mS/cm)	Prototype (in mS/cm)
A	11.102	11.33
B	4.136	3.982
C	10.987	10.734
D	72.54	74.22

Εικόνα 6: Αποτελέσματα μετρήσεων για την ηλεκτρική αγωγιμότητα των τεσσάρων δειγμάτων που ελέγχθηκαν [1].

Το ελάχιστο επί τοις εκατό σχετικό σφάλμα στη μέτρηση του δείγματος (Α) να είναι στο 2,05% και μέγιστο στο 3,723% στο δείγμα (Β).

CALIBRATION OF TEMPERATURE SENSOR		
Sample	Meter (in °C)	Prototype (in °C)
A	26.2	26.2
B	26.1	26.1
C	25.5	25.5
D	25.4	25.4

Εικόνα 7: Αποτελέσματα μετρήσεων για την θερμοκρασία των τεσσάρων δειγμάτων [1].

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την θερμοκρασία είχαν εξαιρετική ακρίβεια και στα τέσσερα δείγματα, με σχετικό σφάλμα 0% σε όλες τις μετρήσεις. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι ο αισθητήρας για θερμοκρασίες περιβάλλοντος τουλάχιστον είναι ιδιαίτερα αξιόπιστος στις μετρήσεις των τεσσάρων δειγμάτων.

CALIBRATION OF TURBIDITY SENSOR		
Sample	Meter (in NTU)	Prototype (in NTU)
A	1.766	1.696
B	192.8	186.6
C	1.424	1.382
D	74.8	72.2

Εικόνα 8: Αποτελέσματα μετρήσεων για την θολότητα των τεσσάρων δειγμάτων.

Για τον αισθητήρα της θολότητας βλέπουμε ότι το ελάχιστο επί τοις εκατό σχετικό σφάλμα είναι 2,949% στο δείγμα (Γ) ενώ το μέγιστο 3,964% στο δείγμα (Α). Το γεγονός ότι ο αισθητήρας θολότητα έχει τη μεγαλύτερη απόκλιση στις μετρήσεις μειώνει σημαντικά την συνολικά ακρίβεια της συσκευής που ωστόσο, δεν ξεπερνάει το όριο του σχετικού σφάλματος 5% που έχει οριστεί ως ικανοποιητικό στη διαδικασία βαθμονόμησης. Συμπερασματικά, παρουσιάζεται η σημασία της ακρίβειας των αισθητήρων για αξιόπιστες μετρήσεις που παρέχουν την εξαγωγή χρήσιμων δεδομένων. Επιπλέον τονίζεται η σημασία της βαθμονόμησης σε αυτό το εγχείρημα και αναπτύσσεται μια διαδικασία ούτως ώστε η συσκευή να είναι αποτελεσματικότερη στις μετρήσεις της [1].

3.2 Συσκευή ανάλυσης του νερού σε πραγματικό χρόνο

Η συσκευή αυτή των J. Ijaradar και S. Chatterjee, έγινε για την παρακολούθηση του πόσιμου νερού μεγάλων αστικών περιοχών με τη διαφορά ότι οι μετρήσεις παρουσιάζονται σε πραγματικό χρόνο. Σκοπός αυτού του εγχειρήματος ήταν η δυνατότητα για τον εντοπισμό προβλημάτων και την άμεση παρέμβαση, από τις αρμόδιες αρχές, σε δεξαμενές αποθήκευσης πόσιμου νερού. Η επιλογή των παραμέτρων του νερού επομένως, έγινε με βάση την καταλληλότητά του προς πόση και οικιακή κατανάλωση. Οι παράμετροι λοιπόν που επιλέχθηκαν είναι το pH, η θερμοκρασία και η θολότητα.

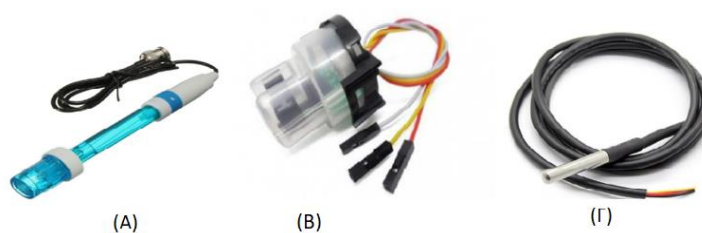
Η πλακέτα μικροεπεξεργαστή που επιλέχθηκε ήταν η Raspberry Pi 3 Model B που χρησιμοποιεί τον μικροεπεξεργαστή BCM2837 που είναι ένας 64-bit τετραπύρηνος επεξεργαστής με συχνότητα λειτουργίας στα 1,2 (GHz). Η κάρτα διαθέτει τη δυνατότητα

σύνδεσης μέσω Wi-Fi σε τοπικό δίκτυο LAN (Local Area Network). Επιπλέον, διαθέτει μια τεχνολογία Bluetooth Low Energy (BLE) που καταναλώνει πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με της παραδοσιακές συνδέσεις Bluetooth. Τέλος προσφέρει αρκετή υπολογιστική δύναμη, που σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που προσφέρει σχετικά με τη συνδεσιμότητά της, την καθιστούν πολύ καλή για εφαρμογές IoT.



Εικόνα 9: Μικροελεγκτής Raspberry Pi 3 Model B [2].

Ο αισθητήρας του pH μετράει μέσω, ευαίσθητων στις αλλαγές του pH, γυάλινων ηλεκτροδίων που η ακρίβεια τους είναι αποδεκτή για την εφαρμογή και τη δοκιμή της. Ο αισθητήρας θολότητας μετράει τη διαύγεια του δείγματος μέσω της ποσότητας φωτός που μπορεί να διέλθει από τον πομπό του φωτός στον δέκτη, ενώ ενδιάμεσα παρεμβάλλεται το δείγμα. Ο αισθητήρας θερμότητας είναι ένας ημιαγωγικός αισθητήρας με πολύ καλή ακρίβεια [2].



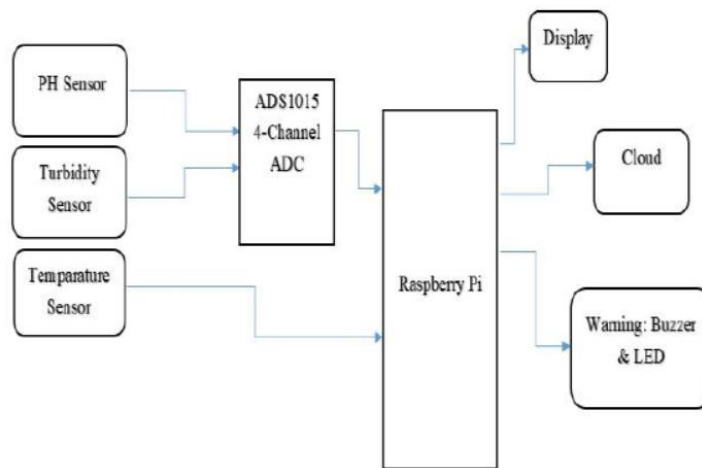
Εικόνα 10: αισθητήρας (Α) pH, (Β) θολότητας, (Γ) θερμοκρασίας [2].

Μεταξύ της σύνδεσης των αισθητήρων pH και θολότητας με την πλακέτα του μικροεπεξεργαστή, μεσολαβεί ένας μετατροπέας (ADC) από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα. Έχει τη δυνατότητα υποστήριξης τεσσάρων εισόδων καναλιών που μπορούν να λειτουργήσουν ως απλές ή διαφορικές, γεγονός που διευκολύνει πολύ τη συνδεσμολογία και τη μεταφορά δεδομένων των ελεγκτών στην πλακέτα.



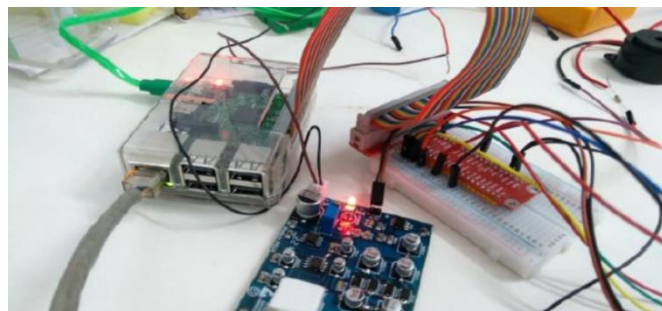
Εικόνα 11: Αναλογικός-ψηφιακός μετατροπέας Adafruit ADS1015 ADC [2].

Συνολικά η συνδεσμολογία και η διάταξη των αισθητήρων, της πλακέτας, του μετατροπέα, της οθόνης, του υπολογιστή και του buzzer που θα χτυπάει σε περίπτωση που οι τιμές των παραμέτρων βγαίνουν εκτός επιλεγμένων ορίων, φαίνονται στην Εικόνα[12].



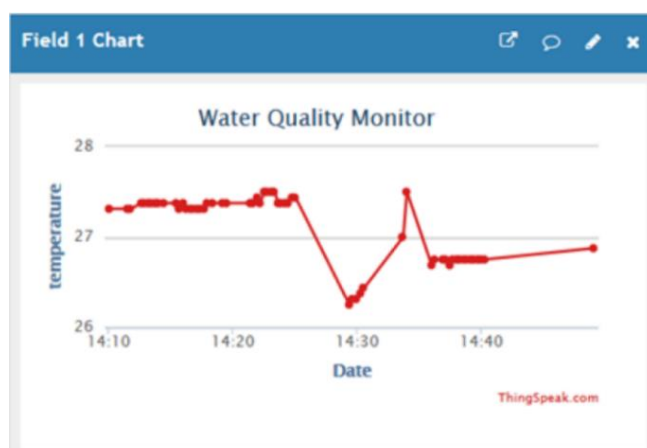
Εικόνα 12: Σχηματικό διάγραμμα συνδεσμολογίας [2].

Για τη συνδεσμολογία χρησιμοποιήθηκε και μία επιπλέον GPIO Extension Board, που είναι μια προσθήκη που χρησιμοποιείται συνήθως με την Raspberry Pi, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με άλλους μικροελεγκτές. Προσφέρει ευκολία στη σύνδεση και το προγραμματισμό των πολυάριθμων GPIO της συσκευής. Συνήθως, περιλαμβάνει αντιστάσεις και διακόπτες που βοηθούν στη ασφαλή σύνδεση των αισθητήρων.



Εικόνα 13: Φωτογραφία για τη συνδεσμολογία του συστήματος [2].

Τα δεδομένα που συλλέγονται στάλθηκαν στο ThinkSpeak μια πλατφόρμα για την συλλογή και την απεικόνιση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με τη μορφή διαγραμμάτων και αποθήκευσης των δεδομένων σε csv αρχεία για την υποστήριξη συσκευών IoT. Για την τελική αξιολόγηση της συσκευής πάρθηκαν μετρήσεις σε τρία δείγματα. Ένα δείγμα νερού, ένα δείγμα νερού με διαλύτες και ένα δείγμα που χαρακτηρίζεται από τους συγγραφείς ως βρώμικο νερό. Ωστόσο, δεν γίνεται αναφορά στις περιεκτικότητες των διαλυμάτων αυτών, με τους διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπλέον δεν γνωστοποιείται ο ρυθμός με τον οποίο τα δεδομένα ανανεώνονται, για να μπορούμε έστω να υποθέσουμε ποια πειραματική διαδικασία μπορεί να έχει γίνει και με ποια σειρά έγινε ο έλεγχος των δειγμάτων. Παράδειγμα της οπτικοποίησης των δεδομένων φαίνεται στην Εικόνα 14. Οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών ποιότητας έγιναν ταυτόχρονα, αλλά η οπτικοποίηση των δεδομένων έγινε σε διαφορετικά διαγράμματα, γεγονός που διευκολύνει την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.



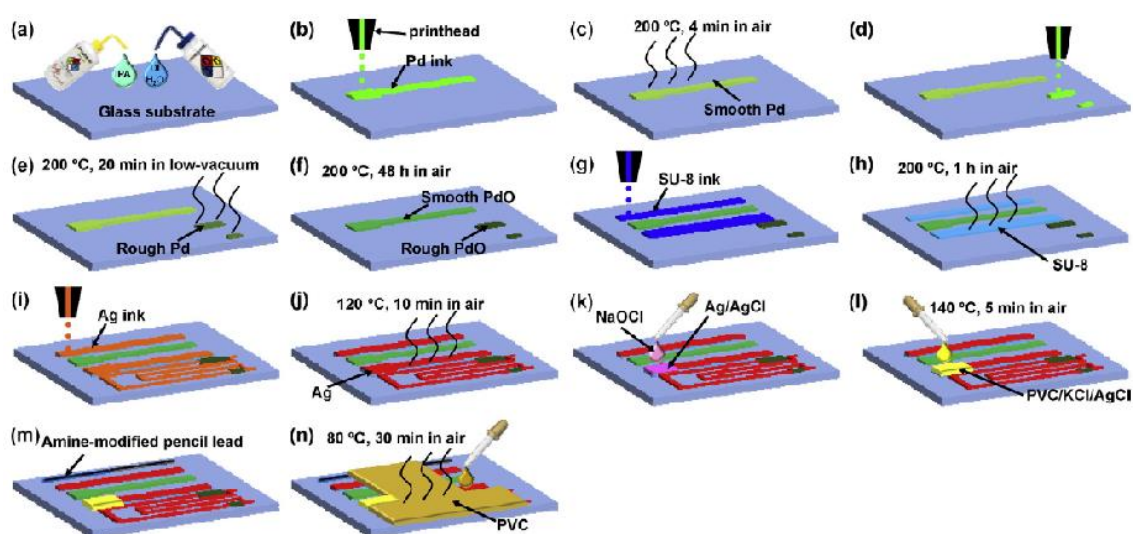
Εικόνα 14: Ενδεικτικό διάγραμμα της πλατφόρμας ThinkSpeak [2].

Στο διάγραμμα (Εικόνα 14) παρουσιάζεται το πως οπτικοποιούνται τα δεδομένα της παρούσας εργασίας για την θερμοκρασία. Από τους συγγραφείς δόθηκαν και τα αποτελέσματα των δεδομένων της θολότητας και του pH. Ωστόσο δεν παρουσιάζονται αφού οι διακυμάνσεις τους δεν μπορούν να επαληθευτούν από δεδομένα της πειραματικής διαδικασίας. Για παράδειγμα, αν ήταν γνωστό από την κοινοποίηση της πειραματικής διαδικασίας, ότι οι αναφερόμενοι διαλύτες έπεσαν στο αρχικό δείγμα νερού την ώρα της πρώτης και της δεύτερης πτώσης της θερμοκρασίας, θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι οι διαλύτες προκαλούν ενδεχομένως κάποια ενδόθερμη αντίδραση.

3.3 Σύστημα για την αξιολόγηση κατασκευής αισθητήρων

Η συγκεκριμένη δουλειά από ομάδα διδακτορικών, έγινε με σκοπό την μέτρηση του ελεύθερου χλωρίου. Όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα, το χλώριο χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού. Το ελεύθερο χλώριο είναι το εναπομείναν χλώριο διαθέσιμο για την απολύμανση του νερού, ενώ το δεσμευμένο είναι αυτό που έχει είδη αντιδράσει και έχει πολύ μικρή επιπλέον αντισηπτική ικανότητα. Το ελεύθερο χλώριο αναφέρεται ότι είναι το άθροισμα του υποχλωριώδους οξέος (HOCl) και του υποχλωριώδους ανιόντος (OCl^-).

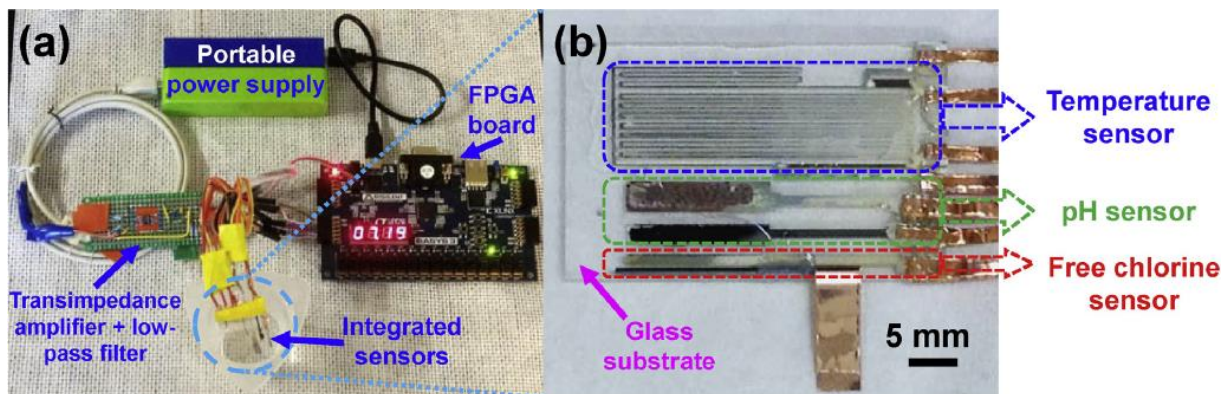
Για τον σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν αισθητήρες pH, θερμοκρασίας και ελεύθερου χλωρίου πάνω σε κοινό γυαλί. Επιπλέον, οι αισθητήρες μετά την κατασκευή τους συνδέθηκαν σε έναν μικροεπεξεργαστή FPGA ο οποίος προγραμματίστηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Verilog. Με βάση της χημικές αντιδράσεις των ηλεκτροδίων των αισθητήρων, των τιμών εξόδου τους, αλλά και των συσχετίσεων μεταξύ αυτών, που έγιναν μέσω του προγραμματισμού της πλακέτας, προέκυψαν οι τελικές τιμές των παραμέτρων. Οι τιμές αυτές εμφανίζονταν σε οθόνη ενσωματωμένη στην πλακέτα του μικροεπεξεργαστή.



Εικόνα 15: Στυλιζαρισμένη απεικόνιση των σταδίων κατασκευής των αισθητήριων οργάνων [3].

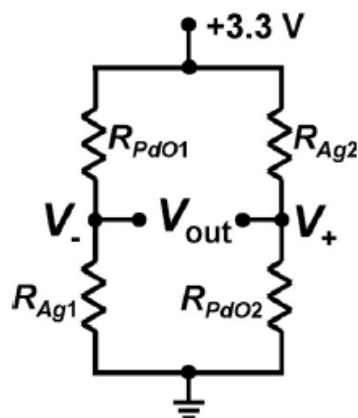
Αρχικά η κατασκευή των αισθητήρων pH, θερμοκρασίας και ελεύθερου χλωρίου έγινε, όπως προαναφέρθηκε, πάνω σε γυάλινο υπόστρωμα το οποίο καθαρίστηκε με ισοπροπυλική αλκοόλη (IPA) και απιονισμένο νερό (μη ιοντισμένο). Στη συνέχεια για την κατασκευή του αισθητήριου οργάνου του pH πραγματοποιήθηκε εκτύπωση «inkjet» με μελάνι παλλαδίου αραιωμένο με 20% κατά βάρος με τολουόλιο. Έπειτα, μέσω θερμής

πλάκας στους 200°C για τέσσερα λεπτά πραγματοποιήθηκε θερμόλυση σε αέρα για τον μετασχηματισμό του φιλμ παλλαδίου σε πιο λείο. Για το αισθητήριο όργανο της θερμοκρασίας τυπώθηκε με τον ίδιο τρόπο (inkjet) εκ νέου μελάνι παλλαδίου και ξανά πραγματοποιήθηκε θερμόλυση στους 200 °C για 20 λεπτά, αυτή τη φορά, σε συνθήκες χαμηλής πίεσης, διαμορφώνοντας μια πιο τραχιά επιφάνεια στο φιλμ παλλαδίου. Η λειτουργία του αισθητήρα θερμότητας βασίζεται στην αρχή της γέφυρας Wheatstone με την δημιουργία θερμίστορ με αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας. Στη συνέχεια, τα δύο διαμορφωμένα φιλμ οξειδώθηκαν στους 200 °C για 48 ώρες ούτως ώστε, να εμπλουτιστούν σε οξείδια του παλλαδίου, σε συνθήκες αέρα. Επόμενο βήμα της κατασκευαστικής διαδικασίας, ήταν το τύπωμα SU-8 αραιωμένο με PGMEA στο γυάλινο υπόστρωμα. Ακολούθησε σκλήρυνση του μελανιού στους 200 °C για μία ώρα, για την αύξηση της πρόσφυσης του μελανιού. Έπειτα τυπώθηκε (inkjet) μελάνι με νάνο σωματίδια ασημιού (AgNP) για το σχηματισμό του ηλεκτροδίου αναφοράς του αισθητήρα του pH και στο γυάλινο υπόστρωμα για τη δημιουργία θερμίστορ στον αισθητήρα θερμότητας με θετική σταθερά θερμότητας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε πυροσυσσώματωση στους 120 °C για 10 λεπτά σε συνθήκες αέρα. Για την ολοκλήρωση του ηλεκτροδίου αναφοράς του αισθητήρα για το pH, με σταγονοθεσία τοποθετείται υποχλωριώδες νάτριο 0,4% κατά βάρος, σε τμήμα του τυπωμένου ασημιού δημιουργώντας μια επιφάνεια με ασήμι και χλωριούχο ασήμι (Ag/AgCl). Έπειτα από 30 δευτερόλεπτα ξεπλύθηκε το υποχλωριώδες νάτριο με απιονισμένο νερό. Συνθετικό πολυμερές PVC συγκέντρωσης 2% κατά βάρος διαλύθηκε σε χλωριούχο κάλιο (KCl) και σε κορεσμένο μείγμα χλωριούχου ασημιού (AgCl) και κυκλοεξανόνης το οποίο με σταγονοθεσία επικάλυψε την επιφάνεια του ηλεκτροδίου στην επιφάνεια που προηγουμένως δημιουργήθηκε. Τέλος, θερμαίνεται στους 140 °C για πέντε λεπτά για να σχηματιστεί ένα στερεό ηλεκτρολυτικό στρώμα. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς του αισθητήρα για τη μέτρηση του ελεύθερου χλωρίου δημιουργήθηκε από ηλεκτροχημική μετατροπή μολύβδινης επιφάνειας. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετήθηκε στο γυάλινο υπόστρωμα. Δημιουργήθηκε διάλυμα 2% κατά βάρος, πολυμερούς PVC σε κυκλοεξανόνη που επικάλυψε τον αισθητήρα θερμοκρασίας και της ηλεκτρικές συνδέσεις των αισθητήρων του pH και του ελεύθερου χλωρίου και ξηράθηκε στους 80 °C για 30 λεπτά. Για τη χρήση των αισθητήρων έγινε conditioning με διάλυμα χλωριούχου καλίου (KCl) για 12 ώρες. Η τελική μορφή της συνολικής συνδεσμολογίας και των αισθητήρων παρουσιάζεται στην Εικόνα 16.



Εικόνα 16: Στο αριστερό τμήμα της φωτογραφίας είναι η διάταξη, στο δεξί είναι οι κατασκευασμένοι αισθητήρες [3].

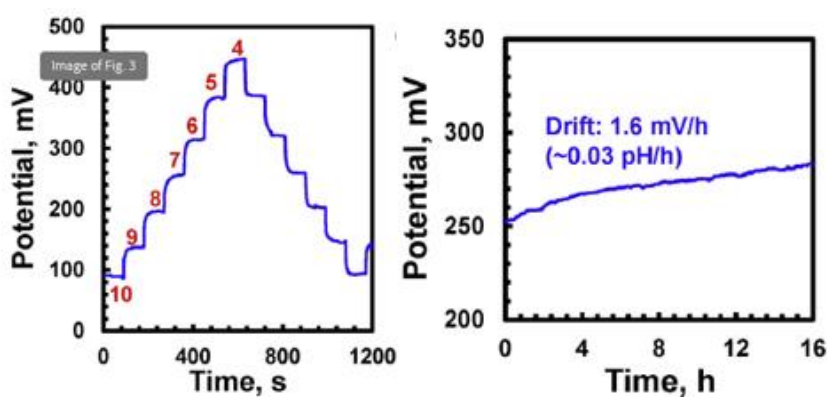
Η τάση πόλωσης του αισθητήρα θερμότητας ήταν 3,3 (V) από φορητή πηγή τάσης που τροφοδοτούσε έναν ενισχυτή και ταυτόχρονα μετατροπέα της εξόδου του αισθητήρα ελεύθερου χλωρίου από τιμή ρεύματος σε τάσης, καθώς και την πλακέτα FPGA.



Εικόνα 17: Κυκλωματική διάταξη των θερμίστορ του αισθητήρα pH [3].

Τα θερμίστορ παλλαδίου είναι με αρνητική σταθερά θερμότητας δηλαδή η αντίσταση μικραίνει με την αύξηση της θερμοκρασίας ενώ, τα θερμίστορ ασημιού έχουν θετική σταθερά θερμότητας. Η αξιολόγηση του αισθητήρα του pH, έγινε με διαλύματα που παρασκευάστηκαν και μετρήθηκαν με εμπορικό μετρητή για την επιβεβαίωση της τιμής του κάθε διαλύματος. Τα διαλύματα βαθμονόμησης είχαν τιμές pH ίσες με 4,5,6,7,8,9 και 10. Ο αισθητήρας μεταξύ των μετρήσεων των διαλυμάτων δεν καθαριζόταν, ούτε σκουπιζόταν. Η τιμή της τάσης εξόδου καταγραφόταν κάθε δύο δευτερόλεπτα και συνολικά η μέτρηση του κάθε διαλύματος διαρκούσε 90 δευτερόλεπτα. Οι καμπύλες της χρονικής απόκρισης και

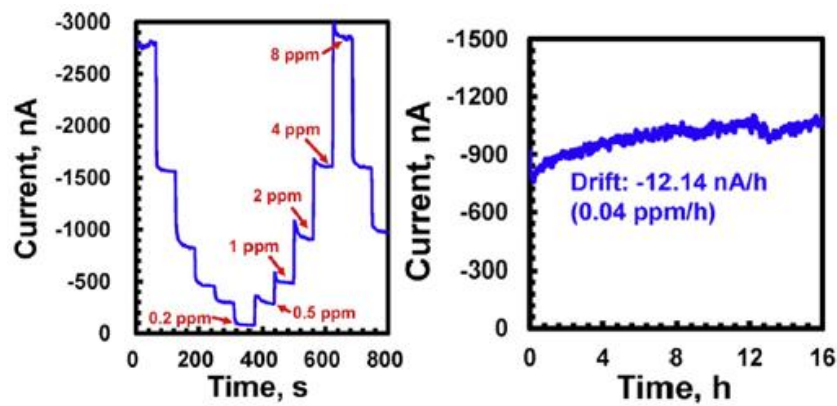
ολίσθησης με το χρόνο έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και παρουσιάζονται στην Εικόνα 18. Φαίνεται πως τα 90 δευτερόλεπτα είναι αρκετά για την σταθεροποίηση των τιμών του pH. Η εναλλαγή όμως γίνεται για την ελάχιστη δυνατή διαφορά μεταξύ των διαλυμάτων και έτσι δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για την ακριβή ταχύτητα απόκρισης. Παρόλα αυτά, πολλές εφαρμογές δεν απαιτούν τη μέτρηση μεγάλου εύρους τιμών και συνήθως περιορίζοντας τα εύρη των τιμών λειτουργίας και ανίχνευσης, δύναται να αυξηθεί η ταχύτητα απόκρισης και η ακρίβεια. Ο αισθητήρας προορίζεται για μετρήσεις παροχής νερού οικιακής χρήσης, ωστόσο η απόκρισή του αξιολογείται και με διαλύματα μεγαλύτερου εύρους pH από το επιτρεπτό για οικιακή χρήση.



Εικόνα 18: Αριστερά είναι το διάγραμμα της τάσης εξόδου με το χρόνο για το pH, αριστερά το διάγραμμα για την εκτίμηση της ολίσθησης [3].

Επίσης, σημαντικό είναι το διάγραμμα ολίσθησης, δηλαδή το κατά πόσο μεταβάλλονται η μετρήσεις εξόδου σε (mV) σε σχέση με την ώρα λειτουργίας του αισθητήρα. Οι μετρήσεις πάρθηκαν για διάλυμα συγκέντρωσης 1(M) χλωριούχου καλίου (KCl) στο σκοτάδι. Ο συγκεκριμένος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 19, ολισθαίνει κατά 1,6 (mV/h) που αντιστοιχεί σε 0,03 μονάδες pH ανά ώρα. Σε δεκαέξι ώρες δηλαδή λειτουργίας, υπό τις επιβαλλόμενες συνθήκες, θα έχει απόκλιση μισής μονάδας, στις μετρήσεις του για το pH.

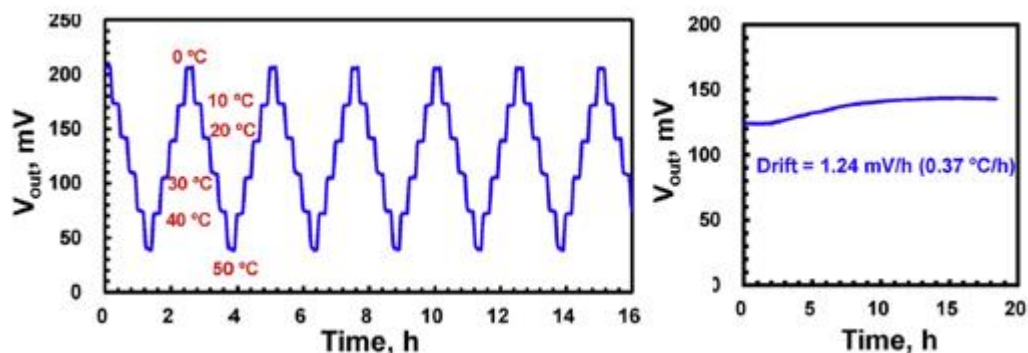
Ο αισθητήρας ελεύθερου χλωρίου υποβλήθηκε σε θερμοκρασίες 3 °C, 15 °C, 27 °C και 40 °C για την συσχέτιση της τάσης εξόδου του με τη θερμοκρασία σε συγκεκριμένο διάλυμα. Φάνηκε ότι οι μετρήσεις έχουν γραμμική σχέση με τη θερμοκρασία. Επιπλέον, απεικονίστηκε η απόκριση του αισθητήρα με διαλύματα εύρους από 0,2 (ppm) έως τα 8 (ppm) αλλά και η ολίσθησή του σε διάλυμα 2 (ppm) ελεύθερου χλωρίου στο σκοτάδι Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Αριστερά είναι το διάγραμμα του ρεύματος εξόδου με το χρόνο για το ελεύθερο χλώριο, αριστερά το διάγραμμα για την εκτίμηση της ολίσθησης [3].

Στο διάγραμμα της απόκρισης βλέπουμε τη διαδικασία που ακολουθήθηκε από τη μέτρηση των 8 (ppm) έως τα 0,2 (ppm). Η απόκριση του αισθητήρα ελεύθερου χλωρίου είναι 30 (s). Ωστόσο, στο τμήμα όπου η περιεκτικότητα μειώνεται η απόκριση φαίνεται να είναι ομαλή, ενώ στο τμήμα της διαδικασίας που η περιεκτικότητα αυξάνεται παρουσιάζεται μια υπερύψωση. Στο διάγραμμα της ολίσθησης φαίνεται ότι σε διάρκεια 16 ωρών υπό τις επιβαλλόμενες συνθήκες ο αισθητήρας αποκλίνει περίπου κατά 0,6 (ppm) από την αρχική περιεκτικότητα του ελεύθερου χλωρίου. Επίσης πάλι παρουσιάζεται έντονη διακύμανση στην καμπύλη ολίσθησης.

Η αξιολόγηση της απόκρισης του αισθητήρα θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε από τους 0 °C έως τους 50 °C σε νερό. Το διάγραμμα απόκρισης και ολίσθησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 20. Για την παρακολούθηση της ολίσθησης ο αισθητήρας έμεινε στους 25 °C στο σκοτάδι.



Εικόνα 10: Αριστερά είναι το διάγραμμα της τάσης εξόδου με το χρόνο για τη θερμοκρασία, αριστερά το διάγραμμα για την εκτίμηση της ολίσθησης [3].

Παρατηρήθηκε από τους κατασκευαστές, ότι η ευαισθησία του αισθητήρα είναι μειωμένη σε σχέση με την αναμενόμενη. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στην παρατήρηση ότι η διαστολή ή συστολή των αντιστάσεων (θερμίστορ) είναι ανομοιογενής με την αντίστοιχη του πολυμερούς PVC που τις επικάλυψε. Για το διάγραμμα της ολίσθησης παρατηρήθηκε ότι, της δέκα πρώτες ώρες της διεξαγωγής του πειράματος η ολίσθηση είναι 0,37 °C ανά ώρα. Αυτό αποδόθηκε στην ενδεχόμενη απορρόφηση του νερού από το πολυμερές PVC. Αυτό είχε σαν επίπτωση την καταπόνησης των θερμίστορ και την αλλαγή στις μετρήσεις. Η σταθεροποίηση στη συνέχεια της ολίσθησης αποδόθηκε στην αποκατάσταση ισορροπίας στη διάχυση του νερού μέσω του πολυμερούς PVC. Για την αποφυγή των μεταβολών αυτών προτείνουν το παρυλένιο-C ή το υγροκρυσταλλικό πολυμερές που έχουν μικρότερο ρυθμό διάχυσης στο νερό.

Καταληκτικά, η δημιουργία των αισθητήρων αυτών έγινε με γνώμονα τη δημιουργία αισθητήρων μετρήσεων ακριβείας με χαμηλό κόστος και ευκολία στην ένταξη τους σε σύστημα παρακολούθησης του νερού. Ιδιαίτερα εντυπωσιακό είναι το γεγονός ότι μπορούν να μετρηθούν τρεις παράμετροι ποιότητας, με εκτύπωση ηλεκτροδίων πάνω σε ένα κοινό γυάλινο υπόστρωμα. Ωστόσο η διάρκεια λειτουργίας τους δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη σε σχέση με τους αντίστοιχους αισθητήρες του εμπορίου.

Η σημασία της ανάπτυξη αισθητήρων με γρήγορη απόκριση, ακρίβεια στις μετρήσεις, ανθεκτικότητα και χαμηλό κόστος, είναι βαρύνουσας σημασίας για την ανάπτυξη συστημάτων μέτρησης του νερού σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, αυτό θα βοηθήσει στην ανάπτυξη συστημάτων που μπορούν να ανταποκριθούν σε πιο απαιτητικές εφαρμογές [3].

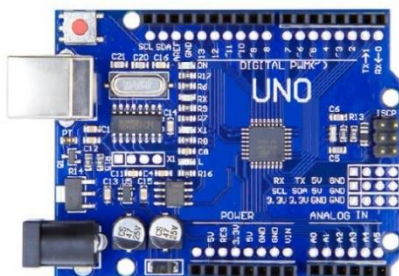
3.4 Συσκευή για τη μέτρηση της ποιότητας νερού

Η συσκευή αυτή έγινε με σκοπό τη μέτρηση δειγμάτων νερού, μέσω μιας συσκευής χαμηλού κόστους, ακρίβειας, αλλά και που θα μπορεί να μεταφέρεται εύκολα. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε να γίνει μελέτη του pH, της θερμοκρασίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της θολότητας με τους αισθητήρες, Εικόνα 21.



Εικόνα 11: Αισθητήρας (Α) θερμοκρασίας, (Β) θολότητας, (Γ) ηλεκτρικής αγωγιμότητας, (Δ) pH που χρησιμοποιήθηκαν [4].

Η πλακέτα που χρησιμοποιήθηκε είναι η Arduino uno R3 (εικόνα22), λόγω του χαμηλού της κόστους σε συνάρτηση με τις χαμηλές απαιτήσεις σε απόδοση που απαιτούνται για τη λειτουργικότητα της συσκευής.

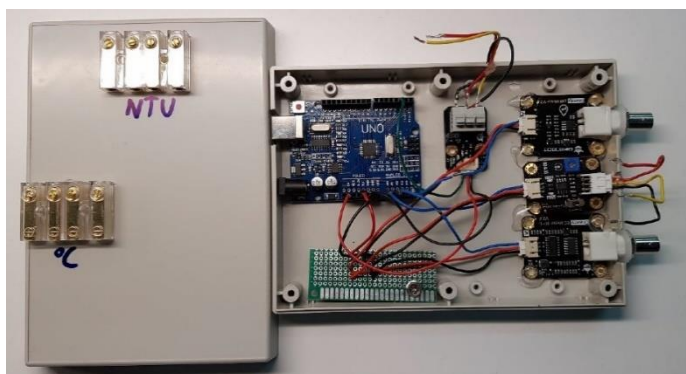


Εικόνα 12: Μικροελεγκτής Arduino uno R3 που χρησιμοποιήθηκε [4].

Ο ενσωματωμένος επεξεργαστής της πλακέτας είναι ο ATmega328P με 6 αναλογικά Pin και 14 ψηφιακά που των καθιστούν επαρκή για τη δημιουργία της συγκεκριμένης συσκευής.

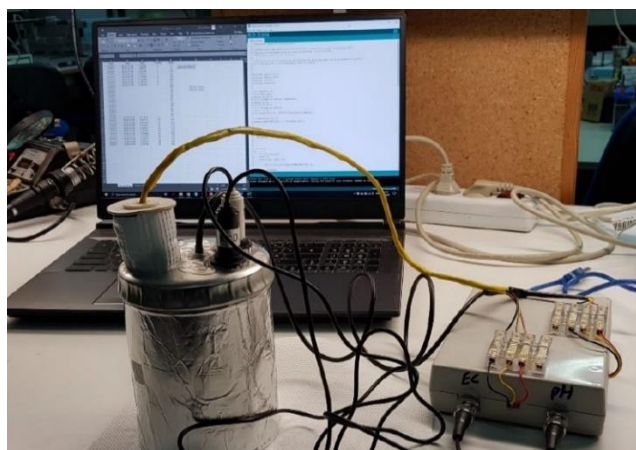
Οι αισθητήρες συνδέονται με μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό. Οι μετατροπείς συνδέονται με ένα breadboard το οποίο τους τροφοδοτεί συνεχή τάση 5 (V) μέσω της πλακέτας. Οι τιμές εξόδου των αισθητήρων μεταφέρονται με απευθείας σύνδεση με την πλακέτα, χωρίς την ενδιάμεση σύνδεση με το breadboard.

Για την προστασία των αισθητήρων των μετατροπών και της πλακέτας, κατασκευάστηκε ένα προστατευτικό κουτί και ένα δοχείο για την τοποθέτηση των δειγμάτων (Εικόνα 23). Επίσης, κατασκευάστηκε ένα ειδικά διαμορφωμένο καπάκι για την αδιαβροχοποίηση των μη αδιάβροχων τμημάτων των αισθητήρων που θα μετρούν το δείγμα που περιέχει το δοχείο, Εικόνα 24.



Εικόνα 13: Το κουτί στο οποίο τοποθετήθηκαν οι μετατροπές των αισθητήρων και ο μικροεπεξεργαστής [4].

Το διαμορφωμένο κουτί είχε οπές, για την τροφοδοσία της πλακέτας από θύρα USB , αλλά και για την μεταφορά των δεδομένων από την πλακέτα στον υπολογιστή. Επιπλέον, οπές ανοίχθηκαν για να επιτρέπεται η σύνδεση των μετατροπών των αισθητήρων pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μέσω καλωδίων BNC, με τους αισθητήρες. Τέλος, «κλέμες διακλάδωσης καλωδίων» τοποθετήθηκαν στο πάνω μέρος του κουτιού για την εύκολη σύνδεση και αποσύνδεση των αισθητήρων θολότητας και θερμοκρασίας με τους μετατροπείς σήματος.



Εικόνα 14: Το ειδικά διαμορφωμένο καπάκι με τους αισθητήρες και το προστατευτικό κουτί [4].

Το δοχείο τοποθέτησης δειγμάτων τυλίχθηκε με αλουμινόχαρτο, για καλύτερη θερμική μόνωση και στο καπάκι του ανοίχθηκαν οπές. Ο σχεδιασμός αυτός έγινε ούτως ώστε, να διαπερνούν τα όργανα μέτρησης το καπάκι ενώ το αδιάβροχο τμήμα των αισθητήρων να παραμένει έξω από το καπάκι, προστατευμένο και στεγανοποιημένο.

Για την αξιολόγηση των μετρήσεων έγινε δειγματοληψία διαφορετικών δειγμάτων νερού, αλλά και διεξήχθησαν τα πειράματα σταδιακής αλλαγής θερμοκρασίας του ίδιου δείγματος και σταδιακής αλλαγής της περιεκτικότητας άλατος ενός δείγματος. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν τη λειτουργία των αισθητήρων παρουσιάζει το πείραμα αλλαγής του δείγματος σε περιεκτικότητα αλατιού. Το πείραμα διεξήχθη ως εξής:

Αρχικά, μετρήθηκαν οι επιλεγμένες παράμετροι για δείγμα πόσιμου νερού 0,6 (L). Έπειτα, σταδιακά αυξανόταν η περιεκτικότητά του σε μαγειρικό αλάτι κατά 5 (mL) και το δείγμα αναδευόταν μέχρι τη πλήρη διάλυση του άλατος στο νερό. Η πειραματική διαδικασία σταμάτησε, όταν μεταξύ δύο διαδοχικών δειγμάτων οι μεταβολές όλων των αισθητήρων ήταν αμελητέες. Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσιάζονται στην εικόνα[] . Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα τελικά αποτελέσματα είναι ο μέσος όρος εκατό μετρήσεων που μεσολαβούσαν μέχρι τη σταθεροποίηση των ενδείξεων των αισθητήρων για κάθε προσθήκη άλατος. Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων εκτός από το Serial monitor του Arduino IDE, που είναι το λογισμικό στο οποίο προγραμματίζεται η πλακέτα Arduino, και στο Microsoft Excel έγινε χρήση του add-in PLX-DAQ Version 2. Αυτό κατέστησε δυνατό να δημιουργηθούν διαγράμματα αλλά και την πιο εύκολη και έγκυρη ανάγνωση των δεδομένων.

Ποσότητα Αλατιού (mL)	Θολότητα (NTU)	Θερμοκρασία (°C)	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (mS/cm)	pH
0	0	14.95	0.13	7.73
5	213.42	14.83	5.175	7.91
10	520.109	14.69	18.669	7.77
15	653.429	14.56	24.028	7.84
20	995.406	14.488	24.106	8.12
25	935.523	14.44	24.166	7.95
30	1312.727	14.416	24.224	7.63
35	1421.395	14.25	24.586	7.92
40	1474.609	14.19	24.319	8.21
45	1527.823	14.13	24.356	7.95

Εικόνα 15: Αποτελέσματα των παραμέτρων για διαλύματα με διαφορετική συγκέντρωση αλατιού [4].

Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε, ότι δεν υπάρχει αξιόλογη μεταβολή του pH. Αυτό αποδίδεται, από το συγγραφέα, στο γεγονός ότι η προσθήκη άλατος, δηλαδή χλωριούχου νατρίου (NaCl), δεν επηρεάζει την ποσότητα ιόντων υδρογόνου που υπάρχουν στο δείγμα. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μετά τη λήψη του τέταρτου δείγματος δηλαδή μετά τα 15 (mL) έχει σταθερή τιμή. Το παράδοξο είναι ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα θεωρητικά συνεχίζει να αυξάνεται ,καθώς και η περιεκτικότητα αλατιού αυξάνεται. Αυτό αποδόθηκε στο γεγονός ότι το εύρος μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αισθητήρα, ξεπέρασε το ανώτατό του όριο. Επίσης η αύξηση της θολότητας είναι αναμενόμενη, αφού η διάλυση άλατος στο νερό εμποδίζει το φως να διέλθει από το δείγμα του νερού, που είναι ο τρόπος με τον οποίο ορίζεται η θολότητα. Παρατηρήθηκε και μια μη αναμενόμενη διακύμανση στο δείγμα που περιείχε 25 (mL) σε σχέση με την προηγούμενη μέτρηση. Η αναντιστοιχία αυτή, αποδόθηκε στο γεγονός ότι λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του νερού με διαλυμένο αλάτι σε σχέση με το νερό, η θέση του αισθητήριου οργάνου για τη θολότητα δεν ήταν ενδεικτική. Επιπλέον έγινε η υπόθεση ότι ο αισθητήρας δεν είναι αξιόπιστος. Ωστόσο η υπόθεση αυτή φαίνεται να μην επαληθεύεται, αφού στη δειγματοληψία για το 30 (mL) αλατιού παίρνεται πάλι μέτρηση με αύξηση της θολότητας. Δηλαδή, το δείγμα παρά την ανάδευση παραμένει ανομοιογενές μέχρι τη σταθεροποίηση των μετρήσεων. Παρόμοια μη αναμενόμενη διακύμανση είναι και αυτή από τα 35 (mL) στα 40 (mL). Τέλος, η μικρή μεταβολή της θερμοκρασίας αποδίδεται στην απαίτηση θερμότητας για την πραγματοποίηση της διάλυσης του άλατος.

Συμπερασματικά, η σωστή τοποθέτηση των αισθητήρων, σε σχέση με αυτή του δείγματος, έχει ιδιαίτερη σημασία για την σωστή λήψη μετρήσεων. Επίσης φαίνεται η σημασία της επιλογής κατάλληλων αισθητήρων ανάλογα με την εφαρμογή που η συσκευή προορίζεται να έχει.

Κεφάλαιο 4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Μικροελεγκτής

Ο μικροελεγκτής Arduino UNO R2 Wi-Fi ενσωματώνει τον μικροεπεξεργαστή ATMEGA4809 που διαθέτει μνήμη (Flash memory) 48 (KB). Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό της πλακέτας είναι το Arduino IDE. Όταν ο κώδικας εγγραφεί στη μνήμη του μικροελεγκτή, δεν διαγράφεται όταν η τροφοδοσία διακόπτεται. Λειτουργεί με τάση 5(V) με προτεινόμενη τάση εισόδου από 7(V) έως 12(V). Επιπλέον διαθέτει δεκατέσσερις ψηφιακές υποδοχές Pin εισόδου και εξόδου εκ των οποίων οι πέντε παρέχουν PWM έξοδο, επίσης έχει έξι αναλογικές εισόδους. Έχει μήκος 68,6 (mm), πλάτος 53,4 (mm) και βάρος 25 (g).



Εικόνα 16: Ο μικροελεγκτής Arduino UNO R2 Wi-Fi [13].

Οι δύο υποδοχές της είναι μια για σύνδεση με καλώδιο USB στον υπολογιστή και η άλλη για τροφοδοσία εκτός υπολογιστή με συνεχή τάση (στο προτεινόμενο εύρος), που επιτρέπει την απομακρυσμένη λειτουργία της και την από απόσταση μεταφορά δεδομένων. Η μεταφορά αυτή γίνεται αφού πρώτα η πλακέτα προγραμματιστεί καταλλήλως. Δίπλα από την ψηφιακή έξοδο δεκατρία έχει ενσωματωμένη λυχνία LED που βοήθησε στην αρχή της διαδικασίας του προγραμματισμού της, ως ένδειξη της σωστής επιλογής βιβλιοθηκών και αναγνώρισής της από τον υπολογιστή. Η πλακέτα έχει τη δυνατότητα σύνδεσης στο Internet αλλά και τη δυνατότητα σύνδεσης μέσω Bluetooth. Επιλέχθηκε μεταξύ άλλων όμοιων προϊόντων για τέσσερις βασικούς λόγους.

1. Κύριο χαρακτηριστικό της συσκευής παρακολούθησης βρόχινου νερού είναι η από απόσταση καταγραφή και αποθήκευση δεδομένων, αναφορικά με την ποιότητά του. Η προσβασιμότητα της πλακέτας σε WI-FI και Bluetooth συνδέσεις χωρίς την αναγκαιότητα για πρόσθετα shields απλοποιεί τη συνδεσμολογία και μειώνει την προγραμματιστική πολυπλοκότητα στο ελάχιστο δυνατό.

2. Η δυνατότητα ανάπτυξης βασικών σεναρίων IoT θα καθιστούσε δυνατή την επικοινωνία με αντίστοιχη συσκευή αξιολόγησης της ποιότητας του αέρα. Έτσι, θα διευκολυνόταν η συσχέτιση των αέριων ρύπων με τις μετρήσεις του βρόχινου νερού.

3. Βασικός ακόμα παράγοντας είναι η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση του μικροελεγκτή σε σχέση με αντίστοιχους που διαθέτουν την δυνατότητα σύνδεσης με WI-FI και Bluetooth. Αυτό θα καθιστούσε δυνατό την εξ'ολοκλήρου λειτουργία της από απόσταση, καθώς και την λειτουργία της με κατάλληλες προσαρμογές σε μετρήσεις πεδίου.

4. Το γεγονός ότι ο Arduino UNO R2 WI-FI είναι ένας μικροελεγκτής ανοιχτού κώδικα, όπως όλοι οι μικροελεγκτές Arduino, τον συγκαταλέγει στους πιο εύκολους, από άποψη προγραμματισμού, για χρήση.

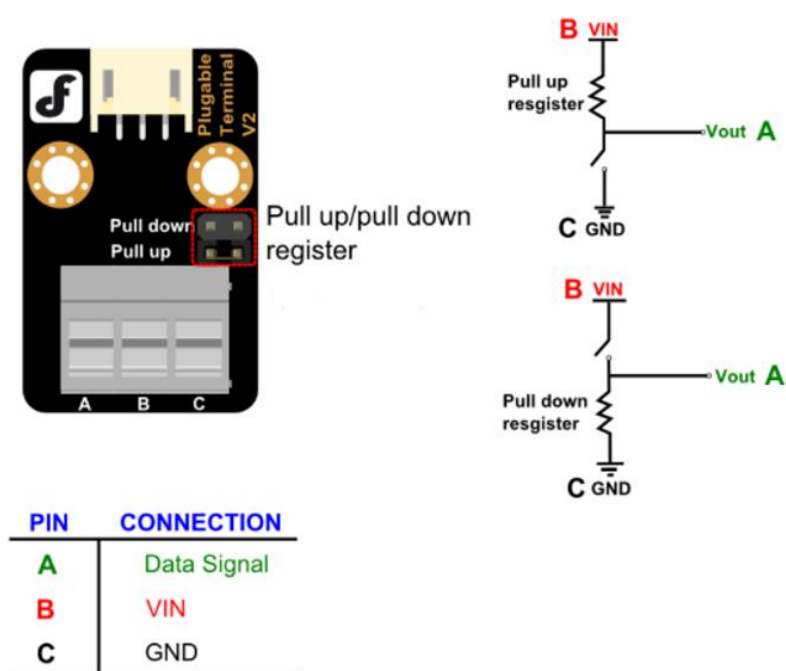
4.2 Αισθητήρα θερμοκρασίας

Ο επιλεγμένος αισθητήρας για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας των δειγμάτων είναι ο DS18B20 Waterproof (εικόνα). Ο ψηφιακός αυτός αισθητήρας έχει ακρίβεια $\pm 0,5$ °C για το εύρος θερμοκρασιών από τους -10 °C έως τους 80 °C ενώ, μπορεί να λειτουργεί από τους -55 °C έως τους 125 °C. Επιπλέον, μπορεί να μεταφέρει δεδομένα από και προς τον μικροεπεξεργαστή και είναι αδιάβροχος. Το εύρος της τάσης λειτουργίας του είναι από 3,0 V έως τα 5,5 V συνεχούς τάσης (DC) και το αισθητήριο όργανό του αποτελείται από ανοξείδωτο ατσάλι διαμέτρου 6 mm και μήκους 35 mm. Για τη σύνδεση του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή, θα πρέπει να μεσολαβεί μια αντίσταση των 4,7 kΩ μεταξύ της γείωσης και του σήματος που επιστρέφει στην πλακέτα με την ύπαρξη ενός breadboard ενδιάμεσα.

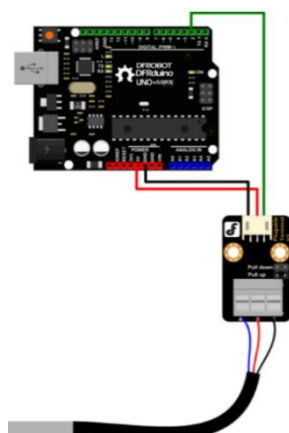


Εικόνα 27: Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 Waterproof [11].

Ωστόσο, το kit του αισθητήρα περιλάμβανε και έναν μετατροπέα Εικόνα[28] για την πιο εύκολη και σταθερή σύνδεση των καλωδίων που δεν απαιτούσε την χρήση αντίστασης. Η συνδεσμολογία επομένως του αισθητήρα στην πλακέτα Εικόνα[29], έγινε μέσω του μετατροπέα. Ο μετατροπέας διέθετε μια αντίσταση που συνδέεται ανάλογα με τη λειτουργία που επιδιώκεται να χρησιμοποιηθεί Pull up ή Pull down Εικόνα[28]. Συνήθως επιλέγεται η πρώτη για τη μείωση του θορύβου.



Εικόνα 17: Μετατροπέας σήματος για τον αισθητήρα θερμοκρασίας και απεικόνιση συνδεσμολογίας [14].

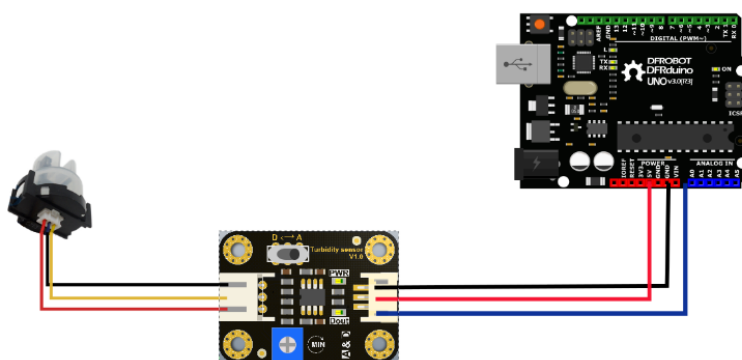


Εικόνα 18: Συνδεσμολογία αισθητήρα-μετατροπέα-μικροελεγκτή [14].

Ο αισθητήρας για τον προγραμματισμό του απαιτούσε την προσθήκη της βιβλιοθήκης «Dallas temperature» και των απαραίτητων βιβλιοθηκών που την υποστηρίζουν. Τέλος, για τον αισθητήρα δεν απαιτείται βαθμονόμηση γεγονός που τον καθιστά πολύ εύκολο στη χρήση. Η επιλογή του αισθητήρα θερμοκρασίας, έγινε για την ευκολία που προσφέρει στη βαθμονόμηση των αισθητήρων του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της ανθεκτικότητάς του, της ακρίβειάς του στις μετρήσεις του, του χαμηλού του κόστους και για το γεγονός ότι είναι αδιάβροχος

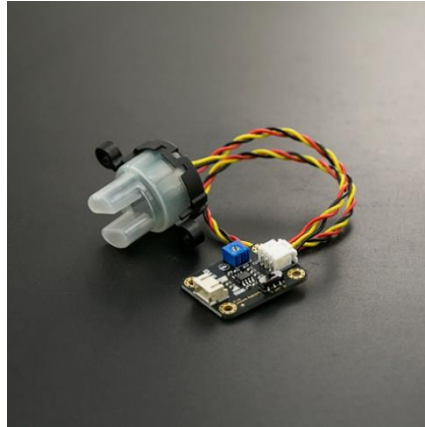
4.3 Αισθητήρας θολότητας

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε για τη μέτρηση της θολότητας, ήταν ο analog turbidity sensor της Gravity. Επιλέχθηκε για το χαμηλό του κόστος, την ανθεκτικότητά του και για την ακρίβεια στις μετρήσεις του. Η συνδεσμολογία του αισθητήρα, έγινε μέσω μετατροπέα σήματος Εικόνα 30. Ο μετατροπέας διαθέτει διακόπτη για την επιλογή αναλογικού ή ψηφιακού σήματος που θα στέλνεται στην πλακέτα.



Εικόνα 19: Συνδεσμολογία αισθητήρα θολότητας-μετατροπέα-μικροελεγκτή [10].

Τα αισθητήρια όργανά του βρίσκονται εντός του πλαστικού περιβλήματος. Η λειτουργία του αισθητήρα βασίζεται στην σκέδαση του φωτός. Ένας πομπός στέλνει φως στον φωτοευαίσθητο δέκτη, ο οποίος ανάλογα με την έντασή του, το μετατρέπει σε τάση. Η ένταση του φωτός εξαρτάται από τη θολότητα ενός δείγματος, αν η θολότητα αυξάνεται, τότε η σκέδαση του φωτός θα είναι μεγαλύτερη και επομένως, ο φωτοευαίσθητος δέκτης θα επηρεαστεί λιγότερο. Ο πομπός και ο δέκτης είναι τοποθετημένοι αριστερά και δεξιά της εσοχής που κάνει το αδιάβροχο πλαστικό. Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του αισθητήρα είναι από 5 °C έως 90 °C καθορίζοντας έτσι το κατώτατο θερμοκρασιακό όριο λειτουργίας της συσκευής.



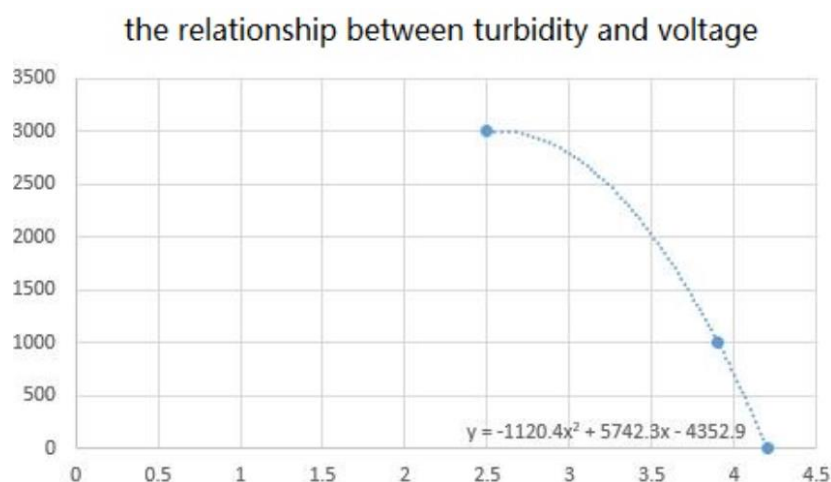
Εικόνα 20: Αισθητήρας θολότητας [10].

Για τη σωστή λειτουργία του αισθητήρα χρειάστηκε καλιμπράρισμα. Το εύρος της τάσης εξόδου είναι από 0(V) έως τα 4,5 (V), ενώ η αντιστοιχία του εύρους για τη μέτρηση της θολότητας είναι από τα 0 (NTU) έως τα 3000 (NTU). Ο αισθητήρας αρχικά έβγαζε τάση εξόδου στον αέρα 3 (V) και στο καθαρό νερό 3,5 (V). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η θολότητα ενός δείγματος καθαρού νερού να φαίνεται ότι είναι 29470 (NTU) περίπου, το οποίο δεν ισχύει. Για να επιτευχθεί η καμπύλη που δίνεται από τον κατασκευαστή, έπρεπε να ανοιχθεί το αδιάβροχο περίβλημα του αισθητήρα, βγάζοντας το μαύρο καπάκι. Η διαδικασία αυτή έγινε με ιδιαίτερη προσοχή, γιατί το καπάκι αδιαβροχοποιεί και προστατεύει εσωτερικά τα ευαίσθητα όργανά του. Αφού λοιπόν αφαιρέθηκε το εσωτερικό του αισθητήρα Εικόνα 32, με προσοχή, εξισορροπήθηκε η τάση εξόδου στα 4,6 (V) πειράζοντας την ευαισθησία του αισθητήρα από το Trimmer στρίβοντάς το δεξιόστροφα.



Εικόνα 21: Ποτενσιόμετρο εσωτερικά του αδιάβροχου περιβλήματος [12].

Ωστόσο, κατά τη διαδικασία αυτή, είχε συνδεθεί ο αισθητήρας στην πλακέτα και λειτουργούσε στέλνοντας δεδομένα στο serial monitor του Arduino IDE. Η μέτρηση των 4,6 (V) ήταν χωρίς το καπάκι. Η μαθηματική σχέση της τάση με τη θολότητα δίνεται από τον κατασκευαστή, Εικόνα 33.



Εικόνα 22: Σχέση της τάσης (V) με τη θολότητα (NTU), δοσμένη από τον κατασκευαστή του αισθητήρα [10].

Φαίνεται ότι η θολότητα είναι μηδέν για 4,2 (V) περίπου και έχει μέγιστη θολότητα 3000 (NTU) σε τάση εξόδου 2,5 (V). Όπως προαναφέρθηκε χωρίς καπάκι ο αισθητήρας ρυθμίστηκε να έχει 4,6 (V) τάση εξόδου (στον αέρα), η τάση αυτή έπεσε στα 3,7 (V) με καπάκι και μέσα στο νερό, με καπάκι, έδινε τάση εξόδου 4,2 (V). Η διαδικασία αυτή ήθελε πολύ λεπτό χειρισμό, όχι μόνο για να μη σπάσει ο αισθητήρας με το άνοιγμα του καπακιού, αλλά και γιατί η τάση δύσκολα έπαιρνε την επιθυμητή τιμή, λόγω της ευαισθησίας του Trimmer. Για τον προγραμματισμό του αισθητήρα δεν απαιτήθηκε χρήση κάποιας βιβλιοθήκης. Ο αισθητήρας συνδέθηκε και λειτουργούσε στέλνοντας αναλογικό σήμα, ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα επιλογής, με διακόπτη στο μετατροπέα σήματος Εικόνα 34, να συνδεθεί και να λειτουργεί στέλνοντας σήμα ψηφιακά. Το μπλε ποτενσιόμετρο, δίνει τη δυνατότητα να ρυθμιστεί το όριο αλλαγής σήματος στην ψηφιακή λειτουργία.



Εικόνα 23: Μετατροπέας αισθητήρα θολότητας [10].

4.4 Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του βρόχινου νερού επιλέχθηκε ο αναλογικός αισθητήρας της Gravity (DFR0300-H) Εικόνα 35. Ο λόγος είναι ότι διαθέτει αδιάβροχο περίβλημα και τη δυνατότητα αυτόματης αντιστάθμισης αποτελεσμάτων βάσει των αποτελεσμάτων του αισθητήρα θερμοκρασίας. Το τελευταίο έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί διευκολύνει τη βαθμονόμηση του αισθητήρα. Επιπλέον το χαρακτηριστικό αυτό, της αυτόματης αντιστάθμισης των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα αποτελέσματα του αισθητήρα θερμοκρασίας, προσθέτει επιπλέον ακρίβεια στις μετρήσεις του αισθητήρα. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι αυτό του ρυθμιστικού διαλύματος με το οποίο βαθμονομήθηκε ο αισθητήρας. Το διάλυμα είχε ηλεκτρική αγωγιμότητα 12880 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) στους 25°C και 13130 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) στους 26°C, δηλαδή για βαθμονόμηση με ένα βαθμό διαφορά, θα υπήρχε ποσοστιαίο σχετικό σφάλμα περίπου 2 % , για κάθε επόμενη μέτρηση.

Η τάση εισόδου του αισθητήρα μπορεί να είναι από 3 (V) έως 5 (V) και η τάση εξόδου είναι από 0 (V) έως 3,2 (V). Η λειτουργία του αισθητήρα βασίζεται στη μέτρηση της αντίστασης του δείγματος μέσω των δύο ηλεκτροδίων του. Η αντίσταση ενός δείγματος είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ηλεκτρική του αγωγιμότητα, επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τάσης που μετρείται μεταξύ των ηλεκτροδίων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίστασή του δείγματος και άρα, μικρότερη η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Ο αισθητήρας έχει εύρος ανίχνευσης από 10 (mS/cm) έως τα 100 (mS/cm). Το εύρος αυτό δεν απευθύνεται σε μετρήσεις πόσιμου νερού, αλλά σε δείγματα με μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως το θαλασσινό ή τα δείγματα από νερό της βροχής σε τόπους με επιβαρυμένη από ρύπους ατμόσφαιρα, αλλά και σε χείμαρρους που δημιουργούνται σε συνθήκες έντονης βροχόπτωσης.



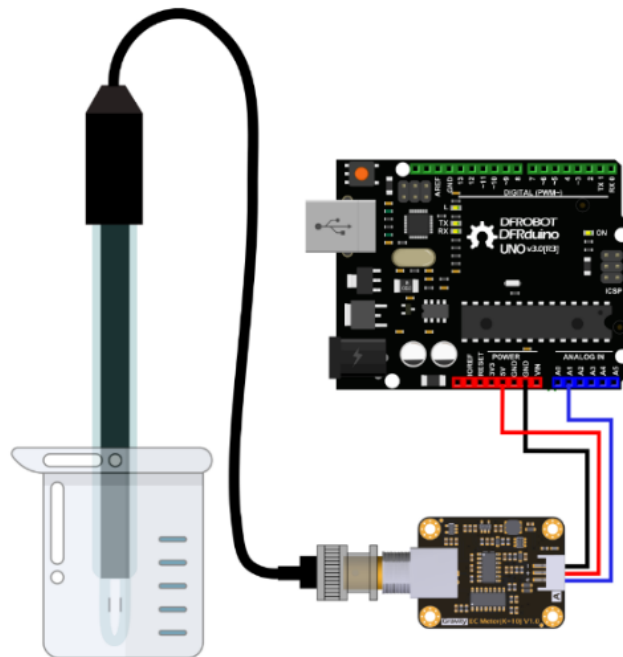
Εικόνα 24: Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας [8].

Ο αισθητήρας στο εσωτερικό του καπακιού έχει μία διάφανη επιφάνεια στην οποία βρίσκονται τα ηλεκτρόδια του αισθητήρα. Τα ηλεκτρόδια είναι επιστρωμένα με μαύρη πλατίνα για το τμήμα το οποίο είναι σε επαφή το δείγμα και συμβάλει στην ηλεκτροχημική διαδικασία μέτρησης. Μετά τη μέτρηση κάθε δείγματος ο αισθητήρας πρέπει να καθαρίζεται με απιονισμένο νερό και να σκουπίζεται ελαφρώς και όχι στην εσωτερική πλευρά στην επιφάνεια της πλατίνας. Η σταθερά κυττάρου (K) είναι δέκα και αυτό είναι που καθιστά τον αισθητήρα κατάλληλο για μετρήσεις δειγμάτων με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα έως και τα 100 (mS/cm). Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας είναι από τους 0 °C έως τους 40 °C , καθορίζοντας έτσι το θερμοκρασιακό ανώτατο όριο της συσκευής, ως το πιο αυστηρό στους 40 °C.

Για τη σύνδεσή του με τη πλακέτα απαιτείται η χρήση ενός μετατροπέα σήματος, με τον οποίο ο αισθητήρας συνδέεται μέσω BNC απόληξης καλωδίου και μετατροπέας συνδέεται με τα τρία καλώδια (γείωση, τάση, σήμα) με την πλακέτα, Εικόνα 36.

Για το καλιμπράρισμα του αισθητήρα χρειάστηκε ρυθμιστικό διάλυμα των 12880 (μS/cm) στους 25 °C. Αφού έγινε η λήψη της βιβλιοθήκης DFRobot_EC10, αποθηκεύτηκε ο δειγματικός κώδικας στην πλακέτα και ξεβγάλθηκε το αισθητήριο όργανο του αισθητήρα με απιονισμένο νερό, στο serial monitor του Arduino IDE εισάχθηκε η εντολή ENTEREC για την έναρξη της διαδικασίας βαθμονόμησης. Στη συνέχεια αφού πρώτα σταθεροποιήθηκαν οι τιμές του αισθητήρα, ο αισθητήρας τοποθετήθηκε να μετρήσει και να αναγνωρίσει το ρυθμιστικό διάλυμα με την εντολή CALEC. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την εντολή EXITEC με την οποία αποθηκεύτηκαν οι σχετικές παράμετροι για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα. Η

βαθμονόμηση ενός σημείου έγινε με την ταυτόχρονη λειτουργία του αισθητήρα θερμότητας με μετρήσεις από το ρυθμιστικό διάλυμα.



Εικόνα 25: Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας [8].

4.5 Αισθητήρας pH

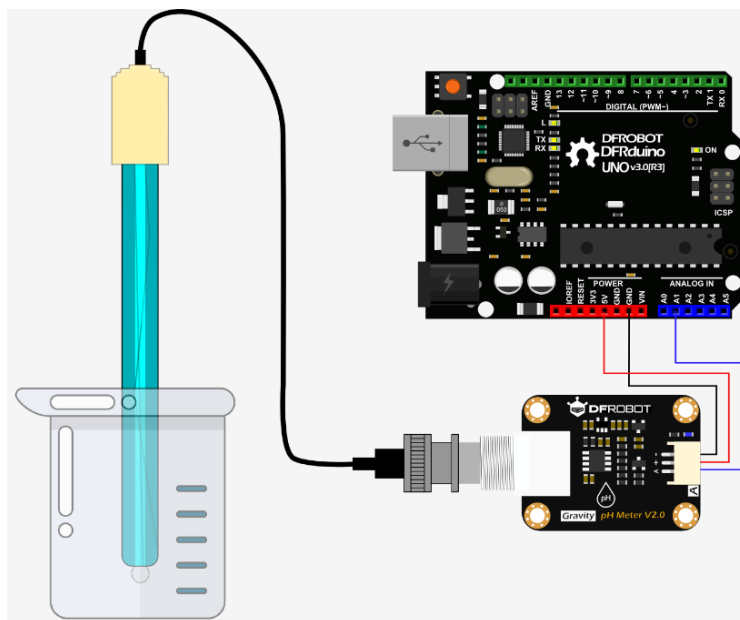
Για τη μέτρηση της παραμέτρου του pH επιλέχθηκε ο αισθητήρας H-101 pH electrode της DF ROBOT, Εικόνα 37. Ο αισθητήρας αυτός είναι βιομηχανικής χρήσης και μπορεί να μετράει εύρη pH (0-14). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για εφαρμογές μεγάλης διάρκειας μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 26: Αισθητήρας pH [9].

Το συνολικό μήκος του αισθητήρα είναι 17,7 (cm) μαζί με το προστατευτικό καπάκι και με διάμετρο 2,74 (cm). Το μήκος του καλωδίου είναι 5(m) και έχει απόληξη για σύνδεση με μετατροπέα σήματος BNC. Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας είναι από 0 °C έως τους 60 °C. Ο χρόνος απόκρισής του είναι δέκα δευτερόλεπτα και η ολίσθησή του μικρότερη του 0,02 μονάδων pH κάθε 24 ώρες λειτουργίας. Η τάση εισόδου του αισθητήρα είναι 5 (V).

Η συνδεσμολογία του αισθητήρα με την πλακέτα Arduino έγινε μέσω του μετατροπέα όπως προαναφέρθηκε, μέσω σύνδεσης BNC, και ο μετατροπέας με την πλακέτα μέσω των τριών καλωδίων (τάση, γείωση, σήμα) Εικόνα 38.



Εικόνα 27: Συνδεσμολογία του αισθητήρα pH-μετατροπέα-μικροελεγκτή [9].

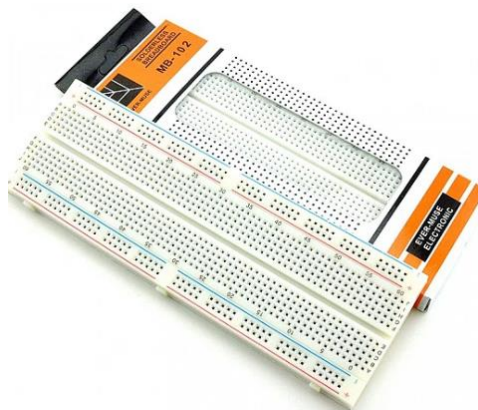
Για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα χρειάστηκαν δύο ρυθμιστικά διαλύματα ένα με pH ίσο με 7,01 και ένα με τιμή 4,01. Αφού αποθηκεύτηκε ο δειγματικός κώδικας στην πλακέτα, καταγράφηκαν οι τιμές της τάσης εξόδου, από το Serial monitor του Arduino IDE, για κάθε διάλυμα. Το καλιμπράρισμα δύο σημείων όρισε την κλίση της γραμμικής σχέσης μεταξύ της τάσης εξόδου και του pH. Μεταξύ των μετρήσεων ο αισθητήρας καθαριζόταν με απιονισμένο νερό και σκουπιζόταν ελαφρώς. Το γυάλινο φιαλίδιο στο οποίο είναι τοποθετημένο το ηλεκτρόδιο μέτρησης, Εικόνα 39, είναι σημαντικό να μην χαρακωθεί ή να αλλοιωθεί με οποιοδήποτε τρόπο η επιφάνειά του, γιατί ενδεχομένως ο αισθητήρας να χαλάσει και οι μετρήσεις να είναι αναξιόπιστες.



Εικόνα 28: Αισθητήριο ηλεκτρόδιο του pH, χωρίς το προστατευτικό καπάκι [9].

4.6 Συνδεσμολογία και σύνδεση στο διαδίκτυο

Για την συνδεσμολογία όλων των αισθητήρων μαζί με την πλακέτα, απαιτήθηκε η χρήση ενός breadboard, Εικόνα 40.



Εικόνα 29: Breadboard 830 Point Solderless MB102 [15].

Οι αισθητήρες συνδέθηκαν με το breadboard, μέσω των μετατροπών τους, μόνο για την τροφοδοσία τους. Για τα σήματα εξόδου, οι μετατροπείς συνδέθηκαν απευθείας στην πλακέτα, με τους αισθητήρες θολότητας, αγωγιμότητας και pH να είναι συνδεδεμένοι σε αναλογικά pin της πλακέτας και τον αισθητήρα θερμοκρασίας να είναι συνδεδεμένος σε ψηφιακή.

Ο μικροελεγκτής έχει τη δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης σε τοπικό δίκτυο Wi-Fi, χωρίς την απαίτηση προσθήκης επιπλέον shield. Για να γίνει αυτό εγκαταστάθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες WiFinINA και WiFiClient. Η βιβλιοθήκη WiFinINA

επιτρέπει τη σύνδεση της κάρτας στο δίκτυο Wi-Fi με τη χρήση του SSID του δικτύου και του κωδικού του με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας HTTP και WQTT.

Η αποστολή των δεδομένων έγινε στην πλατφόρμα ThinkSpeak, η οποία είναι μία πλατφόρμα για την υποστήριξη IoT συσκευών, που αναπτύχθηκε από την MathWorks. Επίσης, επιτρέπει τη συλλογή, την αποθήκευση και την οπτικοποίηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Για την σύνδεση με το ThinkSpeak μέσω του μικροελεγκτή, χρειάστηκε να δοθεί ο αριθμός του καναλιού αποστολής δεδομένων και να προσδιοριστεί ο αριθμός των τιμών που θα σταλθεί.

Κεφάλαιο 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

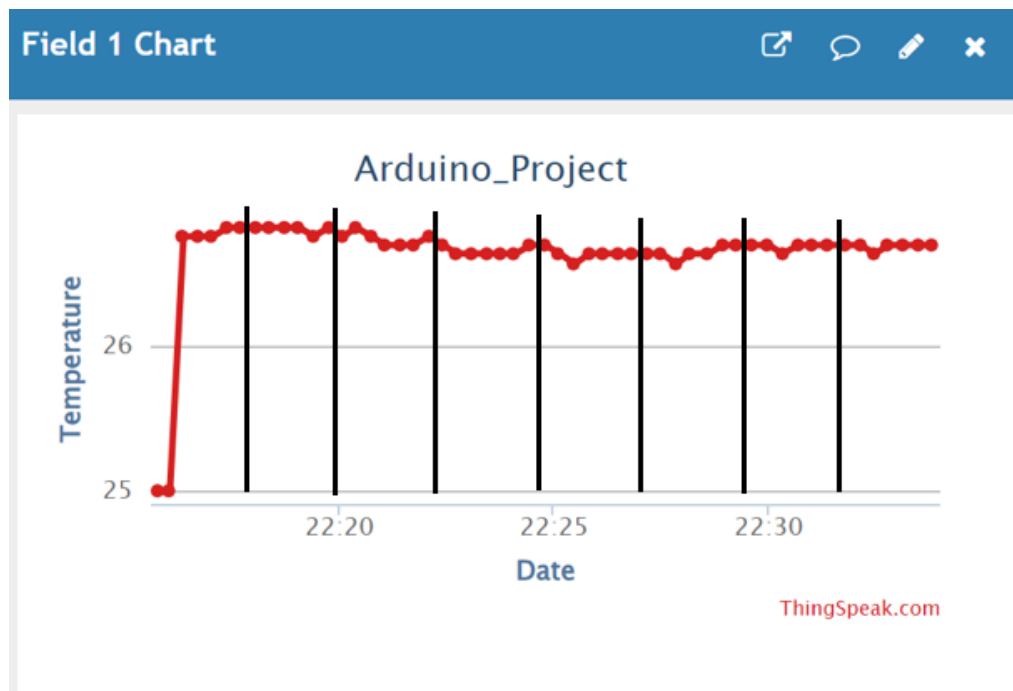
Για να αξιολογηθεί η λειτουργία της συσκευής και των αισθητήρων, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε δείγμα 300 (mL) νερού στο οποίο προσθέτοντας 5 (gr) μαγειρικού αλάτος (CLNa) για επτά φορές. Τα αποτελέσματα στέλνονταν σε πραγματικό χρόνο στο cloud της πλατφόρμας ThinkSpeak. Το πείραμα διεξήχθη χωρίς ανάδευση του αλάτος για την προστασία των μετρητικών οργάνων των αισθητήρων. Λόγω επίσης, ελλειπτικού καλωδίου jumper του μετατροπέα του αισθητήρα του pH, το πείραμα διεξήχθη σε δύο στάδια. Το πρώτο περιλάμβανε τους αισθητήρες pH, θερμοκρασίας και θολότητας, που διεξήχθη με τη χρήση του ενιαίου καλωδίου για την τάση, τη γείωση και το σήμα του αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που ήταν όμοιο. Το δεύτερο περιλάμβανε την ταυτόχρονη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας. Για να πραγματοποιηθούν και να αποθηκευτούν τα διαγράμματα, τα δύο στάδια μέτρησης γίνανε σε διαφορετικά κανάλια. Επίσης, το πρώτο πείραμα έγινε με χρονική διαφορά δύο λεπτών από δείγμα σε δείγμα. Στο δεύτερο πείραμα αυξανόταν η περιεκτικότητα σε αλάτι, όταν για τέσσερις διαδοχικές μετρήσεις ο αισθητήρας αγωγιμότητας είχε μετρήσεις με μικρή απόκλιση. Η συνολική καθυστέρηση αποστολής των μετρήσεων είναι λιγότερη από είκοσι δευτερόλεπτα και λόγω της μικρής αυτής καθυστέρησης, σαν αποτέλεσμα η πρώτη αποστολή μετρήσεων μεταξύ των δειγμάτων να μην εμφανίζει την απευθείας ανταπόκριση με την αλλαγή της περιεκτικότητας. Αυτό όμως συνέβη λίγες φορές και σε παραμέτρους με μικρές διακυμάνσεις. Τέλος, οι μετρήσεις στέλνονταν τη στιγμή που η συσκευή συνδεόταν με την μπαταρία συνεχούς τάσης 9 (V), για αυτό το λόγω η πρώτη μέτρηση είναι λόγω της αρχικοποίησης των τιμών από τον κώδικα.

5.1 Πείραμα για τη θερμοκρασία, τη θολότητα και το pH.

Συμπεράσματα για τον αισθητήρα θερμοκρασίας:

Η αντίδραση για τη διάλυση του μαγειρικού αλάτος είναι ενδόθερμη, δηλαδή απαιτεί θερμότητα για να ολοκληρωθεί. Αν και η θερμοκρασιακές μεταβολές είναι μικρές, οι αυξομειώσεις στις μετρήσεις, θα μπορούσε να αποδοθούν στην πτώση της θερμοκρασίας του δείγματος, λόγω της διάλυσης του μαγειρικού αλάτος, αλλά και στην αύξηση του, λόγω της σταδιακής αποκατάστασης ισορροπίας της θερμοκρασιακής διαφοράς με το περιβάλλον του δείγματος. Στο 3^ο και στο 4^ο διάστημα, φαίνεται πιο έντονα η μείωση της θερμοκρασίας

στην αρχή και της αύξησής της στο τέλος του δείγματος. Επίσης, παρατηρείται η συνολική τάση μείωσης της θερμοκρασίας προς τα τελευταία δείγματα, όπου λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης άλατος δεν προλαβαίνει να αποκατασταθεί η θερμοκρασιακή ισορροπία.

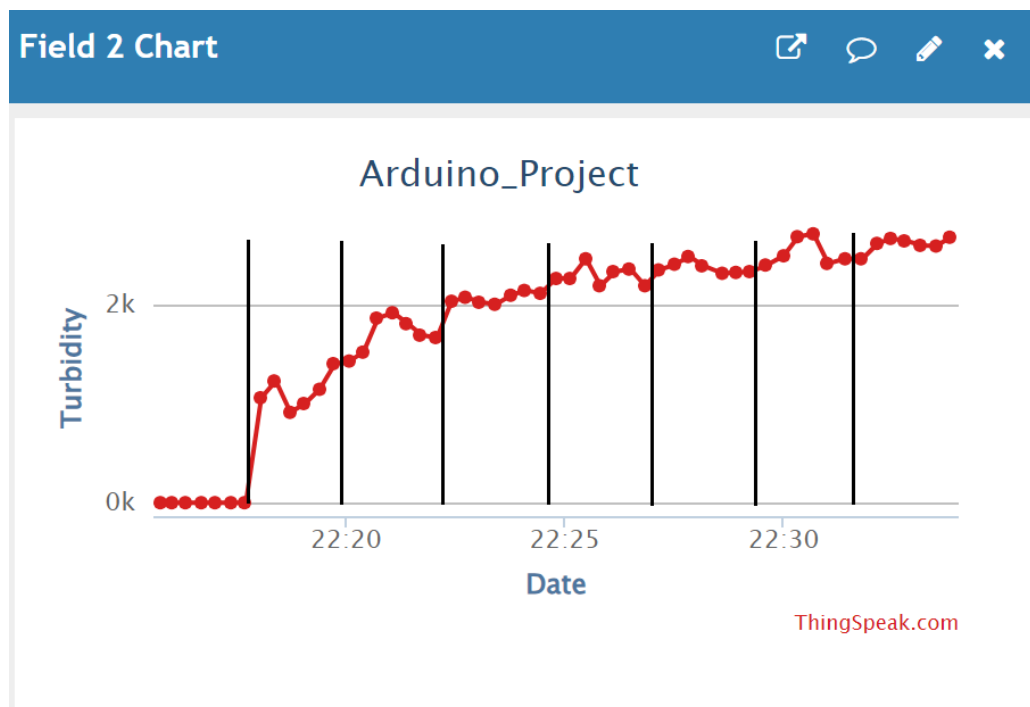


Εικόνα 30: Διάγραμμα μετρήσεων 1^{ου} πειράματος της θερμοκρασίας στην πλατφόρμα ThinkSpeak.

Συμπεράσματα για τον αισθητήρα θολότητας:

Αρχικά, τοποθετήθηκε ο αισθητήρας στο δείγμα νερού χωρίς προσθήκη άλατος για να βεβαιωθούμε ότι η τάση εξόδου έχει σταθεροποιηθεί και δείχνει σωστές τιμές για το καθαρό νερό. Στο διάγραμμα φαίνεται ότι στο καθαρό νερό η θολότητα είναι 0 (NTU), τιμή που είναι αναμενόμενη. Η θολότητα με την αύξηση της περιεκτικότητας του δείγματος σε άλας αυξάνεται σταδιακά όπως φαίνεται και όπως είναι αναμενόμενο. Αυτό συμβαίνει για δυο λόγους, ο ένας είναι λόγω της αιώρησης του άλατος από τη στιγμή που πέφτει στο δείγμα και ο δεύτερος γιατί όσο περισσότερο αλάτι διαλύεται στο νερό, τόσο περισσότερο το δείγμα θολώνει. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε στην επιφάνεια του δείγματος με το καπάκι του να βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του νερού και τα αισθητήρια όργανα να βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού σε βάθος περίπου 1,5 (cm). Στο διάγραμμα λοιπόν, φαίνεται η αιώρηση στις πρώτες μετρήσεις του κάθε δείγματος με την αύξηση των τιμών θολότητας. Στη συνέχεια, τμήμα του άλατος καθίζανε με αποτέλεσμα τη μικρή πτώση της θολότητας στην επιφάνεια του δείγματος. Επιπλέον, φαίνεται η τάση αύξησης της θολότητας, παρά τις

διακυμάνσεις, και αυτό λόγω της διάλυσης ενός τμήματος της ποσότητας του αλάτος που κάθε φορά αυξανόταν.

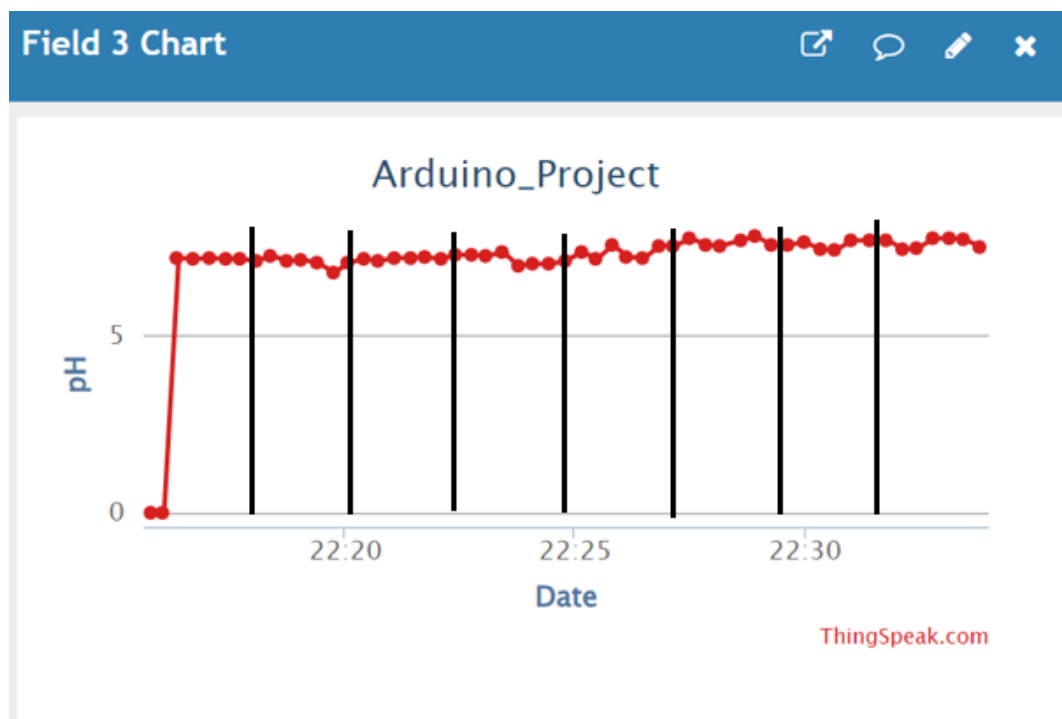


Εικόνα 31: Διάγραμμα μετρήσεων της θολότητας στην πλατφόρμα ThinkSpeak

Συμπεράσματα για τον αισθητήρα pH:

Το μαγειρικό αλάτι δεν επηρεάζει το pH του δείγματος νερού, γιατί ουσιαστικά ο αισθητήρας του pH μετράει την ποσότητα των ιόντων υδρογόνου, τα οποία δεν σχηματίζουν άλλου τύπου δεσμό. Το συμβάν αυτό θα προϋπέθετε τη χημική αντίδραση του νερού με το αλάτι, κάτι που δεν συμβαίνει. Ωστόσο, μπορούν να εξαχθούν μερικά σημαντικά συμπεράσματα. Αρχικά να επισημανθεί ότι ο αισθητήρας ήταν βυθισμένος στον πάτο του δοχείου, ώστε να μπορεί να είναι σταθερός και να μην αλλοιώνονται οι μετρήσεις του με τη σχετική του κίνηση. Η διακύμανση των τιμών επομένως, μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το αδιάλυτο αλάτι επηρέαζε τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου, στο σημείο γύρω από το γυάλινο ηλεκτρόδιο του αισθητήρα. Το διάλυμα, όπως αναφέρθηκε, δεν ήταν ομογενοποιημένο, με αποτέλεσμα αλάτι που διατηρεί την κρυσταλλική του δομή να καθιζάνει. Επιπλέον λοιπόν αιτία των διακυμάνσεων να είναι η κατά περίπτωση αλληλεπίδραση του αλάτος στον πάτο του δοχείου με το ηλεκτρόδιο του αισθητήρα, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να διαφοροποιούνται. Σε αυτή την περίπτωση, για τη σωστή αξιολόγηση της ποιότητας του βρόχινου νερού, ο αισθητήρας καλό θα ήταν να τοποθετείται σε σημείο με μικρή

συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών. Το γεγονός ότι στα τελευταία δείγματα το pH έχει μια μικρή αυξητική τάση (περίπου 0,4 μονάδες pH) με περισσότερες και πιο έντονες διακυμάνσεις σε σχέση με τα πρώτα τέσσερα δείγματα, ενδεχομένως να επιβεβαιώνει τη δεύτερη υπόθεση. Ο λόγος είναι ότι στα τελευταία τρία δείγματα η ποσότητα άλατος είναι μεγαλύτερη γύρω από το ηλεκτρόδιο, λόγω της συσσώρευσης του στον πάτο του δοχείου. Τέλος, οι πρώτες μηδενικές μετρήσεις είναι λόγω της αρχικοποίησης της τιμής του αισθητήρα με τη σύνδεση της μπαταρίας.



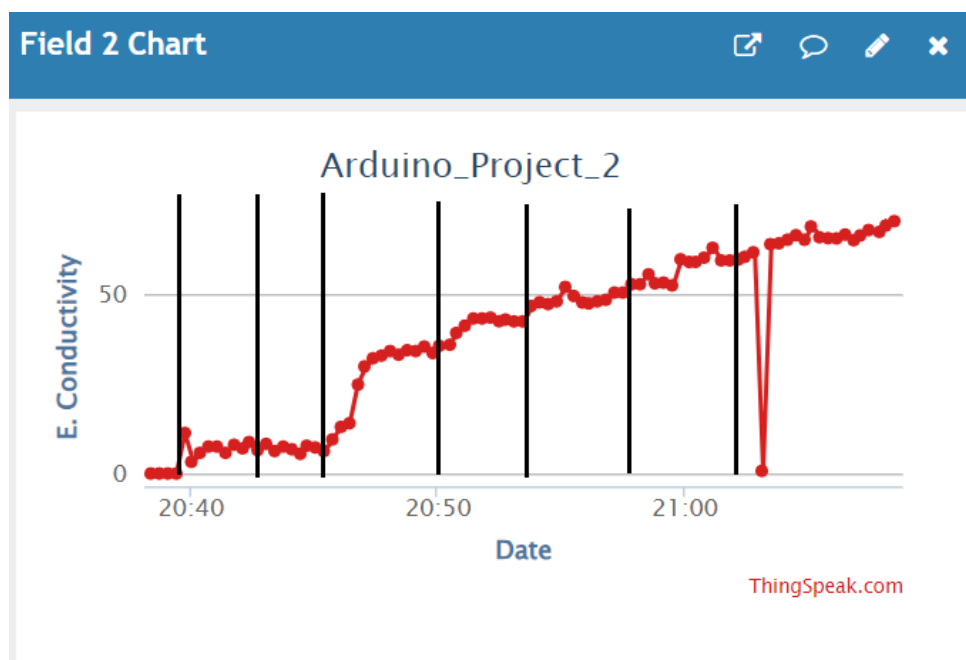
Εικόνα 32: Διάγραμμα μετρήσεων pH στην πλατφόρμα ThingSpeak.

5.2 Πείραμα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τη θερμοκρασία.

Συμπεράσματα για τον αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας:

Από τη σύγκριση των μετρήσεων παρατηρείται αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, κατά τη σταδιακή αύξηση της περιεκτικότητας σε μαγειρικό άλας. Αρχικά από το 0 (mS/cm) η αγωγιμότητα πηγαίνει στα 11.35 (mS/cm) με το που έπεσαν τα 5 (gr) άλατος στο δείγμα, πιθανότατα λόγω της έντονης αιώρησης του μαγειρικού άλατος γύρω από τα αισθητήρια όργανα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στη συνέχεια, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σταθεροποιείται με μικρές διακυμάνσεις περίπου στα 7(mS/cm). Με την

προσθήκη της δεύτερης δόσης (10 gr), η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν φαίνεται να ανεβαίνει πολύ αλλά να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με την πρώτη δόση. Το πείραμα διεξήχθη χωρίς ανάδευση για την προστασία των αισθητήριων οργάνων. Ενδεχόμενη αιτία, που η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν φαίνεται να αλλάζει για το δείγμα με τα 10 (gr), είναι το γεγονός ότι ο αισθητήρας έχει κύριο εύρος λειτουργίας από 10 (mS/cm) έως τα 100 (mS/cm). Στο γεγονός αυτό, ταυτόχρονα με το ότι τμήμα της δόσης του άλατος καθίζανε κάθε φορά, να οφείλεται η σχεδόν μηδαμινή μεταβολή μεταξύ των δύο δειγμάτων. Από την επόμενη δόση των 15 (gr) μαγειρικού άλατος (4^ο διάστημα) φαίνεται απότομη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, αλλά και η σταδιακή σταθεροποίησή της στα 34 (mS/cm) περίπου. Την ίδια μορφή με πιο μικρή κλίση έχει και το επόμενο δείγμα (5^ο διάστημα) των 20 (gr). Το γεγονός ότι η κλίση της αύξησης είναι με διαφορά μεγαλύτερη στα 15 (gr) σε σχέση με τα 20(gr), ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπήκε στο κατάλληλο εύρος της λειτουργίας που ο αισθητήρας διαμορφώθηκε για να μετράει. Στα επόμενα δύο δείγματα (6^ο και 7^ο) η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν είναι όμοια με αυτή των προηγούμενων τους (4^ο και 5^ο). Αυτές οι διακυμάνσεις στις τιμές ενδεχομένως να συνέβησαν λόγω του σχηματισμού φυσαλίδων στον αισθητήρα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γύρω και πάνω στα πλαίσια με τη βαμμένη πλατίνα πάνω από το ηλεκτρόδια. Ο στιγμιαίος μηδενισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα 35 (gr) άλατος (8^ο διάστημα) είναι ένα στιγμιαίο βούτηγμα του αισθητήρα σε απιονισμένο νερό, που έγινε για να καθαρίσει ο αισθητήρας από τις φυσαλίδες.

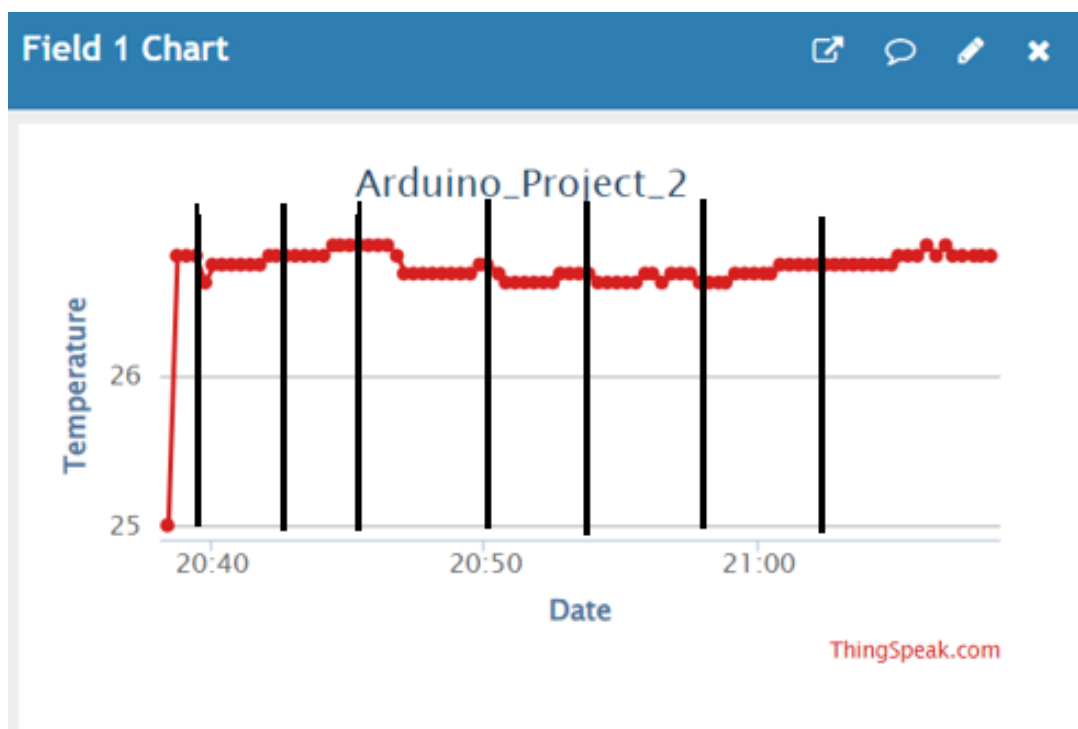


Εικόνα 33: Διάγραμμα μετρήσεων πειράματος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην πλατφόρμα ThinkSpeak.

Το γεγονός ότι μετά το ξέβγαλμα, οι μετρήσεις φαίνεται να μην έχουν σημαντικές αυξομειώσεις και να παρουσιάζουν σταδιακή αύξηση, επιβεβαιώνει την επίδραση των φυσαλίδων στις μετρήσεις.

Συμπεράσματα για τον αισθητήρα θερμοκρασίας (2^ο τμήμα του πειράματος):

Συνολικά, παρά τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, παρατηρείται μια τάση μείωσής της καθώς η περιεκτικότητα του δείγματος σε μαγειρικό άλας αυξάνεται. Ωστόσο, προς το τέλος της διαδικασίας φαίνεται να αποκαθίσταται η θερμική ισορροπία περιβάλλοντος και δείγματος παρά την αύξηση της περιεκτικότητας. Αυτό λοιπόν μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός, ότι δεν υπήρχε ανάδευση και ως εκ τούτου το μαγειρικό άλας καθίζανε χωρίς να διαλύεται στο νερό, με αποτέλεσμα η αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας να υπερισχύει του φαινομένου διάλυσης του μαγειρικού άλατος. Επίσης τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούσαν μεταξύ των δειγμάτων, επέτρεπαν την αποκατάσταση της θερμοκρασιακής ισορροπίας κάνοντας τις αυξομειώσεις πιο έντονες σε σχέση με το 1^ο τμήμα του πειράματος. Τέλος, ο αισθητήρας φαίνεται να είναι σε θέση να ανιχνεύσει ακόμα και μικρές μεταβολές, γεγονός που τον καθιστά αξιόπιστο στις μετρήσεις. Η πρώτη μέτρηση πρέπει να σημειωθεί ότι είναι στους 25 °C λόγω της αρχικοποίησης της τιμής της θερμοκρασίας στον κώδικα του Arduino IDE.



Εικόνα 34: Διάγραμμα μετρήσεων 2^{ου} πειράματος της θερμοκρασίας στην πλατφόρμα ThingSpeak.

Κεφάλαιο 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Η συσκευή μέτρησης της ποιότητας του νερού κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα και επιβεβαιώθηκε η σωστή λειτουργία των αισθητήρων, τόσο σε σχέση με την περιεκτικότητα των διαλυμάτων, όσο και στο συνδυασμό των μετρήσεων των αισθητήρων μεταξύ τους. Επίσης, η λειτουργία της συσκευής είναι αρκετά αποτελεσματική σε ότι αφορά την σύνδεσή της σε τοπικό Wi-Fi δίκτυο και την παρακολούθηση των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα μπορούν να αποθηκεύονται για την ανάλυσή τους σε μεταγενέστερο χρόνο σε συνδυασμό με αντίστοιχη συσκευή μέτρησης αέριων ρύπων. Είναι αρκετά εύχρηστη, αφού το μόνο που απαιτείται για τη λειτουργία της είναι η συνδεσμολογία των αισθητήρων ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH, οι οποίοι όπως προαναφέρθηκε δεν πρέπει να μένουν για καιρό συνδεδεμένοι με την πλακέτα χωρίς να τους διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα, και η σύνδεση της εξωτερικής πηγής ενέργειας συνεχούς τάσης. Οι αισθητήρες είναι ανθεκτικοί και οι απαιτήσεις τους για τακτική βαθμονόμηση είναι μικρές. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και θολότητας μετά την αρχική βαθμονόμηση δεν απαιτούν άλλη, εκτός και αν απαιτηθεί εξ απροόπτου. Επίσης, ο αισθητήρας του pH απαιτεί βαθμονόμηση μία φορά το μήνα για μη συχνή χρήση. Ο χρόνος απόκρισης είναι επαρκώς μικρός, ώστε να γίνονται γρήγορα αντιληπτές οι μεταβολές, επιτρέποντας ακόμα και την παρατήρηση με ακρίβεια, μεταβατικών φαινομένων.

Επιπλέον, σημαντικό είναι το γεγονός ότι η λειτουργία της συσκευής, εξαρτάται από τους αισθητήρες όχι συνολικά, αλλά τμηματικά. Αυτό σημαίνει ότι οποιοσδήποτε αισθητήρας έχει κάποια δυσλειτουργία δεν θα επηρεάσει της μετρήσεις των υπολοίπων, εκτός από τον αισθητήρα θερμοκρασίας που επηρεάζει της μετρήσεις του αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επίσης, οποιαδήποτε προσθήκη αισθητήρα, μπορεί να γίνει με τη σύνδεση και την ανάλογη συμπερίληψη του απαιτούμενου κώδικα στον αρχικό. Τέλος, ακόμα ένα θετικό της συσκευής είναι το σχετικά χαμηλό κόστος της που συνολικά είναι περίπου 200 ευρώ.

Παρόλα αυτά, έχει και κάποιους περιορισμούς σε σχέση με την επιθυμητή συντήρηση. Οι αισθητήρες του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι αρκετά ευαίσθητοι και απαιτούν καθαρίσμα με απιονισμένο νερό και στέγνωμα μετά από την ολοκλήρωση κάθε πειράματος. Επίσης δεν πρέπει οι δύο αισθητήρες να μένουν συνδεδεμένοι με τους

μετατροπείς σήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να τους διαπερνά ηλεκτρικό ρεύμα. Οι περιορισμοί αυτοί έχουν σαν αποτέλεσμα ο ερευνητής να χρειάζεται να κάνει τη διαδικασία του καθαρισμού με απιονισμένο νερό πριν και μετά από κάθε πείραμα. Επιπλέον, ο αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρειάζεται προσοχή στα σημεία επικάλυψης με πλατίνα των ηλεκτροδίων, γεγονός που περιορίζει τη συνολικά ανθεκτικότητα της συσκευής. Τέλος, σε περίπτωση που ο αισθητήρας του pH μείνει για καιρό αχρησιμοποίητος απαιτείται η παραμονή του για οχτώ ώρες σε διάλυμα που συστήνει ο κατασκευαστής για την σωστή επαναενεργοποίηση του ηλεκτροδίου.

6.2 Μελλοντική έρευνα

Όπως έχει αναφερθεί, η συσκευή αυτή, έγινε με σκοπό την παρακολούθηση και τη συσχέτιση της ποιότητας του βρόχινου νερού με την ποιότητα του αέρα. Έτσι, δημιουργείται η ευκαιρία για έρευνα σχετικά με την κατασκευή ενός κελύφους, το οποίο θα προστατεύει τα μη αδιάβροχα τμήματα της συσκευής και θα συμβάλει στον έλεγχο της ροής του δείγματος, για την αποτελεσματική συλλογή δειγμάτων. Αυτό θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να αξιοποιούνται τα χαρακτηριστικά που η συσκευή σχεδιάστηκε να έχει σε όλο τους το εύρος. Για να επιτευχθεί ένας καλός σχεδιασμός του εξωτερικού περιβλήματος, απαιτείται η εκτενής μελέτη του φαινομένου της βροχής και της κατακρήμνισης των αέριων ρύπων.

Οι προεκτάσεις θα είναι πολύ ουσιώδεις στην κατεύθυνση της προστασίας του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα θα μπορεί ίσως, να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τα φαινόμενα της εποχιακής και πρώτης κατακρήμνισης σε σχέση με την ποιότητα του αέρα μιας περιοχής. Ακόμα θα μπορούσε να γίνει έρευνα για την αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της συσκευής και σε άλλα πεδία, όπως για παράδειγμα, σε χείμαρρους όμβριων υδάτων.

Επίσης, παρά την εκτενή έρευνα που έχει ξεκινήσει για την ανάπτυξη αισθητήρων με σκοπό την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, αρκετές παράμετροι είναι δύσκολο ακόμα να αξιολογηθούν με ακρίβεια ώστε να μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα για μεταβατικά φαινόμενα. Επίσης, οι αισθητήρες μερικών παραμέτρων, όπως του διαλυμένου οξυγόνου ή του δείκτη ORP (Oxidation/Reduction Potential) είναι αρκετά ακριβοί σε σχέση με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν. Επομένως, η περεταίρω έρευνα με σκοπό τη μείωση του κόστους, την αξιοπιστία των μετρήσεων και την μείωση των απαιτήσεων βαθμονόμησης των αισθητήρων

θα βοηθούσε σημαντικά στην κατασκευή συσκευών για την ανάλυση της ποιότητας του νερού

Βιβλιογραφία

- [1] Alimorong, F. M. L. S., Apacionado, H. A. D., & Villaverde, J. F. (2020, December). *Arduino-based multiple aquatic parameter sensor device for evaluating pH, turbidity, conductivity and temperature*. In *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)* (pp. 1-5). IEEE.
[https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9400145?casa_token=5_a1xII_ivUAAAAA:KETUhgct9pOrG7cJeHkGCYcyCSNWjmOiLJV36-PYBZCpsIMwzqNWYXSS7FrpBrkH5NuWMWs3XKw, Ανακτήθηκε 10/3/2024].
- [2] Ijaradar, J., & Chatterjee, S. (2018). Real-time water quality monitoring system. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(3), 1166-1171. [<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://xilirprojects.com/wp-content/uploads/2023/01/35.-Real-Time-Water-Quality-Monitoring-System.pdf>, Ανακτήθηκε 10/3/2024].
- [3] Qin, Y., Alam, A. U., Pan, S., Howlader, M. M., Ghosh, R., Hu, N. X., ... & Deen, M. J. (2018). *Integrated water quality monitoring system with pH, free chlorine, and temperature sensors*. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255, 781-790.
[<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400517314028>, Ανακτήθηκε 10/3/2024].
- [4] Ντόγκας, Ν. (2020). *Ανάπτυξη συστήματος αισθητήρων για τη μέτρηση της ποιότητας νερού με βάση τη θολότητα, το pH, την αγωγιμότητα και τη θερμοκρασία*, Διπλωματική εργασία, σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π.
- [5] Yaroshenko, I., Kirsanov, D., Marjanovic, M., Lieberzeit, P. A., Korostynska, O., Mason, A., ... & Legin, A. (2020). *Real-time water quality monitoring with chemical sensors*. *Sensors*, 20(12), 3432. [<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3432> ,Ανακτήθηκε 1/3/2024].
- [6] Omer, N. H. (2019). *Water quality parameters*. *Water quality-science, assessments and policy*, 18, 1-34.
[https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=CBf9DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=water+quality+parameters&ots=wzhV6jk1w_&sig=KWRL2jkDnK8jZlIXnP_LnFOo8yo&redir_esc=y#v=onepage&q=water%20quality%20parameters&f=false, Ανακτήθηκε 1/3/2024].
- [7] Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). *Water quality assessment in terms of water quality index*. *American Journal of water resources*, 1(3), 34-38.[chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/68284301/Water_Quality_Assessment_in_Terms_of_Wat20210724-4216-1hpqdkq.pdf?1627122451=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DWater_Quality_Assessment_in_Terms_of_Wat.pdf&Expires=1718378487&Signature=ElxmpxWstSIN5UJYthXKN4BSufvHiktY1BZ0jtYvCq0wMEyBXxqkBnzHRLkclU5FT9qnyVvhNbggLmxN8MWUofsTiyt2aola5x~J3SLzbJmT8PmMfNzinC7IMbh1fZ3UuZpqO1VWlQNd5ROuuHGbnTsVux9j3fLPmb3zEN8Z07ibcw8BmBXOAHJu0AwwLjELprExsf1yRTTWEK3swoolJQ93X4LffauvXN2MUvFI8hrrLYEh~gn-1iW5G1yVDeZ-wVnzKQB5un04qaXF~AV44Qqq3soLs6i-Rv8bzbBueDRqe5RPCZprPuK63npmkxkmXozzy1x4F4D~LHYGcLeKw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA, Ανακτήθηκε 1/3/2024]
- [8] DFROBOT Wiki, Gravity Electrical Conductivity Sensor SKU DFRO300-H
[https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Electrical_Conductivity_Sensor_Meter_K=10_SKU_DFRO300-H, Ανακτήθηκε 15/3/2024].

- [9] DFROBOT Wiki, Analog Industrial pH Sensor / Meter Pro Kit V2
[<https://www.dfrobot.com/product-2069.html>, Ανακτήθηκε 15/3/2024]
- [10] DFROBOT Wiki, Analog Turbidity Sensor SKU SEN0189
[https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189, Ανακτήθηκε 15/3/2024].
- [11] DFROBOT Wiki, Waterproof DS18B20 Temperature Sensor SKU DFR0198
[https://wiki.dfrobot.com/Waterproof_DS18B20_Digital_Temperature_Sensor__SKU_DFR0198__, Ανακτήθηκε 15/3/2024].
- [12] Manoharan, Aaruththiran & Yujia, Zhang & Bagherian, Mohammad. (2019). *Smartphone-based Real-Time Water Quality Monitoring System*.
[https://www.researchgate.net/publication/332913052_Smartphone-based_Real-Time_Water_Quality_Monitoring_System, Ανακτήθηκε 8/5/2024].
- [13] Arduino CC, ARDUINO UNO WiFi REV2, [<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2>, Ανακτήθηκε 10/3/2024].
- [14] DFROBOT Wiki, Terminal sensor adapter V2 SKU DFR0055, [[Wiki Gravity:Terminal Sensor Adapter V2.0-DFRobot](#), Ανακτήθηκε 11/3/2024].
- [15] Pixel Electric, Breadboard 830 Point Solderless MB102,
[<https://www.pixelectric.com/instruments-tools/wire-and-cables/bread-pcb-board-copper-clad/breadboard-830-point-solderless-mb102/>, ανακτήθηκε 10/3/2024].
- [16] Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). *A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality*. Ecological Indicators, 122, 107218.
[<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20311572>, 10/3/2024].
- [17] Poonam, T., Tanushree, B., & Sukalyan, C. (2013). *Water quality indices-important tools for water quality assessment: a review*. International Journal of Advances in chemistry, 1(1), 15-28.
[chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Tanushree-Bhattacharya-3/publication/262730848_Water_quality_indices-_important_tools_for_water_quality_assessment_a_review/links/00463538b5584c053a000000/Water-quality-indices-important-tools-for-water-quality-assessment-a-review.pdf,10/3/2024]
- [18] Lezzar, F., Benmerzoug, D., & Kitouni, I. (2020). *IoT for monitoring and control of water quality parameters*. [<https://www.learntechlib.org/p/217807/>, Ανακτήθηκε 28/2/2024].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Αναλυτικά αποτελέσματα 1^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (1-35).

A	B	C	D	E
created_at	Αριθμός μέτρησης	θερμοκρασία	Θολότητα, pH	
2024-06-11 19:15:47 UTC	1	25.00	0.00	0.00
2024-06-11 19:16:03 UTC	2	25.00	0.00	0.00
2024-06-11 19:16:22 UTC	3	26.75	0.00	7.19
2024-06-11 19:16:42 UTC	4	26.75	0.00	7.17
2024-06-11 19:17:03 UTC	5	26.75	0.00	7.19
2024-06-11 19:17:24 UTC	6	26.81	0.00	7.17
2024-06-11 19:17:43 UTC	7	26.81	0.00	7.17
2024-06-11 19:18:04 UTC	8	26.81	1058.08	7.11
2024-06-11 19:18:24 UTC	9	26.81	1227.46	7.25
2024-06-11 19:18:44 UTC	10	26.81	911.04	7.11
2024-06-11 19:19:04 UTC	11	26.81	999.91	7.14
2024-06-11 19:19:24 UTC	12	26.75	1143.73	7.06
2024-06-11 19:19:45 UTC	13	26.81	1402.26	6.78
2024-06-11 19:20:05 UTC	14	26.75	1428.35	7.06
2024-06-11 19:20:24 UTC	15	26.81	1517.97	7.17
2024-06-11 19:20:44 UTC	16	26.75	1861.34	7.11
2024-06-11 19:21:05 UTC	17	26.69	1915.99	7.19
2024-06-11 19:21:25 UTC	18	26.69	1805.35	7.19
2024-06-11 19:21:44 UTC	19	26.69	1689.36	7.22
2024-06-11 19:22:05 UTC	20	26.75	1665.52	7.17
2024-06-11 19:22:25 UTC	21	26.69	2031.51	7.28
2024-06-11 19:22:45 UTC	22	26.63	2071.91	7.28
2024-06-11 19:23:05 UTC	23	26.63	2021.27	7.25
2024-06-11 19:23:26 UTC	24	26.63	2000.65	7.36
2024-06-11 19:23:46 UTC	25	26.63	2091.79	6.97
2024-06-11 19:24:06 UTC	26	26.63	2140.55	7.03
2024-06-11 19:24:27 UTC	27	26.69	2111.46	7.03
2024-06-11 19:24:48 UTC	28	26.69	2261.07	7.11
2024-06-11 19:25:08 UTC	29	26.63	2261.07	7.36
2024-06-11 19:25:29 UTC	30	26.56	2459.80	7.17
2024-06-11 19:25:49 UTC	31	26.63	2187.98	7.56
2024-06-11 19:26:09 UTC	32	26.63	2330.74	7.22
2024-06-11 19:26:30 UTC	33	26.63	2355.98	7.19
2024-06-11 19:26:50 UTC	34	26.63	2187.98	7.53

Πίνακας 2: Αναλυτικά αποτελέσματα 1^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (36-54).

A	B	C	D	E
2024-06-11 19:27:31 UTC	36	26.63	2405.02	7.75
2024-06-11 19:27:51 UTC	37	26.56	2482.48	7.56
2024-06-11 19:28:10 UTC	38	26.63	2388.89	7.53
2024-06-11 19:28:36 UTC	39	26.63	2313.65	7.69
2024-06-11 19:28:56 UTC	40	26.69	2322.22	7.81
2024-06-11 19:29:16 UTC	41	26.69	2330.74	7.56
2024-06-11 19:29:37 UTC	42	26.69	2396.99	7.56
2024-06-11 19:30:00 UTC	43	26.69	2489.93	7.64
2024-06-11 19:30:20 UTC	44	26.63	2682.71	7.44
2024-06-11 19:30:41 UTC	45	26.69	2711.40	7.42
2024-06-11 19:31:01 UTC	46	26.69	2413.01	7.69
2024-06-11 19:31:24 UTC	47	26.69	2459.80	7.69
2024-06-11 19:31:48 UTC	48	26.69	2459.80	7.69
2024-06-11 19:32:09 UTC	49	26.69	2614.89	7.44
2024-06-11 19:32:28 UTC	50	26.63	2664.86	7.47
2024-06-11 19:32:48 UTC	51	26.69	2640.30	7.75
2024-06-11 19:33:09 UTC	52	26.69	2595.26	7.75
2024-06-11 19:33:29 UTC	53	26.69	2588.62	7.72
2024-06-11 19:33:49 UTC	54	26.69	2676.82	7.50

Πίνακας 3: Αναλυτικά αποτελέσματα 2^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (1-34).

A	B	C	D
created_at	Αριθμός μέτρησης	Θερμοκρασία	Αγωγιμότητα
2024-06-08 17:38:25 UTC	1	25.00	0.00
2024-06-08 17:38:45 UTC	2	26.81	0.00
2024-06-08 17:39:06 UTC	3	26.81	0.00
2024-06-08 17:39:25 UTC	4	26.81	0.00
2024-06-08 17:39:46 UTC	5	26.63	11.35
2024-06-08 17:40:06 UTC	6	26.75	3.27
2024-06-08 17:40:25 UTC	7	26.75	5.79
2024-06-08 17:40:46 UTC	8	26.75	7.55
2024-06-08 17:41:06 UTC	9	26.75	7.55
2024-06-08 17:41:26 UTC	10	26.75	5.79
2024-06-08 17:41:45 UTC	11	26.75	8.05
2024-06-08 17:42:06 UTC	12	26.81	7.04
2024-06-08 17:42:26 UTC	13	26.81	8.80
2024-06-08 17:42:45 UTC	14	26.81	6.53
2024-06-08 17:43:06 UTC	15	26.81	8.29
2024-06-08 17:43:26 UTC	16	26.81	6.28
2024-06-08 17:43:45 UTC	17	26.81	7.54
2024-06-08 17:44:06 UTC	18	26.81	6.78
2024-06-08 17:44:26 UTC	19	26.88	5.52
2024-06-08 17:44:45 UTC	20	26.88	7.78
2024-06-08 17:45:05 UTC	21	26.88	7.28
2024-06-08 17:45:26 UTC	22	26.88	6.28
2024-06-08 17:45:45 UTC	23	26.88	9.54
2024-06-08 17:46:05 UTC	24	26.88	13.05
2024-06-08 17:46:26 UTC	25	26.88	14.06
2024-06-08 17:46:46 UTC	26	26.81	24.88
2024-06-08 17:47:06 UTC	27	26.69	29.97
2024-06-08 17:47:27 UTC	28	26.69	32.24
2024-06-08 17:47:48 UTC	29	26.69	32.99
2024-06-08 17:48:07 UTC	30	26.69	34.25
2024-06-08 17:48:27 UTC	31	26.69	33.25
2024-06-08 17:48:48 UTC	32	26.69	34.50
2024-06-08 17:49:09 UTC	33	26.69	34.25
2024-06-08 17:49:29 UTC	34	26.69	35.51

Πίνακας 4: Αναλυτικά αποτελέσματα 2^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (35-69).

A	B	C	D
2024-06-08 17:49:48 UTC	35	26.75	33.71
2024-06-08 17:50:08 UTC	36	26.75	35.72
2024-06-08 17:50:29 UTC	37	26.69	36.02
2024-06-08 17:50:48 UTC	38	26.63	39.33
2024-06-08 17:51:09 UTC	39	26.63	41.35
2024-06-08 17:51:29 UTC	40	26.63	43.37
2024-06-08 17:51:48 UTC	41	26.63	43.37
2024-06-08 17:52:08 UTC	42	26.63	43.62
2024-06-08 17:52:29 UTC	43	26.63	42.61
2024-06-08 17:52:49 UTC	44	26.69	43.07
2024-06-08 17:53:09 UTC	45	26.69	42.56
2024-06-08 17:53:30 UTC	46	26.69	42.56
2024-06-08 17:53:49 UTC	47	26.69	46.85
2024-06-08 17:54:09 UTC	48	26.63	47.91
2024-06-08 17:54:30 UTC	49	26.63	47.40
2024-06-08 17:54:50 UTC	50	26.63	48.16
2024-06-08 17:55:11 UTC	51	26.63	52.19
2024-06-08 17:55:31 UTC	52	26.63	49.67
2024-06-08 17:55:52 UTC	53	26.69	47.85
2024-06-08 17:56:11 UTC	54	26.69	47.60
2024-06-08 17:56:32 UTC	55	26.63	48.16
2024-06-08 17:56:52 UTC	56	26.69	48.61
2024-06-08 17:57:11 UTC	57	26.69	50.62
2024-06-08 17:57:31 UTC	58	26.69	50.62
2024-06-08 17:57:52 UTC	59	26.63	52.95
2024-06-08 17:58:11 UTC	60	26.63	52.95
2024-06-08 17:58:32 UTC	61	26.63	55.72
2024-06-08 17:58:52 UTC	62	26.63	53.20
2024-06-08 17:59:11 UTC	63	26.69	53.39
2024-06-08 17:59:32 UTC	64	26.69	52.64
2024-06-08 17:59:52 UTC	65	26.69	59.94
2024-06-08 18:00:11 UTC	66	26.69	59.19
2024-06-08 18:00:30 UTC	67	26.69	59.19
2024-06-08 18:00:50 UTC	68	26.75	60.38
2024-06-08 18:01:10 UTC	69	26.75	63.15

Πίνακας 5: Αναλυτικά αποτελέσματα 2^{ου} πειράματος με αριθμό δειγμάτων (70-91).

A	B	C	D
2024-06-08 18:01:30 UTC	70	26.75	59.62
2024-06-08 18:01:50 UTC	71	26.75	59.62
2024-06-08 18:02:10 UTC	72	26.75	59.87
2024-06-08 18:02:30 UTC	73	26.75	60.63
2024-06-08 18:02:50 UTC	74	26.75	61.89
2024-06-08 18:03:10 UTC	75	26.75	0.75
2024-06-08 18:03:30 UTC	76	26.75	64.15
2024-06-08 18:03:49 UTC	77	26.75	64.40
2024-06-08 18:04:10 UTC	78	26.75	65.41
2024-06-08 18:04:31 UTC	79	26.75	66.67
2024-06-08 18:04:51 UTC	80	26.75	65.41
2024-06-08 18:05:10 UTC	81	26.81	69.11
2024-06-08 18:05:31 UTC	82	26.81	66.09
2024-06-08 18:05:51 UTC	83	26.81	65.84
2024-06-08 18:06:10 UTC	84	26.88	65.77
2024-06-08 18:06:31 UTC	85	26.81	66.84
2024-06-08 18:06:51 UTC	86	26.88	65.26
2024-06-08 18:07:10 UTC	87	26.81	66.59
2024-06-08 18:07:31 UTC	88	26.81	68.10
2024-06-08 18:07:52 UTC	89	26.81	67.60
2024-06-08 18:08:11 UTC	90	26.81	69.36
2024-06-08 18:08:31 UTC	91	26.81	70.61

Τελικός κώδικας για το σύστημα μέτρησης της ποιότητας βρόχινου νερού:

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include "DFRobot_EC10.h"
#include <EEPROM.h>
#include <WiFiNINA.h>
#include <WiFiClient.h>

char ssid[] = "network SSID";    // write here the network SSID you want to
connect to
char pass[] = "Wi-Fi password";  // write here the password of Wi-Fi you want
to connect to

const char server[] = "api.thingspeak.com";
const char apiKey[] = "ThingSpeak API Key"; // Replace with your ThingSpeak
Write API Key
WiFiClient client;

#define PH_PIN A4 // pH sensor connected to analog pin A4
#define EC_PIN A2 // Electrical Conductivity to analog pin A2

#define ONE_WIRE_BUS 2 // Temperature sensor connected to digital pin 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

int sensorPin = A0; // Turbidity sensor connected to analog pin A0
float voltageNTU = 0;
float NTU = 0;

float voltageEC, ecValue, temperature = 25;
DFRobot_EC10 ec;

float voltage, pHValue;

float acidVoltage = 2065.4; // 2065.4 is the output of my pH sensor to a
buffer sol. of pH=4,01 at 25C
float neutralVoltage = 1538.1; // 1538.1 is the output of my pH sensor to a
buffer sol. of pH=7,01 at 25C
```

```

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    ec.begin();
    while (WiFi.begin(ssid, pass) != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Connecting to WiFi...");
    }
    Serial.println("Connected to WiFi");//Output to ensure the Wi-Fi connection
}

void loop() {
    static unsigned long timepoint = millis();
    if (millis() - timepoint > 10000U) { // time interval: 10s
        timepoint = millis();
        // Temperature
        temperature = readTemperature(); // read your temperature sensor to
execute temperature compensation
        //pH
        voltage = analogRead(PH_PIN) / 1024.0 * 5000.0; // read the voltage

        float slope = (7.0 - 4.0) / ((neutralVoltage - 1500) / 3.0 -
(acidVoltage - 1500) / 3.0); // because of the two point calibration
        float intercept = 7.0 - slope * (neutralVoltage - 1500) / 3.0;
        pHValue = slope * (voltage - 1500) / 3.0 + intercept;

        //Electrical Conductivity
        voltageEC = analogRead(EC_PIN)/1024.0*5000;
        ecValue = ec.readEC(voltageEC,temperature);

        // Turbidity
        int sensorValue = analogRead(sensorPin);
        voltageNTU = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
        // The if,else if, else is because of the mathematical expression of
the manufacturer
        if (voltageNTU<2.5){
            NTU=3000;
        }
        else if (voltageNTU>4.2) {
            NTU=0;
        }
        else {
            NTU = -1120.4*square(voltageNTU)+5742.3*voltageNTU-4352.9;
        }
    }
}

```



```

        //Outputs to serial monitor of the measured parameters and the sensor
voltage outputs
        Serial.print("NTU Voltage: ");
        Serial.print(voltageNTU);
        Serial.print(" NTU: ");
        Serial.println(NTU);
        Serial.print("pH voltage:");
        Serial.print(voltage, 1);
        Serial.print(" pH:");
        Serial.println(phValue, 2);
        Serial.print("temperature:");
        Serial.print(temperature,1);
        Serial.print("^C");
        Serial.print("\n");
        Serial.print("EC voltage:");
        Serial.print(voltageEC, 1);
        Serial.print(" EC:");
        Serial.print(ecValue,1);
        Serial.println("mS/cm");
        Serial.print("\n");
        delay(7000);
    }

    if (client.connect(server, 80)) {

        String url = "/update?api_key=" + String(apiKey)
            + "&field1=" + String(temperature)
            + "&field2=" + String(NTU)
            + "&field3=" + String(phValue)
            + "&field4=" + String(ecValue);

        client.println("GET " + url + " HTTP/1.1");
        client.println("Host: api.thingspeak.com");
        client.println("Connection: close");
        client.println();

        while (client.connected()) {
            while (client.available()) {
                String line = client.readStringUntil('\r');
                Serial.print(line);
            }
        }

        client.stop();
        Serial.println("Data sent to ThingSpeak.");
    } else {
        Serial.println("Connection to server failed.");
    }
}

```



```

    }

    delay(10000);

}

float readTemperature()
{
//Function for the Temperature

    sensors.requestTemperatures();

    float tempC = sensors.getTempCByIndex(0);
    return tempC;

}

```

Αρχικά αφού συμπεριλήφθηκαν οι απαιτούμενες βιβλιοθήκες, πρέπει να δοθούν στοιχεία για τη σύνδεση της πλακέτας στο Wi-Fi, όπως προαναφέρθηκε δίνοντας το SSID και το password. Στη συνέχεια για τη σύνδεση με το ThinkSpeak απαιτείται το Write API key, που αντιστοιχεί σε κάθε χρήστη της πλατφόρμας. Μετά πρέπει να δηλωθούν τα Pin της πλακέτας στα οποία έχει συνδεθεί ο κάθε αισθητήρας και να οριστεί η μεταβλητή της εξόδου σήματος και της κάθε παραμέτρου. Οι γραμμές του κώδικα :

```

float acidVoltage = 2065.4;
float neutralVoltage = 1538.1;

```

αφορούν τη βαθμονόμηση διπλού σημείου για τον αισθητήρα pH. Το συγκεκριμένο μοντέλο αισθητήρα μπορεί να έχει απόκλιση $\pm 0,5$ pH από το ουδέτερο σημείο, αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί να γίνει βαθμονόμηση στον αισθητήρα ή να αντικατασταθεί, πρέπει να γίνει επαναπροσδιορισμός της ορθότητας των τιμών του σήματος εξόδου. Στο τμήμα του κώδικα «Void setup()», ορίζεται η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων επικοινωνίας με την πλακέτα σε BAUD και πρέπει να οριστεί ο ίδιος αριθμός στο Serial monitor. Επίσης, κάνει έναρξη της λειτουργίας του αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συνδέει την πλακέτα με το δίκτυο Wi-Fi. Αυτό το τμήμα κώδικα εκτελείται μια φορά στην αρχή. Στο επαναλαμβανόμενο τμήμα του κώδικα «Void loop», υπολογίζονται οι τιμές των μεταβλητών με βάση τα σήματα εξόδου και εμφανίζονται οι τιμές εξόδου των παραμέτρων καθώς και οι τιμές των παραμέτρων στο Serial monitor. Στη συνέχεια οι γραμμές του κώδικα

```
String url = "/update?api_key=" + String(apiKey)
    + "&field1=" + String(temperature)
    + "&field2=" + String(NTU)
    + "&field3=" + String(phValue)
    + "&field4=" + String(phValue)
```

δημιουργούν το URL της σελίδας του ThinkSpeak με βάση το API key, καθώς και τις τιμές των παραμέτρων με τα Fields που έχουν οριστεί στην πλατφόρμα έτσι ώστε να αποσταλούν στο ThinkSpeak. Ο αριθμός των Fields Πρέπει να είναι ίδιος με τον αριθμό των values που έχουν οριστεί στο ThinkSpeak. Τέλος αφού διαβαστούν οι τιμές των παραμέτρων της ποιότητας του βρόχινου νερού στέλνονται για να παρουσιαστούν στο ThinkSpeak σε πραγματικό χρόνο.