



«Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας (ΣΘΕΤ)»

«Πληροφορικής»

Πτυχιακή Εργασία

«Παρακολούθηση στάθμης αποθετήρων νερού για χρήση τους σε
πυρόσβεση δασών»

Άγγελος-Αντώνιος Καπτανής

Επιβλέπων καθηγητής: Αθανάσιος Κακαρούντας

Πάτρα, Ιούνιος 2025

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Παρακολούθηση στάθμης αποθετήρων νερού για χρήση τους σε
πυρόσβεση δασών»

«Άγγελος-Αντώνιος Καπτανής»

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αθανάσιος Κακαρούντα

Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πάτρα, Ιούνιος 2025

«Ευχαριστίες ή Αφιέρωση»

Θα ήθελα να εκφράσω την ευλικρινή μου ευγνωμοσύνη στους γονείς μου, για την αδιάκοπη στήριξη, την αγάπη και την υπομονή που μου έδειξαν σε κάθε βήμα αυτής της πορείας.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αθανάσιο Κακαρούντα, για την καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθειά του και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός αυτόνομου και χαμηλού κόστους συστήματος παρακολούθησης της στάθμης αποθετηρών νερού σε δασικές περιοχές για την ενίσχυση των δυνατοτήτων πυρόσβεσης. Το σύστημα αποσκοπεί στην αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων, οι οποίοι είναι κρίσιμοι για την πρόληψη και την καταπολέμηση δασικών πυρκαγιών. Η λειτουργία του βασίζεται σε τεχνολογίες Internet of Things (IoT) και cloud computing, επιτρέποντας εξ αποστάσεως έλεγχο και απεικόνιση των δεδομένων στάθμης σε πραγματικό χρόνο μέσω ασύρματης επικοινωνίας GSM/GPRS.

Για την υλοποίηση του συστήματος εξετάζονται και εναλλακτικοί τρόποι προσέγγισης, προκειμένου να διασφαλιστεί η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα του σε διαφορετικές περιβαλλοντικές και λειτουργικές απαιτήσεις, χωρίς να περιορίζεται σε μία μόνο τεχνική λύση. Η υλοποίηση περιλαμβάνει την επιλογή κατάλληλων αισθητήρων στάθμης νερού, όπως υπερηχητικούς ή ηλεκτρονικούς, οι οποίοι είναι ικανοί να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις υπό διάφορες καιρικές συνθήκες. Η πλατφόρμα μικροελεγκτή που χρησιμοποιείται επιτρέπει τη σύνδεση και επικοινωνία με αισθητήρες και άλλες συσκευές, διασφαλίζοντας τη διαρκή παρακολούθηση της στάθμης και την αυτόματη αποστολή ειδοποιήσεων σε περίπτωση που οι στάθμες πέσουν κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο.

Το σύστημα υποστηρίζεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ και μπαταρίες, εξασφαλίζοντας την αυτόνομη λειτουργία του χωρίς εξάρτηση από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Τα σημεία άντλησης νερού πρέπει να είναι αυτόνομα, ώστε να μην υποβάλλονται συχνά σε τακτικούς ελέγχους, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμα από τα πυροσβεστικά οχήματα.

Η εργασία παρέχει δυνατότητες οπτικοποίησης των δεδομένων σε περιβάλλον cloud, με γραφήματα και ιστορικές αναφορές, συμβάλλοντας σημαντικά στη λήψη αποφάσεων κατά την αντιπυρική περίοδο. Η ανάλυση δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των στρατηγικών διαχείρισης των αποθεμάτων νερού και να ενισχύσει την ετοιμότητα των υπηρεσιών πυρόσβεσης. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από δασικές υπηρεσίες και τοπικούς φορείς, παρέχοντας έγκαιρη ενημέρωση για τα αποθέματα νερού και την κατάσταση των πυροσβεστικών πόρων.

Με την εφαρμογή της τεχνολογίας IoT, το σύστημα αυτό θα συμβάλει στην ευαισθητοποίηση των τοπικών κοινοτήτων σχετικά με τη σημασία της διαχείρισης νερού, προάγοντας τη συνεργασία για την προστασία των δασικών οικοσυστημάτων.

Μέχρι στιγμής, η Πυροσβεστική Υπηρεσία της Ελληνικής Δημοκρατίας δεν διαθέτει αυτά τα συστήματα, τα οποία θα μπορούσαν να αποδειχθούν εξαιρετικά χρήσιμα στην πρόληψη και αντιμετώπιση πυρκαγιών. Η εργασία αυτή θα αναδείξει τη σημασία της τεχνολογίας στην αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων που αφορούν την πυρασφάλεια και θα προσφέρει πολύτιμα διδάγματα για μελλοντικές εφαρμογές και έρευνες στον τομέα αυτό, υπογραμμίζοντας την αναγκαιότητα για καινοτόμες λύσεις στη σύγχρονη εποχή.

Λέξεις – Κλειδιά

Internet of Things (IoT), Arduino, ασύρματη επικοινωνία GSM/GPRS, πυρασφάλεια

Abstract

The present thesis focuses on the development of an autonomous and low-cost system for monitoring the water level of reservoirs in forest areas, aiming to enhance firefighting capabilities. The system seeks to enable effective management of water resources, which are critical for the prevention and suppression of wildfires. Its operation is based on Internet of Things (IoT) and cloud computing technologies, allowing remote monitoring and real-time visualization of water level data via GSM/GPRS wireless communication. Alternative approaches are also considered for the system's implementation to ensure its flexibility and adaptability to different environmental and operational requirements, without being limited to a single technical solution. The implementation involves the selection of appropriate water level sensors, such as ultrasonic or electronic ones, capable of providing accurate measurements under various weather conditions. The chosen microcontroller platform supports connection and communication with sensors and other devices, ensuring continuous water level monitoring and automatic notification when the levels fall below a predefined threshold. The system is powered by renewable energy sources, such as photovoltaic panels and batteries, ensuring autonomous operation without reliance on the electricity grid. The water extraction points must operate independently, minimizing the need for frequent inspections, while also being easily accessible to firefighting vehicles. The project enables the visualization of data in a cloud environment through graphs and historical reports, significantly supporting decision-making during the fire season. Data analysis can contribute to improving water stock management strategies and enhancing the readiness of firefighting services. The system can be utilized by forestry services and local authorities, providing timely updates on water reserves and the status of firefighting resources. Through the application of IoT technology, this system will also raise awareness among local communities regarding the importance of water management, promoting collaboration for the protection of forest ecosystems. Currently, the Hellenic Fire Service does not utilize such systems, which could prove extremely useful for wildfire prevention and response. This thesis highlights the importance of technology in addressing modern fire safety challenges and offers valuable insights for future applications and research in this field, emphasizing the necessity of innovative solutions in today's world.

Keywords:

Internet of Things (IoT), Arduino, wireless communication GSM/GPRS, fire safety

Περιεχόμενα

Περίληψη	vii
Abstract	xiii
Περιεχόμενα	viii
Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης	xi
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	x
Κατάλογος Πινάκων	xiii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xv
1. Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Χρησιμότητα Αποθετηρίων Νερού	2
1.2.1 Χωριτικότητα και Υλικά Κατασκευής Αποθετηρίων - Υδατοδεξαμενών	6
1.2.2 Μέθοδοι Ανεφοδιασμού	7
1.2.3 Συντήρηση και Παρακολούθηση των Δεξαμενών	8
1.3 Παρακολούθηση στάθμης υγρών με αισθητήρες	8
1.3.1 Είδη Αισθητήρων	9
1.3.2 Σύνδεση αισθητήρων με ψηφιακά συστήματα	23
1.3.3 Απαιτήσεις Α.Κ.Σ. στην ύπαιθρο	31
1.3.4 Συμπεράσματα	34
2. Κεφάλαιο 2:Σκοπός της Βιβλιογραφικής Έρευνας	36
2.1 Καταγραφή Απαιτήσεων	36
2.1.1 Λειτουργικές Απαιτήσεις	37
2.1.1.1 Καταγραφή Δεδομένων	37
2.1.1.2 Αποθήκευση Δεδομένων	38
2.1.1.3 Απεικόνιση Δεδομένων	39
2.1.1.4 Υποστήριξη Πολλαπλών Χρηστών και Συσκευών	41
2.1.1.5 Ειδοποιήσεις μέσω Δεδομένων	42
2.1.2 Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις	44
2.1.2.1 Αξιοπιστία	44
2.1.2.2 Ασφάλεια	46
2.1.2.3 Απόδοση	47
2.2 Επικοινωνία του Συστήματος	49
2.3 Πρόταση Επίλυσης	51
2.3.1 Τοπολογία	51
2.3.2 Συστατικά Στοιχεία	53
2.3.3 Λειτουργία του Συστήματος	53
2.3.4 Επικοινωνία μεταξύ Στοιχείων	53
2.4 Περιπτώσεις Χρήσης για την Προτεινόμενη Λύση	54
2.4.1 Σενάρια Καλής Λειτουργίας	54
2.4.2 Σενάρια Επικοινωνίας	54
2.4.3 Σήματα Ειδοποίησης	55
2.4.4 Διαχείριση Καταστάσεων	55
2.4.5 Προτεινόμενες Λύσεις και Επόμενα Βήματα	56
3. Κεφάλαιο 3:Αρχική Υλοποίηση	58
3.1 Υλικό (Hardware) της Υλοποίησης	58
3.1.1 Μοντέλα Arduino	58
3.1.2 Μοντέλα Υπερηχητικών αισθητήρων για Arduino	63
3.1.3 Μοντέλα GSM για Arduino	66
3.1.4 Συστήματα Ενέργειας (μπαταρία,ηλιακό πάνελ) για Arduino	71

3.1.4.1 Ηλιακό Πάνελ (φωτοβολταϊκά)	71
3.1.4.2 Αποθήκευση ενέργειας (μπαταρίες)	73
3.2 Αρχιτεκτονική του Συστήματος	77
3.2.1 Περιγραφή της γενικής αρχιτεκτονικής	77
3.2.2 Ανάπτυξη και Ανάλυση της Αρχιτεκτονικής	84
3.3 Λογισμικό (Software) της Υλοποίησης	91
3.3.1 Arduino IDE (Integrated Development Environment).....	91
3.3.2 Arduino Cloud	93
3.3.3 PlatformIO	96
3.3.4 Visual Studio Code (VS code).....	98
3.3.5 Tinkercard.....	100
3.4 Εργαλεία Ανάπτυξης και Δοκιμών.....	103
3.4.1 Ψηφιακή Υλοποίηση του Ultrasonic Sensor	103
3.4.2 Ψηφιακή Υλοποίηση του 900 GSM Shield.....	105
3.5 Αξιολόγηση Ψηφιακής Υλοποίησης.....	109
3.1.1 Σύγκριση με τις απαιτήσεις του 2 ^{ου} Κεφαλαίου	109
3.1.1 Επίτευξη Στόχων & Επόμενα Βήματα	110
4. Κεφάλαιο 4: Τελική Υλοποίηση & Αξιολόγηση	113
4.1 Ανάπτυξη και Εφαρμογή.....	113
4.1.1 Ενσωμάτωση του GSM Shield 900.....	114
4.1.2 Ενσωμάτωση στο Arduino Cloud	114
4.1.3 Επαναπροσδιορισμός απαιτήσεων	116
4.1.3.1 Εναλλακτική χρήση Ubidots.....	117
4.1.3.2 Εναλλακτική χρήση μπαταρίας κλειστού τύπου	118
4.1.4 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση της Υλοποίησης.....	119
4.2 Εναλλαγή Υλικού Υλοποίησης	127
4.2.1 Γνωριμία με την πλακέτα MKR NB 1500.....	127
4.2.2 Εφαρμογή Τελικής Υλοποίησης	133
4.2.3 Κατανάλωση ενέργειας MKR NB 1500.....	139
4.2.4 Αξιολόγηση Οπτικοποίησης Δεδομένων(Visualization)	145
4.2.5 Αξιολόγηση Τελικής Υλοποίησης	148
5. Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα & Μελλοντικές Βελτιώσεις	153
Βιβλιογραφία.....	156
Παράρτημα Α: Κώδικας Υλοποίησης Arduino Ultra Sonic Sensor	159
Παράρτημα Β: Κώδικας Υλοποίησης Arduino SMS warning	160
Παράρτημα Γ: Κώδικας Υλοποίησης Arduino Ubidots.....	161
Παράρτημα Α: Κώδικας Υλοποίησης Arduino MKR NB 1500 Υλοποίησης (1)	162
Παράρτημα Α: Κώδικας Υλοποίησης Arduino MKR NB 1500 Υλοποίησης (2)	163

Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης

Στάδιο / Ενότητα	Περιγραφή Εργασίας	Χρονικό Διάστημα	Παραδοτέα
1. Έναρξη και προγραμματισμός	Δημιουργία χρονοδιαγράμματος, έρευνα βιβλιογραφίας και σχεδιασμός της μελέτης.	1 ^η - 3 ^η εβδομάδα Έναρξη (01.10.2024)	Προκαταρκτικός πίνακας περιεχομένων, Λίστα βιβλιογραφίας.
2. Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	Συγγραφή της εισαγωγής, εξήγηση χρησιμότητας και αρχικών εννοιών.	3 ^η - 6 ^η εβδομάδα	Κεφάλαιο:1 (Διερεύνηση Απαιτήσεων)
3. Κεφάλαιο 2: Σκοπός της Βιβλιογραφικής Έρευνας	Ανάλυση απαιτήσεων και πρόταση λύσης για το σύστημα.	6 ^η - 8 ^η εβδομάδα	Κεφάλαιο 2 (Καταγραφή Απαιτήσεων, Πρόταση Επίλυσης)
4. Λειτουργικές Απαιτήσεις	Ανάλυση απαιτήσεων για καταγραφή, αποθήκευση, απεικόνιση, υποστήριξη πολλαπλών χρηστών/συσκευών, ειδοποιήσεις.	6 ^η - 8 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 2.1.1 - 2.1.5 (Λειτουργικές Απαιτήσεις)
5. Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις	Ανάλυση αξιοπιστίας, ασφάλειας και απόδοσης του συστήματος.	8 ^η - 10 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 2.1.2.1 - 2.1.2.3 (Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις)
6. Επικοινωνία του Συστήματος	Περιγραφή της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και χρήση τεχνολογιών	10 ^η - 12 ^η εβδομάδα	Υποενότητα 2.2 (Επικοινωνία του Συστήματος)
7. Πρόταση Επίλυσης και Περιπτώσεις Χρήσης	Προτεινόμενη λύση για την τοπολογία, τα συστατικά και τη λειτουργία του συστήματος, και επικοινωνία μεταξύ στοιχείων.	12 ^η - 14 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 2.3 - 2.4.5 (Πρόταση Επίλυσης)
8. Υλικό της Υλοποίησης	Ανάπτυξη του υλικού και επιλογή μοντέλων για Arduino, υπερηχητικούς αισθητήρες και GSM.	14 ^η - 16 ^η εβδομάδα	Κεφάλαιο 3 Υποενότητες 3.1 - 3.1.3 (Μοντέλα Arduino, Υπερηχητικοί αισθητήρες, GSM)
9. Αρχιτεκτονική του Συστήματος	Σχεδίαση και ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής του συστήματος και ανάλυση της γενικής δομής του.	16 ^η - 18 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 3.2 - 3.2.2 (Περιγραφή και Ανάλυση Αρχιτεκτονικής)
10. Λογισμικό της Υλοποίησης	Ανάπτυξη του λογισμικού με εργαλεία όπως Arduino IDE, Arduino Cloud, PlatformIO, και Visual Studio Code.	18 ^η - 20 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 3.3 - 3.3.5 (Arduino IDE, Arduino Cloud, PlatformIO, Visual Studio Code, Tinkercad)

11. Εργαλεία Ανάπτυξης & Δοκιμών	Ψηφιακή υλοποίηση και δοκιμές για τον υπερηχητικό αισθητήρα και το GSM shield.	20 ^η - 22 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 3.4 - 3.4.2 (Ψηφιακή Υλοποίηση Αισθητήρων και GSM)
12. Αξιολόγηση Υλοποίησης	Αξιολόγηση της ψηφιακής υλοποίησης και σύγκριση με τις απαιτήσεις του 2ου Κεφαλαίου.	22 ^η - 24 ^η εβδομάδα	Υποενότητα 3.5 (Αξιολόγηση Ψηφιακής Υλοποίησης)
13. Κεφάλαιο 4.1: Ανάπτυξη και Εφαρμογή	Ολοκλήρωση GSM Shield, ενσωμάτωση Arduino Cloud, αναθεώρηση απαιτήσεων, εναλλακτικές λύσεις, αποτελέσματα.	24 ^η – 27 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 4.1.1 - 4.1.4
14. Κεφάλαιο 4.2: Εναλλαγή Υλικού Υλοποίησης	Δοκιμή MKR NB 1500, τελική εφαρμογή, μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας, αξιολόγηση δεδομένων και συνολικής λύσης.	27 ^η – 31 ^η εβδομάδα	Υποενότητες 4.2.1 - 4.2.5
15. Κεφάλαιο 4.3: Μελλοντικές Βελτιώσεις-Τροποποιήσεις - Διορθώσεις	Συγγραφή μελλοντικών βελτιώσεων και προτάσεων, μικροδιορθώσεις κειμένου.	31 ^η – 32 ^η εβδομάδα Λήξη (14.05.2025)	Υποενότητα 4.3

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1-1 Εικόνα απο Αποθετήριο Νερού (Αγ.Μαρίνα-Λέσβος)	3
Εικόνα 1-2 Εικόνα απο Αποθετήριο Νερού (Αγ.Μαρίνα-Λέσβος)	3
Εικόνα 1-3 Εικόνα απο Υδατοδεξαμενές ανοιχτού τύπου (37.000 λίτρων).....	4
Εικόνα 1-4 Εικόνα απο Υδατοδεξαμενές κλειστού τύπου (25.000 λίτρων).....	4
Εικόνα 1-5 Εικόνα απο Υδατοδεξαμενή μεταλλική ανοιχτού τύπου (40.000 λίτρων)	5
Εικόνα 1-6 Εικόνα απο Υδατοδεξαμενή μεταλλική ανοιχτού τύπου (1.000.000 λίτρων) ...	5
Εικόνα 1-7 Αγωγιμότητα Αισθητήρα με το Νερό.....	10
Εικόνα 1-8 Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού (Water Conductivity Sensor)	11
Εικόνα 1-9 Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού (Raspberry Pi water sensor).....	11
Εικόνα 1-10 Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού (Arduino water sensor)	12
Εικόνα 1-11 Υγρόμετρο με Γυμνά Μεταλλικά Στρώματα (water moisture sensor).....	13
Εικόνα 1-12 Χωρητικός Αισθητήρας Υγρασίας (water moisture sensor).....	14
Εικόνα 1-13 Αισθητήρας Υπερηχητικός (ultrasonic sensor) HC-SR04.....	15
Εικόνα 1-14 Δεξαμενή νερού με χρήση Υπερηχητικού Αισθητήρα	16
Εικόνα 1-15 Αισθητήρας Υπερηχητικός (Arduino - HC-SR04).....	17
Εικόνα 1-16 Αισθητήρας Υπερηχητικός (Raspberry - HC-SR04).....	17
Εικόνα 1-17 Αισθητήρας Μαγνητικός float (magnetic float sensor).....	19
Εικόνα 1-18 Αισθητήρας Μαγνητικός float OFF & ON	19
Εικόνα 1-19 Αισθητήρας Μαγνητικός float σε Arduino	10
Εικόνα 1-20 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Νερού	22
Εικόνα 1-21 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Νερού σε Raspberry PI.....	22
Εικόνα 1-22 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Νερού σε Arduino	23
Εικόνα 1-23 Σύνθεση αισθητήρων με IoT.....	24
Εικόνα 1-24 NodeMCU(ESP8266) και Πομποδέκτης ESP8266.....	26
Εικόνα 1-25 SIM900A GPRS Module Interacing with Arduino Uno	27
Εικόνα 1-26 LoRa/LoRaWAN με Κεραία.....	28
Εικόνα 1-27 WiFi-BLE-LoRa-GSM.....	30
Εικόνα 2-1 Εικόνα από Dashboard Ubidots	40
Εικόνα 2-2 Εικόνα από Dashboard Arduino.....	40
Εικόνα 2-3 Εικόνα Υψομετρικού ανάγλυφου και Χάρτης Δασών της Λέσβου.....	50
Εικόνα 2-4 Εικόνα Στρατηγικής τοποθέτησης Δεξαμενών στο Δάσος.....	51
Εικόνα 3-1 Εικόνα Διαφορετικών Μοντέλων Arduino	60-61
Εικόνα 3-2 Εικόνα Διαφορετικών Ultrasonic sensors.....	65
Εικόνα 3-3 Εικόνα Διαφορετικών GSM/GPRS	68-69
Εικόνα 3-4 DC-DC Step Down Converter	72
Εικόνα 3-5 Μπαταρία Κλειστού Τύπου	74
Εικόνα 3-6 Μπαταρίες Λιθίου	75
Εικόνα 3-7 Εικόνα Εργαλείων που Χρησιμοποίησα για την Υλοποίηση	76
Εικόνα 3-8 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino	78
Εικόνα 3-9 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino (2)	79
Εικόνα 3-10 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino (3)	80
Εικόνα 3-11 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino(4)	81
Εικόνα 3-12 Συνδεσμολογία Πλακέτας Arduino με HC-SR04	84
Εικόνα 3-13 Συνδεσμολογία Πλακέτας Arduino με Ηλιακό Πάνελ	86
Εικόνα 3-14 Συνδεσμολογία Πλακέτας Arduino με Μπαταρίες	87
Εικόνα 3-15 Εικόνα Τελικής Συνδεσμολογίας του Έργου.....	90
Εικόνα 3-16 Εικόνα Υλοποίησης του Ultrasonic Sensor στο Tinkercard.....	105
Εικόνα 4-1 Κουμπί GSM Shield 900 για reset της σύνδεσης.....	115

Εικόνα 4-2 Αποτυχίας σύνδεσης με Arduino Cloud Dashboards	116
Εικόνα 4-3 Απαιτούμενη σύνδεση για επικοινωνία με Ubidots	118
Εικόνα 4-4 DC-DC Step Down Converter τύπου XL4015	119
Εικόνα 4-5 Σύνδεση με Ubidots & Αποστολή Δεδομένων	120
Εικόνα 4-6 Σύνδεση με Ubidots σε Android Τηλέφωνο	121
Εικόνα 4-7 Σύνδεση Τελικής Υλοποίησης	122
Εικόνα 4-8 Φωτοβολταϊκό Πάνελ 21 Watt.....	123
Εικόνα 4-9 Ρυθμιστής Ηλιακής Φόρτισης.....	124
Εικόνα 4-10 Αρχιτεκτονική πλακέτας MKR NB 1500	129
Εικόνα 4-11 Αποστολή Δεδομένων στο Serial Monitor	136
Εικόνα 4-12 Dashboard widgets για απεικόνιση των μετρήσεων (1)	137
Εικόνα 4-13 Dashboard widgets για απεικόνιση των μετρήσεων (2)	138
Εικόνα 4-14 Dashboard widgets από Android App	139
Εικόνα 4-15 Τελική Υλοποίηση Έργου.....	144
Εικόνα 4-16 Dashboard widgets με χρήση Map	146
Εικόνα 4-17 Ανάλυση μετρήσεων μέσω Tableau	147

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	
IoT	Internet of Things - Διαδίκτυο των πραγμάτων
A.K.S.	Αυτόματα Κατανεμημένα Συστήματα
BLE	Bluetooth
GSM	Global System for Mobile communication Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας
API	Application Programming Interface - Διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών
HTTP	Hypertext Transfer Protocol - Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport - Μεταφορά τηλεμετρίας σε ουρά μηνυμάτων
SSL	Secure sockets layer - Ασφαλές στρώμα υποδοχών
TLS	Transport layer security - Ασφάλεια επιπέδου μεταφοράς
ADC	Analog-to-Digital Converter - Μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό
OTA	Over the Air

1. Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Στην εποχή μας, η τεχνολογία έχει αναδειχθεί ως βασικός παράγοντας για την αποτελεσματική διαχείριση κρίσιμων καταστάσεων, όπως οι πυρκαγιές, που αποτελούν σοβαρή απειλή για τα οικοσυστήματα και τις κοινότητες. Τα σύγχρονα τεχνολογικά συστήματα και οι καινοτόμες λύσεις που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των πόρων, όπως οι δεξαμενές νερού και τα αποθετήρια, βοηθούν στην αποτελεσματική ανταπόκριση στις ανάγκες πυρόσβεσης. Με τη συνεχιζόμενη εξέλιξη της τεχνολογίας, η διαχείριση αυτών των πόρων καθίσταται πιο αποδοτική, εξασφαλίζοντας την έγκαιρη και αποτελεσματική ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

1.1 Γενικά

Η λειψυδρία και οι έντονες δασικές πυρκαγιές αποτελούν ολοένα αυξανόμενες προκλήσεις για τη σύγχρονη κοινωνία, ιδιαίτερα σε περιοχές με ξηρό κλίμα, όπως η Ελλάδα. Σύμφωνα με την έρευνα του IPCC, η ανθρώπινη κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει τη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι δασικές πυρκαγιές, οι οποίες προκαλούν εκτεταμένες ζημιές στη χλωρίδα, την πανίδα, την ανθρώπινη ζωή και τους υδάτινους πόρους (IPCC, 2021). Οι πυρκαγιές που πλήττουν τα δάση και τις φυσικές περιοχές δεν καταστρέφουν μόνο τον περιβάλλοντα χώρο, αλλά επηρεάζουν και την ανθρώπινη υγεία, τα εισοδήματα και τα μέσα διαβίωσης. Ακόμη, οι οικονομικές επιπτώσεις από τις δασικές πυρκαγιές είναι σημαντικές, καθώς οι καταστροφές σε δασικές εκτάσεις, καλλιέργειες και υποδομές απαιτούν τεράστιους πόρους για την αποκατάστασή τους, ενώ οι πυρκαγιές αυξάνουν τα κόστη στις υπηρεσίες πυρόσβεσης, τη συντήρηση των φυσικών πόρων και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος (Xerapadeas et al., 2024). Ένα μεγάλο ποσοστό πυρκαγιών προέρχεται από ανθρώπινη αμέλεια, όπως η καύση κλαδιών σε αγροτικές εργασίες, η απόρριψη αποτσίγαρων ή ακόμα και η χρήση εργαλείων που παράγουν σπινθήρες σε ξηρό έδαφος. Άλλες πυρκαγιές οφείλονται σε φυσικούς παράγοντες, με κυριότερη αιτία τους κεραυνούς κατά τη διάρκεια καταιγίδων (ξηρές καταιγίδες). Σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει άμεση πρόσβαση σε πηγές νερού, η διαθεσιμότητα δεξαμενών αποθεμάτων νερού είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική και άμεση καταπολέμηση των πυρκαγιών.

Η διαχείριση των αποθεμάτων νερού για σκοπούς πυρόσβεσης απαιτεί συνεχή έλεγχο της στάθμης τους και αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων. Με βάση τα δεδομένα της υπάρχουσας έρευνας, η εφαρμογή ενός αυτοματοποιημένου συστήματος παρακολούθησης της στάθμης των δεξαμενών νερού σε πραγματικό χρόνο μπορεί να προσφέρει κρίσιμη βοήθεια για την πρόληψη και την καταστολή πυρκαγιών. Όπως έχει αποδειχθεί, τέτοια συστήματα μπορούν να παρακολουθούν αξιόπιστα τη στάθμη και την κατανάλωση του νερού, ενώ παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση των αποθεμάτων, επιτρέποντας την άμεση αναγνώριση προβλημάτων ή δυσλειτουργιών στη χρήση των υδάτινων πόρων (Wu, Mao, Hu, & Shu, 2022).

1.2 Χρησιμότητα Αποθετηρίων νερού

Οι μακρές περίοδοι ξηρασίας και οι ήπιες χειμώνες των τελευταίων ετών έχουν επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τα δασικά οικοσυστήματα της Ελλάδας. Με τη μείωση της υγρασίας και την αποδυνάμωση των δασών, η πιθανότητα εκδήλωσης και ταχείας εξάπλωσης πυρκαγιών έχει αυξηθεί σημαντικά, γεγονός που θέτει τις δασικές περιοχές σε κατάσταση αυξημένου κινδύνου. Η εξασφάλιση επαρκών σημείων παροχής νερού σε κρίσιμες τοποθεσίες, όπως αποθετήρια νερού, είναι απαραίτητη για την άμεση επέμβαση των πυροσβεστικών δυνάμεων και την ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης σε περίπτωση πυρκαγιάς. Αυτές οι δομές αποτελούν στρατηγικές βάσεις εφοδιασμού νερού, επιτρέποντας στους πυροσβέστες να επιχειρούν με περισσότερη αποτελεσματικότητα.

Επιπρόσθετα, έχουμε τις υδατοδεξαμενές, συμβάλλουν επίσης καθοριστικά στη διαδικασία κατάσβεσης, καθώς γεμίζουν γρήγορα τα πυροσβεστικά οχήματα και υποστηρίζουν τον ανεφοδιασμό εναέριων μέσων, όπως τα ελικόπτερα, κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων.

Αυτές οι δεξαμενές είναι συχνά τοποθετημένες σε στρατηγικά σημεία μέσα στο δάσος και παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε ζωτικής σημασίας αποθέματα νερού. Σημαντικό είναι, επιπλέον, να υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης της διαθέσιμης ποσότητας νερού σε κάθε δεξαμενή, ώστε να εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα των πόρων σε κρίσιμες στιγμές και να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία των επιχειρήσεων κατάσβεσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. (ÇAĞRI ÖZKAN)



Εικόνα 1-1 Εικόνα απο Αποθετήριο Νερού (Αγ.Μαρίνα – Λέσβος)



Εικόνα 1-2 Εικόνα απο Αποθετήριο Νερού (Αγ.Μαρίνα – Λέσβος)



Εικόνα 1-3 Εικόνα από Υδατοδεξαμενές ανοιχτού τύπου (37.000 λίτρων)



Εικόνα 1-4 Εικόνα απο Υδατοδεξαμενές κλειστού τύπου (25.000 λίτρων)



Εικόνα 1-5 Εικόνα απο Υδατοδεξαμενή μεταλλική ανοιχτού τύπου (40.000 λίτρων)



Εικόνα 1-6 Εικόνα απο Υδατοδεξαμενή μεταλλική ανοιχτού τύπου (1.000.000 λίτρων)

1.2.1 Χωρητικότητα και Υλικά Κατασκευής Αποθετηρίων - Υδατοδεξαμενών

Τα αποθετήρια νερού από σκυρόδεμα αποτελούν μόνιμες και ανθεκτικές κατασκευές, κατάλληλες για τη μακροπρόθεσμη αποθήκευση νερού σε πυροπροστατευτικές περιοχές. Αυτά τα αποθετήρια συνήθως διαθέτουν χωρητικότητας έως και 1.000.000 λίτρων (Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος), το μέγεθος της κάθε δεξαμενής ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες των εκτάσεων σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η κατασκευή τους όμως είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και δαπανηρή, απαιτώντας τόσο προσεκτική μελέτη της τοποθεσίας όσο και σταθερά θεμέλια για τη μακροχρόνια αντοχή.

Αντίθετα, οι φορητές υδατοδεξαμενές προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτητα στην εγκατάσταση. Κατασκευασμένες από πλαστικό ή ανοξείδωτο μέταλλο, οι δεξαμενές αυτές μπορούν να είναι είτε κλειστού είτε ανοιχτού τύπου, με τις ανοιχτού τύπου να διευκολύνουν την ταχεία πρόσβαση των εναέριων μέσων, όπως τα ελικόπτερα, κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων κατάσβεσης. Η χωρητικότητά τους μπορεί να φτάσει έως και τα 1.000.000 λίτρα (1.000 τόνους) ανάλογα με τις ανάγκες (Aquastar, 2024). Η εγκατάστασή τους είναι απλή και μπορούν να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένες ή στρατηγικές περιοχές, καθιστώντας τις πολύτιμο πόρο για τη γρήγορη αντιμετώπιση της φωτιάς.

Ο συνδυασμός των σταθερών αποθετηρίων σκυροδέματος και των ευέλικτων φορητών υδατοδεξαμενών παρέχει στους διαχειριστές πυροπροστασίας τη δυνατότητα άμεσης πρόσβασης σε νερό, καλύπτοντας ταυτόχρονα ανάγκες για ταχύτερο ανεφοδιασμό τόσο για πυροσβεστικά οχήματα όσο και για εναέρια μέσα. Αυτή η διττή στρατηγική διασφαλίζει την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων και την προετοιμασία για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε απομακρυσμένες ή ιδιαίτερα ευάλωτες περιοχές.

1.2.1 Μέθοδοι Ανεφοδιασμού

Οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον ανεφοδιασμό των αποθετηρίων/δεξαμενών νερού είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων κατά την διάρκεια δασικών πυρκαγιών. Ορισμένες από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους περιλαμβάνουν:

1. Αντλίες Υψηλής Πίεσης: Αυτές οι αντλίες είναι σχεδιασμένες να αντλούν γρήγορα και αποδοτικά νερό από πηγές, όπως ποτάμια ή γεωτρήσεις. Μπορούν να

- εγκατασταθούν μόνιμα κοντά στα αποθετήρια/δεξαμενές ή να είναι φορητές, διευκολύνοντας τη μεταφορά τους σε περιοχές όπου απαιτείται. Η υψηλή πίεση που παρέχουν εξασφαλίζει ότι το νερό φτάνει γρήγορα και σε επαρκή ποσότητα.
2. Βυτιοφόρα Οχήματα: Αυτά τα οχήματα είναι αναγκαία για τη μεταφορά νερού από μακρινές πηγές, ειδικά σε περιοχές όπου οι φυσικές πηγές νερού είναι σπάνιες ή η πρόσβαση είναι περιορισμένη. Τα βυτιοφόρα είναι συχνά απαραίτητα σε περιπτώσεις που οι δεξαμενές βρίσκονται σε απομακρυσμένες τοποθεσίες και εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ποσότητα νερού. Συνήθως τα βυτιοφόρα οχήματα που κάνουν τον ανεφοδιασμό είναι του Πυροσβεστικού σώματος είτε της πολιτικής προστασίας
 3. Συλλογή Βρόχινου Νερού: Σε ορισμένες περιοχές, τα αποθετήρια/δεξαμενές είναι κατασκευασμένες ώστε να συλλέγουν βρόχινο νερό, παρέχοντας ένα εναλλακτικό και βιώσιμο πόρο, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια ξηρών εποχών. Αυτή η μέθοδος συνήθως περιλαμβάνει φίλτρα που διασφαλίζουν την καθαρότητα του νερού, κάνοντάς την μία από τις πιο οικολογικές λύσεις για την αποθήκευση νερού.

Αυτές οι τεχνολογίες και μέθοδοι είναι κρίσιμες για την καλή προετοιμασία και την άμεση ανταπόκριση στις ανάγκες που προκύπτουν από τις πυρκαγιές, εξασφαλίζοντας τη σωστή τροφοδοσία σε νερό εκεί που και όταν απαιτείται (Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος).

1.2.2 Συντήρηση και Παρακολούθηση των Δεξαμενών

Η συντήρηση και η παρακολούθηση των δεξαμενών νερού αποτελούν ζωτικά στοιχεία για την αποτελεσματική τους λειτουργία, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της πυροπροστατευτικής περιόδου, όταν η ανάγκη για επαρκείς προμήθειες νερού είναι μέγιστη. Η διασφάλιση ότι οι δεξαμενές είναι πάντα γεμάτες με επαρκή όγκο νερού είναι κρίσιμη, ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις ακόμη και στις πιο δύσκολες συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Οι συνεχείς, αυτόματες μετρήσεις στάθμης του νερού και τα προηγμένα συστήματα ειδοποίησης, που ενημερώνουν για οποιαδήποτε μείωση του επιπέδου νερού, αποτελούν αναπόσπαστο μέρος αυτής της διαδικασίας. Χάρη σε αυτά, η άμεση επέμβαση είναι δυνατή πριν το πρόβλημα κλιμακωθεί, προσφέροντας υψηλά επίπεδα ασφάλειας.

Παράλληλα, η τακτική επιθεώρηση και η φυσική συντήρηση εξασφαλίζουν ότι οι δεξαμενές παραμένουν σε άριστη κατάσταση και λειτουργικότητα. Αυτό περιλαμβάνει τον

καθαρισμό από φύλλα, σκόνη, λάσπη ή άλλες ακαθαρσίες που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού και τη μακροχρόνια λειτουργικότητα του εξοπλισμού. Επιπλέον, οι επιθεωρήσεις για τυχόν φθορές ή διαρροές είναι καθοριστικές, καθώς μικρές ρωγμές ή διαρροές μπορεί να προκύψουν από εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες, πάγος ή άλλες φυσικές επιδράσεις. Αυτές οι φθορές μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες απώλειες νερού, μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της δεξαμενής και αυξάνοντας την πιθανότητα αποτυχίας σε κρίσιμη στιγμή.

Η αξιοποίηση τεχνολογικών εργαλείων σε συνδυασμό με την τακτική συντήρηση εξασφαλίζει τη σταθερή ετοιμότητα των δεξαμενών νερού, προσφέροντας την απαραίτητη ασφάλεια και αποτελεσματικότητα στη διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων για την προστασία των δασών και των κοινοτήτων από πυρκαγιές.

1.3 Παρακολούθηση στάθμης υγρών με αισθητήρες

Η παρακολούθηση της στάθμης του νερού σε αποθετήρια νερού ή δεξαμενές αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματική πυρόσβεση σε δασικές περιοχές. Κατά τη διάρκεια πυρκαγιών, η δυνατότητα άμεσης πρόσβασης σε αποθέματα νερού για την κατάσβεση της φωτιάς μπορεί να είναι καθοριστική για την αποτροπή της εξάπλωσής της και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Στις απομακρυσμένες και δύσβατες δασικές περιοχές, όπου η πρόσβαση σε ανθρώπινο δυναμικό και εξοπλισμό μπορεί να είναι περιορισμένη, η ακριβής παρακολούθηση της στάθμης των αποθετηρίων νερού είναι απαραίτητη για την άμεση και αποτελεσματική επέμβαση.

Για την επίτευξη της συνεχούς παρακολούθησης των αποθετηρίων νερού, χρησιμοποιούνται σύγχρονα καταναμεμημένα αυτόνομα συστήματα, τα οποία επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της στάθμης του νερού. Μέσω της χρήσης προηγμένων αισθητήρων και τεχνολογιών τηλεμετρίας, τα δεδομένα από τα συστήματα παρακολούθησης μεταδίδονται σε κεντρικά συστήματα, δίνοντας στους υπεύθυνους πυρόσβεσης την πληροφορία που χρειάζονται για να διαχειριστούν τα αποθέματα νερού και να σχεδιάσουν τις ενέργειές τους.

Οι πυροσβεστικές υπηρεσίες συχνά απαιτούν τακτικές επιθεωρήσεις για να διασφαλίσουν ότι η πίεση και η ροή του νερού στις πυροσβεστικές αντλίες είναι εντός των κανονικών

ορίων, κάτι που καθιστά τις διαδικασίες επιθεώρησης πολύ χρονοβόρες και κοστοβόρες. Η ανάγκη για πιο αποτελεσματική και προληπτική παρακολούθηση μέσω νέων τεχνολογιών είναι επιτακτική (Wu *et al.*, 2022). Η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων απαιτεί τη συνδυασμένη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών για την ακριβή μέτρηση της στάθμης του νερού, την αποθήκευση και ανάλυση των δεδομένων, καθώς και την αξιόπιστη μετάδοσή τους σε απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου. Η αυτονομία αυτών των συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας, καθώς τα αποθετήρια νερού για πυρόσβεση βρίσκονται συχνά σε περιοχές χωρίς σταθερές υποδομές ή εύκολη πρόσβαση.

Επιπλέον, η χρήση αλγορίθμων για την ανάλυση των δεδομένων παρακολούθησης και την πρόβλεψη ανωμαλιών, όπως η πτώση πίεσης ή ροής, είναι μια καινοτόμος μέθοδος που βοηθά στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των επιθεωρήσεων και στην έγκαιρη ανίχνευση πιθανών κινδύνων. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει τη γρηγορότερη και πιο ακριβή διάγνωση προβλημάτων, προλαμβάνοντας έτσι αποτυχίες και μειώνοντας τον κίνδυνο δυσλειτουργιών στα συστήματα πυρόσβεσης (Wu *et al.*, 2022).

Στο παρόν κεφάλαιο, θα εξετάσουμε τις τεχνολογίες και τις απαιτήσεις για την παρακολούθηση της στάθμης του νερού σε αποθετήρια νερού, αναλύοντας τους τύπους αισθητήρων που χρησιμοποιούνται, τις μεθόδους σύνδεσης αυτών με ψηφιακά συστήματα και τις απαιτήσεις που σχετίζονται με τη δημιουργία και διαχείριση αυτών των αυτόνομων συστημάτων σε δασικές περιοχές για την υποστήριξη των επιχειρήσεων πυρόσβεσης

1.3.1 Είδη Αισθητήρων Επιπέδου Νερού

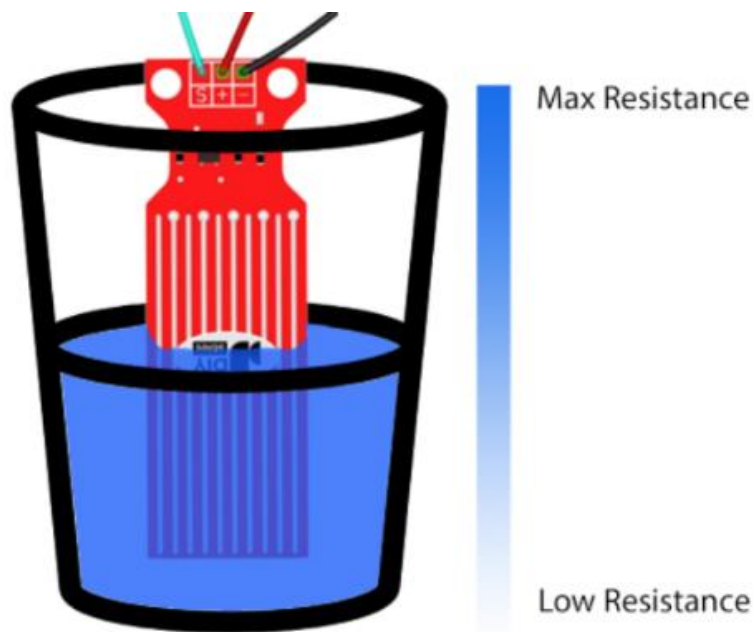
Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού (Water Conductivity/level Sensor)

Για την παρακολούθηση της στάθμης του νερού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας αγωγιμότητας νερού (εικ. 1-8), ο οποίος είναι συμβατός τόσο με Raspberry Pi (εικ. 1-9) όσο και με το Arduino (εικ. 1-10). Ο αισθητήρας αυτός αποτελείται από δύο μεταλλικά στρώματα: το στρώμα τροφοδοσίας και το στρώμα ανίχνευσης. Αυτά τα στρώματα είναι απομονωμένα μεταξύ τους αλλά εκτεθειμένα στο νερό. Όταν το νερό έρθει σε επαφή με τα στρώματα, το κύκλωμα κλείνει και δημιουργείται τάση σε μια υψηλής ωμικής τιμής αντίσταση, η οποία περιλαμβάνεται στην πλακέτα του αισθητήρα (Min-Allah *et al.*, 2022).

Ο Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού λειτουργεί μετρώντας την αγωγιμότητα του νερού, η οποία εξαρτάται από την ικανότητα του νερού να επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος, με βάση τη διαφορά τάσης που προκαλείται όταν το ρεύμα ρέει μέσω του νερού (εικ 1-7). Ωστόσο, έχει αρνητικά όπως η ευαισθησία σε ρύπους που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια, περιορισμένη ακρίβεια σε πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές αγωγιμότητες, καθώς και σκουριά ή διάβρωση λόγω παρατεταμένης επαφής με το νερό, μειώνοντας τη μακροχρόνια αξιοπιστία του.

Η τάση που δημιουργείται:

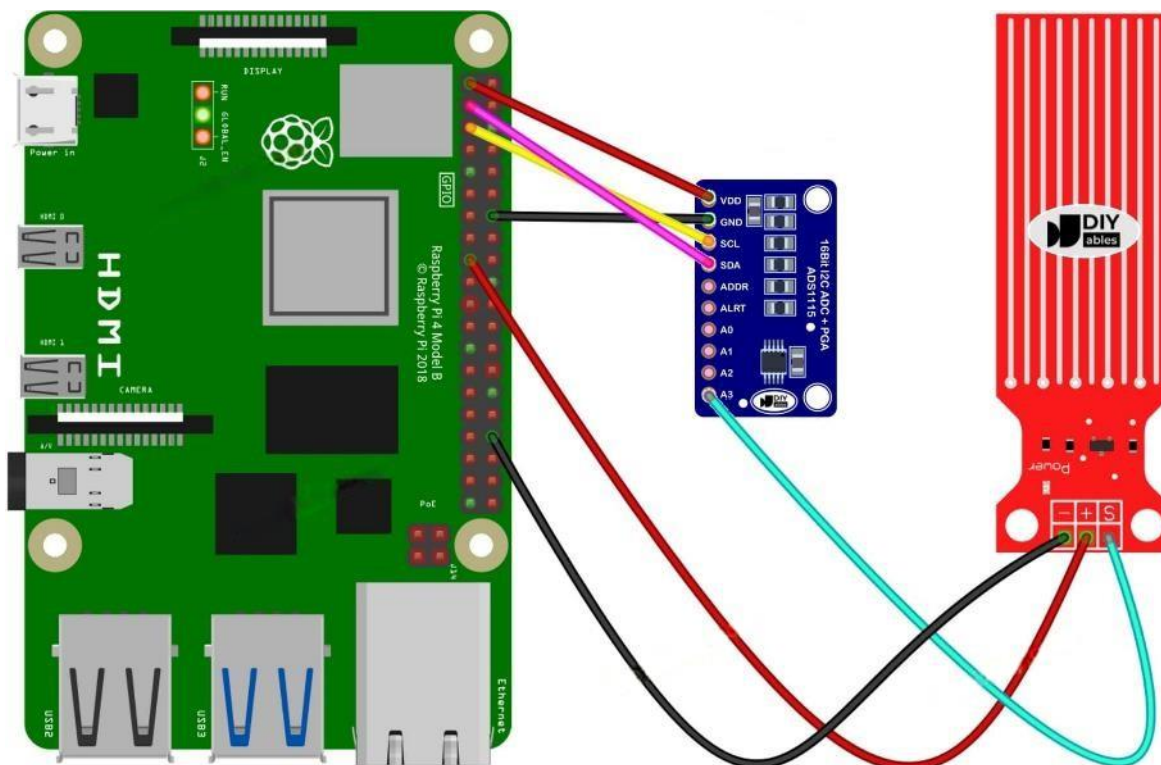
- Στην περίπτωση του Raspberry Pi, διαβάζεται μέσω ενός εξωτερικού τσιπ ADC (Analog-to-Digital Converter), καθώς το Raspberry Pi δεν διαθέτει ενσωματωμένο ADC. Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της στάθμης του νερού και αποστέλλονται σε έναν cloud server για περαιτέρω επεξεργασία (εικ. 1-9).
- Στην περίπτωση του Arduino, τα αναλογικά σήματα του αισθητήρα μπορούν να διαβαστούν απευθείας μέσω της ενσωματωμένης θύρας ADC που διαθέτει το Arduino (εικ. 1-8). Τα δεδομένα μπορούν να υποστούν επεξεργασία τοπικά ή να αποσταλούν σε cloud server. (Min-Allah *et al.*, 2022).



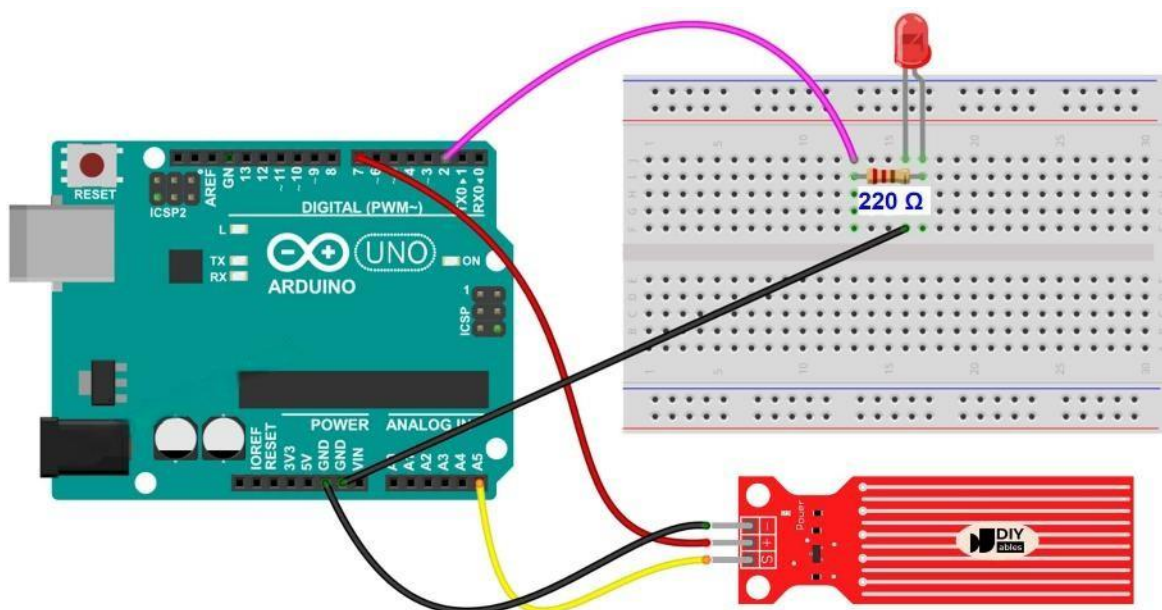
Εικόνα 1-7 Αγωγιμότητα αισθητήρα με το νερό



Εικόνα 1-8 Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού (Water Conductivity Sensor)



Εικόνα 1-9 Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού (Raspberry Pi water sensor)



Εικόνα 1-10 Αισθητήρας Αγωγιμότητας Νερού (Arduino water sensor)

Αισθητήρες Υγρασίας Νερού (water moisture sensor)

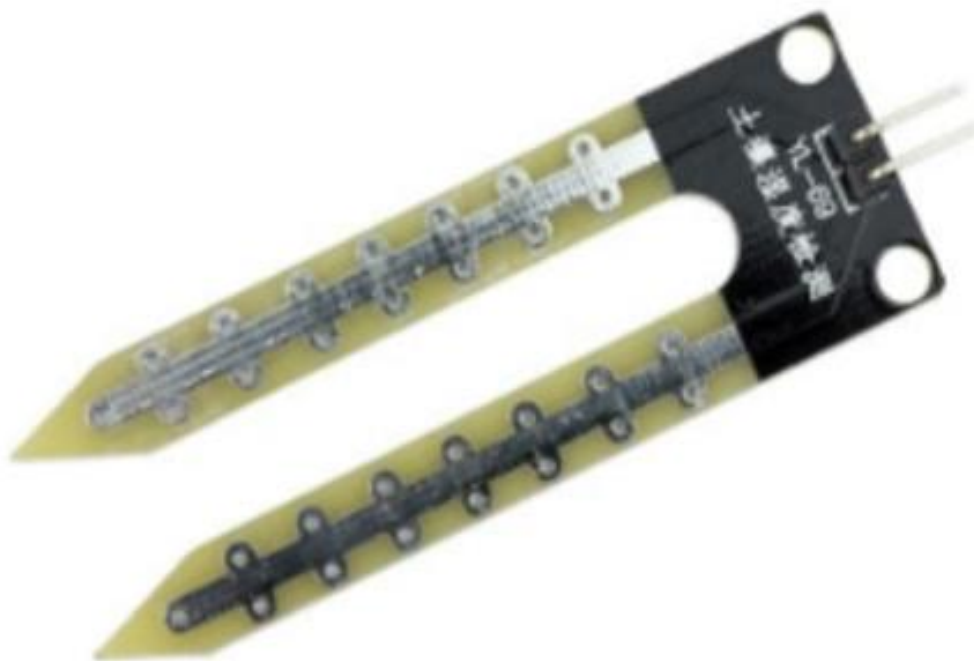
Ο αισθητήρας υγρασίας (υγρόμετρο) νερού αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την ανίχνευση διαρροών νερού, όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία (Min-Allah et al., 2022). Ο αισθητήρας αυτός λειτουργεί με τη μέτρηση της υγρασίας στο περιβάλλον του μέσω της αλληλεπίδρασης του νερού με το υλικό ανίχνευσης. Συνήθως, όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία στο περιβάλλον, τόσο χαμηλότερη είναι η αντίσταση στο κύκλωμα του αισθητήρα, γεγονός που μειώνει την τάση (voltage) που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι αισθητήρων υγρασίας που χρησιμοποιούνται συχνά.

Αισθητήρας με Γυμνά Μεταλλικά Στρώματα: Ο συγκεκριμένος τύπος (εικ. 1-11) διαθέτει δύο παράλληλα γυμνά μεταλλικά στρώματα που έρχονται σε άμεση επαφή με το νερό. Παρότι είναι απλός και οικονομικός, έχει το μειονέκτημα ότι τα γυμνά μεταλλικά μέρη του μπορεί να σκουριάσουν όταν εκτεθούν σε νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα, μειώνοντας την αξιοπιστία και τη διάρκεια ζωής του αισθητήρα.

Χωρητικός Αισθητήρας Υγρασίας: Ο πιο σύγχρονος αυτός τύπος (εικ. 1-12) δεν διαθέτει γυμνά μεταλλικά μέρη και η μονάδα ανίχνευσης δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το νερό. Αυτό προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία, καθώς ο αισθητήρας προστατεύεται από την οξείδωση και μπορεί να λειτουργεί πιο σταθερά σε συνθήκες υψηλής υγρασίας.

Και οι δύο τύποι αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα IoT, είτε με Raspberry Pi είτε με Arduino, για την ανίχνευση διαρροών και την παρακολούθηση της υγρασίας, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. (Min-Allah et al., 2022).

Οι αισθητήρες με γυμνά μεταλλικά στρώματα είναι οικονομικοί, αλλά ευάλωτοι στη σκουριά και με μικρή διάρκεια ζωής, ενώ οι χωρητικοί αισθητήρες έχουν περίπου διπλάσια τιμή, αλλά είναι πιο ανθεκτικοί και αξιόπιστοι. Και οι δύο τύποι μετρούν τα επίπεδα υγρασίας στο σημείο που τοποθετούνται, γεγονός που παρέχει μόνο τοπική ένδειξη και όχι μια ολοκληρωμένη εικόνα του επιπέδου νερού στη δεξαμενή σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 1-11 Υγρόμετρο με Γυμνά Μεταλλικά Στρώματα (water moisture sensor)



Εικόνα 1-12 Χωρητικός Αισθητήρας Υγρασίας (capacitive soil moisture sensor)

Αισθητήρας Υπερηχητικός (ultrasonic sensor)

Ο υπερηχητικός αισθητήρας (ultrasonic sensor) είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της στάθμης του νερού στις δεξαμενές (εικ 1-13). Η λειτουργία του βασίζεται στη χρήση ηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ του αισθητήρα και της επιφάνειας του νερού (εικ. 1-14). Αυτή η τεχνολογία προσφέρει ακριβείς μετρήσεις χωρίς να απαιτείται άμεση επαφή με το νερό, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές όπου η αντοχή και η αξιοπιστία είναι απαραίτητες. Ο αισθητήρας αυτός είναι συμβατός τόσο με Arduino όσο και με Raspberry Pi, δύο από τις πιο δημοφιλείς πλατφόρμες IoT, καθιστώντας τον ιδιαίτερα ευέλικτο για διάφορες υλοποιήσεις.

Ο υπερηχητικός αισθητήρας αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία: τον πομπό και τον δέκτη. Ο πομπός εκπέμπει υπερηχητικά κύματα σε συχνότητα 40 kHz προς την επιφάνεια του νερού. Όταν τα κύματα αυτά συναντήσουν την επιφάνεια, ανακλώνται πίσω προς τον αισθητήρα. Ο δέκτης ανιχνεύει τα ανακλώμενα κύματα και ο αισθητήρας υπολογίζει τον χρόνο που χρειάστηκε για να επιστρέψουν. Χρησιμοποιώντας αυτόν τον χρόνο και γνωρίζοντας την ταχύτητα του ήχου στον αέρα, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και της επιφάνειας του νερού.

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης είναι:

$$\text{Απόσταση} = \frac{\text{Ταχύτητα του ήχου στον αέρα} * \text{Χρόνος Επιστροφής}}{2}$$

Η διαίρεση με το 2 γίνεται διότι ο χρόνος επιστροφής περιλαμβάνει τόσο τη μετάβαση του κύματος προς το νερό όσο και την επιστροφή του στον αισθητήρα.

Στην περίπτωση του Arduino (εικ. 1-15), ο υπερηχητικός αισθητήρας μπορεί να συνδεθεί απευθείας στις ψηφιακές ακίδες του μικροελεγκτή. Οι ακροδέκτες Trigger και Echo του αισθητήρα συνδέονται σε ψηφιακές εξόδους και εισόδους του Arduino αντίστοιχα, ενώ οι ακροδέκτες VCC και GND παρέχουν την τροφοδοσία. Το Arduino χρησιμοποιεί βιβλιοθήκες όπως η NewPing για να στέλνει παλμούς μέσω του Trigger, να λαμβάνει τα δεδομένα από το Echo, και να υπολογίζει τη στάθμη του νερού. Τα δεδομένα μπορούν να επεξεργαστούν τοπικά ή να αποσταλούν σε έναν cloud server μέσω μονάδων επικοινωνίας. (*Arduino ultrasonic sensor tutorial*).

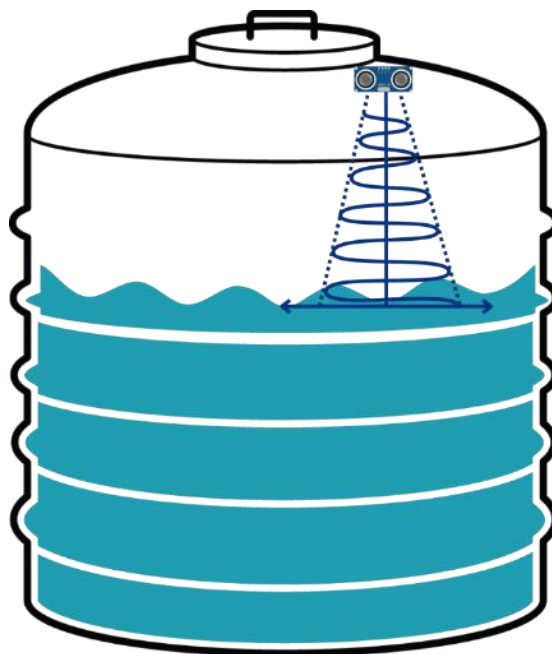
Στην περίπτωση του Raspberry Pi (εικ. 1-16), η σύνδεση γίνεται μέσω των ακίδων GPIO. Καθώς το Raspberry Pi δεν διαθέτει ενσωματωμένο ADC (Analog-to-Digital Converter), ο υπερηχητικός αισθητήρας, ο οποίος λειτουργεί με ψηφιακά σήματα, συνδέεται απευθείας στις ακίδες GPIO. Η μέτρηση της απόστασης γίνεται μέσω Python scripts που αξιοποιούν βιβλιοθήκες όπως η RPi.GPIO ή η gpiozero. Τα δεδομένα μπορούν να εμφανιστούν σε οθόνη, να αποθηκευτούν τοπικά ή να σταλούν σε μια υπηρεσία cloud για ανάλυση (*Raspberry Pi ultrasonic sensor tutorial*).

Ο υπερηχητικός αισθητήρας είναι ιδανικός για την παρακολούθηση της στάθμης του νερού, διότι δεν απαιτεί επαφή με το υγρό, κάτι που αποτρέπει τη διάβρωση και τις ζημιές. Προσφέρει υψηλή ακρίβεια και ευκολία χρήσης, καθιστώντας τον κατάλληλο για εφαρμογές τόσο σε μικρές όσο και σε μεγάλες δεξαμενές. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα. Οι υπερηχητικοί αισθητήρες παρουσιάζουν αυξανόμενη αβεβαιότητα καθώς η απόσταση μεγαλώνει, με σημαντικές αποκλίσεις στις μετρήσεις πάνω από 2 μέτρα. Οι μετρήσεις σε μεγαλύτερες αποστάσεις (όπως 4 μέτρα) παρουσιάζουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα, γεγονός που επηρεάζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η ανωμαλία στον άξονα του αισθητήρα, η ανωμαλία στην

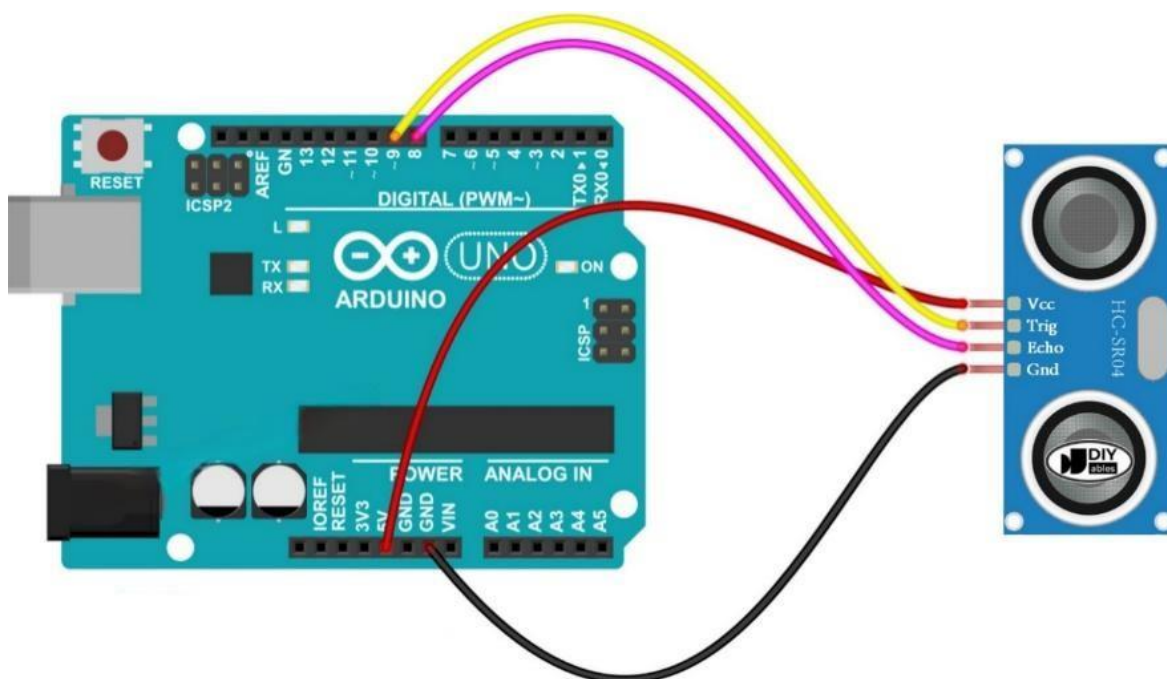
επιφάνεια του νερού ή άλλες συνθήκες που αυξάνουν την αβεβαιότητα στις μετρήσεις
(Pereira, T. S. R et all 2022)



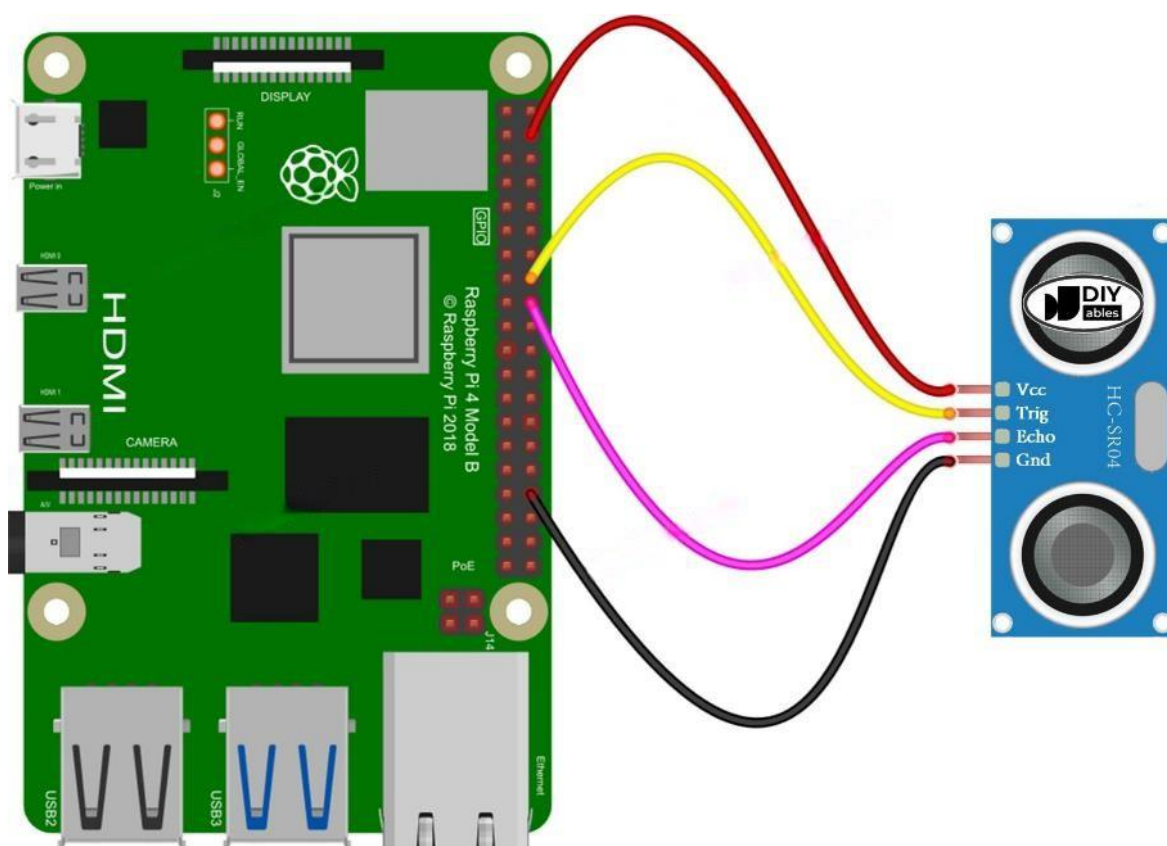
Εικόνα 1-13 Αισθητήρας Υπερηχητικός (ultrasonic sensor) HC-SR04



Εικόνα 1-14 Δεξαμενή νερού με χρήση Υπερηχητικού Αισθητήρα



Εικόνα 1-15 Αισθητήρας Υπερηχητικός (Arduino - HC-SR04)



Εικόνα 1-16 Αισθητήρας Υπερηχητικός (Raspberry - HC-SR04)

Αισθητήρας Μαγνητικός float (magnetic float sensor)

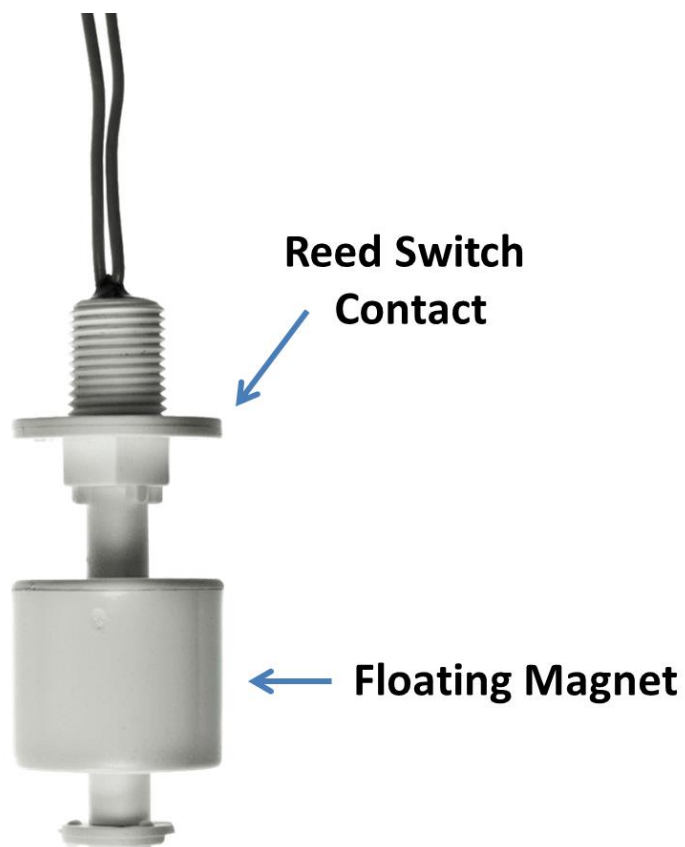
Ο αισθητήρας (magnetic float sensor) αποτελείται από ένα κινούμενο δακτυλιοειδές αντικείμενο, το οποίο περιέχει μαγνήτη (εικ 1-17). Όταν η στάθμη του νερού ανεβαίνει, το αντικείμενο αυτό μετακινείται προς την πλευρά του καλωδίου και ενεργοποιεί τον διακόπτη(εικ 1-18).

Αν το νερό δεν φτάνει το αντικείμενο του αισθητήρα, ο διακόπτης παραμένει κλειστός και το κύκλωμα είναι ενεργό. Όταν η στάθμη του νερού φτάσει το αντικείμενο, ο διακόπτης ανοίγει και το κύκλωμα διακόπτεται. Έτσι, ο αισθητήρας παρέχει ένδειξη για το εάν η στάθμη του νερού έχει ξεπεράσει το συγκεκριμένο επίπεδο.

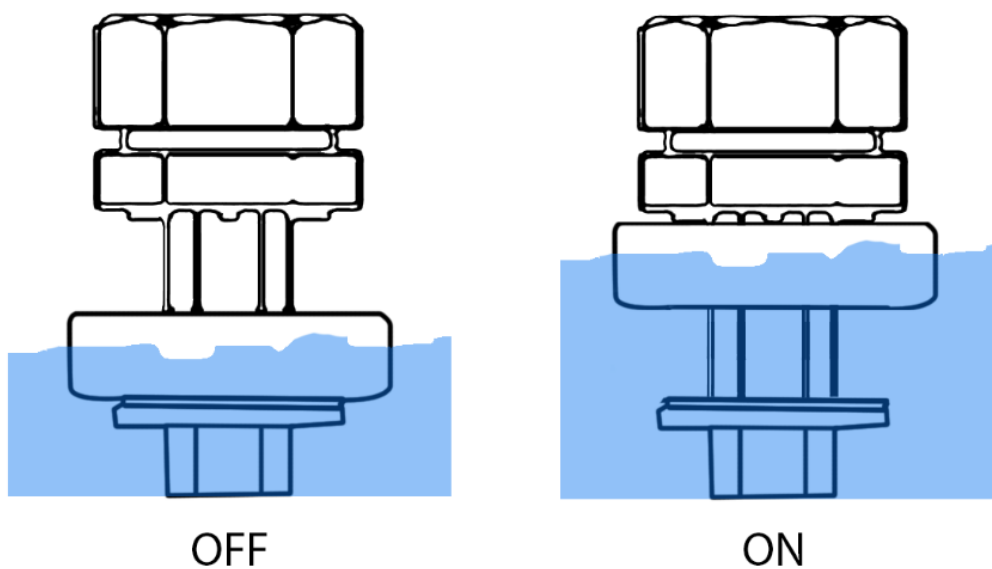
Οι μαγνητικοί αισθητήρες float είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση και στις εναποθέσεις όπως οι μύκητες και τα βιοφίλμ, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για χρήση σε υδάτινα περιβάλλοντα.

Το κύριο μειονέκτημα είναι η χαμηλή ανάλυση, καθώς απαιτείται ξεχωριστός αισθητήρας για κάθε επίπεδο στάθμης. Οι συγγραφείς προτείνουν τη χρήση υπερηχητικών αισθητήρων ως καλύτερη επιλογή, δεδομένου ότι προσφέρουν συνεχή μέτρηση της στάθμης.

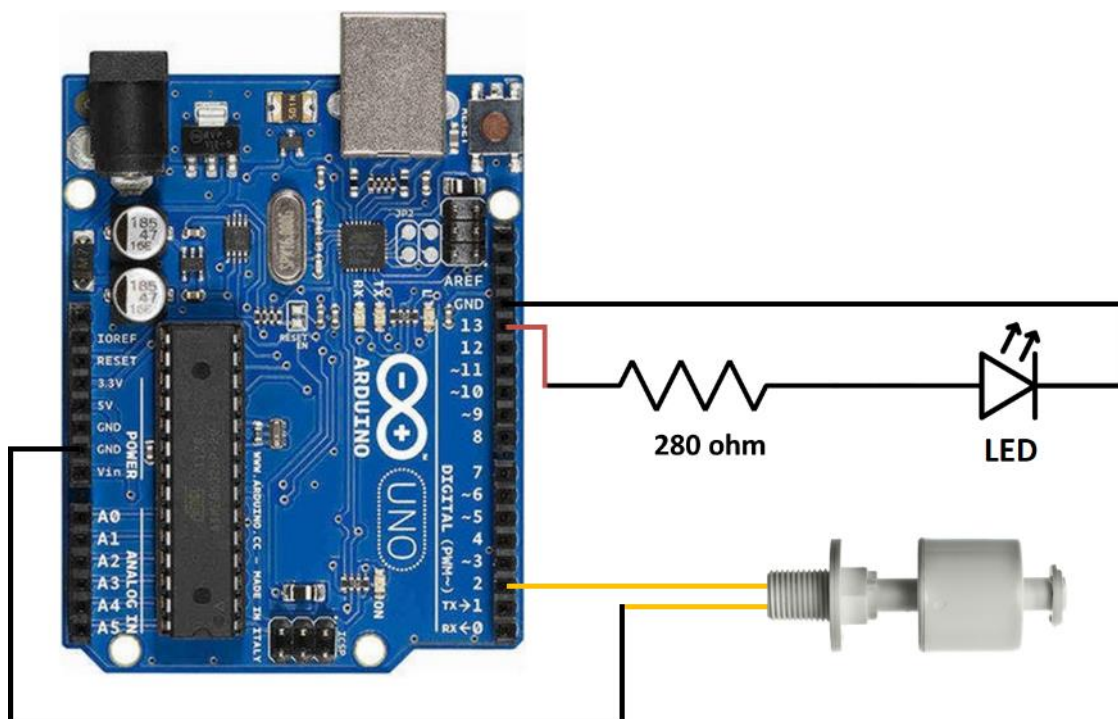
Παρόλο που οι μαγνητικοί αισθητήρες float είναι κατάλληλοι για την ανίχνευση διακριτών επιπέδων, η περιορισμένη τους ακρίβεια αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην ευρύτερη χρήση τους. Ο magnetic float sensor μπορεί να συνδεθεί τόσο με το Arduino (εικ. 1-19) όσο και με το Raspberry Pi, προσφέροντας ευελιξία στην ενσωμάτωσή του σε διάφορα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου.(Min-Allah *et al.*, 2022).



Εικόνα 1-17 Αισθητήρας Μαγνητικός float (magnetic float sensor)



Εικόνα 1-18 Αισθητήρας Μαγνητικός float OFF & ON



Εικόνα 1-19 Αισθητήρας Μαγνητικός float σε Arduino

Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Νερού DHT11/DHT22 με Raspberry Pi και Arduino

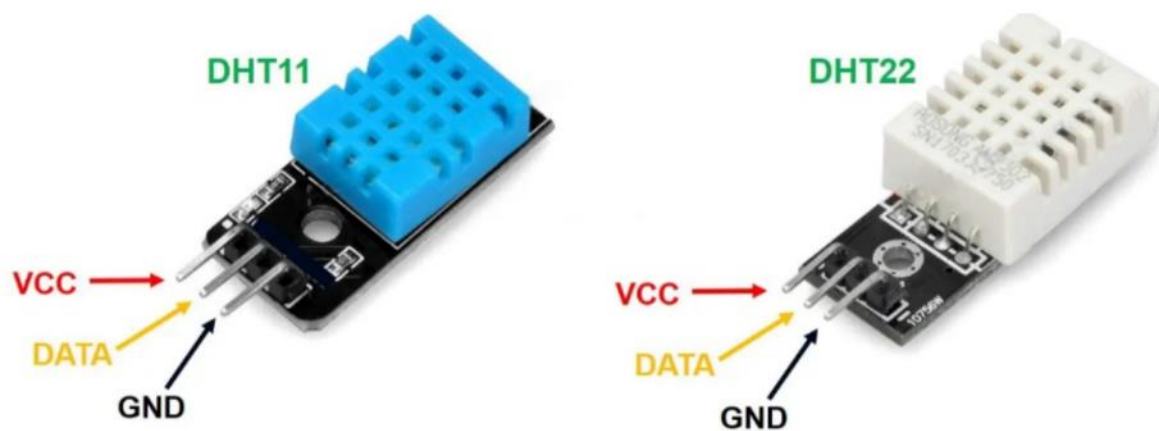
Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 και DHT22 είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων παρακολούθησης νερού (εικ.1-20). Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε περιβαλλοντικά συστήματα ελέγχου, όπου η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι κρίσιμη για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

Ο DHT11 είναι ένας πιο βασικός αισθητήρας που παρέχει αρκετά ακριβή αποτελέσματα για θερμοκρασίες από 0°C έως 50°C με ακρίβεια $\pm 2^\circ\text{C}$ και υγρασία από 20% έως 80% με ακρίβεια $\pm 5\%$. Από την άλλη, ο DHT22 προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια και ευρύτερο εύρος θερμοκρασίας (από -40°C έως 80°C) και υγρασίας (0% έως 100%), κάνοντάς τον κατάλληλο για πιο απαιτητικές εφαρμογές.

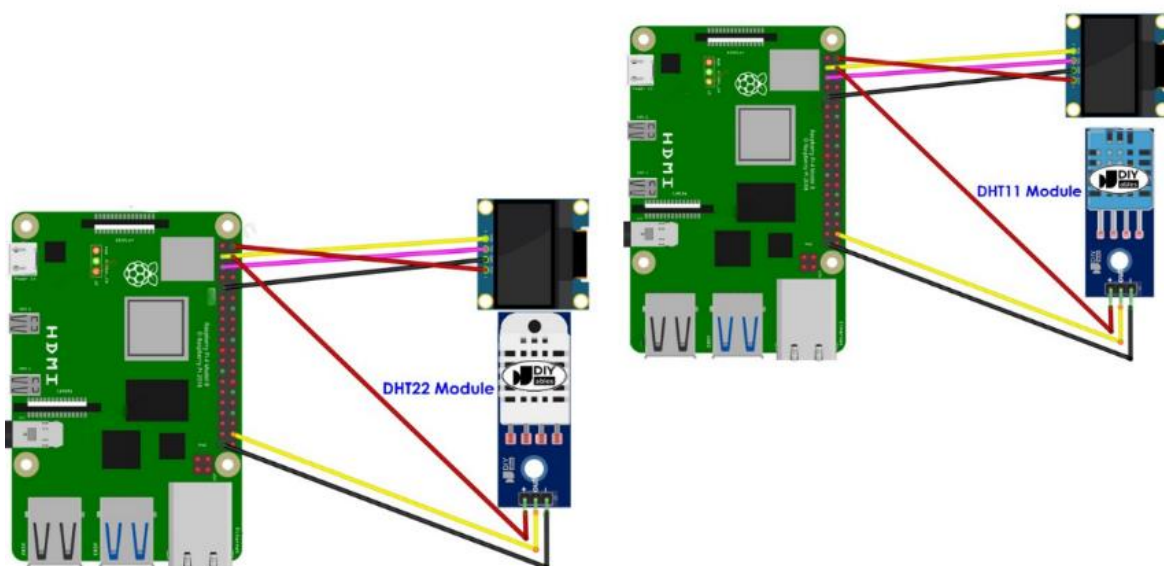
Raspberry Pi: Ο αισθητήρας DHT11/DHT22 μπορεί να συνδεθεί με το Raspberry Pi (εικ.1-21). μέσω μιας GPIO θύρας. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη Adafruit DHT (ή άλλες βιβλιοθήκες), το Raspberry Pi μπορεί να διαβάσει τα δεδομένα του αισθητήρα. Για την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης και την ανάγνωση των μετρήσεων, είναι απαραίτητο να συνδέσετε τον αισθητήρα στην κατάλληλη GPIO θύρα του Raspberry Pi και να χρησιμοποιήσετε Python για την επικοινωνία και επεξεργασία των δεδομένων. Ο αισθητήρας στέλνει δεδομένα ψηφιακά στον μικροελεγκτή του Raspberry Pi, το οποίο επεξεργάζεται και αποθηκεύει τα δεδομένα ή τα στέλνει σε μια διαδικτυακή πλατφόρμα για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. (*Raspberry Pi temperature & humidity sensor with OLED*)

Arduino: Ο αισθητήρας DHT11/DHT22 μπορεί να συνδεθεί επίσης με το Arduino χρησιμοποιώντας τη θύρα Digital Pin(εικ.1-22). Για την επικοινωνία, χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη DHT sensor library, η οποία επιτρέπει στο Arduino να διαβάσει τα δεδομένα από τον αισθητήρα και να τα εμφανίσει σε μια οθόνη LCD ή να τα αποστείλει μέσω σειριακής επικοινωνίας σε έναν υπολογιστή ή άλλη συσκευή. Η σύνδεση είναι απλή: το καλώδιο δεδομένων του αισθητήρα συνδέεται με την ψηφιακή είσοδο του Arduino, ενώ οι ακροδέκτες VCC και GND συνδέονται στις αντίστοιχες θύρες τροφοδοσίας του Arduino (5V και GND) (*Arduino temperature and humidity sensor tutorial.*)

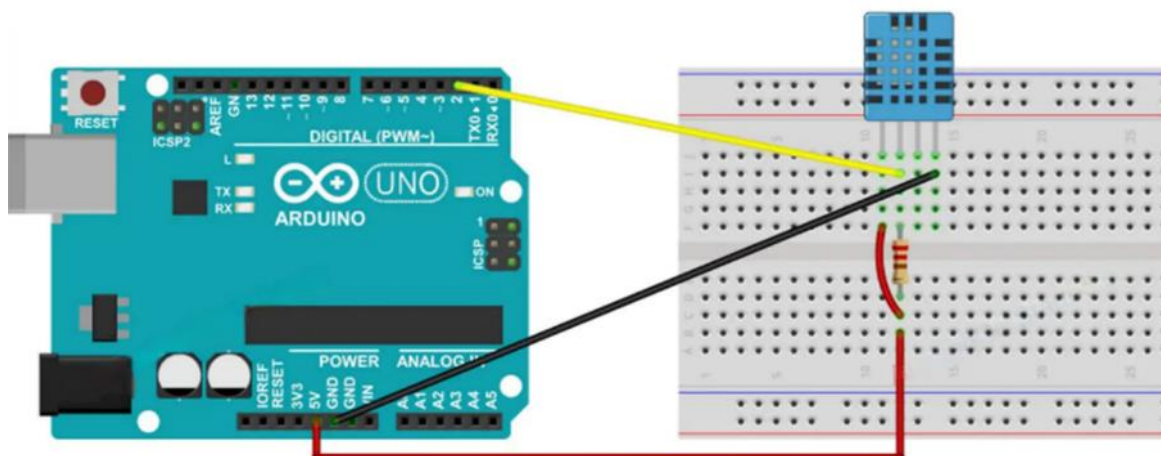
Οι αισθητήρες DHT11 και DHT22 είναι εύκολα συνδεδεμένοι με τις πλακέτες Raspberry Pi και Arduino και μπορούν να παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας σε εφαρμογές παρακολούθησης νερού, όπως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα γύρω από δεξαμενές νερού ή για συστήματα αυτοματοποιημένης άρδευσης. Η ευκολία σύνδεσης και η συμβατότητα με δημοφιλή μικροελεγκτές καθιστά αυτούς τους αισθητήρες ιδανικούς για πειραματικά και εμπορικά συστήματα, προσφέροντας προσιτό κόστος και αξιόπιστη απόδοση. Ωστόσο, ο αισθητήρας DHT22 έχει περίπου διπλάσια τιμή από τον DHT11, αλλά προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια και ευρύτερο εύρος μέτρησης. Και οι δύο τύποι μετρούν τα επίπεδα υγρασίας στο σημείο που τοποθετούνται, γεγονός που παρέχει μόνο τοπική ένδειξη και όχι μια ολοκληρωμένη εικόνα του επιπέδου νερού στη δεξαμενή σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 1-20 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Νερού (Water Temperature and Humidity Sensors) DHT11 DHT22



Εικόνα 1-21 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Νερού σε Raspberry PI



Εικόνα 1-22 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Νερού σε Arduino

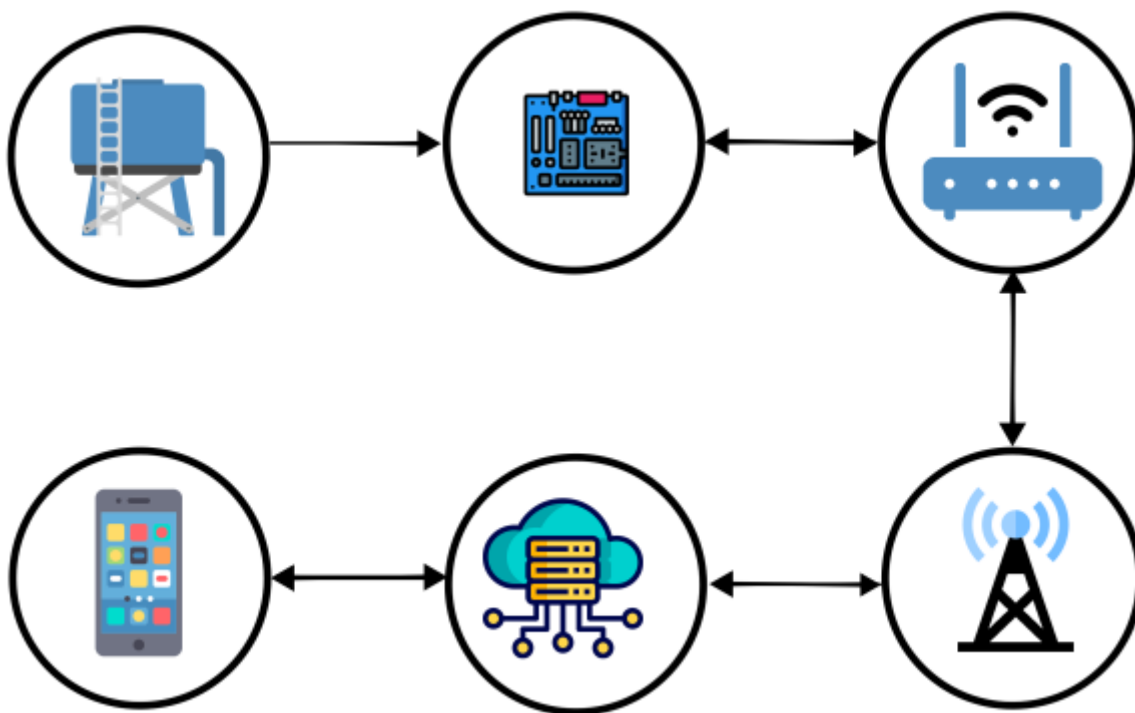
1.3.2 Σύνθεση αισθητήρων με ψηφιακά συστήματα

Με τη βοήθεια του Internet of Things (IoT), είναι πλέον δυνατό να συνδέονται αισθητήρες με ψηφιακά συστήματα που καταγράφουν, αποθηκεύουν και μεταδίδουν τα δεδομένα σε gateway ή cloud-based πλατφόρμες για απομακρυσμένη παρακολούθηση και ανάλυση (εικ.1-23). Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση παραμέτρων όπως το επίπεδο του νερού σε δεξαμενές και η κατάσταση των αντλιών νερού, ενώ τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες στέλνονται σε απομακρυσμένα συστήματα που επιτρέπουν στους χρήστες να παρακολουθούν την κατάσταση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η τεχνολογία παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η αυτοματοποιημένη παρακολούθηση, η έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση προβλημάτων και η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, μειώνοντας παράλληλα την ανάγκη για φυσική επιθεώρηση και αυξάνοντας την αποδοτικότητα των πόρων.

Το σύστημα μπορεί να συνδεθεί στο διαδίκτυο μέσω ενός αισθητήρα Wi-Fi, επιτρέποντας την καταγραφή των δεδομένων που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες στο διαδίκτυο. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση στα επιθυμητά δεδομένα από οποιοδήποτε σημείο, εξασφαλίζοντας την ευελιξία και τον έλεγχο της κατάστασης του συστήματος σε πραγματικό χρόνο (ÇAĞRI ÖZKAN, 2022).

Στην παρούσα εργασία, θα αναλυθούν διάφορες προσεγγίσεις για τη σύνδεση αισθητήρων με ψηφιακά συστήματα, τη συλλογή δεδομένων από δεξαμενές νερού και την αποθήκευση

και μετάδοσή τους σε gateway, cloud για απομακρυσμένη παρακολούθηση και ανάλυση. Θα εξετάσουμε παραδείγματα από υπάρχουσες εφαρμογές και θα αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματα, αλλά και τις περιορισμένες δυνατότητες τους. Με αυτόν τον τρόπο, η εισαγωγή παρέχει το κατάλληλο υπόβαθρο για να κατανοήσει ο αναγνώστης την ανάγκη και τη σημασία των συστημάτων παρακολούθησης δεξαμενών νερού, καθώς και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό.



Εικόνα 1-23 Σύνθεση αισθητήρων με IoT

Σύνθεση Αισθητήρων με NodeMCU (ESP8266)

Το σύστημα που αναπτύχθηκε από διάφορους ερευνητές χρησιμοποιεί αισθητήρες για τη μέτρηση παραμέτρων όπως το επίπεδο του νερού, η ροή και η θερμοκρασία, οι οποίοι συνδέονται με ψηφιακά συστήματα για τη συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση δεδομένων. Για παράδειγμα, το σύστημα που χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα υπερήχων για τη μέτρηση του επιπέδου του νερού σε μια δεξαμενή. Το Arduino Uno επεξεργάζεται το τοπικό σήμα και χρησιμοποιεί το NodeMCU (ESP8266) (εικ. 1-24) για τη μετάδοση των δεδομένων σε μια διαδικτυακή πλατφόρμα μέσω Wi-Fi. Στην περίπτωση αυτή, ο αισθητήρας υπερήχων καταγράφει τα δεδομένα του επιπέδου του νερού, τα οποία αποστέλλονται σε μια πλατφόρμα IoT μέσω του NodeMCU (Wu et al., 2022).

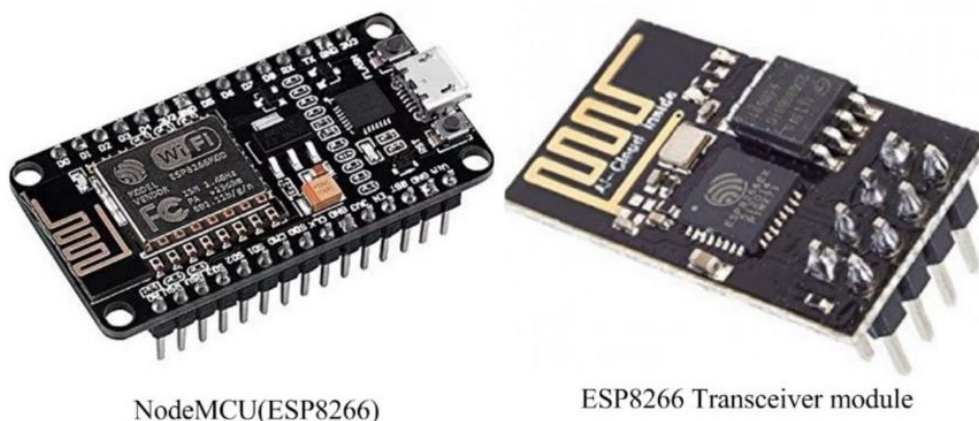
Το NodeMCU (ESP8266) αποτελεί μια πλακέτα ανάπτυξης βασισμένη στο ESP8266, το οποίο είναι ένα μικροελεγκτής SoC (System-on-Chip) που περιλαμβάνει ενσωματωμένο Wi-Fi πομποδέκτη και μονάδα TCP/IP. Το NodeMCU ενσωματώνει το ESP8266 σε έναν πιο εύχρηστο σχεδιασμό, προσφέροντας πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως θύρα USB και μετατροπέα USB-Serial, που διευκολύνουν τον προγραμματισμό και τη σύνδεση με άλλες συσκευές. Επομένως:

- Το ESP8266 είναι η κύρια μονάδα που επιτρέπει τη σύνδεση Wi-Fi και την επικοινωνία με το διαδίκτυο.
- Το NodeMCU (ESP8266) είναι μια πιο ολοκληρωμένη πλακέτα που χρησιμοποιεί το ESP8266, κάνοντάς το πιο προσιτό στη χρήση και κατάλληλο για ανάπτυξη συστημάτων IoT.

Στο συγκεκριμένο σύστημα, το NodeMCU συλλέγει τα δεδομένα από τον αισθητήρα υπερήχων και τα αποστέλλει στον διακομιστή μέσω ενός ρούτερ Wi-Fi. Αυτό επιτρέπει τη συνεχιζόμενη παρακολούθηση του επιπέδου του νερού και τον έλεγχο της αντλίας, ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας την αναλόγως με το επίπεδο του νερού.

Ομοίως, το σύστημα που περιγράφεται χρησιμοποιεί το NodeMCU (ESP8266) σε συνδυασμό με τον Arduino Uno. Το Arduino Uno επεξεργάζεται τα δεδομένα από τον αισθητήρα υπερήχων και τα μεταδίδει μέσω του NodeMCU σε μια πλατφόρμα Blynk IoT για παρακολούθηση και έλεγχο από τους χρήστες μέσω μιας εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα (smart watch). Το NodeMCU διευκολύνει την αποστολή των δεδομένων μέσω Wi-Fi, παρέχοντας ευκολία στους χρήστες να παρακολουθούν το επίπεδο του νερού και να ελέγχουν την αντλία σε πραγματικό χρόνο (Wu *et al.*, 2022).

Οι δύο αυτοί σχεδιασμοί επιδεικνύουν πώς οι αισθητήρες (όπως οι αισθητήρες υπερήχων για το επίπεδο του νερού) συνδέονται με ψηφιακά συστήματα, όπως τα μικροελεγκτικά συστήματα Arduino και NodeMCU, για να επιτευχθεί η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και η αποστολή των δεδομένων μέσω Wi-Fi σε μια απομακρυσμένη πλατφόρμα για ανάλυση και έλεγχο.

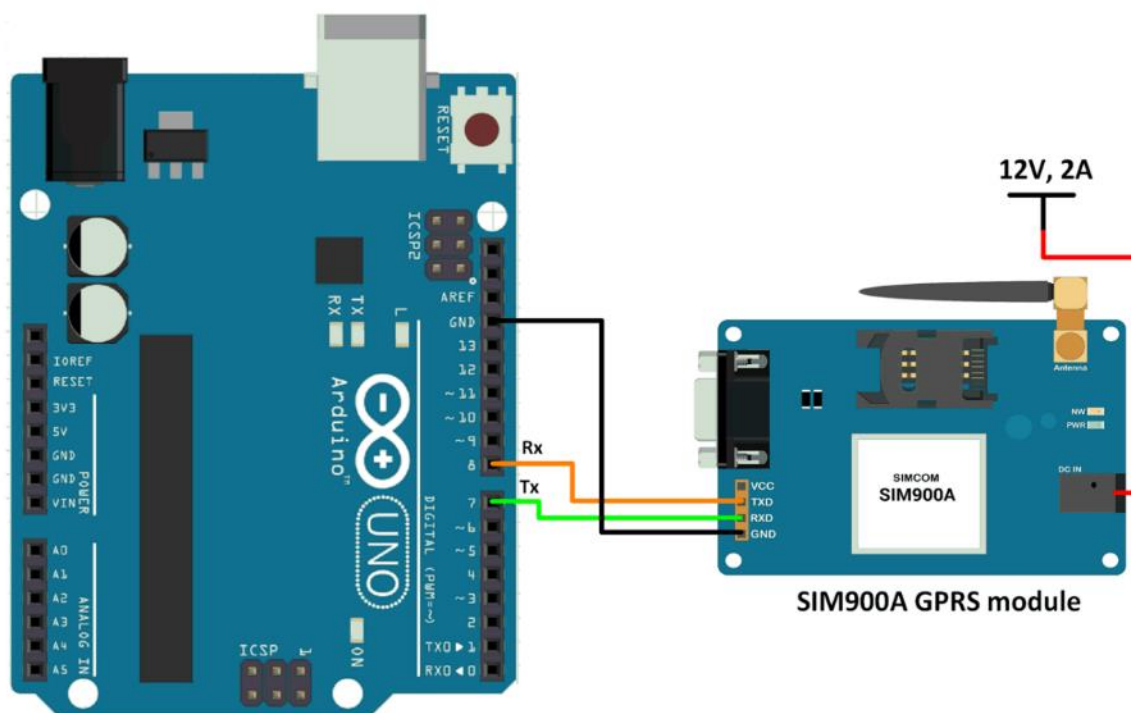


Εικόνα 1-24 NodeMCU (ESP8266) και Πομποδέκτης ESP8266

Σύνθεση Αισθητήρων με GSM/GPRS SIM900A

Το GSM/GPRS SIM900A βασίζεται η λειτουργία πολλών IoT συστημάτων για την παρακολούθηση της στάθμης του νερού και τη διαχείριση δεξαμενών. Το SIM900A παρέχει δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου, καθιστώντας το μια αξιόπιστη επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

Όπως αναφέρουν οι Min-Allah et al. (2022), σε ένα από τα προτεινόμενα συστήματα, το Arduino Uno (εικ. 1-25) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της στάθμης του νερού με τη βοήθεια ενός αισθητήρα υπερήχων. Μετά την τοπική επεξεργασία, τα δεδομένα προβάλλονται σε μια οθόνη LCD, ενώ ένας συναγερμός (buzzer) ενεργοποιείται σε περίπτωση που υπάρχει κάποια αλλαγή (ανωμαλία). Η δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης παρέχεται μέσω του SIM900A, το οποίο μεταφορτώνει δεδομένα σε μια διαδικτυακή πύλη (web portal). Οι τελικοί χρήστες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τη στάθμη του νερού από τα smartphone τους και να ελέγχουν την αντλία νερού μέσω ειδικής εφαρμογής.



Εικόνα 1-25 SIM900A GPRS Module Interfacing with Arduino Uno

Σύνθεση Αισθητήρων με Lora/LoRaWAN

Το LoRa (Long Range) είναι μια τεχνολογία ασύρματης μετάδοσης δεδομένων που χρησιμοποιεί την τεχνική Chirp Spread Spectrum (CSS) για επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μία τυπική αρχιτεκτονική δικτύου LoRaWAN περιλαμβάνει τα εξής βασικά μέρη: τις συσκευές-τέλη (συνήθως αισθητήρες), έναν σταθμό βάσης ή πύλη (gateway), γνωστό και ως Long Range Relay (LRR), έναν διακομιστή δικτύου ή Long Range Controller (LRC), και το Σύστημα Υποστήριξης Λειτουργίας (OSS) για την παροχή και διαχείριση του δικτύου. Είναι ιδανικό για συστήματα IoT (Internet of Things) που απαιτούν μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, όπως σε εφαρμογές παρακολούθησης και απομακρυσμένων αισθητήρων. Το LoRaWAN η πρωτόκολλο που βασίζεται στο LoRa, επιτρέπει τη δημιουργία δικτύων με υψηλής εμβέλεια (που κυμαίνονται από 2 έως 100 χιλιόμετρα) ενώ το GSM/GPRS έχει περιορισμένο εύρος, το οποίο εξαρτάται από την πυκνότητα του δικτύου και τις τοπικές υποδομές κινητής τηλεφωνίας. Αυτές οι τεχνολογίες είναι σχεδιασμένες για να καλύψουν τις ανάγκες των IoT συσκευών που δεν χρειάζονται συνεχείς υψηλές ταχύτητες δεδομένων, αλλά απαιτούν μακρινές αποστάσεις επικοινωνίας. Επίσης

το LoRa απαιτεί μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και επιτρέπει τη λειτουργία συσκευών για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς ανάγκη για συχνές επαναφορτίσεις αυτό οφείλεται στην κατανάλωση ενέργειας του LoRa επειδή είναι χαμηλή λόγω του χαμηλού καθήκοντος κύκλου (duty cycle). Οι συσκευές που χρησιμοποιούν το LoRaWA έχουν πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τις συσκευές που χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως το GSM ή το GPRS. Αυτή η χαρακτηριστική αποδοτικότητα στην κατανάλωση ενέργειας επιτρέπει στις συσκευές να λειτουργούν για αρκετά χρόνια με μία μόνο μπαταρία, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές (*Arduino docs*)



Εικόνα 1-26 LoRa/LoRaWAN με Κεραία

Lora/LoRaWAN(Long Range)

Range: Το LoRa προσφέρει μεγάλη εμβέλεια, συνήθως από 2 έως 15 χιλιόμετρα, και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να φτάσει μέχρι και 100 χιλιόμετρα σε ιδανικές συνθήκες (σε ανοιχτό πεδίο).

Bandwidth Speed: Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι σχετικά χαμηλή (περίπου 300 bps έως 5 kbps), που το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές IoT που απαιτούν μικρές ποσότητες δεδομένων και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Σχόλιο: Το LoRa είναι ιδανικό για εφαρμογές IoT που χρειάζονται μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, όπως αισθητήρες απομακρυσμένων περιοχών ή έξυπνες πόλεις.

WiFi

Range: Το WiFi έχει περιορισμένο εύρος, συνήθως 50-100 μέτρα σε εσωτερικούς χώρους, και έως μερικές εκατοντάδες μέτρα σε εξωτερικούς χώρους.

Bandwidth Speed: Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι πολύ υψηλή, με μέσες ταχύτητες από 10 Mbps έως 1 Gbps ή και υψηλότερα, ανάλογα με το πρότυπο (π.χ. Wi-Fi 5, Wi-Fi 6).

Σχόλιο: Το WiFi είναι ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων σε περιορισμένες περιοχές, όπως ασύρματο ίντερνετ για σπίτια ή γραφεία.

Cellular (GSM,GPRS,3G,4G,5G)

Range: Το Cellular έχει μεγαλύτερο εύρος από το WiFi και το BLE, καθώς εξαρτάται από τις υποδομές του κινητού δικτύου. Μπορεί να καλύψει περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο, με την κάλυψη να κυμαίνεται από 10-20 χιλιόμετρα σε αγροτικές περιοχές έως εκατοντάδες χιλιόμετρα στις πόλεις, ανάλογα με την τεχνολογία.

Bandwidth Speed: Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων διαφέρει ανάλογα με την τεχνολογία: GSM (2G) περίπου 50-100 Kbps, GPRS περίπου 100 Kbps έως 1 Mbps, 3G έως 7-10 Mbps, 4G έως 100 Mbps ή περισσότερο, και 5G έως 10 Gbps ή και περισσότερο.

Σχόλιο: Το Cellular είναι ιδανικό για εφαρμογές IoT που απαιτούν μεγάλη περιοχή κάλυψης και υψηλή ταχύτητα δεδομένων. Είναι εξαιρετικό για συσκευές που χρειάζονται συνεχή σύνδεση και μπορούν να συνδεθούν σε υπάρχουσες υποδομές δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Συνοπτικά

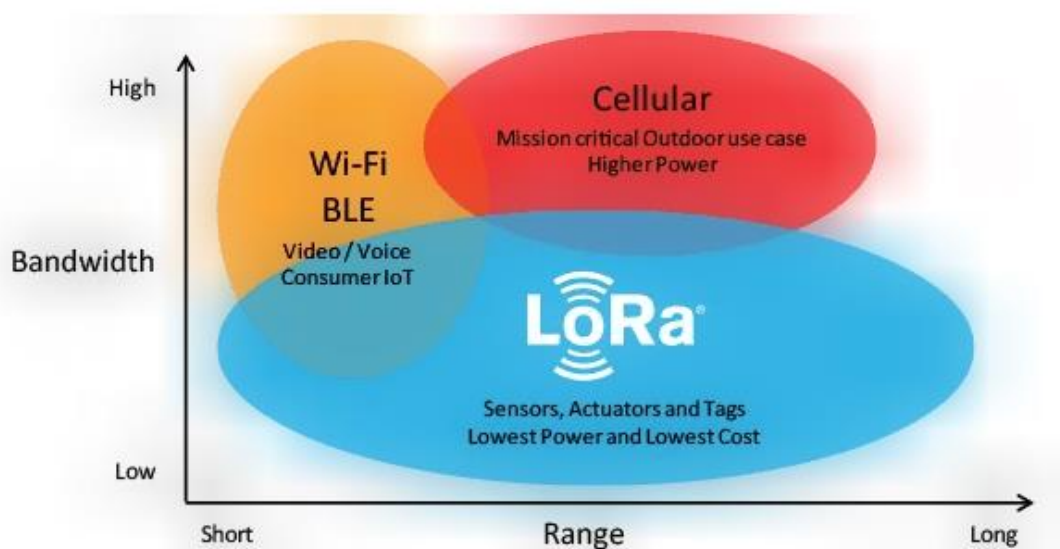
LoRa: Ιδανικό για εφαρμογές με χαμηλές ταχύτητες, μεγάλο εύρος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

WiFi: Ιδανικό για εφαρμογές με υψηλές ταχύτητες δεδομένων σε περιορισμένο εύρος.

BLE: Κατάλληλο για μικρές αποστάσεις με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αλλά ίδιος εύρος με το WiFi

Cellular: Ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη περιοχή κάλυψης και υψηλές ταχύτητες δεδομένων, με υποστήριξη από υπάρχουσες κινητές υποδομές.

Αυτές οι τεχνολογίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και προορίζονται για διαφορετικούς τύπους εφαρμογών, αναλόγως των απαιτήσεων για εμβέλεια, ταχύτητα και κατανάλωση ενέργειας (εικ 1-26)



Εικόνα 1-26 WiFi-BLE-LoRa-GSM

1.3.3 Απαιτήσεις Αυτόματων Κατανεμημένων Συστημάτων στην ύπαιθρο

Η παρακολούθηση και λειτουργία αυτόματων κατανεμημένων συστημάτων στην ύπαιθρο απαιτεί την υιοθέτηση αποδοτικών λύσεων τροφοδοσίας, λόγω της περιορισμένης πρόσβασης σε σταθερές πηγές ενέργειας. Μικροελεγκτές όπως το Arduino και το Raspberry Pi, συχνά επιλέγονται για την κατασκευή αυτών των συστημάτων λόγω της ευελιξίας τους. Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας τους παίζει κρίσιμο ρόλο στον σχεδιασμό τέτοιων εφαρμογών.

Κατανάλωση Ενέργειας Arduino

Η ενεργειακή κατανάλωση των Arduino boards ποικίλλει ανάλογα με το μοντέλο και τη λειτουργία τους. Σύμφωνα με δεδομένα από την επίσημη τεκμηρίωση της Arduino: (*Arduino Power Consumption: Arduino Documentation*)

- Arduino Nano ESP32: (7-12 Volt)
 - Ελάχιστη κατανάλωση: 29.18 mA.
 - Μέγιστη κατανάλωση: 46.58 mA.
 - Μέση κατανάλωση: 31.05 mA.
- Arduino UNO R4 WiFi: (7-12 Volt)
 - Ελάχιστη κατανάλωση: 82.86 mA.
 - Μέγιστη κατανάλωση: 124.04 mA.
 - Μέση κατανάλωση: 92.63 mA.

Κατανάλωση Ενέργειας Raspberry

Η κατανάλωση ενέργειας των Raspberry Pi boards είναι γενικά υψηλότερη από εκείνη των Arduino boards, λόγω της αυξημένης υπολογιστικής τους ισχύος, οπότε έχουμε ενδεικτικά κάποια μοντέλα προς ανάλυση (*Raspberry Pi Power Consumption: Pi Dramele Benchmarks*).

- **Raspberry Pi 4 B:**
 - Κατάσταση αδράνειας: 540 mA (2.7 W)
 - Μέγιστη κατανάλωση: 1280 mA (6.4 W)
 - Λειτουργεί με 5V (σταθερή τάση).
- **Raspberry Pi 3 B+:**

- Κατάσταση αδράνειας: 350 mA (1.9 W)
- Μέγιστη κατανάλωση: 980 mA (5.1 W)
- Λειτουργεί με 5V (σταθερή τάση).
- **Raspberry Pi Zero W:**
 - Κατάσταση αδράνειας: 100 mA (0.6 W)
 - Με ενεργοποιημένο WiFi: 120 mA (0.7 W)
 - Λειτουργεί με 5V (σταθερή τάση).

Αυτά τα δεδομένα δείχνουν τη διακύμανση στην κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων Raspberry Pi, εξαρτώμενα από τη φόρτο εργασίας και τις συνθήκες λειτουργίας. Τα Raspberry Pi απαιτούν ρεύμα 5V για τη λειτουργία τους, κάτι που τα καθιστά πιο απαιτητικά σε ενέργεια σε σχέση με τα απλούστερα Arduino boards που έχουν λιγότερες απαιτήσεις ισχύος (Bekaroo, G., & Santokhee, A. 2016)

Υπολογισμός Διάρκειας Λειτουργίας Συσκευής με Μπαταρίες

Κατά τη σχεδίαση ή την ανάλυση φορητών συσκευών, είναι απαραίτητο να εκτιμήσουμε τη διάρκεια της λειτουργίας τους με βάση την κατανάλωση ενέργειας και τη χωρητικότητα της μπαταρίας που χρησιμοποιούν. Η διάρκεια λειτουργίας είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της αυτονομίας της συσκευής, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν μεταφορά ή χρήση εκτός πηγαίου ρεύματος.

Η διάρκεια λειτουργίας μιας συσκευής με μπαταρία υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

$$\text{Διάρκεια (ώρες)} = \frac{\text{Χωρητικότητα Μπαταρίας (mAh)}}{\text{Μέση Κατανάλωση (mA)}}$$

Για παράδειγμα, αν μια συσκευή έχει μέση κατανάλωση 31.05 mA και χρησιμοποιείται με μια μπαταρία 300 mAh, τότε η διάρκεια λειτουργίας μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Διάρκεια (ώρες)} = \frac{300 \text{ (mAh)}}{31.05 \text{ mA}} \approx 9,66 \text{ ώρες}$$

Αυτό σημαίνει ότι η συσκευή θα μπορεί να λειτουργεί για περίπου 9.66 ώρες με μια μπαταρία χωρητικότητας 300 mAh και μέση κατανάλωση 31.05 mA.

Για να παρατείνουμε τη διάρκεια λειτουργίας, θα πρέπει να επιλέξουμε μπαταρίες με μεγαλύτερη χωρητικότητα. Για παράδειγμα, μια μπαταρία 1000 mAh θα μπορούσε να παράσχει περισσότερη ενέργεια, επιτρέποντας στη συσκευή να λειτουργήσει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (*Arduino Power Consumption: Arduino Documentation*).

Επιλογές Τροφοδοσίας για το Project μας

Μπαταρία 9V

- Τάση: 9V (εντός του εύρους 7–12V).
 - Ρεύμα: Συνήθως μικρότερη από 1A (περιορισμένη διάρκεια λειτουργίας).
 - Κατάλληλη για: Μικρά projects ή σύντομες δοκιμές.
 - Μειονέκτημα: Δεν έχει μεγάλη διάρκεια λόγω της χαμηλής χωρητικότητας (ποικίλει ανά κατασκευαστή 230–1250 mAh).
-

Συνδυασμός Μπαταριών 9V

- Σύνδεση:
 - 6 μπαταρίες AA σε σειρά = $6 \times 1.5V = 9V$.
 - Ρεύμα: Παρέχουν αρκετό ρεύμα, συνήθως πάνω από 1A, ανάλογα με τις μπαταρίες.
 - Χωρητικότητα:
 - Αλκαλικές: 1500–3000mAh.
 - Επαναφορτιζόμενες (NiMH): 1800–2600mAh.
 - Κατάλληλη για: Μεσαία projects με μεγαλύτερη διάρκεια.
-

Μπαταρίες Λιθίου με Συνδυασμό Φωτοβολταϊκών

Τύποι:

- Li-ion (Λιθίου-Ιόντων): Μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, ιδανική για μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας.
- Li-Po (Λιθίου-Πολυμερών): Ελαφρύτερη και ευέλικτη, κατάλληλη για φορητές συσκευές και ειδικές εφαρμογές.

Τάση και Χωρητικότητα:

- Τάση: Συνήθως 3.7V–12V ανάλογα με την μπαταρία.
- Χωρητικότητα: Από 1000mAh έως 20000mAh ή περισσότερο, εξαρτάται από τις απαιτήσεις του project.

Διάρκεια Ζωής:

- Υψηλός αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης (500–1000+ κύκλοι).
- Χαμηλή αυτοεκφόρτιση, διατηρώντας την ενέργεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Συμβατότητα με Φωτοβολταϊκά:

- Εύκολη σύνδεση μέσω κυκλωμάτων φόρτισης που βελτιστοποιεί τη φόρτιση από τα ηλιακά πάνελ.

1.3.4 Συμπεράσματα

Για το συγκεκριμένο project, η επιλογή των σωστών εξαρτημάτων είναι κρίσιμη για την επιτυχημένη υλοποίησή του, καθώς επηρεάζει την απόδοση, την αυτονομία και την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η επιλογή των σωστών τροφοδοτικών, τεχνολογιών επικοινωνίας και αισθητήρων καθορίζει τη λειτουργία του έργου και την ικανότητά του να ανταποκριθεί στις ανάγκες της εφαρμογής. Ακολουθούν οι βασικές επιλογές για το project μας, που έχουν επιλεγεί με βάση τα πλεονεκτήματα και τις απαιτήσεις του.

Όσον αφορά τους αισθητήρες, επιλέγουμε τον υπερηχητικό αισθητήρα (ultrasonic sensor) για το project μας, καθώς προσφέρει εξαιρετικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους τύπους αισθητήρων. Χρησιμοποιώντας ηχητικά κύματα, ο υπερηχητικός αισθητήρας μετρά αποστάσεις με υψηλή ακρίβεια και χωρίς την ανάγκη φυσικής επαφής με το αντικείμενο. Αυτό τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μέτρηση απόστασης σε περιβάλλοντα με περιορισμούς. Επιπλέον, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η ευκολία

χρήσης του το καθιστούν πιο αποδοτικό σε σχέση με άλλους τύπους αισθητήρων, όπως οι υπέρυθροι ή LIDAR, που ενδέχεται να είναι πιο ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές συνθήκες ή να απαιτούν μεγαλύτερη ενέργεια.

Στο κομμάτι της επικοινωνίας, η τεχνολογία Cellular (GSM/GPRS) είναι η καλύτερη επιλογή για το project μας, καθώς προσφέρει μεγάλη περιοχή κάλυψης και υψηλές ταχύτητες δεδομένων. Επειδή βασίζεται σε υπάρχουσες κινητές υποδομές, εξασφαλίζει αξιόπιστη συνδεσιμότητα, ακόμη και σε απομακρυσμένες ή απομονωμένες περιοχές, όπου άλλες υποδομές μπορεί να μην είναι διαθέσιμες. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την άμεση υλοποίηση, καθιστώντας τη ιδιαίτερα χρήσιμη για εφαρμογές σε υπαίθρια περιβάλλοντα και δυσπρόσιτες περιοχές.

Τέλος, η επιλογή μπαταρίας λιθίου σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό πάνελ αποτελεί την καταλληλότερη λύση. Αυτή η επιλογή παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και απόδοση, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την ανανέωση της ενέργειας μέσω ηλιακής ενέργειας, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη αυτονομία. Οι μπαταρίες λιθίου, όπως οι Li-ion και Li-Po, προσφέρουν μακροχρόνια απόδοση με χαμηλή αυτοεκφόρτιση και μεγάλη διάρκεια ζωής, αφού υποστηρίζουν 500-1000 κύκλους φόρτισης. Αυτή η τεχνολογία είναι συμβατή με τα κυκλώματα φόρτισης από ηλιακά πάνελ, κάνοντάς την ιδανική για φορητές και μακροχρόνιες εφαρμογές, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές αντικαταστάσεις ή φόρτιση.

2. Κεφάλαιο 2: Σκοπός της Βιβλιογραφικής Έρευνας

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης στάθμης και διαχείρισης δεδομένων που σχετίζονται με περιβαλλοντικές και λειτουργικές παραμέτρους. Η εργασία αυτή βασίζεται στα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της πρώτης γενικής έρευνας (1^ο κεφάλαιο), η οποία παρείχε μια ευρεία επισκόπηση των τεχνολογιών, εργαλείων και μεθοδολογιών που είναι διαθέσιμες για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων.

Συγκεκριμένα, το δεύτερο μέρος θα συνδυάσει τις αρχές που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία με την πρακτική εφαρμογή τους, ώστε να σχεδιαστεί ένα σύστημα που θα ανταποκρίνεται στις παραπάνω ανάγκες, ενσωματώνοντας βέλτιστες πρακτικές και πρότυπα.

2.1 Καταγραφή Απαιτήσεων

Η καταγραφή απαιτήσεων αποτελεί το θεμέλιο για τη σχεδίαση και ανάπτυξη οποιουδήποτε τεχνολογικού συστήματος, και ιδιαίτερα ενός συστήματος που προορίζεται για κρίσιμες εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση παραμέτρων. Η διαδικασία αυτή είναι νευραλγικής σημασίας, καθώς πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία και την απόδοσή του σε πραγματικό χρόνο. Πρόκειται για μια δομημένη διαδικασία, η οποία ξεκινά με την κατανόηση των αναγκών των τελικών χρηστών και τη σύνδεση αυτών των αναγκών με συγκεκριμένες τεχνολογικές δυνατότητες. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την συγκέντρωση δεδομένων από αισθητήρες, με βάση την βιβλιογραφία μας και σχετικές εφαρμογές για τον προσδιορισμό προβλημάτων που το σύστημα θα κληθεί να επιλύσει. Την ιεράρχηση των απαιτήσεων με βάση τη σημασία και τον αντίκτυπο και την δημιουργία ενός σαφούς και δομημένου εγγράφου όπου οι απαιτήσεις διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: λειτουργικές και μη λειτουργικές, όπως περιγράφεται παρακάτω.

2.1.1 Λειτουργικές Απαιτήσεις

Οι λειτουργικές απαιτήσεις καθορίζουν τις συγκεκριμένες ενέργειες και λειτουργίες που πρέπει να υποστηρίζει το σύστημα ώστε να απαντήσει στις ανάγκες του προβλήματος και να επιλύσει τα ζητήματα που αναδείχθηκαν στη βιβλιογραφική έρευνα:

2.1.1.1 Καταγραφή Δεδομένων

Η καταγραφή δεδομένων αποτελεί θεμέλιο λίθο για τη λειτουργικότητα ενός συστήματος παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα πρέπει να συλλέγει πληροφορίες από διάφορους αισθητήρες, όπως αυτούς που μετρούν στάθμη υγρών, υγρασία, θερμοκρασία και άλλες κρίσιμες παραμέτρους, διασφαλίζοντας την ακρίβεια και αξιοπιστία των δεδομένων. Αυτή η διαδικασία στηρίζεται στην εφαρμογή τεχνολογικών λύσεων που επιτρέπουν τη διασύνδεση των αισθητήρων με πλατφόρμες αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματική συλλογή και διαχείρισή τους.

Οι πλατφόρμες όπως το Ubidots και το Arduino Cloud προσφέρουν προηγμένες δυνατότητες για τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες, επιτρέποντας τη λειτουργία σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες συνδέονται με το σύστημα μέσω κατάλληλου υλικού (hardware) και μεταδίδουν τις μετρήσεις τους σε κεντρικά συστήματα διαχείρισης δεδομένων, όπως μικροελεγκτές ή άλλες μονάδες επεξεργασίας.

Η διαδικασία της καταγραφής δεδομένων περιλαμβάνει τα εξής βασικά στάδια:

Διασύνδεση Αισθητήρων: Οι αισθητήρες εγκαθίστανται σε κρίσιμα σημεία όπου απαιτείται η μέτρηση συγκεκριμένων παραμέτρων. Για παράδειγμα, αισθητήρες στάθμης υγρών τοποθετούνται σε δεξαμενές, ενώ αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας τοποθετούνται σε χώρους όπου παρακολουθείται το περιβάλλον.

Μεταφορά Δεδομένων: Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες μεταφέρονται μέσω του κατάλληλου εξοπλισμού στις πλατφόρμες επεξεργασίας δεδομένων. Η χρήση αξιόπιστων μεθόδων επικοινωνίας εξασφαλίζει την ακρίβεια και τη συνέπεια κατά τη μεταφορά των δεδομένων.

Επεξεργασία Δεδομένων: Οι πλατφόρμες επεξεργάζονται τα δεδομένα που λαμβάνουν, εφαρμόζοντας φίλτρα, επαλήθευση και τυποποίηση, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα και η αξιοπιστία τους πριν την αποθήκευση ή την περαιτέρω ανάλυση.

Παρακολούθηση σε Πραγματικό Χρόνο: Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο μέσω διαδραστικών πινάκων ελέγχου (dashboards). Αυτά τα εργαλεία οπτικοποίησης προσφέρουν άμεση εικόνα για κρίσιμες παραμέτρους, επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων με ακρίβεια και ταχύτητα.

Η άμεση πρόσβαση σε δεδομένα πραγματικού χρόνου επιτρέπει την ταχεία αντίδραση σε αλλαγές που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του συστήματος.

2.1.1.2 Αποθήκευση Δεδομένων

Η αποθήκευση δεδομένων αποτελεί μία σημαντική λειτουργική απαίτηση, καθώς εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα, την ακεραιότητα και την ευκολία πρόσβασης στις πληροφορίες που συλλέγονται από τους αισθητήρες. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να καλύπτουν τις ανάγκες του συστήματος τόσο για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο όσο και για την ανάλυση ιστορικών δεδομένων. Οι πλατφόρμες αποθήκευσης, όπως το Ubidots και το Arduino Cloud, περιλαμβάνουν ενσωματωμένα εργαλεία οπτικοποίησης που επιτρέπουν την παρουσίαση των δεδομένων τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και με βάση ιστορικές καταγραφές. Αυτά τα εργαλεία παρέχουν τη δυνατότητα στον χρήστη να αποκτήσει μια γενική εικόνα της λειτουργίας του συστήματος μέσω διαδραστικών πινάκων ελέγχου (dashboards). Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα αναδρομικής ανάλυσης, που βοηθά στην αναγνώριση πιθανών ανωμαλιών, η πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ανάλυση και συντήρηση μελλοντικά. Με τη χρήση δεδομένων από προηγούμενες περιόδους, είναι δυνατή η παρακολούθηση αλλαγών στις παραμέτρους με την πάροδο του χρόνου, όπως η μείωση της στάθμης του νερού ή η αύξηση της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Επιπλέον, οι πληροφορίες αυτές διευκολύνουν τον εντοπισμό πιθανών βλαβών πριν την εμφάνισή τους, συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση της λειτουργίας και στη μείωση του κόστους συντήρησης. Παράλληλα, τα ιστορικά δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν για τη λήψη βελτιωμένων αποφάσεων, που αφορούν τη βελτιστοποίηση διαδικασιών και την αποφυγή δυσλειτουργιών. Η δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας (backups) σε τακτικά χρονικά διαστήματα μέσα στο έτος διασφαλίζει την ανάκτηση των δεδομένων σε περίπτωση αποτυχίας του συστήματος π.χ. λόγω αδυναμίας σύνδεσης στο cloud ή στο ίντερνετ.

2.1.1.3 Απεικόνιση Δεδομένων

Η απεικόνιση δεδομένων αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες ενός σύγχρονου συστήματος παρακολούθησης. Η κατάσταση του συστήματος και οι μετρήσεις από τους αισθητήρες παρουσιάζονται γραφικά μέσω ενός πίνακα ελέγχου (dashboard), το οποίο είναι προσβάσιμο τόσο από σταθερές όσο και από φορητές συσκευές. Η σχεδίαση ενός τέτοιου dashboard είναι απαραίτητο να ακολουθεί καθοδηγητικές αρχές οπτικοποίησης

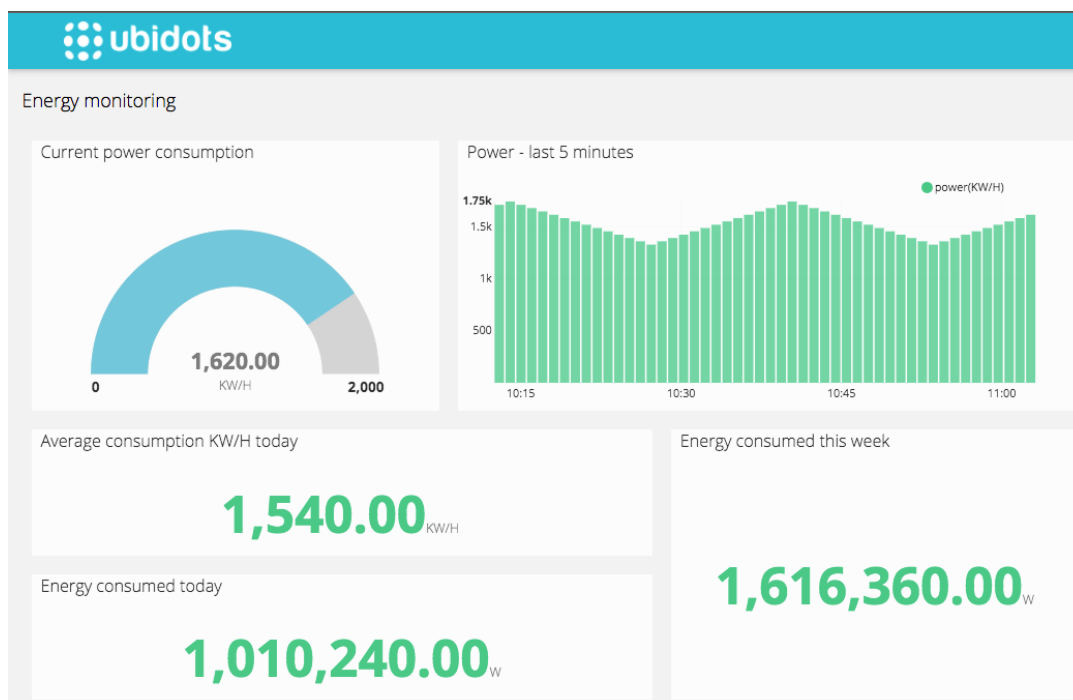
(visualization guidelines) για να διασφαλίζεται η ευχρηστία, η ευκρίνεια και η λειτουργικότητα.

Κατά τη φάση του σχεδιασμού, δημιουργούνται πρότυπα mockups, τα οποία αποτελούν στατικές απεικονίσεις του dashboard. Αυτά τα mockups επιτρέπουν στους σχεδιαστές να δοκιμάσουν και να αξιολογήσουν τη διάταξη, τα χρώματα και την παρουσίαση των δεδομένων πριν από την τελική υλοποίηση. Για παράδειγμα, ένα mockup μπορεί να περιλαμβάνει τη θέση των γραφημάτων που απεικονίζουν τη θερμοκρασία ή τη στάθμη υγρών, τη χρήση χρωματικής κωδικοποίησης για τη γρήγορη κατανόηση των κρίσιμων μεταβλητών, καθώς και την τοποθέτηση διαδραστικών στοιχείων, όπως κουμπιών για την επιλογή συγκεκριμένων χρονικών περιόδων.

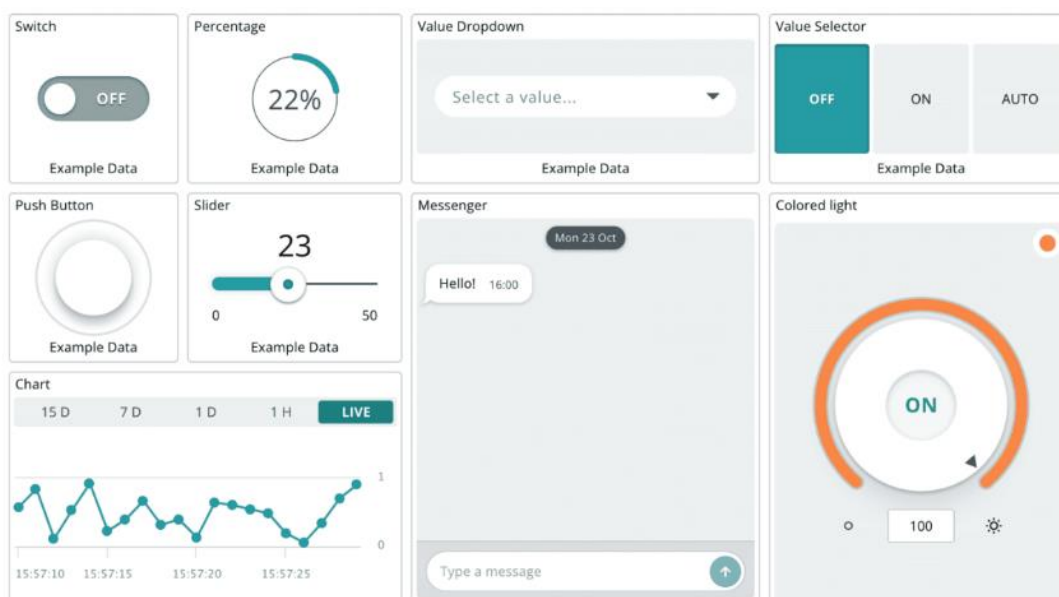
Αφού εγκριθούν τα mockups, το dashboard υλοποιείται στην τελική του μορφή. Αυτό το δυναμικό εργαλείο παρουσιάζει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν κρίσιμες παραμέτρους του συστήματος. Οι πλατφόρμες, όπως το Ubidots (εικ. 2-1), και το Arduino Cloud (εικ. 2-2), παρέχουν εύχρηστα εργαλεία για την υλοποίηση αυτών των dashboards, υποστηρίζοντας τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από αισθητήρες που συνδέονται μέσω ασύρματων ή ενσύρματων δικτύων.

Η λειτουργικότητα του dashboard περιλαμβάνει δυναμικά γραφήματα, δείκτες και ειδοποιήσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να εμφανίζει τις τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε διαγράμματα γραμμών, ενώ ταυτόχρονα να ειδοποιεί τους χρήστες μέσω χρωματικών αλλαγών ή μηνυμάτων όταν οι τιμές υπερβούν κρίσιμα όρια. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα προσαρμογής του dashboard, ώστε ο χρήστης να βλέπει μόνο τις παραμέτρους που τον ενδιαφέρουν περισσότερο.

Η χρήση mockups στον αρχικό σχεδιασμό εγγυάται ότι το τελικό dashboard θα είναι εργονομικό και αποτελεσματικό, καθώς επιτρέπει τη δοκιμή διαφορετικών σχεδιαστικών επιλογών χωρίς μεγάλο κόστος υλοποίησης. Το αποτέλεσμα είναι ένα εργαλείο παρακολούθησης που ενσωματώνει τόσο την αισθητική όσο και τη λειτουργικότητα, επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται το σύστημά τους με ευκολία.



Εικόνα 2-1 Εικόνα από Dashboard Ubidots



Εικόνα 2-2 Εικόνα από Dashboard Arduino

2.1.1.4 Υποστήριξη Πολλαπλών Χρηστών και Συσκευών

Η υποστήριξη πολλαπλών συσκευών και χρηστών είναι ένα ακόμη κρίσιμο χαρακτηριστικό για κάθε σύγχρονο σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης δεδομένων. Η δυνατότητα πρόσβασης από διαφορετικούς τύπους συσκευών και η ταυτόχρονη χρήση από πολλούς

χρήστες επιτρέπει την ευελιξία, τη συνεργασία και τη διαφάνεια στις λειτουργίες του συστήματος. Ειδικά σε περιβάλλοντα που απαιτούν τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αυτή η δυνατότητα καθίσταται ουσιαστική για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Ένα σύστημα που υποστηρίζει πολλαπλές συσκευές πρέπει να προσφέρει απρόσκοπτη εμπειρία χρήσης ανεξαρτήτως της πλατφόρμας. Οι χρήστες μπορεί να χρειάζεται να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα από διάφορες συσκευές, όπως σταθερούς υπολογιστές που χρησιμοποιούνται από διαχειριστές ή τεχνικούς σε κεντρικά γραφεία για την εκτενή ανάλυση δεδομένων και τη διαμόρφωση του συστήματος, φορητούς υπολογιστές που παρέχουν ευελιξία στους χρήστες που βρίσκονται εν κινήσει, καθώς και κινητές συσκευές, όπως smartphones και tablets, που είναι ιδανικές για άμεση ενημέρωση και διαχείριση σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και από απομακρυσμένες τοποθεσίες. Η λειτουργικότητα πρέπει να προσαρμόζεται δυναμικά στο μέγεθος της οθόνης, με τη χρήση τεχνικών responsive design, ενώ η πρόσβαση σε κρίσιμα δεδομένα και ειδοποιήσεις πρέπει να παραμένει εύκολη και διαισθητική.

Η ταυτόχρονη υποστήριξη πολλών χρηστών προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, ιδίως σε περιβάλλοντα όπου η συνεργασία είναι κρίσιμη. Ένα σύστημα που υποστηρίζει πολλούς χρήστες πρέπει να περιλαμβάνει δυνατότητες όπως διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης, όπου οι χρήστες έχουν διαβαθμισμένη πρόσβαση στις λειτουργίες και τα δεδομένα, ανάλογα με τον ρόλο τους. Για παράδειγμα, οι διαχειριστές έχουν πλήρη πρόσβαση με δυνατότητα διαχείρισης χρηστών, συσκευών και παραμέτρων του συστήματος, οι τεχνικοί χρήστες έχουν πρόσβαση σε τεχνικά δεδομένα και ειδοποιήσεις που σχετίζονται με τη συντήρηση, ενώ οι τελικοί χρήστες διαθέτουν περιορισμένη πρόσβαση για παρακολούθηση δεδομένων ή ειδοποιήσεων. Επιπλέον, το σύστημα πρέπει να διασφαλίζει συγχρονισμό σε πραγματικό χρόνο, ώστε όταν πολλοί χρήστες εργάζονται ταυτόχρονα, οι αλλαγές να ενημερώνονται άμεσα για όλους, αποτρέποντας συγκρούσεις ή απώλειες δεδομένων. Εργαλεία συνεργασίας, όπως η δυνατότητα ανταλλαγής σχολίων ή η διαχείριση εργασιών μέσω του συστήματος, μπορούν να ενισχύσουν την ομαδική εργασία.

Η υποστήριξη πολλαπλών συσκευών και χρηστών προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως αυξημένη ευελιξία, βελτιωμένη συνεργασία, ενισχυμένη ασφάλεια και αποδοτικότητα. Οι χρήστες μπορούν να εργάζονται από οποιαδήποτε τοποθεσία και συσκευή, εξασφαλίζοντας συνεχή παρακολούθηση και ανταπόκριση. Η δυνατότητα ταυτόχρονης πρόσβασης ενισχύει την ομαδική εργασία και την ανταλλαγή πληροφοριών, ενώ η διαβάθμιση της πρόσβασης

αποτρέπει τη μη εξουσιοδοτημένη χρήση ή την πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα. Παράλληλα, οι χρήστες μπορούν να προσαρμόσουν τις λειτουργίες στις ανάγκες τους, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης και ενισχύοντας τη λήψη αποφάσεων. Η επίτευξη αυτής της δυνατότητας προϋποθέτει την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών, όπως cloud-based πλατφόρμες που εξασφαλίζουν την πρόσβαση στα δεδομένα από οπουδήποτε και οποτεδήποτε, συστήματα αυθεντικοποίησης χρηστών που διασφαλίζουν την ταυτότητα των χρηστών με τη χρήση τεχνολογιών. Η υποστήριξη πολλαπλών συσκευών και χρηστών αποτελεί βασικό συστατικό για τη λειτουργία κάθε σύγχρονου συστήματος που απαιτεί συνεχή παρακολούθηση, ανάλυση και συνεργασία.

2.1.1.5 Ειδοποιήσεις μέσω Δεδομένων

Οι ειδοποιήσεις μέσω δεδομένων αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου συστήματος παρακολούθησης, προσφέροντας τη δυνατότητα άμεσης ενημέρωσης και λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Σε εφαρμογές όπου η συνεχής εποπτεία και η έγκαιρη αντίδραση είναι κρίσιμες, οι ειδοποιήσεις λειτουργούν ως μηχανισμός που εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος και την πρόληψη προβλημάτων. Οι ειδοποιήσεις βασίζονται σε προκαθορισμένους κανόνες και όρια που έχουν οριστεί για τις κρίσιμες παραμέτρους που παρακολουθούνται. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που παρακολουθεί τη στάθμη υγρών σε μια δεξαμενή μπορεί να στέλνει ειδοποίηση όταν η στάθμη πέσει κάτω από ένα ελάχιστο όριο ή ξεπεράσει ένα μέγιστο όριο ασφαλείας. Αντίστοιχα, οι μετρήσεις θερμοκρασίας ή υγρασίας μπορούν να προκαλέσουν ειδοποίηση όταν οι τιμές αποκλίνουν από το εύρος που έχει οριστεί ως αποδεκτό. Οι ειδοποιήσεις μπορούν να λαμβάνουν διάφορες μορφές, ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασης και την ανάγκη άμεσης αντίδρασης. Οι πιο συνηθισμένες μορφές περιλαμβάνουν:

Ειδοποιήσεις μέσω email: Αποστολή μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου προς διαχειριστές ή ομάδες υποστήριξης, παρέχοντας λεπτομέρειες για το πρόβλημα και προτεινόμενες ενέργειες.

Μηνύματα SMS: Χρήσιμα για καταστάσεις που απαιτούν άμεση ειδοποίηση, όπως κρίσιμες μεταβολές στη θερμοκρασία ή αστοχίες εξοπλισμού.

Push Notifications: Ειδοποιήσεις που εμφανίζονται σε εφαρμογές κινητών συσκευών, επιτρέποντας στους χρήστες να ενημερώνονται άμεσα, ακόμα και όταν βρίσκονται εν κινήσει.

Οπτικοακουστικά σήματα: Σε φυσικούς χώρους, τα συστήματα μπορούν να ενεργοποιούν φώτα συναγερμού ή σειρήνες για να τραβήξουν την προσοχή σε κρίσιμες καταστάσεις.

Η αποτελεσματικότητα των ειδοποιήσεων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ακρίβεια και την αξιοπιστία των δεδομένων που συλλέγονται. Εσφαλμένες ή ασαφείς ειδοποιήσεις μπορεί να προκαλέσουν σύγχυση ή να οδηγήσουν σε αδικαιολόγητο πανικό. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, τα συστήματα πρέπει να ενσωματώνουν τεχνικές φιλτραρίσματος και επαλήθευσης των δεδομένων, εξασφαλίζοντας ότι οι ειδοποιήσεις βασίζονται μόνο σε πραγματικά γεγονότα.

Η παραμετροποίηση των ειδοποιήσεων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο. Τα σύγχρονα συστήματα επιτρέπουν στους χρήστες να καθορίζουν κριτήρια και όρια για τις ειδοποιήσεις ανάλογα με τις ανάγκες τους. Για παράδειγμα, οι διαχειριστές μπορούν να ορίσουν διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας, επιτρέποντας την εστίαση σε πιο κρίσιμες καταστάσεις.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογών που υποστηρίζουν αυτές τις δυνατότητες είναι οι πλατφόρμες Ubidots και Arduino Cloud. Το Ubidots προσφέρει εύχρηστες διεπαφές για τη ρύθμιση ειδοποιήσεων βάσει προκαθορισμένων κανόνων, όπως μεταβολές σε δεδομένα αισθητήρων. Οι ειδοποιήσεις μπορούν να αποστέλλονται μέσω email, SMS ή ακόμα και push notifications στις συνδεδεμένες εφαρμογές κινητών συσκευών, διασφαλίζοντας ότι οι χρήστες ενημερώνονται αμέσως για κρίσιμες καταστάσεις.

Αντίστοιχα, το Arduino Cloud επιτρέπει τη ρύθμιση ειδοποιήσεων απευθείας από τα dashboards που παρέχει. Με υποστήριξη για διάφορες μορφές επικοινωνίας, οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο μέσω των κινητών τους, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Arduino IoT Cloud, η οποία είναι διαθέσιμη για Android και iOS. Αυτό καθιστά τη διαχείριση του συστήματος εύκολη και προσβάσιμη, ακόμα και όταν οι χρήστες βρίσκονται μακριά από την τοποθεσία του εξοπλισμού.

Επιπλέον, η δυνατότητα καταγραφής ιστορικού ειδοποιήσεων ενισχύει τη διαφάνεια και τη δυνατότητα ανάλυσης. Οι χρήστες μπορούν να επιστρέφουν σε προηγούμενες ειδοποιήσεις για να ανιχνεύσουν μοτίβα ή να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων τους.

Οι ειδοποιήσεις μέσω δεδομένων, όταν ενσωματώνονται σωστά, αποτελούν έναν ισχυρό μηχανισμό για τη διατήρηση της λειτουργικότητας ενός συστήματος, την έγκαιρη πρόληψη προβλημάτων και τη βελτίωση της συνολικής εμπειρίας διαχείρισης. Με τη χρήση πλατφόρμων όπως το Ubidots και το Arduino Cloud, οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί

μπορούν να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία για ένα πιο ευέλικτο και αποδοτικό περιβάλλον λειτουργίας.

2.1.2 Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις

Οι μη λειτουργικές απαιτήσεις καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της λύσης, βασιζόμενες στις ανάγκες που καταγράφηκαν από τη βιβλιογραφία:

2.1.2.1 Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία αποτελεί ζωτικής σημασίας χαρακτηριστικό για κάθε σύστημα παρακολούθησης και αυτοματισμού, ιδιαίτερα όταν αυτό χρησιμοποιείται σε κρίσιμες εφαρμογές όπως η διαχείριση φυσικών πόρων ή η προστασία από κινδύνους. Ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να λειτουργεί αδιάλειπτα, με διαθεσιμότητα που αγγίζει τουλάχιστον το 99 %. Αυτό το επίπεδο διαθεσιμότητας διασφαλίζει ότι το σύστημα είναι σε θέση να παρέχει τις υπηρεσίες του χωρίς διακοπές, υποστηρίζοντας τις επιχειρησιακές ανάγκες ακόμα και στις πιο απαιτητικές συνθήκες. Η σημασία της αξιοπιστίας γίνεται ακόμα πιο έντονη κατά την αντιπυρική περίοδο, η οποία διαρκεί από τις αρχές Απριλίου έως το τέλος Οκτωβρίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι κίνδυνοι πυρκαγιάς αυξάνονται δραματικά, καθιστώντας την ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση και άμεση αντίδραση επιτακτική. Σε τέτοιες εφαρμογές, ένα διακοπτόμενο σύστημα θα μπορούσε να οδηγήσει σε καταστροφικές συνέπειες, όπως η αδυναμία ανίχνευσης χαμηλής στάθμης σε αποθετήριο και η ταυτόχρονη έναρξη πυρκαγιάς. Για να επιτευχθεί αυτή η υψηλή διαθεσιμότητα, το σύστημα πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τρόπο που να περιορίζει την πιθανότητα σφαλμάτων και αστοχιών με ιδιαίτερη σημασία, η διαχείριση της ενεργειακής αυτονομίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συστημάτων που βασίζονται σε μικρές ηλιακές μονάδες (solar panels) για την παραγωγή ενέργειας, εξασφαλίζοντας τη συνεχή φόρτιση των μπαταριών. Παράλληλα, η ενσωμάτωση μικρών ανεμογεννητριών (wind turbines) μπορεί να προσφέρει συμπληρωματική πηγή ενέργειας, ειδικά σε περιοχές με ελάχιστη ή καθόλου ηλιακή ενέργεια.

Η αποθήκευση ενέργειας μέσω μπαταριών μεγάλης διάρκειας και αντοχής διασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος ακόμα και σε περιπτώσεις περιορισμένης ηλιοφάνειας ή χαμηλών ανέμων. Τα συστήματα αυτά είναι σχεδιασμένα να εντοπίζουν αυτόματα τυχόν πτώση στα επίπεδα ενέργειας χρησιμοποιώντας έναν από τους

αναλογικούς ακροδέκτες (ADC) και να προσαρμόζουν την κατανάλωση για τη βέλτιστη διαχείριση των πόρων, ενισχύοντας περαιτέρω την ανθεκτικότητα του συστήματος.

Επιπλέον, για την προστασία του εξοπλισμού από περιβαλλοντικούς κινδύνους, είναι σημαντικό να λαμβάνονται προληπτικά μέτρα. Δεδομένου ότι οι αισθητήρες και οι μικροελεγκτές είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα, η τοποθέτησή τους σε ειδικά πλαστικά κουτιά ή θήκες μπορεί να προσφέρει προστασία από τυχόν βροχοπτώσεις κατά τη θερινή περίοδο, από τη συσσώρευση σκόνης, καθώς και από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν το καλοκαίρι. Τα κουτιά αυτά μπορούν να είναι σχεδιασμένα ώστε να εξασφαλίζουν την επαρκή κυκλοφορία του αέρα, περιορίζοντας την υπερθέρμανση των εξαρτημάτων. Στο τέλος της περιόδου, η περισυλλογή του εξοπλισμού από τις τοποθεσίες όπου είχε εγκατασταθεί είναι ζωτικής σημασίας. Αυτή η διαδικασία αποτρέπει περαιτέρω φθορά κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν οι έντονες βροχοπτώσεις, το κρύο και η υγρασία θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρή διάβρωση στα ηλεκτρονικά κυκλώματα και τις επαφές των συσκευών.

Η συντήρηση του εξοπλισμού περιλαμβάνει τον λεπτομερή καθαρισμό των εξαρτημάτων με ισοπροπυλική αλκοόλη, η οποία απομακρύνει αποτελεσματικά τους ρύπους και τις επικαθίσεις χωρίς να βλάπτει τα ηλεκτρονικά. Ελαφρύ τρίψιμο των επαφών και των εκτεθειμένων μερών των κυκλωμάτων μπορεί να βοηθήσει στην αποκατάσταση των σημείων που ενδεχομένως έχουν διαβρωθεί. Ειδικά για τα εξαρτήματα που περιέχουν μηχανικές συνδέσεις ή αρθρώσεις, η χρήση κατάλληλων λιπαντικών μπορεί να αποτρέψει περαιτέρω φθορά και να διατηρήσει τη λειτουργικότητά τους.

Η περισυλλογή και αποθήκευση του εξοπλισμού σε ασφαλή, στεγασμένο χώρο κατά τους χειμερινούς μήνες είναι εξίσου σημαντική. Με αυτόν τον τρόπο, οι συσκευές προστατεύονται από τις έντονες καιρικές συνθήκες και είναι έτοιμες να επαναχρησιμοποιηθούν στην επόμενη αντιτυρική περίοδο. Αυτή η προσέγγιση μειώνει το κόστος αντικατάστασης εξοπλισμού, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την απόδοση και την αξιοπιστία του συστήματος σε υψηλά επίπεδα.

Η διαδικασία αυτή, σε συνδυασμό με την τακτική συντήρηση κατά τη διάρκεια της περιόδου λειτουργίας, διασφαλίζει ότι το σύστημα παραμένει ανθεκτικό, αξιόπιστο και έτοιμο να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις κρίσιμων εφαρμογών.

2.1.2.2 Ασφάλεια

Η ασφάλεια των δεδομένων σε πλατφόρμες όπως το Arduino Cloud και το Ubidots αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την προστασία της ακεραιότητας και της εμπιστευτικότητας των πληροφοριών. Ένας από τους βασικούς μηχανισμούς προστασίας είναι η κρυπτογράφηση, η οποία διασφαλίζει ότι τα δεδομένα που μεταφέρονται μεταξύ συσκευών και διακομιστών παραμένουν προστατευμένα από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.

Το Arduino Cloud βασίζεται σε σύγχρονες τεχνολογίες για την προστασία των δεδομένων. Όλη η επικοινωνία που βασίζεται σε περιηγητές ή APIs πραγματοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου HTTPS το οποίο χρησιμοποιεί TLS (Transport Layer Security) για κρυπτογράφηση των δεδομένων κατά τη μεταφορά. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι οι πληροφορίες παραμένουν εμπιστευτικές και δεν μπορούν να υποκλαπούν από τρίτους. Τα IoT συστήματα που συνδέονται με το Arduino Cloud χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο MQTT, το οποίο έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές IoT και υποστηρίζει κρυπτογράφηση μέσω TLS. Αυτό εξασφαλίζει ένα ασφαλές κανάλι επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και του cloud, προστατεύοντας τα δεδομένα από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση (Arduino Cloud Security, 2024).

Το Ubidots εφαρμόζει μια σειρά μηχανισμών ασφαλείας για τη διασφάλιση της προστασίας των δεδομένων. Χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση μέσω HTTPS και TLS, εξασφαλίζοντας ασφαλή επικοινωνία μεταξύ συσκευών και cloud. Αυτό περιλαμβάνει την ενεργοποίηση πιστοποιητικού SSL, το οποίο δημιουργεί μια ασφαλή και κρυπτογραφημένη σύνδεση (Ubidots Security, 2024). Επιπλέον, υποστηρίζει το πρωτόκολλο MQTT, το οποίο, σε συνδυασμό με το TLS, παρέχει ένα αξιόπιστο και ασφαλές κανάλι επικοινωνίας. Στον τομέα του ελέγχου πρόσβασης, το Ubidots αντικαθιστά την παραδοσιακή αυθεντικοποίηση με όνομα χρήστη και κωδικό, χρησιμοποιώντας authentication tokens. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη δημιουργία token με API Key, την επαλήθευση του token από την εφαρμογή, την αποστολή του σε κάθε αίτημα και την αυτόματη λήξη του μετά από 6 ώρες αδράνειας, μειώνοντας τον κίνδυνο CSRF επιθέσεων. Τέλος, το Ubidots παρέχει τη δυνατότητα χρήσης του token στα headers του HTTP μέσω του πεδίου X-Auth-Token, αντί ως παράμετρο URL, για μεγαλύτερη ασφάλεια. Αυτή η πρακτική αποτρέπει την πιθανή έκθεση του token σε αρχεία καταγραφής ή spyware.

Εκτός από την κρυπτογράφηση, οι έλεγχοι πρόσβασης παίζουν σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια των δεδομένων. Η διαχείριση χρηστών με διαφορετικά επίπεδα δικαιωμάτων διασφαλίζει ότι μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ευαίσθητες

πληροφορίες ή να πραγματοποιούν κρίσιμες αλλαγές στο σύστημα. Η εφαρμογή αυστηρών πολιτικών κωδικών πρόσβασης, η τακτική αναθεώρηση των δικαιωμάτων πρόσβασης και η παρακολούθηση των δραστηριοτήτων των χρηστών συμβάλλουν στην ενίσχυση της ασφάλειας.

Συνοψίζοντας, η προστασία των δεδομένων σε πλατφόρμες όπως το Arduino Cloud και το Ubidots επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ισχυρών πρωτοκόλλων κρυπτογράφησης, όπως το SSL/TLS, και αποτελεσματικών μηχανισμών ελέγχου πρόσβασης. Η συνεχής ενημέρωση του λογισμικού, η εφαρμογή πολιτικών ασφαλείας και η εκπαίδευση των χρηστών είναι απαραίτητα στοιχεία για τη διατήρηση της ακεραιότητας και της εμπιστευτικότητας των δεδομένων σε τέτοια συστήματα.

2.1.2.3 Απόδοση

Η απόδοση ενός συστήματος παρακολούθησης είναι ένας ακόμη κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει την αποτελεσματικότητα και τη χρηστικότητα του σε πραγματικές συνθήκες. Ο χρόνος απόκρισης, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να επεξεργαστεί το σύστημα μια αίτηση χρήστη ή να ανταποκριθεί σε ένα γεγονός, επηρεάζει άμεσα την ικανότητα του συστήματος να διαχειρίζεται κρίσιμες καταστάσεις. Στο πλαίσιο αυτό, η σχεδίαση ενός συστήματος απαιτεί μια ισορροπημένη προσέγγιση μεταξύ ταχύτητας, ενεργειακής απόδοσης και διάρκειας ζωής του εξοπλισμού. Σε περιπτώσεις παρακολούθησης κρίσιμων εφαρμογών, όπως αυτές που σχετίζονται με την παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών, πρέπει να επιτευχθεί μια χρυσή τομή ανάμεσα στη γρήγορη ενημέρωση και στην οικονομία πόρων του εξοπλισμού. Για παράδειγμα, η ανίχνευση απότομης μείωσης της στάθμης του νερού απαιτεί άμεση ενημέρωση των χρηστών, ώστε να ληφθούν έγκαιρα μέτρα πρόληψης ή παρέμβασης. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα πρέπει να επεξεργάζεται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να αποστέλλει ειδοποιήσεις εντός δευτερολέπτων.

Η επίτευξη ενός σύντομου χρόνου απόκρισης δεν πρέπει να γίνεται εις βάρος της ενεργειακής απόδοσης. Ιδιαίτερα σε συστήματα που λειτουργούν με μπαταρίες και βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως μικρά ηλιακά πάνελ ή ανεμογεννήτριες (small wind turbines), η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας. Η χρήση χαμηλής κατανάλωσης μικροελεγκτών και αισθητήρων, η βελτιστοποίηση των αλγορίθμων επεξεργασίας και η προγραμματισμένη λειτουργία σε κατάσταση ύπνου (sleep mode) όταν δεν απαιτείται ενεργή λειτουργία, συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Παράλληλα, η έξυπνη χρήση επικοινωνιακών πρωτοκόλλων, όπως η αποστολή δεδομένων μόνο όταν ανιχνευθεί ανωμαλία (event-based communication), περιορίζει την κατανάλωση πόρων.

Η προσπάθεια για έναν γρήγορο χρόνο απόκρισης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Από την άλλη, η υπερβολική προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να καθυστερήσει τον χρόνο απόκρισης, καθιστώντας το σύστημα ακατάλληλο για κρίσιμες εφαρμογές. Για να διατηρηθεί αυτή η ισορροπία, είναι σημαντικό να υιοθετούνται τεχνικές που προσαρμόζουν δυναμικά τη λειτουργία του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες. Για παράδειγμα, σε κρίσιμες καταστάσεις, το σύστημα μπορεί να αυξάνει προσωρινά τη συχνότητα συλλογής δεδομένων κατά τις ώρες αιχμής, όπως μεταξύ 11:00 και 16:00 το απόγευμα, όταν οι συνθήκες ευνοούν την εξέλιξη πυρκαγιών. Από την άλλη, σε περιόδους χαμηλής δραστηριότητας, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί σε χαμηλότερη κατανάλωση, μειώνοντας σταδιακά τη συχνότητα επικοινωνίας. Για παράδειγμα, κατά τις ώρες 22:00 έως 08:00, η επικοινωνία θα μπορούσε να μειωθεί αισθητά.

Η βελτιστοποίηση του λογισμικού παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Η χρήση έξυπνων αλγορίθμων, όπως εκείνων που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη, μπορεί να βοηθήσει στην ανίχνευση ανωμαλιών χωρίς την ανάγκη συνεχούς συλλογής και αποστολής δεδομένων. Επιπλέον, τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε πλατφόρμες όπως το Arduino και οι σχετικές cloud υπηρεσίες επιτρέπουν την αποδοτική κατανομή των πόρων και τη συνεχή παρακολούθηση της απόδοσης.

Η απόδοση ενός συστήματος παρακολούθησης εξαρτάται από τη σωστή σχεδίαση και την προσαρμογή του στις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ένας ισορροπημένος χρόνος απόκρισης που δεν επιβαρύνει υπερβολικά την κατανάλωση ενέργειας και διασφαλίζει τη μακροχρόνια λειτουργία του εξοπλισμού είναι το κλειδί για την επιτυχία. Συστήματα που ενσωματώνουν έξυπνες τεχνικές διαχείρισης ενέργειας, δυναμική προσαρμογή και αξιοποίηση προηγμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας είναι ικανά να παρέχουν αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία, ακόμα και σε απαιτητικά περιβάλλοντα.

2.2 Επικοινωνία του Συστήματος

Η γεωμορφολογία της Λέσβου (εικ. 2-3), όπως προκύπτει από τους υψομετρικούς χάρτες και τις δασικές ζώνες, αποτελεί μια ιδιαίτερη πρόκληση για τη δημιουργία ενός

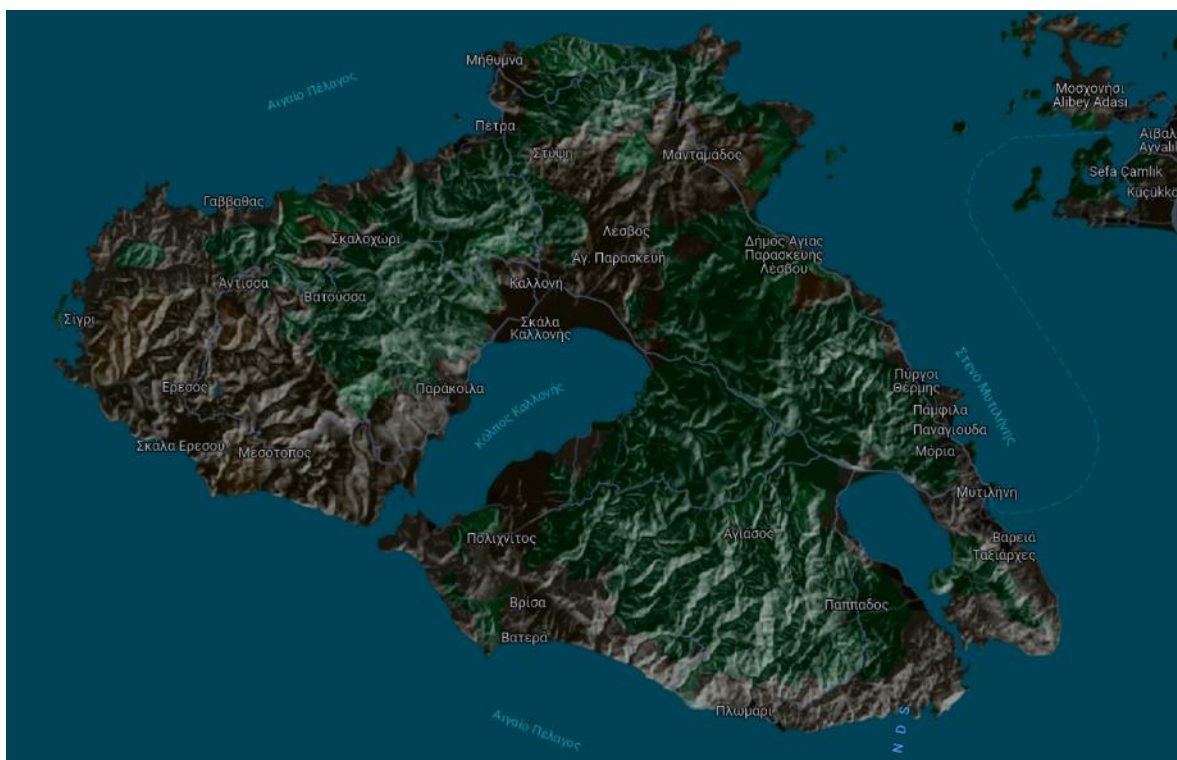
αποτελεσματικού δικτύου παρακολούθησης. Η ύπαρξη πολλών βουνών, οι μεγάλες δασικές εκτάσεις και η άνιση κατανομή δρόμων απαιτούν μια στρατηγική προσέγγιση για την ανάπτυξη του δικτύου. Το GSM αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή για την περιοχή, δεδομένων των περιορισμών και των πλεονεκτημάτων του σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, όπως το LoRa. Ειδικότερα, προτείνεται η χρήση GSM modules τύπου SIM800L ή SIM900, τα οποία είναι ευρέως διαθέσιμα, χαμηλού κόστους και υποστηρίζουν βασικές λειτουργίες επικοινωνίας μέσω δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Οι διαφορές υψομέτρου, από χαμηλές παράκτιες περιοχές έως υψηλά βουνά, δημιουργούν φυσικά εμπόδια που επηρεάζουν την κάλυψη των ασύρματων δικτύων. Ωστόσο, τα GSM δίκτυα βασίζονται σε υπάρχουσες κυψέλες κινητής τηλεφωνίας που ήδη καλύπτουν μεγάλο μέρος της περιοχής.

Παρόλο που τα GSM δίκτυα είναι σχεδιασμένα να υποστηρίζουν μεγάλο αριθμό συσκευών, σε περιοχές με περιορισμένη κάλυψη ο διαθέσιμος αριθμός κυψελών, καθώς και η ποσότητα δεδομένων που μπορεί να μεταφέρει κάθε συσκευή, μπορεί να αποτελέσουν περιοριστικούς παράγοντες. Για να αποφευχθεί η αλόγιστη αποστολή δεδομένων και να μειωθούν οι περιττές χρεώσεις αλλά και για να μην καλυφθούν ταυτόχρονα οι διαθέσιμες κυψέλες κινητής τηλεφωνίας (cells), είναι σημαντικό οι συσκευές να αποστέλλουν δεδομένα βασισμένες σε πραγματικές ανάγκες ή σε διαφορετικούς χρόνους. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται τεχνικές επικοινωνίας βασισμένες σε γεγονότα (event-based communication), ώστε να περιορίζεται η ταυτόχρονη αποστολή δεδομένων από πολλές συσκευές, χρήση λειτουργίας "sleep mode" ανάμεσα σε ώρες που δεν απαιτείται αποστολή δεδομένων (π.χ. ώρες μειωμένου κινδύνου για πυρκαγιά όπως αργά την νύχτα), καθώς και αποστολή δεδομένων σε διαφορετικούς χρόνους για κάθε συσκευή.

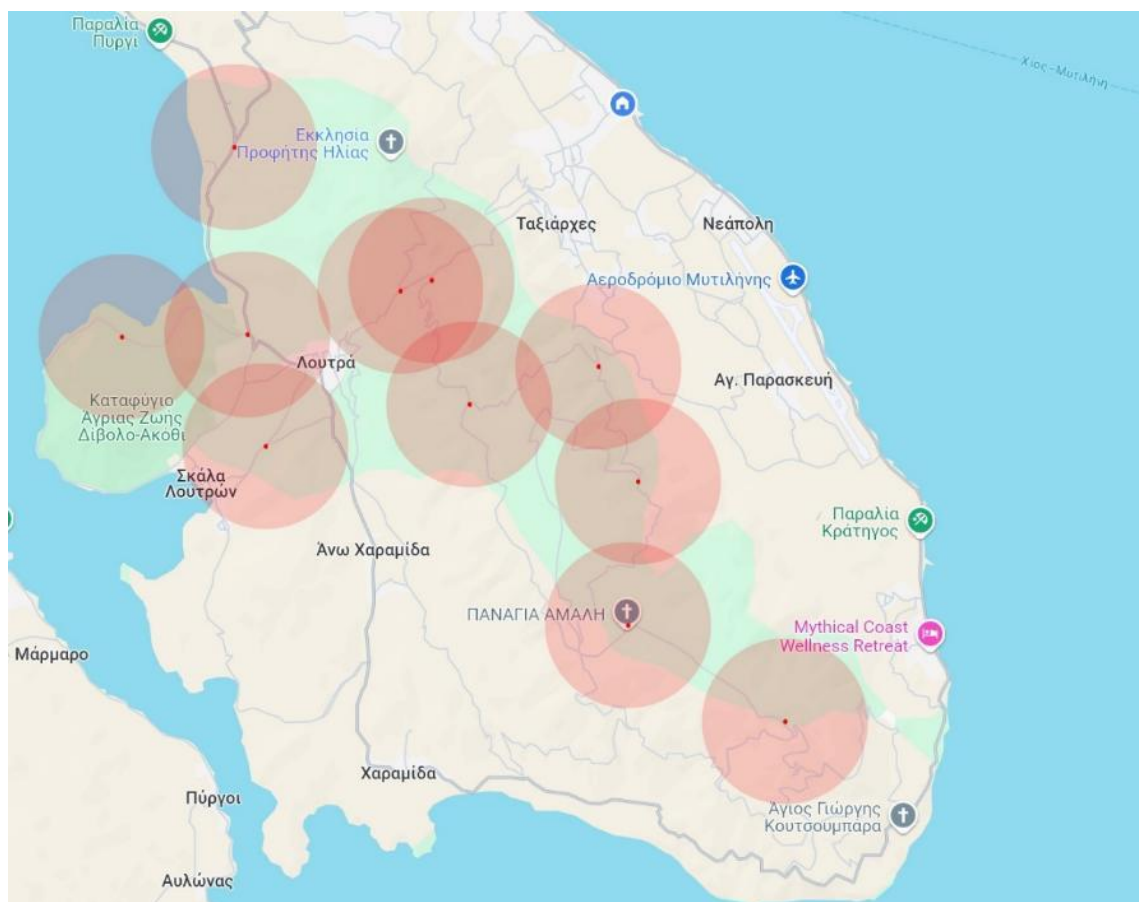
Οι πράσινες περιοχές στον χάρτη υποδεικνύουν τη μεγάλη δασική κάλυψη της Λέσβου, που αποτελεί τον κύριο στόχο παρακολούθησης για την πρόληψη πυρκαγιών. Ένα δίκτυο με GSM modules, όπως τα SIM800L ή SIM900, μπορεί να αξιοποιήσει υπάρχουσες υποδομές, όπως κεραιών κινητής τηλεφωνίας, χωρίς την ανάγκη τοποθέτησης νέων σταθμών αναμετάδοσης. Η ύπαρξη κομβικών σημείων σε ορεινούς δρόμους παρέχει ευκαιρίες για στρατηγική τοποθέτηση συσκευών παρακολούθησης στα αποθετήρια/δεξαμενές νερού, καλύπτοντας μεγάλες περιοχές δασών με ελάχιστες συσκευές, συγκεκριμένα στην εικόνα (εικ. 2-4) παρατηρούμε την στρατηγική τοποθέτηση αποθετηρίων νερού στο Ανατολικό τμήμα του νησιού και πώς αυτά καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των δασών. Τα GSM modules λειτουργούν σε υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα οποία έχουν ήδη

αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό στη Λέσβο. Αυτό μειώνει σημαντικά την ανάγκη για νέες επενδύσεις σε υποδομές ή εγκατάσταση νέων κεραιών, όπως θα απαιτούνταν για τη χρήση τεχνολογιών όπως το LoRa. Κάθε συσκευή μπορεί να διαθέτει δική της κάρτα SIM και να λειτουργεί ανεξάρτητα, εξασφαλίζοντας τη συνεχή λειτουργία του συστήματος ακόμη και σε περίπτωση αποτυχίας ενός μεμονωμένου κόμβου.

Σε σύγκριση με τεχνολογίες όπως το LoRa, που απαιτούν εγκατάσταση πολλών κεραιών αναμετάδοσης για να ξεπεραστούν οι γεωγραφικοί περιορισμοί, το GSM παρέχει άμεση πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω του υπάρχοντος δικτύου κινητής. Οι πυλώνες κινητής τηλεφωνίας που ήδη υπάρχουν σε στρατηγικές τοποθεσίες μπορούν να αξιοποιηθούν για την κάλυψη των απομακρυσμένων περιοχών.



Εικόνα 2-3 Εικόνα Υψομετρικού ανάγλυφου και Χάρτης Δασών της Λέσβου



Εικόνα 2-3 Εικόνα Στρατηγικής τοποθέτησης Δεξαμενών στο Δάσος

2.3 Πρόταση Επίλυσης

Τοπολογία, Συστατικά Στοιχεία, Λειτουργία και Επικοινωνία

Η προτεινόμενη λύση βασίζεται στην εγκατάσταση ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων που χρησιμοποιούν GSM modules (SIM800L/SIM900) για την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων της στάθμης νερού στα αποθετήρια/δεξαμενές με στόχο την ανίχνευση έλλειψης νερού και την προστασία των δασικών εκτάσεων της Λέσβου. Η αρχιτεκτονική του συστήματος είναι ευέλικτη και αξιοποιεί τις υπάρχουσες υποδομές κινητής τηλεφωνίας, ελαχιστοποιώντας το κόστος ανάπτυξης.

2.3.1 Τοπολογία

Η τοπολογία του συστήματος περιλαμβάνει τρία βασικά επίπεδα.

Δικτυακοί Κόμβοι Αισθητήρων (Sensor Nodes): Εγκατεστημένοι σε στρατηγικά σημεία, όπως διασταυρώσεις δρόμων, αποθετήρια νερού και πυλώνες κινητής τηλεφωνίας, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη κάλυψη. Κάθε κόμβος είναι εξοπλισμένος με GSM module (π.χ.,

SIM800L/SIM900) για την αποστολή δεδομένων μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι κόμβοι αυτοί είναι αυτόνομοι και χρησιμοποιούν πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως MQTT ή HTTP.

Κεντρικός Διακομιστής (Central Server): Η διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω των παρακάτω πλατφόρμων, που είναι ειδικά σχεδιασμένες για χρήση με Arduino όπως, Arduino IoT Cloud ή Ubidots. Ιδανική για εφαρμογές IoT, με εύκολη ενσωμάτωση με Arduino. Παρέχει δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων, αποθήκευση και προβολή μέσω dashboards και API για πρόσθετες εφαρμογές. Οι πλατφόρμες αυτές επιτρέπουν την ασφαλή αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων, τη δημιουργία ειδοποιήσεων και τη διασύνδεση με εφαρμογές

Οι χρήστες ενημερώνονται μέσω εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας, SMS, ή email, λαμβάνοντας ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο. Δίνεται η δυνατότητα για άμεσες ενέργειες από τους υπεύθυνους διαχείρισης, όπως ενεργοποίηση προληπτικών μέτρων.

Επικοινωνία με Χρήστες (User Interfaces): Η επικοινωνία με τους χρήστες γίνεται μέσω εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας που είναι διαθέσιμες για Android και iOS. Συγκεκριμένα, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν τις επίσημες εφαρμογές: Arduino IoT Remote για το Arduino IoT Cloud και Ubidots Explorer για το Ubidots. Οι εφαρμογές αυτές παρέχουν:

Προβολή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο: Οι χρήστες μπορούν να βλέπουν τις μετρήσεις και τα δεδομένα μέσω dashboards που προσφέρονται από το Arduino IoT Cloud ή το Ubidots.

Ειδοποιήσεις push: Ειδοποιήσεις αποστέλλονται απευθείας στα κινητά για περιπτώσεις προειδοποιήσεων (warnings) ή καταστάσεις κινδύνου (alarms), επιτρέποντας άμεση ανταπόκριση.

Απομακρυσμένη διαχείριση: Παρέχεται δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και ρύθμισης των αισθητήρων και των κόμβων μέσω φιλικών διεπαφών.

Η χρήση των εφαρμογών αυτών εξασφαλίζει άμεση πρόσβαση στα δεδομένα και ευκολία στη διαχείριση, προσφέροντας στους χρήστες μια ολοκληρωμένη εμπειρία παρακολούθησης και ελέγχου.

2.3.2 Συστατικά Στοιχεία

Αισθητήρες: Ενσωματωμένοι σε κάθε κόμβο για τη μέτρηση παραμέτρων όπως θερμοκρασία, υγρασία, και καπνός.

Επιλέγονται αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας για μακροχρόνια λειτουργία.

GSM Modules (SIM800L/SIM900): Χρησιμοποιούνται για την αποστολή δεδομένων στον κεντρικό διακομιστή μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Υποστηρίζουν ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας (π.χ., MQTT ή HTTP).

Ενσωματωμένο Λογισμικό (Firmware): Διαχειρίζεται τη συλλογή δεδομένων, την ανίχνευση αλλαγών και τη μετάδοση μέσω GSM.

Υποστηρίζει sleep mode για εξοικονόμηση ενέργειας.

Πηγές Ενέργειας: Οι κόμβοι τροφοδοτούνται με ηλιακά πάνελ και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για αυτόνομη λειτουργία.

Κεντρικός Διακομιστής και Λογισμικό Διαχείρισης: Αναλύει τα δεδομένα που λαμβάνει και αποθηκεύει ιστορικά δεδομένα για περαιτέρω ανάλυση.

2.3.3 Λειτουργία του Συστήματος

Συλλογή Δεδομένων: Οι αισθητήρες στους κόμβους συλλέγουν δεδομένα σε τακτά χρονικά διαστήματα ή όταν ανιχνεύονται σημαντικές αλλαγές.

Μετάδοση Δεδομένων: Μέσω του GSM module, τα δεδομένα αποστέλλονται στον κεντρικό διακομιστή. Η μετάδοση γίνεται μόνο όταν απαιτείται (event-based communication) για εξοικονόμηση πόρων.

Επεξεργασία Δεδομένων: Ο κεντρικός διακομιστής αναλύει τα δεδομένα για να ανιχνεύσει αποκλίσεις ή επικίνδυνες συνθήκες, όπως μείωση της στάθμης ή μείωση υγρασίας.

Ειδοποιήσεις: Σε περίπτωση ανωμαλίας, το σύστημα ειδοποιεί τους διαχειριστές και τις αρμόδιες αρχές μέσω πολλαπλών καναλιών επικοινωνίας.

2.3.4 Επικοινωνία μεταξύ Στοιχείων

Κόμβοι Αισθητήρων - Κεντρικός Διακομιστής: Οι κόμβοι μεταδίδουν δεδομένα μέσω του GSM δικτύου. Κάθε κόμβος λειτουργεί ανεξάρτητα, εξασφαλίζοντας τη συνέχιση της λειτουργίας ακόμη και αν κάποιοι κόμβοι τεθούν εκτός λειτουργίας.

Κεντρικός Διακομιστής - Χρήστες: Ο διακομιστής αποστέλλει ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο στους χρήστες, ενώ παράλληλα παρέχει δυνατότητες παρακολούθησης και διαχείρισης μέσω εφαρμογών.

Διαχείριση Εντολών:

Οι χρήστες μπορούν να αποστέλλουν εντολές για αλλαγή παραμέτρων λειτουργίας (π.χ., ρυθμός αποστολής δεδομένων) μέσω της εφαρμογής ή των SMS.

2.4 Περιπτώσεις Χρήσης για την Προτεινόμενη Λύση

Η παρούσα ενότητα περιγράφει τα σενάρια χρήσης για την εφαρμογή του προτεινόμενου δικτύου GSM-based αισθητήρων για την παρακολούθηση δασικών περιοχών. Περιλαμβάνει περιγραφές για τη φυσιολογική λειτουργία, τα σενάρια επικοινωνίας, τις καταστάσεις ειδοποιήσεων (warning) και κινδύνου (alarm), καθώς και τις αντίστοιχες ενέργειες που ακολουθούνται.

2.4.1 Σενάρια Καλής Λειτουργίας

Συλλογή Δεδομένων: Οι κόμβοι αισθητήρων (nodes) λειτουργούν κανονικά, συλλέγοντας δεδομένα στάθμης νερού, υγρασίας, θερμοκρασίας κλπ. Τα δεδομένα αποθηκεύονται τοπικά και αποστέλλονται στον κεντρικό διακομιστή μέσω του GSM module σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή όταν ανιχνεύεται αλλαγή κατάστασης.

Εξοικονόμηση Ενέργειας: Οι συσκευές παραμένουν σε sleep mode όταν δεν απαιτείται αποστολή δεδομένων, εξοικονομώντας ενέργεια και περιορίζοντας τις περιττές συνδέσεις στο GSM δίκτυο.

Προγραμματισμένη Συντήρηση: Το σύστημα ενημερώνει περιοδικά τους διαχειριστές για τη λειτουργική κατάσταση των κόμβων, ώστε να προγραμματιστεί συντήρηση, αν απαιτείται δηλαδή υπενθυμίζει στον χρήστη ό,τι είναι η περίοδος που έχει παρέλθει και πρέπει να ελεγχθεί για συντήρηση η συσκευή.

Ασφαλής Αποστολή Δεδομένων: Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί το GSM δίκτυο για τη μετάδοση δεδομένων, επιβεβαιώνοντας την επιτυχία της αποστολής μέσω αναφορών στον κεντρικό διακομιστή.

2.4.2 Σενάρια Επικοινωνίας

Αποστολή Δεδομένων από τους Κόμβους στον Κεντρικό Διακομιστή: Οι κόμβοι χρησιμοποιούν GSM modules (SIM800L/SIM900) για να αποστέλλουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ή σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η επικοινωνία βασίζεται σε ασφαλή πρωτόκολλα, όπως HTTP ή MQTT, εξασφαλίζοντας την αξιοπιστία της μετάδοσης.

Λήψη Εντολών από τον Διακομιστή: Σε περιπτώσεις που απαιτούν αλλαγή λειτουργίας (π.χ., ενεργοποίηση αισθητήρων ή προσαρμογή ρυθμίσεων), ο κεντρικός διακομιστής στέλνει εντολές στους κόμβους μέσω του GSM δικτύου.

Ενημέρωση Χρηστών: Οι χρήστες λαμβάνουν ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο μέσω SMS, email ή mobile εφαρμογής, βασισμένες στα δεδομένα που συλλέγονται.

2.4.3 Σήματα Ειδοποίησης

Σήμα Ειδοποίησης (Warning).

Ανίχνευση Ανωμαλιών: Εντοπίζεται μειωμένη στάθμη νερού, δηλαδή όταν η στάθμη πέσει κάτω από τα φυσιολογικά επίπεδα. Παρατήρηση αύξηση της θερμοκρασίας λίγο πάνω από το φυσιολογικό αλλά όχι σε υπερβολικό επίπεδο ή μείωση της υγρασίας.

Περιοδική διακοπή επικοινωνίας: Αφορά περιπτώσεις μερικής απώλειας δικτύου, όταν ένας κόμβος παρουσιάζει περιοδικά προβλήματα σύνδεσης.

Χαμηλή ενέργεια μπαταρίας: Η στάθμη της μπαταρίας πλησιάζει το όριο ασφαλείας, υποδεικνύοντας την ανάγκη για άμεση αντικατάσταση ή φόρτιση.

Σήμα Κινδύνου (Alarm)

Απότομη πτώση στάθμης: Εάν παρατηρηθεί απότομη πτώση μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει διαρροή ή ζημιά στη δεξαμενή νερού.

Αυξημένη θερμοκρασία ή μειωμένη υγρασία: Σημαντική αύξηση θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με χαμηλή στάθμη νερού ή απώλεια υγρασίας στο αποθετήριο αυτό δηλώνει ίσως ότι έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά κοντά στο αποθετήριο νερού.

Απώλεια Επικοινωνίας: Πλήρης διακοπή επικοινωνίας ενός ή περισσότερων κόμβων για εκτεταμένο χρονικό διάστημα ή μη αναμενόμενες τιμές δεδομένων ή ξαφνικές αλλαγές στις παραμέτρους που ξεπερνούν τα φυσιολογικά όρια.

2.4.4 Διαχείριση Καταστάσεων

Το σύστημα στέλνει μήνυμα προειδοποίησης στους υπεύθυνους διαχειριστές, παρέχοντας λεπτομέρειες για το συμβάν. Ενεργοποιείται διαδικασία διαγνωστικού ελέγχου, όπως τηλεχειριζόμενη αποστολή δεδομένων από τους κόμβους. Αποστολή άμεσης ειδοποίησης στους υπεύθυνους πολιτικής προστασίας και στις τοπικές αρχές. Το σύστημα υποδεικνύει

τη γεωγραφική θέση της ανωμαλίας. Ο κεντρικός διακομιστής προσπαθεί να επανασυνδεθεί με τους κόμβους εάν αποτύχει, ειδοποιείται η τεχνική ομάδα για επιτόπιο έλεγχο.

Η προτεινόμενη λύση καλύπτει σενάρια καθημερινής λειτουργίας και αντιμετώπισης κρίσεων, προσφέροντας αξιόπιστη παρακολούθηση, έγκαιρες ειδοποιήσεις και άμεση ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

2.4.5 Προτεινόμενες Λύσεις και Επόμενα Βήματα

Η ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος δεν αποτελεί απλώς θεωρητική προσέγγιση, αλλά εστιάζει στην πρακτική εφαρμογή του, προκειμένου να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στις απαιτητικές ανάγκες παρακολούθησης και διαχείρισης των δασικών περιοχών. Σχεδιασμένο ειδικά για τις δασικές εκτάσεις της Λέσβου, το σύστημα ενσωματώνει σύγχρονες τεχνολογίες και διαδικασίες, με στόχο να δοκιμαστεί και να αξιολογηθεί σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Με βασικά χαρακτηριστικά την επεκτασιμότητα, την ενεργειακή αποδοτικότητα και την αξιοπιστία, η υλοποίηση περιλαμβάνει τη σταδιακή εγκατάσταση αισθητήρων, τη συλλογή δεδομένων μέσω GSM modules, και την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε διάφορα σενάρια. Η υλοποίηση ξεκινά με την εγκατάσταση και δοκιμή ενός δικτύου αισθητήρων σε στρατηγικά επιλεγμένα σημεία του νησιού. Τα σημεία αυτά καθορίζονται με βάση υψομετρικές διαφορές, κάλυψη βλάστησης και άλλους γεωγραφικούς παράγοντες ή φυσικά εμπόδια που διασφαλίζουν τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ενεργειακή αυτόνομη λειτουργία μέσω ηλιακών πάνελ και στην αποδοτική χρήση των GSM modules, που εξασφαλίζουν αξιόπιστη επικοινωνία ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές. Η πιλοτική φάση υλοποίησης αποτελεί σημαντικό βήμα για τη δοκιμή του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες. Οι δοκιμές αυτές θεωρούνται πολύ σημαντικές για τη βελτίωση του συστήματος, καθώς τα αποτελέσματά τους θα καθορίσουν τις τελικές παραμετροποιήσεις και τις βελτιώσεις που θα απαιτηθούν για την πλήρη ανάπτυξη. Σε αυτή τη φάση αξιολογούνται κρίσιμες παράμετροι, όπως η ταχύτητα αποστολής δεδομένων, η αξιοπιστία της επικοινωνίας, η απόκριση του συστήματος σε ανωμαλίες και η ακρίβεια των μετρήσεων. Σενάρια έκτακτης ανάγκης, όπως η απότομη αύξηση ή πτώση της στάθμης του νερού, ελέγχονται για να επιβεβαιωθεί η δυνατότητα του συστήματος να αποστέλλει άμεσες ειδοποιήσεις στους αρμόδιους διαχειριστές.

Στο Κεφάλαιο 3, θα αναλυθούν πρακτικές λύσεις για την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως η απώλεια επικοινωνίας, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η επεκτασιμότητα του συστήματος για την κάλυψη διάφορων περιοχών. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν τεχνικές για τη βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας των δεδομένων, όπως η χρήση αλγορίθμων εντοπισμού ανωμαλιών στις μετρήσεις, οι οποίοι θα ενισχύσουν την ικανότητα του συστήματος να εντοπίζει και να διαχειρίζεται λανθασμένα ή ασυνήθιστα δεδομένα. Αυτές οι τεχνικές είναι σημαντικές για την ενίσχυση της αποδοτικότητας του συστήματος και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου εργαλείου, το οποίο θα συμβάλει καθοριστικά στη διαχείριση και προστασία των δασικών εκτάσεων της Λέσβου. Με αυτές τις βάσεις, το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να εξελιχθεί σε ένα αποτελεσματικό εργαλείο όχι μόνο για την παρακολούθηση, αλλά και για την πρόληψη περιβαλλοντικών κινδύνων, διασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα και την προστασία των φυσικών πόρων της περιοχής.

3. Κεφάλαιο 3: Αρχική Υλοποίηση

Η παρούσα εργασία αποτελεί το τρίτο μέρος της πτυχιακής, το οποίο ακολουθεί τη βιβλιογραφική έρευνα και την ανάλυση απαιτήσεων που παρουσιάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Στο προηγούμενο στάδιο, καθορίστηκαν οι λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, η αρχιτεκτονική του, καθώς και οι τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξή του. Η παρούσα αρχική υλοποίηση βασίζεται σε αυτές τις προδιαγραφές, αποδεικνύοντας τη σκοπιμότητα της προτεινόμενης λύσης μέσω μιας πρακτικής εφαρμογής.

Το σύστημα αποτελείται από ένα Arduino, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη συλλογή δεδομένων από έναν αισθητήρα υπερήχων (ultrasonic sensor) και την αποστολή τους μέσω ενός GSM module στο cloud του Arduino. Η ενεργειακή αυτονομία διασφαλίζεται μέσω μπαταριών και ηλιακού πάνελ, επιτρέποντας στο σύστημα να λειτουργεί απρόσκοπτα σε απομακρυσμένες περιοχές. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέγονται αποθηκεύονται και απεικονίζονται σε πραγματικό χρόνο μέσω της πλατφόρμας cloud, διευκολύνοντας την παρακολούθηση και τη λήψη αποφάσεων.

Στη συνέχεια της εργασίας, παρουσιάζεται αναλυτικά η υλοποίηση του συστήματος, περιλαμβάνοντας την περιγραφή της αρχιτεκτονικής, του υλικού (hardware) και του λογισμικού (software) σε ψηφιακό αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις σε φυσικό επίπεδο. Επιπλέον, αξιολογείται η αρχική υλοποίηση ως προς την κάλυψη των απαιτήσεων που τέθηκαν στην προηγούμενη γενική εργασία, ενώ γίνεται αναφορά σε πιθανές βελτιώσεις και προσαρμογές που μπορούν να γίνουν στο μέλλον.

3.1 Υλικό (Hardware) της Υλοποίησης

Το Arduino είναι μία ανοιχτού κώδικα πλατφόρμα ανάπτυξης ηλεκτρονικών εφαρμογών, η οποία έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής λόγω της ευκολίας χρήσης της, της μεγάλης κοινότητας υποστήριξης και της ευρείας γκάμας μοντέλων που προσφέρει. Χρησιμοποιείται τόσο από αρχάριους όσο και από επαγγελματίες για την ανάπτυξη διαδραστικών συστημάτων, αυτοματισμών και IoT εφαρμογών. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, το Arduino θα χρησιμοποιηθεί ώστε να διευκολυνθεί η υλοποίηση.

3.1.1 Μοντέλα Arduino

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά μοντέλα Arduino, ορισμένες παραλλαγές του για παράδειγμα όπως το Arduino UNO R3, UNO R3-SMD και UNO R3-Long Pins, διαφέρουν κυρίως σε

στοιχεία όπως ο τύπος του μικροελεγκτή (ενσωματωμένος ή όχι) και το μήκος των pins στην πλακέτα. Οπότε βλέπουμε ό,τι υπάρχει πληθώρα τέτοιων διαφορετικών μοντέλο, στο πλαίσιο της ανάλυσής μας, θα εστιάσουμε σε συγκεκριμένα μοντέλα, επιλέγοντας εκείνα που είναι ευρέως διαδεδομένα και έχουν αποδείξει την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά τους σε παρόμοιες εφαρμογές. Κάθε ένα από αυτά διαθέτει μοναδικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες, τα οποία θα αξιοποιήσουμε για την υλοποίηση του έργου μας, διασφαλίζοντας ότι η τελική λύση θα είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτική και λειτουργική.

Μοντέλο	Επεξεργαστής	Μνήμη (Flash/RAM)	I/O Pins	WiFi-BLE	Τροφοδοσία USB - VIN	Χαρακτηριστικά
Arduino UNO R3	ATmega328P	32 KB / 2 KB	14 digital 6 analog	✗	5V , 9V-12V	Κλασική επιλογή για Projects
Arduino Nano	ATmega328P	32 KB / 2 KB	14 digital 8 analog	✗	5V, 7-12V	Πολύ οικονομικό, ιδανικό για μικρά έργα.
Arduino Nano Every	ATMega4809	48 KB / 6 KB	14 digital 8 analog	✗	5V, 7-21V	Περισσότερη μνήμη, ίδια λογική με το Nano.
Arduino Nano 33 IoT	ARM Cortex-M0+	256 KB / 32 KB	14 digital 8 analog	☑ BLE	3.3V, 5-21V	Για IoT projects, μικρό σε μέγεθος.
Arduino UNO R4 Minima	Renesas RA4M1 (Arm Cortex-M4)	256 KB / 32 KB	14 digital 6 analog	✗	5V, 9V-24V	Δυνατότερο από το R3, παραμένει οικονομικό.
Arduino UNO R4 WiFi	Renesas RA4M1 (Arm Cortex-M4)	256 KB / 32 KB	14 digital 6 analog	☑ (ESP32-S3)	5V, 9V-24V	Για έργα με WiFi, καλύτερο από ESP32 σε συμβατότητα.
Arduino Nano 33 BLE	ARM Cortex-M4	1 MB / 256 KB	14 digital 8 analog	☑ BLE	3.3V, 5-21V	Κατάλληλο για μεγάλα projects
Arduino Mega 2560	ATmega2560	256 KB / 8 KB	54 digital 16 analog	✗	5V, 7-12V	Αν χρειάζεσαι πολλά I/O ports
Arduino Due	ARM Cortex-M3 (SAM3X8E)	512 KB / 96 KB	54 digital 12 analog	✗	3.3V	Υψηλή υπολογιστική ισχύ, αλλά λειτουργεί μόνο στα 3,3Volt

Στην συνέχεια για καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών και διαφορών μεταξύ των μοντέλων, παρακάτω παρέχονται εικόνες των πιο κοινών εκδόσεων του Arduino. Αυτές οι εικόνες θα βοηθήσουν στην οπτική αναγνώριση των πλακετών και στη σύγκριση των συνδέσεων και διαστάσεών τους.

UNO R3



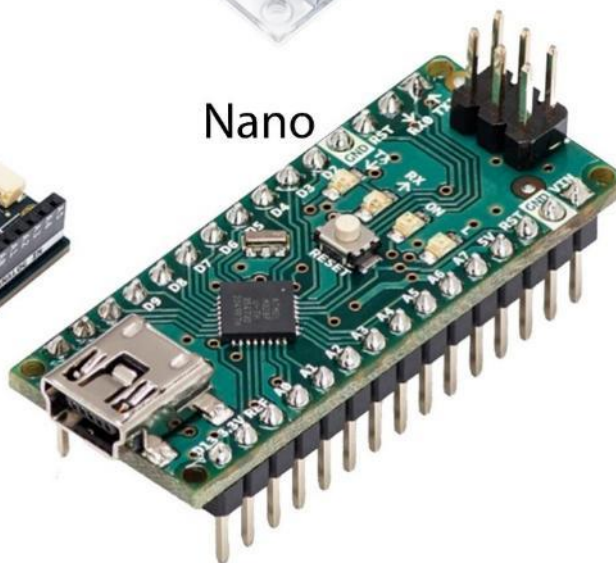
UNO R4 minima



UNO R4 WiFi



Nano



Nano Every



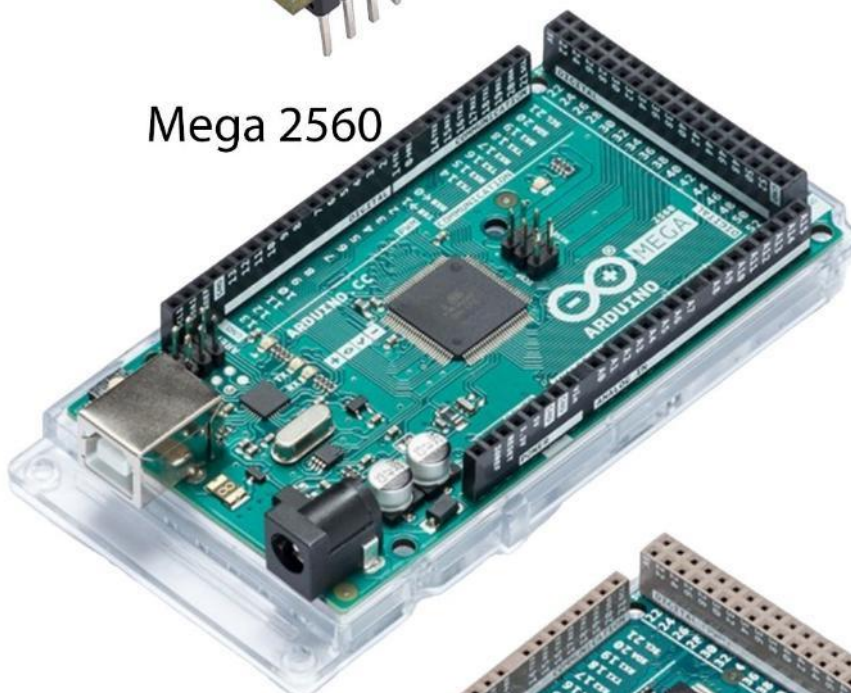
Nano 33 IoT



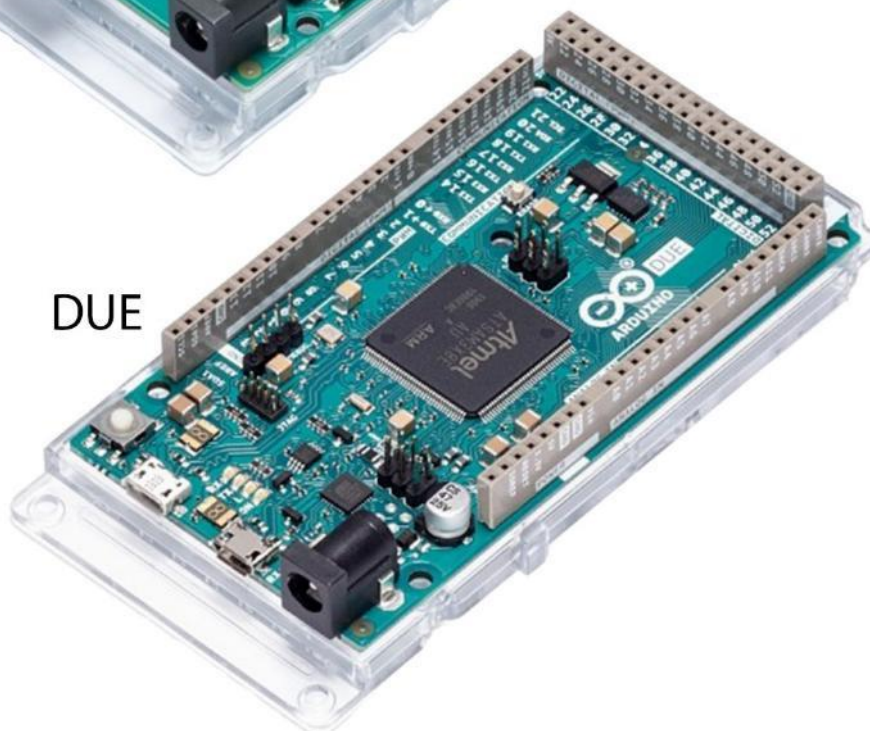
Nano 33 BLE



Mega 2560



DUE



Εικόνα 3-1 Εικόνα Διαφορετικών Μοντέλων Arduino

Επιλογή Μοντέλου για την Υλοποίηση του Συστήματος

Για την υλοποίηση του συστήματος παρακολούθησης της στάθμης των αποθετηρίων νερού, επιλέχθηκε το **Arduino UNO R3**, το οποίο αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση για τις απαιτήσεις του έργου. Ο βασικός λόγος για την επιλογή αυτού του μοντέλου είναι η εξαιρετική του απόδοση σε σχέση με την τιμή, καθώς και η ευκολία ενσωμάτωσης με διάφορους αισθητήρες και εξωτερικά modules/shields. Πιο συγκεκριμένα:

Αξιοπιστία και Υποστήριξη: Το Arduino UNO R3 είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα και αξιόπιστα μοντέλα της πλατφόρμας Arduino, διαθέτοντας εκτενή τεκμηρίωση και υποστήριξη από μεγάλη κοινότητα χρηστών. Αυτή η ευρεία υποστήριξη εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα πόρων και παραδείγματος χρήσης, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία ανάπτυξης πιο αποδοτική.

Επεκτασιμότητα: Παρά το γεγονός ότι το Arduino UNO R3 δεν διαθέτει ενσωματωμένη συνδεσιμότητα BLE, WiFi ή GSM, η δυνατότητα σύνδεσης εξωτερικών modules καθιστά το μοντέλο εξαιρετικά ευέλικτο. Αυτό επιτρέπει την εύκολη προσθήκη νέων λειτουργιών, όπως η απομακρυσμένη επικοινωνία μέσω GSM ή η χρήση επιπλέον αισθητήρων για περιβαλλοντική παρακολούθηση, ανάλογα με τις εξελισσόμενες ανάγκες του έργου.

Shields και Επιπλέον Δυνατότητες: Χρησιμοποιώντας διάφορα Arduino shields, όπως το GSM Shield, το WiFi Shield ή το Sensor Shield, είναι δυνατή η εύκολη επέκταση του συστήματος με νέες δυνατότητες, χωρίς να απαιτείται σύνθετη προγραμματιστική δουλειά. Τα shields αυτά προσφέρουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης εξωτερικών συσκευών και τη βελτιστοποίηση της λειτουργικότητας του συστήματος για να καλύψει τις ανάγκες του πεδίου εφαρμογής, όπως η απομακρυσμένη παρακολούθηση ή η σύνδεση με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Απλότητα και Ευχρηστία: Το Arduino UNO R3 συνδυάζει απλότητα και ευχρηστία, καθιστώντας το ιδανικό για την αρχική ανάπτυξη και δοκιμή του συστήματος. Η απουσία περιττής πολυπλοκότητας διευκολύνει την ενσωμάτωση νέων συσκευών και τη γρήγορη προσαρμογή του συστήματος στις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Δεδομένων των περιορισμένων απαιτήσεων του έργου όσον αφορά τη χρήση επεξεργαστικής ισχύος και πόρων, το Arduino UNO R3 προσφέρει την πιο συμφέρουσα λύση, καλύπτοντας πλήρως τις ανάγκες του συστήματος παρακολούθησης στάθμης των αποθετηρίων καθώς το έργο μας είναι σχετικά μικρό για να απαιτήσει μεγάλη επεξεργαστική ισχύ. Επιπλέον, σε περίπτωση που προκύψουν νέες απαιτήσεις, η ευχρηστία

και η επεκτασιμότητα του μοντέλου επιτρέπουν την εύκολη ενσωμάτωση επιπλέον αισθητήρων και μονάδων επικοινωνίας, ανάλογα με τις συνθήκες του πεδίου εφαρμογής.

Ενεργειακή Αποδοτικότητα: Η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος του Arduino UNO R3 το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους, όπου η τροφοδοσία θα γίνεται μέσω μπαταριών και ηλιακού πάνελ.

3.1.2 Μοντέλα Υπερηχητικών Αισθητήρων για Arduino

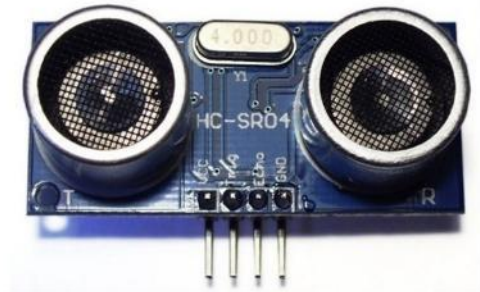
Οι υπερηχητικοί αισθητήρες είναι ευρέως διαδεδομένοι στον κόσμο του Arduino για τη μέτρηση αποστάσεων, λειτουργώντας με υπερηχητικά κύματα που ανακλώνται από ένα αντικείμενο και επιστρέφουν στον αισθητήρα. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως η αποφυγή εμποδίων σε ρομποτικά συστήματα, η ανίχνευση αντικειμένων, η παρακολούθηση αποστάσεων σε αυτόνομα οχήματα και η μέτρηση στάθμης υγρών. Στην τελευταία περίπτωση, ο αισθητήρας εκπέμπει παλμούς υπερήχων προς την επιφάνεια του υγρού, οι οποίοι ανακλώνται και επιστρέφουν. Η εφαρμογή επικεντρώνεται στους υπερηχητικούς αισθητήρες για τη μέτρηση στάθμης υγρών, χρήσιμους σε συστήματα παρακολούθησης νερού ή άλλων υγρών (π.χ., δεξαμενές, καύσιμα, βιομηχανικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές). Ανάλογα με τις απαιτήσεις (ακρίβεια, εύρος μέτρησης, συνθήκες λειτουργίας), υπάρχουν διάφοροι τύποι υπερηχητικών αισθητήρων. Στην παρακάτω ενότητα, παρουσιάζουμε πίνακα με βασικές πληροφορίες για τους πιο συνηθισμένους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται με Arduino, εστιάζοντας στους κατάλληλους για υγρά περιβάλλοντα και μέτρηση στάθμης υγρών. Αυτός ο πίνακας βοηθά στην επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα, λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια, τις καιρικές συνθήκες και τις απαιτήσεις τροφοδοσίας.

Αισθητήρας	Εμβέλεια	Ακρίβεια	Τάση λειτουργίας	Διεπαφή	Ιδιαιτερότητες
HC-SR04	2cm – 4m	±3mm	5V	Trigger/Echo	Φθηνός, Αξιόπιστος
HY-SRF05	2cm – 4.5m	±2mm	5V	Trigger/Echo ή 1 Pin	Πιο ακριβείς μετρήσεις από HC-SR04

US-100	2cm – 4.5m	±1mm	3.3V - 5V	Trigger/Echo ή UART	Serial, Ακρίβεια μετρήσεων
JSN-SR04T	20cm – 4.5m με 6m	±1mm-10mm	5V	Trigger/Echo	Αδιάβροχη κεφαλή μέτρησης
Ping)))	3cm – 3m	±3mm	3.3V - 5V	1 Pin (PWM)	Υψηλή ποιότητα
MaxBotix MB10XX	2.5cm – 6.45m	±1mm	2.5V - 5.5V	PWM, Analog, Serial (UART)	Μεγάλη ακρίβεια μετρήσεων

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες των υπερηχητικών αισθητήρων που αναφέραμε νωρίτερα. Οι εικόνες αυτές προσφέρουν μια σαφή οπτική αναπαράσταση του κάθε αισθητήρα, επιτρέποντας στους αναγνώστες να αποκτήσουν μια καλύτερη κατανόηση της φυσικής τους εμφάνισης, καθώς και των βασικών χαρακτηριστικών τους. Με αυτόν τον τρόπο, οι φωτογραφίες ενισχύουν την κατανόηση της τεχνολογίας πίσω από τους αισθητήρες και τη λειτουργία τους, διευκολύνοντας την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου για την εφαρμογή μας.

HC-SR04



HY-SRF05



US-100



PING)))



JSN-SR04T



MaxBotix
MB10XX



Εικόνα 3-2 Εικόνα Διαφορετικών Μοντέλων Ultrasonic Sensors

Για την μέτρησης απόστασης του έργου μας, έχω επιλέξει τον **HC-SR04** υπερηχητικό αισθητήρα. Η επιλογή του συγκεκριμένου αισθητήρα βασίζεται σε αρκετούς παράγοντες:

Οικονομικότητα: Ο HC-SR04 είναι από τους πιο προσιτούς υπερηχητικούς αισθητήρες στην αγορά, κάτι που τον καθιστά ιδανικό για εκπαιδευτικές και πειραματικές εφαρμογές.

Εύκολη Ενσωμάτωση: Η διαδικασία σύνδεσης του HC-SR04 με το Arduino είναι απλή και απαιτεί μόνο δύο ακίδες (Trigger και Echo), διευκολύνοντας την ανάπτυξη του έργου.

Αξιοπιστία και Ακρίβεια: Το εύρος των μετρήσεων του κυμαίνεται μεταξύ 2 cm έως 400 cm, αυτές οι τιμές μας εξυπηρετούν καθώς τα αποθετήρια νερού/δεξαμενές νερού δεν έχουν μεγαλύτερο ύψος από αυτό που θέλουμε να μετρήσουμε. Επίσης, παρέχει ακριβείς μετρήσεις και είναι ικανός να λειτουργεί σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, κάτι που είναι χρήσιμο για ποικιλία εφαρμογών.

Γνωστός και Ευρέως Χρησιμοποιούμενος: Ο HC-SR04 είναι ένας από τους πιο γνωστούς και ευρέως χρησιμοποιούμενους υπερηχητικούς αισθητήρες στον κόσμο της ρομποτικής και της μέτρησης απόστασης, γεγονός που εξασφαλίζει την αξιοπιστία και την υποστήριξή του. Αυτός ο αισθητήρας θα είναι η καλύτερη επιλογή για την κατασκευή του συστήματος μέτρησης στάθμης υγρών, λόγω της ευκολίας στη σύνδεση, της οικονομικότητας και της επαρκούς απόδοσης του για τις ανάγκες του έργου.

3.1.3 Μοντέλα GSM για Arduino

Για την υλοποίηση του έργου μας, είναι σημαντικό να επιλέξουμε το κατάλληλο GSM module που θα επιτρέπει την επικοινωνία της συσκευής μας μέσω δικτύων κινητής τηλεφωνίας(SIM). Υπάρχουν διάφορα μοντέλα GSM που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με Arduino, διαφέροντας ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά, την κατανάλωση ισχύος, τη μέθοδο επικοινωνίας και τη συμβατότητα με διαφορετικά δίκτυα. Ορισμένα από αυτά είναι απευθείας συμβατά, ενώ άλλα μπορούν να συνδεθούν υπό προϋποθέσεις, απαιτώντας προσαρμογείς τάσης ή συγκεκριμένο τρόπο επικοινωνίας.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πιο γνωστά GSM modules/shields που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με Arduino, τα οποία είναι συμβατά με την συσκευή μας

Μοντέλο	Δίκτυα	Επικοινωνία	Τροφοδοσία	Χαρακτηριστικά
SIM800L	2G (GSM/GPRS)	UART (AT Commands)	3.7-4.2V	Συμβατό με Arduino, χαμηλή κατανάλωση
SIM900A	2G (GSM/GPRS)	UART (AT Commands)	5V	Υποστήριξη φωνής, SMS, GPRS
SIM900A Shield	2G (GSM/GPRS)	UART (AT Commands)	5V	Υποστήριξη φωνής, SMS, GPRS, Plug-and-play για Arduino
TTGO T-Call ESP32 with SIM800 GPRS V1.4	GPRS	UART, I2C, SPI, GPIO	3.3V	Συνδυάζει ESP32 και SIM800 για GPRS, υποστηρίζει WiFi και GPRS επικοινωνία
SIM7070G Shield	NB-IoT, LTE Cat-M, GPRS, GNSS, GPS	UART	3.0-4.5V	Expansion Shield για Arduino, IoT εφαρμογές
SM5100B	2G (GSM/GPRS)	UART, SPI	3.3-4.2V	Υποστήριξη TCP/IP, χαμηλή κατανάλωση
DFRobot SIM7600CE-T 4G Shield	4G LTE, 3G, 2G	UART, USB	6-12V	Plug-and-play shield για Arduino με LTE/GNSS

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες των GSM modules που αναφέρθηκαν. Οι εικόνες που ακολουθούν παρέχουν μια οπτική αναπαράσταση κάθε μονάδας, διευκολύνοντας την κατανόηση της συνδεσμολογίας των συσκευών, καθώς και των χαρακτηριστικών τους που διακρίνονται.

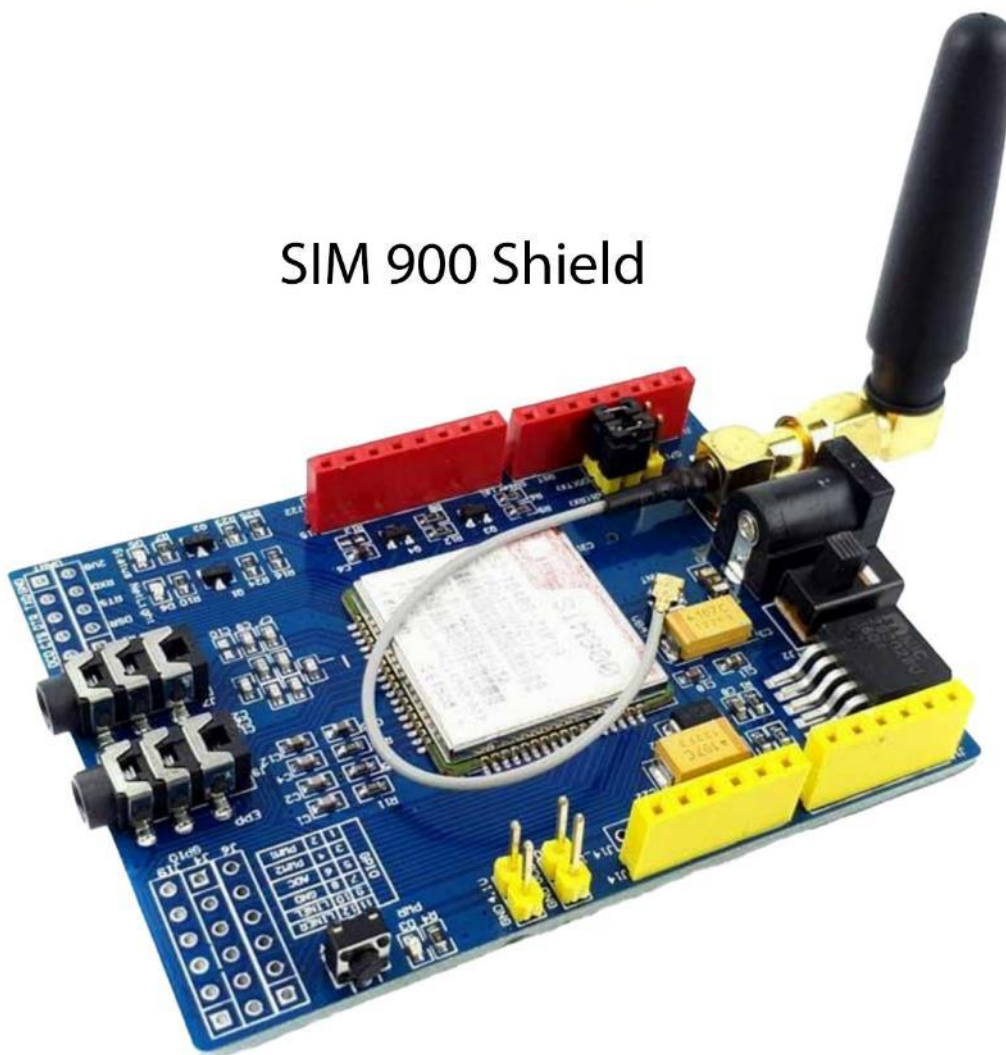


SIM 800L

SIM 900a module



SIM 900 Shield



SIM800 TTGO T-Call ESP32



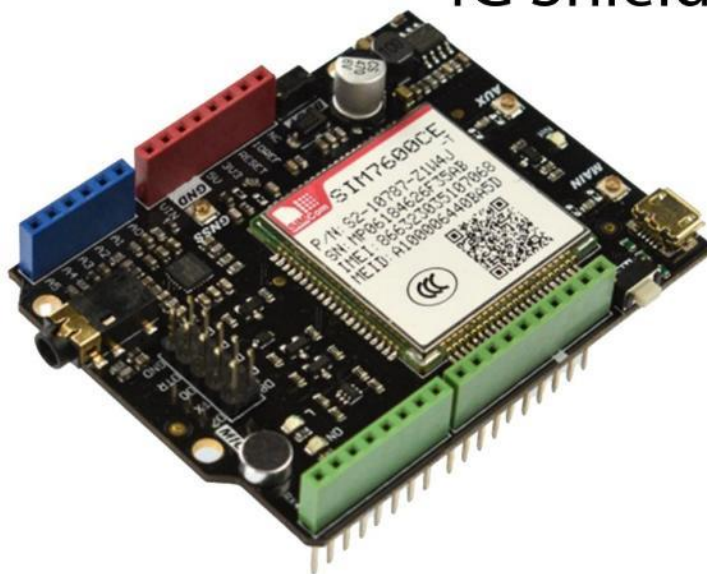
SIM7070G Shield



SM5100B



SIM7600CE-T DFRobot 4G Shield



Εικόνα 3-3 Εικόνα Διαφορετικών Μοντέλων GSM/GPRS

Μετά την αξιολόγηση των διαθέσιμων GSM modules, το **SIM900 Shield** επιλέχθηκε για την υλοποίηση του έργου μας λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του σε σχέση με άλλες επιλογές, όπως το SIM800L, το SIM900A, και το SIM7070G. Οι κύριοι λόγοι για την επιλογή του SIM900 Shield είναι οι εξής:

Άμεση Συμβατότητα με Arduino: Το SIM900 Shield είναι σχεδιασμένο για να κουμπώνει απευθείας στην πλακέτα Arduino, χωρίς την ανάγκη για πρόσθετα καλώδια ή πολύπλοκες συνδέσεις. Αυτό το καθιστά πολύ πιο εύχρηστο και γρήγορο στην εγκατάσταση σε σύγκριση με το SIM900A και άλλες επιλογές, που απαιτούν εξωτερικές συνδέσεις και πρόσθετες ρυθμίσεις για να επικοινωνήσουν με την πλακέτα Arduino και με σταθερό ρεύμα στα 5V που τροφοδοτείται από το Arduino.

Ευκολία στη Χρήση και Ενσωμάτωση: Το SIM900 Shield ενσωματώνει όλα τα απαραίτητα υποσυστήματα για τη λειτουργία του, παρέχοντας έτοιμες συνδέσεις για τροφοδοσία, GPRS και SMS. Αντίθετα, το SIM900A απαιτεί πρόσθετες εξωτερικές συνδέσεις και ρυθμίσεις, κάνοντάς το πιο χρονοβόρο στην υλοποίηση. Το SIM900 Shield, με την plug-and-play λειτουργία του, καθιστά την ενσωμάτωσή του πιο γρήγορη και εύκολη.

Σταθερότητα και Αξιοπιστία: Το SIM900 Shield παρέχει τη δυνατότητα επικοινωνίας μέσω GPRS και SMS, όπως και το SIM900A, αλλά χωρίς την ανάγκη για πιο περίπλοκες τεχνολογίες όπως LTE ή 4G, που δεν απαιτούνται για το έργο μας. Η απλότητα του SIM900 Shield εγγυάται αξιόπιστη και σταθερή λειτουργία, αποφεύγοντας την περιττή κατανάλωση πόρων που θα μπορούσε να προκύψει από πιο σύγχρονες τεχνολογίες.

Διαθεσιμότητα και Υποστήριξη στην Κοινότητα Arduino: Το SIM900 Shield είναι ευρέως διαθέσιμο στην αγορά και απολαμβάνει εκτενή υποστήριξη από την κοινότητα Arduino, γεγονός που διευκολύνει την υλοποίηση και τη γρήγορη επίλυση τυχόν προβλημάτων.

Διαθεσιμότητα στην Ελληνική Αγορά: Το SIM900 Shield είναι πιο εύκολα προμηθεύσιμο στην ελληνική αγορά σε σύγκριση με το SIM900A, το οποίο δεν είναι ευρέως διαθέσιμο για παραγγελία στην Ελλάδα. Η καλύτερη διαθεσιμότητά του στην Ελλάδα καθιστά την επιλογή του πιο πρακτική και ευνοϊκή για την υλοποίηση του έργου μας.

Έτσι, το SIM900 Shield είναι η καλύτερη επιλογή για το έργο μας, προσφέροντας εύκολη ενσωμάτωση, σταθερότητα, και μεγαλύτερη διαθεσιμότητα στην ελληνική αγορά.

3.1.4 Συστήματα ενέργειας (φωτοβολταϊκά, μπαταρίες) για Arduino

Για την υλοποίηση της εφαρμογής μας, είναι απαραίτητο να εξασφαλίσουμε αξιόπιστη και αυτόνομη τροφοδοσία του συστήματος. Δεδομένου ότι η εφαρμογή πρόκειται να αναπτυχθεί σε εξωτερικό χώρο, θα χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός ηλιακού πάνελ και μπαταρίας/μπαταριών για τη συνεχιζόμενη τροφοδοσία των συσκευών. Αρχικά θα παρουσιαστεί το ηλιακό πάνελ, το οποίο αναλαμβάνει να τροφοδοτεί το σύστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ στη συνέχεια θα εξετάσουμε τις μπαταρίες που θα εξασφαλίσουν τη συνέχιση της λειτουργίας του συστήματος κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν τη φόρτιση.

3.1.4.1 Ηλιακό Πάνελ (φωτοβολταϊκά)

Στο πλαίσιο του έργου μας, το ηλιακό πάνελ θα αναλάβει τον ρόλο της κύριας πηγής τροφοδοσίας του συστήματος, με σκοπό να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για τη φόρτιση των μπαταριών και την άμεση τροφοδοσία των αισθητήρων και του GSM module κατά τη διάρκεια της ημέρας. Δεν μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, η μάρκα ή το υλικό κατασκευής του ηλιακού πάνελ, αλλά μας νοιάζουν συγκεκριμένες παράμετροι, όπως η τάση (Volt) και το ρεύμα (Ampere). Για την επιλογή του κατάλληλου ηλιακού πάνελ, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις ισχύος του συστήματος και οι ανάγκες των εξαρτημάτων που θα τροφοδοτούνται. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην κατανάλωση ενέργειας από τους αισθητήρες, το GSM module και άλλες συσκευές που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν. Συνεπώς, το ηλιακό πάνελ πρέπει να διαθέτει αρκετή ισχύ, ώστε να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος με τον πλέον αποδοτικό τρόπο, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη φόρτιση των μπαταριών.

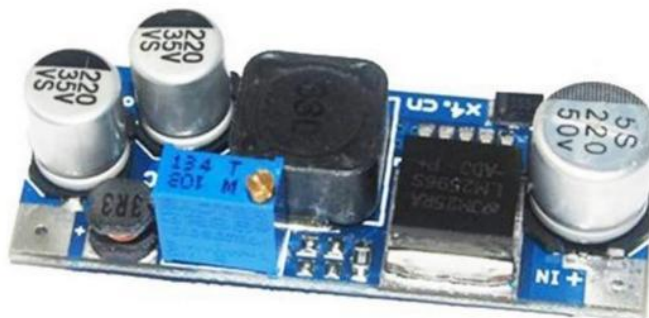
Τάση εξόδου: Το ηλιακό πάνελ που θα επιλεγεί πρέπει να παράγει είσοδο τάσης από 5V έως 12V, προκειμένου να εξασφαλίσει την αποτελεσματική φόρτιση των μπαταριών κατά τις ώρες που ο ήλιος βρίσκεται στο αποκορύφωμά του, δηλαδή μεταξύ 11:00 π.μ. και 16:00 μ.μ. Σημαντικό είναι να λάβουμε υπόψη ότι η απαιτούμενη τάση θα εξαρτηθεί και από τον τύπο της μπαταρίας που θα επιλεγεί για το σύστημα. Εάν επιλεγούν μπαταρίες Li-on ή Li-po, η τάση του πάνελ πρέπει να είναι ικανή να φορτίσει αυτές τις μπαταρίες με ασφάλεια, ενώ αν επιλεγεί μπαταρία κλειστού τύπου (μολύβδου), οι απαιτήσεις μπορεί να διαφοροποιηθούν.

Ρεύμα: Η απαιτούμενη ικανότητα ρεύματος του ηλιακού πάνελ πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 5 Ah. Αυτή η ικανότητα ρεύματος θα επιτρέπει στο σύστημα να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις όλων των εξαρτημάτων, όπως οι αισθητήρες και το GSM module, χωρίς να υπάρχει υπερφόρτωση ή ανεπαρκής τροφοδοσία. Η συνολική ικανότητα του ηλιακού πάνελ πρέπει να είναι αρκετή για να διασφαλίσει ότι το σύστημα θα λειτουργεί αξιόπιστα και χωρίς διακοπές.

Χρήση DC-DC Step-Down Converter (Εικ. 3-4): Σε περίπτωση που τα χαρακτηριστικά του ηλιακού πάνελ υπερβαίνουν τα επιθυμητά όρια για οποιονδήποτε λόγο, μπορεί να χρειαστεί η χρήση ενός DC-DC step-down converter. Ο μετατροπέας αυτός θα ρυθμίσει την τάση του ηλιακού πάνελ σε κατάλληλα επίπεδα (π.χ. 5V ή 12V), ώστε να εξασφαλιστεί ότι η ενέργεια που παρέχεται στις μπαταρίες ή τα υπόλοιπα εξαρτήματα είναι συμβατή με τις απαιτήσεις τους. Με αυτόν τον τρόπο, η φόρτιση των μπαταριών και η τροφοδοσία του συστήματος θα πραγματοποιείται με ασφαλή και αποτελεσματικό τρόπο.

Επιπλέον, επειδή το ηλιακό πάνελ δεν θα συνδέεται απευθείας στην πλακέτα του συστήματος, αλλά μέσω μπαταριών ή συστοιχίας μπαταριών, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως η αποφυγή βραχυκυκλωμάτων ή υπερθέρμανσης, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μπαταρίες κλειστού τύπου ή Li-ion. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων, συνιστάται να πραγματοποιηθούν περαιτέρω έλεγχοι σε βάθος χρόνου, προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος. Οι έλεγχοι αυτοί θα περιλαμβάνουν τη μέτρηση της απόδοσης του ηλιακού πάνελ σε πραγματικές συνθήκες και τη συνεχιζόμενη παρακολούθηση της κατάστασης των μπαταριών, με σκοπό να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία και αποδοτικότητα του συστήματος.

Αυτά τα ζητήματα θα αναλυθούν εκτενώς σε μεταγενέστερο κεφάλαιο, όπου θα παρουσιαστούν οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα από τις δοκιμές του συστήματος υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας.



Εικόνα 3-4 Εικόνα DC-DC Step-Down Converter

3.1.4.2 Αποθήκευση ενέργειας (μπαταρίες)

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, για την υλοποίηση του έργου μας απαιτείται η επιλογή κατάλληλων μπαταριών, οι οποίες θα παρέχουν τροφοδοσία στο σύστημα όταν το ηλιακό πάνελ δεν είναι σε θέση να το φορτίσει (π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε συννεφιασμένες ημέρες). Η επιλογή των μπαταριών είναι κρίσιμη, καθώς αυτές πρέπει να διαθέτουν τη σωστή ικανότητα και τάση για να εξασφαλίσουν τη συνεχιζόμενη και ομαλή λειτουργία του συστήματος.

Τύποι Μπαταριών και Χωρητικότητα: Οι μπαταρίες κλειστού τύπου, όπως οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος (Εικ. 3-5), είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς και οικονομικές επιλογές για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Οι χωρητικότητές τους κυμαίνονται συνήθως από 7Ah (7.000 mAh) έως 24Ah (24.000 mAh), ενώ η τάση τους μπορεί να είναι 12V, 6V ή 24V και το ρεύμα εξόδου κυμαίνεται από 1,5A έως 5A. Αυτές οι μπαταρίες είναι ιδανικές για εφαρμογές που απαιτούν πιο οικονομικές λύσεις, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι είναι πιο βαριές και ογκώδεις σε σχέση με τις σύγχρονες μπαταρίες Li-ion ή Li-polymer.

Από την άλλη πλευρά, οι μπαταρίες Li-ion (λιθίου-ιονικές) και Li-polymer (λιθίου-πολυμερικές) προσφέρουν πολύ υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, με αποτέλεσμα να είναι ελαφρύτερες και μικρότερες σε όγκο. Αυτές οι μπαταρίες διαθέτουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τις μπαταρίες κλειστού τύπου, ενώ η τιμή τους είναι παρόμοια. Οι χωρητικότητές τους κυμαίνονται συνήθως από 2.000 mAh έως 40.000 mAh, ενώ το ρεύμα εξόδου κυμαίνεται από 1,5A έως 2,1A, καθιστώντας τις κατάλληλες για μικρές συσκευές αλλά και για μεγαλύτερα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Για το έργο μας, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε Li-ion μπαταρίες λόγω του χαμηλού όγκου και βάρους τους, το οποίο καθιστά το σύστημα πιο ευέλικτο και πρακτικό. Δεν θέλουμε να επιβαρύνουμε τη συσκευή με υπερβολικό βάρος. Ο στόχος είναι να δημιουργήσουμε μια ελαφριά και εύχρηστη συσκευή, και οι μπαταρίες Li-ion καλύπτουν καλύτερα αυτή την ανάγκη, καθώς η τάση εξόδου που έχουν είναι κοντά στα όρια που χρειαζόμαστε για το Arduino, χωρίς να απαιτείται η χρήση step-down converter.

Στην περίπτωση του έργου μας, για να επιτύχουμε την απαιτούμενη χωρητικότητα, «πατεντάραμε» μια πλακέτα από κάποιο παλιό power bank στην οποία συνδέσαμε συστοιχία μπαταριών Li-ion. Η συστοιχία αποτελείται από 6 μπαταρίες των 3,6 Volt με χωρητικότητα 3.350 mAh η καθεμία, και έτσι η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας φτάνει τα 20.100 mAh. Οι μπαταρίες αυτές συνδέθηκαν μεταξύ τους μέσω κόλλησης με κασσίτερο (κολλητήρι), και για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων και βλαβών στις επαφές,

χρησιμοποιήσαμε θερμοσυστελλόμενο υλικό για τη μόνωση. Επιπλέον, για να διασφαλίσουμε ότι δεν θα υπάρξει καμία φυσική μετακίνηση των μπαταριών, τις συγκολλήσαμε μεταξύ τους με θερμόκολλα (χωρίς να εφαρμόσουμε στις επαφές τους). Τέλος, τις χρωμάτισαμε εξωτερικά με άσπρο χρώμα ώστε να μην επηρεάζονται από τη θερμοκρασία της ηλιακής ακτινοβολίας, σε περίπτωση που η συσκευή που θα χρησιμοποιήσουμε είναι διαφανής ή ημιδιαφανής.

Με τη χρήση ενός πολύμετρου μετρήσαμε την τάση της συστοιχίας, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 4,6 και 5 Volt, ενώ η ένταση του ρεύματος κυμαίνεται από 1,50 έως 2,1 Amperes. Αυτές οι τιμές είναι εντός των ορίων για τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Επιπλέον, η πλακέτα που χρησιμοποιούμε έχει μία ανοχή σε παραπάνω τάση εξόδου, και αν και δεν είχαμε ακριβώς τη βεβαιότητα για την συμβατότητα της τάσης του φωτοβολταϊκού συστήματος, προχωρήσαμε σε δοκιμές για να ελέγξουμε την ανοχή και τη λειτουργία του. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στην παρακάτω φωτογραφία (Εικ. 3-7)

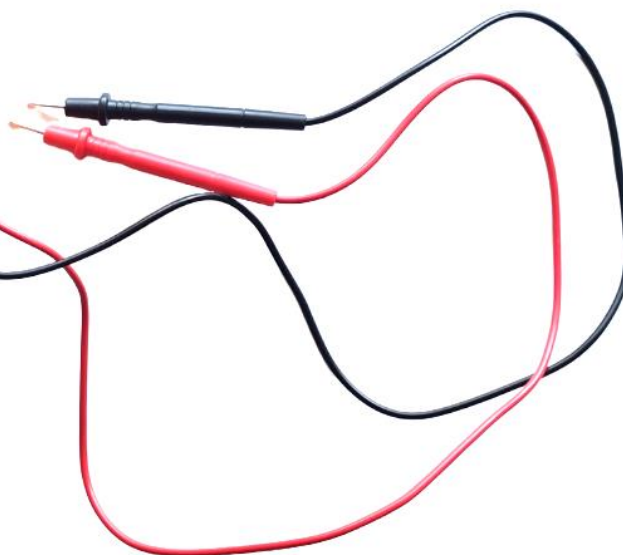
Επιπλέον, παρατηρούμε ότι η πλακέτα που χρησιμοποιούμε διαθέτει ενσωματωμένη ένδειξη στάθμης φόρτισης για τις μπαταρίες. Αυτό μας επιτρέπει να έχουμε μια άμεση οπτική ανατροφοδότηση σχετικά με το επίπεδο φόρτισης, χωρίς την ανάγκη χρήσης επιπλέον εργαλείων, όπως πολύμετρο ή αισθητήρες τάσης. Οι φωτεινές ενδείξεις LED που περιλαμβάνει η πλακέτα μας βοηθούν να γνωρίζουμε πότε η συστοιχία των μπαταριών είναι πλήρως φορτισμένη, μερικώς φορτισμένη ή κοντά σε εκφόρτιση, επιτρέποντας έτσι την καλύτερη διαχείριση της τροφοδοσίας του συστήματος

Πραγματοποιήσαμε πειράματα με φόρτιση της συστοιχίας μπαταριών χρησιμοποιώντας έναν φορτιστή κινητού (fast charger) με έξοδο 12 Volt και 2 Amperes. Μετά από αρκετές φορτίσεις και δοκιμές, δεν παρατηρήθηκε καμία υπερθέρμανση ή βραχυκύκλωμα στις μπαταρίες, και το Arduino λειτούργησε κανονικά, παρέχοντας σωστή τροφοδοσία χωρίς προβλήματα (Εικ. 3-6). Αυτές οι δοκιμές εξασφαλίζουν ότι η συστοιχία μπαταριών που έχουμε επιλέξει και η διαδικασία φόρτισης είναι αξιόπιστες, χωρίς να ενέχουν κινδύνους υπερθέρμανσης ή ζημιών στο σύστημα. Ωστόσο, θα πραγματοποιηθούν και περαιτέρω δοκιμές για να αξιολογήσουμε τη μακροχρόνια απόδοση και αξιοπιστία, εξασφαλίζοντας τη συνεχιζόμενη και ασφαλή λειτουργία του έργου μας. Στα επόμενα κεφάλαια, θα προχωρήσουμε σε πρόσθετες δοκιμές, παράλληλα με την ανάπτυξη της συνδεσμολογίας του συστήματος.





Multimeter



Soldering Iron



Hot Glue gun



Εικόνα 3-7 Εικόνα Εργαλείων που Χρησιμοποιήθηκαν για την Υλοποίηση

3.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος

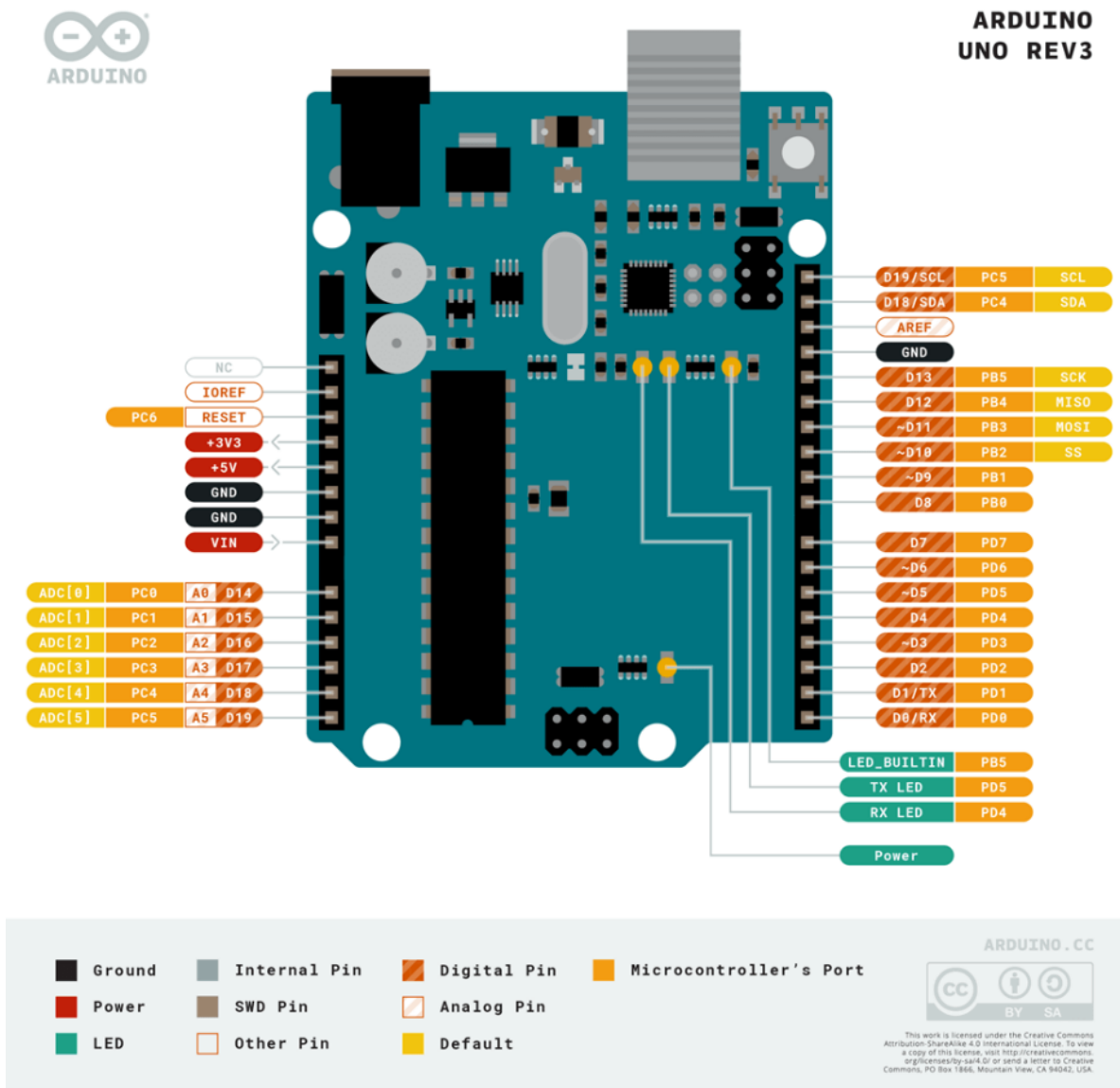
Η αρχιτεκτονική του συστήματος καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα επιμέρους στοιχεία συνεργάζονται για την υλοποίηση της προτεινόμενης λύσης. Ο βασικός της στόχος είναι η εξασφάλιση της ορθής διασύνδεσης των συστατικών, ώστε να διασφαλίζεται η αξιόπιστη μετάδοση και επεξεργασία των δεδομένων, διατηρώντας παράλληλα ανεξαρτησία του συστήματος.

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ακολουθεί μια αποκεντρωμένη προσέγγιση, όπου το σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο συνδεδεμένων συσκευών που συνεργάζονται για τη συλλογή, αποστολή και απεικόνιση των δεδομένων. Για τη διευκόλυνση του αναγνώστη ως προς τη συνδεσμολογία, έχει χρησιμοποιηθεί γραφική απεικόνιση της αρχιτεκτονικής μέσω του Tinkercad (<https://www.tinkercad.com>), παρέχοντας μια σαφή εικόνα για τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα επιμέρους στοιχεία. Επιπλέον, στο τέλος της ενότητας θα παρατεθούν φωτογραφίες της πραγματικής υλοποίησης, προκειμένου να αποτυπωθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η φυσική διάταξη και συνδεσμολογία της συσκευής.

3.2.1 Περιγραφή Γενικής Αρχιτεκτονικής

Το σύστημα αποτελείται από έναν μικροελεγκτή (Arduino), αισθητήρες (υπερήχων), ένα GSM module για επικοινωνία και μια μονάδα τροφοδοσίας (μπαταρία & ηλιακό πάνελ) όλα αυτά συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια που έχουμε προμηθευτεί που είναι κατάλληλα για Arduino συσκευές.

Παρακάτω θα εξετάσουμε την αρχιτεκτονική της πλακέτας Arduino, αναλύοντας τα βασικά εξαρτήματα που την αποτελούν και τη λειτουργία τους στο πλαίσιο του συστήματος. Στη συνέχεια, θα αναπτύξουμε βήμα-βήμα την υλοποίησή της, προκειμένου να κατανοήσουμε πώς η πλακέτα ενσωματώνει τα διάφορα στοιχεία του συστήματος και διασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του. Επιπλέον, σε επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσουμε τον κώδικα που θα υλοποιήσει την τελική διαδικασία των διασυνδέσεων μας, ολοκληρώνοντας τη λειτουργία του συστήματος και εξασφαλίζοντας τη σωστή επικοινωνία και επεξεργασία των δεδομένων.



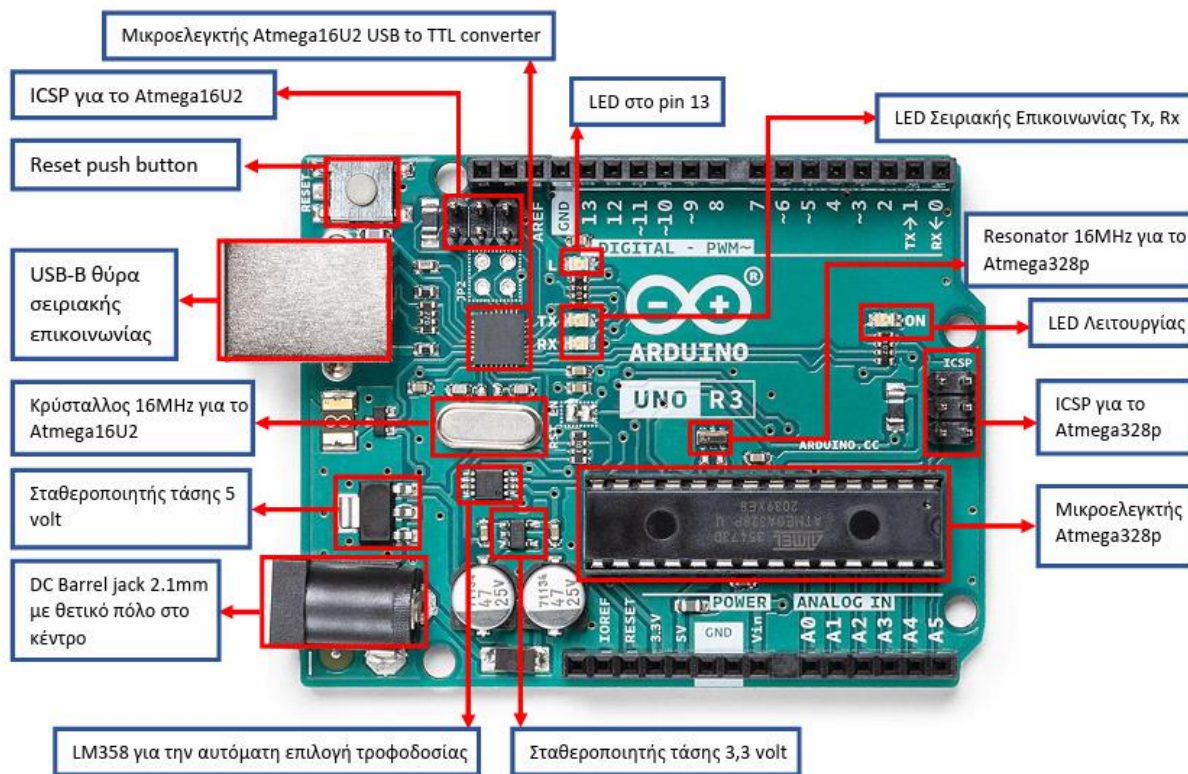
Εικόνα 3-8 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino

Χαρακτηριστικά του Arduino

- Microcontroller: ATmega328
- Τάση λειτουργίας: 5V
- Τάση εισόδου: 7-12V
- Τάση εισόδου (όριο): 6-20V
- Digital I/O Pins: 14 (εκ των οποίων 6 περιέχουν PWM εξόδους)
- Analog Input Pins: 6
- DC ένταση ρεύματος I/O Pin: 40 mA
- DC ένταση ρεύματος για 3.3V Pin: 50 mA

- Flash Memory: 32 KB εκ των οποίων 0,5 KB χρησιμοποιείται από τον bootloader
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Clock Speed: 16 MHz

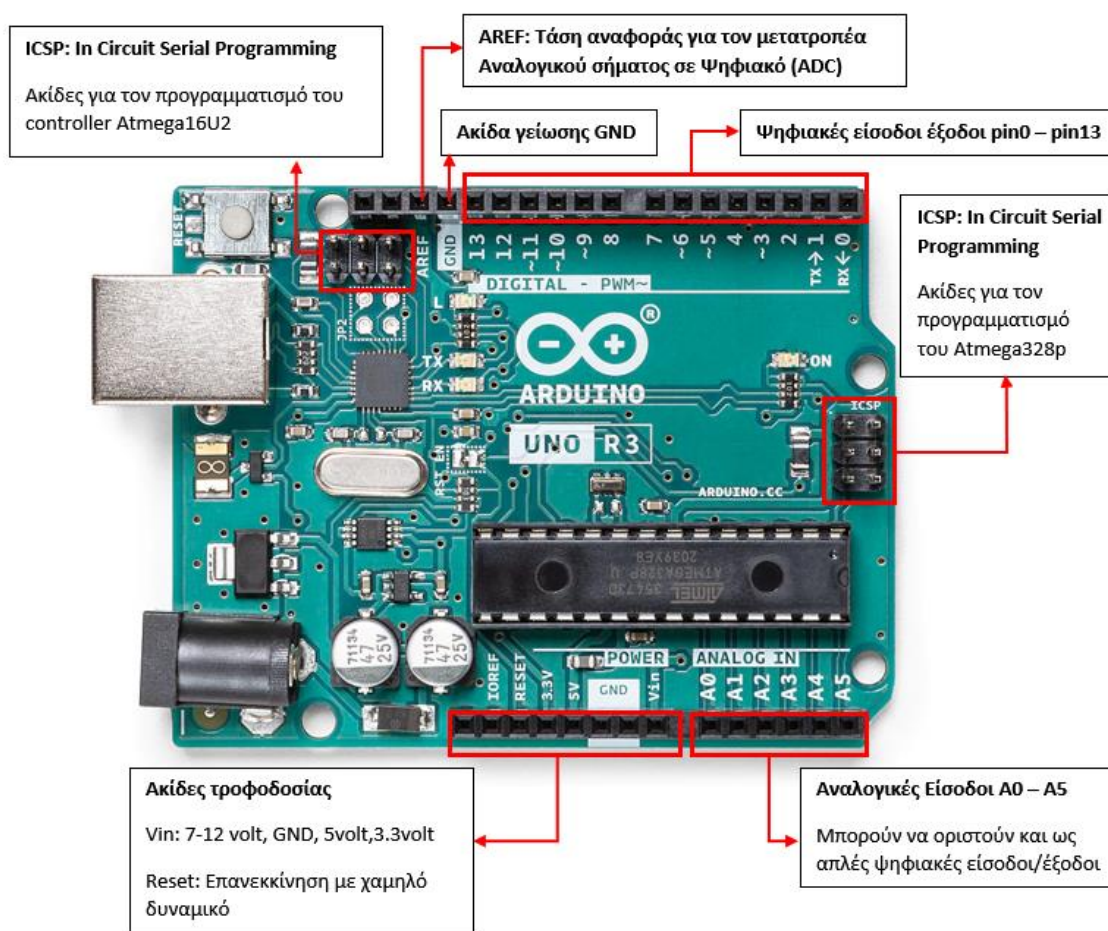
Η πλακέτα Arduino διαθέτει έναν μικροεπεξεργαστή, τον ATmega 328p της Atmel, και προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης με πλήθος αναλογικών και ψηφιακών συσκευών εισόδου/εξόδου. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός συμβατών συσκευών που μπορούν να συνδεθούν με το Arduino, όπως αισθητήρες για μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, δύναμης, απόστασης, γυροσκόπια και πολλά άλλα. Επιπλέον, η πλακέτα Arduino μπορεί να ελέγξει διάφορους τύπους κινητήρων, όπως μοτέρ DC, βηματικούς κινητήρες (stepper), servo motors, καθώς και LED, φωτιστικά (220V), ρελέ και πλήθος άλλων συσκευών. Η σύνδεση με τον υπολογιστή πραγματοποιείται μέσω της σειριακής θύρας USB, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για την αποστολή του προγράμματος από τον υπολογιστή στην πλακέτα, όσο και για τη μετάδοση των δεδομένων που λαμβάνει το Arduino από τις περιφερειακές συσκευές πίσω στον υπολογιστή.



Εικόνα 3-9 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino (2)

Η κεντρική μονάδα του Arduino Uno είναι ο μικροεπεξεργαστής, ο οποίος λειτουργεί ως το «μυαλό» της πλακέτας. Ο μικροεπεξεργαστής αυτός είναι προγραμματιζόμενος και υπεύθυνος για τον έλεγχο των 14 ψηφιακών pins εισόδου/εξόδου και των 6 αναλογικών pins που διαθέτει η πλακέτα. Μέσω αυτών των 20 pins πραγματοποιούνται οι διασυνδέσεις με εξωτερικές συσκευές, όπως κινητήρες, LEDs, LCD οθόνες, καθώς και με αισθητήρες, όπως υπερηχητικοί αισθητήρες (Ultrasonic), θερμόμετρα, επιταχυνσιόμετρα (accelerometers) και άλλοι.

Η πλακέτα διαθέτει επίσης μία θύρα USB, η οποία επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του Arduino και άλλων συσκευών, συνήθως ενός υπολογιστή. Στα πρώτα στάδια εκμάθησης, η κύρια χρήση της θύρας USB είναι η φόρτωση του προγράμματος στον μικροεπεξεργαστή και η οπτικοποίηση των δεδομένων που προκύπτουν από τη λειτουργία της συσκευής, μετά την ολοκλήρωση του προγραμματισμού.



Εικόνα 3-10 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino (3)

Ψηφιακοί και Αναλογικοί Ακροδέκτες του Arduino Uno

Η πλακέτα Arduino Uno διαθέτει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες Εισόδου/Εξόδου, οι οποίοι μπορούν να ρυθμιστούν είτε ως είσοδοι είτε ως έξοδοι, μέσω των κατάλληλων εντολών. Οι ψηφιακοί ακροδέκτες λειτουργούν στα 5 Volts και έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ή να καταβυθίζουν ρεύμα έως 40mA. Κάθε ακροδέκτης έχει ενσωματωμένο έναν Pull-up αντιστάτη 20-50KΩ, ο οποίος βοηθά στη σταθεροποίηση της σήματος.

Επιπλέον, το Arduino Uno διαθέτει 6 αναλογικούς ακροδέκτες Εισόδου, οι οποίοι μπορούν να διαβάσουν αναλογικές τιμές (όπως η τάση μιας μπαταρίας) και να τις μετατρέψουν σε ψηφιακή μορφή, εκφρασμένη σε αριθμό από 0 έως 1023. Η μέτρηση της τάσης πραγματοποιείται σε εύρος από 0 έως 5 Volts, εκτός αν ρυθμιστεί διαφορετικά.

Αξιοσημείωτο είναι ότι 6 από τους 14 ψηφιακούς ακροδέκτες (D3, D5, D6, D9, D10, και D11) μπορούν να προγραμματιστούν για να λειτουργούν ως αναλογικές Έξοδοι, παρέχοντας σήματα PWM (Pulse Width Modulation).

Ορισμένοι από τους ακροδέκτες του Arduino Uno έχουν συγκεκριμένες λειτουργίες που εξυπηρετούν ιδιαίτερα καθήκοντα:

Σειριακή Λειτουργία: Ο ακροδέκτης 0 (RX) και ο ακροδέκτης 1 (TX) χρησιμοποιούνται για την λήψη (RX) και την εκπομπή (TX) σειριακών δεδομένων με το TTL πρωτόκολλο.

Εξωτερικές Διακοπές: Οι ακροδέκτες 2 και 3 μπορούν να ενεργοποιούν διακοπές όταν ανιχνεύεται παλμός χαμηλής τάσης, με τη συνάρτηση `attachInterrupt()`. Οι διακοπές μπορούν να ενεργοποιηθούν σε λογικές τιμές 0 ή 1.

PWM (Pulse Width Modulation): Οι ακροδέκτες 3, 5, 6, 9, 10 και 11 παρέχουν έξοδο 8-bit PWM, η οποία ελέγχεται μέσω της συνάρτησης `analogWrite()`.

SPI (Serial Peripheral Interface): Οι ακροδέκτες 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) και 13 (SCK) επιτρέπουν σειριακή επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου SPI.

I²C (Inter-Integrated Circuit): Οι ακροδέκτες A4 (SDA) και A5 (SCL) επιτρέπουν σειριακή επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου I²C.

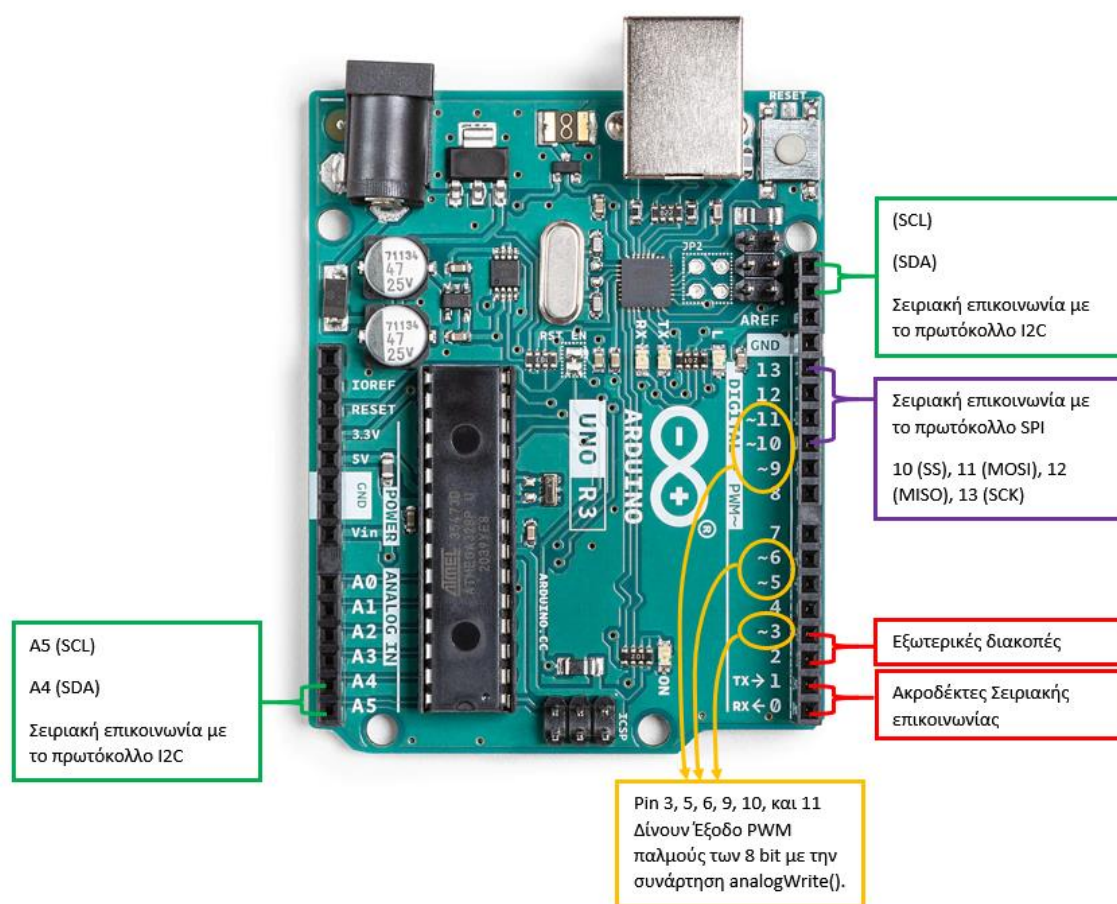
LED 13: Ο ακροδέκτης 13 διαθέτει ενσωματωμένο LED. Όταν ο ακροδέκτης είναι σε κατάσταση HIGH, το LED ανάβει, ενώ όταν είναι σε κατάσταση LOW, το LED σβήνει.

Σειριακή Θύρα

Η σειριακή θύρα του Arduino χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ της πλακέτας και ενός υπολογιστή ή άλλων συσκευών. Όλες οι πλακέτες Arduino διαθέτουν τουλάχιστον μία σειριακή θύρα για τη διασύνδεση αυτή. Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω

των ψηφιακών ακροδεκτών 0 (RX) και 1 (TX) και συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω της θύρας USB. Σημαντικό είναι ότι, όταν χρησιμοποιείται η σειριακή επικοινωνία μέσω USB, οι ακροδέκτες 0 και 1 δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα για ψηφιακή είσοδο ή έξοδο.

Μια σημαντική λειτουργία στο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι η ενσωματωμένη σειριακή οθόνη (Serial Monitor). Αυτή επιτρέπει την απεικόνιση δεδομένων που αποστέλλονται από την πλακέτα Arduino στον υπολογιστή και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προγραμματισμό και την παρακολούθηση της λειτουργίας της συσκευής.



Εικόνα 3-11 Αρχιτεκτονική Πλακέτας Arduino (3)

Βασικές Μνήμες του Arduino: Οι πλακέτες Arduino διαθέτουν τρεις βασικούς τύπους μνήμης:

1. **Flash Memory (32 Kbytes):** Η μνήμη Flash φιλοξενεί το πρόγραμμα που εκτελείται και τον φορτωτή εκκίνησης (bootloader), ο οποίος διευκολύνει την διαδικασία προγραμματισμού της πλακέτας.

2. **SRAM Memory (2 Kbytes):** Η SRAM είναι η στατική μνήμη τυχαίας προσπέλασης, η οποία χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων που σχετίζονται με τις μεταβλητές και τις στατικές τιμές του προγράμματος που εκτελείται.

3. **EEPROM Memory (1 Kbytes):** Η EEPROM είναι μη-πρόσκαιρη μνήμη, στην οποία αποθηκεύονται οι τιμές των μεταβλητών, επιτρέποντας την αποθήκευση δεδομένων που διατηρούνται ακόμα και όταν η πλακέτα είναι σβηστή, όπως ρυθμίσεις και παραμέτροι ανάμεσα σε επανεκκινήσεις (reset).

Η Flash και η EEPROM είναι μη πρόσκαιρες μνήμες, πράγμα που σημαίνει ότι τα δεδομένα τους παραμένουν αποθηκευμένα ακόμα και μετά την απενεργοποίηση της πλακέτας. Αντίθετα, η SRAM είναι πρόσκαιρη μνήμη και τα δεδομένα χάνονται όταν διακοπεί η τροφοδοσία.

Λόγω του περιορισμένου μεγέθους της SRAM, εάν αυτή γεμίσει, μπορεί να προκύψουν απρόβλεπτα σφάλματα στο πρόγραμμα, όπως η αποτυχία εκκίνησης ή η εκτέλεση με λάθη. Για να διαπιστωθεί αν η SRAM έχει εξαντληθεί, μπορεί να μειωθούν οι γραμμές κώδικα ή οι δομές δεδομένων στο πρόγραμμα. Εάν το πρόγραμμα εκτελείται σωστά, είναι πιθανό ότι η μνήμη SRAM έχει φτάσει στο όριο της. Η χρήση μικρότερων τύπων δεδομένων για μεγάλους πίνακες ή μεταβλητές μπορεί να βελτιώσει την απόδοση και να αποτρέψει την εξάντληση της SRAM.

Τροφοδοσία του Arduino Uno

Η πλακέτα Arduino Uno μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε μέσω εξωτερικής πηγής είτε μέσω της θύρας USB του υπολογιστή. Όταν χρησιμοποιείται εξωτερική τροφοδοσία, η σύνδεση γίνεται μέσω μιας υποδοχής 2.1mm (με θετικό πόλο στο κέντρο), η οποία επιτρέπει την εισαγωγή της τάσης. Η επιλογή της πηγής τροφοδοσίας γίνεται αυτόματα από την πλακέτα. Η εξωτερική τροφοδοσία μπορεί να προέρχεται είτε από μπαταρία είτε από μετασχηματιστή 9V (220V προς 9V). Η μπαταρία μπορεί να συνδεθεί μέσω των ακροδεκτών Vin και GND, όπου τοποθετούνται ο θετικός και ο αρνητικός πόλος αντίστοιχα. Εναλλακτικά, αν χρησιμοποιείται μετασχηματιστής, η σύνδεση γίνεται μέσω του ειδικού βύσματος, τοποθετώντας το βύσμα με τον θετικό πόλο στο κέντρο.

Η πλακέτα Arduino Uno λειτουργεί σωστά με εξωτερική πηγή τροφοδοσίας από 6 έως 20 Volts. Ωστόσο, εάν η τάση είναι μικρότερη από 7 Volts, οι ακροδέκτες εξόδου 5V δεν θα παρέχουν την απαιτούμενη τάση 5 Volts. Από την άλλη πλευρά, τάση άνω των 12 Volts

μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση του σταθεροποιητή τάσης και πιθανή καταστροφή της πλακέτας. Επομένως, η ιδανική τάση τροφοδοσίας είναι τα 9 Volts.

Οι κύριοι ακροδέκτες τροφοδοσίας της πλακέτας είναι:

VIN: Ακροδέκτης για σύνδεση εξωτερικής τροφοδοσίας 7-12 Volts.

5V: Ακροδέκτης με σταθεροποιημένη τάση 5 Volts, ο οποίος μπορεί να τροφοδοτήσει εξωτερικές συσκευές με μικρές απαιτήσεις σε ρεύμα.

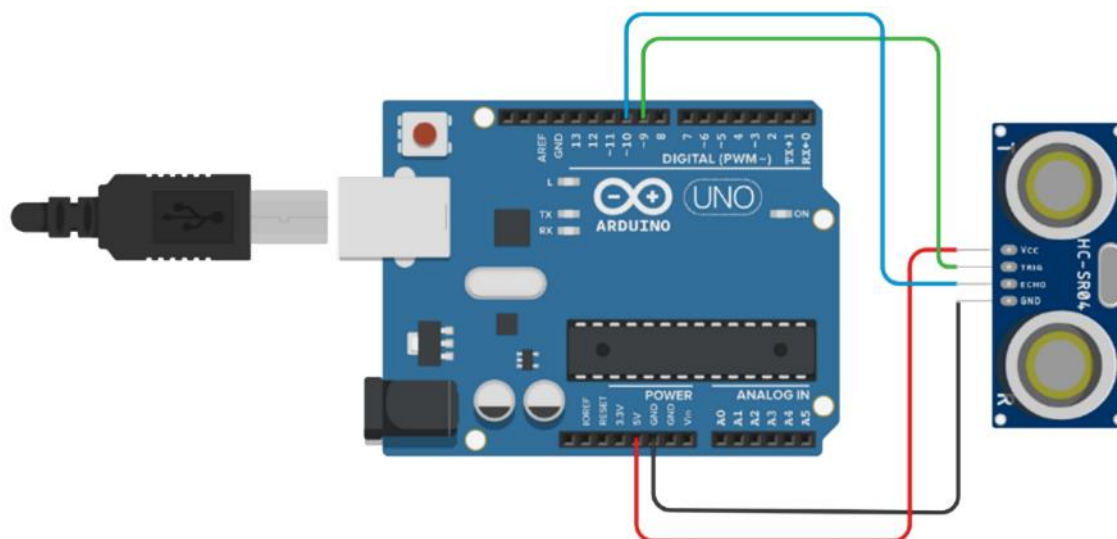
3.3V: Ακροδέκτης με τάση 3.3 Volts, που μπορεί να τροφοδοτήσει εξωτερικές συσκευές με μέγιστη ένταση ρεύματος 50mA.

GND: Ακροδέκτης γείωσης για τη σύνδεση του συστήματος με τη γείωση της τροφοδοσίας.
(Douflias Yannis 2023)

3.2.2 Ανάπτυξη και Ανάλυση της Αρχιτεκτονικής

Σύνδεση Arduino με Υπερηχητικό Αισθητήρα: Στην παρούσα ενότητα, θα αναλύσουμε τη διαδικασία ανάπτυξης του κυκλώματος που χρησιμοποιεί την πλακέτα Arduino για τη μέτρηση της στάθμης υγρών σε αποθετήρια, όπως έχει περιγραφεί στην αρχιτεκτονική του συστήματος. Θα χρησιμοποιήσουμε το Tinkercad, ένα εργαλείο προσομοίωσης κυκλωμάτων, για να σχεδιάσουμε και να προσομοιώσουμε το κύκλωμα, επιβεβαιώνοντας την ορθότητα των συνδέσεων και τη λειτουργία του πριν από τη φυσική υλοποίηση.

Στόχος είναι η δημιουργία ενός μοντέλου που αντικατοπτρίζει με ακρίβεια την αρχιτεκτονική του συστήματος και επιτρέπει την εύκολη επαλήθευση της λειτουργίας του. Παρακάτω βλέπουμε τη συνδεσμολογία του αισθητήρα υπερήχων HC-SR04.



Εικόνα 3-12 Συνδεσμολογία Πλακέτας Arduino με HC-SR04

Ο αισθητήρας HC-SR04 διαθέτει τέσσερις ακροδέκτες: VCC (τροφοδοσία), GND (γη), Trig (Ενεργοποίηση) και Echo (Αντίκτυπος). Για την ενσωμάτωσή του με την πλακέτα Arduino Uno, έπρεπε να γίνουν οι παρακάτω συνδέσεις:

Ο ακροδέκτης VCC του HC-SR04 συνδέεται στην υποδοχή 5V της πλακέτας Arduino, προκειμένου να τροφοδοτηθεί ο αισθητήρας με την απαιτούμενη τάση 5V.

Ο ακροδέκτης GND του αισθητήρα συνδέεται στον ακροδέκτη GND της πλακέτας Arduino, προκειμένου να δημιουργηθεί κοινή γείωση.

Ο ακροδέκτης Trig συνδέεται στον ακροδέκτη D9 της πλακέτας Arduino, μέσω του οποίου στέλνονται τα σήματα ενεργοποίησης του αισθητήρα.

Ο ακροδέκτης Echo συνδέεται στον ακροδέκτη D10 της πλακέτας Arduino, μέσω του οποίου λαμβάνονται τα δεδομένα ανακλαστικών υπερήχων για τον υπολογισμό της απόστασης.

Η λειτουργία του αισθητήρα βασίζεται στην αποστολή ενός υπερηχητικού παλμού από τον ακροδέκτη Trig, ο οποίος στη συνέχεια ανακλάται από το αντικείμενο και επιστρέφει στον ακροδέκτη Echo.

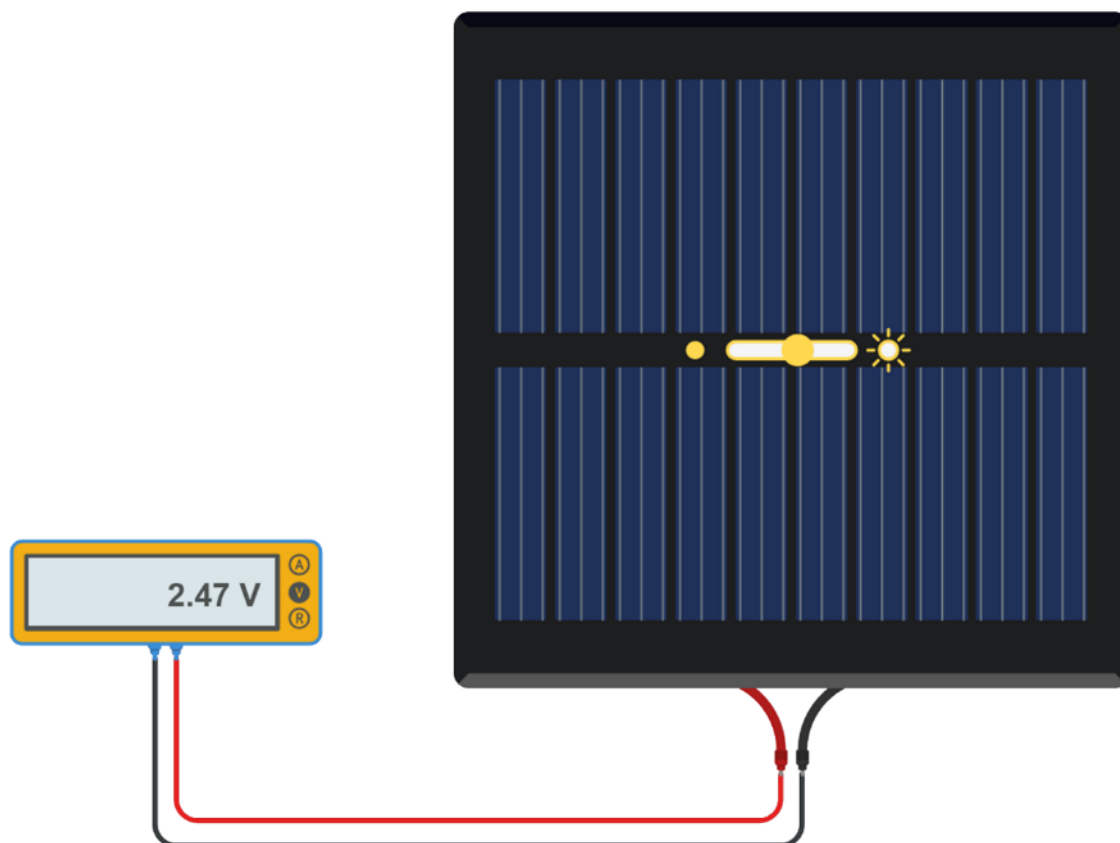
Σύνδεση Arduino με Ηλιακό Πάνελ: Για τον σκοπό αυτό της τροφοδοσίας, χρησιμοποιούμε ένα ηλιακό πάνελ, το οποίο παρέχει τάση 5V και ένταση ρεύματος 2,1A (21W), εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος.

Για να επαληθεύσουμε την έξοδο του ηλιακού πάνελ και να διασφαλίσουμε τη σωστή λειτουργία του, χρησιμοποιούμε ένα πολύμετρο. Με το πολύμετρο μπορούμε να μετρήσουμε: την τάση εξόδου του ηλιακού πάνελ (V) ώστε να επιβεβαιώσουμε ότι παρέχει τη σωστή ηλεκτρική ενέργεια και την ένταση του ρεύματος (A) για να δούμε αν αποδίδει τα αναμενόμενα 2A, τα οποία απαιτούνται για τη φόρτιση της μπαταρίας και την τροφοδοσία του συστήματος.

Αρχικά, για τη μέτρηση της τάσης (Voltage - V), η σύνδεση γίνεται παράλληλα στο κύκλωμα. Επιλέγουμε στο πολύμετρο τη ρύθμιση DC Voltage (V), χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο κουμπί στην πρόσοψη του οργάνου. Συνδέουμε το κόκκινο καλώδιο (positive / +) στην θετική έξοδο του ηλιακού πάνελ και το μαύρο καλώδιο (negative / -) στην αρνητική έξοδο. Πατάμε *Start Simulation* για να δούμε τις ενδείξεις του πολύμετρου, οι οποίες, εφόσον είναι κοντά στα 5V, επιβεβαιώνουν τη σωστή λειτουργία του πάνελ.

Στη συνέχεια, για τη μέτρηση της έντασης ρεύματος (Current - A), η σύνδεση γίνεται σε σειρά στο κύκλωμα. Επιλέγουμε στο πολύμετρο τη ρύθμιση DC Amperes (A) μέσω του

αντίστοιχου κουμπιού. Ρυθμίζοντας το *slide button* του πάνελ, μπορούμε να παρατηρήσουμε την ένταση του ρεύματος που αλλάζει ανάλογα με τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια.



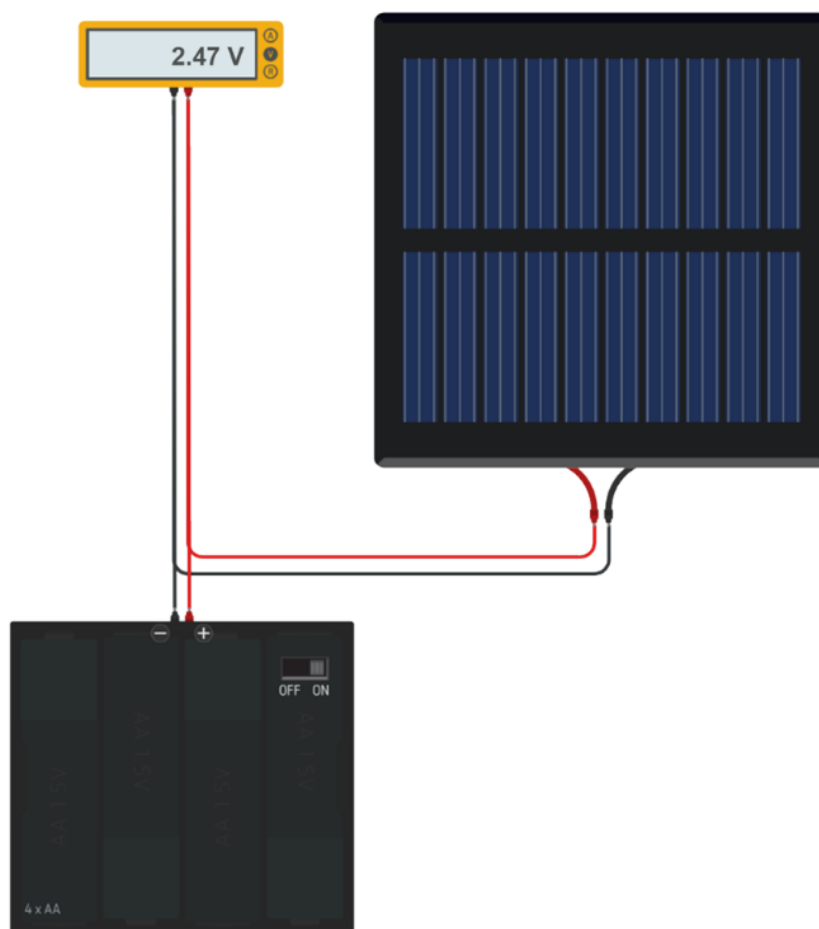
Εικόνα 3-13 Συνδεσμολογία Πλακέτας Arduino με Ηλιακό Πάνελ

Σύνδεση Ηλιακού Πάνελ με Μπαταρίες: Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τη διαδικασία σύνδεσης των μπαταριών με το ηλιακό πάνελ και το Arduino. Λόγω περιορισμών στην απεικόνιση του Tinkercad θα χρησιμοποιήσουμε την τεχνική του φωτομοντάζ ώστε να απεικονίσουμε με τον μέγιστο δυνατό τρόπο την συνδεσμολογία, υπενθυμίζεται ότι στην υποδοχή των μπαταριών μας έχουμε 1 input και 2 output. Το input χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών από το ηλιακό πάνελ, ενώ τα δύο output επιτρέπουν την ταυτόχρονη τροφοδοσία του Arduino και των υπόλοιπων εξαρτημάτων.

- Συνδέουμε το θετικό (+) καλώδιο του ηλιακού πάνελ στην είσοδο φόρτισης (input +) της μπαταρίας.
- Συνδέουμε το αρνητικό (-) καλώδιο του ηλιακού πάνελ στην αρνητική είσοδο φόρτισης (input -) της μπαταρίας.

Με αυτόν τον τρόπο, το ηλιακό πάνελ φορτίζει τις μπαταρίες όταν λαμβάνει ηλιακή ακτινοβολία. Από τα δύο διαθέσιμα output της υποδοχής μπαταριών, το πρώτο χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του Arduino. Μπορεί στο 2^ο output να συνδέσουμε το GSM ή μπορούμε να το συνδέσουμε πάνω το Arduino μόνο, αυτό θα το αναπτύξουμε μεταγενέστερα. Μόλις ολοκληρωθεί η συνδεσμολογία, πατάμε *Start Simulation* για να ελέγξουμε αν το ηλιακό πάνελ φορτίζει τις μπαταρίες και αν το Arduino λαμβάνει την απαιτούμενη τάση. Ρυθμίζοντας το *slide button* του ηλιακού πάνελ στο 0, μπορούμε να προσομοιώσουμε και να δούμε το ρεύμα που λαμβάνει από τις μπαταρίες, έτσι βλέπουμε ό,τι όλα μεταβαίνουν καλώς μέχρι στιγμής

Με αυτή τη διάταξη, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα, αντλώντας ενέργεια από το ηλιακό πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας και χρησιμοποιώντας την αποθηκευμένη ενέργεια από τις μπαταρίες κατά τις περιόδους χαμηλής ή μηδενικής ηλιακής ακτινοβολίας. Μπορούμε να πειραματιστούμε πάνω στην προσομοίωση ή ακόμη να βάλουμε διαφορετικές τιμές στο πάνελ ή μπαταρίες μας ώστε να καταλάβουμε καλύτερα πως δουλεύει. Ακολουθεί φωτογραφία της συνδεσμολογίας, όπως την περιγράψαμε.



Εικόνα 3-14 Συνδεσμολογία Πλακέτας Arduino με Ηλιακό Πάνελ και Μπαταρίες

Τροφοδοσία του Arduino και GSM Module

Αφού ολοκληρώθηκε η σύνδεση του ηλιακού πάνελ με τις μπαταρίες, το επόμενο βήμα είναι η τροφοδοσία του Arduino μέσω της μπαταρίας. Λόγω περιορισμών στην απεικόνιση του Tinkercad, καθώς δεν παρέχει συσκευή GSM module θα χρησιμοποιήσουμε την τεχνική του φωτομοντάζ ώστε να απεικονίσουμε με τον μέγιστο δυνατό τρόπο την συνδεσμολογία. Για να επιτευχθεί η τροφοδοσία, η έξοδος της μπαταρίας συνδέεται στη θύρα USB του Arduino, διασφαλίζοντας έτσι σταθερή παροχή ενέργειας για τη λειτουργία του μικροελεγκτή και των αισθητήρων του. Υπενθυμίζουμε ότι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της πλακέτας που χρησιμοποιήσαμε για τις μπαταρίες, είναι η δυνατότητα παράλληλης τροφοδοσίας και φόρτισης. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μπορεί ταυτόχρονα να τροφοδοτεί το Arduino και τα υπόλοιπα εξαρτήματα, ενώ οι μπαταρίες συνεχίζουν να φορτίζονται από το ηλιακό πάνελ.

Σύνδεση του GSM Module:

Ολοκληρώνοντας τη συνδεσμολογία, προστίθεται και το GSM Shield, το οποίο μπορεί να συνδεθεί είτε απευθείας στο Arduino είτε στη δεύτερη έξοδο της μπαταρίας, ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις ανάγκες επικοινωνίας του συστήματος.

Για την επικοινωνία του Arduino Uno με το GSM Shield SIM900, απαιτείται η σωστή διαδικασία συνδεσμολογίας. Η σύνδεση του GSM module με το Arduino περιλαμβάνει δύο βασικά μέρη:

- Σειριακή επικοινωνία (UART) για την ανταλλαγή δεδομένων.
- Σύνδεση τροφοδοσίας για την ορθή λειτουργία του module.

Σειριακή Επικοινωνία (UART - TX/RX) μεταξύ Arduino και GSM

Το GSM module SIM900A επικοινωνεί με το Arduino μέσω σειριακής διεπαφής (UART). Για τη σωστή λειτουργία αυτής της επικοινωνίας, οι ακροδέκτες TX και RX πρέπει να συνδεθούν ως εξής:

Ο ακροδέκτης TXD (Transmit Data) του GSM συνδέεται στον ακροδέκτη του Arduino, ο οποίος στο συγκεκριμένο κύκλωμα έχει επιλεγεί να είναι το pin 8.

Ο ακροδέκτης RXD (Receive Data) του GSM συνδέεται στον ακροδέκτη του Arduino, ο οποίος έχει οριστεί ως το pin 7.

Αυτή η σύνδεση επιτρέπει στο Arduino να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα από το GSM Shield, χρησιμοποιώντας τη σειριακή επικοινωνία. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι το

SIM900 λειτουργεί σε 5V λογικά επίπεδα, συνεπώς δεν απαιτείται κάποιος μετατροπέας στάθμης τάσης.

Σύνδεση Τροφοδοσίας GSM Shield

Το GSM Shield SIM900 Shield έχει σχετικά χαμηλές απαιτήσεις ρεύματος σε κατάσταση αδρανοποίησης, αλλά κατά τη διάρκεια της μετάδοσης δεδομένων, η κατανάλωση αυξάνεται σημαντικά. Σύμφωνα με την επίσημη τεκμηρίωση, το SIM900 μπορεί να δεχτεί τάση εισόδου από 5V έως 26V με απαιτούμενο ρεύμα 2A, ενώ η προτεινόμενη τροφοδοσία είναι 9V 2A για σταθερή λειτουργία, σε κατάσταση αδράνειας (sleep mode) έχει χαμηλή κατανάλωση ρεύματος, με μόλις 1.5mA (0.0015 A). Η τροφοδοσία του GSM Shield μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

Σύνδεση μέσω εξωτερικής πηγής ρεύματος

Στην υλοποίησή μας, χρησιμοποιούμε μπαταρίες 5V 2.1A ως εξωτερική πηγή ενέργειας. Παρότι αυτή η τροφοδοσία μπορεί να λειτουργήσει, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι μπορεί να παρέχει σταθερό ρεύμα 2A κατά τις αιχμές κατανάλωσης του GSM Shield. Αν παρατηρηθούν προβλήματα όπως επανεκκινήσεις ή απώλεια σήματος, μπορεί να χρειαστεί αύξηση της τάσης ή χρήση διαφορετικής πηγής ενέργειας.

Η σύνδεση πραγματοποιείται ως εξής:

- Το θετικό καλώδιο (+5V) της μπαταρίας συνδέεται στην είσοδο VCC του GSM Shield.
- Το αρνητικό καλώδιο (GND) της μπαταρίας συνδέεται στο GND του GSM Shield.
- Για να διασφαλιστεί σωστή αναφορά τάσης μεταξύ των συσκευών, το GND του GSM Shield συνδέεται επίσης με το GND του Arduino.

Σύνδεση μέσω του 5V του Arduino

Εναλλακτικά, μπορεί να δοκιμαστεί η τροφοδοσία του GSM Shield μέσω του VCC pin του Arduino. Σε αυτή την περίπτωση:

- Το VCC του GSM Shield συνδέεται στο 5V ή Vin του Arduino.
- Το GND του GSM Shield συνδέεται στο GND του Arduino.

Ωστόσο, αυτή η μέθοδος πρέπει να δοκιμαστεί σε βάθος χρόνου για να αξιοποιηθεί αν η οριακή χρήση ρεύματος που σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορούν να υλοποιήσουν το έργο μας.

Σημαντικές Παρατηρήσεις

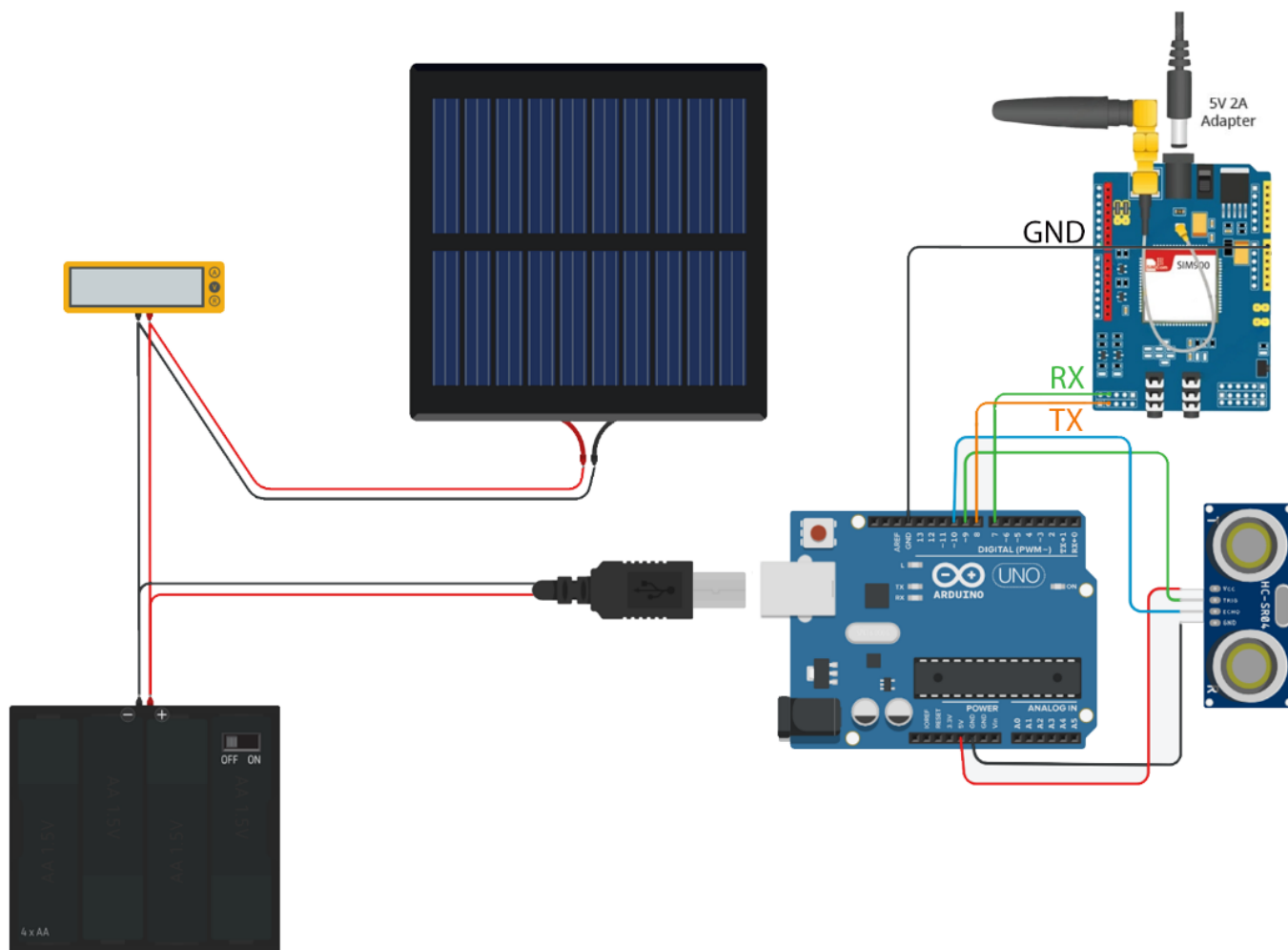
Η κεραία του GSM module πρέπει να είναι σωστά τοποθετημένη, ώστε να διασφαλιστεί καλή λήψη σήματος.

Πριν από τη χρήση, πρέπει να εισαχθεί μια έγκυρη κάρτα SIM και να απενεργοποιηθεί ο κωδικός PIN μέσω κινητού τηλεφώνου.

Κατά τη λειτουργία, η ένδειξη PWR LED στο GSM module πρέπει να είναι ενεργοποιημένη, ενώ η ένδειξη NET LED (NW) θα αναβοσβήνει, υποδεικνύοντας ότι το module είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Με αυτή τη συνδεσμολογία, το GSM module ενσωματώνεται πλήρως στο σύστημα, επιτρέποντας απομακρυσμένη επικοινωνία.

Ακολουθεί εικόνα που απεικονίζει την τελική συνδεσμολογία του GSM module με το Arduino.



Εικόνα 3-15 Εικόνα Τελικής Συνδεσμολογίας του Έργου

3.3 Λογισμικό (Software) της Υλοποίησης

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε ένα συνδυασμό υλικού (hardware) και λογισμικού (software), όπου το λογισμικό διαχειρίζεται τη συλλογή δεδομένων, την επεξεργασία τους και την αποστολή ειδοποιήσεων στο cloud ή σε άλλες διεπαφές χρήστη. Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ο σκοπός του λογισμικού, οι λειτουργίες που επιτελεί και ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρά με το hardware για να επιτευχθεί η επιθυμητή λειτουργικότητα. Η ανάπτυξη του λογισμικού περιλαμβάνει τον προγραμματισμό του Arduino σε γλώσσα C/C++, τη διαμόρφωση των δικτυακών επικοινωνιών μέσω GSM και την ενσωμάτωση του συστήματος με το Arduino IoT Cloud μαζί με την χρήση κατάλληλων βιβλιοθηκών (Libraries) ώστε να επιτευχθεί. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι που είναι ενσωματωμένοι επιτρέπουν τις ακριβείς μετρήσεις/δεδομένα με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Το λογισμικό έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι προσαρμόσιμο και σχετικά εύκολο, επιτρέποντας την εύκολη τροποποίηση παραμέτρων, όπως τα όρια στάθμης, οι ρυθμοί δειγματοληψίας και οι επιλογές επικοινωνίας. Τέλος, το λογισμικό μας παρέχει ευελιξία ώστε να είναι εύκολο στο να διαχειριστούμε τεχνικές διαχείρισης ενέργειας για να εξασφαλίσει την αποδοτική κατανάλωση των μπαταριών, ενώ παράλληλα διαθέτει μηχανισμούς ανάκτησης σφαλμάτων ώστε να διατηρείται η συνεχής λειτουργία ακόμα και σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στα επόμενα υποκεφάλαια, παρουσιάζονται οι κύριες λειτουργίες του λογισμικού, ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρά με το υλικό και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

3.3.1 Arduino IDE (Integrated Development Environment)

Το **Arduino IDE** (Integrated Development Environment) αποτελεί το κύριο εργαλείο προγραμματισμού για τις πλακέτες Arduino. Είναι ένα εξαιρετικά δημοφιλές και ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο λόγω της απλότητάς του και της φιλικότητας προς τον χρήστη, ειδικά για εκείνους που ξεκινούν με την πλατφόρμα Arduino. Η απλότητα του IDE το καθιστά ιδανικό για εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και προσωπικά έργα, αφού παρέχει μια εύκολη και γρήγορη μέθοδο για την ανάπτυξη και φόρτωση κώδικα στην πλακέτα χωρίς πολύπλοκες ρυθμίσεις ή απαιτήσεις.

Βασικά Χαρακτηριστικά του Arduino IDE:

Υποστηριζόμενες Γλώσσες Προγραμματισμού: Το Arduino IDE χρησιμοποιεί κυρίως τις γλώσσες προγραμματισμού C και C++, οι οποίες είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη εφαρμογών σε μικροελεγκτές. Η γλώσσα αυτή είναι αρκετά ευρέως χρησιμοποιούμενη και προσφέρει ευελιξία και απόδοση, ενώ οι αρχάριοι μπορούν να την κατανοήσουν εύκολα. Οι περισσότερες βιβλιοθήκες που συνοδεύουν το Arduino παρέχονται επίσης σε C/C++, επιτρέποντας στους χρήστες να επεκτείνουν τις δυνατότητες του συστήματος με μεγάλη ευχέρεια.

Ευκολία στη Χρήση και Απλότητα: Το Arduino IDE είναι σχεδιασμένο με έμφαση στην απλότητα, ώστε να είναι εύχρηστο και να απαιτεί ελάχιστη γνώση από τον χρήστη για την εκκίνηση και τη λειτουργία του. Η διεπαφή χρήστη είναι πολύ απλή, με βασικά κουμπιά για τη συγγραφή του κώδικα, τη μεταγλώττιση και τη φόρτωσή του στο Arduino board. Αυτή η απλότητα καθιστά το IDE ιδανικό για αρχάριους, καθώς δεν απαιτεί προηγούμενη εμπειρία με τον προγραμματισμό μικροελεγκτών.

Βιβλιοθήκες (Libraries): Το Arduino IDE υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία βιβλιοθηκών (libraries) που επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με διάφορους αισθητήρες, συσκευές και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Αυτές οι βιβλιοθήκες προσφέρουν προκαθορισμένες λειτουργίες που διευκολύνουν την αλληλεπίδραση με συσκευές όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, κίνησης, καθώς και μονάδες επικοινωνίας όπως Wi-Fi και GSM. Η χρήση βιβλιοθηκών μειώνει τον χρόνο ανάπτυξης και διευκολύνει τους χρήστες στο να επικεντρωθούν στην υλοποίηση της λογικής του έργου παρά στην υλοποίηση της βασικής υποδομής.

Απλή Διαδικασία Μεταγλώττισης και Φόρτωσης: Η διαδικασία μεταγλώττισης και φόρτωσης κώδικα στο Arduino είναι πολύ απλή και γρήγορη. Ο χρήστης γράφει τον κώδικα στο περιβάλλον του IDE, το οποίο αυτόματα αναγνωρίζει τη σύνδεση με το Arduino board και το μεταγλωττίζει σε εκτελέσιμο κώδικα που μπορεί να εκτελεστεί από την πλακέτα. Μόλις ο κώδικας μεταγλωττιστεί, μπορεί να φορτωθεί απευθείας στο board με το πάτημα ενός κουμπιού. Αυτό κάνει το Arduino IDE κατάλληλο για γρήγορη ανάπτυξη και πειραματισμό.

Απουσία Προχωρημένων Χαρακτηριστικών: Παρά την ευχρηστία του, το Arduino IDE δεν παρέχει τόσα εξελιγμένα χαρακτηριστικά όσο άλλα επαγγελματικά IDEs. Για παράδειγμα, δεν έχει προηγμένα εργαλεία αποσφαλμάτωσης ή ενσωματωμένες δυνατότητες για έλεγχο της απόδοσης του κώδικα. Οι χρήστες που επιθυμούν να

χρησιμοποιούν πιο προηγμένα εργαλεία για την ανάπτυξη, όπως ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποσφαλμάτωσης ή καλύτερη υποστήριξη για παραλληλία, θα βρουν το Arduino IDE περιορισμένο.

Συμβατότητα με Πολλαπλές Πλατφόρμες: Το Arduino IDE είναι συμβατό με πολλαπλές πλατφόρμες όπως Windows, macOS και Linux, επιτρέποντας τη χρήση του σε διάφορους υπολογιστές και λειτουργικά συστήματα. Αυτή η ευελιξία το καθιστά προσβάσιμο σε ένα ευρύ κοινό χρηστών, ανεξαρτήτως της πλατφόρμας που χρησιμοποιούν.

Απλοί Μηχανισμοί Αποσφαλμάτωσης: Το Arduino IDE προσφέρει βασικές δυνατότητες αποσφαλμάτωσης, όπως την παρακολούθηση της εξόδου του σειριακής θύρας (Serial Monitor), το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν τις τιμές των μεταβλητών και τα αποτελέσματα εκτέλεσης του κώδικα σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, σε αντίθεση με επαγγελματικά IDEs, δεν διαθέτει πλήρη εργαλεία αποσφαλμάτωσης.

Υποστήριξη για Πρόσθετα και Επέκταση: Το Arduino IDE επιτρέπει την εγκατάσταση πρόσθετων (add-ons) που επεκτείνουν τις δυνατότητες του περιβάλλοντος ανάπτυξης. Αυτά τα πρόσθετα μπορούν να προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες, όπως υποστήριξη για διαφορετικά board ή νέα εργαλεία ανάλυσης κώδικα.

Περιορισμοί του Arduino IDE:

Παρόλο που το Arduino IDE είναι εξαιρετικά δημοφιλές και χρήσιμο για απλά έργα, μπορεί να είναι περιορισμένο για πιο πολύπλοκα έργα. Οι προχωρημένοι χρήστες, οι οποίοι απαιτούν εργαλεία όπως ενσωματωμένες δυνατότητες αποσφαλμάτωσης, στατιστικά απόδοσης ή προηγμένα χαρακτηριστικά για ανάπτυξη λογισμικού, μπορεί να χρειαστούν πιο ισχυρά περιβάλλοντα,

3.3.2 Arduino Cloud

Το **Arduino Cloud** είναι μια online, web-based εφαρμογή που παρέχει μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα για την ανάπτυξη και διαχείριση έργων IoT χωρίς να απαιτεί την τοπική εγκατάσταση του παραδοσιακού IDE του Arduino. Σε αντίθεση με το τοπικό Arduino IDE, το οποίο απαιτεί εγκατάσταση και διαχείριση στον υπολογιστή, το Arduino Cloud επιτρέπει

στους χρήστες να αναπτύσσουν και να φορτώνουν κώδικα απευθείας μέσω του web browser τους, προσφέροντας μια πιο ευέλικτη και προσβάσιμη λύση για ανάπτυξη.

Βασικά Χαρακτηριστικά του Arduino Cloud

Online Εφαρμογή χωρίς Εγκατάσταση: Το Arduino Cloud είναι μια online web εφαρμογή που παρέχει όλες τις δυνατότητες ανάπτυξης που προσφέρει το παραδοσιακό Arduino IDE, αλλά χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης και διαχείρισης του λογισμικού στον τοπικό υπολογιστή του χρήστη. Αυτό το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για χρήστες που θέλουν να έχουν πρόσβαση στο έργο τους από οποιονδήποτε υπολογιστή με σύνδεση στο διαδίκτυο. Η σύνδεση με το cloud εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα και οι ρυθμίσεις αποθηκεύονται και είναι διαθέσιμα από οπουδήποτε, χωρίς την ανάγκη εξωτερικών αποθηκευτικών μέσων ή σύνθετης διαχείρισης συστημάτων αρχείων.

Διαχείριση Συσκευών IoT μέσω Cloud: Στην πλατφόρμα του Arduino Cloud, οι χρήστες μπορούν να συνδέσουν τις συσκευές τους, όπως τα Arduino boards και άλλα υποστηριζόμενα μικροελεγκτικά συστήματα, με το cloud. Οι συσκευές επικοινωνούν με το cloud μέσω του Internet, επιτρέποντας τη συλλογή δεδομένων, την παρακολούθηση των καταστάσεων και την απομακρυσμένη διαχείριση. Οι χρήστες μπορούν να ρυθμίζουν τις συσκευές τους, να τροποποιούν τις παραμέτρους τους και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις από οποιονδήποτε υπολογιστή ή κινητό.

Διαχείριση Κώδικα και Προγραμματισμός: Το Arduino Cloud προσφέρει μια ενσωματωμένη περιβάλλον προγραμματισμού που υποστηρίζει τη συγγραφή κώδικα σε γλώσσα C/C++ και την αποστολή του στον μικροελεγκτή μέσω του διαδικτύου. Αντί να απαιτεί τη χρήση ενός τοπικού IDE όπως το Arduino IDE, οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν, να επεξεργάζονται και να ανεβάζουν τον κώδικά τους μέσω του web interface, κάνοντάς το πολύ πιο βολικό για χρήστες που προτιμούν μια online προσέγγιση.

Προσαρμόσιμοι Πίνακες Ελέγχου (Dashboards): Η πλατφόρμα του Arduino Cloud παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας προσαρμοσμένων dashboards για την παρακολούθηση των συσκευών και των δεδομένων τους. Αυτοί οι πίνακες ελέγχου επιτρέπουν στους χρήστες να εμφανίζουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τις μετρήσεις ή τις καταστάσεις των συσκευών με τον πιο κατανοητό τρόπο. Επίσης, υποστηρίζουν τη

δυνατότητα αποστολής ειδοποιήσεων για καθορισμένα όρια, επιτρέποντας στους χρήστες να αντιδρούν άμεσα σε μεταβολές ή προβλήματα του συστήματος.

Ασφάλεια και Πρόσβαση: Η ασφάλεια των δεδομένων είναι εξαιρετικά σημαντική για εφαρμογές που συνδέονται με το cloud, και το Arduino Cloud εξασφαλίζει SSL/TLS κρυπτογράφηση για την προστασία της επικοινωνίας. Επιπλέον, προσφέρει πολυπαραγοντική αυθεντικοποίηση (MFA) για τη διασφάλιση της ασφάλειας κατά την πρόσβαση στο σύστημα, περιορίζοντας τη δυνατότητα εισόδου μόνο σε εξουσιοδοτημένα άτομα.

Ευκολία Ενσωμάτωσης με Άλλες Υπηρεσίες: Το Arduino Cloud υποστηρίζει την ενσωμάτωση με άλλες μεγάλες πλατφόρμες cloud, όπως το Google Cloud, το Microsoft Azure, και το Amazon Web Services (AWS). Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να επεκτείνουν τις δυνατότητες των έργων τους, όπως για παράδειγμα, για την αποθήκευση ή την ανάλυση δεδομένων σε μεγαλύτερη κλίμακα ή για την ενσωμάτωσή τους σε άλλες εφαρμογές.

Διαχείριση Εξαρτημάτων και Βιβλιοθηκών: Όπως και στο τοπικό IDE του Arduino, το Arduino Cloud υποστηρίζει τη χρήση βιβλιοθηκών και εξαρτημάτων. Η Διαχείριση Βιβλιοθηκών μέσω του Arduino Cloud είναι εύκολη και γρήγορη, προσφέροντας στους χρήστες πρόσβαση σε έναν μεγάλο αριθμό βιβλιοθηκών που υποστηρίζουν διάφορους αισθητήρες, πρωτόκολλα επικοινωνίας και άλλες συσκευές.

Πλεονεκτήματα του Arduino Cloud

Ευκολία στην Πρόσβαση και Διαχείριση: Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του Arduino Cloud είναι η δυνατότητα να αναπτύσσεις και να διαχειρίζεσαι το έργο σου χωρίς την ανάγκη τοπικής εγκατάστασης και διαχείρισης του λογισμικού. Ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί από οποιονδήποτε υπολογιστή ή κινητό, αρκεί να έχει σύνδεση στο διαδίκτυο.

Ενσωμάτωση με IoT Συσκευές: Η δυνατότητα σύνδεσης και διαχείρισης πολλών IoT συσκευών από το cloud είναι ένα ισχυρό εργαλείο για ανάπτυξη και παρακολούθηση έργων που απαιτούν απομακρυσμένη διαχείριση και συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Προσαρμοσμένα Dashboards και Ειδοποιήσεις: Οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν προσαρμοσμένα dashboards για την παρακολούθηση των δεδομένων και να ενεργοποιούν ειδοποιήσεις για να ανταποκριθούν σε αλλαγές ή σφάλματα σε πραγματικό χρόνο.

Ευκολία στην Κλιμάκωση: Το Arduino Cloud επιτρέπει τη διαχείριση έργων σε μεγαλύτερη κλίμακα χωρίς να απαιτεί την ανάπτυξη και συντήρηση υποδομών cloud από τον χρήστη. Αυτό επιτρέπει την εύκολη επέκταση των εφαρμογών IoT χωρίς επιπλέον κόστος ή προσπάθεια.

Συνεργασία και Εξωτερικές Εφαρμογές: Η δυνατότητα ενσωμάτωσης με άλλες υπηρεσίες, όπως τα Google Cloud και AWS, διευρύνει τις δυνατότητες ανάλυσης και αποθήκευσης δεδομένων, καθιστώντας το Arduino Cloud ένα εργαλείο για επαγγελματική και βιομηχανική χρήση.

Με την online φύση του και τις δυνατότητες που προσφέρει για την απομακρυσμένη διαχείριση IoT συσκευών, το Arduino Cloud είναι μια ιδανική λύση για χρήστες που επιθυμούν ευκολία και πρόσβαση χωρίς να χρειάζονται τοπικά εγκατεστημένο λογισμικό, ενώ παράλληλα προσφέρει ισχυρές δυνατότητες διαχείρισης δεδομένων και ανάπτυξης εφαρμογών.

3.3.3 PlatformIO

Το **PlatformIO** είναι ένα από τα πιο ισχυρά και πλήρη IDE για την ανάπτυξη εφαρμογών με μικροελεγκτές, περιλαμβανομένων αυτών της πλατφόρμας Arduino. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό Arduino IDE, το PlatformIO προσφέρει προηγμένα εργαλεία και δυνατότητες που το καθιστούν κατάλληλο για πιο απαιτητικά έργα και επαγγελματικές εφαρμογές. Είναι μια εξαιρετική επιλογή για χρήστες που θέλουν να επεκτείνουν τη λειτουργικότητα του Arduino ή να εργαστούν με άλλους μικροελεγκτές.

Βασικά Χαρακτηριστικά του PlatformIO

Υποστήριξη Πολλών Πλατφόρμων: Το PlatformIO δεν περιορίζεται μόνο στην πλατφόρμα Arduino, αλλά υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία μικροελεγκτών και πλατφόρμων, όπως τα ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico, Atmel AVR, Nordic Semiconductor και πολλές άλλες. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το PlatformIO

εξαιρετικά ευέλικτο και ικανό να καλύψει τις ανάγκες πιο απαιτητικών έργων που μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικούς τύπους hardware και τεχνολογίες.

Διαχείριση Εξαρτημάτων και Βιβλιοθηκών: Ένα από τα πιο ισχυρά χαρακτηριστικά του PlatformIO είναι η **Διαχείριση Βιβλιοθηκών** μέσω του **PlatformIO Library Manager**. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την εύκολη αναζήτηση, εγκατάσταση και διαχείριση βιβλιοθηκών χωρίς να χρειάζεται χειροκίνητη λήψη ή ρύθμιση τους. Ο χρήστης μπορεί να εγκαταστήσει βιβλιοθήκες με ένα κλικ, και το σύστημα θα αναλάβει την εύρεση και την εγκατάσταση τους. Αυτό το χαρακτηριστικό εξοικονομεί πολύ χρόνο, ειδικά όταν εργάζεστε με μεγαλύτερα έργα που απαιτούν πολλές εξωτερικές βιβλιοθήκες και εξαρτήματα.

Συνεργασία με Visual Studio Code: Το PlatformIO ενσωματώνεται άψογα με το **Visual Studio Code (VSCode)**, το οποίο είναι ένα από τα πιο δημοφιλή και ευέλικτα IDEs για προγραμματιστές. Η συνεργασία αυτή προσφέρει εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όπως:

- ο **Αναγνώριση και αυτόματη συμπλήρωση του κώδικα:** Αυτή η δυνατότητα αυξάνει την παραγωγικότητα και μειώνει τα λάθη κατά τη συγγραφή του κώδικα.
- ο **Αναλυτής Κώδικα (Code Linter):** Επιτρέπει την ανάλυση και τη διόρθωση του κώδικα σε πραγματικό χρόνο.
- ο **Διαχείριση Έργων (Project Management):** Επιτρέπει την εύκολη διαχείριση έργων, προσθέτοντας υποστήριξη για εξαρτήσεις, παραμετροποιήσεις και πολλές άλλες ρυθμίσεις που συνήθως απαιτούν εργαλεία γραμμής εντολών.

Αυτή η ισχυρή συνεργασία με το VSCode προσφέρει ένα πλήρες και ισχυρό περιβάλλον ανάπτυξης για τον προγραμματιστή.

Διαχείριση Έργων και Αποσφαλμάτωσης: Το PlatformIO προσφέρει εξαιρετική διαχείριση έργων για την ανάπτυξη λογισμικού, ιδιαίτερα όταν το έργο μεγαλώνει και γίνεται πιο περίπλοκο. Η δυνατότητα να διαχειρίζεσαι πολλά projects και πλατφόρμες από την ίδια διεπαφή καθιστά την ανάπτυξη λογισμικού πιο οργανωμένη. Το PlatformIO διαθέτει επίσης **προχωρημένες δυνατότητες αποσφαλμάτωσης (debugging)**, οι οποίες επιτρέπουν στον προγραμματιστή να εντοπίζει προβλήματα στον κώδικα σε πραγματικό χρόνο, να παρακολουθεί τη ροή εκτέλεσης του προγράμματος, καθώς και να πραγματοποιεί αναλύσεις σε βάθος για να εξασφαλίσει τη σωστή λειτουργία του κώδικα.

Αναφορές και Αναλύσεις Απόδοσης: Το PlatformIO παρέχει εργαλεία για τη μέτρηση και παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος, κάτι που είναι σημαντικό για τη βελτιστοποίηση του λογισμικού. Ειδικά για μεγαλύτερα έργα που χρησιμοποιούν σύνθετους αλγόριθμους ή απαιτούν ιδιαίτερη διαχείριση πόρων, αυτή η δυνατότητα καθίσταται εξαιρετικά χρήσιμη. Ο προγραμματιστής μπορεί να εντοπίσει τομείς του κώδικα που χρειάζονται βελτίωση και να πραγματοποιήσει βελτιστοποιήσεις για την εξοικονόμηση πόρων και τη βελτίωση της απόδοσης.

Υποστήριξη για Build Systems και Continuous Integration: Το PlatformIO παρέχει ολοκληρωμένη υποστήριξη για **build systems** και **continuous integration (CI)**, κάτι που το καθιστά ιδανικό για επαγγελματικά έργα. Η δυνατότητα να ενσωματώσεις το PlatformIO με εργαλεία CI, όπως το Travis CI ή το Jenkins, επιτρέπει την αυτοματοποιημένη κατασκευή του κώδικα και την εκτέλεση δοκιμών σε διάφορες πλατφόρμες χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση. Αυτό το χαρακτηριστικό ενισχύει την αποδοτικότητα και την ποιότητα του έργου, καθώς οι αναπτυξιακές διαδικασίες αυτοματοποιούνται και διασφαλίζεται ότι κάθε αλλαγή στον κώδικα θα ελέγχεται για σφάλματα.

Πλεονεκτήματα του PlatformIO για Επαγγελματική Χρήση:

Το PlatformIO είναι ιδανικό για έργα που απαιτούν **αυξημένη κλίμακα, πολλαπλές πλατφόρμες, προηγμένα εργαλεία αποσφαλμάτωσης και διαχείριση έργων**. Είναι το κατάλληλο εργαλείο για επαγγελματικά και σύνθετα έργα, προσφέροντας έναν πιο επαγγελματικό και οργανωμένο τρόπο ανάπτυξης λογισμικού σε μικροελεγκτές. Με την υποστήριξή του για **πολλές πλατφόρμες, την ευέλικτη διαχείριση εξαρτημάτων** και την ισχυρή ενσωμάτωση με το **Visual Studio Code**, το PlatformIO καθίσταται ένα εργαλείο που επιτρέπει την ανάπτυξη επαγγελματικών λύσεων υψηλής ποιότητας και απόδοσης.

3.3.4 Visual Studio Code (VS Code)

Το **Visual Studio Code (VS Code)** είναι ένα ισχυρό, ανοικτού κώδικα (open-source) εργαλείο ανάπτυξης λογισμικού που προσφέρει υποστήριξη για μια ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων των C/C++ που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό των μικροελεγκτών Arduino. Αν και το VS Code δεν είναι ένα ειδικά σχεδιασμένο IDE για Arduino, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τα κατάλληλα

πρόσθετα και βιβλιοθήκες για να παρέχει μια πολύ πιο ισχυρή και ευέλικτη λύση ανάπτυξης, ενσωματώνοντας λειτουργίες που είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για πιο σύνθετα έργα.

Βασικά Χαρακτηριστικά του VS Code για Arduino:

Ευελιξία και Υποστήριξη Πολλών Γλωσσών Προγραμματισμού: Αν και το VS Code δεν είναι αποκλειστικά για την ανάπτυξη με Arduino, υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων των C, C++, Python και άλλων. Για τους χρήστες του Arduino, αυτό επιτρέπει την ενσωμάτωση άλλων τεχνολογιών και γλωσσών στο έργο, π.χ. για την ανάπτυξη scripts ή τη δημιουργία εφαρμογών για την απομακρυσμένη διαχείριση δεδομένων.

Επέκταση μέσω Επεκτάσεων (Extensions): Ένα από τα πιο ισχυρά χαρακτηριστικά του VS Code είναι η **ευχέρεια επέκτασης** μέσω ενός τεράστιου αριθμού extensions. Υπάρχει το **Arduino extension** για το VS Code που επιτρέπει στους χρήστες να αναπτύσσουν, να αποσφαλματώνουν και να φορτώνουν τον κώδικα στους μικροελεγκτές Arduino απευθείας από το VS Code. Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του Arduino extension περιλαμβάνουν:

Συμβατότητα με το Arduino IDE: Το VS Code μπορεί να συνεργάζεται άψογα με το Arduino IDE, επιτρέποντας στους χρήστες να χρησιμοποιούν το ίδιο περιβάλλον ανάπτυξης με επιπλέον δυνατότητες.

Συγχρονισμός Κώδικα και Εξαρτημάτων: Ενσωματώνει το Arduino IDE για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, επιτρέποντας στους χρήστες να προγραμματίζουν και να συγχρονίζουν τον κώδικα με τις βιβλιοθήκες και τις πλατφόρμες του Arduino.

Διαχείριση Έργων και Φάκελοι: Το VS Code παρέχει μια πολύ οργανωμένη δομή για τη διαχείριση έργων, επιτρέποντας στους χρήστες να δουλεύουν σε μεγάλα έργα με πολλές βιβλιοθήκες και αρχεία. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν, να οργανώνουν και να διαχειρίζονται φάκελοι, αρχεία και πόρους με εύκολο και αποτελεσματικό τρόπο. Για σύνθετα έργα που απαιτούν την ενσωμάτωση πολλών στοιχείων, αυτός ο τύπος οργάνωσης είναι πολύ χρήσιμος.

Αποσφαλμάτωση (Debugging): Το VS Code διαθέτει εξαιρετικά χαρακτηριστικά αποσφαλμάτωσης. Αν και η αποσφαλμάτωση με το Arduino μπορεί να είναι πιο περιορισμένη σε σχέση με άλλες γλώσσες προγραμματισμού, το VS Code προσφέρει καλύτερα εργαλεία αποσφαλμάτωσης από το παραδοσιακό Arduino IDE. Χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα **Debugging**, οι χρήστες μπορούν να εντοπίσουν

προβλήματα στον κώδικα με ευκολία και να επισημαίνουν τυχόν λάθη στον κώδικα προτού το ανεβάσουν στο μικροελεγκτή.

Υποστήριξη Git και Συνεργασία: Ένα άλλο πλεονέκτημα του VS Code είναι η ενσωματωμένη υποστήριξη για το **Git**, το πιο διαδεδομένο σύστημα ελέγχου εκδόσεων (version control system). Η ενσωμάτωση με το Git επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν τις αλλαγές του κώδικα, να συνεργάζονται με άλλους προγραμματιστές και να δημιουργούν ιστορικό του έργου τους με ευκολία. Αυτό καθιστά το VS Code εξαιρετικό για συνεργατικά έργα, αλλά και για προσωπική παρακολούθηση της εξέλιξης του κώδικα.

Υποστήριξη για Τερματικό (Terminal) και Εκτέλεση Κώδικα: Το VS Code ενσωματώνει τερματικό (terminal), επιτρέποντας στους χρήστες να εκτελούν και να ελέγχουν τον κώδικα τους χωρίς να χρειάζονται εξωτερικά εργαλεία ή κονσόλες. Επίσης, παρέχει τη δυνατότητα να τρέχουν εντολές μέσω του ενσωματωμένου τερματικού και να εκτελούν οποιαδήποτε εντολή που θα εκτελούσαν στο τοπικό IDE.

Δημιουργία Custom Snippets και Σύντομες Εντολές: Ένα από τα χαρακτηριστικά που μπορεί να αποδειχτεί χρήσιμο για τους προγραμματιστές είναι η δυνατότητα δημιουργίας **custom snippets** (προσαρμοσμένων αποσπασμάτων κώδικα) και την ταχύτερη εκτέλεση εντολών μέσω σύντομων εντολών. Αυτές οι δυνατότητες επιτρέπουν στους χρήστες να εργάζονται πιο γρήγορα και αποδοτικά, μειώνοντας τον χρόνο που ξοδεύεται στην πληκτρολόγηση επαναλαμβανόμενου κώδικα.

Πλεονεκτήματα του VS Code για την Ανάπτυξη Arduino:

Ισχυρά Εργαλεία Ανάπτυξης και Αποσφαλμάτωσης: Η δυνατότητα αποσφαλμάτωσης και τα εργαλεία παρακολούθησης καθιστούν το VS Code ιδανικό για πιο σύνθετα έργα Arduino, ειδικά όταν απαιτείται αναγνώριση σφαλμάτων και βελτιστοποίηση του κώδικα.

Αποτελεσματική Διαχείριση Έργων και Κώδικα: Το VS Code βοηθά στη διαχείριση μεγάλων και περίπλοκων έργων με εύκολο τρόπο. Η δυνατότητα οργάνωσης του κώδικα σε φακέλους και υποφακέλους, η αναζήτηση σε όλο το έργο και η δυνατότητα προσθήκης βιβλιοθηκών και εξαρτημάτων είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για σύνθετες εφαρμογές.

Επέκταση Λειτουργιών μέσω Επεκτάσεων: Οι επεκτάσεις του VS Code επιτρέπουν στους χρήστες να επεκτείνουν τη λειτουργικότητα του προγράμματος και να το προσαρμόσουν στις ανάγκες τους. Η υποστήριξη του Arduino extension καθιστά το VS Code ένα ισχυρό εργαλείο για ανάπτυξη Arduino έργων.

Ευκολία Συνεργασίας μέσω Git: Η ενσωμάτωση με το Git καθιστά το VS Code ιδανικό για ομαδικές εργασίες και ανάπτυξη έργων σε συνεργασία με άλλους προγραμματιστές.

Ανοικτό Κώδικα και Ελεύθερο: Το VS Code είναι ανοικτού κώδικα και δωρεάν, παρέχοντας στους χρήστες την ευκαιρία να το χρησιμοποιήσουν χωρίς περιορισμούς. Επιπλέον, η κοινότητα υποστήριξης γύρω από το VS Code είναι πολύ ενεργή και παρέχει συνεχώς νέα εργαλεία και δυνατότητες.

Το **Visual Studio Code** είναι μια εξαιρετική επιλογή για προγραμματιστές που αναπτύσσουν έργα με το Arduino, ειδικά για έργα που απαιτούν πιο προηγμένα εργαλεία ανάπτυξης και διαχείρισης. Με την υποστήριξη για επεκτάσεις, την ενσωμάτωση με Git, και τα ισχυρά εργαλεία αποσφαλμάτωσης, το VS Code προσφέρει μια πλήρη και ευέλικτη λύση ανάπτυξης που ξεπερνά τον παραδοσιακό τρόπο προγραμματισμού με το Arduino IDE.

3.3.5 Tinkercard

Το **Tinkercad** είναι μια δωρεάν, online πλατφόρμα σχεδίασης και προσομοίωσης κυκλωμάτων που αναπτύχθηκε από την Autodesk. Ειδικά για την εκπαιδευτική κοινότητα και τους αρχάριους προγραμματιστές, το Tinkercad προσφέρει έναν πολύ φιλικό προς το χρήστη τρόπο για την κατασκευή και δοκιμή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των έργων με Arduino. Η πιο σημαντική δυνατότητα του Tinkercad είναι η προσομοίωση κυκλωμάτων, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να σχεδιάσουν και να δοκιμάσουν τα κυκλώματα τους στον υπολογιστή χωρίς να απαιτείται φυσικό υλικό.

Βασικά Χαρακτηριστικά του Tinkercad:

Εύχρηστο και Φιλικό προς τους Αρχάριους: Το Tinkercad σχεδιάστηκε έτσι ώστε να είναι προσβάσιμο σε χρήστες όλων των επιπέδων. Παρά το γεγονός ότι είναι αρκετά απλό, προσφέρει ισχυρές δυνατότητες για την ανάπτυξη κυκλωμάτων και τη συγγραφή κώδικα, κάτι που το καθιστά ιδανικό για αρχάριους και μαθητές. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν και να πειραματιστούν με τα κυκλώματα τους χωρίς να απαιτείται φυσική πλακέτα ή πολύπλοκος εξοπλισμός.

Προσομοίωση Κυκλωμάτων: Το Tinkercad προσφέρει έναν **προσομοιωτή κυκλωμάτων** που επιτρέπει στους χρήστες να αναπτύξουν, να δοκιμάσουν και να διορθώσουν τα κυκλώματα τους σε πραγματικό χρόνο. Για τα έργα Arduino, αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να προγραμματίσουν το Arduino και να το συνδέσουν με διάφορους αισθητήρες

και άλλες συσκευές, και στη συνέχεια να δουν πώς το κύκλωμα θα λειτουργήσει, χωρίς να χρειάζεται να έχουν φυσικά τα εξαρτήματα.

Υποστήριξη για Arduino και Άλλους Μικροελεγκτές: Το Tinkercad παρέχει πλήρη υποστήριξη για **Arduino** και επιτρέπει στους χρήστες να προγραμματίζουν το μικροελεγκτή με τη χρήση του **Arduino IDE** ή της γλώσσας προγραμματισμού **Blocks** (μια γλώσσα προγραμματισμού για αρχάριους που επιτρέπει την ανάπτυξη προγραμμάτων μέσω διαγραμμάτων ροής). Οι χρήστες μπορούν να προσθέσουν αισθητήρες, LED, κινητήρες και άλλες συσκευές στον προσομοιωτή και να γράψουν τον αντίστοιχο κώδικα για να ελέγξουν τη συμπεριφορά τους.

Δημιουργία και Προγραμματισμός σε Πραγματικό Χρόνο: Όταν αναπτύσσεται ένα έργο με το Tinkercad, οι χρήστες μπορούν να γράφουν τον κώδικα και να βλέπουν την εκτέλεσή του σε πραγματικό χρόνο μέσω του προσομοιωτή. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να κάνουν αλλαγές στον κώδικα και να βλέπουν άμεσα τις επιπτώσεις τους στο κύκλωμα, διευκολύνοντας τη διαδικασία ανάπτυξης και αναγνώρισης σφαλμάτων.

Εύκολη Ενσωμάτωση Κώδικα και Κυκλωμάτων: Το Tinkercad προσφέρει την ικανότητα να **συνδυάζει τον κώδικα με το κύκλωμα**, επιτρέποντας στους χρήστες να δημιουργούν πιο πολύπλοκα έργα, όπως αυτοματισμούς ή συστήματα που περιλαμβάνουν αισθητήρες και ανατροφοδότηση. Η ενσωμάτωση με το Arduino IDE και η χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C/C++ επιτρέπει στους χρήστες να αναπτύξουν και να δοκιμάσουν τα έργα τους με άμεση εκτέλεση.

Συνεργασία και Κοινότητα: Το Tinkercad διαθέτει δυνατότητες κοινής χρήσης, επιτρέποντας στους χρήστες να μοιράζονται τα έργα τους με άλλους ή να συνεργάζονται σε κοινά έργα. Η κοινότητα του Tinkercad είναι πολύ ενεργή και επιτρέπει στους χρήστες να βρουν παραδείγματα, tutorials και έτοιμα έργα για να τα τροποποιήσουν ή να τα χρησιμοποιήσουν ως βάση για τα δικά τους έργα.

Δημιουργία 3D Σχεδίων και Εκτύπωση: Εκτός από την ανάπτυξη κυκλωμάτων και προγραμμάτων, το Tinkercad επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν 3D σχέδια και να τα εκτυπώσουν σε 3D εκτυπωτές. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη όταν απαιτείται η δημιουργία εξαρτημάτων ή περιβλημάτων για το έργο με το Arduino. Ο χρήστης μπορεί

να σχεδιάσει και να εκτυπώσει custom parts, όπως βάσεις για τον μικροελεγκτή ή κουτιά για την προστασία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Εύκολη Επέκταση και Προσαρμογή: Το Tinkercad παρέχει μια μεγάλη βιβλιοθήκη με εξαρτήματα και αισθητήρες που μπορούν να προστεθούν στο έργο, ενώ υποστηρίζει και την εισαγωγή προσαρμοσμένων εξαρτημάτων από άλλες πλατφόρμες. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους χρήστες να πειραματιστούν και να αναπτύξουν πολύπλοκα κυκλώματα.

Πλεονεκτήματα του Tinkercad για την Ανάπτυξη Arduino

Δεν Απαιτεί Φυσικό Υλικό: Η δυνατότητα προσομοίωσης κυκλωμάτων χωρίς να απαιτείται φυσική πλακέτα ή εξαρτήματα καθιστά το Tinkercad ιδανικό για γρήγορη ανάπτυξη και δοκιμή έργων Arduino χωρίς την ανάγκη αγοράς υλικού.

Φιλικό Περιβάλλον για Αρχάριους: Το Tinkercad έχει σχεδιαστεί για να είναι εύχρηστο και προσιτό σε αρχάριους. Ο γραφικός του χαρακτήρας και οι δυνατότητες drag-and-drop για την προσθήκη εξαρτημάτων το καθιστούν ιδανικό για χρήστες που δεν έχουν προηγούμενη εμπειρία με τον προγραμματισμό ή τα κυκλώματα.

Απλότητα και Εύκολη Μάθηση: Οι χρήστες μπορούν να αρχίσουν να δημιουργούν έργα με ελάχιστη εκπαίδευση και να κατανοούν γρήγορα τη βασική αρχή λειτουργίας των κυκλωμάτων και του προγραμματισμού, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Δωρεάν και Χωρίς Ανάγκη Εγκατάστασης: Το Tinkercad είναι δωρεάν και προσφέρει πλήρη λειτουργικότητα χωρίς να απαιτεί την εγκατάσταση λογισμικού, καθώς λειτουργεί μέσω ενός φυλλομετρητή (Web browser). Αυτό το καθιστά πολύ βολικό για τους χρήστες που δεν θέλουν να ασχοληθούν με την εγκατάσταση περιβαλλόντων ανάπτυξης ή την απόκτηση υλικού.

Εκπαιδευτικά Εργαλεία και Διδακτικά Υλικά: Το Tinkercad διαθέτει πολλά tutorials και διδακτικά εργαλεία για να βοηθήσει τους χρήστες να μάθουν και να κατανοήσουν τις βασικές αρχές του ηλεκτρονικού σχεδιασμού και του προγραμματισμού με το Arduino.

Συνολικά, το **Tinkercad** είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την ανάπτυξη και προσομοίωση έργων με Arduino, ιδιαίτερα για αρχάριους που θέλουν να δοκιμάσουν τις ιδέες τους χωρίς να απαιτείται φυσικό υλικό. Παρέχει εύκολη προσομοίωση, συγγραφή κώδικα και εκτέλεση

σε πραγματικό χρόνο, κάνοντάς το μια εξαιρετική επιλογή για πρώιμο στάδιο ανάπτυξης και εκπαίδευση στην ηλεκτρονική και τον προγραμματισμό.

3.4 Εργαλεία Ανάπτυξης και Δοκιμών

Για την ανάπτυξη και δοκιμή του συστήματος μέτρησης στάθμης υγρών, θα επιλέξω τη χρήση δύο ισχυρών και ευέλικτων εργαλείων καθώς παρέχει έναν εξαιρετικό και εύχρηστο τρόπο προσομοίωσης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και προγραμματισμού μικροελεγκτών, για το Arduino.

Με το Tinkercad, θα μπορέσω να δημιουργήσω τα κυκλώματα μου και να τα δοκιμάσω χωρίς την ανάγκη φυσικού υλικού, κάτι που είναι ιδανικό για την πρώτη φάση ανάπτυξης του έργου, όπου δεν έχω ακόμα τη φυσική πλακέτα στα χέρια μου. Η πλατφόρμα αυτή μου επιτρέπει να δοκιμάσω διάφορους αισθητήρες, να ελέγξω τη λειτουργία τους και να γράψω και να εκτελέσω τον κώδικα σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να χρειάζεται να συνδέσω φυσικά τα εξαρτήματα. Αυτή η προσέγγιση με βοηθά να αναπτύξω, να διορθώσω και να βελτιστοποιήσω το σύστημα πριν προχωρήσω στην υλοποίηση του σε πραγματικό υλικό, εξοικονομώντας χρόνο και πόρους. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο κώδικας που αναπτύσσω για το σύστημα δεν είναι πολύ μεγάλος και περίπλοκος για την παρούσα φάση. Η υλοποίηση επικεντρώνεται σε βασικές λειτουργίες, όπως η μέτρηση της στάθμης του υγρού και η αποστολή δεδομένων στο Arduino Cloud, κάτι που επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη δοκιμή της συσκευής μέσω του Tinkercad. Ωστόσο, καθώς το σύστημα εξελίσσεται, ο κώδικας μπορεί να επεκταθεί για να συμπεριλάβει πιο σύνθετες λειτουργίες και παραμέτρους.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία προγραμματισμού και δοκιμής με το Tinkercad, το επόμενο βήμα θα είναι η ενσωμάτωση του συστήματος στο Arduino Cloud

3.4.1 Ψηφιακή Υλοποίηση του Ultrasonic Sensor

Παρακάτω βλέπουμε την υλοποίηση στο Tinkercad (Εικ. 3-16), η οποία αναπαριστά τη λειτουργία του αισθητήρα υπερήχων HC-SR04 για τη μέτρηση της στάθμης υγρών. Στο serial monitor του tinkercard παρατηρούμε τις μετρήσεις την απόσταση που μετράει ανάλογα πόσο κινούμε τον κύκλο μάς (πράσινο μπαλάκι) μέσα στην ακτίνα δράσης (πράσινος κώνος) του αισθητήρα μας. Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αυτή δεν απαιτεί την εισαγωγή εξωτερικών βιβλιοθηκών, καθώς όλες οι απαραίτητες

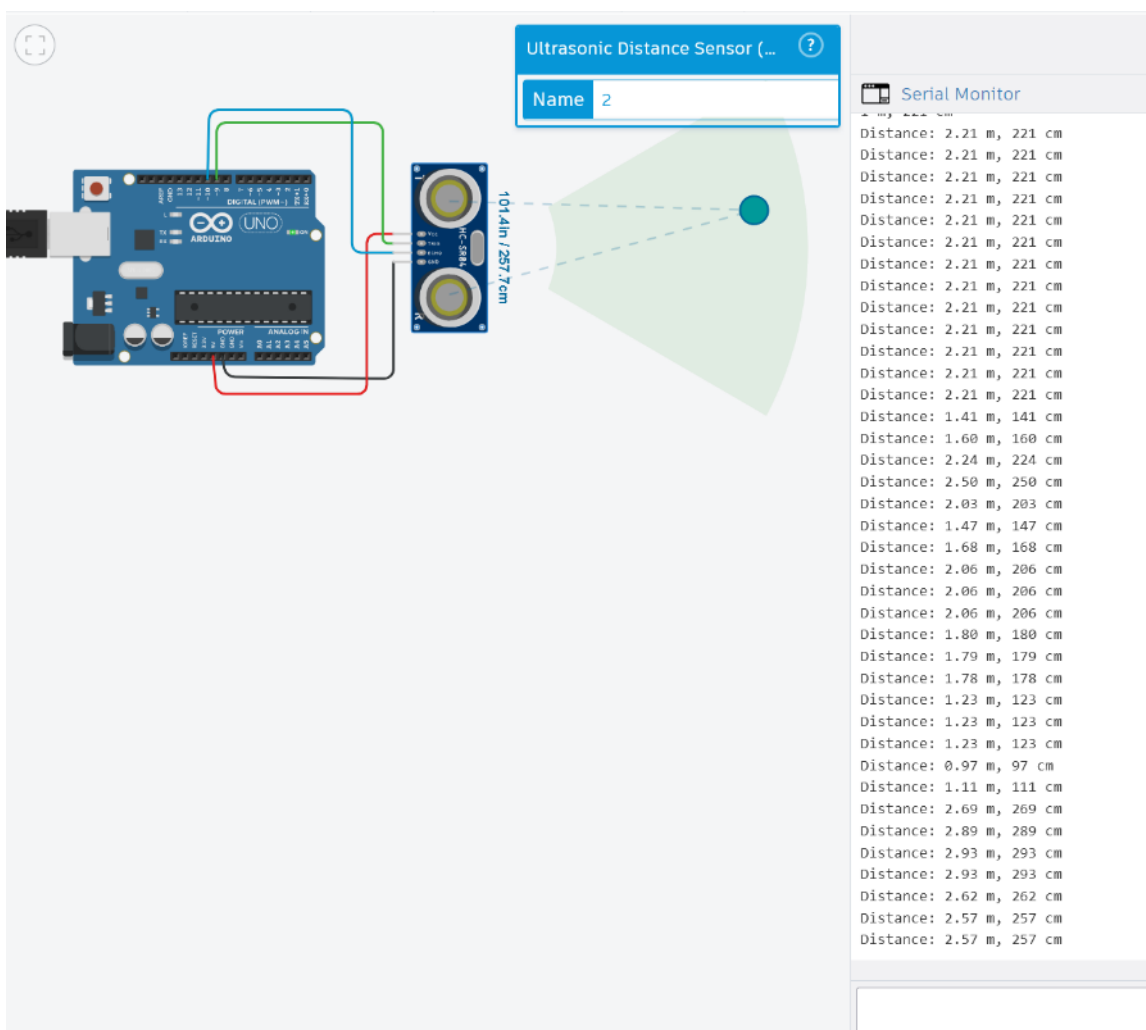
λειτουργίες εκτελούνται με βασικές εντολές του Arduino IDE, όπως οι `pinMode`, `digitalWrite`, `pulseIn` και `Serial.print`.

Η υλοποίηση βασίζεται σε δύο βασικά pins του Arduino, τον `triggerPin` και τον `echoPin`, οι οποίοι συνδέονται αντίστοιχα στις ακίδες του αισθητήρα υπερήχων. Ο `triggerPin` χρησιμοποιείται για την εκπομπή του ηχητικού σήματος, ενώ ο `echoPin` καταγράφει τον χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να επιστρέψει, ο οποίος αντιστοιχεί στην απόσταση του αντικειμένου από τον αισθητήρα.

Η μέτρηση της απόστασης πραγματοποιείται με τη βοήθεια του τύπου $\text{distanceCm} = \text{duration} * 0.0344 / 2$, ο οποίος υπολογίζει την απόσταση σε εκατοστά με βάση την ταχύτητα του ήχου. Στη συνέχεια, η απόσταση μετατρέπεται σε μέτρα χρησιμοποιώντας τον τύπο $\text{distanceMeters} = \text{distanceCm} / 100.0$ (1 μέτρο = 100 εκατοστά), δίνοντας έτσι τη δυνατότητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων σε δύο μονάδες μέτρησης.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τη σειριακή επικοινωνία (`Serial.begin(9600)`) για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων στον υπολογιστή, ενώ η διαδικασία επαναλαμβάνεται με καθυστέρηση 500ms μεταξύ κάθε μέτρησης για να διασφαλιστεί η σταθερότητα των δεδομένων.

Στο Παράρτημα Α παρατίθεται ο πλήρης κώδικας με πλήρη σχόλια επεξήγησης ενώ στην Εικ. 3-16 εμφανίζεται η προσομοίωση του κυκλώματος στο Tinkercad, όπου μπορούμε να δούμε την εφαρμογή του αισθητήρα και τη λειτουργία του συστήματος μέτρησης της στάθμης του υγρού.



Εικόνα 3-16 Εικόνα Υλοποίησης του Ultrasonic Sensor στο Tinkercard

3.4.2 Ψηφιακή Υλοποίηση του 900 GSM Shield

Καθώς το Tinkercard δεν υποστηρίζει τη φυσική προσομοίωση GSM shields, η ανάπτυξη της σχετικής λειτουργικότητας απαιτεί τη χρήση πραγματικών εξαρτημάτων και φυσικών συνδέσεων. Επομένως, η ολοκλήρωση της υλοποίησης του συστήματος μέτρησης στάθμης υγρών θα πραγματοποιηθεί στο τελευταίο κεφάλαιο της φυσικής μας υλοποίησης. Αυτό το κεφάλαιο προετοιμάζει το έδαφος για την ενσωμάτωση του GSM 900 Shield στο σύστημα.

Βιβλιοθήκες

Για την επικοινωνία του Arduino με το GSM 900 Shield, δεν απαιτούνται πολλές επιπλέον βιβλιοθήκες, καθώς μπορούμε να αξιοποιήσουμε τις βασικές δυνατότητες του Arduino IDE/Cloud. Ωστόσο, για να χειριστούμε την επικοινωνία και την αποστολή μηνυμάτων

SMS μέσω του GSM Shield, θα χρησιμοποιήσουμε τη βιβλιοθήκη SoftwareSerial (αν δεν χρησιμοποιούμε τις κύριες σειριακές θύρες του Arduino).

Βασικές βιβλιοθήκες που θα χρησιμοποιήσουμε:

Arduino.h: Η προεπιλεγμένη βιβλιοθήκη του Arduino IDE, που περιλαμβάνει βασικές συναρτήσεις όπως pinMode, digitalWrite, delay κ.ά.

ArduinoIoTCloud.h: Η βιβλιοθήκη αυτή επιτρέπει τη σύνδεση του Arduino με το Arduino IoT Cloud, παρέχοντας έναν εύκολο τρόπο για την παρακολούθηση και διαχείριση δεδομένων από το διαδίκτυο. Με τη χρήση αυτής της βιβλιοθήκης, μπορείς να δημιουργήσεις properties (όπως CloudFloat, CloudInt, κ.λπ.) που αντιστοιχούν σε μεταβλητές του Arduino και να τις συγχρονίζεις με το cloud σε πραγματικό χρόνο. Είναι απαραίτητη αν θέλεις να στέλνεις δεδομένα στο Arduino Cloud, να παρακολουθείς τις τιμές τους μέσω του dashboard και να αλληλοεπιδράς με το σύστημά σου από απόσταση.

Είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν τη χρήση του Arduino IoT Cloud για παρακολούθηση ή έλεγχο συσκευών μέσω διαδικτύου.

SoftwareSerial.h: Επιτρέπει τη δημιουργία μιας εικονικής σειριακής επικοινωνίας, ώστε το GSM Shield να μπορεί να επικοινωνεί με το Arduino μέσω ψηφιακών PINs. Απαραίτητη αν χρησιμοποιείς Arduino UNO, Nano ή Pro Mini.

GSM.h (Προαιρετική): Βιβλιοθήκη της Arduino που απλοποιεί την επικοινωνία με GSM modules/shield. Παρέχει εύκολες συναρτήσεις για αποστολή SMS, κλήσεις και σύνδεση στο δίκτυο.

TinyGSM.h (Προαιρετική, για GPRS/IoT): Υποστηρίζει περισσότερα GSM modem και χρησιμοποιείται για σύνδεση στο διαδίκτυο μέσω GPRS, MQTT και HTTP requests. Είναι πιο προηγμένη από τη GSM.h.

Σημείωση: Για την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης στο Arduino Cloud/IDE, πηγαίνετε στο Sketch > Include Library > Manage Libraries... και αναζητήστε τη βιβλιοθήκη που επιθυμείτε.

Επεξήγηση βασικών σημείων του κώδικα για το GSM Shield 900

Ο πλήρης κώδικας για την επικοινωνία του GSM Shield 900 με το κινητό τηλέφωνο και (προαιρετικά) το Arduino Cloud βρίσκεται στο Παράρτημα Β. Εδώ εξηγούμε τα πιο σημαντικά σημεία του κώδικα, ώστε να είναι κατανοητά, ιδιαίτερα για χρήστες που δεν είναι εξοικειωμένοι με την επικοινωνία μέσω GSM.

Ρύθμιση του APN (Access Point Name)

Το APN είναι απαραίτητο για τη σύνδεση του GSM Shield στο διαδίκτυο ή την αποστολή SMS μέσω κινητής τηλεφωνίας. Ανάλογα με τον πάροχο, τα πιο κοινά APN στην Ελλάδα είναι:

- **Cosmote:** "internet"
- **Vodafone:** "internet.vodafone.gr"
- **Wind/Nova:** "gint.b-online.gr"

Αν δεν γνωρίζετε το APN του παρόχου σας, μπορείτε να το βρείτε είτε στην ιστοσελίδα του παρόχου είτε επικοινωνώντας με την υποστήριξη πελατών.

Ρύθμιση του GSM Shield μέσω AT Commands

Το GSM Shield 900 επικοινωνεί με το Arduino μέσω σειριακής επικοινωνίας (SoftwareSerial), στέλνοντας και λαμβάνοντας δεδομένα με AT Commands. Οι βασικές εντολές που χρησιμοποιούνται στον κώδικα είναι:

AT → Ελέγχει αν το GSM Shield ανταποκρίνεται.

AT+CMGF=1 → Ρυθμίζει το GSM Shield σε λειτουργία αποστολής SMS σε μορφή κειμένου.

AT+CSQ → Ελέγχει την ποιότητα του σήματος κινητής τηλεφωνίας.

AT+COPS? → Επιστρέφει τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας στον οποίο έχει συνδεθεί το GSM Shield.

AT+SAPBR=3,1,"CONTYPE","GPRS" → Ρυθμίζει το GPRS για σύνδεση δεδομένων.

AT+SAPBR=3,1,"APN","your_apn_here" → Ορίζει το APN του παρόχου σας για σύνδεση στο δίκτυο.

Αποστολή SMS μέσω GSM Shield

Όταν η στάθμη του υγρού είναι χαμηλότερη από το καθορισμένο όριο (στην περίπτωσή μας 5 cm), το σύστημα στέλνει ένα προειδοποιητικό SMS στον αριθμό τηλεφώνου του υπεύθυνου.

Η διαδικασία αποστολής του SMS γίνεται ως εξής:

Ενεργοποίηση της λειτουργίας αποστολής μηνυμάτων:

```
gsmSerial.println("AT+CMGF=1");
```

```
delay(100);
```

Καθορισμός του αριθμού τηλεφώνου του παραλήπτη:

```
gsmSerial.print("AT+CMGS=\"+30XXXXXXXXXX\"\\r");
```

```
delay(100);
```

Τερματισμός και αποστολή του SMS:

```
gsmSerial.write(26); //
```

```
delay(5000);
```

Αν το σύστημα χρειάζεται να στέλνει δεδομένα στο Arduino Cloud για απομακρυσμένη παρακολούθηση, η βιβλιοθήκη ArduinoIoTCloud.h επιτρέπει τη σύνδεση.

Οι βασικές λειτουργίες είναι:

Δημιουργία της σύνδεσης με το cloud:

```
ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
```

Αποθήκευση των δεδομένων της στάθμης υγρού στο cloud:

```
liquidLevelCloud = liquidLevel;
```

Συνεχής ενημέρωση των δεδομένων στο cloud σε πραγματικό χρόνο:

```
ArduinoCloud.update();
```

Ο πλήρης κώδικας βρίσκεται στο **Παράρτημα Β**, ώστε να μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω καθώς υπάρχουν σχόλια μέσα στον κώδικα για περισσότερη διευκρίνιση.

3.5 Αξιολόγηση Ψηφιακής Υλοποίησης

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης της υλοποίησης, θα εξεταστεί η επίδοση του συστήματος σε σχέση με τις αρχικές απαιτήσεις, η επιτυχία της προτεινόμενης λύσης στην κάλυψη των λειτουργικών και τεχνικών στόχων, καθώς και πιθανά προβλήματα ή περιορισμοί που εντοπίστηκαν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης. Σκοπός αυτής της αξιολόγησης είναι να προσδιορίσουμε τα δυνατά σημεία της υλοποίησης, να εντοπίσουμε τυχόν αποκλίσεις από τις προσδοκίες και να προτείνουμε βελτιώσεις ή μελλοντικά βήματα.

3.5.1 Σύγκριση με τις απαιτήσεις του 2^{ου} Κεφαλαίου

Σε σχέση με το 2ο κεφάλαιο, παρατηρήσαμε μικρές αποκλίσεις μεταξύ των αρχικών απαιτήσεών μας, όπως τις διαμορφώσαμε σε θεωρητικό επίπεδο, και των πραγματικών αναγκών που προέκυψαν κατά την πορεία της υλοποίησης, καθώς ξεδιπλώναμε το «κουβάρι» των απαιτήσεών μας. Υπήρχαν πολλοί παράγοντες που έπρεπε να λάβουμε υπόψη, όπως τα διαθέσιμα μοντέλα στην αγορά, οι προδιαγραφές που έπρεπε να καλύψει η λύση μας, καθώς και το τελικό αποτέλεσμα που θέλαμε να επιτύχουμε. Επιπλέον, το κόστος αποτέλεσε σημαντικό κριτήριο, καθώς θέλαμε η υλοποίηση να είναι προσιτή για τον μέσο χρήστη που θα ήθελε να αναπαράγει το έργο.

Στο κομμάτι της επιλογής του μικροελεγκτή, προσπαθήσαμε να είμαστε όσο το δυνατόν πιο περιεκτικοί, καθώς η πληθώρα διαθέσιμων μοντέλων Arduino είναι μεγάλη και η εκτενής ανάλυσή τους θα απαιτούσε πολλές σελίδες. Η επιλογή της πλακέτας Arduino αποδείχθηκε εξαιρετικά σωστή, καθώς καλύπτει ακριβώς τις ανάγκες του έργου. Αντίστοιχα, η χρήση του αισθητήρα υπερήχων για τη μέτρηση της στάθμης των υγρών ήταν απόλυτα ευθυγραμμισμένη με τις απαιτήσεις μας, καθώς είναι ιδανική λύση για την παρακολούθηση της στάθμης των δεξαμενών και των αποθετηρίων νερού.

Στον τομέα της επικοινωνίας της πλακέτας με το Cloud και την αποστολή SMS μέσω GPRS/GSM, υπήρξαν μικρές αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό, καθώς ορισμένες από τις συσκευές που σκεφτόμασταν να χρησιμοποιήσουμε δεν ήταν διαθέσιμες στην Ελλάδα. Η τελική επιλογή του SIM900 Shield αποδείχθηκε καλύτερη, καθώς κατά την εξέλιξη των απαιτήσεων στο 3ο κεφάλαιο φάνηκε πως προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία και καλύτερη διασύνδεση σε σχέση με τα αρχικά υποψήφια SIM800L και SIM900A modules.

Τέλος, όσον αφορά την τροφοδοσία του συστήματος μέσω ηλιακού πάνελ και μπαταριών, αν και στο 2ο κεφάλαιο δεν μπορούσαμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τις ακριβείς

ενεργειακές απαιτήσεις, είχαμε κάνει μια ρεαλιστική εκτίμηση των απαιτούμενων τάσεων και ρευμάτων (Volt/Ampere). Στο 3ο κεφάλαιο, αυτή η εκτίμηση επιβεβαιώθηκε μέσα από τη διαδικασία δοκιμών και υλοποίησης.

Συνολικά, οι μικρές αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ της αρχικής ανάλυσης και της τελικής υλοποίησης δεν αποτέλεσαν εμπόδιο, αλλά αντίθετα οδήγησαν σε πιο ορθολογικές και τεκμηριωμένες επιλογές.

3.5.2 Επίτευξη στόχων & Επόμενα Βήματα

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του έργου, επιλέξαμε να προχωρήσουμε αρχικά σε μια ψηφιακή προσέγγιση μέσω του Tinkercad, προκειμένου να κατανοήσουμε σε βάθος τη λειτουργικότητα του συστήματος και να εξασφαλίσουμε ότι οι συνδέσεις, ο κώδικας και οι ρυθμίσεις των εξαρτημάτων θα ήταν σωστές πριν περάσουμε στο φυσικό επίπεδο. Ωστόσο, το Tinkercad μας περιόρισε σε ορισμένα σημεία, όπως στη σύνδεση της μπαταρίας με το Arduino, καθώς δεν παρέχει πλήρη υποστήριξη για την προσομοίωση εξωτερικών πηγών τροφοδοσίας. Επιπλέον, δεν διαθέτει ενσωματωμένη υποστήριξη για GSM modules, γεγονός που μας οδήγησε στην εφαρμογή της τεχνικής του φωτομοντάζ, ώστε να αναπαραστήσουμε τη σωστή σύνδεση των εξαρτημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφάλισαμε ότι οι αναγνώστες μπορούν να ακολουθήσουν τη διαδικασία βήμα προς βήμα μέσω διαγραμμάτων, αποφεύγοντας οποιαδήποτε σύγχυση σχετικά με τις καλωδιώσεις μέσα από ακατάλληλες φωτογραφίες που μπερδεύουν.

Μέχρι στιγμής, καταφέραμε σε φυσικό επίπεδο να διασφαλίσουμε την ομαλή τροφοδοσία του συστήματος. Πραγματοποιήσαμε επιτυχείς δοκιμές στο κύκλωμα τροφοδοσίας, επιβεβαιώνοντας ότι οι μπαταρίες παρέχουν το απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα, διασφαλίζοντας έτσι τη σταθερή λειτουργία των εξαρτημάτων. Αυτή η επίτευξη αποτελεί ένα σημαντικό ορόσημο, καθώς η σωστή τροφοδοσία αποτελεί τον αρχικό βασικό παράγοντα για την επιτυχή λειτουργία του συνολικού συστήματος.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες λειτουργίες του έργου, αυτές έχουν μέχρι στιγμής υλοποιηθεί και δοκιμαστεί ψηφιακά. Έχουμε επιβεβαιώσει τη σωστή λειτουργία των επιμέρους στοιχείων, όπως η επικοινωνία του αισθητήρα υπερήχων με την πλακέτα Arduino. Η χρήση του Tinkercad μας προσέφερε τη δυνατότητα να εντοπίσουμε πιθανά σημεία βελτίωσης και να προχωρήσουμε σε τροποποιήσεις πριν την τελική δοκιμή στην πραγματική πλακέτα. Επίσης, προσαρμόσαμε έναν έτοιμο κώδικα επικοινωνίας για το GSM Shield 900 όσον

αφορά την συνδεσμολογία της πλακέτας μας (PIN,GND,Vcc) ώστε να είναι πιο έτοιμα υλοποιήσιμο.

Στο επόμενο κεφάλαιο, η προσομοίωση θα μεταφερθεί σε φυσικό επίπεδο. Θα δοκιμάσουμε όλα τα εξαρτήματα στην πραγματική πλακέτα Arduino, συνδέοντας τον αισθητήρα υπερήχων, το SIM900 Shield, την τροφοδοσία και το σύστημα διαχείρισης δεδομένων. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, θα επιβεβαιώσουμε την πρακτική λειτουργικότητα του συστήματος, θα εντοπίσουμε πιθανές αποκλίσεις από την προσομοίωση και θα προχωρήσουμε σε απαραίτητες βελτιώσεις και διορθώσεις.

Παράλληλα, θα προχωρήσουμε στη δημιουργία αναπαραστάσεων (visualizations) των δεδομένων μέσω dashboards. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες, θα δημιουργήσουμε γραφήματα και απεικονίσεις που θα μας επιτρέψουν να αναλύσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος, να εντοπίσουμε μοτίβα και να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα. Αυτή η ανάλυση θα είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της λύσης μας και για την εξαγωγή τελικών συμπερασμάτων σχετικά με πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις και τροποποιήσεις σε βάθος χρόνου.

Συνολικά, η διαδικασία που ακολουθήσαμε μέχρι στιγμής μας επέτρεψε να επιβεβαιώσουμε βασικά λειτουργικά στοιχεία του συστήματος σε ψηφιακό επίπεδο και να εξασφαλίσουμε την ορθή τροφοδοσία στο φυσικό επίπεδο. Τα επόμενα βήματα θα επικεντρωθούν στην πλήρη φυσική υλοποίηση, στις τελικές δοκιμές και στη διερεύνηση βελτιώσεων, προκειμένου να διασφαλίσουμε την αποδοτική λειτουργία του συστήματος στο πραγματικό περιβάλλον.

4. Κεφάλαιο 4: Τελική Υλοποίηση & Αξιολόγηση

Καθώς ολοκληρώθηκε η επιλογή και προετοιμασία των επιμέρους εξαρτημάτων στο προηγούμενο κεφάλαιο, η διαδικασία υλοποίησης συνεχίζεται με τη σύνδεση των βασικών στοιχείων του συστήματος. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του κυκλώματος τροφοδοσίας, το οποίο βασίζεται σε συστοιχία μπαταριών τύπου Li-ion, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3, σε συνδυασμό με την πλακέτα Arduino Uno R3.

Στη συνέχεια, μέσω της πλατφόρμας Tinkercad προσομοιώθηκε το τελικό στάδιο της υλοποίησης, με στόχο την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας και τη βελτιστοποίηση της κατασκευής.

Το παρόν κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί και το καταληκτικό μέρος της πτυχιακής εργασίας, περιλαμβάνει τη σύνδεση των τελευταίων εξαρτημάτων του συστήματος, τη δοκιμή της συνολικής λειτουργίας του, καθώς και την αξιολόγηση της απόδοσής του. Μέσα από αυτή τη διαδικασία εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα και προτείνονται πιθανές βελτιώσεις.

4.1 Ανάπτυξη και Εφαρμογή

Στο πλαίσιο της πρώτης φάσης της υλοποίησης του συστήματος, πραγματοποιήθηκε η σύνδεση της πλακέτας Arduino Uno R3 με τον αισθητήρα απόστασης HC-SR04, σύμφωνα με τις σχεδιαστικές προδιαγραφές που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στόχος της εν λόγω φάσης ήταν η επαλήθευση της βασικής λειτουργικότητας του αισθητήρα υπερήχων και η επικοινωνία του με το Arduino.

Ο σχετικός κώδικας αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε στο περιβάλλον Arduino Cloud, όπου πραγματοποιήθηκε επαλήθευση (Verify) και μεταφόρτωση (Upload) του κώδικα στην πλακέτα Arduino. Η διαδικασία κύλησε ομαλά, χωρίς σφάλματα μεταγλώττισης ή ασυμβατότητες, και η συσκευή ανταποκρίθηκε επιτυχώς με την αναμενόμενη ανάγνωση των μετρήσεων από τον αισθητήρα HC-SR04.

4.1.1 Ενσωμάτωση του GSM Shield 900

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η σύνδεση του GSM Shield SIM900 στο κύκλωμα, το οποίο τροφοδοτήθηκε μέσω της υπάρχουσας συστοιχίας μπαταριών. Πριν την ενεργοποίηση, τοποθετήθηκε κάρτα SIM στο πίσω μέρος του GSM Shield στη σχετική υποδοχή, όπου πρώτα είχαμε απενεργοποίηση την χρήση PIN μέσω κινητού τηλεφώνου. Κατά την ενεργοποίηση του συστήματος, επιβεβαιώθηκε η ορθή λειτουργία του GSM Shield μέσω των ενδεικτικών λυχνιών του ειδικότερα:

- Η λυχνία **"Status"** ενεργοποιείται σταθερά, δηλώνοντας ότι η συσκευή τροφοδοτείται κανονικά.
- Η λυχνία **"Netlight"** αναβοσβήνει κάθε **3 δευτερόλεπτα** όταν το GSM Shield βρίσκει δίκτυο. Σε αντίθετη περίπτωση, η λυχνία αναβοσβήνει κάθε **800ms (0,8 δευτερόλεπτα)** αν το SIM900 δεν μπορεί να βρει δίκτυο.
- Για την GPRS επικοινωνία, η λυχνία αναβοσβήνει κάθε **300ms (0,3 δευτερόλεπτα)**.

Στην περίπτωση μας η λυχνία αναβόσβηνε κάθε 3 δευτερόλεπτα όπου και ήταν το επιθυμητό αποτέλεσμα που θέλαμε για να συνεχίσουμε την υλοποίηση.

Επίσης στο πίσω μέρος της πλακέτας μάς παρατηρούμε μια υποδοχή για μπαταρία μικρού τύπου (CR1220). Η ενσωμάτωση του RTC (Real-Time Clock), ο οποίος τροφοδοτείται από μπαταρία CR1220, δεν μας απασχολεί άμεσα στο πλαίσιο του συγκεκριμένου έργου, καθώς δεν επηρεάζει τη λειτουργικότητα του GSM Shield για το σκοπό της εφαρμογής μας.

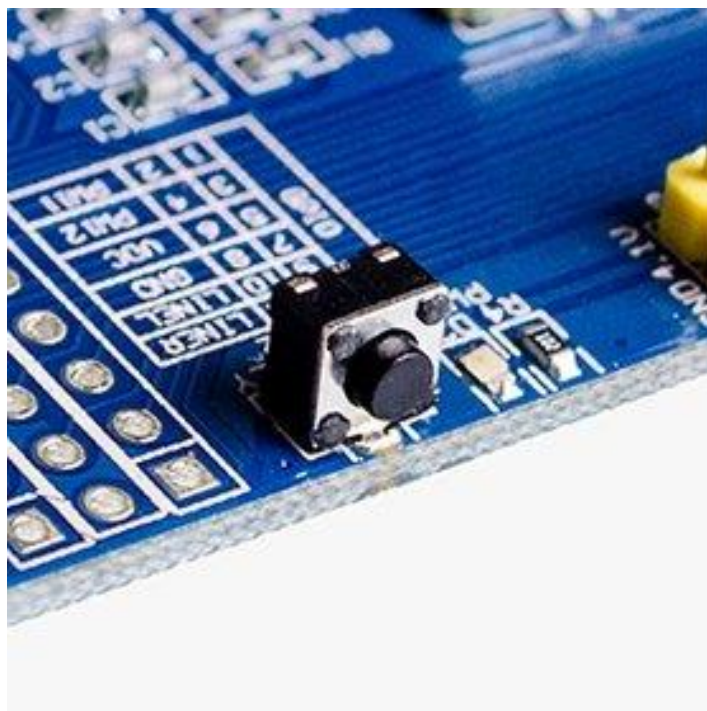
Με τη χρήση αυτών των ενδεικτικών λυχνιών, επιβεβαιώθηκε η ορθή σύνδεση του GSM Shield και η επικοινωνία του με το δίκτυο, ενώ και η εφαρμογή συνεχίζει να λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές που τέθηκαν στην αρχική φάση της υλοποίησης.

4.1.2 Ενσωμάτωση στο Arduino Cloud

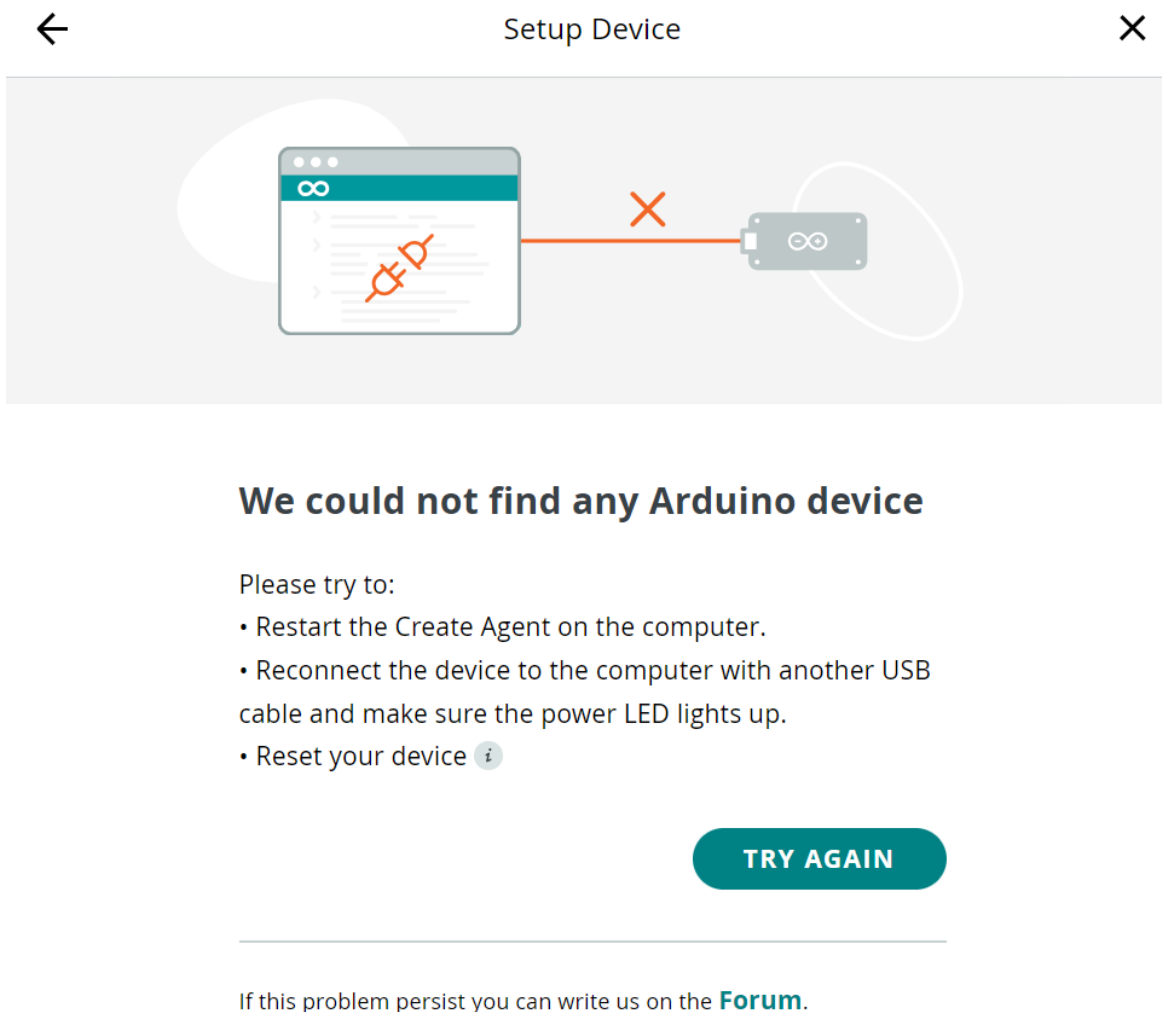
Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της σύνδεσης του συστήματος με το GSM Shield και την επικοινωνία μέσω του αισθητήρα υπερήχων, επιχειρήσαμε να ενσωματώσουμε την πλακέτα Arduino Uno R3 στο Arduino Cloud, με σκοπό την παρακολούθηση και αποστολή

δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, κατά τη διαδικασία αυτή προέκυψαν σημαντικές δυσκολίες. Συγκεκριμένα, αν και αρχικά η πλακέτα φαινόταν να αναγνωρίζεται από το περιβάλλον του cloud, τελικά εμφανίστηκε ειδοποίηση ασυμβατότητας (βλ. Εικόνα 4-2), καθώς το Arduino Uno R3 δεν υποστηρίζεται πλήρως από το σύστημα του Arduino Cloud και συγκεκριμένα για το περιβάλλον των Dashboards όπου θα παίρνουμε τις μετρήσεις για Visualization των αποτελεσμάτων.. Παρά τις επανειλημμένες προσπάθειες, η σύνδεση και επικοινωνία με το cloud δεν κατέστη εφικτή, αποκαλύπτοντας τους περιορισμούς της συγκεκριμένης πλακέτας σε συνδυασμό με το εργαλείο αυτό.

Οι αρχικές μας εκτιμήσεις ότι τουλάχιστον η σύνδεση μέσω του GSM 900 Shield θα επέτρεπε τη λειτουργία του συστήματος σε όλες τις δυνατότητες του cloud, διαψεύστηκαν. Αυτό μας οδήγησε στην ανάγκη αναδιατύπωσης της λύσης και στην επανεξέταση της συνολικής προσέγγισης. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι σε ορισμένα χρονικά διαστήματα, η ενδεικτική λυχνία netlight status του GSM Shield έσβηνε απρόσμενα, γεγονός που απαιτούσε την επαναφορά του συστήματος μέσω του κουμπιού reset που βρίσκεται στο πλάι της πλακέτας (βλ. Εικόνα 4-1). Τα προβλήματα αυτά αποτέλεσαν αφορμή για βαθύτερη διερεύνηση του έργου και των τεχνικών του παραμέτρων, η οποία θα παρουσιαστεί παρακάτω, μαζί με τις εναλλακτικές λύσεις που προτάθηκαν.



Εικόνα 4-1 Κουμπί GSM Shield 900 για reset της σύνδεσης



Εικόνα 4-2 Αποτυχίας σύνδεσης με Arduino Cloud Dashboards

4.1.3 Επαναπροσδιορισμός απαιτήσεων

Κατά την πορεία της ανάπτυξης του συστήματος, εντοπίστηκαν τεχνικά και λειτουργικά ζητήματα τα οποία κατέστησαν αναγκαίο τον ανασχεδιασμό ορισμένων βασικών στοιχείων της υλοποίησης. Η αδυναμία πλήρους ενσωμάτωσης του Arduino Uno R3 στο περιβάλλον του Arduino Cloud, καθώς και οι περιορισμοί της υφιστάμενης λύσης τροφοδοσίας με συστοιχία μπαταριών, ανέδειξαν την ανάγκη για πιο αξιόπιστες και λειτουργικά επαρκείς εναλλακτικές. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάστηκε η χρήση της πλατφόρμας Ubidots ως εναλλακτική λύση για την αποστολή και παρακολούθηση δεδομένων, ενώ προτάθηκε και η αντικατάσταση της τρέχουσας τροφοδοσίας με μπαταρία κλειστού τύπου, με σκοπό τη βελτίωση της αυτονομίας και της σταθερότητας του συστήματος.

4.1.3.1 Εναλλακτική χρήση Ubidots

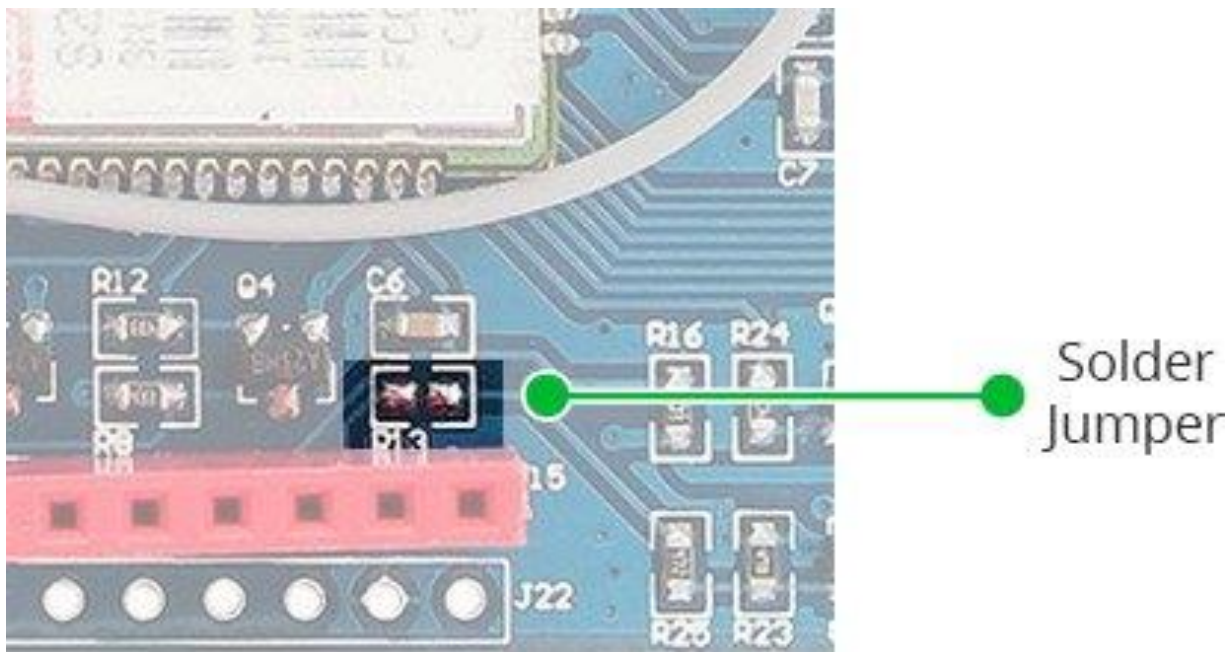
Η πλατφόρμα Ubidots επιλέχθηκε ως κατάλληλη λύση για την αποστολή και οπτικοποίηση των δεδομένων του συστήματος, δεδομένου ότι υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα μικροελεγκτών και προσφέρει ευκολία ενσωμάτωσης μέσω των πρωτοκόλλων HTTP και MQTT, ακόμα και σε περιπτώσεις χρήσης GSM Shield όπως το SIM900. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι η πλατφόρμα δεν περιορίζεται από τις ασυμβατότητες που παρατηρήθηκαν στο Arduino Cloud, ειδικά σε σχέση με το Arduino Uno R3.

Η δυνατότητα δημιουργίας εξατομικευμένων dashboards και η δυναμική διαχείριση των μεταβλητών σε πραγματικό χρόνο προσφέρουν μια αξιόπιστη και λειτουργική προσέγγιση για το συγκεκριμένο έργο. Επίσης, μέσω play store για Android υπάρχει η δυνατότητα να συνδέσουμε τον λογαριασμό μας ώστε να βλέπουμε σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα μας.

Επιπλέον, στην επίσημη ιστοσελίδα της Ubidots παρέχεται αναλυτικός οδηγός που καθοδηγεί βήμα προς βήμα τον χρήστη για τη διαδικασία ενσωμάτωσης, τις απαραίτητες συνδέσεις και την επιλογή των κατάλληλων βιβλιοθηκών, οι οποίες διατίθενται μέσω GitHub, συνοδευόμενες από έτοιμους κώδικες παραδειγμάτων, οι οποίοι είναι πλήρως λειτουργικοί και μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου. Η προσαρμογή αυτών των παραδειγμάτων καθιστά εφικτό τον έλεγχο της επιτυχούς διασύνδεσης του μικροελεγκτή με την πλατφόρμα. Παρακάτω ακολουθεί ο σύνδεσμος με τις οδηγίες καθώς και το GitHub με έτοιμους κώδικες που θα προσαρμόσουμε και τις βιβλιοθήκες τους. Οι αντίστοιχοι σύνδεσμοι παρατίθενται στη βιβλιογραφία ως αναφορές (31) και (32).

- Οδηγίες σύνδεσης Arduino Uno + GPRS Shield με Ubidots (31)
- Αποθετήριο GitHub με βιβλιοθήκες και παραδείγματα (32)

Τέλος, για τη σωστή λειτουργία των βιβλιοθηκών και τη διασύνδεση του GSM Shield SIM900 με το Arduino, απαιτείται η μόνιμη σύνδεση (κόλληση με κασσίτερο) ενός καλωδίου από την πλακέτα του GSM Shield στο PIN 9 του Arduino (όπως φαίνεται στην Εικ. 4-3). Η σύνδεση αυτή αποτελεί προαπαιτούμενο, σύμφωνα με την τεκμηρίωση των βιβλιοθηκών, για τη σωστή δρομολόγηση των σημάτων επικοινωνίας.



Εικόνα 4-3 Απαιτούμενη σύνδεση για επικοινωνία με Ubidots

4.1.3.2 Εναλλακτική χρήση μπαταρίας κλειστού τύπου

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών διαπιστώθηκε ότι, σύμφωνα και με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή του GSM Shield (SIM900), για τη μετάδοση δεδομένων μέσω κάρτας SIM απαιτείται τάση τουλάχιστον 9 Volt και τάση άνω των 2 Αμπέρ. Σε περιπτώσεις τροφοδοσίας με μικρότερες τιμές, παρατηρήθηκε αστοχία λειτουργίας, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την απενεργοποίηση των ενδεικτικών λυχνιών Status και Netlight, οι οποίες υποδεικνύουν τη σύνδεση με το δίκτυο κινητής.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, επιλέχθηκε η χρήση μπαταρίας κλειστού τύπου και συγκεκριμένα το μοντέλο Leoch DJW12-9.0AH, το οποίο παρέχει τάση μεταξύ 12 και 13 Volt, όπως επαληθεύτηκε με μετρήσεις μέσω πολύμετρου.

Για την προσαρμογή της τάσης στα κατάλληλα επίπεδα για το σύστημα, χρησιμοποιήθηκε DC-DC Step Down Converter τύπου XL4015 με δυνατότητα ψηφιακής ένδειξης της τάσης και του ρεύματος (Εικ. 4-4). Ο μετατροπέας διαθέτει ξεχωριστές 2 εξόδους, γεγονός που επέτρεψε την παράλληλη τροφοδοσία τόσο του GSM Shield όσο και του Arduino με ρυθμιζόμενες τιμές.

Η τελική ρύθμιση της εξόδου του μετατροπέα ορίστηκε στα 10 Volt, διασφαλίζοντας τη σταθερότητα του συστήματος κατά την αποστολή δεδομένων μέσω GSM. Στην άλλη έξοδο του Step Down Converter συνδέσαμε το Arduino και ρυθμίσαμε την τάση στα 6 Volt,

Επιπλέον, για την ενσωμάτωση των βιβλιοθηκών που απαιτούνται για τη λειτουργία του GSM Shield και τη σύνδεση με την πλατφόρμα Ubidots, χρησιμοποιήθηκε το Arduino IDE 1.6.0 ή νεότερη έκδοση. Η χρήση αυτής της έκδοσης διασφαλίζει τη σωστή υποστήριξη και ενσωμάτωση των βιβλιοθηκών που είναι απαραίτητες για την επικοινωνία με το GSM Shield και την αποστολή δεδομένων.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα πραγματοποιήσουμε τις απαραίτητες δοκιμές για να αξιολογήσουμε τη λειτουργικότητα και την αποτελεσματικότητα της υλοποίησης.



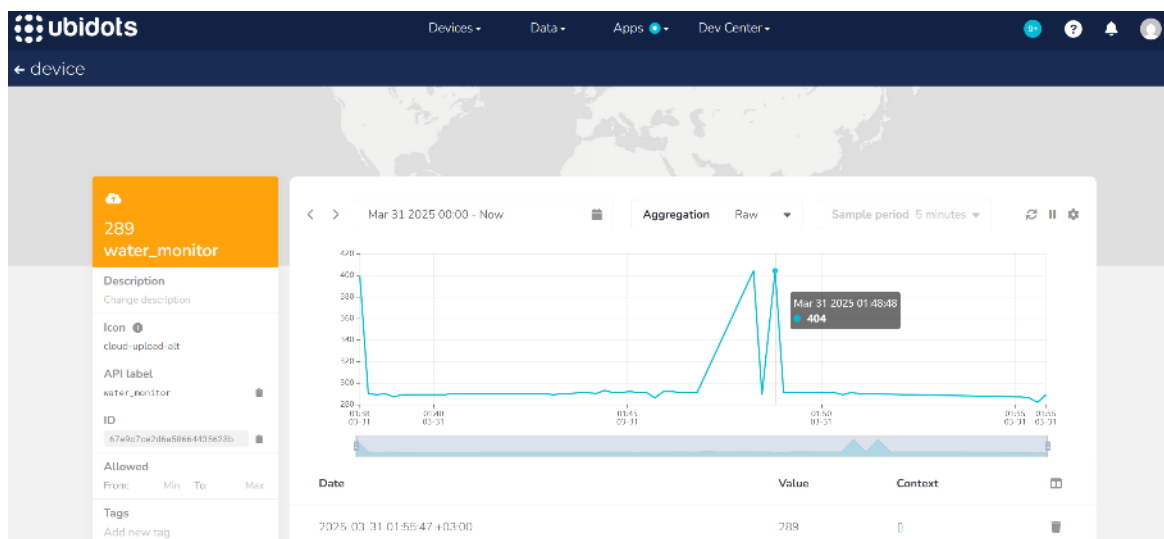
Εικόνα 4-4 DC-DC Step Down Converter τύπου XL4015

4.1.4 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση της Υλοποίησης

Συνδέσαμε το Arduino Uno R3 στην θύρα του υπολογιστή μας για να μεταφορτώσουμε τον κώδικα που προσαρμόσαμε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε είναι καταγραμμένος στο **Παράρτημα Γ**. Επιπλέον, αξίζει να

σημειώσουμε ότι κατά την υλοποίηση, δεν είναι απαραίτητο να συμπληρώσουμε τα πεδία για το APN, το USER και το PASS στον κώδικα μας, καθώς μπορούμε να τα αφήσουμε κενά χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του συστήματος.

Μετά τη μεταφόρτωση του κώδικα στο Arduino, προχωρήσαμε στη δοκιμή της λειτουργίας του συστήματος, ακολουθώντας τις προσαρμοσμένες ρυθμίσεις μας. Εξετάσαμε το αποτέλεσμα στην πλατφόρμα Ubidots, όπου παρατηρήσαμε ότι τα δεδομένα εμφανίζονταν σωστά στο dashboard μας. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι τα δεδομένα που αποστέλλονται δεν προέρχονται από τις μετρήσεις του υπερηχητικού αισθητήρα, αλλά είναι ακαθόριστα δεδομένα που επιβεβαιώνουν την καλή λειτουργία της διασύνδεσης μας και την επικοινωνία του συστήματος (Εικ. 4-5).



Εικόνα 4-5 Σύνδεση με Ubidots & Αποστολή Δεδομένων

Αφού ολοκληρώσαμε τη σύνδεση του συστήματος με την πλατφόρμα Ubidots, προχωρήσαμε στη σύνδεση της εφαρμογής Ubidots στο κινητό μας. Μετά την επιτυχή σύνδεση, επιβεβαιώσαμε ότι μπορούμε να λαμβάνουμε τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από τη συσκευή μας, επιτρέποντάς μας να παρακολουθούμε συνεχώς την κατάσταση του συστήματος. Αυτή η λειτουργία επιβεβαίωσε την αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης της πλατφόρμας Ubidots και τη δυνατότητα παρακολούθησης των δεδομένων μας σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και από απομακρυσμένες τοποθεσίες μέσω της εφαρμογής Ubidots μέσω Play Store για Android (Εικ. 4-6). Η τελική μας υλοποίηση του έργου μας φαίνεται παρακάτω (Εικ. 4-7)

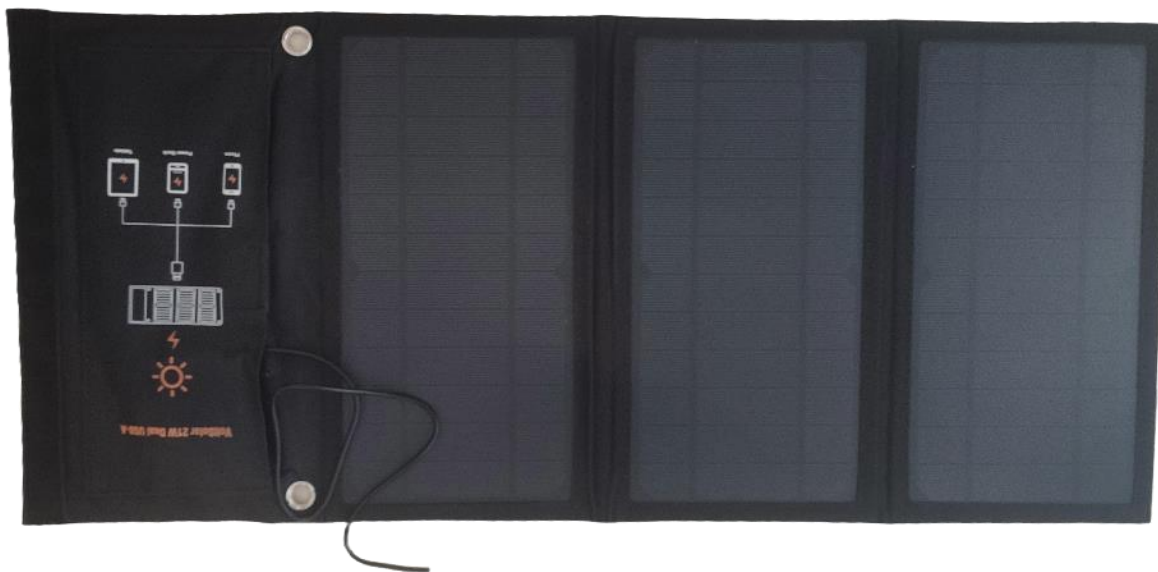


Εικόνα 4-6 Σύνδεση με Ubidots σε Android Τηλέφωνο



Εικόνα 4-7 Σύνδεση Τελικής Υλοποίησης

Στην συνέχεια, εξετάσαμε και το ενδεχόμενο χρήσης ηλιακής ενέργειας για την τροφοδοσία του συστήματος, προκειμένου να διασφαλιστεί η ενεργειακή του αυτονομία σε απομακρυσμένες περιοχές. Για το σκοπό αυτό, προμηθευτήκαμε ένα φορητό φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 21 Watt της εταιρείας 4smarts, το οποίο διαθέτει δύο εξόδους USB στα 5 Volt και 2.1 Αμπέρ (Εικ. 4-8). Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι αδιάβροχο, κατάλληλο για υπαίθρια χρήση και παντός καιρού, και ενδείκνυται για εξωτερικές εφαρμογές φόρτισης. Ωστόσο, δεν προχωρήσαμε σε σύνδεση του φωτοβολταϊκού με το κύκλωμα, καθώς από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε πως η απευθείας τροφοδοσία ή η χρήση ενός step down converter δεν θα ήταν καλή ιδέα εν αποτελεί ασφαλή ή αξιόπιστη λύση για το συγκεκριμένο είδος φόρτισης. Συγκεκριμένα, η συνεχής μεταβολή της τάσης και της έντασης από την μπαταρία κλειστού τύπου να δημιουργήσει προβλήματα στα ευαίσθητα κυκλώματα του φωτοβολταϊκού και προκαλέσει καταστροφή του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού.



Εικόνα 4-8 Φωτοβολταϊκό Πάνελ 21 Watt

Για την ορθή και ασφαλή ενσωμάτωση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ σε τέτοιου τύπου εφαρμογές απαιτείται η χρήση ειδικού ελεγκτή φόρτισης και συγκεκριμένα ενός Ρυθμιστή Ηλιακής Φόρτισης (solar charge controller), ο οποίος ρυθμίζει την τάση και την ένταση που προέρχεται από το πάνελ προς την μπαταρία και το υπόλοιπο κύκλωμα. Μόνο με την ενσωμάτωση ενός τέτοιου εξαρτήματος θα μπορεί να εξασφαλιστεί η σταθερότητα και η προστασία των εξαρτημάτων (Εικ. 4-9).



Εικόνα 4-9 Ρυθμιστής Ηλιακής Φόρτισης

Ο ρυθμιστής ηλιακής φόρτισης είναι μια συσκευή που ρυθμίζει τη φόρτιση της μπαταρίας από φωτοβολταϊκά πάνελ, προστατεύοντας το σύστημα από υπερφόρτωση και βραχυκύκλωμα και ανάστροφη πολικότητα. Υποστηρίζει μπαταρίες κλειστού τύπου. Ο ρυθμιστής είναι εξοπλισμένος με δύο θύρες USB εξόδου, οι οποίες παρέχουν ρεύμα 5V και συνολική τάση έως 3A, επιτρέποντας την απευθείας φόρτιση συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα, αισθητήρες ή μικροελεγκτές τύπου Arduino.

Επιπλέον, διαθέτει κύρια έξοδο φορτίου (load output), από την οποία παρέχεται ίδια τάση με τη μπαταρία, δηλαδή 12V ή 24V ανάλογα με το σύστημα. Μέσω αυτής της εξόδου μπορούν να τροφοδοτηθούν συσκευές ή κυκλώματα που λειτουργούν στην ίδια τάση με τη μπαταρία.

Η συσκευή ενσωματώνει LCD οθόνη, η οποία προβάλλει σημαντικές πληροφορίες.

Αξιολόγηση Συστήματος

Η παρούσα ενότητα αποσκοπεί στην αξιολόγηση της υλοποίησης του συστήματος τόσο από τεχνικής, όσο και από λειτουργικής πλευράς, εστιάζοντας σε κρίσιμα σημεία που σχετίζονται με τη συμβατότητα υλικού, την ευκολία ενσωμάτωσης, την αξιοπιστία, το κόστος και τις τεχνικές δυσκολίες που εντοπίστηκαν κατά την ανάπτυξη του έργου.

Ευκολία Ενσωμάτωσης σε Πραγματικές Συνθήκες: Η ενσωμάτωση του συστήματος σε ένα αποθετήριο ή δεξαμενή νερού μπορεί να υλοποιηθεί με σχετική ευκολία, καθώς η εγκατάσταση απαιτεί περιορισμένες παρεμβάσεις και οι διαστάσεις των κυκλωμάτων είναι διαχειρίσιμες. Αντιθέτως, σε μεγάλης ποσότητας αποθετήρια, όπως εκείνα σε δασικά οικοσυστήματα που μπορεί να είναι εκατοντάδες-δεκάδες, η υλοποίηση καθίσταται πιο σύνθετη. Οι καλωδιώσεις και οι συνδέσεις απαιτείται να γίνονται με κασσίτερο (καλάι) είναι χρονοβόρα και ενέχει σημαντικό κίνδυνο φθοράς των ευαίσθητων κυκλωμάτων, Ειδικότερα στο συγκεκριμένο σημείο που απαιτείται να γίνει η κόλληση απαιτεί χειρουργική ακρίβεια της κόλλησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η εγκατάσταση απαιτεί υψηλό επίπεδο δεξιοτήτων και ακρίβειας, γεγονός που δεν ευνοεί τη μαζική ή ταχεία ανάπτυξη πολλαπλών μονάδων και ο παράγοντας λάθους είναι αρκετά μεγάλος.

Τροφοδοσία και Μπαταρίες: Η χρήση μεγαλύτερης μπαταρίας για αύξηση της αυτονομίας ενδέχεται να παρέχει περισσότερη ενεργειακή ευστάθεια, ωστόσο προσθέτει όγκο, βάρος και επιπλέον κόστος, μετατρέποντας την αρχικά «φορητή» λύση σε δυσκίνητη. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, αυτό καθιστά δύσκολη τη διαχείριση και συντήρηση του εξοπλισμού, ενώ αυξάνει και τη συνολική τιμή του συστήματος ειδικά όταν έχουμε να το υλοποιήσουμε σε αρκετά αποθετήρια καταλαβαίνουμε ότι ο όγκος το βάρος και το κόστος ανεβαίνει εκθετικά.

Αξιοπιστία και Περιβαλλοντική Ανθεκτικότητα: Ένα σημαντικό ζήτημα που αναδείχθηκε κατά τη δοκιμαστική φάση είναι η περιβαλλοντική ευαισθησία των επιμέρους συσκευών. Η ύπαρξη υγρασίας, σκόνης και γενικότερα οι εξωτερικές καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη λειτουργικότητα του GSM Shield και του Arduino. Επομένως, όταν έχουμε αρκετά κυκλώματα και συσκευές για να εκτελέσουν ένα έργο είναι σίγουρο ότι είναι πιο επιρρεπής στους εξωτερικούς παράγοντες του περιβάλλοντος, Σίγουρα μπορούμε να δοκιμάσουμε διάφορους μεθόδους για να τα προστατέψουμε (κουτί

με προδιαγραφές IP ή spray αδιαβροχοποίησης ηλεκτρονικών) αλλά σίγουρα θα είναι πιο αξιόπιστο όταν χρησιμοποιείται σε ένα μικρότερο ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Περιορισμοί Τροφοδοσίας: Αν και η χρήση φωτοβολταϊκού πάνελ κρίθηκε αρχικά ως μια βιώσιμη λύση για αυτόνομη τροφοδοσία, η υλοποίηση καθίσταται τεχνικά και οικονομικά ασύμφορη χωρίς την ύπαρξη ηλιακού ελεγκτή φόρτισης (solar charge controller). Ο step-down converter που χρησιμοποιήθηκε δεν παρέχει την απαιτούμενη σταθερότητα και προστασία για την ασφαλή σύνδεση του φωτοβολταϊκού, με κίνδυνο να προκληθεί ζημιά τόσο στο πάνελ όσο και στο κύκλωμα. Αυτό το επιπλέον εξάρτημα επιβαρύνει το κόστος και την πολυπλοκότητα της υλοποίησης.

Συμπεράσματα: Συνοψίζοντας, το σύστημα αποδείχθηκε λειτουργικό σε ελεγχόμενο περιβάλλον, με επιτυχημένη αποστολή δεδομένων και δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης. Ωστόσο, η εφαρμογή του σε πραγματικές συνθήκες αποκαλύπτει σημαντικά τεχνικά και λειτουργικά εμπόδια, κυρίως λόγω της πολυπλοκότητας της εγκατάστασης, του κόστους και των απαιτήσεων σε εξειδικευμένο εξοπλισμό. Η μελλοντική βελτίωση του συστήματος απαιτεί την απλοποίηση της εγκατάστασης, τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των εξαρτημάτων και του όγκου και την ολοκληρωμένη διαχείριση της ενέργειας, ώστε να επιτευχθεί μια αξιόπιστη και βιώσιμη λύση σε απαιτητικές συνθήκες πεδίου.

Σε αυτό το σημείο, η χρήση μιας διαφορετικής πλακέτας μπορεί να προσφέρει σημαντικές λύσεις. Οι νέες πλακέτες μικρότερης διαμέτρου και με ενσωματωμένα βελτιωμένα χαρακτηριστικά φέρνουν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Ο μικρότερος όγκος τους μειώνει το φυσικό μέγεθος του εξοπλισμού, επιτρέποντας την εύκολη τοποθέτηση και εγκατάσταση, ακόμη και σε περιορισμένους χώρους. Η βελτιωμένη αξιοποίηση της ενέργειας από μπαταρίες μικρότερου όγκου εξασφαλίζει μεγαλύτερη αυτονομία, καθιστώντας το σύστημα πιο βιώσιμο και αξιόπιστο. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας (OTA) μέσω του Cloud προσφέρει εξαιρετική ευχέρεια στην απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση του συστήματος. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα εξετάσουμε πώς η αναθεώρηση της επιλογής μας αυτής θα επιλύσει δραστικά τα ζητήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

4.2 Εναλλαγή Υλικού Υλοποίησης

Η ανάλυση των τεχνικών και λειτουργικών περιορισμών του αρχικού πρωτοτύπου ανέδειξε την ανάγκη αναθεώρησης της επιλογής του υλικού υλοποίησης του συστήματος. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση ζητημάτων όπως η πολυπλοκότητα εγκατάστασης, ο αυξημένος όγκος, η ενεργειακή αστάθεια και η περιορισμένη ανθεκτικότητα σε εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, κρίθηκε απαραίτητο να εξεταστεί μια εναλλακτική λύση. Η νέα προσέγγιση επικεντρώνεται στην επιλογή μιας πλατφόρμας μικροεπεξεργαστή που να ενσωματώνει σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας, να χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και να προσφέρει αυξημένη αξιοπιστία και ευελιξία. Σε αυτό το πλαίσιο, επιλέχθηκε η πλακέτα Arduino MKR NB 1500, η οποία συγκεντρώνει όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά και συνιστά μια ιδιαίτερα κατάλληλη λύση για την υλοποίηση του συστήματος για τις υπάρχουσες συνθήκες πεδίου.

4.2.1 Γνωριμία με την πλακέτα MKR NB 1500

Η επιλογή της πλακέτας Arduino MKR NB 1500 βασίστηκε σε ένα σύνολο τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών που την καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλη για την υλοποίηση συστημάτων απομακρυσμένης παρακολούθησης σε υπαίθριες και απαιτητικές συνθήκες. Πρόκειται για μια συμπαγή και ενεργειακά αποδοτική πλατφόρμα, η οποία ενσωματώνει δυνατότητες κυψελοειδούς επικοινωνίας μέσω NB-IoT και LTE-M (Cat M1), εξασφαλίζοντας σταθερή και αυτόνομη σύνδεση χωρίς την ανάγκη πρόσθετου εξοπλισμού όπως εξωτερικά GSM shields.

Σε σύγκριση με άλλες πλακέτες του οικοσυστήματος Arduino (UNO, Mega, Due, Nano Every, Nano 33 IoT/BLE), η MKR NB 1500 προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για την παρούσα εφαρμογή:

- **Ενσωματωμένη κυψελοειδής συνδεσιμότητα (NB-IoT / LTE-M):** Επιτρέπει την απευθείας αποστολή δεδομένων στο διαδίκτυο χωρίς επιπλέον modules ή περιφερειακά, μειώνοντας το συνολικό κόστος και την πολυπλοκότητα.
- **Συμπαγής σχεδίαση και χαμηλό βάρος:** Ιδανική για εγκατάσταση σε περιοχές με περιορισμένο χώρο όπως τα αποθετήρια/δεξαμενές νερού σε δασικές περιοχές.

- **Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας:** Καθιστά το σύστημα βιώσιμο όταν συνδυάζεται με μπαταρίες και ηλιακά πάνελ, επιτρέποντας μακροχρόνια αυτόνομη λειτουργία.
- **Υποστήριξη για απομακρυσμένη διαχείριση μέσω Arduino Cloud:** Δυνατότητα ενημερώσεων λογισμικού Over-the-Air (OTA), χωρίς φυσική πρόσβαση στη συσκευή.
- **Προηγμένη ενεργειακή διαχείριση:** Η πλακέτα διαθέτει ενσωματωμένο linear voltage regulator και υποστήριξη για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Li-Po, επιτρέποντας την ασφαλή λειτουργία τόσο με εξωτερική τροφοδοσία όσο και με μπαταρία. Παράλληλα, προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης της τάσης της μπαταρίας μέσω του ενσωματωμένου ADC,

Η επιλογή της Arduino MKR NB 1500 ανταποκρίνεται πλήρως στις τεχνικές και λειτουργικές προκλήσεις που αναδείχθηκαν κατά την αξιολόγηση του αρχικού πρωτοτύπου. Η ενσωματωμένη κυψελοειδής συνδεσιμότητα, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η συμβατότητα με πλατφόρμες απομακρυσμένης διαχείρισης την καθιστούν ιδανική για συστήματα παρακολούθησης σε δύσκολα και απομακρυσμένα περιβάλλοντα. Ακολουθεί η αρχιτεκτονική της πλακέτας και τα βασικά της χαρακτηριστικά.

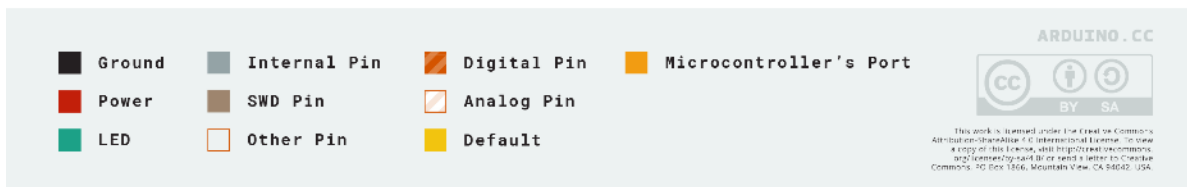
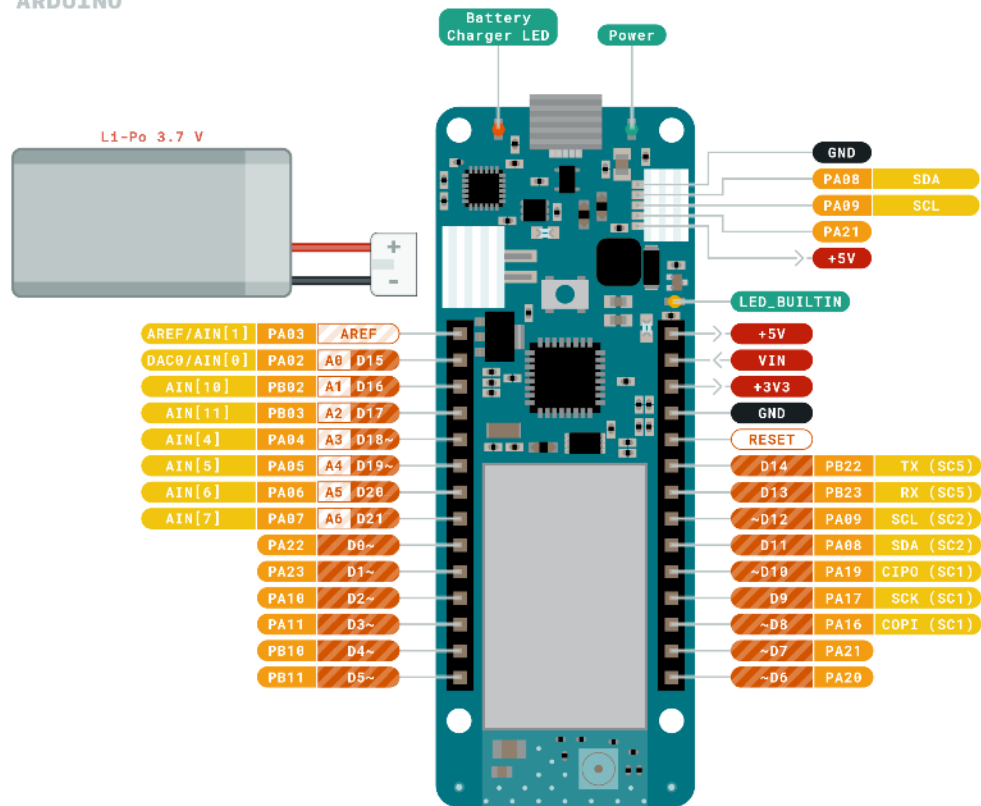
Αρχιτεκτονική πλακέτας MKR NB 1500

Η πλακέτα **Arduino MKR NB 1500** ενσωματώνει τεχνολογία επικοινωνίας Narrow Band (NB) και είναι η ιδανική επιλογή για συσκευές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες χωρίς σύνδεση στο διαδίκτυο ή σε καταστάσεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμη τροφοδοσία (π.χ., συστήματα παρακολούθησης πεδίου).

Αυτή η πλακέτα είναι σχεδιασμένη για παγκόσμια χρήση, παρέχοντας δυνατότητες για Cat M1/NB1 στα εξής ζώνες: 2, 3, 4, 5, 8, 12, 13, 20, 28 (Vodafone, AT&T, T-Mobile USA, Telstra, Verizon).



ARDUINO
MKR NB 1500



Εικόνα 4-10 Αρχιτεκτονική πλακέτας MKR NB 1500

- **Microcontroller:** SAMD21 Cortex®-M0+ 32bit χαμηλής κατανάλωσης ARM MCU
- **Radio Module:** u-blox SARA-R410M-02B
- **Secure Element:** ATECC508
- **Τροφοδοσία Πλακέτας (USB micro/VIN):** 5V
- **Υποστηριζόμενη Μπαταρία:** Li-Po Single Cell, 3.7V, τουλάχιστον 1500mAh
- **Τάση Λειτουργίας Κυκλώματος:** 3.3V
- **Ψηφιακές Θύρες I/O:** 8
- **PWM Pins:** 13 (0 .. 8, 10, 12, 18 / A3, 19 / A4)
- **UART:** 1
- **SPI:** 1

- **I2C:** 1
- **Analog Input Pins:** 7 (ADC 8/10/12 bit)
- **Analog Output Pins:** 1 (DAC 10 bit)
- **External Interrupts:** 8 (0, 1, 4, 5, 6, 7, 8, 16 / A1, 17 / A2)
- **Ρεύμα DC ανά Θύρα I/O:** 7 mA
- **Μνήμη Flash:** 256 KB (εσωτερική)
- **SRAM:** 32 KB
- **EEPROM:** Όχι
- **Ταχύτητα Ρολογιού:** 32.768 kHz (RTC), 48 MHz
- **LED_BUILTIN:** 6
- **USB Συσκευή Υψηλής Ταχύτητας και Embedded Host**
- **Ισχύς Κεραίας:** 2dB (κεραία που παρέχεται στο κατάστημα Arduino)
- **Συχνότητα Φορέα:** LTE ζώνες 1, 2, 3, 4, 5, 8, 12, 13, 18, 19, 20, 25, 26, 28
- **Κλάση Ισχύος (Ράδιο):** LTE Cat M1 / NB1: Κλάση 3 (23 dBm)
- **Ταχύτητα Δεδομένων (LTE M1 Ημιδιπλής Κατεύθυνσης):** UL 375 kbps / DL 300 kbps
- **Ταχύτητα Δεδομένων (LTE NB1 Διπλής Κατεύθυνσης):** UL 62.5 kbps / DL 27.2 kbps
- **Περιοχή Λειτουργίας:** Πολυπεριφερειακή
- **Τοποθεσία Συσκευής:** GNSS μέσω modem
- **Κατανάλωση Ισχύος (LTE M1):** ελάχιστο 100 mA / μέγιστο 190 mA
- **Κατανάλωση Ισχύος (LTE NB1):** ελάχιστο 60 mA / μέγιστο 140 mA
- **Κάρτα SIM:** MicroSIM
- **Μήκος:** 67.64 mm
- **Πλάτος:** 25 mm
- **Βάρος:** 32 g

Η πλακέτα Arduino MKR NB 1500 αποτελείται από διάφορα χαρακτηριστικά, όπως:

Battery Charger LED:

Το LED αναβοσβήνει ή ανάβει όταν η πλακέτα φορτίζει την μπαταρία Li-Po μέσω του τσιπ φόρτισης, το οποίο παρακολουθεί την κατανάλωση ρεύματος κατά τη φόρτιση. Όταν η πλακέτα τροφοδοτείται μέσω USB micro ή VIN, το LED φωτίζεται για να δείξει την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας. Εάν το LED αναβοσβήνει με συχνότητα περίπου 2Hz, αυτό υποδεικνύει προβλήματα όπως:

- Δεν είναι συνδεδεμένη καμία μπαταρία στον ακροδέκτη JST.

- ο Η μπαταρία είναι υπερβολικά αποφορτισμένη ή κατεστραμμένη και δεν μπορεί να επαναφορτιστεί.
- ο Η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη και η πλακέτα μπαίνει σε έναν αχρησιμοποίητο κύκλο φόρτισης.

Power LED:

Το LED ανάβει όταν η πλακέτα τροφοδοτείται είτε μέσω USB είτε μέσω του ακροδέκτη VIN. Δεν ανάβει όταν η πλακέτα λειτουργεί με την μπαταρία, καθώς σκοπός του είναι να ελαχιστοποιήσει τη χρήση της ενέργειας από την μπαταρία.

Led_Built_In

Το ενσωματωμένο LED είναι συνδεδεμένο στην ακίδα D6 και χρησιμοποιείται για οπτική ανατροφοδότηση κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος. Σε αντίθεση με άλλες πλακέτες που χρησιμοποιούν την D13 για το ενσωματωμένο LED, η MKR NB 1500 χρησιμοποιεί την D6.

Τροφοδοσία/Μπαταρία

Η πλακέτα χρησιμοποιεί Li-Po μπαταρίες που φορτίζονται μέχρι τα 4,2V με ρεύμα που είναι συνήθως το μισό της ονομαστικής ικανότητας της μπαταρίας (C/2). Η μπαταρία που συνδέεται στην πλακέτα πρέπει να έχει τουλάχιστον 700mAh. Η χρήση μικρότερων μπαταριών μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση, φούσκωμα ή και έκρηξη της μπαταρίας. Το τσιπ φόρτισης είναι ρυθμισμένο σε ρεύμα φόρτισης 350mAh και το μέγιστο φορτίο σε κάθε κύκλο φόρτισης είναι 1400mAh. Η σύνδεση για τη μπαταρία είναι τύπου JST PHR2 2-pin (θηλυκός τύπος). Η πολικότητα είναι αριστερά θετική και δεξιά αρνητική (GND).

Vin Pin (Ακίδα Vin)

Η ακίδα Vin χρησιμοποιείται για την παροχή τροφοδοσίας στην πλακέτα μέσω εξωτερικής ρυθμισμένης πηγής τάσης 5V έως 6V (παραπάνω θα κάψει την πλακέτα μας). Όταν χρησιμοποιείται αυτή η ακίδα για τροφοδοσία, η σύνδεση USB αποσυνδέεται αυτόματα. Σημειώνεται ότι η τάση πρέπει να κυμαίνεται αυστηρά μεταξύ 5V και 6V, καθώς η χρήση άλλης τάσης μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην πλακέτα. Η Vin ακίδα λειτουργεί αποκλειστικά ως είσοδος (input) για την τροφοδοσία.

VCC Pin (Ακίδα VCC)

Η ακίδα VCC παρέχει σταθερή τάση 3.3V, η οποία εξάγεται μέσω του ενσωματωμένου ρυθμιστή τάσης της πλακέτας. Αυτή η τάση παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως της πηγής τροφοδοσίας (USB, Vin ή μπαταρία). Η VCC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία εξωτερικών συσκευών ή κυκλωμάτων που απαιτούν τάση 3.3V.

Digital Pins (Ακίδες Ψηφιακών Εισόδων/Εξόδων, D0-D13)

Οι ψηφιακές ακίδες D0-D13 χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση με διάφορες συσκευές, όπως LED, κουμπιά, και αισθητήρες. Αυτές οι ακίδες μπορούν να λειτουργήσουν ως είσοδοι ή εξοδοι ψηφιακών σημάτων (0 ή 1). Ορισμένες από αυτές τις ακίδες είναι PWM-enabled και επιτρέπουν την εξαγωγή ψηφιακών σημάτων με διαμορφωμένη πλάτος (Pulse Width Modulation).

Αναλογικές Ακίδες (AIN) και DAC

- **AREF / AIN[1] (PA03):** Η ακίδα AREF χρησιμοποιείται για την καθορισμένη αναφορά τάσης στις αναλογικές εισόδους του μικροελεγκτή, επιτρέποντας την ακριβή μέτρηση αναλογικών σημάτων. Η ακίδα AIN[1] αντιστοιχεί στην PA03, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάγνωση αναλογικών σημάτων.
- **DAC0 / AIN[0] (PA02):** Η ακίδα DAC0 επιτρέπει την παραγωγή αναλογικών σημάτων μέσω του Digital-to-Analog Converter (DAC), ενώ η AIN[0] (PA02) επιτρέπει την ανάγνωση αναλογικών σημάτων, συνδεδεμένη με την ακίδα PA02 του μικροελεγκτή.
- **AIN[10] (PB02) και AIN[11] (PB03):** Αυτές οι ακίδες αναλογικής εισόδου (PB02 και PB03) χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση αναλογικών σημάτων.
- **AIN[4] (PA04), AIN[5] (PA05), AIN[6] (PA06), AIN[7] (PA07):** Αυτές οι ακίδες (PA04, PA05, PA06, PA07) παρέχουν επιπλέον αναλογικές εισόδους για την ανάγνωση αναλογικών σημάτων από αισθητήρες ή άλλες συσκευές.

RESET Pin (Ακίδα Επαναφοράς)

Η ακίδα RESET επιτρέπει την επαναφορά του μικροελεγκτή στην αρχική του κατάσταση. Αυτή η ακίδα είναι χρήσιμη για την επανεκκίνηση του προγράμματος χωρίς να απαιτείται αποσύνδεση της τροφοδοσίας. Ενεργοποιώντας την ακίδα RESET, το πρόγραμμα ξεκινά ξανά από την αρχή.

Επιπλέον Σύνδεση I2C

Η πλακέτα Arduino MKR NB 1500 διαθέτει θύρα I2C για την επέκταση του λεωφορείου I2C, επιτρέποντας την επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές. Η θύρα αυτή είναι εξοπλισμένη με έναν μικρό συνδετήρα 5 ακίδων με απόσταση 1.0mm μεταξύ των ακίδων και περιλαμβάνει τα σήματα SDA (Serial Data) και SCL (Serial Clock) για την επικοινωνία μέσω του I2C λεωφορείου. Επίσης, περιλαμβάνει τις γραμμές GND και +5V για τροφοδοσία, ενώ η Digital 7 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επέκταση ή άλλες επεκτάσεις στο σύστημα.

4.2.2 Εφαρμογή Τελικής Υλοποίησης

Η διαδικασία υλοποίησης της εφαρμογής περιλαμβάνει την πλήρη σύνδεση της πλακέτας Arduino με την πλατφόρμα Arduino IoT Cloud. Ωστόσο, μέχρι στιγμής δεν υπάρχει διαθέσιμη υποστήριξη (libraries) για την πλακέτα MKR NB 1500 που να επιτρέπει την απευθείας σύνδεση μέσω της πλατφόρμας Ubidots. Επομένως, η σύνδεση με την πλατφόρμα Ubidots δεν είναι εφικτή χωρίς την ανάπτυξη προσαρμοσμένων βιβλιοθηκών ή την εύρεση άλλων εναλλακτικών λύσεων για την αποστολή δεδομένων από την πλακέτα στην εν λόγω πλατφόρμα. Παρά ταύτα, η παραμετροποίηση των απαραίτητων ρυθμίσεων για τη μέτρηση της στάθμης του νερού και την αποστολή ειδοποιήσεων πραγματοποιήθηκε μέσω του Arduino IoT Cloud, όπου τα δεδομένα του αισθητήρα συλλέγονται και αποστέλλονται κατάλληλα.

Σύνδεση της Πλακέτας στον Υπολογιστή και Εγκατάσταση στο Arduino IoT Cloud

Πρώτα, συνδέουμε την πλακέτα Arduino στον υπολογιστή μέσω θύρας USB και στην συνέχεια ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- Δημιουργούμε έναν λογαριασμό στην πλατφόρμα Arduino IoT Cloud (αν δεν έχουμε ήδη) και συνδεόμαστε με τα στοιχεία μας.
- Από το κεντρικό μενού (side bar αριστερά), μεταβαίνουμε στην κατηγορία Devices και ακολουθούμε τη διαδικασία αναγνώρισης της πλακέτας μας. Η πλακέτα αναγνωρίζεται αυτόματα και προστίθεται στο σύστημα.

Δημιουργία και Διαχείριση Μεταβλητών (Variables)

Στην κατηγορία "Things" της πλατφόρμας Arduino IoT Cloud, δημιουργούμε μια νέα μεταβλητή για τη μέτρηση της στάθμης του νερού. Στην περίπτωση μας, επιλέγουμε τον τύπο της μεταβλητής ως "integer" (ακέραιος αριθμός), καθώς η μέτρηση της απόστασης από τον αισθητήρα θα αποθηκεύεται σε ακέραιες τιμές (σε εκατοστά).

Η επιλογή της μεταβλητής ως "Read only" είναι η πιο κατάλληλη για το σενάριο μας, καθώς το μόνο που επιθυμούμε είναι να διαβάζουμε τις τιμές του μετρητή χωρίς να τις τροποποιούμε από την πλατφόρμα.

Επιπλέον, ορίζουμε την πολιτική ανανέωσης της μεταβλητής ως "Periodically". Αυτό συμβαδίζει με την ακρίβεια του αισθητήρα μας (± 3 εκατοστά), και η περιοδική ενημέρωση εξασφαλίζει την καλύτερη απόδοση για τη συλλογή δεδομένων. Παράλληλα, η πλακέτα μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε τους χρόνους ενημέρωσης μέσω του κώδικα, οπότε η επιλογή "Periodically" στην πλατφόρμα είναι επαρκής για τις ανάγκες της εφαρμογής και δεν απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτή τη φάση της υλοποίησης.

Σύνδεση της Πλακέτας με το Δίκτυο

Στην ίδια σελίδα που βρισκόμαστε στα δεξιά υπάρχει μια κατηγορία στην καρτέλα μας που γράφει, Associate Device, επιλέγουμε την πλακέτα που έχουμε αναγνωρίσει προηγουμένως και στη συνέχεια, στην κατηγορία Network, εισάγουμε τα στοιχεία του APN του παρόχου μας (για παράδειγμα, "internet.vodafone.gr" για Vodafone). Αυτά τα στοιχεία επιτρέπουν στην πλακέτα να συνδεθεί στο δίκτυο NB-IoT για να μεταφέρει τα δεδομένα στο cloud.

Δημιουργία του Dashboard (Visualization)

Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω ρυθμίσεις, πηγαίνουμε στο Dashboard και δημιουργούμε ένα νέο dashboard που θα αναπαριστά τα δεδομένα του αισθητήρα. Επιλέγουμε τα κατάλληλα widgets για την αναπαράσταση της στάθμης του νερού και τις ειδοποιήσεις, με σκοπό να έχουμε μια εύκολη παρακολούθηση των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Να μην ξεχάσουμε ότι πρέπει την ώρα που φτιάχνουμε το Dashboard μας να διαλέξουμε μέσω του Linked variable την επιλογή της πλακέτας μας (MKR NB 1500)

Αφού ολοκληρώσουμε με επιτυχία τα προηγούμενα βήματα σύνδεσης και παραμετροποίησης, προχωρούμε στην κατηγορία Things της πλατφόρμας Arduino IoT

Cloud, η οποία βρίσκεται στο αριστερό μενού της πλατφόρμας. Από εκεί, επιλέγουμε την κατηγορία `</>` Sketch από το μενού πάνω δεξιά. Στην ενότητα αυτή, το Arduino Cloud δημιουργεί αυτόματα διάφορες καρτέλες για τον χρήστη, και η καρτέλα στην οποία θα εργαστούμε είναι η πρώτη, η οποία ονομάζεται συνήθως "Untitled_24apr24a.ino" ή κάτι παρόμοιο, ανάλογα με την ημερομηνία δημιουργίας του έργου.

Στη συνέχεια, προχωράμε στην εισαγωγή των απαραίτητων στοιχείων στην καρτέλα Sketch Secrets, όπου πρέπει να προσθέσουμε τις πληροφορίες για το APN του παρόχου κινητής τηλεφωνίας, προκειμένου να εξασφαλίσουμε τη σωστή σύνδεση της πλακέτας μας στο δίκτυο NB-IoT. Η συμπλήρωση των στοιχείων αυτών είναι απαραίτητη για τη διασύνδεση της πλακέτας με το διαδίκτυο μέσω της κινητής τηλεφωνίας και την αποστολή δεδομένων στο cloud.

Σημαντική σημείωση: Στην πλακέτα MKR NB 1500, για να επιτύχουμε σωστή λειτουργία της διασύνδεσης με την SIM κάρτα, είναι απαραίτητο να συνδέσουμε μια εξωτερική κεραία στην ειδική υποδοχή της πλακέτας. Εάν η κεραία δεν είναι συνδεδεμένη, η πλακέτα δεν θα αναγνωρίσει τη SIM κάρτα και θα εμφανίσει σφάλμα κατά την προσπάθεια σύνδεσης με το δίκτυο.

Στην πρώτη φάση της υλοποίησης του προγράμματός μας, αφού έχουμε συνδέσει επιτυχώς τον αισθητήρα HC-SR04 στην πλακέτα MKR NB 1500, προχωρούμε στην αντιστοίχιση των ακίδων (pins) του αισθητήρα με τα κατάλληλα ψηφιακά pins της πλακέτας. Συγκεκριμένα, το pin TRIG του αισθητήρα συνδέεται στο pin D2 (PA10) και το pin ECHO στο pin D3 (PA11) της πλακέτας MKR NB 1500. Ο κώδικας μας θα πρέπει να διαμορφωθεί ανάλογα με αυτή τη συνδεσμολογία, έτσι ώστε να διαβάσει τις ενδείξεις του αισθητήρα και να τις επεξεργάζεται σωστά. Στην περίπτωση μας η μέτρηση έγινε για δεξαμενή 400cm (4 μέτρα. Σε κάθε άλλη περίπτωση το ύψος διαμορφώνεται από τον κώδικα για το εύρος τιμών που μπορεί να πάρει ο αισθητήρας μας. Το Upload του κώδικα έγινε μέσω θύρας USB, στην συνέχεια αποσυνδέσαμε το USB καλώδιο και το συνδέσαμε πάνω στην συστοιχία μπαταριών αυτό μας επέτρεψε να συνεχίζει να στέλνει δεδομένα κανονικά, δηλαδή δεν χρησιμοποιήσαμε την OTA υπηρεσία για να φορτώσουμε τον κώδικα μας στο Arduino.

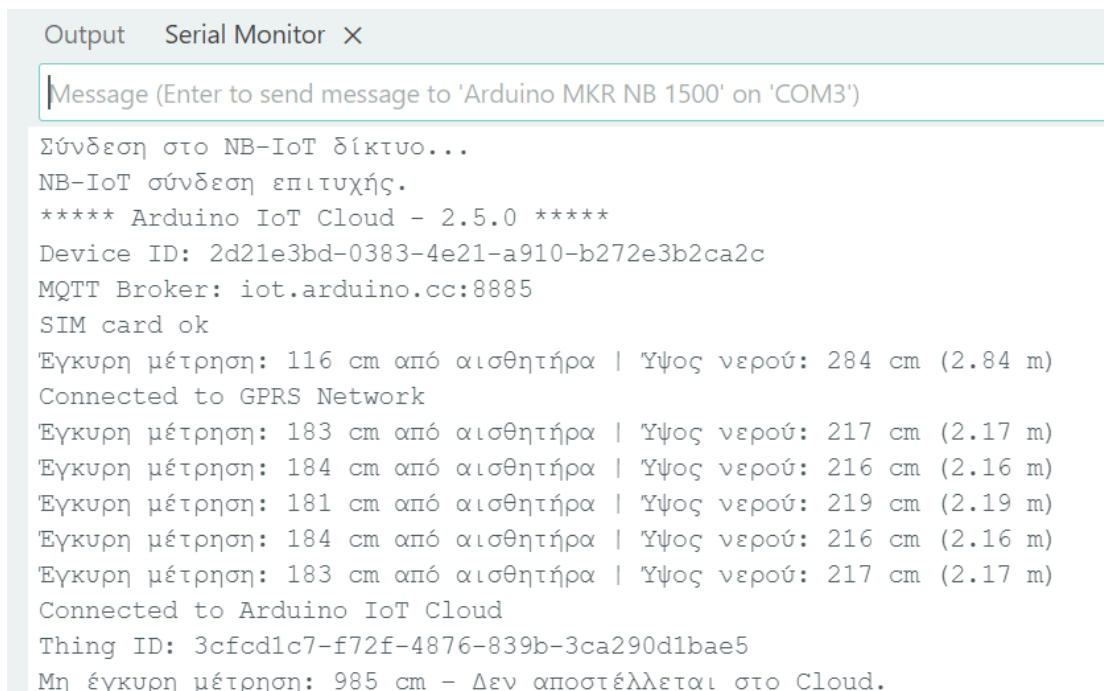
Ακολουθεί η ανάπτυξη του κώδικα στο **Παράρτημα Δ**.

Αφού εκτελέσουμε επιτυχώς τον κώδικα, παρακολουθούμε τα πρώτα δεδομένα που αποστέλλονται μέσω του Serial Monitor (Εικ. 4-11). Για να διασφαλίσουμε την ακρίβεια των μετρήσεων, έχουμε ενσωματώσει μια δικλείδα ασφαλείας, η οποία αποτρέπει την αποστολή δεδομένων εάν η μέτρηση ξεπερνά τα καθορισμένα όρια (0-400 εκατοστά). Έτσι,

διασφαλίζουμε ότι μόνο έγκυρες τιμές αποστέλλονται στο cloud και αποφεύγουμε την αποστολή λανθασμένων ή μη ρεαλιστικών δεδομένων.

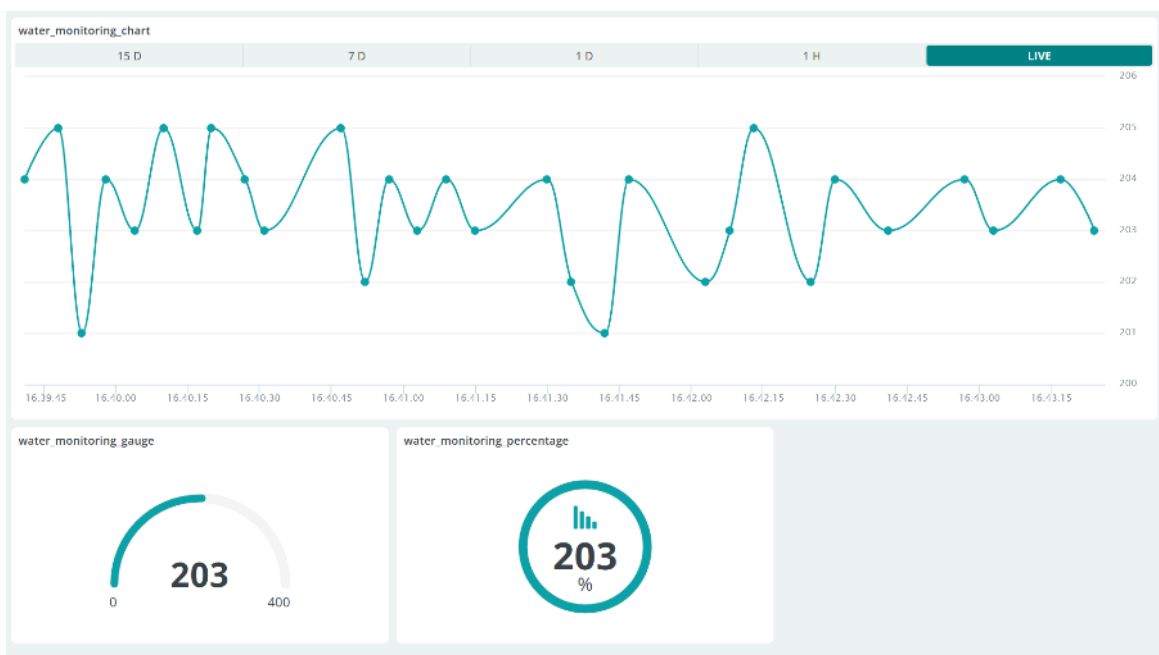
Επιπλέον, στο Dashboard, έχουμε δημιουργήσει διάφορα widgets για να βελτιώσουμε την οπτικοποίηση των μετρήσεων. Ένα από τα κύρια widgets, το **water_monitoring_percentage**, έχει ρυθμιστεί ώστε να εμφανίζεται σε κόκκινο χρώμα όταν η στάθμη του νερού πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο. Αυτή η λειτουργία παρέχει άμεση οπτική ανατροφοδότηση, διευκολύνοντας την γρήγορη αναγνώριση οποιουδήποτε προβλήματος, ειδικά όταν παρακολουθούμε πολλές διαφορετικές δεξαμενές νερού ταυτόχρονα (Εικ. 4-12).

Επιπλέον, στον πίνακα **water_monitoring_chart**, ο οποίος καταγράφει τις μετρήσεις ανά εκατοστό, παρατηρούμε κάποιες αποκλίσεις της τάξης μερικών εκατοστών (συγκεκριμένα μεταξύ 201 και 205 εκατοστών). Αυτές οι αποκλίσεις ήταν αναμενόμενες λόγω της φύσης του αισθητήρα, καθώς ο συγκεκριμένος μετρητής HC-SR04 έχει ακρίβεια που κυμαίνεται γύρω στα ± 3 εκατοστά. Αυτή η παρατήρηση καταδεικνύει τις περιορισμένες δυνατότητες ακριβείας του αισθητήρα, χωρίς ωστόσο να επηρεάζει σημαντικά τη συνολική λειτουργία του συστήματος για τις ανάγκες της εφαρμογής μας.



```
Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'Arduino MKR NB 1500' on 'COM3')
Σύνδεση στο NB-IoT δίκτυο...
NB-IoT σύνδεση επιτυχής.
***** Arduino IoT Cloud - 2.5.0 *****
Device ID: 2d21e3bd-0383-4e21-a910-b272e3b2ca2c
MQTT Broker: iot.arduino.cc:8885
SIM card ok
Έγκυρη μέτρηση: 116 cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: 284 cm (2.84 m)
Connected to GPRS Network
Έγκυρη μέτρηση: 183 cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: 217 cm (2.17 m)
Έγκυρη μέτρηση: 184 cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: 216 cm (2.16 m)
Έγκυρη μέτρηση: 181 cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: 219 cm (2.19 m)
Έγκυρη μέτρηση: 184 cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: 216 cm (2.16 m)
Έγκυρη μέτρηση: 183 cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: 217 cm (2.17 m)
Connected to Arduino IoT Cloud
Thing ID: 3cfcd1c7-f72f-4876-839b-3ca290d1bae5
Μη έγκυρη μέτρηση: 985 cm - Δεν αποστέλλεται στο Cloud.
```

Εικόνα 4-11 Αποστολή Δεδομένων στο Serial Monitor



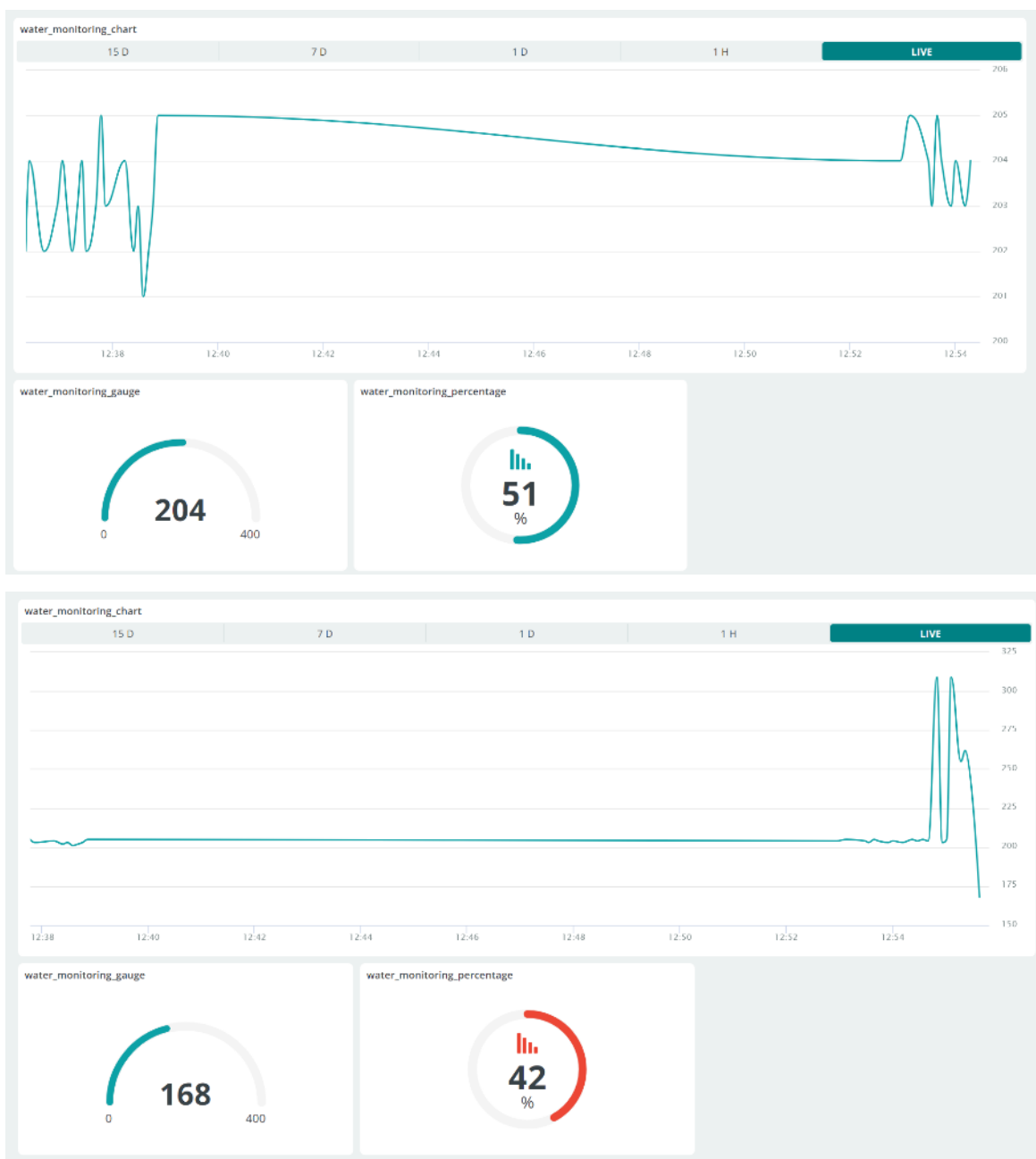
Εικόνα 4-12 Dashboard widgets για απεικόνιση των μετρήσεων

Για την αποφυγή εμφάνισης των ίδιων τιμών σε όλα τα widgets του dashboard και με σκοπό την ορθότερη απεικόνιση των μετρήσεων, δημιουργούμε δύο διακριτές μεταβλητές στην κατηγορία *Things* του Arduino Cloud. Η πρώτη μεταβλητή ονομάζεται `water_fill_percentage` και εκφράζει το ποσοστό πλήρωσης της δεξαμενής σε κλίμακα από 0% έως 100%. Η δεύτερη μεταβλητή, `water_height_cm`, αναπαριστά το ύψος του νερού σε εκατοστά (cm).

Στο προγραμματιστικό μέρος της υλοποίησης, κάθε μεταβλητή ενημερώνεται μέσω της αντίστοιχης υπολογιστικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα:

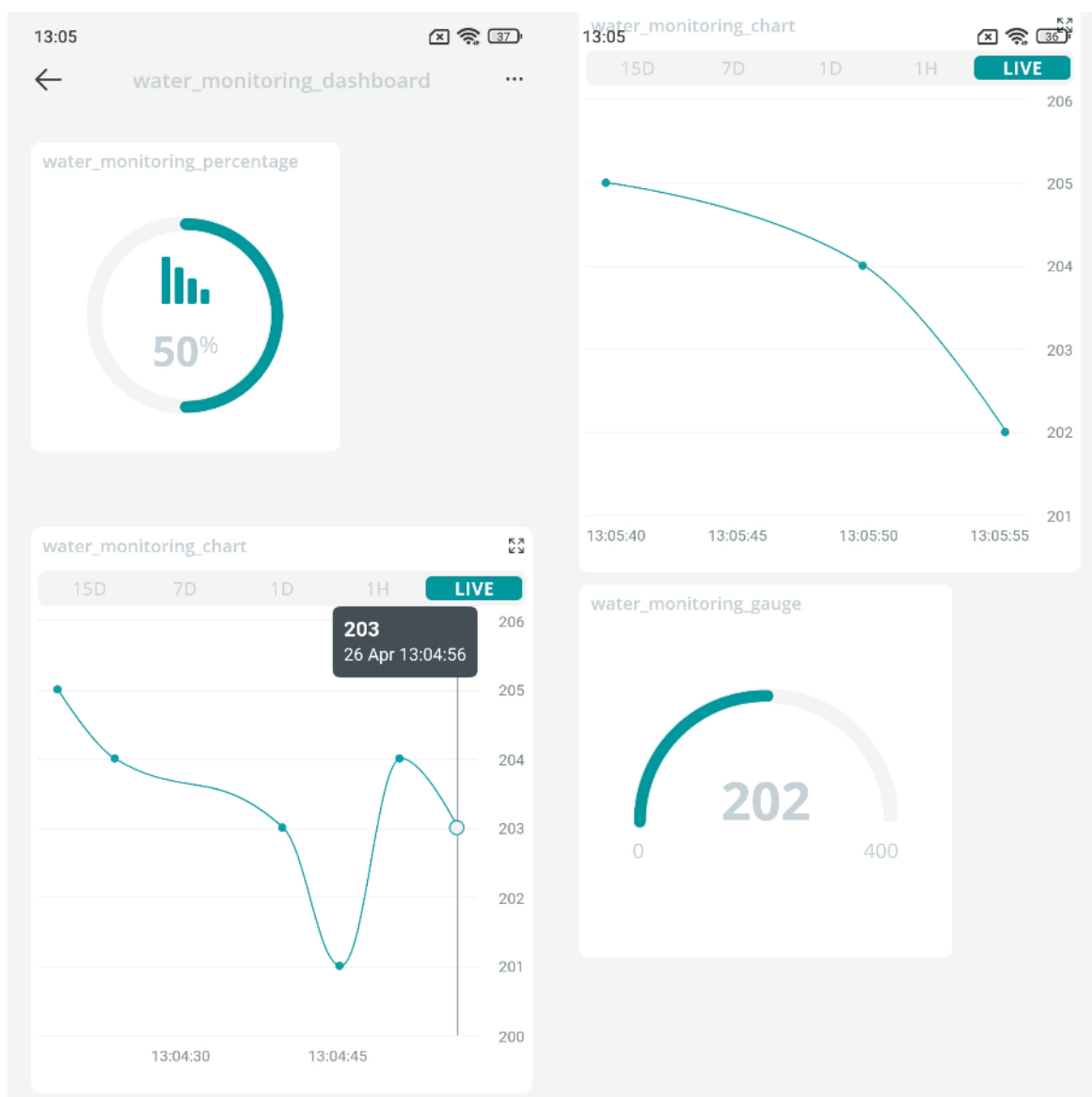
- Η μεταβλητή `water_fill_percentage` υπολογίζεται λαμβάνοντας το ύψος του νερού, το πολλαπλασιάζουμε επί εκατό και διαιρούμε με το μέγιστο ύψος της δεξαμενής σε εκατοστά.
- Η μεταβλητή `water_height_cm` λαμβάνει απευθείας την τιμή του υπολογιζόμενου ύψους του νερού.

Με αυτή τη μεθοδολογία, κάθε widget του dashboard παρουσιάζει διαφορετική και ακριβή πληροφορία, ενισχύοντας τη χρηστικότητα και την αξιοπιστία της συνολικής παρακολούθησης των δεδομένων, παρακάτω βλέπουμε μια πιο σωστή αναπαράσταση των δεδομένων της μέτρησης **Παράρτημα Ε.**



Εικόνα 4-13 Dashboard widgets για απεικόνιση των μετρήσεων

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης της στάθμης του νερού μέσω φορητών συσκευών Android. Συγκεκριμένα, διατίθεται η επίσημη εφαρμογή Arduino IoT Cloud Remote, η οποία μπορεί να εγκατασταθεί δωρεάν από το κατάστημα εφαρμογών Play Store. Αφού ολοκληρωθεί η εγκατάσταση, ο χρήστης μπορεί να εισέλθει στο περιβάλλον της εφαρμογής χρησιμοποιώντας τα στοιχεία σύνδεσης του προσωπικού του λογαριασμού Arduino. Με τον τρόπο αυτό, αποκτά πρόσβαση στα δεδομένα του dashboard που έχει διαμορφώσει στο cloud (Εικ. 4-14).



Εικόνα 4-14 Dashboard widgets από Android App

4.2.3 Κατανάλωση ενέργειας MKR NB 1500

Η υλοποίηση στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας σε συστήματα Internet of Things (IoT) αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη μεγιστοποίηση της αυτονομίας τους, ειδικά σε εφαρμογές πεδίου όπου η τροφοδοσία γίνεται μέσω μπαταρίας ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο παρόν έργο, αν και αρχικά εξετάστηκε η δυνατότητα αξιοποίησης του sleep mode του Arduino MKR NB 1500, αποφασίστηκε τεκμηριωμένα να μην εφαρμοστεί, για τους εξής λόγους:

Πρώτον, η αρχιτεκτονική του MKR NB 1500 βασίζεται στον μικροελεγκτή SAMD21 low power ARM MCU και στο GSM modem u-blox SARA-R410M-02B, με το οποίο επικοινωνεί μέσω UART. Παρότι ο SAMD21 υποστηρίζει deep sleep καταστάσεις χαμηλής κατανάλωσης, η διαχείριση του modem δεν είναι πλήρως εναρμονισμένη με το waking process: η είσοδος σε deep sleep προκαλεί ολική επανεκκίνηση (reset) του συστήματος κατά το ξύπνημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της κατάστασης σύνδεσης στο δίκτυο NB-IoT ή LTE-M, απαιτώντας εκ νέου αρχικοποίηση, επανασύνδεση και επαλήθευση συνεδρίας στο Arduino Cloud. Η διαδικασία αυτή αφενός επιφέρει σημαντική καθυστέρηση (δεκάδες δευτερόλεπτα), αφετέρου εισάγει αστάθεια και αυξημένη πιθανότητα αποτυχίας σύνδεσης, ιδίως σε συνθήκες μεταβλητής ποιότητας σήματος.

Δεύτερον, η χρήση sleep mode θα απαιτούσε περίπλοκες υλοποιήσεις με επιπλέον υλικό, όπως εξωτερικό πραγματικό χρονόμετρο (RTC) με δυνατότητα interrupt wake-up ή watchdog timers, προκειμένου να εξασφαλιστεί ασφαλής αφύπνιση του συστήματος χωρίς απώλεια λειτουργικότητας. Τέτοιες προσθήκες δεν κρίθηκαν συμβατές με το πλαίσιο απλότητας, αξιοπιστίας και κόστους του παρόντος έργου.

Κατόπιν αυτών, κρίνεται ότι η ενεργοποίηση του deep sleep mode θα έθετε σε κίνδυνο τη σταθερότητα και την αξιοπιστία της εφαρμογής και δεν υιοθετείται.

Αντί της χρήσης sleep mode, εφαρμόζεται μια πιο στιβαρή και ελεγχόμενη προσέγγιση: το σύστημα παραμένει σε ενεργή κατάσταση (active mode), αλλά η κατανάλωση επεξεργαστικών πόρων και η ασύρματη δραστηριότητα περιορίζονται στο ελάχιστο.

Συγκεκριμένα η μέτρηση στάθμης υγρών πραγματοποιείται περιοδικά κάθε 60 λεπτά. Οπότε στον κώδικα μας θα αλλάξουμε το εξής:

```
delay(3600000); // 60 λεπτά = 3600 δευτερόλεπτα = 3600000 χιλιοστά του δευτερολέπτου
```

Μεταξύ των μετρήσεων, η κεντρική μονάδα εκτελεί ελάχιστο αριθμό εντολών, χωρίς περιττές διεργασίες, χρησιμοποιώντας χρονικό έλεγχο.

Αυτή η μέθοδος διασφαλίζει:

- **Συνεχή διατήρηση της σύνδεσης στο δίκτυο NB-IoT.**

- **Ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης** που σχετίζεται με άσκοπες επανεκκινήσεις ή διακοπές σύνδεσης.
- **Υψηλή αξιοπιστία μετάδοσης δεδομένων** στο Cloud, ακόμα και σε περιβάλλοντα περιορισμένης κάλυψης.

Εκτιμώμενη Κατανάλωση Ενέργειας:

Σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο του MKR NB 1500 και βάσει πειραματικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος καταγράφεται ως εξής:

Κατάσταση Συστήματος	Μέση Κατανάλωση Ρεύματος
Ενεργή σύνδεση NB-IoT (Idle, χωρίς μετάδοση)	25–30 mAh
Λήψη μέτρησης από αισθητήρα υπερήχων	30–40 mAh
Αποστολή δεδομένων στο Arduino IoT Cloud	100–190 mAh

Η ελάχιστη κατανάλωση αντιστοιχεί σε ιδανικές συνθήκες σύνδεσης, όπως καλή ποιότητα σήματος και χαμηλές απαιτήσεις εκπομπής, ενώ η μέγιστη κατανάλωση παρατηρείται σε δυσμενείς συνθήκες, όπου απαιτείται αυξημένη ισχύς εκπομπής για τη διατήρηση της επικοινωνίας γιαυτό η διακύμανση κυμαίνεται μεταξύ 100-190 mA.

Καθώς η αποστολή δεδομένων διαρκεί μόνο λίγα δευτερόλεπτα και το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου ζωής της συσκευής βρίσκεται σε κατάσταση χαμηλής δραστηριότητας (Idle), όπως έχουμε υλοποιήσει από προηγούμενο μας κεφάλαιο χρησιμοποιούμε μια συστοιχία μπαταριών χωρητικότητας 20.000 mAh και αποστολή δεδομένων κάθε μία ώρα (3600 δευτερόλεπτα) οπότε αν πάρουμε το χειρότερο σενάριο όπου η συσκευή μας δεν μπορεί να στείλει εύκολα δεδομένα και απαιτείται η μέγιστη χρήση ενέργειας, οπότε έχουμε τα εξής:

Κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής (idle): Περίπου 30 mAh, για τα 3600 δευτερόλεπτα κάθε ώρας έχουμε: Κατανάλωση Idle= $\left(\frac{30 \times 3600}{3600}\right) = 30 \text{ mAh}$

Κατανάλωση κατά την αποστολή δεδομένων: Περίπου 190 mA για 5 δευτερόλεπτα ανά κύκλο έχουμε: Κατανάλωση Transmission = $\left(\frac{190 \times 5}{3600}\right) \approx \mathbf{0.26\ mAh}$

Βασισμένοι στις πληροφορίες που μας δόθηκαν και την ανάλυση του ενεργειακού προφίλ του συστήματος, μπορούμε να υπολογίσουμε την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής της συσκευής με βάση την χωρητικότητα της συστοιχίας μπαταριών (20.000 mAh) και τα δεδομένα κατανάλωσης.

Συνολική διάρκεια ανά ώρα: 30 mAh + 0.26 mAh = **30.26 mAh κατανάλωση.**

Συνολική διάρκεια ανά ημέρα: 30.26 mAh * 24 = **726.24 mAh κατανάλωση.**

Διάρκεια ζωής = Χωρητικότητα Μπαταρίας / Συνολική κατανάλωση ανά ώρα

Διάρκεια ζωής = 20.000 mAh / 30.26 mAh \approx **660.4 ώρες**

Διάρκεια ζωής σε ημέρες = 660.4 ώρες / 24 ώρες = **27.5 ημέρες**

Άρα συμπεραίνουμε ότι η χρήση της συγκεκριμένης πλακέτας είναι αρκετά ενεργειακά αυτόνομη χωρίς να έχουμε αναφέρει την χρήση του φωτοβολταϊκού.

Αυτονομία με χρήση φωτοβολταϊκού

Η τροφοδοσία της συσκευής επιτυγχάνεται μέσω φωτοβολταϊκού πάνελ ονομαστικής ισχύος 21 Watt και εξόδου 5 Volt / 2.1 Ampere. Η μέγιστη διάρκεια ημερήσιας έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία έχει εκτιμηθεί σε επτά ώρες (11:00–18:00). Λαμβάνοντας υπόψη τις συνήθεις απώλειες λόγω μεταβλητών συνθηκών περιβάλλοντος (π.χ. γωνία πρόσπτωσης, θερμοκρασία, σκίαση), ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας είναι η κατάσταση των μπαταριών, δηλαδή αν οι μπαταρίες είναι φθαρμένες με τον καιρό θα έχουν μικρότερη απόδοση σε σχέση με καινούργιες μπαταρίες, οπότε θεωρείται συντηρητικά ότι το σύστημα λειτουργεί με μέση απόδοση 70% της θεωρητικής μέγιστης ισχύος και ότι έχουμε καινούργιες μπαταρίες οπότε θα έχουμε τα παρακάτω.

Σε μέτρηση που έγινε στο φωτοβολταϊκό μας η έξοδος του ρεύματος κυμαινόταν στα 5 Volt οπότε υπολογίζουμε τα εξής: Πραγματική ισχύς εξόδου πάνελ \approx 14.7 W (70% των 21 W). Επειδή η τάση δίνεται από τον βασικό τύπο: **A = W / V**

W = Ισχύς σε Watts (W)

V = Τάση σε Volts (V)

A = Ρεύμα σε Amperes (A)

Αν ξέρουμε την τάση, μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα, επειδή το πάνελ μας βγάζει 5V υπολογίζουμε το ρεύμα εξόδου:

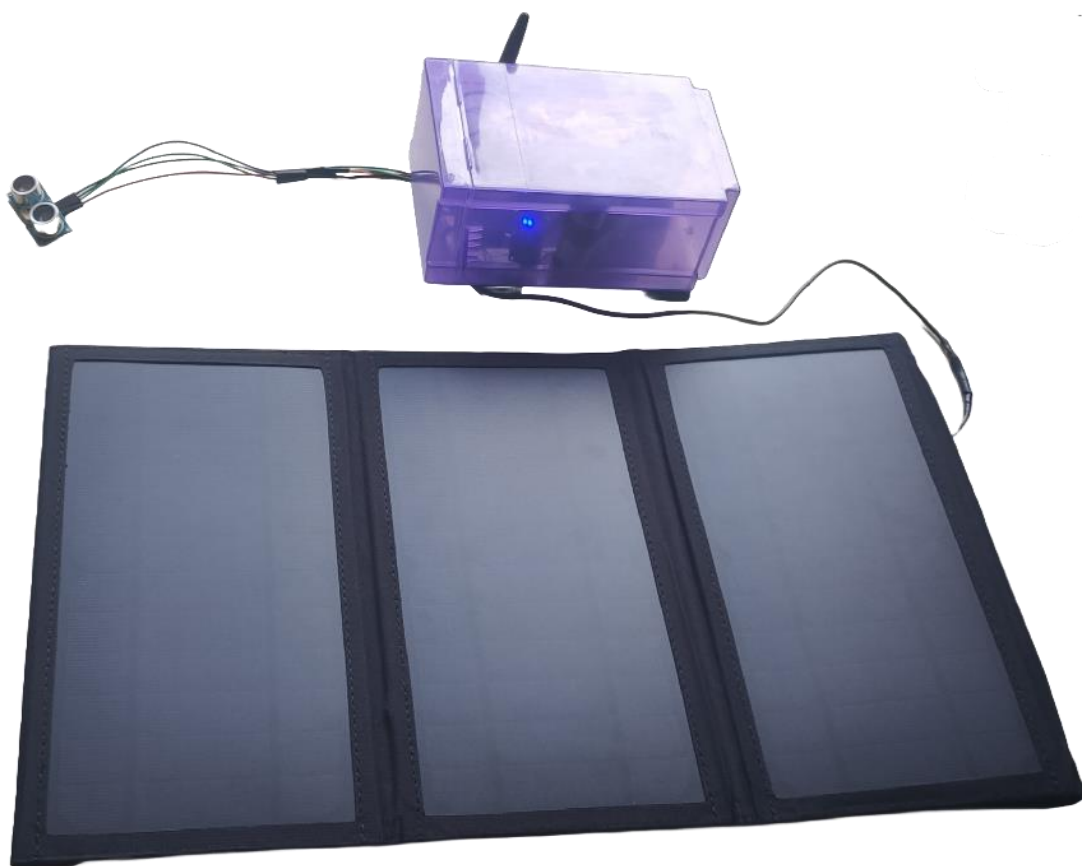
$$A = \frac{W}{V} = \frac{12.6}{5} = 2.52 \text{ A}$$

Επειδή το φωτοβολταϊκό μας έχει δυνατότητα εξόδου μέχρι 2.1 A οπότε θα λάβουμε υπόψη αυτή την τιμή. Η εκτιμώμενη ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος υπολογίστηκε βάσει των χαρακτηριστικών κατανάλωσης του μικροελεγκτή και των περιφερειακών συσκευών. Κατά μέσο όρο, η συσκευή καταναλώνει περίπου 30.26 mAh ανά ώρα, γεγονός που αντιστοιχεί σε ημερήσια κατανάλωση 726.24 mAh.

Το φωτοβολταϊκό πάνελ έχει θεωρητική δυνατότητα παραγωγής 2.1 A τάση και ρεύμα 5V. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συσκευή εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία για περίπου 7 ώρες ημερησίως και ότι έχει πραγματική ισχύ εξόδου 70% της ονομαστικής, η εκτιμώμενη ημερήσια φόρτιση υπολογίζεται ως εξής:

Ημερήσια Παραγωγή ενέργειας=2.1A×7h=14.7 Ah = 14.700 mAh.

Ας κάνουμε μια τελική αξιολόγηση της ενεργειακής αυτονομίας της συσκευής σου, συνδυάζοντας τους υπολογισμούς για την κατανάλωση και την παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό πάνελ. Παρατηρούμε ότι θα έχουμε ένα πλεόνασμα 14.700-726.24= **13.973 mAh** πλεόνασμα ενέργειας. Ακόμα και σε περίπτωση που παρατηρηθούν συννεφιά ή άλλες μεταβλητές συνθήκες που ενδέχεται να μειώσουν την αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού, το σύστημα εξακολουθεί να παραμένει ενεργειακά αυτοδύναμο, με αρκετό περιθώριο για να καλύψει τις ανάγκες του. ο σύστημα, με την τρέχουσα διαχείριση ενέργειας και την υποστήριξη του φωτοβολταϊκού πάνελ, όχι μόνο καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις του, αλλά παρέχει και σημαντικό πλεόνασμα ενέργειας, καθιστώντας το εξαιρετικά αποδοτικό και αυτόνομο. Παρακάτω βλέπουμε την τελική μας υλοποίηση.



Εικόνα 4-15 Τελική Υλοποίηση Έργου

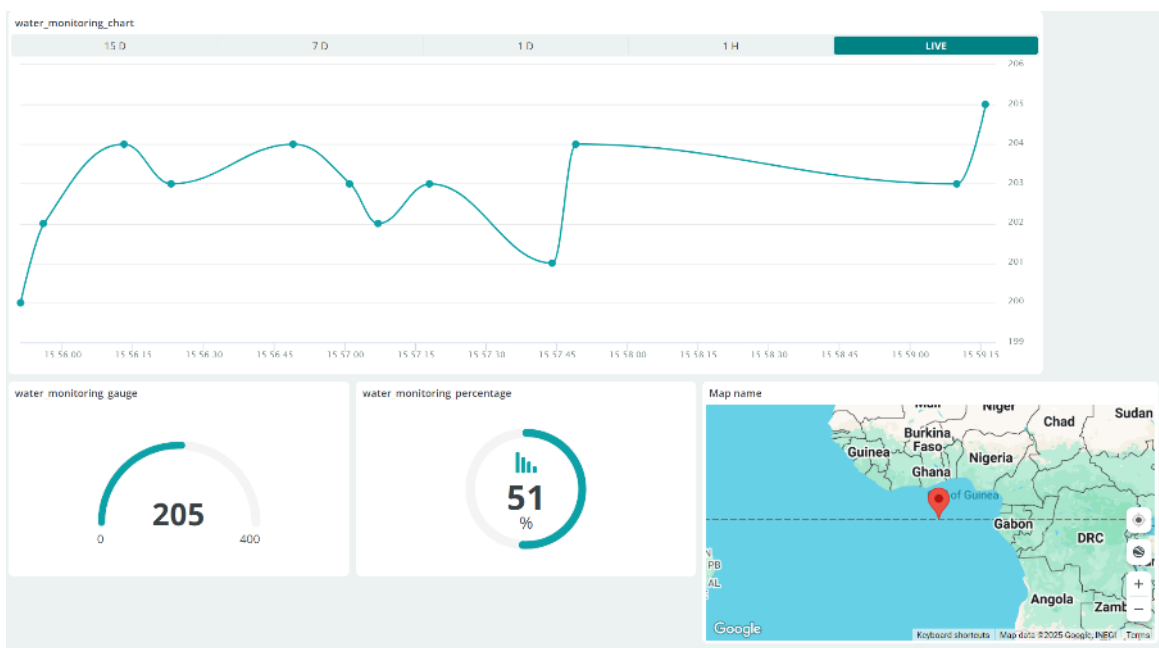
4.2.4 Αξιολόγηση Οπτικοποίησης Δεδομένων (Visualization)

Στην τρέχουσα φάση, αφού έχουμε ολοκληρώσει με επιτυχία τη σύνδεση του Arduino και την αποστολή των πρώτων δεδομένων, θα εξετάσουμε για την απόκτηση του στίγματος της δεξαμενής στον χάρτη μέσω του dashboard. Επιπλέον, η ανάλυση των δεδομένων σε βάθος χρόνου θα μας επιτρέψει να εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες και να κατανοήσουμε καλύτερα τη συμπεριφορά του συστήματος, βοηθώντας μας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και στην αποτελεσματική διαχείριση των πόρων.

GPS σημείου δεξαμενής

Η πλακέτα Arduino MKR NB 1500 δεν διαθέτει ενσωματωμένο GPS, καθώς προορίζεται κυρίως για εφαρμογές που απαιτούν σύνδεση μέσω του NB-IoT (Narrowband IoT) για επικοινωνία μέσω κινητών δικτύων. Αυτό την καθιστά ιδανική για αποστολή δεδομένων σε απομακρυσμένες περιοχές. Για να προσθέσετε GPS λειτουργικότητα στην πλακέτα σας, θα χρειαστείτε εξωτερικό GPS module, το οποίο συνδέεται με την πλακέτα μέσω των ακίδων Serial (ή I2C, αν υποστηρίζεται από το GPS). Τα πιο κοινά GPS modules είναι τα NEO-6M και NEO-M8N, τα οποία χρησιμοποιούν UART ή I2C για την επικοινωνία με την πλακέτα Arduino. Με την προσθήκη του εξωτερικού GPS module, μπορείτε να αποθηκεύσετε τις γεωγραφικές συντεταγμένες (latitude και longitude) και να τις στείλετε στο Arduino Cloud για να τις εμφανίσετε στο dashboard του συστήματός σας. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για την παρακολούθηση της ακριβούς θέσης των δεξαμενών νερού ή άλλων εξωτερικών συσκευών. Αν και το dashboard παρέχει τη δυνατότητα για αναπαράσταση των δεδομένων τοποθεσίας μέσω χάρτη, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι δεξαμενές νερού είναι σε σταθερά σημεία και, κατά συνέπεια, η ανάγκη για GPS λειτουργικότητα ενδέχεται να μην είναι άμεση. Τα δεδομένα σημείου που εμφανίζονται μέσω του Map widget του dashboard (Εικ. 4-16) είναι λανθασμένα, καθώς όπως αναφέραμε δεν υποστηρίζει τέτοια δυνατότητα.

Επομένως, αν δεν κρίνεται σημαντικό να καταγράφετε συνεχώς την ακριβή θέση της δεξαμενής, δεν είναι απαραίτητο να προσθέσετε ένα GPS module στην παρούσα φάση.



Εικόνα 4-16 Dashboard widgets με χρήση Map

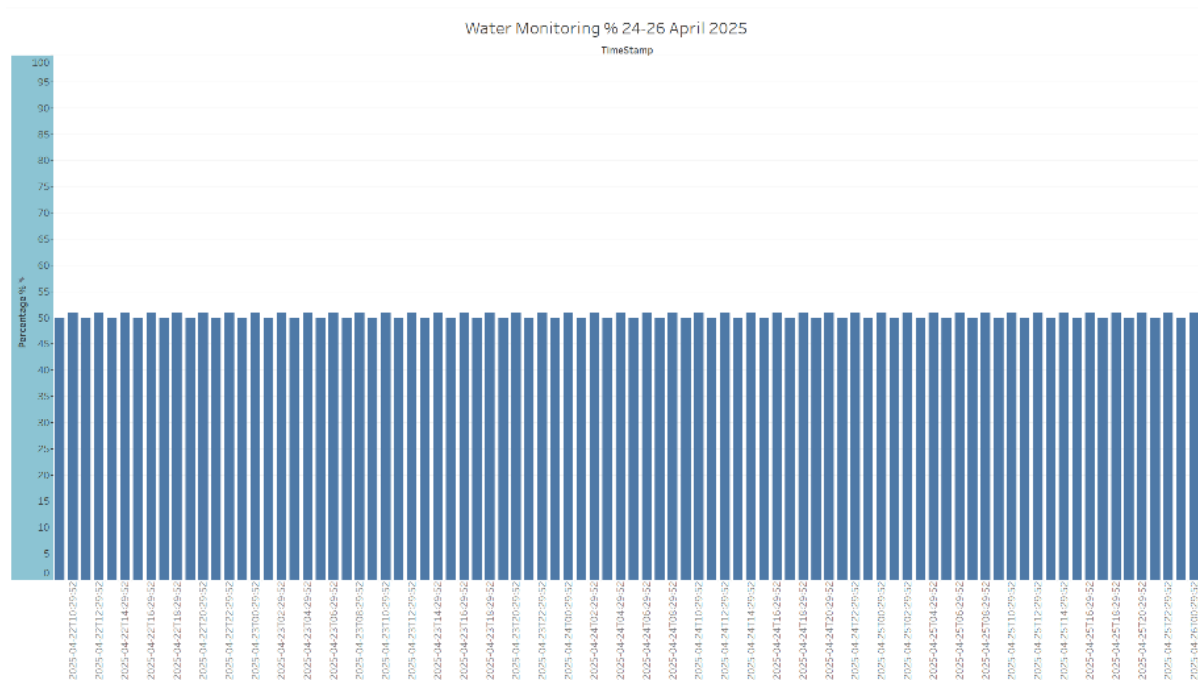
Ανάλυση Δεδομένων από το Arduino Cloud Dashboard

Μετά την επιτυχή σύνδεση του Arduino και την αποστολή των πρώτων δεδομένων στο Arduino Cloud Dashboard, η δυνατότητα εξαγωγής αυτών των δεδομένων σε μορφή αρχείου Excel (.csv) αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την περαιτέρω ανάλυση τους. Στην επάνω δεξιά γωνία του dashboard, υπάρχει η επιλογή εξαγωγής των δεδομένων σε αρχείο CSV, επιτρέποντας τη συγκέντρωση των μετρήσεων που είναι κρίσιμες για την ανάλυση της στάθμης του νερού ή του ποσοστού πλήρωσης των δεξαμενών.

Με την εξαγωγή αυτών των δεδομένων, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορα εργαλεία για την ανάλυση και την οπτικοποίηση τους όπως Excel/Google Sheet ή πιο προηγμένα εργαλεία όπως Tableau/PowerBi.

Αυτά τα δεδομένα καλύπτουν όλη την ημερομηνία από 22 Απριλίου έως 26 Απριλίου 2025, με τις χρονικές καταγραφές να είναι ακριβώς 1 ώρα η μία από την άλλη.

Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε το Tableau.



Εικόνα 4-17 Ανάλυση μετρήσεων μέσω Tableau

Ανάλυση Συμπερασμάτων από τα Δεδομένα

Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων στο Tableau διαπιστώθηκε η σταθερότητα των μετρήσεων κατά την τετραήμερη περίοδο καταγραφής. Οι τιμές του αισθητήρα κυμάνθηκαν σε στενό εύρος μεταξύ 50% και 51%, παρουσιάζοντας μικρές διακυμάνσεις της τάξεως του 1%, οι οποίες αποδίδονται σε φυσιολογικές αποκλίσεις λόγω των χαρακτηριστικών του μετρητή. Οι καταγραφές ανέδειξαν ότι το σύστημα παρακολούθησης λειτούργησε αξιόπιστα, διατηρώντας ακρίβεια τόσο ως προς τη χρονική συχνότητα των μετρήσεων όσο και ως προς τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων. Δεν παρατηρήθηκε ουσιαστική μεταβολή στη στάθμη του νερού κατά την περίοδο ανάλυσης, γεγονός που επιβεβαιώνει την ομαλή λειτουργία του συστήματος και την αξιοπιστία της μεθοδολογίας καταγραφής.

Η οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω του Tableau διευκόλυνε την άμεση αναγνώριση τυχόν τάσεων ή αποκλίσεων, ενισχύοντας τη δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης πιθανών ανωμαλιών και συμβάλλοντας στην αποτελεσματικότερη αξιολόγηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Επιπλέον, εργαλεία όπως το Tableau υποστηρίζουν την αναπαράσταση της θέσης των δεξαμενών στον χάρτη μέσω δεδομένων γεωγραφικού μήκους και πλάτους, παρέχοντας ευελιξία και ακρίβεια στην απεικόνιση των συσκευών. Τέλος, διαπιστώθηκε πόσο εύκολα μπορεί να αξιολογηθεί μια μέτρηση τετραημέρου μέσα από ένα απλό και κατανοητό γράφημα.

4.2.5 Αξιολόγηση Τελικής Υλοποίησης

Στο πλαίσιο της τελικής υλοποίησης εξετάστηκε η χρήση της πλατφόρμας Arduino MKR NB 1500, η οποία μέσω του δικτύου GSM απέστειλε μετρήσεις στάθμης υγρών από αποθετήρια/δεξαμενές προς το Arduino Cloud, σε χρονικό διάστημα ανά μία ώρα.

Αρχικά, είχε υλοποιηθεί δοκιμαστική λειτουργία βασισμένη στον συνδυασμό Arduino Uno R3 με GSM 900 Shield. Ωστόσο, μετά από συγκριτική αξιολόγηση, κρίθηκε ότι η λύση αυτή δεν ήταν κατάλληλη για την τελική εφαρμογή, κυρίως λόγω:

- Περιορισμένων δυνατοτήτων επικοινωνίας και σταθερότητας του GSM Shield σε πραγματικές συνθήκες,
- Υψηλότερης κατανάλωσης ρεύματος σε σχέση με τις απαιτήσεις αυτονομίας του συστήματος,
- Σημαντικού βάρους και μεγέθους, που δυσκόλευαν την ενσωμάτωσή του σε φορητή, αυτόνομη κατασκευή.

Η επιλογή του Arduino MKR NB 1500 αποτέλεσε τελικά την πλέον κατάλληλη λύση, προσφέροντας:

- Ενσωματωμένη δυνατότητα επικοινωνίας μέσω NB-IoT και GSM,
- Βελτιστοποιημένη κατανάλωση ενέργειας, κατάλληλη για τροφοδοσία μέσω φωτοβολταϊκού συστήματος,
- Μικρότερο φυσικό μέγεθος και βάρος, γεγονός που διευκόλυνε τη δημιουργία συμπαγούς και φορητής υλοποίησης.

Επίσης, η χρήση της πλακέτας εμφάνισε υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών, με επιτυχή αποστολή δεδομένων στο cloud χωρίς εμφανείς αποσυνδέσεις ή απώλειες πακέτων.

Αξιολόγηση Χρήσης Δεδομένων Κινητής Τηλεφωνίας

Η αξιολόγηση της κατανάλωσης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας κρίθηκε ως παράμετρος δευτερεύουσας σημασίας στο παρόν έργο, καθώς ο κύριος στόχος της ανάπτυξης του

συστήματος ήταν η επίτευξη αξιόπιστης και ενεργειακά αποδοτικής λειτουργίας της συσκευής μέτρησης. Πρωταρχικό μέλημα αποτέλεσε η αποτελεσματικότητα της υλοποίησης του έργου μας. Ωστόσο, προκειμένου να υπάρξει πλήρης αποτίμηση της λειτουργικότητας, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της κατανάλωσης δεδομένων που προκύπτει από τη χρήση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας μέσω της πλακέτας Arduino MKR NB 1500. Το σύστημα έχει ρυθμιστεί ώστε να εκτελεί μία μέτρηση ανά ώρα.

Η ποσότητα δεδομένων που μεταδίδεται σε κάθε αποστολή εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας και τη μορφοποίηση του μηνύματος. Σε τυπικές υλοποιήσεις με χρήση ελαφρών πρωτοκόλλων, όπως το MQTT, κάθε αποστολή εκτιμάται ότι καταναλώνει περίπου 200–500 bytes, περιλαμβανομένων των απαραίτητων επικεφαλίδων και λοιπών δεδομένων του δικτύου. Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο HTTP, η κατανάλωση αυξάνεται και μπορεί να φθάσει σε 1–2 kilobytes ανά αποστολή.

Δεδομένης της συχνότητας μίας αποστολής ανά ώρα (24 αποστολές ημερησίως) και της προσπάθειας να στείλει μία μέτρηση ξανά και ξανά λόγω κακών συνθηκών ή σήματος, η συνολική ημερήσια κατανάλωση υπολογίζεται μεταξύ 24 και 48 kilobytes. Σε μηνιαία βάση, αυτό αντιστοιχεί σε περίπου 720 kilobytes έως 1.5 megabyte.

Επομένως, κατά την περίοδο έξι μηνών, που αντιστοιχεί στη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου, η συνολική κατανάλωση εκτιμάται ότι κυμαίνεται από περίπου 4.3 megabyte έως 9 megabytes σε όλο το εξάμηνο, ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται και τις συνθήκες επικοινωνίας.

Παρατηρείται ότι μεγάλοι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας προσφέρουν ειδικές κάρτες SIM τύπου IoT/M2M, ειδικά σχεδιασμένες για τέτοιες εφαρμογές, γεγονός που διευκολύνει περαιτέρω την υλοποίηση, καθώς εξασφαλίζεται σταθερή συνδεσιμότητα με χαμηλό κόστος και χωρίς περιορισμούς όγκου δεδομένων που να επηρεάζουν το παρόν σύστημα.

Αξιολόγηση Ειδοποιήσεων Trigger Alarms

Στην περίπτωση του Arduino MKR NB 1500, η σύνδεση με το Arduino Cloud προσφέρει μία αξιόπιστη και άμεσα διαθέσιμη λύση για την παρακολούθηση των δεδομένων και την αποστολή ειδοποιήσεων μέσω του συστήματος ειδοποιήσεων (trigger alarms).

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η χρήση του Arduino Cloud για την αποστολή ειδοποιήσεων σε πραγματικό χρόνο απαιτεί συνήθως συνδρομή, προκειμένου να έχουμε πλήρη πρόσβαση στις δυνατότητες παρακολούθησης και ειδοποίησης. Η πληρωμή αυτή ενδέχεται να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για εφαρμογές που απαιτούν συχνές ειδοποιήσεις ή όταν ο προϋπολογισμός της εφαρμογής είναι περιορισμένος. Η συνδρομή αυτή, αν και απαραίτητη για την πλήρη λειτουργικότητα, μπορεί να επηρεάσει την οικονομική βιωσιμότητα της εφαρμογής, ειδικά σε περιπτώσεις μακροχρόνιας ή εκτεταμένης χρήσης. Το πακέτο του Arduino Cloud παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης πολλών IoT συσκευών, με μικρό κόστος συνδρομής, κάτι που το καθιστά πιο χρηστικό σε συστήματα με αρκετές συσκευές που απαιτούν παρακολούθηση. Παράλληλα, υπάρχουν και άλλες εφαρμογές, όπως το Blynk, το ThingSpeak, και το IFTTT, οι οποίες προσφέρουν παρόμοιες δυνατότητες ειδοποίησης και παρακολούθησης με μία αντίστοιχη συνδρομή. Παρά τις εναλλακτικές επιλογές, η χρήση του Arduino Cloud παραμένει προτιμότερη για την συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς προσφέρει απλότητα στη διαχείριση και άμεση σύνδεση με τις συσκευές, χωρίς να απαιτεί εκτενή ρυθμίσεις ή πολύπλοκες διασυνδέσεις.

Εναλλακτικές Λύσεις Παρακολούθησης χωρίς Συνδρομή

Σε περιπτώσεις εφαρμογών που περιλαμβάνουν παρακολούθηση πολλών αποθετηρίων νερού, όπως για παράδειγμα 100 δεξαμενές νερού, η πιο αποτελεσματική προσέγγιση για τη χειροκίνητη παρακολούθηση είναι η οργάνωση των δεδομένων σε dashboards που εμφανίζουν τη λειτουργία και τις μετρήσεις των συσκευών σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα dashboards θα παρέχουν στον χρήστη τη δυνατότητα να παρακολουθεί κάθε αποθετήριο ή αισθητήρα ξεχωριστά, δίνοντάς του μια ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης των συστημάτων παρακολούθησης. Σε αυτή την περίπτωση, ο χρήστης θα πρέπει να επισκέπτεται τα dashboards τουλάχιστον 2-3 φορές την ημέρα, για να ελέγξει τη λειτουργία των συσκευών και τις τυχόν αποκλίσεις στις μετρήσεις.

Για να διευκολυνθεί η διαδικασία παρακολούθησης, η σύνδεση των dashboards με εφαρμογές κινητού τηλεφώνου μπορεί να προσφέρει επιπλέον ευκολία. Με τη χρήση ειδικών εφαρμογών για κινητά, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί την κατάσταση των συστημάτων και των δεξαμενών νερού οπουδήποτε και οποιαδήποτε ώρα. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στον χρήστη να έχει άμεση πρόσβαση στις μετρήσεις και να παρακολουθεί την κατάσταση των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο, ενώ βρίσκεται εκτός του φυσικού

χώρου των αποθετηρίων. Παρόλο που η εφαρμογή κινητού εξασφαλίζει μεγαλύτερη ευχέρεια και ευκολία στην παρακολούθηση, δεν εξαλείφει την ανάγκη για περιοδική παρέμβαση και ελέγχους από τον χρήστη.

Παρόλο που η χειροκίνητη παρακολούθηση μέσω dashboards προσφέρει οικονομικότερη λύση σε σχέση με τις πληρωμένες υπηρεσίες, έχει σημαντικά μειονεκτήματα σε σχέση με τη μέθοδο των αυτοματοποιημένων ειδοποιήσεων. Ενώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να αντλεί πληροφορίες για την κατάσταση των συσκευών, αυτή η προσέγγιση απαιτεί τακτική και συχνή παρέμβαση. Συνεπώς, η αποδοτικότητα της μεθόδου εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα και την ακρίβεια των ελέγχων που πραγματοποιούνται από τον χρήστη.

Αντιθέτως, οι αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις σε συνδρομητικές πλατφόρμες παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ταχύτητα και την ακρίβεια των αντιδράσεων του συστήματος, αφού ενημερώνουν τον χρήστη άμεσα και αυτόματα για τυχόν προβλήματα, χωρίς να απαιτείται η τακτική παρέμβαση του. Αυτό επιτρέπει την πιο άμεση και αποτελεσματική αντίδραση σε περίπτωση ανωμαλιών.

Αξιολόγηση Ανάλυσης Δεδομένων

Η διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται από το σύστημα παρακολούθησης των δεξαμενών νερού έχει μεγάλη σημασία για την αξιολόγηση της μακροχρόνιας απόδοσης του συστήματος και των μεμονωμένων συσκευών. Οι αναλύσεις που γίνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ. σε λίγες ημέρες) ενδέχεται να μην παρέχουν την πλήρη εικόνα της λειτουργίας του συστήματος, καθώς οι μεταβλητές που επηρεάζουν τη λειτουργία του, όπως οι καιρικές συνθήκες και άλλες εξωτερικές παράμετροι, ενδέχεται να μην είναι ορατές σε μικρές χρονικές περιόδους. Όμως, όταν συλλέγονται δεδομένα από πολλαπλές δεξαμενές για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, όπως για παράδειγμα 100 δεξαμενές σε διάρκεια 6 μηνών, τα δεδομένα που προκύπτουν μπορούν να προσφέρουν πολύ πιο πολύτιμες και αξιόπιστες πληροφορίες.

Αξιολόγηση Αντοχής Συσκευών και Στοιχείων Συστήματος: Σε βάθος χρόνου, η ανάλυση των δεδομένων μπορεί να αποκαλύψει την αντοχή των συσκευών, όπως για παράδειγμα της πλακέτας και του μετρητή στάθμης νερού. Η συλλογή δεδομένων για

παρατεταμένες χρονικές περιόδους μας επιτρέπει να παρατηρήσουμε τις μακροπρόθεσμες φθορές ή τα προβλήματα που ενδέχεται να εμφανιστούν σε συγκεκριμένες συσκευές. Για παράδειγμα, αν η μείωση της απόδοσης παρατηρείται μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ή σε κάποιες συγκεκριμένες χρονικές στιγμές αυτό θα φανεί από τις μετρήσεις μας.

Εκτίμηση Επιπτώσεων Καιρικών Φαινομένων: Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που αποκαλύπτεται με την ανάλυση δεδομένων σε βάθος χρόνου είναι η επίδραση των καιρικών φαινομένων στις μετρήσεις. Για παράδειγμα, είναι σημαντικό να αξιολογηθεί αν υπερβολική ζέστη ή ακραία καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν τη στάθμη νερού ή την απόδοση των αισθητήρων. Σε πολλές περιπτώσεις, οι καιρικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν μεταβολές στη συμπεριφορά του συστήματος, όπως η αύξηση ή μείωση της στάθμης του νερού λόγω της εξάτμισης ή άλλων παραμέτρων. Η αναγνώριση αυτών των προτύπων και της σχέσης τους με τα καιρικά φαινόμενα βοηθά στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος και τη δυνατότητα πρόβλεψης μελλοντικών αλλαγών.

Εξαγωγή Πολυδιάστατων Συμπερασμάτων: Ενώ οι μετρήσεις από μια μόνο δεξαμενή σε σύντομο διάστημα μπορεί να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες, τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από πολλές δεξαμενές σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα επιτρέπουν τη δημιουργία πιο πολυδιάστατων συμπερασμάτων. Για παράδειγμα, μπορούμε να αναλύσουμε αν οι δεξαμενές που βρίσκονται σε περιοχές με υψηλότερες θερμοκρασίες ή αυξημένες βροχοπτώσεις παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά από εκείνες σε πιο ήπιες περιοχές. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη κατηγοριοποίηση των δεξαμενών και την ανάπτυξη ειδικών στρατηγικών συντήρησης για διαφορετικές περιοχές.

Η αξιολόγηση των δεδομένων σε μακροχρόνια βάση επιτρέπει τη δημιουργία ενός προγνωστικού μοντέλου για τη συμπεριφορά του συστήματος και την εκτίμηση του πότε και πού μπορεί να παρουσιαστούν προβλήματα. Αυτού του είδους η ανάλυση δεδομένων αποτελεί τη βάση για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος, τον εντοπισμό προβλημάτων και την καλύτερη διαχείριση των πόρων, καθιστώντας το σύστημα πιο αξιόπιστο και αποδοτικό στην παρακολούθηση και συντήρηση των δεξαμενών νερού.

5. Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα & Μελλοντικές Βελτιώσεις

Το σύστημα ανταποκρίθηκε πλήρως στις απαιτήσεις που τέθηκαν στην αρχή της ανάπτυξης και κατάφερε να εκπληρώσει τον κύριο στόχο του, παρέχοντας αξιόπιστες μετρήσεις και παρακολούθηση της στάθμης του νερού. Παρόλα αυτά, όπως είναι φυσικό σε κάθε τεχνολογική εφαρμογή, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης που θα επιτρέψουν στο σύστημα να γίνει ακόμα πιο αποδοτικό και αξιόπιστο σε βάθος χρόνου.

Χρήση Εξωτερικού Διακόπτη για Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση του Συστήματος

Η εισαγωγή ενός εξωτερικού διακόπτη, που θα επιτρέπει την άμεση ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του συστήματος χωρίς να χρειάζεται να ανοιχτεί το κουτί, αποτελεί μια σημαντική βελτίωση. Ένας τέτοιος διακόπτης, τοποθετημένος σε ένα πλαίσιο του κουτιού μας που έχει στεγανοποιηθεί, εξασφαλίζει ότι το σύστημα δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως η υγρασία ή η σκόνη. Επιπλέον, η δυνατότητα να επανεκκινείται το σύστημα εύκολα χωρίς να χρειάζεται να ανοιχτεί το κουτί είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη συντήρηση και την αξιοπιστία της συσκευής. Αυτός ο διακόπτης μπορεί να παρέχει ευχρηστία και να εξαλείψει τις δυσκολίες που προκύπτουν από την ανάγκη να ανοίγουμε το κουτί σε κάθε περίπτωση συντήρησης ή επανεκκίνησης του συστήματος.

Βελτίωση της Προστασίας του Αισθητήρα από την Υγρασία

Ο αισθητήρας, παρά την αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος του, δεν είναι αδιάβροχος, γεγονός που ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα όταν εκτίθεται σε υγρασία ή άλλους εξωτερικούς παράγοντες. Μια λύση σε αυτό το ζήτημα είναι η χρήση ενός ειδικού διαφανούς προστατευτικού καλύμματος (π.χ., από πλεξιγκλάς ή παρόμοιο υλικό), το οποίο θα προστατεύει τον αισθητήρα από τη υγρασία και τη σκόνη, χωρίς να εμποδίζει τη λειτουργία του. Αν και αυτή η προσθήκη θα μπορούσε να ενισχύσει τη διάρκεια ζωής και την αξιοπιστία του αισθητήρα, απαιτείται προσεκτική σχεδίαση και δοκιμές σε βάθος χρόνου για να διασφαλιστεί ότι το προστατευτικό υλικό δεν θα επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων και ότι θα παραμείνει λειτουργικό σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Βελτίωση των Μπαταριών

Όσον αφορά την ενέργεια του συστήματος, η χρήση μπαταριών με υψηλή χωρητικότητα υπήρξε ένας προληπτικός παράγοντας για να εξασφαλιστεί η μέγιστη αυτονομία του συστήματος, γεγονός που σίγουρα προσφέρει εκτεταμένη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, η χρήση τόσο μεγάλων μπαταριών, αν και προσφέρει μακροχρόνια αυτονομία, δεν είναι πάντα απαραίτητη, ειδικά όταν το σύστημα μπορεί να λειτουργεί για αρκετές εβδομάδες με μικρότερες μπαταρίες. Η μείωση του μεγέθους και της χωρητικότητας των μπαταριών θα είχε θετικά αποτελέσματα στον όγκο, το βάρος και το κόστος του συστήματος, χωρίς να θυσιάζεται σημαντικά η απόδοση. Η εφαρμογή μικρότερων μπαταριών θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα πιο κομψό, ευέλικτο και οικονομικότερο σύστημα, διατηρώντας ταυτόχρονα την αυτονομία για αρκετό χρονικό διάστημα.

Οι παραπάνω βελτιώσεις, εάν εφαρμοστούν, αναμένεται να οδηγήσουν σε ένα πιο λειτουργικό, ευέλικτο και ανθεκτικό σύστημα, το οποίο θα μπορεί να ανταπεξέλθει καλύτερα σε εξωτερικούς παράγοντες όπως η υγρασία, η σκόνη και οι καιρικές συνθήκες, ενώ παράλληλα θα προσφέρει μια πιο εύχρηστη και προσιτή εμπειρία για τον χρήστη. Η βελτίωση της ανθεκτικότητας και της ευχρηστίας θα συμβάλλει στην αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος, κάνοντάς το πιο αξιόπιστο και εύκολο στην καθημερινή χρήση.

Βέβαια, οι δοκιμές του συστήματος σε βάθος χρόνου θα είναι κρίσιμες για να εκτιμήσουμε πλήρως την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητα του. Μέσω αυτών, θα κατανοήσουμε καλύτερα τις πραγματικές ανάγκες του χρήστη και θα εντοπίσουμε περιοχές όπου το σύστημα μπορεί να βελτιωθεί. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι δοκιμές σε βάθος χρόνου θα αποκαλύψουν επιπλέον βελτιώσεις και βελτιστοποιήσεις που δεν μπορούμε αυτή τη στιγμή να προβλέψουμε.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, μπορούμε να αναμένουμε ότι οι λύσεις που σήμερα θεωρούμε πρωτοποριακές και καινοτόμες, στο άμεσο μέλλον θα γίνουν καθιερωμένες και θα συμβάλουν στο να απλοποιηθούν τα πράγματα για τον χρήστη. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας προσφέρει νέες δυνατότητες, οι οποίες καθιστούν τα συστήματα ακόμα πιο ευέλικτα, προσαρμοστικά και ανθεκτικά. Με αυτή την πρόοδο, όχι μόνο θα επιτύχουμε καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη αξιοπιστία, αλλά θα έχουμε επίσης τη δυνατότητα να προσαρμόσουμε το σύστημα στις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της αγοράς και των χρηστών.

Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές (πηγές) της Εργασίας.

1. **Petros Xepapadeas, Kostantinos Douvis, Ioannis Kapsomenakis, Anastasios Xepapadeas, and Christos Zerefos (2024).** *Wildfires, Vulnerability, and Climate Change: Methodology and Application to the Regions of Greece*. Ανάκτηση από: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4822>
2. **Wu, J., Mao, J., Hu, J., & Shu, X. (2022).** *Monitoring and prediction of fire water system based on wireless detection method*. Department of Engineering Physics, Tsinghua University. Ανάκτηση από: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-022-01235-0#Sec2>
3. **ÇAĞRI ÖZKAN (2017).** *Water level tracking system by using online Arduino*. School of Applied Sciences of Near East University-Nicosia. Ανάκτηση από: <https://docs.neu.edu.tr/library/6518892430.pdf>
4. **Min-Allah, N., Saeed, S., Iqbal, S. Z., Ahmed, R., & Jan, F. (2022).** *IoT-Based Solutions to Monitor Water Level, Leakage, and Motor Control for Smart Water Tanks*. Ανάκτηση από: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/309>
5. **Pereira, T. S. R., Carvalho, T. P. de, Mendes, T. A., & Formiga, K. T. M. (2022).** *Evaluation of water level in flowing channels using ultrasonic sensors*. Ανάκτηση από: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5512>
6. **Arduino. (n.d.).** *Arduino docs LoRaWAN 101*. Ανάκτηση από: <https://docs.arduino.cc/learn/communication/lorawan-101/>
7. **Arduino. (n.d.).** *Power Alternatives for Arduino Boards*. Ανάκτηση από: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/power-pins/>
8. **Arduino. (n.d.).** *Power Consumption on Arduino Boards*. Ανάκτηση από: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/power-consumption/>
9. **Pi Dramble. (n.d.).** *Power consumption benchmarks*. Ανάκτηση από: <https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption>
10. **Bekaroo, G., & Santokhee, A. (2016).** *Power consumption of the Raspberry Pi: A comparative analysis*. Ανάκτηση από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8663033>

11. **Arduino Cloud Security Considerations (2024).** Ανάκτηση από:
<https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/business/security-considerations/>
 12. **Ubidots Security Considerations. (2024).** Ανάκτηση από:
<https://help.ubidots.com/en/articles/889691-security-is-ubidots-secure>
 13. **Douflias Yannis (2023).** *Arduino Uno Introduction.* Ανάκτηση από
<https://douflias.sites.sch.gr/arduino-uno-intro2/>
-
13. **Aquastar. (2024).** *Φωτογραφία: Αποθέματα νερού για πυρόσβεση και συντήρηση συστημάτων αποθήκευσης νερού.*
Ανάκτηση από: <https://www.aquastar.gr/pages/water-tanks.php>
 14. **Fire Water Tanks in Xanthi-Greece. (2024).** *Φωτογραφία: Water Tanks for Firefighting.* Ανάκτηση από: <https://www.fonitixanthis.gr/2024/08/08/egkatastasi-ydatodexamenon-pyrosvesis-pou-echoun-topothetithei-entos-dason-kai-dasikon-ektaseon-periochis-armodiotitas-tis-dasikis-ypiresias-xanthis-2/>
 15. **ArduinoGetStarted. (n.d.).** *Φωτογραφία: Arduino water sensor.* Ανάκτηση από:
<https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-water-sensor>
 16. **ArduinoGetStarted. (n.d.).** *Φωτογραφία: Arduino temperature & humidity sensor.*
Ανάκτηση από: <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-temperature-humidity-sensor>
 17. **ArduinoGetStarted. (n.d.).** *Φωτογραφία: Arduino Ultrasonic sensor.* Ανάκτηση από:
<https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-ultrasonic-sensor>
 18. **Newbiely. (n.d.).** *Φωτογραφία: Raspberry Pi water sensor.* Ανάκτηση από:
<https://newbiely.com/tutorials/raspberry-pi/raspberry-pi-water-sensor>
 19. **Newbiely. (n.d.).** *Φωτογραφία: Raspberry Pi temperature & humidity sensor with OLED.* Ανάκτηση από: <https://newbiely.com/tutorials/raspberry-pi/raspberry-pi-temperature-humidity-sensor-oled>
 20. **Newbiely. (n.d.).** *Φωτογραφία: Raspberry Pi Ultrasonic sensor.* Ανάκτηση από:
<https://newbiely.com/tutorials/raspberry-pi/raspberry-pi-ultrasonic-sensor>

21. **Pija Education. (n.d.).** Φωτογραφία: *Float Switch*. Ανάκτηση από: <https://pijaeducation.com/arduino/sensor/float-switch/>
22. **Grobotronics. (n.d.).** Φωτογραφία: *Arduino μοντέλα/GSM/Lead-Acid Battery*. Ανάκτηση από: <https://grobotronics.com>
23. **Hellas Digital. (n.d.).** Φωτογραφία: *US-100 Ultrasonic Sensor Module*. Ανάκτηση από: <https://www.hellasdigital.gr/electronics/sensors/ultrasonic/us-100-ultrasonic-sensor-module-with-temperature/?sl=en>
24. **ArduPilot. (n.d.).** Φωτογραφία: *JSN-SR04T Ultrasonic Sensor*. Ανάκτηση από: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-jsn-sr04t.html>
25. **Parallax. (n.d.).** Φωτογραφία: *Ping))) Ultrasonic Distance Sensor*. Ανάκτηση από: <https://www.parallax.com/product/ping-ultrasonic-distance-sensor/>
26. **MaxBotix Inc. (n.d.).** Φωτογραφία: *LV-MaxSonar Ultrasonic Sensor*. Ανάκτηση από: <https://www.directindustry.com/prod/maxbotix-inc/product-200035-2241231.html>
27. **Last Minute Engineers. (n.d.).** Φωτογραφία: *SIM800L GSM Module*. Ανάκτηση από: <https://lastminuteengineers.com/sim800l-gsm-module-arduino-tutorial/>
28. **Hellas Digital. (n.d.).** Φωτογραφία: *SIM900a Module for Arduino*. Ανάκτηση από: <https://www.hellasdigital.gr/electronics/transceivers-and-communications/sim900-v4-0-kit-wireless-extension-gsm-module-for-arduino/>
29. **Douflias, A. (n.d.).** Φωτογραφία: *Arduino Uno Architecture*. Ανάκτηση από: <https://douflias.sites.sch.gr/arduino-uno-intro2/>
30. **Klikit. (n.d.).** Φωτογραφία: *Ρυθμιστής φόρτισης μπαταριών με LCD οθόνη για φωτοβολταϊκά συστήματα PWM SCC 20AH 12/24V Dual USB*. Ανάκτηση από: <https://klikit.gr/eshop/products/rithmistis-fortisis-mpatarion-me-lcd-othoni-gia-fotovoltaika-sistimata-pwm-scc-20ah-12-24v-dual-usb>
31. **Ubidots. (n.d.).** Connect an Arduino UNO + GPRS Shield to Ubidots over TCP/UDP. Ανάκτηση από: <https://help.ubidots.com/en/articles/513320-connect-an-arduino-uno-gprs-shield-to-ubidots-over-tcp-udp>
32. **Ubidots. (n.d.).** Ubidots Arduino GPRS Library and Examples [GitHub repository]. Ανάκτηση από: <https://github.com/ubidots/ubidots-arduino-gprs>

Παράρτημα Α:

```
1 //Κώδικας για Ultrasonic Sensor HC-SR04
2
3 int triggerPin = 9; // Ακροδέκτης για το trigger (Pin 9)
4 int echoPin = 10; // Ακροδέκτης για το echo (Pin 10)
5
6 long duration;
7 int distanceCm;
8 float distanceMeters; // Χρησιμοποιούμε float για μεγαλύτερη ακρίβεια στα μέτρα
9
10 long readUltrasonicDistance(int triggerPin, int echoPin) {
11
12     pinMode(triggerPin, OUTPUT); // Ο trigger pin είναι εξόδου
13     digitalWrite(triggerPin, LOW); // Κατεβάζουμε το trigger pin για μηδενισμό
14     delayMicroseconds(2); // Καθυστερήση 2μs
15
16     digitalWrite(triggerPin, HIGH); // Ανεβάζουμε το trigger pin για 10μs
17     delayMicroseconds(10);
18     digitalWrite(triggerPin, LOW); // Κατεβάζουμε το trigger pin
19
20     pinMode(echoPin, INPUT); // Ο echo pin είναι εισόδου
21     duration = pulseIn(echoPin, HIGH); // Μετράμε το χρόνο που χρειάζεται
22     //για την ανακλασμένη ώθηση
23
24     return duration;
25 }
26
27 void setup() {
28     Serial.begin(9600); // Ενεργοποιούμε τη σειριακή επικοινωνία
29 }
30
31 void loop() {
32     duration = readUltrasonicDistance(triggerPin, echoPin); // Διαβάζουμε την απόσταση
33
34
35     distanceCm = duration * 0.0344 / 2; // Υπολογίζουμε την απόσταση σε εκατοστά (cm)
36     // από τον χρόνο επιστροφής της ώθησης
37
38     distanceMeters = distanceCm / 100.0; // Υπολογίζουμε την απόσταση σε μέτρα
39     // (1 μέτρο = 100 εκατοστά)
40
41     // Εκτυπώνουμε τις τιμές
42     Serial.print("Distance: ");
43     Serial.print(distanceMeters); // Απόσταση σε μέτρα
44     Serial.print(" m, ");
45     Serial.print(distanceCm); // Απόσταση σε εκατοστά
46     Serial.println(" cm");
47
48     delay(500); // Καθυστερήση 500ms πριν τη μέτρηση της επόμενης απόστασης
49 }
50
```

Παράρτημα Β:

```
1 //Κώδικας για GSM Shield 900
2
3 #include <ArduinoIoTCloud.h> // Βιβλιοθήκη για Arduino Cloud
4 #define TRIGGER_PIN 10      // Trigger του αισθητήρα HC-SR04
5 #define ECHO_PIN 9         // Echo του αισθητήρα HC-SR04
6 #define TX_PIN 8           // TX του GSM Shield
7 #define RX_PIN 7           // RX του GSM Shield
8 SoftwareSerial GSM_SERIAL(RX_PIN, TX_PIN); // Δημιουργία Software Serial
9
10 float liquidLevel; // Στάθμη υγρού
11 long duration;     // Διάρκεια παλμού από τον αισθητήρα
12
13 const int lowLevelThreshold = 5; // Όριο χαμηλής στάθμης
14 const char phoneNumber[] = "+30xxxxxxxxxx"; // Αριθμός παραλήπτη
15
16 void setup() {
17     Serial.begin(9600); // Εκκίνηση σειριακής για debugging
18     GSM_SERIAL.begin(9600); // Εκκίνηση GSM Shield
19
20     pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT); // Ορισμός Trigger ως έξοδο
21     pinMode(ECHO_PIN, INPUT); // Ορισμός Echo ως είσοδο
22
23     setupGSM(); // Πύθμιση GSM Shield
24 }
25
26 void loop() {
27     liquidLevel = measureLiquidLevel(); // Μέτρηση στάθμης υγρού
28
29     Serial.print("Στάθμη Υγρού: ");
30     Serial.print(liquidLevel);
31     Serial.println(" cm");
32
33     // Αν η στάθμη είναι κάτω από το όριο, στέλνουμε SMS
34     if (liquidLevel < lowLevelThreshold) {
35         sendSMS("ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ! Η στάθμη του υγρού είναι χαμηλή: " + String(liquidLevel) + " cm");
36     }
37
38     delay(5000); // Αναμονή 5 δευτερολέπτων
39 }
40
41 float measureLiquidLevel() {
42     // Ενεργοποίηση αισθητήρα HC-SR04
43     digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
44     delayMicroseconds(2);
45     digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
46     delayMicroseconds(10);
47     digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
48
49     // Υπολογισμός απόστασης από τον αισθητήρα
50     duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
51     float distanceCm = duration * 0.0344 / 2;
52     return distanceCm; // Επιστροφή απόστασης
53 }
54
55 void setupGSM() {
56     Serial.println("Πύθμιση GSM Shield...");
57     delay(1000);
58
59     GSM_SERIAL.println("AT"); // Έλεγχος επικοινωνίας
60     delay(1000);
61     GSM_SERIAL.println("AT+CMGF=1"); // Πύθμιση για SMS
62     delay(1000);
63     Serial.println("GSM Shield έτοιμο");
64 }
```

```
65
66 void sendSMS(String message) {
67   Serial.println("Αποστολή SMS...");
68   GSM_SERIAL.print("AT+CMGS=\"");
69   GSM_SERIAL.print(phoneNumber);
70   GSM_SERIAL.println("\"");
71   delay(100);
72   GSM_SERIAL.println(message);
73   delay(100);
74   GSM_SERIAL.write(26); // CTRL+Z για αποστολή
75   delay(5000);
76   Serial.println("Το SMS εστάλη!");
77 }
78
79
```

Παράρτημα Γ:

UltraSonic_sensor.ino ●

```
1  #include <Ubidots.h> // Βιβλιοθήκες
2
3  // Πληροφορίες GPRS
4  const char *APN = "internet.vodafone.gr"; // Το APN σου (για παράδειγμα Vodafone)
5  const char *USER = ""; // Άφησέ το κενό αν δεν απαιτείται χρήστης
6  const char *PASS = ""; // Άφησέ το κενό αν δεν απαιτείται κωδικός
7  const char *TOKEN = "BBUS-6dPL7f1e64RvibGzo5CAkpdMG7ZPML"; // Το Token σου από το Ubidots
8  const char *DEVICE_LABEL = "device"; // Το API label του device σου στο Ubidots
9  const char *VARIABLE_LABEL = "water_monitor"; // Το API label του variable που θέλεις να παρακολουθήσεις
10
11 Ubidots client(TOKEN, APN, USER, PASS); // Δημιουργία αντικειμένου Ubidots με τα δεδομένα σύνδεσης
12
13 void setup() {
14   Serial.begin(9600); // Ξεκινάει την επικοινωνία με το Serial Monitor
15   client.setDebug(true); // Ρύθμιση για εμφάνιση μηνυμάτων αποσφαλμάτωσης
16 }
17
18 void loop() {
19   float value = analogRead(A0); // Ανάγνωση αναλογικής τιμής από την είσοδο A0
20   client.add(VARIABLE_LABEL, value); // Προσθήκη της τιμής στο Ubidots μέσω του κατάλληλου variable
21
22   if(client.send()){ // Αποστολή των δεδομένων στο Ubidots
23     Serial.println("Τα δεδομένα εστάλησαν επιτυχώς στο Ubidots!"); // Μήνυμα επιτυχίας
24   } else {
25     Serial.println("Σφάλμα στην αποστολή των δεδομένων στο Ubidots."); // Μήνυμα σφάλματος
26   }
27
28   delay(5000); // Καθυστέρηση 5 δευτερολέπτων πριν την αποστολή νέων δεδομένων
29 }
```


Παράρτημα Δ:

```

Untitled_apr24a.ino  README.adoc  arduino_secrets.h  thingProperties.h  ▢
1  #include "thingProperties.h"
2
3  // Ορισμός των ακίδων για τον αισθητήρα υπερήχων (HC-SR04)
4  #define TRIG_PIN 2 // Ακίδα TRIG συνδέεται με το D2
5  #define ECHO_PIN 3 // Ακίδα ECHO συνδέεται με το D3
6
7  // Μέγιστο ύψος δεξαμενής σε εκατοστά (προσαρμόστε ανάλογα με τις ανάγκες σας)
8  #define MAX_TANK_HEIGHT_CM 400
9
10 void setup() {
11   Serial.begin(9600); // Εκκίνηση της σειριακής επικοινωνίας για αποσφαλμάτωση
12   delay(1500); // Χρόνος αναμονής για τη σύνδεση του συστήματος
13
14   pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT); // Ορισμός της ακίδας TRIG ως έξοδο
15   pinMode(ECHO_PIN, INPUT); // Ορισμός της ακίδας ECHO ως είσοδο
16
17   initProperties(); // Αρχικοποίηση των χαρακτηριστικών για την αποστολή στο Arduino Cloud
18   ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection); // Σύνδεση με το Arduino Cloud
19
20   setDebugMessageLevel(2); // Ενεργοποίηση επιπέδου αποσφαλμάτωσης για εκτύπωση επιπλέον μηνυμάτων
21   ArduinoCloud.printDebugInfo(); // Εκτύπωση επιπλέον πληροφοριών αποσφαλμάτωσης
22 }
23
24 void loop() {
25   ArduinoCloud.update(); // Ενημέρωση των χαρακτηριστικών στο Arduino Cloud
26
27   // Ενεργοποίηση του αισθητήρα υπερήχων για να ξεκινήσει η μέτρηση
28   digitalWrite(TRIG_PIN, LOW); // Απενεργοποιούμε το TRIG για λίγα μικροδευτερόλεπτα
29   delayMicroseconds(2); // Αναμονή
30   digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH); // Ενεργοποιούμε το TRIG για 10μs
31   delayMicroseconds(10); // Αναμονή
32   digitalWrite(TRIG_PIN, LOW); // Απενεργοποιούμε ξανά το TRIG
33
34   // Υπολογισμός της διάρκειας του παλμού από την ακίδα ECHO
35   long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH); // Ανάγνωση του χρόνου που επιστρέφει ο ήχος
36   int distance = duration * 0.034 / 2; // Υπολογισμός απόστασης σε εκατοστά (0.034 είναι η ταχύτητα του ήχου)
37
38   // Έλεγχος εγκυρότητας της μέτρησης (π.χ., αν η απόσταση είναι εκτός των ορίων)
39   if (distance < 0 || distance > MAX_TANK_HEIGHT_CM) {
40     Serial.print("Μη έγκυρη μέτρηση: ");
41     Serial.print(distance);
42     Serial.println(" cm ❌ Δεν αποστέλλεται στο Cloud.");
43     return; // Επιστρέφουμε αν η μέτρηση είναι μη έγκυρη
44   }
45
46   // Υπολογισμός του ύψους του νερού με βάση την απόσταση από τον αισθητήρα
47   int waterHeight = MAX_TANK_HEIGHT_CM - distance; // Υπολογίζουμε το ύψος του νερού (μέγιστο ύψος - απόσταση)
48   float waterHeight_m = waterHeight / 100.0; // Μετατροπή σε μέτρα για καλύτερη αναγνωσιμότητα
49
50   // Αποστολή του ύψους του νερού στην πλατφόρμα Arduino IoT Cloud
51   water_monitoring_thing = waterHeight; // Αποστολή δεδομένων στο cloud (σε εκατοστά)
52
53   // Εκτύπωση των αποτελεσμάτων στο Serial Monitor
54   Serial.print("Έγκυρη μέτρηση: ");
55   Serial.print(distance);
56   Serial.print(" cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: ");
57   Serial.print(waterHeight);
58   Serial.print(" cm (");
59   Serial.print(waterHeight_m, 2); // Εκτύπωση σε μέτρα με 2 δεκαδικά ψηφία
60   Serial.println(" m)");
61
62   delay(5000); // Αναμονή 5 δευτερολέπτων πριν την επόμενη μέτρηση
63 }
64
65 // Αυτή η συνάρτηση καλείται όταν αλλάζει η τιμή του "water_monitoring_thing" από το Cloud
66 void onWaterMonitoringThingChange() {
67   // Στην περίπτωση μας, δεν κάνουμε κάτι όταν αλλάξει η τιμή από το Cloud
68 }
69

```

Παράρτημα Ε:

```
1  #include "thingProperties.h"
2
3  #define TRIG_PIN 2
4  #define ECHO_PIN 3
5
6  #define MAX_TANK_HEIGHT_CM 400
7
8  void setup() {
9      Serial.begin(9600);
10     delay(1500);
11
12     pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
13     pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
14
15     initProperties();
16     ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
17
18     setDebugMessageLevel(2);
19     ArduinoCloud.printDebugInfo();
20 }
21
22 void loop() {
23     ArduinoCloud.update();
24
25     measureWaterLevel();
26
27     delay(5000); // Μέτρα κάθε 5 δευτερόλεπτα
28 }
29
30 void measureWaterLevel() {
31     // Στείλε παλμό μέτρησης
32     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
33     delayMicroseconds(2);
34     digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
35     delayMicroseconds(10);
36     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
37
38     long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
39     int distance = duration * 0.034 / 2;
40 }
```

```
41     if (distance < 0 || distance > MAX_TANK_HEIGHT_CM) {
42         Serial.print("Μη έγκυρη μέτρηση: ");
43         Serial.print(distance);
44         Serial.println(" cm - Δεν αποστέλλεται στο Cloud.");
45         return;
46     }
47
48     // Ό,τι βλέπει ο αισθητήρας, αυτό είναι το ύψος του ΝΕΡΟΥ
49     int waterHeight = distance;
50
51     waterHeight = MAX_TANK_HEIGHT_CM - distance;
52
53     float waterHeight_m = waterHeight / 100.0;
54     int fillPercentage = (waterHeight * 100) / MAX_TANK_HEIGHT_CM;
55
56     // Ενημέρωση μεταβλητών Cloud
57     water_height_cm = waterHeight;
58     water_fill_percentage = fillPercentage;
59
60     Serial.print("Έγκυρη μέτρηση: ");
61     Serial.print(distance);
62     Serial.print(" cm από αισθητήρα | Ύψος νερού: ");
63     Serial.print(waterHeight);
64     Serial.print(" cm (");
65     Serial.print(waterHeight_m, 2);
66     Serial.print(" m) | Ποσοστό πλήρωσης: ");
67     Serial.print(fillPercentage);
68     Serial.println("%");
69 }
70
71 void onWaterFillPercentageChange() {
72     // Δεν κάνουμε τίποτα όταν αλλάζει από το cloud
73 }
74
75 void onWaterHeightCmChange() {
76     // Δεν κάνουμε τίποτα όταν αλλάζει από το cloud
77 }
78
```

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.