



UNIVERSITY OF THE
ΑΕΓΕΑΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

Σεπτέμβριος 2026

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Σχεδίαση / Υλοποίηση Συστήματος
Παρακολούθησης Νερού Χαμηλού
Κόστους Βασισμένου στο IoT για Οικιακή
Ανίχνευση Διαρροών – Εξοικονόμηση,
Ηλεκτρική Προστασία Διαρροών
Θερμοσίφωνα

Επιβέπων: Καπόρης Αλέξιος

Μαγδανοζίδης Δημήτριος

Table of Contents

Περίληψη	3
Εισαγωγή.....	4
1. Εισαγωγή στην Έξυπνη Διαχείριση του Νερού	5
1. Η Παγκόσμια Κρίση του Νερού: Μια Επιτακτική Ανάγκη	5
1.1 Φυσική Κατανομή.....	5
1.2 Οικονομική Αναποτελεσματικότητα και NRW	5
1.3 Η Κλιματική Αλλαγή	6
2. Η Πρόκληση του Νερού	7
2.1 Οικιακή Χρήση	7
2.2 Συμπεριφορά και Πρότυπα Κατανάλωσης	7
2.3 Ο Σωρευτικός Αντίκτυπος.....	7
3. Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων	8
3.1 Ο ορισμός της Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων	8
3.2 Ιστορική Εξέλιξη της Διαχείρισης Υδάτων στην Ελλάδα.....	8
3.3 Βασικές Αρχές της Έξυπνης Διαχείρισης Νερού.....	8
3.3.1 Λήψη Αποφάσεων Βασισμένη σε Δεδομένα	9
3.3.2 Προληπτική Συντήρηση	9
3.3.3 Συμμετοχή Καταναλωτών	9
3.3.4 Ενσωμάτωση και Βελτιστοποίηση Συστημάτων.....	10
3.3.5 Προσαρμογή της Διακυβέρνηση	10
3.4 Τεχνολογικά Θεμέλια	10
3.5 Ο σύνδεσμος νερού-ενέργειας	10
4. Κανονιστικό και Πολιτικό Πλαίσιο	12
4.1 Διεθνή Πλαίσια	12
4.2 Περιφερειακές και Εθνικές Πρωτοβουλίες.....	12
4.3 Οικονομικά Μοντέλα	13
5. Το Ψηφιακό Κενό στη Διαχείριση Υδάτων	14
5.1 Χωροταξικό χάσμα.....	14
5.2 Κοινωνικοοικονομικές Ανισότητες	15
5.3 Αντιμετώπιση ζητημάτων ισότητας.....	15
6. Μελλοντικές Κατευθύνσεις	15
6.1 Έξυπνες Πόλεις και Κυκλική Οικονομία.....	15
6.2 Συλλογική Συμμετοχή.....	16
6.3 Ψηφιοποίηση & Ανάλυση δεδομένων.....	16

7. Διαχωρισμός Συστημάτων	17
7.1 Οικιακά συστήματα	17
7.2 Εταιρίες Κοινής Ωφέλειας	17
8. Θέση και Συνεισφορά της Διατριβής	17
8.1 Πρόσβαση στην Τεχνολογία	18
8.2 Συμβολή σε Ευρύτερους Στόχους Βιωσιμότητας	18
8.3 Επεκτασιμότητα και Αναπαραγωγή	18
9: Υλικά.....	19
9.1 Τεχνολογικά - τεχνικά	19
9.2: Εργαλεία εξοπλισμός	21
10 Συνδεσμολογία.....	22
10.1 Υδραυλικά	22
10.2 Ηλεκτρονικά.....	22
10.3 Προγραμματισμός	25
11 Πρόγραμμα Εύρεσης Διαρροής.....	27
11.1 Περιγραφή.....	27
11.2.1 Εκτέλεση Προγράμματος Τερματικού	29
11.2.2 Εκτέλεση Ιστοσελίδας	32
12 Πρόγραμμα υλοποίησης σεναρίων	33
12.1 Περιγραφή Προγράμματος	33
12.1.1 Διάγραμμα ροής δεδομένων.	33
12.2 Σενάριο υπερβολικής χρήσης.....	33
12.3 Σύστημα παρακολούθησης ρουτίνας φροντίδας ηλικιωμένων	34
12.4 Διαχείριση ενοικιαζόμενων μονάδων.....	35
12.5 Περιγραφή Ιστοσελίδας	36
12.6 Περιθώρια βελτίωσης	38
13. Πείραμα Ανίχνευσης Διαρροής Ηλεκτρικού Ρεύματος σε Σωλήνα Νερού Πλήρης Ανασκόπηση Πειράματος	39
14. Συμπέρασμα	41
14.1 Σύνοψη Συνεισφορών	41
14.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	42
14.3 Περιορισμοί.....	42
14.4 Συμβολή στη Βιωσιμότητα	42
14.5 Μελλοντικές Εργασίες	42
14.6 Τελικές Παρατηρήσεις	43

Πίνακας Συντομογραφιών.....	44
Key Citations:	45

Περίληψη

Η παγκόσμια κρίση του Non-Revenue Water (NRW), αναφέρει ότι το 30-35% του νερού που παράγεται, επεξεργάζεται και διοχετεύεται στο δίκτυο του νερού κυρίως χάνεται εξαιτίας φυσικών και εμπορικών λόγων. Έτσι ανεβαίνει ο βαθμός δυσκολίας για την επίτευξη του Στόχου 6 του προγράμματος Βιώσιμη Ανάπτυξη του ΟΗΕ (link 9). Όπως αναφέρει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (link 5) η ζήτηση θα ξεπεράσει την προσφορά κατά 40% από το 2030. Επιπλέον, τα νοικοκυριά καλούνται να καλύψουν ένα πρόσθετο κόστος καθώς από την κακή χρήση του νερού αλλά και από διαρροές, όπου φαίνεται να χάνονται ετησίως κατά μέσο όρο 38 κυβικά νερού ανά σπίτι, δημιουργείται ζημία αξίας 50 – 200 ευρώ ανά κατοικία. Παρόλο που αυτές οι συνθήκες επιβάλουν ραγδαίες αλλαγές ο κλάδος βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο.

Ο σκοπός της επικείμενης εργασίας είναι να δημιουργήσει ένα σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής διαρροών νερού μέσω υλικών χαμηλού κόστους, που θα εντοπίζουν διαρροές με πάνω από 90% ακρίβεια. Επίσης θα παρέχει συμβουλές σε πραγματικό χρόνο προκειμένου ο χρήστης να μπορέσει να μειώσει τη κατανάλωση νερού έως 25%. Με βάση τα παραπάνω η εργασία αυτή θα βάζει το δικό της λιθαράκι για την επίτευξη των στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ, που ορίζει την δεκαετία 2020-2030 ως «Δεκαετία Δράσης για την επίτευξη της Βιώσιμης Ανάπτυξης και των SDGs». Οι στόχοι αυτοί αποτελούν και σε επίπεδο ΕΕ κεντρική συνιστώσα της νέας Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας.

Εισαγωγή

Καθώς η κλιματική αλλαγή εντείνει τη λειψυδρία, **με τη ζήτηση στα αστικά κέντρα να ανεβαίνει έως 80%** μέχρι το 2050 (ΟΗΕ, 2023), η αντιμετώπιση του NRW δεν καθίσταται απλώς μια ανησυχία αλλά μια στρατηγική-επιτακτική ανάγκη για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η ασφάλεια των υδάτων αποτελεί τη βάση των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) των Ηνωμένων Εθνών, ιδίως του ΣΒΑ 6 (Καθαρό Νερό και Αποχέτευση) και τέμνει τουλάχιστον 11 άλλους ΣΒΑ. Η μείωση του NRW αντιπροσωπεύει μια πρακτική στρατηγική με υψηλό αντίκτυπο για:

1. Διατήρηση του γλυκού νερού
2. Μείωση των οικονομικών απωλειών για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και τους καταναλωτές
3. Ενίσχυση της αξιοπιστίας του συστήματος ύδρευσης και της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή
4. Επιτάχυνση της προόδου προς την Ατζέντα του 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη

Παρά τις επείγουσες αυτές ανάγκες, εξακολουθεί να υπάρχει ένα σημαντικό κενό στην αντιμετώπιση του NRW. Ενώ τα δημοτικά συστήματα εφαρμόζουν ολοένα και περισσότερο προηγμένες τεχνολογίες παρακολούθησης, η υιοθέτηση σε οικιακούς χώρους παραμένει αφανής. Αυτή η απόκλιση αποτελεί τόσο μια κρίσιμη πρόκληση όσο και μια ουσιαστική ευκαιρία για καινοτόμες, οικονομικά αποδοτικές λύσεις.

Αυτή η διατριβή έρχεται να γεφυρώσει αυτό το χάσμα σχεδιάζοντας και υλοποιώντας ένα σύστημα παρακολούθησης νερού χαμηλού κόστους που βασίζεται στο IoT. Η προτεινόμενη λύση στοχεύει στην επίτευξη ακρίβειας άνω του 90% στην ανίχνευση διαρροών, παρέχοντας παράλληλα ενημέρωση στον καταναλωτή σε πραγματικό χρόνο. Η παρούσα έρευνα συμβάλλει στο να καταστεί η έξυπνη διαχείριση του νερού προσβάσιμη, οικονομικά προσιτή και αποτελεσματική σε επίπεδο νοικοκυριού, υποστηρίζοντας έτσι ευρύτερους στόχους βιωσιμότητας μέσω πρακτικής, κλιμακούμενης τεχνολογίας.

1. Εισαγωγή στην Έξυπνη Διαχείριση του Νερού

1. Η Παγκόσμια Κρίση του Νερού: Μια Επιτακτική Ανάγκη

Το νερό αποτελεί το θεμέλιο του ανθρώπινου πολιτισμού, ωστόσο βρίσκεται στο επίκεντρο μιας από τις πιο κρίσιμες προκλήσεις του 21ου αιώνα. 2.3 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε χώρες που αντιμετωπίζουν έλλειψη νερού (link 1). **Σήμερα, κατά μέσο όρο, κάθε χρόνο η έλλειψη νερού επηρεάζει περίπου το 20% της ευρωπαϊκής επικράτειας και το 30% του συνολικού πληθυσμού(ΕΕ,2021).** Αυτή η κρίση εκδηλώνεται μέσω τριών αλληλένδετων διαστάσεων που απειλούν συλλογικά τη βιώσιμη ανάπτυξη:

1.1 Φυσική Κατανομή

Παρά το γεγονός ότι **το νερό καλύπτει το 71% της επιφάνειας της Γης, μόνο το 2,5% είναι γλυκό νερό και μόλις το 0,5% είναι προσβάσιμο για άμεση ανθρώπινη χρήση** (World Bank, 2022). Αυτός ο περιορισμένος πόρος αντιμετωπίζει αυξανόμενη πίεση από την αύξηση του πληθυσμού, την αστικοποίηση και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα κατανάλωσης. **Η κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού αυξάνεται κατά περίπου 1% ετησίως** τα τελευταία 40 χρόνια και εκτιμάται ότι θα συνεχίσει στον ίδιο ρυθμό μέχρι το 2050(ΟΗΕ,2023), δημιουργώντας μη βιώσιμες απαιτήσεις σε πεπερασμένες πηγές νερού. Η κατανομή των υδάτινων πόρων επιδεινώνει περαιτέρω την κρίση, με τις γεωγραφικές αναντιστοιχίες μεταξύ της διαθεσιμότητας νερού και των πληθυσμιακών κέντρων να δημιουργούν περιφερειακές ελλείψεις ακόμη και σε χώρες με άφθονο νερό.

1.2 Οικονομική Αναποτελεσματικότητα και NRW

Ο όρος **Non-Revenue Water (NRW)** αναφέρεται στο νερό που **παράγεται, επεξεργάζεται και διοχετεύεται στο δίκτυο, αλλά δεν τιμολογείται ποτέ** — δηλαδή δεν φτάνει μετρημένο και πληρωμένο στον τελικό καταναλωτή. Πρόκειται για ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα στη διαχείριση υδάτινων πόρων παγκοσμίως.

1.2.1 **Σε παγκόσμιο επίπεδο, το 30% του επεξεργασμένου πόσιμου νερού χάνεται** λόγω φυσικών διαρροών, εμπορικών απωλειών και λειτουργικών ανεπαρκειών (IWA,2025). Αυτό μεταφράζεται σε: **δισεκατομμύρια οικονομικές απώλειες** για τις εταιρείες ύδρευσης παγκοσμίως.

1.2.2 **Στην Ελλάδα, οι απώλειες νερού ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή, αλλά σε αρκετούς δήμους ξεπερνούν το 35%.** Οι βασικές αιτίες:

- **Παλαιότητα των δικτύων:** μεγάλο μέρος των αγωγών έχει τοποθετηθεί πριν από 40–50 χρόνια.
- **Γεωμορφολογία & σεισμικότητα:** καθιζήσεις εδάφους και σεισμικές δονήσεις προκαλούν μικρορωγμές που δύσκολα εντοπίζονται.
- **Εποχικές αιχμές:** αυξημένη κατανάλωση το καλοκαίρι σε τουριστικές περιοχές επιβαρύνει τα δίκτυα.

- **Ελλιπής συντήρηση:** αρκετές ΔΕΥΑ λειτουργούν με περιορισμένους πόρους και χωρίς ολοκληρωμένα συστήματα παρακολούθησης.

Αποτέλεσμα: τεράστιες ποσότητες επεξεργασμένου, ποιοτικού νερού χάνονται πριν καν φτάσουν στη βρύση του σπιτιού μας (link 2). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η Ελλάδα να καταλαμβάνει την 19η θέση παγκοσμίως στους πίνακες ζήτησης/προσφοράς ενώ η Κύπρος καταλαμβάνει τη 2η!(link 4).

1.3 Η Κλιματική Αλλαγή

Η Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης (AR6) της IPCC (2022) δείχνει ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει την ατμοσφαιρική υγρασία και την ένταση των βροχοπτώσεων (πολύ πιθανόν κατά 2-3% ανά 1°C), έχει αυξήσει την χερσαία εξατμισοδιαπνοή που συμβάλει σε ξηρά καλοκαιρινά κλίματα, συμπεριλαμβανομένων της Μεσογείου ιδιαίτερα σε περιοχές που ήδη αντιμετωπίζουν λειψυδρία. Η αλληλεπίδραση μεταξύ λειψυδρίας και κλιματικής αλλαγής δημιουργεί έναν επικίνδυνο βρόχο ανατροφοδότησης που επιδεινώνει και τα δύο ζητήματα. Καθώς οι υδάτινοι πόροι περιορίζονται ολοένα και περισσότερο, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής εντείνονται, οδηγώντας σε μια σειρά από αρνητικές επιπτώσεις. Μια σημαντική συνέπεια είναι **η μεταβολή των βροχοπτώσεων**, η οποία οδηγεί σε **συχνότερες και σοβαρότερες ξηρασίες**, μειώνοντας περαιτέρω τα αποθέματα νερού. Επιπλέον, οι αυξανόμενες θερμοκρασίες συμβάλλουν στην αύξηση των ρυθμών εξάτμισης, μειώνοντας τη διαθεσιμότητα επιφανειακού νερού που είναι απαραίτητο για τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη χρήση. Επιπλέον, **οι μεταβολές των χιονοπτώσεων διαταράσσουν την αξιοπιστία των εποχιακών αποθεμάτων νερού**, περιπλέκοντας τις στρατηγικές διαχείρισης των υδάτων. Τέλος, **η άνοδος της στάθμης της θάλασσας** αποτελεί σοβαρή απειλή για τους υδροφόρους ορίζοντες και υδροβιότοπους, καθώς **η διείσδυση αλμυρού νερού θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των ζωτικών πόρων γλυκού νερού**. Αυτή η σύνθετη αλληλεπίδραση υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη για ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση τόσο της κλιματικής αλλαγής όσο και της λειψυδρίας.

2. Η Πρόκληση του Νερού

2.1 Οικιακή Χρήση

Ενώ οι βιομηχανικοί και γεωργικοί τομείς κυριαρχούν στις συζητήσεις για τις απώλειες νερού, ένας ακόμη κρίσιμος παράγοντας, που συμβάλλει στην απώλεια νερού, το νοικοκυριό, έχει σε μεγάλο βαθμό παραβλεφθεί. Η αντιμετώπιση αυτών των οικιακών προβλημάτων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην μείωση του NRW.

Τα πιο συνηθισμένα σενάρια απώλειας νερού σε σπίτια:

1. Διαρροή τουαλέτας: Συχνά αθόρυβες και μη ανιχνεύσιμες χωρίς παρακολούθηση.
2. Βρύσες που στάζουν: Φαινομενικά ασήμαντες αλλά συσσωρευτικά σημαντικές.
3. Γραμμές σε τοίχους και δάπεδα: Συχνά δεν ανιχνεύονται έως ότου προκύψει μεγάλη βλάβη. Μπορεί να σπαταληθούν πολλά λίτρα πριν εμφανιστούν ορατά σημάδια. Το κόστος επισκευής αυξάνεται ραγδαία όσο καθυστερεί η επιδιόρθωση.
4. Βλάβες συσκευών: Πλυντήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων, θερμοσίφωνες. Οι ξαφνικές βλάβες προκαλούν άμεση απώλεια μεγάλου όγκου.

2.2 Συμπεριφορά και Πρότυπα Κατανάλωσης

Η μείωση της χρήσης νερού σε οικιακούς χώρους σχετίζεται με την συμπεριφορά, υπάρχει δηλαδή σχέση μεταξύ της ευαισθητοποίησης και της κατανάλωσης (RSC Sustainability, 2025). Με τη χρήση ενός έξυπνου συστήματος που βασίζεται σε αισθητήρες στις εγκαταστάσεις ύδρευσης δημιουργείται η δυνατότητα το σύστημα να αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο με το χρήστη έτσι ώστε να εμφανίζονται δεδομένα χρήσης παράλληλα με μηνύματα εξοικονόμησης προκειμένου να διεγείρουν την ευαισθησία του χρήστη οδηγώντας τον πιο κοντά στα πρότυπα κατανάλωσης (ΕΥΔΑΠ, link 6).

2.3 Ο Σωρευτικός Αντίκτυπος

Η σωρευτική επίδραση της σπατάλης νερού από οικιακούς πόρους σε διάφορες κοινότητες ασκεί σημαντική πίεση στα δημοτικά συστήματα ύδρευσης, οδηγώντας σε μια σειρά από προκλήσεις που απαιτούν επείγουσα προσοχή. Πρώτον, οι ώρες αιχμής στη ζήτηση νερού συχνά οδηγούν στην ανάγκη για δαπανηρές αναβαθμίσεις υποδομών για την αντιμετώπιση της αυξημένης χρήσης, κάτι που μπορεί να επιβαρύνει τους δημοτικούς προϋπολογισμούς και να εκτρέψει τους πόρους από άλλες βασικές υπηρεσίες. Επιπλέον, η επεξεργασία της περίσσειας νερού που τελικά σπαταλιέται συνεπάγεται υψηλότερο λειτουργικό κόστος, καθώς οι δήμοι πρέπει να επεξεργάζονται περισσότερο νερό από ό,τι είναι απαραίτητο, αυξάνοντας έτσι το οικονομικό τους βάρος. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις της πίεσης που προκαλούνται από διαρροές συμβάλλουν στην επιταχυνόμενη υποβάθμιση των υφιστάμενων υποδομών, οδηγώντας σε πιο συχνές επισκευές και αντικαταστάσεις, οι οποίες μπορεί να είναι τόσο δαπανηρές όσο και ανατρεπτικές. Τέλος, η συνολική ανθεκτικότητα του συστήματος ύδρευσης διακυβεύεται κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας, καθώς οι ανεπάρκειες που δημιουργούνται από τη σπατάλη νερού

εμποδίζουν την ικανότητα των δήμων να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τους περιορισμένους πόρους, απειλώντας τελικά τη βιωσιμότητα της παροχής νερού για όλους τους κατοίκους.

3. Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων

3.1 Ο ορισμός της Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων

Η έξυπνη διαχείριση των υδάτων βασίζεται στις παραδοσιακές κατασκευές με σωλήνες (πολυστροματικές, χαλκός, ppe κτλ) και στην εμπειρία της συναρμολόγησης αυτών ώστε να έχουμε ένα λειτουργικό δίκτυο ύδρευσης και έρχεται να τις εμπλουτίσει με διάφορα νέα έξυπνα υλικά της καινοτόμας ψηφιακής τεχνολογίας. Χρησιμοποιεί αισθητήρες IoT, τεχνητή νοημοσύνη και ανάλυση δεδομένων για την παρακολούθηση, τη διαχείριση και τη βελτιστοποίηση των υποδομών και της χρήσης νερού σε πραγματικό χρόνο προσφέροντας πληροφορίες στον χρήστη ή τις υποδομές της υπηρεσίας.

3.2 Ιστορική Εξέλιξη της Διαχείρισης Υδάτων στην Ελλάδα

Η διαχείριση των συστημάτων ύδρευσης έχει υποστεί αλλαγές τον τελευταίο αιώνα, καθοδηγούμενη από τις εξελισσόμενες κοινωνικές προτεραιότητες και τις τεχνολογικές δυνατότητες. Οι αρχές του 20ού αιώνα κυριαρχήθηκαν από την επέκταση της προσφοράς, με επίκεντρο μαζικά έργα υποδομής όπως το φράγμα στον Μαραθώνα (1929) για την ύδρευση της Πρωτεύουσας επίσης το 1938 η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και του Πειραιά είχε υδρευόμενο πληθυσμό της τάξης των 1.100.000 κατοίκων με μέση ετήσια κατανάλωση που μόλις έφτανε τα 21.000.000 m³ νερού (52λ / κάτοικο / ημέρα) (ΕΚΠΑ,2017). Χάρη στη κατασκευή των έργων αυτών η Αθήνα μπόρεσε να επιβιώσει στις δύσκολες εποχές μετά τη Μικρασιατική καταστροφή και να αναπτυχθεί περαιτέρω με ταχείς ρυθμούς. Από τη δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 1980 τα αστικά κέντρα της χώρας επεκτάθηκαν και ψήλωσαν, αυτό έφερε στην επιφάνεια το πρόβλημα της προστασίας της ποιότητας του νερού όπου για την επίλυσή του έγιναν μια σειρά από έργα διαχείρισης υδάτινων πόρων από τη δεκαετία του 1980 που απαρτίζονταν από βιολογικές μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, ενσωμάτωση ευρωπαϊκών περιβαλλοντολογικών πολιτικών καθώς και έλεγχος της ρύπανσης ποταμών και λιμνών.

3.3 Βασικές Αρχές της Έξυπνης Διαχείρισης Νερού

Η στροφή προς την έξυπνη διαχείριση των υδάτων βασίζεται σε πέντε βασικές αρχές που τη διαφοροποιούν από τις παραδοσιακές μεθόδους. Αυτές οι αρχές δίνουν έμφαση σε μια ολιστική

προσέγγιση που ενσωματώνει προηγμένη τεχνολογία, ανάλυση δεδομένων και βιώσιμες πρακτικές για τη βελτιστοποίηση της χρήσης και της διανομής του νερού. Σε αντίθεση με προηγούμενες στρατηγικές που συχνά βασίζονταν σε δραστικά μέτρα, η έξυπνη διαχείριση των υδάτων προωθεί προληπτικές λύσεις που προβλέπουν και αντιμετωπίζουν πιθανές προκλήσεις σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η παραδειγματική αλλαγή όχι μόνο ενισχύει την αποδοτικότητα και μειώνει τη σπατάλη, αλλά και ενθαρρύνει τη μεγαλύτερη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, συμπεριλαμβανομένων των δήμων, των βιομηχανιών και των κοινοτήτων. Δίνοντας προτεραιότητα στην καινοτομία και την προσαρμοστικότητα, αυτό το νέο πλαίσιο στοχεύει στη δημιουργία ανθεκτικών συστημάτων ύδρευσης ικανών να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις ενός μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος και της αύξησης του πληθυσμού.

3.3.1 Λήψη Αποφάσεων Βασισμένη σε Δεδομένα

Η λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων έχει εξελιχθεί σημαντικά από τις παραδοσιακές μεθόδους σε πιο προηγμένες προσεγγίσεις. Παραδοσιακά, οι οργανισμοί βασίζονταν σε χειροκίνητες μετρήσεις μετρητών, περιοδική δειγματοληψία και απαντούσαν στα προβλήματα καθώς αυτά προέκυπταν. Αντίθετα, τα σύγχρονα έξυπνα συστήματα χρησιμοποιούν συνεχή παρακολούθηση, αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο και προγνωστική μοντελοποίηση για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες πίεσης μπορούν πλέον να εντοπίσουν διαρροές μέσα σε λίγα λεπτά, μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με τους μήνες που χρειάζονταν κάποτε για την ανίχνευση τέτοιων προβλημάτων.

3.3.2 Προληπτική Συντήρηση

Η προληπτική συντήρηση αντιπροσωπεύει μια σημαντική μετατόπιση από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις που βασίζονται σε επισκευές μετά από βλάβες του υλικού. Αντί να περιμένουν να προκύψουν προβλήματα, οι έξυπνες στρατηγικές συντήρησης χρησιμοποιούν προγνωστική ανάλυση για να επιτρέψουν προληπτικές παρεμβάσεις. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να προβλέψουν πιθανές βλάβες σωλήνων νωρίτερα, επιτρέποντας την έγκαιρη συντήρηση και μειώνοντας τον κίνδυνο απρόβλεπτων βλαβών.

3.3.3 Συμμετοχή Καταναλωτών

Η συμμετοχή των καταναλωτών έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Προηγουμένως, οι καταναλωτές ήταν σε μεγάλο βαθμό παθητικοί, λαμβάνοντας σπάνια λογαριασμούς που παρείχαν ελάχιστες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση τους. Αντίθετα, η σύγχρονη προσέγγιση ενθαρρύνει την ενεργό συμμετοχή, επιτρέποντας στους καταναλωτές να έχουν πρόσβαση σε σχόλια σε πραγματικό χρόνο και να διερευνούν ευκαιρίες εξοικονόμησης. Για παράδειγμα, οι διαδραστικοί πίνακες ελέγχου μπορούν πλέον να εμφανίζουν λεπτομερή πρότυπα χρήσης νερού και να επισημαίνουν τα επιτεύγματα εξοικονόμησης, ενισχύοντας μια πιο ενημερωμένη και αφοσιωμένη βάση καταναλωτών

3.3.4 Ενσωμάτωση και Βελτιστοποίηση Συστημάτων

Η ενσωμάτωση και βελτιστοποίηση συστημάτων περιλαμβάνουν μια μετάβαση από την παραδοσιακή, απομονωμένη από τους άλλους διαχείριση συστημάτων νερού, ενέργειας και αποβλήτων σε μια πιο συνεκτική προσέγγιση που αναγνωρίζει τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ αυτών των πόρων. Αυτή η ολοκληρωμένη στρατηγική διαχείρισης πόρων ενισχύει την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα συντονίζοντας τις προσπάθειες σε διαφορετικούς τομείς. Για παράδειγμα, η εφαρμογή μιας συγχρονισμένης απόκρισης στη ζήτηση για νερό και ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής αποτελεί παράδειγμα του πώς μια τέτοια ενοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη κατανομή πόρων και μειωμένη επιβάρυνση στις υποδομές.

3.3.5 Προσαρμογή της Διακυβέρνηση

Η προσαρμοστική της διακυβέρνησης έρχεται σε έντονη αντίθεση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις που βασίζονται σε στατικούς κανονισμούς και ομοιόμορφα μοντέλα τιμολόγησης. Σε ένα πλαίσιο έξυπνης διακυβέρνησης, οι πολιτικές σχεδιάζονται ώστε να είναι δυναμικές, επιτρέποντάς τους να προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και καταστάσεις του συστήματος. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας ή όταν το σύστημα βρίσκεται υπό πίεση, η τιμολόγηση μπορεί να τροποποιηθεί άμεσα ώστε να αντικατοπτρίζει την τρέχουσα κατάσταση, διασφαλίζοντας μια πιο αποτελεσματική και αποδοτική διαχείριση των πόρων.

3.4 Τεχνολογικά Θεμέλια

Η επανάσταση του έξυπνου νερού καθοδηγείται από την ενσωμάτωση τεσσάρων βασικών τεχνολογικών εξελίξεων. Πρώτον, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) έχει διευκολύνει την ευρεία υιοθέτηση οικονομικά προσιτών, διασυνδεδεμένων αισθητήρων και συσκευών. Δεύτερον, το cloud computing σε συνδυασμό με την ανάλυση μεγάλων δεδομένων προσφέρει λύσεις για την αποθήκευση και την επεξεργασία δεδομένων, ενισχύοντας την επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Τρίτον, η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση συμβάλλουν στην εξελιγμένη αναγνώριση προτύπων και στις δυνατότητες πρόβλεψης, επιτρέποντας την πιο εμπεριστατωμένη λήψη αποφάσεων. Τέλος, οι πλατφόρμες για κινητά και το διαδίκτυο παρέχουν προσβάσιμες διεπαφές που προάγουν την εμπλοκή των χρηστών και την αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος.

3.5 Ο σύνδεσμος νερού-ενέργειας

Κατά τη διάρκεια της 25ης Γενικής Συνέλευσης των μελών της ΕΔΕΥΑ (Ελληνική Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης), συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με τον αριθμό των εξυπηρετούμενων κατοίκων, τις ποσότητες νερού, το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για ύδρευση και αποχέτευση το 2012 (Safarikas, 8).

Εξεταζόμενο μέγεθος	Τιμή	Μονάδα
Άντληση νερού (από γεωτρήσεις και πηγές)	244.145.347	m3(κυβικά μέτρα)
Λύματα	171.986.511	m3(κυβικά μέτρα)
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για υπηρεσίες ύδρευσης	19.997.471,59	€ (Ευρώ)
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για επεξεργασία λυμάτων	8.157.778,36	€ (Ευρώ)
Ηλεκτρική ενέργεια για υπηρεσίες ύδρευσης	131.562,31	Mwh (μεγαβατώρες)
Ηλεκτρική ενέργεια για επεξεργασία λυμάτων	53.669,59	Mwh (μεγαβατώρες)

Σύμφωνα με την εκτενή έρευνα του Ισίδोरου Ζιόγκου και τον Θεόδωρου Ζαχαριάδη(Energy 2017,8) που παρέχουν μια αξιολόγηση της σχέσης νερού-ενέργειας για την Ελλάδα, προσδιορίζουν τη ποσότητα γλυκού νερού που καταναλώνεται ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Παρέχονται οι παρακάτω πίνακες.

Παραγωγή ενέργειας

Μονάδα	Τιμή	Μονάδα
Συμβατική	1,81	m3 /MWh
CCGT	1,20	m3 /MWh

Παραγωγή αργού πετρελαίου

Μονάδα	Τιμή	Μονάδα
Εξόρυξη	0,05	m3 /MWh
Δύλιση	0,07	m3 /MWh

Παραγωγή βιοντίζελ

Μονάδα	Τιμή	Μονάδα
--------	------	--------

Κραμβέλαιο/Ηλίανθος	0,47	m3 /MWh
---------------------	------	---------

Υπηρεσίες ύδρευσης

Μονάδα	Τιμή	Μονάδα
Ενέργεια για ύδρευση	0,54	kWh/m3
Ενέργεια για επεξεργασία λυμάτων και αποχέτευση	0,31	kWh/m3

4. Κανονιστικό και Πολιτικό Πλαίσιο

4.1 Διεθνή Πλαίσια

Η Ατζέντα του 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, και ιδίως ο Στόχος Βιώσιμης Ανάπτυξης 6 (SDG 6) — «Διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της βιώσιμης διαχείρισης του νερού και της αποχέτευσης για όλους» — έχει θεσπίσει ένα παγκόσμιο πλαίσιο δράσης. Ο Στόχος 6.4 απαιτεί συγκεκριμένα:

«Έως το 2030, ουσιαστική αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης νερού σε όλους τους τομείς και διασφάλιση βιώσιμων αντλήσεων και παροχής γλυκού νερού για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας και τη σημαντική μείωση του αριθμού των ανθρώπων που υποφέρουν από λειψυδρία».

4.2 Περιφερειακές και Εθνικές Πρωτοβουλίες

Ηνωμένες Πολιτείες: Το πρόγραμμα WaterSense στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι μια πρωτοβουλία που έχει σχεδιαστεί για να ενθαρρύνει την υιοθέτηση προϊόντων και πρακτικών αποδοτικής χρήσης νερού τόσο από τους καταναλωτές όσο και από τις επιχειρήσεις. Παρέχοντας μια αναγνωρίσιμη ετικέτα για προϊόντα που πληρούν αυστηρά κριτήρια αποδοτικότητας νερού, το πρόγραμμα βοηθά τους καταναλωτές να κάνουν ενημερωμένες επιλογές που συμβάλλουν στην εξοικονόμηση νερού. Επιπλέον, το WaterSense προσφέρει διάφορα κίνητρα σε κατασκευαστές και παρόχους υπηρεσιών, προωθώντας την ανάπτυξη και την εμπορία καινοτόμων τεχνολογιών που μειώνουν την κατανάλωση νερού χωρίς να διακυβεύονται οι επιδόσεις. Αυτή η πολύπλευρη προσέγγιση όχι μόνο ευαισθητοποιεί σχετικά με τη σημασία της εξοικονόμησης νερού, αλλά και καλλιεργεί μια κουλτούρα βιωσιμότητας, οδηγώντας τελικά σε σημαντικές μειώσεις στην κατανάλωση νερού σε ολόκληρη τη χώρα. Μέσω των προσπάθειών του, το WaterSense στοχεύει στην προστασία της υδροδότησης της χώρας για τις μελλοντικές γενιές,

βοηθώντας παράλληλα τα άτομα και τις κοινότητες να εξοικονομήσουν χρήματα από το κόστος των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

Ευρωπαϊκή Ένωση: Η Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/EK) που θεσπίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτεί από τα κράτη μέλη της να επιτύχουν «καλή κατάσταση των υδάτων» σε όλα τα υδάτινα σώματα εντός της δικαιοδοσίας τους. Η παρούσα οδηγία χρησιμεύει ως κρίσιμο πλαίσιο για την προστασία του περιβάλλοντος, υποχρεώνοντας τα έθνη να επενδύσουν σημαντικά τόσο στην παρακολούθηση της ποιότητας του νερού όσο και στην εφαρμογή αποτελεσματικών πρακτικών διαχείρισης. Θέτοντας σαφείς στόχους για την ποιότητα του νερού και την υγεία των οικοσυστημάτων, η οδηγία όχι μόνο προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού, αλλά ενθαρρύνει και τις συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ των κρατών μελών για την αντιμετώπιση διασυνοριακών ζητημάτων υδάτων. Η έμφαση στην επίτευξη καλής κατάστασης των υδάτων έχει οδηγήσει σε βελτιωμένη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, προωθώντας μια πιο ενημερωμένη προσέγγιση στη διαχείριση των υδάτινων πόρων που τελικά ωφελεί τόσο το περιβάλλον όσο και τη δημόσια υγεία.

Ελλάδα : Με την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας η Ελλάδα ολοκληρώνει την εφαρμογή των απαιτήσεων της Οδηγίας 2000/60/EK για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά). Η διαδικασία διαβούλευσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60/EK άρχισε στις 15 Οκτωβρίου 2011 για τις Λεκάνες Απορροής των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Στις 18 Νοεμβρίου 2011 αναρτήθηκαν τα σχετικά κείμενα των Υδατικών Διαμερισμάτων Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στις 21 Νοεμβρίου 2011 αναρτήθηκαν τα κείμενα των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής, Βόρειας και Ανατολικής Πελοποννήσου και στις 13 Ιανουαρίου 2012 αναρτήθηκαν τα σχετικά κείμενα των Υδατικών Διαμερισμάτων Αττικής και Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. Στις 21 Νοεμβρίου 2012 ολοκληρώθηκε η διαδικασία διαβούλευσης επί των Προσχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής ποταμών των προαναφερόμενων δέκα Υδατικών Διαμερισμάτων. Στις 30 Ιουλίου 2012 ξεκίνησε η διαβούλευση για τα Υδατικά Διαμερίσματα Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας, η οποία ολοκληρώθηκε στις 13 Δεκεμβρίου 2013 ενώ για το Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης ξεκίνησε στις 11 Ιουλίου 2013.(link,7)

4.3 Οικονομικά Μοντέλα

Τα οικονομικά μοντέλα για την προώθηση της αποτελεσματικής διαχείρισης των υδάτων, δημιουργούν χρηματοοικονομικούς μηχανισμούς που υποστηρίζουν τις προσπάθειες εξοικονόμησης των πόρων. Ένα

τέτοιο μοντέλο στηρίζεται στην τιμολόγηση βάσει της ώρας χρήσης, η οποία κυμαίνεται, αυξάνεται κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης, ενθαρρύνοντας έτσι τους καταναλωτές να μετατοπίσουν την κατανάλωση νερού σε ώρες εκτός αιχμής. Επιπλέον, υπάρχουν και εποχιακά μοντέλα τιμολόγησης όπου έχουν σχεδιαστεί ώστε να αντικατοπτρίζουν τη διαθεσιμότητα και το κόστος της παροχής νερού σε διαφορετικές περιόδους του έτους, μεταβαίνοντας σε μια δυναμική τιμολόγηση με βάση τις τρέχουσες συνθήκες διάθεσης του πόρου. Τα τιμολόγια εξοικονόμησης ενέργειας παρέχουν περαιτέρω κίνητρα για μειωμένη κατανάλωση νερού εφαρμόζοντας προοδευτικά μοντέλα τιμολόγησης που ανταμείβουν τους χρήστες για χαμηλότερα επίπεδα χρήσης.. Όλα αυτά μαζί με κίνητρα για την αναβάθμιση των εγκαταστάσεων μέσω χρηματοδότησης για άτομα και επιχειρήσεις για την εξοικονόμηση νερού, καλλιεργούν μια κουλτούρα στην κοινωνία για βιώσιμη και υπεύθυνη διαχείριση του πόρου.

5. Το Ψηφιακό Κενό στη Διαχείριση Υδάτων

Η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας δεν συνοδεύτηκε από ομοιόμορφη πρόοδο στην υιοθέτηση έξυπνων λύσεων για το νερό, οδηγώντας σε έντονες ανισότητες που απειλούν να οξύνουν τις υπάρχουσες ανισότητες. Ενώ ορισμένες περιοχές και κοινότητες έχουν υιοθετήσει καινοτόμα συστήματα διαχείρισης νερού που ενισχύουν την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα, άλλες υστερούν σημαντικά λόγω παραγόντων όπως οι οικονομικοί περιορισμοί, η έλλειψη υποδομών και η ανεπαρκής πρόσβαση στην πληροφορία. Αυτή η άνιση κατανομή των τεχνολογικών οφελών δημιουργεί μια κατάσταση όπου όσοι ήδη μειονεκτούν ενδέχεται να αντιμετωπίσουν αυξημένες προκλήσεις στην πρόσβαση σε καθαρούς και αξιόπιστους υδάτινους πόρους. Κατά συνέπεια, η μη αντιμετώπιση αυτών των ανισοτήτων όχι μόνο υπονομεύει τις δυνατότητες των έξυπνων τεχνολογιών νερού για τη βελτίωση της συνολικής διαχείρισης των υδάτων ως κοινωνία στο σύνολο, αλλά βάζει σε κίνδυνο και διαιωνίζει έναν κύκλο ανισότητας που επηρεάζει κυρίως τους ανθρώπους των χαμηλών τάξεων.

5.1 Χωροταξικό χάσμα

Η συγκέντρωση του πληθυσμού σε αστικά περιβάλλοντα αγγίζει το 65% στη χώρα μας (λινκ 8). Αυτή η μετακίνηση μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, όπως καλύτερες υποδομές, περισσότερες επαγγελματικές ευκαιρίες, πρόσβαση σε έργα και θεάματα κτλ. Όμως υπάρχει και η άλλη πραγματικότητα, εκείνη όπου οι άνθρωποι που διαμένουν σε αγροτικές περιοχές και την παραμεθόριο αντιμετωπίζουν καθημερινά προκλήσεις σε μετακίνηση, υγεία, παιδεία καθώς και χρηματοδότηση. Αυτές οι προκλήσεις θεωρούμε δεδομένο ότι θα φανούν τροχοπέδη στο παρόν εγχείρημα. Έτσι αρκετές περιοχές της Ελλάδος όπου βρίσκονται στα κόκκινα στους δείκτες ζήτησης/παροχής του πόρου να μένουν ακόμα πιο πίσω δημιουργώντας κράτος δυο ταχυτήτων .

5.2 Κοινωνικοοικονομικές Ανισότητες

Η ύπαρξη ψηφιακού χάσματος επηρεάζει σημαντικά τα νοικοκυριά χαμηλότερου εισοδήματος, τα οποία συχνά επηρεάζονται περισσότερο από το υψηλό κόστος νερού. Αυτά τα νοικοκυριά, τα οποία συνήθως αντιμετωπίζουν οικονομικά βάρη που σχετίζονται με τα έξοδα νερού, συχνά δεν έχουν πρόσβαση στις τεχνολογικές λύσεις που θα μπορούσαν να διευκολύνουν τη μείωση τόσο της χρήσης νερού όσο και του σχετικού κόστους. Αυτή η έλλειψη πρόσβασης όχι μόνο επιδεινώνει την οικονομική τους πίεση, αλλά περιορίζει και την ικανότητά τους να εφαρμόσουν αποτελεσματικές πρακτικές εξοικονόμησης νερού που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σημαντική εξοικονόμηση. Κατά συνέπεια, η ανισότητα στην πρόσβαση στην τεχνολογία δημιουργεί έναν κύκλο μειονεξίας, όπου όσοι χρειάζονται περισσότερο βοήθεια μένουν χωρίς τα απαραίτητα εργαλεία για να βελτιώσουν την κατάστασή τους, ενισχύοντας περαιτέρω τις οικονομικές ανισότητες.

5.3 Αντιμετώπιση ζητημάτων ισότητας

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των ανισοτήτων πρόσβασης στην εξέλιξη, οι έξυπνες στρατηγικές για το νερό πρέπει να ενσωματώνουν μια πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει πολλά βασικά στοιχεία. Πρώτον, στοχευμένα προγράμματα επιδοτήσεων ειδικά σχεδιασμένων για νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος μπορεί να μετριάσει τα οικονομικά εμπόδια, διασφαλίζοντας ότι αυτές οι κοινότητες μπορούν να αντέξουν οικονομικά τις βασικές υπηρεσίες ύδρευσης. Επιπλέον, η υιοθέτηση στρατηγικών που βασίζονται στην κοινότητα και αξιοποιούν τα υπάρχοντα κοινωνικά δίκτυα μπορεί να ενισχύσει τη συνεργασία και την εμπιστοσύνη, επιτρέποντας πιο αποτελεσματική προσέγγιση και υποστήριξη. Είναι επίσης σημαντικό να σχεδιαστούν υλικά που να είναι κατάλληλα για ποικίλα οικονομικά επίπεδα, διασφαλίζοντας ένα κατώφλι που όλοι οι χρήστες μπορούν αποτελεσματικά να επωφελούνται από αυτές τις καινοτομίες. Τέλος, οι διαδικασίες συμμετοχής στην παραγωγή αυτών χωρίς αποκλεισμούς είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί ότι οι διαφορετικές φωνές εκπροσωπούνται στον σχεδιασμό του συστήματος, επιτρέποντας ένα πιο δίκαιο και ανταποκρινόμενο πλαίσιο διαχείρισης υδάτων που ανταποκρίνεται στις ανάγκες όλων.

6. Μελλοντικές Κατευθύνσεις

6.1 Έξυπνες Πόλεις και Κυκλική Οικονομία

Τα έξυπνα συστήματα ύδρευσης συνδέονται ολοένα και περισσότερο με ολοκληρωμένες προσπάθειες αστικής βιωσιμότητας, αντανakλώντας μια ολιστική προσέγγιση στη διαχείριση των πόρων. Μια βασική πτυχή είναι ο Σύνδεσμος Νερού-Ενέργειας-Τροφίμων, ο οποίος τονίζει τη σημασία της συντονισμένης διαχείρισης που αναγνωρίζει τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ αυτών των κρίσιμων πόρων. Αυτή η ολοκληρωμένη και αποτελεσματική χρήση του νερού, της ενέργειας και των τροφίμων, οδηγεί τελικά σε

βελτιωμένη βιωσιμότητα. Επιπλέον, η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας του Νερού κερδίζει έδαφος, εστιάζοντας σε πρακτικές όπως η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, η ανάκτηση θρεπτικών συστατικών και η δημιουργία συστημάτων κλειστού βρόχου. Αυτές οι στρατηγικές όχι μόνο ελαχιστοποιούν τα απόβλητα, αλλά και προωθούν τη βιώσιμη χρήση των υδάτινων πόρων. Επιπλέον, η ανθεκτικότητα των πόλεων ενισχύεται σημαντικά από καινοτόμα συστήματα ύδρευσης που διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και την ετοιμότητα για καταστροφές. Ενισχύοντας την ικανότητα των πόλεων να αντέχουν στις περιβαλλοντικές προκλήσεις, αυτά τα συστήματα συμβάλλουν σε ένα πιο βιώσιμο και ασφαλές αστικό μέλλον.

6.2 Συλλογική Συμμετοχή

Πλατφόρμες όπως το Citizen Water Monitoring Toolkit διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη συμμετοχή του κοινού στη διαδικασία συλλογής δεδομένων, ενισχύοντας έτσι σημαντικά την εμπέλεια και την αποτελεσματικότητα των δικτύων περιβαλλοντικής παρακολούθησης χωρίς να επιβαρύνονται με σημαντικό κόστος. Οδηγώντας τους πολίτες να συμμετέχουν ενεργά στη συλλογή δεδομένων, τέτοιες πρωτοβουλίες, όχι μόνο διευρύνουν το πεδίο της περιβαλλοντικής παρατήρησης, αλλά και προάγουν μια βαθύτερη κατανόηση και εκτίμηση των τοπικών υδάτινων πόρων μεταξύ των μελών της κοινότητας. Αυτή η συμμετοχή καλλιεργεί ένα αίσθημα περιβαλλοντικής εν συναίσθησης, ενθαρρύνοντας τα άτομα να αναλάβουν την υγεία των οικοσυστημάτων τους. Ως αποτέλεσμα, αυτές οι πλατφόρμες όχι μόνο συμβάλλουν στη συσσώρευση πολύτιμων δεδομένων που μπορούν να ενημερώσουν τις πολιτικές και τις προσπάθειες διατήρησης, αλλά και προωθούν μια κουλτούρα περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης που είναι απαραίτητη για τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων.

6.3 Ψηφιοποίηση & Ανάλυση δεδομένων

Τα προγνωστικά στοιχεία επιτρέπουν την πρόβλεψη της ζήτησης νερού αναλύοντας ιστορικά δεδομένα και τάσεις, γεγονός που με τη σειρά του βοηθά στον εντοπισμό πιθανών ευκαιριών διατήρησης. Αυτή η προληπτική προσέγγιση όχι μόνο βοηθά στην κατανομή των πόρων αλλά και προωθεί βιώσιμες πρακτικές. Εν τω μεταξύ, η ψηφιοποίηση χρησιμεύει για τις εικονικές αναπαραστάσεις των συστημάτων ύδρευσης, επιτρέποντας την προσομοίωση διάφορων σεναρίων και στη βελτιστοποίηση του καθώς οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να οπτικοποιήσουν τον αντίκτυπο διαφορετικών στρατηγικών πριν από την εφαρμογή.

7. Διαχωρισμός Συστημάτων

7.1 Οικιακά συστήματα

Τα οικιακά συστήματα νερού πρέπει να προσφέρουν ένα επίπεδο ακρίβειας στην παρακολούθηση της χρήσης νερού, επιτρέποντας την ανίχνευση διαρροών και ανεπαρκειών που συνήθως θα περνούσαν απαρατήρητες. Αυτά τα συστήματα πρέπει να σχεδιαστούν για να εντοπίζουν ακόμη και τις μικρότερες αποκλίσεις στη ροή του νερού, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες σπιτιών να λαμβάνουν άμεσα διορθωτικά μέτρα για την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων. Παρέχοντας δεδομένα και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, αυτά τα συστήματα πρέπει να δίνουν τη δυνατότητα στα άτομα να διαχειρίζονται την κατανάλωση νερού τους πιο αποτελεσματικά, οδηγώντας τελικά σε μείωση των απωλειών και χαμηλότερο κόστος κοινής ωφέλειας. Η πρόληψη των οικιακών συστημάτων όχι μόνο ενισχύει τις προσπάθειες εξοικονόμησης νερού, αλλά συμβάλλει και στη συνολική βιωσιμότητα των υδάτινων πόρων.

7.2 Εταιρίες Κοινής Ωφέλειας

Η παρακολούθηση κατοικιών με λεπτομερή δεδομένα κατανάλωσης παίζει κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση της απόδοσης, καθώς δεδομένα υψηλής ακρίβειας επιτρέπουν στις εταιρείες κοινής ωφέλειας να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τα πραγματικά πρότυπα χρήσης, κάτι που είναι απαραίτητο για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό των εταιρειών κοινής ωφέλειας. Ακόμα αναλύοντας τα πρότυπα, οι εταιρείες κοινής ωφέλειας μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τις επενδύσεις σε υποδομές, ιεραρχώντας τις περιοχές που παρουσιάζουν σημαντικά πρότυπα απωλειών. Επιπλέον, η λεπτομέρεια αυτών των δεδομένων ενισχύει τις δυνατότητες πρόβλεψης της ζήτησης, επιτρέποντας στις εταιρείες κοινής ωφέλειας να προβλέπουν τις τάσεις κατανάλωσης με επίπεδο ακρίβειας που προηγουμένως ήταν ανέφικτο. Αυτή η ολοκληρωμένη κατανόηση της χρήσης ενέργειας στις κατοικίες όχι μόνο υποστηρίζει τον στρατηγικό σχεδιασμό, αλλά συμβάλλει επίσης στην πιο αποτελεσματική κατανομή πόρων και στη βελτιωμένη παροχή υπηρεσιών

8. Θέση και Συνεισφορά της Διατριβής

Η παρούσα διατριβή διερευνά την κρίσιμη σύγκλιση των κοινωνικών προκλήσεων και των τεχνολογικών εξελίξεων. Σχεδιάζοντας και αξιολογώντας ένα οικονομικά προσιτό σύστημα ανοιχτού κώδικα για την παρακολούθηση της χρήσης νερού σε οικιακές εγκαταστάσεις, η παρούσα έρευνα αντιμετωπίζει διάφορες πτυχές του σύνθετου ζητήματος της έξυπνης διαχείρισης του νερού. Η πρωτοβουλία όχι μόνο στοχεύει στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της αξιοποίησης των υδάτινων πόρων, αλλά επιδιώκει επίσης να ενδυναμώσει τους ιδιοκτήτες σπιτιών με τα απαραίτητα εργαλεία για την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων σχετικά με την κατανάλωση νερού και τον εντοπισμό διαρροών. Μέσω αυτής της καινοτόμου προσέγγισης, η μελέτη συμβάλλει σε μια ευρύτερη κατανόηση των βιώσιμων πρακτικών

στη διαχείριση των υδάτων, αναδεικνύοντας τη δυνατότητα της τεχνολογίας να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ανησυχιών.

8.1 Πρόσβαση στην Τεχνολογία

Όπως τονίστηκε παραπάνω, η πρόσβαση στον τομέα της τεχνολογίας έξυπνου νερού είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της ευρείας υιοθέτησης και τη διασφάλιση ότι όλες οι κοινότητες μπορούν να επωφεληθούν από αυτές τις εξελίξεις. Μία από τις κύριες στρατηγικές για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι η μείωση των οικονομικών εμποδίων που συχνά εμποδίζουν την εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών. Καθιστώντας τις λύσεις έξυπνου νερού πιο προσιτές, ένα ευρύτερο φάσμα χρηστών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που βρίσκονται σε οικονομικά μειονεκτούσες περιοχές, μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτές τις καινοτομίες. Επιπλέον, η ανάπτυξη λύσεων ανοιχτού κώδικα παίζει ζωτικό ρόλο στην προσαρμογή για την κάλυψη των τοπικών αναγκών. Επιτρέποντας στις κοινότητες να τροποποιούν και να βελτιώνουν αυτές τις τεχνολογίες, ενισχύουμε τη δυνατότητα να δημιουργούν προσαρμοσμένες λύσεις που αντιμετωπίζουν τις συγκεκριμένες προκλήσεις τους, οδηγώντας τελικά σε πιο δίκαιη πρόσβαση σε έξυπνους υδάτινους πόρους.

8.2 Συμβολή σε Ευρύτερους Στόχους Βιωσιμότητας

Η συμβολή σε ευρύτερους στόχους βιωσιμότητας περιλαμβάνει αρκετές κρίσιμες πτυχές, συμπεριλαμβανομένης της ποσοτικοποίησης της εξοικονόμησης νερού και ενέργειας που επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος παρακολούθησης. Με τη συστηματική παρακολούθηση των προτύπων κατανάλωσης, αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες σπιτιών να εντοπίζουν ανεπάρκειες και να εφαρμόζουν στρατηγικές που οδηγούν σε σημαντικές μειώσεις στη χρήση πόρων. Επιπλέον, μια αξιολόγηση του δυναμικού μείωσης του άνθρακα μέσω της σχέσης νερού-ενέργειας υπογραμμίζει τη διασύνδεση αυτών των δύο ζωτικών πόρων, καταδεικνύοντας πώς οι βελτιώσεις σε έναν τομέα μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη σε έναν άλλο τομέα. Αυτή η ολοκληρωμένη ανάλυση όχι μόνο βοηθά στην κατανόηση των επιπτώσεων της διαχείρισης των πόρων, αλλά παρέχει επίσης ισχυρά στοιχεία για την ενημέρωση των πολιτικών αποφάσεων σχετικά με τις επενδύσεις σε πρωτοβουλίες αποδοτικότητας. Τέτοιες γνώσεις, που βασίζονται σε δεδομένα, είναι απαραίτητες για την καθοδήγηση νομοθετικών πλαισίων και την ενθάρρυνση βιώσιμων πρακτικών που ευθυγραμμίζονται με τους γενικούς περιβαλλοντικούς στόχους.

8.3 Επεκτασιμότητα και Αναπαραγωγή

Η επεκτασιμότητα και η αναπαραγωγή αποτελούν βασικά στοιχεία για την επιτυχή υλοποίηση έργων σε διάφορα πλαίσια. Για να διευκολυνθεί αυτό, είναι ζωτικής σημασίας η σχολαστική καταγραφή των διαδικασιών που εμπλέκονται στην υλοποίηση, διασφαλίζοντας ότι μπορούν εύκολα να αναπαραχθούν σε ποικίλα περιβάλλοντα. Αυτή η τεκμηρίωση θα πρέπει να περιλαμβάνει λεπτομερείς οδηγίες και βέλτιστες πρακτικές που μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να καλύπτουν τις μοναδικές ανάγκες διαφορετικών κοινοτήτων. Επιπλέον, ο σχεδιασμός αρθρωτών συστημάτων που μπορούν να

προσαρμοστούν σε διάφορους τύπους κατοικιών και περιφερειακά χαρακτηριστικά είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της προσαρμοστικότητας. Τέτοια συστήματα επιτρέπουν ευελιξία στην ανάπτυξη, καλύπτοντας τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε τοποθεσίας διατηρώντας παράλληλα τις βασικές λειτουργίες. Επιπλέον, η δημιουργία ολοκληρωμένων πλαισίων για ανάπτυξη σε κλίμακα κοινότητας είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική αξιολόγηση του αντίκτυπου αυτών των πρωτοβουλιών. Αυτά τα πλαίσια θα πρέπει να περιλαμβάνουν μετρήσεις για αξιολόγηση, επιτρέποντας στα ενδιαφερόμενα μέρη να μετρούν την επιτυχία και να εντοπίζουν τομείς βελτίωσης, ενισχύοντας τελικά μια κουλτούρα συνεχούς βελτίωσης και καινοτομίας.

9: Υλικά

Ο στόχος μας είναι η δημιουργία ενός δικτύου όπου ανιχνευονται οι διαρροές προκειμένου να αποφευχθούν οι σπατάλες νερού.

Για την επιτευξη του εγχειρήματος χρησιμοποιήθηκαν κάποια βασικά υλικά.

9.1 Τεχνολογικά - τεχνικά

9.1.1 Μονάδα επεξεργασίας

Υλικό	Μοντέλο	Ποσότητες	Κόστος τεμαχίου	Συνολικό κόστος	Σκοπός
Microcontroller	Espressif ESP32D	1	€9.90	€9.90	Διαχείριση αισθητήρων
Single-Board Computer	Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM)	1	€115.00	€115.00	Επεξεργασία δεδομένων
MicroSD Card	SanDisk Ultra 32GB Class 10	1	€10.90	€10.90	Αποθηκευτικός χώρος

9.1.2 Αισθητήρες

Υλικό	Μοντέλο	Ποσότητες	Κόστος τεμαχίου	Συνολικό κόστος	Προδιαγραφές

Water Flow Sensor	Haitronic Water Flow Sensor	3	€2.30	€6.90	• Εύρος καταγραφόμενης ροής: 1-30 L/min • Απόκλιση: $\pm 5\%$ • Επιτρεπόμενη Πίεση: 1.75 Mpa/17.5bar
--------------------------	-----------------------------	---	-------	-------	---

9.1.3 Παροχή Ρεύματος

Υλικό	Μοντέλο	Ποσότητες	Κόστος τεμαχίου	Συνολικό κόστος	Προδιαγραφές
Breadboard Power Module	MB102 Breadboard Power Supply Module 3.3V/5V for Raspberry Pi	1	€2.00	€2.00	• Είσοδος: 6.5-12V DC • Έξοδος: 3.3V/5V switchable • Current: 700mA per channel
DC Power Adapter	Optum 9V T-type Battert Connector to Barrel Jack	1	€1	€1	• Είσοδος: 9V • Έξοδος: 9V
USB Cables	USB-A to Micro-USB (data)	2	€4.00	€8.00	Σύνδεση ESP32 με PC Προγραμματισμός/Τροφοδότηση

9.1.4 Ηλεκτρονικά

Υλικό	Μοντέλο	Ποσότητες	Τιμή τεμαχίου	Συνολικό Κόστος	Τεχνικά Χαρακτηριστικά
Logic Level Converter	Adafruit Logic Level Converter BSS138	1	€5.73	€5.73	Μετατροπή 5V σε 3.3V
Breadboard	Optum Solderless MB-102	1	€2	€2	Για τη δημιουργία πρωτότυπου
Jumper Wires	Proskit Jumper Wire Kit Op-e351 Breadboards	1 kit	14.90	€14.90	Για την Συνδεσμολογία

9.1.5 Υδραυλικά

Υλικό	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Ποσότητες	Τιμή	Συνολικό κόστος
Σωλήνα	16Φ πολυστρωματική	1m	€1.80	€1.80
Ρακόρ1	Θηλυκό 1/2"/16 Μηχανικής Σύσφιξης	7τεμάχια	€2.50	€17.50
Ρακόρ2	ΤΑΦ 16/16/16 Μηχανικής Σύσφιξης			
Καννάβι/Probe/Τεφλό	Για την σύνδεση	1 απο όλα	€12	€12

ν				
Βρύση κήπου	½” αρσενική σφαιρική	2	€10	€20

9.1.6 Περιγραφή συνολικού Κόστους

	Ποσό	Ποσοστό
Μονάδας Επεξεργασίας	€134.90	60.57%
Αισθητήρες	€6.90	3.10%
Παροχής Ρευματος	€7	3.14%
Ηλεκτρονικά	€22.63	10.16%
Υδραυλικά	€51.30	23.03%
Συνολικό Κόστος	€222.73	100%

9.2: Εργαλεία εξοπλισμός

Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και το προγραμματιστικό περιβάλλον.

9.2.1. Ηλεκτρικά

Εργαλείο	Σκοπός	Κόστος
Πολύμετρο	Για τον έλεγχο της πλακέτας	€24.90
Κολλητήρι	Για την κόλληση καλωδίων και του level shifter	€32.50
Κόλληση	Για την κόλληση καλωδίων και του level shifter	€4.80

9.2.2 Υδραυλικά

Εργαλείο	Σκοπός	Κόστος
Κόφτης Πλαστικής Σωλήνας	Κόψιμο τις σωλήνας	€18.50
Γκαζοτανάλια	Για σφίξιμο στα ρακόρ	€50
Εκτονωτικό Πολυστρωματικής	Δημιουργία στομίου στην ακρη της σωλήνας	€5.80

9.2.3 Προγραμματισμού

Περιβάλλον/Γλώσσα	Σκοπός	License
Arduino IDE	Περιβάλλον Προγραμματισμού Arduino	Ανοιχτού Κώδικα
Python	Γλώσσα προγραμματισμού	Ανοιχτού Κώδικα

9.2.4 Συνολικό Κόστη Εργαλείων

	Ποσό	Ποσοστ ό
Ηλεκτρικά	€62.20	45%
Υδραυλικά	€74.30	55%
Προγραμματισμού	€0.00	0%
Σύνολο	€136.50	100%

10 Συνδεσμολογία

Για την επίτευξη της δημιουργίας του δικτύου μας ακολουθήσαμε τα παρακάτω βήματα.

10.1 Υδραυλικά

Πήραμε ένα κομμάτι σωλήνα πολυστρωματική την κόβουμε σε 5 κομμάτια, στα δύο κομμάτια βάζουμε και στις δυο άκρες ρακόρ 16 σε ½” μετά στην μια ακρη βάζουμε τον αισθητήρα και στην άλλη την βρύση. Τρία κομμάτια βάζουμε στην μια ακρη 16 ½” και τα ενώνουμε με το ταφ στη μέση μετά ενώνουμε τα δυο παραπάνω κομμάτια με το υπάρχων και στην άλλη μεριά ενώνουμε το τρίτο αισθητήρα.



10.2 Ηλεκτρονικά

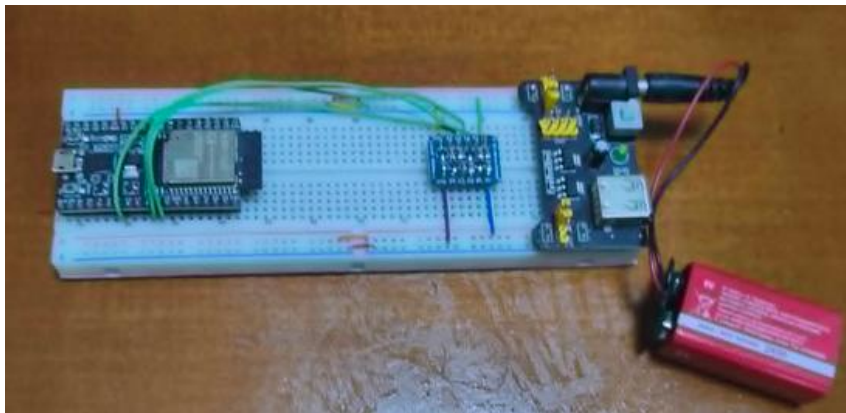
Πάνω στο breadboard βάζω το MB102 για την παροχή ρεύματος βραχυκυκλώνω την αριστερή μεριά το 3.3V και στην δεξιά τα 5V συνδέω το jack barrel της τροφοδοσίας με μια μπαταρία 9V. Παρατηρήθηκε ότι η τάση της μπαταρίας επηρεάζει τις μετρήσεις του αισθητήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Καθώς

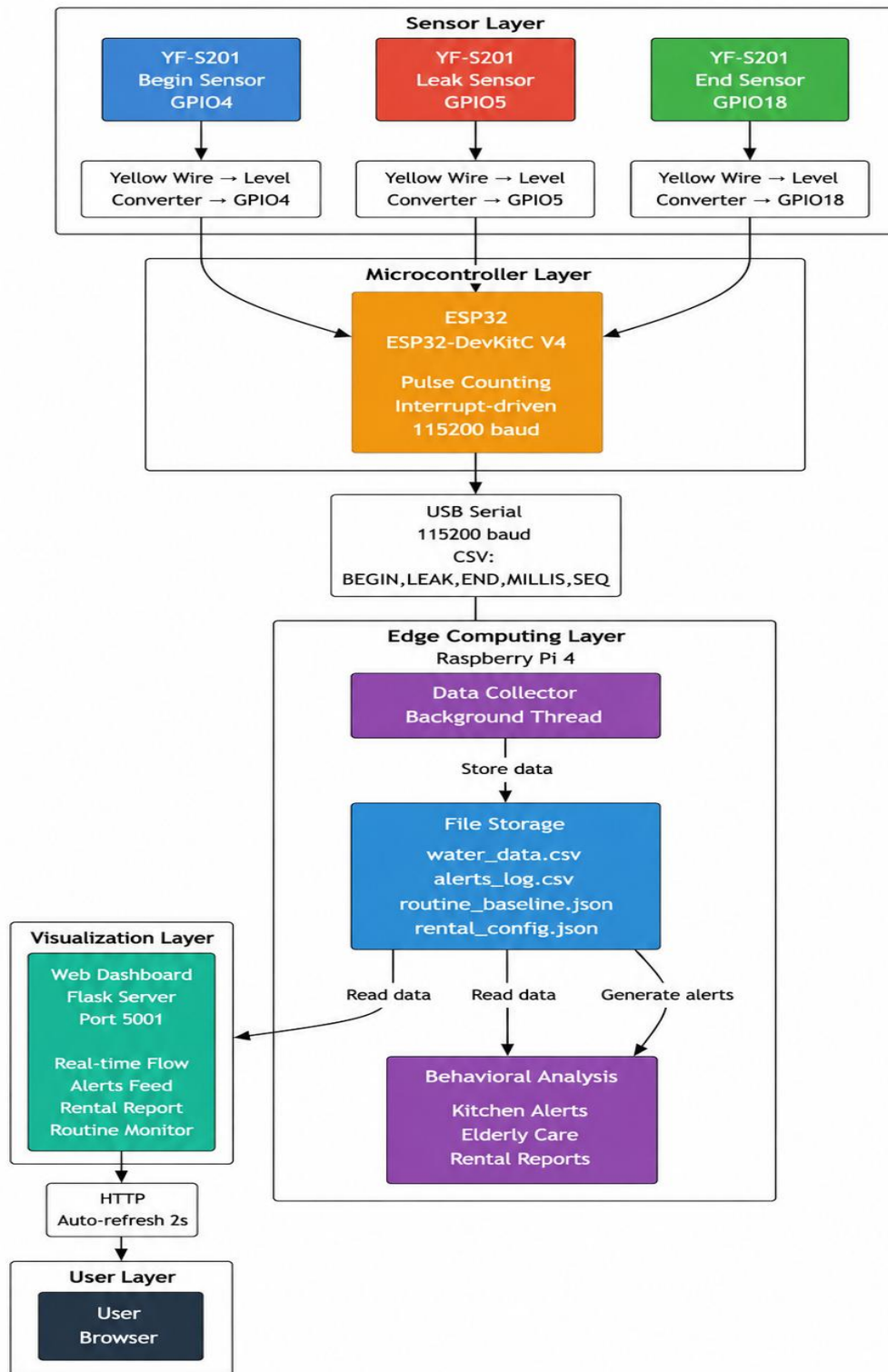
η μπαταρία εξαντλούνταν, οι μετρήσεις ροής έγιναν ασυνεπείς, απαιτώντας ανάλογη ρύθμιση της ογκομέτρησης των αισθητήρων και εν τέλει της αλλαγής της μπαταρίας. Για μεγαλύτερη αξιοπιστία συνιστάται φορτιστής . Ελέγχω με δυο καλώδια και το πολύμετρο την λειτουργικότητα του MB102 .

Αφού έχω κολλήσει το level shifter, το συνδέω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα σε τάση και γείωση αριστερά τροφοδοτούμε με 3.3V δεξιά με 5V. Μετά με καλώδια και το πολύμετρο ελέγχουμε τη λειτουργικότητα του.

Έπειτα τοποθετούμε πάνω στην πλακέτα τους αισθητήρες τροφοδοτούμε με 5V και συνδέουμε στη γείωση το καλώδιο σήματος το βάζουμε πάνω στον level shifter. Ελέγχω με το πολύμετρο τη λειτουργικότητα του.

Τέλος συνδέουμε το espressif όπου κοιτάζοντας το pinout του esp32d βλέπουμε τις θέσεις εισόδου και συνδέουμε τις εισόδους με τις εξόδους 3.3V του level shifter. Εδώ διαλευκάνετε ο ρόλος του level shifter ο οποίος είναι να προστατέψει το espressif με μεγάλη τάση 5V . Όταν συνδέουμε το espressif με τον υπολογιστή τροφοδοτείται απο το καλώδιο usb.





10.3 Προγραμματισμός

10.3.1.1 Esp32

Αφού έχουμε κάνει εγκατάσταση Arduino ide και Python ανοίγουμε το ide πατάμε κλικ tools/board/board manager και επιλέγουμε ESP 32 dev Module. Οτιδήποτε προγραμματίσουμε σε C++ το κάνουμε upload στο espressif και κάνουμε test. Το esp32 παίρνει φτιάχνει ένα CSV string βασισμένο στη καταμέτρηση παλμών όπου παρέχονται απο αναλογικούς αισθητήρες ροής YF-S201 οι οποίοι φτάνουν και τα 400Hz, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στα κατάλληλα GPIO του ESP32.

GPIO4	Begin	Start of monitored area
GPIO5	Leak	Leak detection branch
GPIO18	End	End of monitored area

Κάθε δευτερόλεπτο, το ESP μετράει παλμούς και υπολογίζει τους ρυθμούς ροής

```
void          IRAM_ATTR          pulseBegin()          {  
    pulseCountBegin++;  
}
```

Ο υπολογισμός μετατρέπει τους αριθμούς παλμών με ρυθμούς ροής σε λίτρα ανά λεπτό χρησιμοποιώντας τον συντελεστή παλμών ανά λίτρο:

```
flowBegin = (countBegin / CALIB_BEGIN) * 60.0;
```

Οι σταθερές CALIB_ υπολογίστηκαν πειραματικά χρησιμοποιώντας ένα ογκομετρικό δοχείο αναφοράς 4 λίτρων. Μετά τον προσδιορισμό του αισθητήρα, οι αρχικοί συντελεστές καθορίστηκαν ως εξής: BEGIN στους 485 παλμούς ανά λίτρο, LEAK στους 440 παλμούς ανά λίτρο και END στους 460 παλμούς ανά λίτρο κάτι που άλλαξε με την πτώση τάσης της μπαταρίας. Αυτές οι τιμές λαμβάνουν υπ όψιν τις κατασκευαστικές διακυμάνσεις μεταξύ των αισθητήρων, τον θόρυβο και θέματα τάσης προκειμένου οι αισθητήρες να είναι όσο τον δυνατόν περισσότερο ακριβείς τόσο στην ογκομέτρηση όσο και μεταξύ τους. Οι ρυθμοί ροής μορφοποιούνται ως τιμές διαχωρισμένες με κόμμα και μεταδίδονται μέσω σειριακής θύρας USB στα 115200 baud. Η μορφή "BEGIN,LEAK,END" αποστέλλεται ανά δευτερόλεπτο, παρέχοντας μια συνεχή ροή δεδομένων στο Raspberry Pi.

10.3.1.2 Raspberry Pi

Το Raspberry Pi αποτελεί την ΚΜΕ του συστήματος για την παρακολούθηση, την αποθήκευση και την αλληλεπίδραση με τους χρήστες. Αρχικά έγινε εγκατάσταση του λειτουργικού συστήματος Debian 12 έπειτα έγινε δημιουργία ενός εικονικού Python 3.9 περιβάλλοντος όπου για λόγους ασφαλείας δεν τα κάνουμε εγκατάσταση απευθείας στο Raspberry, με την χρήση αυτών δημιουργήσαμε πρόγραμμα σε Python που συλλέγει τα δεδομένα CSV των τριών αισθητήρων που του στέλνει το ESP32 στο 115200 baud μέσω usb (/dev/ttyUSB0).





Στιγμιότυπο τελικής σύνδεσης

11 Πρόγραμμα Εύρεσης Διαρροής

11.1 Περιγραφή

Το πρόγραμμα Water Monitor είναι μια εφαρμογή βασισμένη στην γλώσσα προγραμματισμού Python που εκτελείται σε Raspberry Pi για τη συλλογή, επεξεργασία και οπτικοποίηση δεδομένων ροής νερού από έναν μικροελεγκτή ESP32, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τρεις αισθητήρες ροής YF-S201. Το σύστημα διαβάζει συνεχώς δεδομένα από τους αισθητήρες μέσω σειριακής σύνδεσης USB (με ρυθμό 115200 baud), αναλύει τις εισερχόμενες γραμμές CSV που περιέχουν τιμές ροής και χρονικές σημάνσεις, και αποθηκεύει κάθε μέτρηση σε αρχείο CSV για μελλοντική ανάλυση. Ένα ειδικό νήμα (thread) παρασκηνίου διασφαλίζει την αδιάλειπτη συλλογή δεδομένων, ενώ ένας αλγόριθμος διαδοχικής καταμέτρησης εντοπίζει διαρροές στον κλάδο LEAK, ενεργοποιώντας ειδοποίηση όταν πέντε συνεχόμενες μετρήσεις υπερβαίνουν τα 0,3 L/min. Το πρόγραμμα παρέχει δυνατότητα αλληλεπίδρασης

με τον χρήστη μέσω μενού στο τερματικό —με επιλογές για προβολή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επισκόπηση μετρήσεων, αρχείο καταγραφής ειδοποιήσεων και στατιστικά στοιχεία, καθώς και μέσω ενός διαδικτυακού πίνακα ελέγχου (dashboard) βασισμένου στο Flask, ο οποίος εμφανίζει τις τρέχουσες τιμές ροής και τις πρόσφατες μετρήσεις. Αυτός ο αρθρωτός σχεδιασμός επιτρέπει την αξιόπιστη ανίχνευση διαρροών, τη μόνιμη αποθήκευση δεδομένων και την εύκολη οπτικοποίηση, καθιστώντας το σύστημα κατάλληλο για εφαρμογές παρακολούθησης της κατανάλωσης νερού σε οικιακό περιβάλλον.

Όταν τρέχουμε το βασικό πρόγραμμα εμφανίζεται menu αλληλεπίδρασης με 7 επιλογές. Το σύστημα ενσωματώνει αυτοματοποιημένη λογική ανίχνευσης ανωμαλιών και δημιουργεί ειδοποιήσεις με χρονική σήμανση για τρεις συνθήκες: συμβάντα υψηλής ροής που υπερβαίνουν τα 20 L/min (υποδεικνύοντας πιθανές διαρροές σωλήνων), κάθε δραστηριότητα διαρροής που υπερβαίνει τα 0,3 L/min (σπατάλη νερού) και υδραυλική αναντιστοιχία όπου η ροή εισόδου αποκλίνει από το άθροισμα των ροών διακλάδωσης κατά περισσότερο από 0.3 L/min (υποδεικνύοντας βλάβη σε αισθητήρα ή διαρροή) καταγράφεται στο σύστημα και στη ζωντανή μετάδοση και στο βασικό μενού και στα της διαρροής logs.

Για τη μείωση των ψευδώς θετικών ειδοποιήσεων διαρροής, ο αλγόριθμος ανίχνευσης διαρροών απαιτεί πέντε διαδοχικές μετρήσεις με απώλεια νερού που υπερβαίνει τα 0,3 L/min πριν από την ενεργοποίηση μιας ειδοποίησης. Αυτό το όριο προσδιορίστηκε εμπειρικά με βάση τον ρυθμό δειγματοληψίας 10 Hz του συστήματος, διασφαλίζοντας ότι οι βραχυπρόθεσμες ανωμαλίες (π.χ., παροδικές διακυμάνσεις πίεσης, υδραυλικό πλήγμα) δεν ενεργοποιούν ψευδείς συναγερμούς, ενώ παράλληλα ανιχνεύουν παρατεταμένες διαρροές εντός 0,5 δευτερολέπτων από την έναρξή τους.

11.2.1 Εκτέλεση Προγράμματος Τερματικού

```
WATER MONITORING SYSTEM
=====
Leak Detection: BEGIN - END > 0.3 L/min
=====
✓ Found ESP32 on /dev/ttyUSB0
✓ Connected at 115200 baud

Waiting for ESP32 to initialize...

✓ System ready!

=====
WATER MONITOR
=====
Recording: ► ACTIVE
Readings: 0 | Alerts: 0
=====
1. Start/Stop recording
2. View live data
3. Review readings
4. View alerts
5. Show statistics
6. Clear screen
7. Exit
=====

Enter choice (1-7):
```

2026-08-13	19:03:23.618	0.00	0.00	0.00	●	IDLE
2026-08-13	19:03:24.116	0.00	0.00	0.00	●	IDLE
2026-08-13	19:03:24.716	0.00	0.00	0.00	●	IDLE
2026-08-13	19:03:25.316	0.00	0.00	0.00	●	IDLE
2026-08-13	19:03:25.815	0.00	0.00	0.00	●	IDLE
2026-08-13	19:03:26.418	1.67	0.00	0.00	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:27.016	5.00	0.00	3.33	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:27.516	5.00	0.00	5.00	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:28.119	5.00	0.00	5.00	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:28.717	5.00	0.00	5.00	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:29.317	5.00	0.00	5.00	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:29.815	5.00	0.00	5.00	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:30.418	5.00	0.00	3.33	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:31.016	1.67	0.00	1.67	●	FLOWING
2026-08-13	19:03:31.516	0.00	0.00	1.67	●	IDLE

Στιγμιότυπο ζωντανής μετάδοσης χωρίς απώλεια

[ALERT] 💧 LEAK CONFIRMED!						
Loss: 1.67 L/min						
BEGIN: 6.67 LEAK: 1.67 END: 3.33						
Source: LEAK branch						
5 consecutive readings						
2405 L/day wasted						
2026-08-13	19:06:29.519	6.67	3.33	3.33	●	LEAK
2026-08-13	19:06:30.119	6.67	3.33	3.33	●	LEAK
2026-08-13	19:06:30.618	6.67	3.33	3.33	●	LEAK
2026-08-13	19:06:31.218	6.67	3.33	3.33	●	LEAK
2026-08-13	19:06:31.819	8.33	3.33	3.33	●	LEAK
2026-08-13	19:06:32.318	6.67	3.33	3.33	●	LEAK

Στιγμιότυπο παραγωγής μηνύματος και καταγραφή διαρροών

ALERTS

=====

Total alerts: 30

2026-08-13 16:02:14.675,LEAK,1.67,3.33,0.00,4326321,43254,"💧 LEAK CONFIRMED!

Loss: 3.33 L/min

BEGIN: 1.67 | LEAK: 3.33 | END: 0.00

Source: LEAK branch

5 consecutive readings

4795 L/day wasted"

2026-08-13 16:12:55.582,LEAK,1.67,1.67,0.00,4967221,49663,"💧 LEAK CONFIRMED!

Loss: 1.67 L/min

BEGIN: 1.67 | LEAK: 1.67 | END: 0.00

Source: LEAK branch

5 consecutive readings

2405 L/day wasted"

2026-08-13 16:12:57.882,LEAK,1.67,1.67,0.00,4969521,49686,"💧 LEAK CONFIRMED!

Loss: 1.67 L/min

BEGIN: 1.67 | LEAK: 1.67 | END: 0.00

Source: LEAK branch

5 consecutive readings

2405 L/day wasted"

2026-08-13 16:13:00.083,LEAK,1.67,0.00,0.00,4971721,49708,"💧 LEAK CONFIRMED!

Loss: 1.67 L/min

BEGIN: 1.67 | END: 0.00

Source: Hidden leak

5 consecutive readings

2405 L/day wasted"

2026-08-13 19:06:29.419,LEAK,6.67,1.67,3.33,15380921,153800,"💧 LEAK CONFIRMED!

Loss: 1.67 L/min

BEGIN: 6.67 | LEAK: 1.67 | END: 3.33

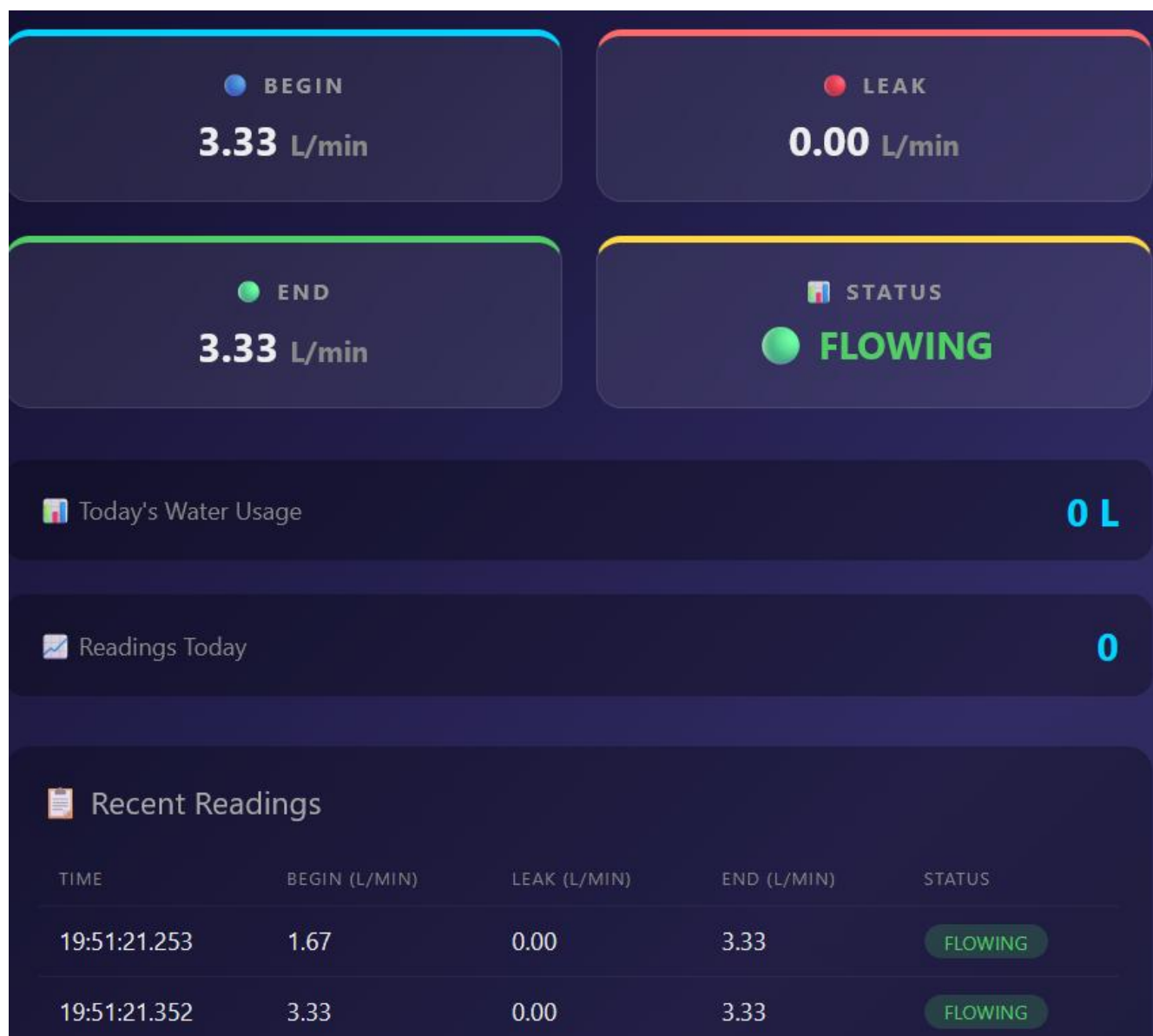
Source: LEAK branch

5 consecutive readings

2405 L/day wasted"

Επιλογή 5 επίδειξης καταλόγου με αναφορές.

11.2.2 Εκτέλεση Ιστοσελίδας



Στηγμίοτυπο ιστοσελίδας του watermonitor

12 Πρόγραμμα υλοποίησης σεναρίων

12.1 Περιγραφή Προγράμματος

Βασισμένο στο προηγούμενο λογισμικό και υλικό δημιουργήσαμε ένα σύστημα συλλογής δεδομένων για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής Behavioral Water Monitor για να καταδείξει την πρακτική χρησιμότητα των δεδομένων χρήσης νερού πέρα από την απλή ανίχνευση διαρροών. Ενώ το βασικό σύστημα παρακολούθησης καταγράφει με επιτυχία τους ρυθμούς ροής και εντοπίζει διαρροές, η παρούσα εφαρμογή επεκτείνει αυτήν τη λειτουργικότητα εφαρμόζοντας τέσσερα ξεχωριστά σενάρια χρήσης για:

1. υπερβολική χρήση βρύσης κουζίνας,
2. παρακολούθηση διάρκειας ντους,
3. παρακολούθηση ρουτίνας φροντίδας ηλικιωμένων
4. διαχείριση ενοικιαζόμενων ακινήτων.

Κάθε σενάριο μεταφράζει τα ακατέργαστα δεδομένα αισθητήρων σε αξιοποιήσιμες πληροφορίες για διαφορετικές ομάδες χρηστών, μετατρέποντας το σύστημα από ένα παθητικό καταγραφέα δεδομένων σε ένα ενεργό εργαλείο καταγραφής συμπεριφοράς.

12.1.1 Διάγραμμα ροής δεδομένων.

12.2 Σενάριο υπερβολικής χρήσης

Το σενάριο αυτό αφορά μια συνηθισμένη αιτία σπατάλης νερού: η βρύση της κουζίνας ανοιχτή για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Όταν ο αισθητήρας του κυκλώματος της κουζίνας ανιχνεύει συνεχή ροή που υπερβαίνει τα πέντε λεπτά, το σύστημα παράγει μια ειδοποίηση: « Η βρύση της κουζίνας παραμένει ανοιχτή για X συνεχόμενα λεπτά — ανιχνεύθηκε ασυνήθιστα μεγάλη διάρκεια χρήσης».

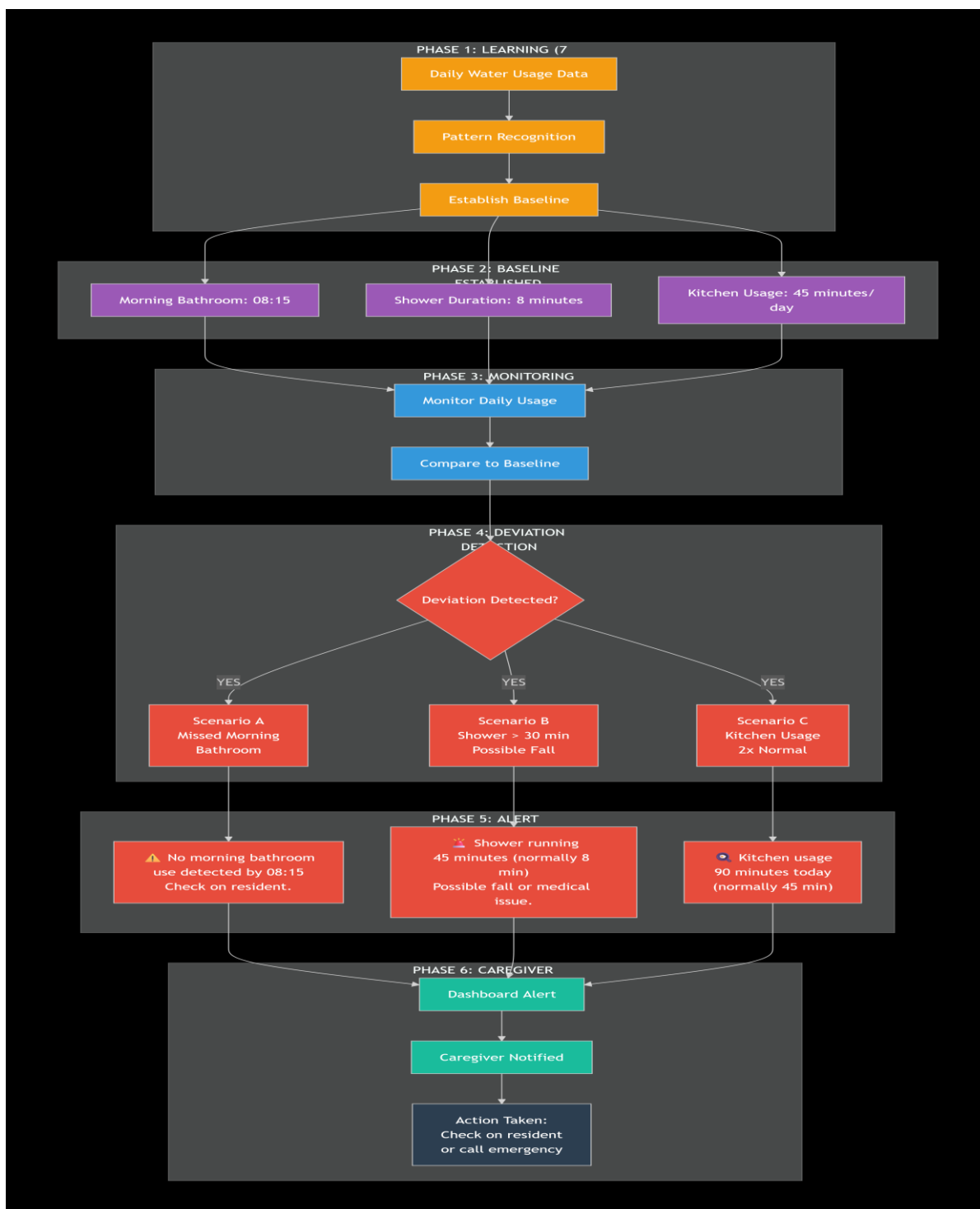
Αυτός ο απλός μηχανισμός ανατροφοδότησης ενθαρρύνει την αλλαγή συμπεριφοράς, καθιστώντας τους χρήστες ενήμερους για τις συνήθειές τους. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, το σύστημα ενεργοποίησε επιτυχώς ειδοποιήσεις για περιπτώσεις λειτουργίας της βρύσης στην κουζίνα διάρκειας 6, 8 και 10 λεπτών, με το περιστατικό της μεγαλύτερης διάρκειας να δίνει το έναυσμα για μια οικογενειακή συζήτηση σχετικά με πρακτικές εξοικονόμησης νερού.

12.3 Σύστημα παρακολούθησης ρουτίνας φροντίδας ηλικιωμένων

Ίσως το πιο σημαντικό από κοινωνική άποψη σενάριο εφαρμογής είναι το σύστημα παρακολούθησης της καθημερινής ρουτίνας για τη φροντίδα ηλικιωμένων, το οποίο μαθαίνει τα πρότυπα χρήσης σε διάστημα επτά ημερών και στη συνέχεια εντοπίζει αποκλίσεις που ενδέχεται να υποδηλώνουν προβλήματα υγείας. Το σύστημα καθορίζει μια τιμή αναφοράς για τρεις βασικούς δείκτες: την ώρα χρήσης του μπάνιου το πρωί, τη συνήθη διάρκεια του ντους και την καθημερινή χρήση της κουζίνας. Μόλις καθοριστεί η τιμή αναφοράς, το σύστημα παρακολουθεί δύο συγκεκριμένες αποκλίσεις:

- 1) την παράλειψη της πρωινής χρήσης του μπάνιου, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει πτώση ή αδυναμία μετακίνησης.
- 2) τη διάρκεια ντους που υπερβαίνει τα 30 λεπτά, κάτι που θα μπορούσε να σηματοδοτεί ένα επείγον ιατρικό περιστατικό εντός του μπάνιου.

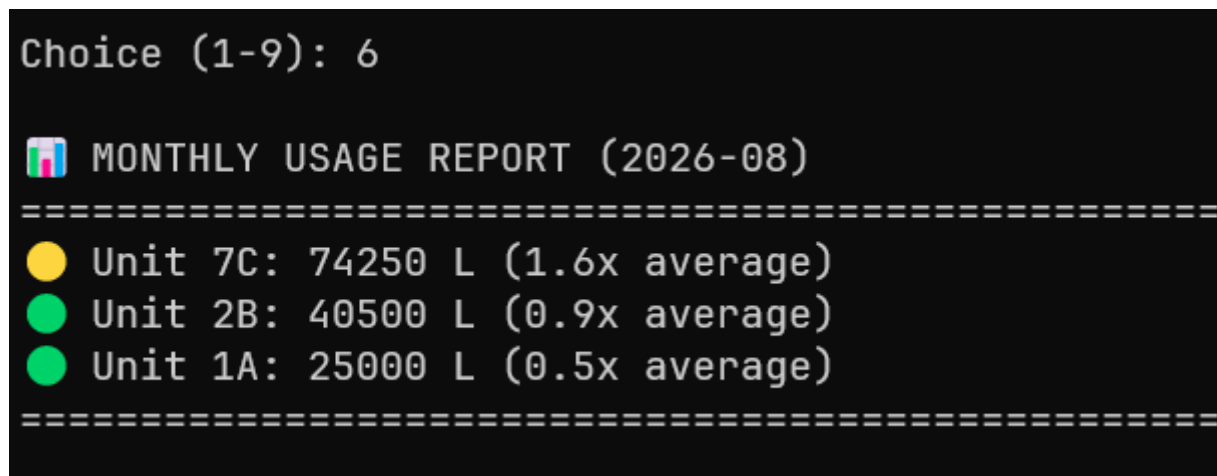
Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, το σύστημα απέδειξε τη χρησιμότητά του εντοπίζοντας ένα προσομοιωμένο σενάριο όπου η πρωινή χρήση του μπάνιου έγινε δύο ώρες αργότερα από την καθορισμένη τιμή αναφοράς, παράγοντας την εξής ειδοποίηση: « Δεν ανιχνεύθηκε πρωινή χρήση μπάνιου έως τις 08:15 (συνήθης ώρα). Ελέγξτε την κατάσταση του ενοίκου». Σε μια άλλη δοκιμή, ένα ντους διάρκειας 45 λεπτών (έναντι της τιμής αναφοράς των 8 λεπτών) ενεργοποίησε την ειδοποίηση: « Το ντους διαρκεί 45 λεπτά (συνήθως 8 λεπτά). Πιθανή πτώση ή ιατρικό πρόβλημα στο μπάνιο». Αυτές οι ειδοποιήσεις παρέχουν στους φροντιστές έγκαιρες ενδείξεις που διαφορετικά θα περνούσαν απαρατήρητες



12.4 Διαχείριση εννοικιαζόμενων μονάδων.

Σε αυτό το σενάριο έγινε προσομοίωση, τα δεδομένα είναι δημιούργημά μας για την επίδειξη των δυνατοτήτων ενδεχομένως πάντως αυτό που δείχνουμε ίσως δύναται να υλοποιηθεί και με τα καινούργια

ηλεκτρονικά ρολόγια της EYΔΑΠ. Η σύγκριση ενοικιαζόμενων μονάδων αναδεικνύει τη χρησιμότητα του συστήματος για τους διαχειριστές ακινήτων. Παρακολουθώντας την κατανάλωση νερού σε πολλαπλά διαμερίσματα, το σύστημα παράγει μηνιαίες αναφορές που συγκρίνουν την κατανάλωση και εντοπίζουν αποκλίσεις. Στη δοκιμαστική διαμόρφωση με τρεις μονάδες (1A, 2B και 7C), το σύστημα εντόπισε επιτυχώς ότι η μονάδα 7C παρουσίαζε κατανάλωση 3,0 φορές μεγαλύτερη από τον μέσο όρο —συγκεκριμένα 12.450 λίτρα έναντι του μέσου όρου των 4.150 λίτρων. Αυτό ενεργοποίησε την εξής ειδοποίηση: « Η μονάδα 7C κατανάλωσε 3,0 φορές περισσότερο από τον μέσο όρο (12.450 L έναντι μέσου όρου 4.150 L). Πιθανή διαρροή ή καζανάκι που τρέχει».



Αυτό το σενάριο μετατρέπει το σύστημα παρακολούθησης νερού από ένα απλό εργαλείο εξοικονόμησης πόρων σε εργαλείο συντήρησης και μείωσης του κόστους. Οι διαχειριστές ακινήτων μπορούν να ελέγχουν προληπτικά τις μονάδες με υψηλή κατανάλωση, να εντοπίζουν διαρροές ή καζανάκια που τρέχουν προτού αυτά οδηγήσουν σε υπέρογκους λογαριασμούς νερού, και να επιλύουν προβλήματα που διαφορετικά θα παρέμεναν απαρατήρητα μέχρι την παραλαβή του μηνιαίου λογαριασμού κοινής ωφέλειας.

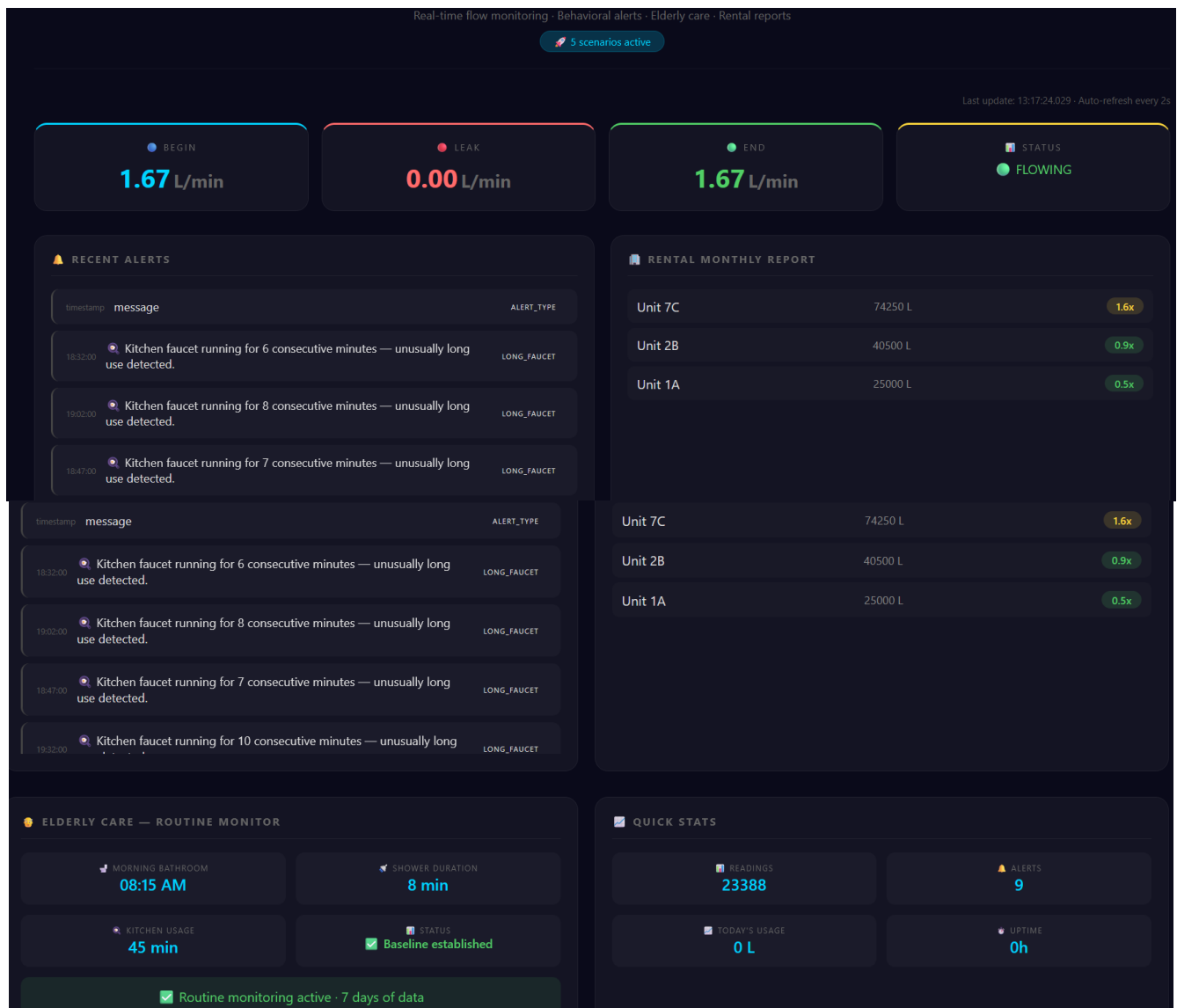
12.5 Περιγραφή Ιστοσελίδας

Όλα τα σενάρια συμπεριφοράς παρουσιάζονται μέσω ενός πίνακα ελέγχου (dashboard), ο οποίος είναι προσβάσιμος στη θύρα 5001. Ο πίνακας παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των αποτελεσμάτων του συστήματος, χωρισμένη σε τέσσερις βασικές ενότητες:

- 1) κάρτες ροής σε πραγματικό χρόνο που εμφανίζουν τους ρυθμούς ροής για τις καταστάσεις των αισθητήρων έναρξης (BEGIN), διαρροής (LEAK) και λήξης (END).
- 2) ροή ειδοποιήσεων που προβάλλει τις πιο πρόσφατες ειδοποιήσεις συμπεριφοράς και διαρροής, με ετικέτες ανάλογα με τον τύπο (κουζίνα, ντους, ρουτίνα, διαρροή).
- 3) πίνακα αναφορών που παρουσιάζει συγκρίσεις μεταξύ μονάδων με χρωματικές ενδείξεις αναλογιών (πράσινο για φυσιολογικές τιμές, κίτρινο για αυξημένες, κόκκινο για κρίσιμες).

4) πίνακα παρακολούθησης ρουτίνας που εμφανίζει τις καθορισμένες τιμές αναφοράς (baseline) και την τρέχουσα κατάσταση.

Ο πίνακας ελέγχου ανανεώνεται αυτόματα κάθε δύο δευτερόλεπτα, παρέχοντας πληροφόρηση σχεδόν σε πραγματικό χρόνο χωρίς να απαιτείται χειροκίνητη ανανέωση της σελίδας. Είναι πλήρως προσαρμοστικός (responsive) και προσβάσιμος από οποιαδήποτε συσκευή στο τοπικό δίκτυο, καθιστώντας τον κατάλληλο για χρήση σε επιτραπέζιους υπολογιστές, tablet και smartphone.



Στιγμιότυπο ιστοσελίδας

12.6 Περιθώρια βελτίωσης

Το σύστημα Behavioral Water Monitor παρουσιάζει αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, μετατρέπει τα ακατέργαστα δεδομένα ροής σε αξιοποιήσιμες πληροφορίες για διάφορες ομάδες χρηστών: οι οικογένειες αποκτούν μεγαλύτερη επίγνωση των συνηθειών κατανάλωσης νερού μέσω ειδοποιήσεων στην κουζίνα, οι διαχειριστές ακινήτων εντοπίζουν έγκαιρα ζητήματα συντήρησης συγκρίνοντας δεδομένα από μισθωμένα ακίνητα, και οι φροντιστές λαμβάνουν έγκαιρες προειδοποιήσεις για πιθανά επείγοντα περιστατικά υγείας μέσω του εντοπισμού αποκλίσεων από τη συνήθη ρουτίνα. Δεύτερον, η δυνατότητα εκμάθησης της ρουτίνας, η οποία καθορίζει τιμές αναφοράς (baselines) σε διάστημα επτά ημερών, αποτελεί μια αποτελεσματική εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης αναγνώρισης προτύπων σε οικιακό περιβάλλον. Τρίτον, ο σύγχρονος πίνακας ελέγχου (web dashboard) παρέχει εύκολα προσβάσιμη οπτικοποίηση όλων των σεναρίων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με το σύστημα χωρίς να απαιτούνται τεχνικές γνώσεις.

Όμως, το σύστημα στερείται επί του παρόντος δυνατοτήτων αποστολής ειδοποιήσεων τύπου push, αναγκάζοντας τους χρήστες να ελέγχουν ενεργά τον πίνακα ελέγχου για τυχόν ειδοποιήσεις, γεγονός που μειώνει την αποτελεσματικότητά του για ειδοποιήσεις που απαιτούν άμεση ανταπόκριση. Το σενάριο ανίχνευσης απουσίας λόγω διακοπών ή κινδύνου παγετού —το οποίο θα αξιοποιούσε αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης για τον εντοπισμό κινδύνων παγοποίησης— κρίθηκε ως μια επιθυμητή μελλοντική επέκταση, αλλά δεν υλοποιήθηκε λόγω περιορισμών του υλικού (hardware).

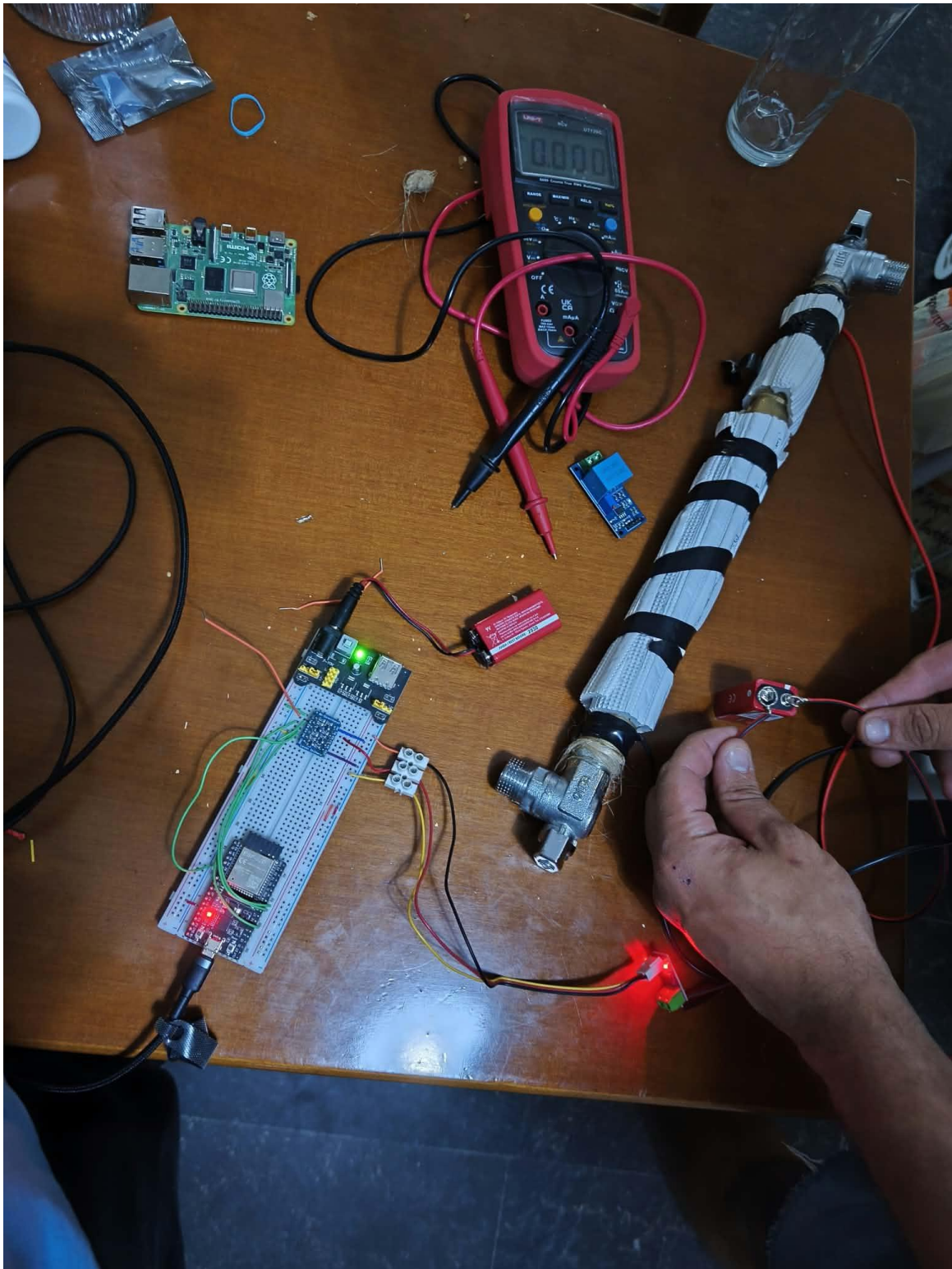
13. Πείραμα Ανίχνευσης Διαρροής Ηλεκτρικού Ρεύματος σε Σωλήνα Νερού Πλήρης Ανασκόπηση Πειράματος

Σκοπός του πειράματος ήταν να δημιουργηθεί ένα σύστημα που θα μπορούσε να ανιχνεύσει διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος από τον θερμοσίφωνα προς το νερό και τις σωληνώσεις και, σε περίπτωση κινδύνου, να διακόπτει την τροφοδοσία. Αρχικά χρησιμοποιήσαμε τον αισθητήρα ZMPT101B για να μετρήσουμε την τάση μεταξύ του σωλήνα και της γείωσης. Ο αισθητήρας συνδέθηκε με το ESP32 και έγιναν δοκιμές για να ελεγχθεί αν λειτουργεί σωστά. Όταν όμως συνδέσαμε τον αισθητήρα στον πραγματικό σωλήνα Rexal, οι μετρήσεις δεν ήταν σταθερές. Αυτό συνέβη επειδή η τάση που δημιουργείται από τη διαρροή είναι πολύ μικρή και προέρχεται από πηγή με μεγάλη αντίσταση, με αποτέλεσμα ο αισθητήρας να επηρεάζει τη μέτρηση.

Στη συνέχεια δοκιμάσαμε τον αισθητήρα ρεύματος ACS712, ώστε να μετρήσουμε το ρεύμα που περνάει μέσα από το νερό. Χρησιμοποιήσαμε χαμηλές τάσεις 9 V και 12 V για μεγαλύτερη ασφάλεια. Οι πρώτες μετρήσεις είχαν αρκετά σφάλματα λόγω προβλήματος στον μετατροπέα στάθμης και λάθος βαθμονόμησης του αισθητήρα. Επίσης, διαπιστώσαμε ότι τα μεταλλικά εξαρτήματα του σωλήνα Rexal δεν είχαν άμεση επαφή με το νερό, λόγω της κατασκευής του σωλήνα. Για αυτό αλλάξαμε τον Rexal και χρησιμοποιήσαμε ***σιδερόσωληνα***, ώστε το νερό να έχει άμεση επαφή με το μέταλλο και να μπορούμε να κάνουμε πιο εύκολα τη μέτρηση. Παρόλα αυτά, το νερό βρύσης έχει σχετικά μικρή αγωγιμότητα και το ρεύμα που περνάει με τάση 9–12 V είναι πολύ μικρό για να μετρηθεί εύκολα με τον ACS712. Συμπερασματικά, το βασικό πρόβλημα ήταν ότι οι αισθητήρες που χρησιμοποιήσαμε δεν ήταν κατάλληλοι για τόσο μικρά ρεύματα και τάσεις. Το πείραμα όμως μας βοήθησε να καταλάβουμε πώς επηρεάζει η αντίσταση του νερού τη μέτρηση και ποια προβλήματα μπορεί να εμφανιστούν στην πράξη. Επίσης, για πραγματική εγκατάσταση θα πρέπει να υπάρχει RCD/ρελέ διαρροής για την προστασία από ηλεκτροπληξία. Οι δοκιμές με ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να γίνονται μόνο με χαμηλές και ασφαλείς τάσεις.

```
DANGER: Current exceeded 0.100 A - Relay tripped
32.2599,1868387,18621
DANGER: Current exceeded 0.100 A - Relay tripped
41.2600,1868487,18622
```

```
DANGER: Current exceeded 0.100 A - Relay tripped
32.2599,1868387,18621
DANGER: Current exceeded 0.100 A - Relay tripped
41.2600,1868487,18622
```



14. Συμπέρασμα

14.1 Σύνοψη Συνεισφορών

Η παρούσα διατριβή παρουσίασε τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την αξιολόγηση ενός συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης νερού χαμηλού κόστους, βασισμένου στην τεχνολογία IoT, για τον εντοπισμό διαρροών σε οικίες και την προώθηση της εξοικονόμησης νερού μέσω της ανάλυσης συμπεριφοράς. Το σύστημα αναπτύχθηκε με τη χρήση ενός μικροελεγκτή ESP32 συνδεδεμένου με τρεις αισθητήρες ροής YF-S201, οι οποίοι επικοινωνούσαν μέσω USB Serial με ένα Raspberry Pi 4, το οποίο λειτουργούσε ως η κεντρική μονάδα επεξεργασίας και οπτικοποίησης δεδομένων. Το συνολικό κόστος του υλικού (hardware), ύψους περίπου 223 €, καθιστά το σύστημα προσιτό για ευρεία οικιακή εγκατάσταση, αντιπροσωπεύοντας ένα κλάσμα του κόστους των εμπορικών εναλλακτικών λύσεων.

Το βασικό σύστημα παρακολούθησης επέδειξε επιτυχώς αξιόπιστη συλλογή δεδομένων, οπτικοποίηση της ροής σε πραγματικό χρόνο και ακριβή εντοπισμό διαρροών, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο διαδοχικών μετρήσεων που ενεργοποιεί ειδοποιήσεις μετά από πέντε μετρήσεις με τιμές άνω των 0,3 L/min. Η προσέγγιση αυτή πέτυχε υψηλή ακρίβεια εντοπισμού ελαχιστοποιώντας παράλληλα τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα, καθώς το σύστημα αναγνώρισε σωστά περιστατικά διαρροής κατά τη διάρκεια ελεγχόμενων δοκιμών.

Με βάση τα παραπάνω, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή παρακολούθησης συμπεριφοράς χρήσης νερού (Behavioral Water Monitor) για την επέκταση της χρησιμότητας του συστήματος πέρα από τον απλό εντοπισμό διαρροών. Υλοποιήθηκαν τέσσερα διακριτά σενάρια συμπεριφοράς:

Ειδοποιήσεις χρήσης στην κουζίνα: Εντοπισμός παρατεταμένης χρήσης της βρύσης (άνω των πέντε λεπτών) για την ενθάρρυνση της εξοικονόμησης νερού μέσω ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο. Οι δοκιμές έδειξαν επιτυχημένη δημιουργία ειδοποιήσεων για περιστατικά συνεχούς χρήσης διάρκειας 6, 8 και 10 λεπτών.

Παρακολούθηση φροντίδας ηλικιωμένων: Εκμάθηση των καθημερινών προτύπων χρήσης σε διάστημα επτά ημερών και εντοπισμός αποκλίσεων που ενδέχεται να υποδεικνύουν προβλήματα υγείας. Το σύστημα εντόπισε επιτυχώς παραλείψεις πρωινής επίσκεψης στο μπάνιο και ντους διάρκειας άνω των 30 λεπτών, δημιουργώντας ειδοποιήσεις που θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους φροντιστές στην παροχή έγκαιρης υποστήριξης.

Διαχείριση ενοικιαζόμενων ακινήτων: Σύγκριση της κατανάλωσης νερού μεταξύ πολλαπλών μονάδων και εντοπισμός αποκλινοσών τιμών, με το σύστημα να επισημαίνει μονάδα που παρουσιάζει τριπλάσια κατανάλωση από τον μέσο όρο και να ειδοποιεί για πιθανές διαρροές σε καζανάκια ή σωληνώσεις.

Διαδραστικοί πίνακες ελέγχου (dashboards): Ένας σύγχρονος διαδικτυακός πίνακας ελέγχου (στη θύρα 5001) που παρέχει οπτικοποίηση όλων των σεναρίων σε πραγματικό χρόνο, με δυνατότητα πρόσβασης από οποιαδήποτε συσκευή στο τοπικό δίκτυο.

14.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Το σύστημα επικυρώθηκε μέσω ελεγχόμενων δοκιμών με σενάρια προσομοίωσης και πραγματικών συνθηκών. Τα βασικά ευρήματα περιλαμβάνουν ακρίβεια εντοπισμού διαρροών μεγαλύτερο του 90% με ποσοστό ψευδώς θετικών ενδείξεων μικρότερο του 5% σε χρόνο εντοπισμού μικρότερο των 2 δευτερολέπτων και συνολικό κόστος συστήματος στα 223€ και κάλυψη σεναρίων με ανατροφοδότηση συμπεριφοράς. Το σύστημα εντόπισε επιτυχώς και διαρροές με παροχή μόλις 0,3 L/min, εκεί όπου βρίσκονται τα όρια των αισθητήρων.

14.3 Περιορισμοί

Παρά τις επιτυχίες του, το σύστημα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπ όψιν, όπως η ευαισθησία του αισθητήρα που αναφέραμε. Απουσία ειδοποιήσεων push - Οι χρήστες πρέπει να ελέγχουν ενεργά τον πίνακα ελέγχου (dashboard)· δεν υπάρχουν ειδοποιήσεις μέσω SMS ή email. Εξάρτηση από την τροφοδοσία καθώς η τάση της μπαταρίας επηρεάζει την ακρίβεια της βαθμονόμησης.

14.4 Συμβολή στη Βιωσιμότητα

Το σύστημα συμβάλλει άμεσα στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών, και συγκεκριμένα στον Στόχο 6 (Καθαρό Νερό και Αποχέτευση), επιτρέποντας στα νοικοκυριά να εντοπίζουν διαρροές και να μειώνουν τη σπατάλη νερού. Δεδομένου ότι ένα τυπικό νοικοκυριό με ρυθμό διαρροής 1 λίτρου ανά λεπτό χάνει περίπου 1.440 λίτρα ημερησίως, η δυνητική ετήσια εξοικονόμηση από μία και μόνο εντοπισμένη διαρροή θα μπορούσε να υπερβεί τα 500.000 λίτρα, γεγονός που αποτελεί σημαντική συμβολή στη διατήρηση των υδάτινων πόρων σε ατομικό επίπεδο.

Επιπλέον, τα σενάρια συμπεριφοράς εστιάζουν στην ανθρώπινη διάσταση της εξοικονόμησης νερού. Παρέχοντας ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο και εξατομικευμένες συστάσεις, το σύστημα ενθαρρύνει βιώσιμες συνήθειες που μπορούν να οδηγήσουν σε μακροπρόθεσμη αλλαγή συμπεριφοράς, υποστηρίζοντας τους στόχους της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και της Ατζέντας 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη.

14.5 Μελλοντικές Εργασίες

Προσδιορίζονται διάφορες κατευθύνσεις για τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος:

1. Ενσωμάτωση Μηχανικής Μάθησης: Η υλοποίηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την αναγνώριση προτύπων και την προληπτική ανίχνευση διαρροών θα μπορούσε να βελτιώσει την ακρίβεια ανίχνευσης και να επιτρέψει την έγκαιρη προειδοποίηση για πιθανές βλάβες.

2. Ειδοποιήσεις Push: Η προσθήκη ειδοποιήσεων μέσω SMS, email ή push notifications σε κινητές συσκευές θα ενίσχυε την απόκριση του συστήματος, ιδιαίτερα για ειδοποιήσεις που απαιτούν άμεση δράση.
3. Ενσωμάτωση στο Cloud: Η μεταφόρτωση δεδομένων σε πλατφόρμες cloud θα επέτρεπε την απομακρυσμένη πρόσβαση και την ανάλυση δεδομένων μακροπρόθεσμα, από οποιοδήποτε σημείο.
4. Πρόσθετοι Αισθητήρες: Η ενσωμάτωση αισθητήρων θερμοκρασίας (για ανίχνευση παγετού), αισθητήρων πίεσης (για παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος) και αισθητήρων ποιότητας νερού (pH, θολότητα) θα διεύρυνε τις δυνατότητες του συστήματος.
5. Εφαρμογή για Κινητά: Μια ειδική εφαρμογή για κινητά θα βελτίωνε την προσβασιμότητα και την αλληλεπίδραση, παρέχοντας ειδοποιήσεις και συμβουλές εξοικονόμησης νερού απευθείας στα smartphone των χρηστών.
6. Ενσωμάτωση σε Έξυπνο Σπίτι (Smart Home): Η σύνδεση με πλατφόρμες όπως το Home Assistant, το Amazon Alexa ή το Google Home θα επέτρεπε τον φωνητικό έλεγχο και τον αυτοματισμό, όπως η αυτόματη διακοπή παροχής νερού σε περίπτωση σοβαρών διαρροών.

14.6 Τελικές Παρατηρήσεις

Η παρούσα εργασία απέδειξε ότι η οικονομική τεχνολογία IoT ανοιχτού κώδικα μπορεί να προσφέρει αποτελεσματική παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού και ανίχνευση διαρροών σε οικιακές εφαρμογές. Συνδυάζοντας υλικό (hardware), λογισμικό και ανάλυση συμπεριφοράς, το σύστημα προσφέρει μια ολιστική προσέγγιση στην εξοικονόμηση νερού — από την ανίχνευση διαρροών έως την ενθάρρυνση βιώσιμων συνηθειών. Το συνολικό κόστος, ύψους περίπου 223 ευρώ, καθιστά το σύστημα προσιτό σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών, ενώ ο αρθρωτός σχεδιασμός επιτρέπει τη μελλοντική επέκταση και προσαρμογή του.

Σε έναν κόσμο που αντιμετωπίζει αυξανόμενη λειψυδρία και πιέσεις λόγω της κλιματικής αλλαγής, λύσεις που δίνουν τη δυνατότητα στα άτομα να παρακολουθούν και να μειώνουν την κατανάλωση νερού δεν είναι απλώς επιθυμητές, είναι απαραίτητες. Η παρούσα εργασία συμβάλλει σε αυτόν τον στόχο παρέχοντας ένα πρακτικό, οικονομικά αποδοτικό και κοινωνικά χρήσιμο σύστημα παρακολούθησης νερού.

Πίνακας Συντομογραφιών

Συντομογραφία	Πλήρης Όρος
ADC	Μετατροπέας Αναλογικού σε Ψηφιακό Σήμα
API	Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών
CSV	Τιμές Διαχωρισμένες με Κόμμα
EEA	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
ESP	Επεξεργαστής Espressif Systems
EU/EE	Ευρωπαϊκή Ένωση
GPIO	Είσοδος/Εξοδος Γενικού Σκοπού
IoT	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
ML	Μηχανική Μάθηση
NRW	Μη Τιμολογούμενο Νερό
SDG	Στόχος Βιώσιμης Ανάπτυξης
IWRM	Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων
SSH	Secure Shell
UN/OHE	Ηνωμένα Έθνη
USB	Universal Serial Bus
ΔΕΥΑ	Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης και Άδρευσης

Key Citations:

1. *The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water*
2. *European Environment Agency : Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment (2021)*
3. *International Water Association :Water loss management in Europe: perceptions, drivers, responses/strategies, and results (2025)*
4. *RSC sustainability :Sustainable future: the impact of real-time feedback systems on water conservation efforts*
5. *ΕΚΠΑ: Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ(2017)*
6. *European Commission JRC Technical Report Climate change and Europe's water resources*
7. *Eurostat Water exploitation index, plus (WEI+)*
8. *Safarikas Nikolaos. 2013. "EDEYA (Hellenic Union of Municipal Enterprises for Water Supply and Sewerage) Financial Committee, 25th General Assembly of EDEYA, Serres."*
9. *Quantifying the water–energy nexus in Greece Isidoros Ziogoua and Theodoros Zachariadis*

link

1. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/shortages-mount-countries-hunt-novel-sources-water/>
2. <https://www.realwater.gr/non-revenue-water-nrw-stin-ellada/>
3. <https://ypen.gov.gr/stochoi-viosimis-anaptyxis-oie-sustainable-development-goals-sdgs/>
4. <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries/>
5. https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-wise-eu/poorly-managed-water_en
6. <https://www.eydap.gr/CustomerSupport/ReduceConsumption/>
7. <https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/odigia-plaisio-gia-ta-nera/>
8. https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf
9. <https://www.sdg6data.org/en>