



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ**

**ΠΜΣ στην ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ**

## **Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

### **Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων**

**Συγγραφέας:**

**Βγενοπούλου Ελισάβετ**

**Αριθμός Μητρώου: mery20004**

**Επιβλέπουσα:**

**Δαμικούκα Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια**

**Αθήνα, Μάρτιος 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF PUBLIC HEALTH**

**DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH POLICY**

**MSc in OCCUPATIONAL & ENVIRONMENTAL HEALTH**

## **Diploma Thesis**

### **Smart Water Management**

**Author:**

**Vgenopoulou Elisavet**

**Registration Number: mepy20004**

**Supervisor:**

**Damikouka Ioanna, Assistant Professor**

**Athens, March 2022**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΠΜΣ στην ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ

### Τίτλος εργασίας

### Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων

### Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Δαμικούκα Ιωάννα	Επίκουρη Καθηγήτρια	
2	Εβρένογλου Λευκοθέα	Αναπληρώτρια Καθηγήτρια	
3	Ζέρβας Γεώργιος	ΕΔΙΠ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Βγενοπούλου Ελισάβετ του Πέτρου, με αριθμό μητρώου mepy20004, φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επαγγελματική και Περιβαλλοντική Υγεία του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

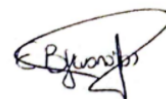
Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

\*Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Η Δηλούσα

**Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα**

Βγενοπούλου Ελισάβετ



**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ηγετικός ρόλος που έχει το νερό στη βιώσιμη ανάπτυξη αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο. Η ασφάλεια των υδάτων παραμένει μια βασική πρόκληση σε πολλές περιοχές παγκοσμίως. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται νέες περίπλοκες προκλήσεις από την εντατική αστικοποίηση και την κλιματική αλλαγή, οι οποίες συνυφαίνονται με περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά ζητήματα, που απειλούν τον παγκόσμιο πληθυσμό και οδηγούν σε αύξηση της ευθύνης για τη βελτίωση της διαχείρισης των υδατικών πόρων, προκειμένου να διασφαλιστεί η ζωή και το μέλλον της γης.

Η συνειδητοποίηση της ανάγκης αυτής σε συνδυασμό με τα επιτεύγματα της εξελισσόμενης τεχνολογίας, συνέβαλε στην ανάπτυξη της Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων (SWM) και στην υλοποίηση διαφόρων έργων στα πλαίσιά της, με στόχο την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προκλήσεων. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία, οι υδατικοί πόροι μπορούν να διαχειριστούν βιώσιμα και να εξοικονομηθούν για μελλοντική χρήση.

Ο κύριος στόχος της εργασίας, το υλικό της οποίας αποτέλεσε διεθνής βιβλιογραφία, είναι να παραθέσει τις τεχνολογικές εξελίξεις στη διαχείριση των υδάτων. Ειδικότερα εξετάζονται καινοτόμες τεχνολογίες στα πλαίσια της SWM, που συμβάλλουν στη μείωση των απωλειών νερού και στη διασφάλιση της ποιότητας του νερού. Επιπλέον αναφέρονται τεχνολογικές λύσεις, που αφορούν τη διαχείριση των ομβρίων, της αποτελεσματικής άρδευσης και της αφαλάτωσης, που συμβάλλουν στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου περιβάλλοντος. Ακολουθεί η αναφορά εφαρμογών έξυπνων συστημάτων στη διαχείριση των υδάτων, καθώς και η συμβολή τους στην αντιμετώπιση διαφορετικών προκλήσεων σ' ένα ευρύ φάσμα πλαισίων και γεωγραφικών τοποθεσιών.

Συνάγεται το συμπέρασμα, ότι απαιτούνται καινοτόμες πρακτικές διαχείρισης, έτσι ώστε να παρέχεται επαρκές ποιοτικό νερό, που θα καλύπτει τις ανάγκες των σημερινών και των μελλοντικών γενεών, όπως υποδεικνύει ο απώτερος στόχος της αειφόρου διαχείρισης των υδατικών πόρων, σε συμφωνία με τον ευρύτερο ορισμό της αειφορίας των Ηνωμένων Εθνών. Οι έξυπνες λύσεις μπορούν να αντιμετωπίσουν τις κοινωνικές προκλήσεις. Ωστόσο, οι ολιστικές απαντήσεις πρέπει να αντιμετωπίζουν την εγγενή πολυπλοκότητα των αστικών περιβαλλόντων. Ενώ υπάρχει πρόοδος, το ταξίδι παραμένει δυναμικό.

Λέξεις - κλειδιά: ασφάλεια υδάτων, βιωσιμότητα, έξυπνο δίκτυο ύδρευσης, ποσότητα υδάτων, ποιότητα υδάτων.

## **ABSTRACT**

The leading role of water in sustainable development is increasingly recognized. Water safety remains a key challenge in many parts of the world. Recent years have seen new complex challenges from intensive urbanization and climate change, which are intertwined with environmental, economic and social issues, threatening the world's population and increasing the responsibility for improving water resource management to ensure the life and the future of the earth.

Awareness of this need combined with the achievements of evolving technology, has contributed to the development of Smart Water Management (SWM) and the implementation of various projects within it, with the aim of addressing emerging challenges. Using technology, water resources can be managed sustainably and saved for future use.

The main objective of this work, the material of which was international literature, is to list the technological developments in water management. In particular, innovative technologies are examined within the SWM, which help reduce water losses and ensure water quality. In addition, technological solutions are mentioned, concerning the management of rainfall, efficient irrigation and desalination, which contribute to the development of a sustainable environment. The following is a report on applications of smart systems in water management, as well as their contribution to addressing different challenges in a wide range of contexts and geographical locations.

It is concluded that innovative management practices are needed to provide sufficient quality water to meet the needs of present and future generations, as indicated by the ultimate goal of sustainable water management, in line with the broader definition of sustainability of the United Nations. Smart solutions can meet social challenges. However, holistic answers must address the inherent complexity of urban environments. While there is progress, the journey remains dynamic.

Key - words: water safety, sustainability, smart water grid, water quantity, water quality

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT .....	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	vii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	x
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ.....	5
1.1. Το Νερό .....	5
1.1.1. Η πίεση του νερού .....	6
1.1.2. Ο αντίκτυπος της πίεσης του νερού και οι ενέργειες αντιμετώπισης.....	8
1.2. Ασφάλεια Υδάτων .....	11
1.2.1. Το πλαίσιο της ασφάλειας των υδάτων .....	11
1.2.2. Ασφάλεια αστικών υδάτων.....	11
1.2.3. Οι τρεις πυλώνες της ασφάλειας των αστικών υδάτων .....	13
1.3. Διαχείριση Υδάτων και Εξέλιξη Προσεγγίσεων .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	18
2.1. Έξυπνες Πόλεις.....	18
2.1.1. Η ανάγκη δημιουργίας έξυπνων πόλεων .....	18
2.1.2. Η έννοια των έξυπνων πόλεων .....	19
2.1.3. Ψηφιακός μετασχηματισμός έξυπνων πόλεων .....	21
2.2. Τεχνολογία και Έξυπνες Πόλεις.....	22
2.2.1. Κυριότερες τεχνολογίες των λειτουργιών έξυπνων πόλεων.....	22
2.2.1.1. Internet of Things (IoT) .....	22
2.2.1.2. Wireless Sensors Networks (WSN).....	24

2.2.1.3. Cloud Computing.....	25
2.2.1.4. Big Data .....	26
2.2.1.5. Mechanical Learning .....	26
2.2.2. Τεχνολογία και προκλήσεις υδάτων .....	26
<b>ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....</b>	<b>28</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΞΥΠΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ.....</b>	<b>28</b>
3.1. Ο Ρόλος της Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων .....	28
3.1.1. Η έννοια της έξυπνης διαχείρισης υδάτων .....	28
3.1.2. Η έξυπνη διαχείριση υδάτων στις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας .....	31
3.2. Έξυπνο Δίκτυο Ύδρευσης .....	33
3.2.1. Η έννοια του έξυπνου δικτύου ύδρευσης .....	33
3.2.2. Αρχιτεκτονική έξυπνου δικτύου ύδρευσης.....	34
3.2.3. Εργαλεία έξυπνης διαχείρισης υδάτων .....	35
3.2.4. Παρακολούθηση έξυπνου δικτύου ύδρευσης .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΞΥΠΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ.....</b>	<b>40</b>
4.1. Έξυπνη Διαχείριση Απωλειών Νερού .....	40
4.1.1. Εκτίμηση και πρόγραμμα ελέγχου απωλειών νερού .....	41
4.1.2. Έξυπνη μέτρηση .....	43
4.1.3. Έξυπνοι μετρητές.....	45
4.1.4. Διαχείριση απωλειών νερού.....	47
4.2. Έξυπνη Διαχείριση Ποιότητας Υδάτων.....	49
4.2.1. Ανάγκη παρακολούθησης ποιότητας υδάτων.....	49
4.2.2. Προσεγγίσεις παρακολούθησης ποιότητας υδάτων.....	52
4.2.3. Έξυπνη παρακολούθηση ποιότητας υδάτων.....	53
4.2.4. Έξυπνη παρακολούθηση ποιότητας υδάτων και Σχέδια Ασφάλειας Υδάτων..	56
4.2.5. Έξυπνη παρακολούθηση στην εφαρμογή των Σχεδίων Ασφάλειας Υδάτων...	57



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΛΛΕΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	60
.....	60
5.1. Έξυπνη Διαχείριση Ομβρίων Υδάτων	60
5.1.1. Ανάγκη διαχείρισης ομβρίων υδάτων	60
5.1.2. Προσεγγίσεις διαχείρισης ομβρίων υδάτων	61
5.1.3. Έξυπνη διαχείριση ομβρίων υδάτων	63
5.1.4. Στρατηγικές ελέγχου σε πραγματικό χρόνο	65
5.2. Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων Άρδευσης	69
5.2.1. Διαχείριση υδάτων άρδευσης	69
5.2.2. Έξυπνο σύστημα άρδευσης	69
5.2.3. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στον τομέα της άρδευσης	71
5.2.4. Νέοι τρόποι απόκτησης δεδομένων	75
5.2.5. Έξυπνα συστήματα άρδευσης για διατήρηση υδάτων	76
5.3. Έξυπνη Διαχείριση Αφαλάτωσης	78
5.3.1. Έξυπνο πλαίσιο αφαλάτωσης	78
5.3.2. Έξυπνη διαχείριση αφαλάτωσης	79
5.3.3. Έξυπνη διασφάλιση ποιότητας αφαλατωμένου θαλασσινού νερού	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Η ΕΞΥΠΙΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ	83
6.1. Έργα Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων	83
6.2. Παραδείγματα Εφαρμογών Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων	84
6.2.1. Δημοκρατία της Κορέας	85
6.2.2. Seosan (Κορέα), Dhaka (Bangladesh, Ν. Ασία)	87
6.2.3. National Autonomous University of Mexico	88
6.2.4. Paju, Κορέα	90
6.2.5. Μαλάουι, Τανζανία, Μοζαμβίκη, Ζιμπάμπουε, Ν.Αφρική	91
6.2.6. Chao Phraya (Ταϊλάνδη) Lake Victoria (Αν. Αφρική) Volta Basin (Δ. Αφρική)	92
.....	92

6.2.7. Smart Water, Europe.....	95
6.2.7.1. Το έργο «Εξυπνο Νερό για την Ευρώπη» (Smart Water for Europe, SW4EU) .....	95
6.2.7.2. Smart Water Management Platform (SWAMP).....	97
6.2.7.3. Το έργο «Ευφυή Δίκτυα Νερού» (SmartWater2020) .....	99
6.2.8. Smart Water Alliance Network Forum .....	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	102
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	109

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	
Εικόνα 1.1. Αναπαράσταση διαθέσιμου γλυκού νερού σε ποτάμια και λίμνες σε σχέση με το συνολικό γλυκό νερό πάνω στη Γη.....	
Εικόνα 1.2. Παράγοντες και δεσμοί που επηρεάζουν το νερό .....	
Εικόνα 1.3. Υδατοκεντρικοί στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης.....	
Εικόνα 1.4. Χαρακτηριστικά διαχείρισης αστικών υδάτων και η σχέση τους με τις πτυχές της βιωσιμότητας .....	
Εικόνα 1.5. Η σχέση των τριών πυλώνων της ασφάλειας των αστικών υδάτων.....	
Εικόνα 1.6. Εξέλιξη προσεγγίσεων διαχείρισης νερού.....	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	
Εικόνα 2.1. Υπηρεσίες έξυπνης πόλης .....	
Εικόνα 2.2. Το πλαίσιο μιας έξυπνης πόλης.....	
Εικόνα 2.3. Ενσωμάτωση IoT, AI και Big Data σε έξυπνες πόλεις για διασφάλιση της βιωσιμότητας .....	
Εικόνα 2.4. Τομείς εφαρμογής IoT σε βιώσιμη έξυπνη πόλη .....	
Εικόνα 2.5. Κόμβοι WSN-IoT σε έξυπνη πόλη.....	
Εικόνα 2.6. Cloud Computing .....	
Εικόνα 2.7. Απεικόνιση μηχανικής μάθησης σε έξυπνη πόλη .....	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	
Εικόνα 3.1. Έννοια έξυπνης διαχείρισης υδάτων: Διαχείριση υδάτων, έξυπνο σύστημα, έξυπνη κοινότητα.....	
Εικόνα 3.2. Τα πέντε επίπεδα έξυπνου δικτύου ύδρευσης .....	
Εικόνα 3.3. Επίπεδα και εργαλεία έξυπνου δικτύου ύδρευσης .....	
Εικόνα 3.4. Παράδειγμα έξυπνης υποδομής δικτύου ύδρευσης, εξοπλισμού μονάδων ανίχνευσης και μετάδοσης .....	
Εικόνα 3.5. Χάρτης GIS ενός δικτύου ύδρευσης .....	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	

Εικόνα 4.1. Πρόγραμμα ελέγχου απωλειών νερού.....	.....
Εικόνα 4.2. Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση διαρροών .....	.....
Εικόνα 4.3. Έξυπνος μετρητής συνδεδεμένος με GIS.....	.....
Εικόνα 4.4. Απεικόνιση μετρήσεων .....	.....
Εικόνα 4.5. Μετρητής νερού για ροή, πίεση και θερμοκρασία.....	.....
Εικόνα 4.6. Έξυπνα ηχητικά συστήματα.....	.....
Εικόνα 4.7. Τεχνολογία Advanced Measurement Infrastructure, AMI.....	.....
Εικόνα 4.8. Διαχωρισμός δικτύου ύδρευσης.....	.....
Εικόνα 4.9. Έξυπνο σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων .....	.....
Εικόνα 4.10. Μοντέλο IoT για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων .....	.....
Εικόνα 4.11. Στάδια και επιμέρους ενότητες Σχεδίων Ασφάλειας Υδάτων.....	.....
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	.....
Εικόνα 5.1. Μέτρηση και έλεγχος ομβρίων σε επίπεδο συστήματος.....	.....
Εικόνα 5.2. Έξυπνη διαχείριση ομβρίων σε επίπεδο συστήματος .....	.....
Εικόνα 5.3. Έλεγχος σε πραγματικό χρόνο σε λεκάνες κράτησης .....	.....
Εικόνα 5.4. Έλεγχος σε πραγματικό χρόνο σε αδιαπέραστη επιφάνεια.....	.....
Εικόνα 5.5. Κατανεμημένος έλεγχος του δικτύου σε πραγματικό χρόνο.....	.....
Εικόνα 5.6. Στοιχεία συστήματος έξυπνης άρδευσης με βάση το IoT .....	.....
Εικόνα 5.7. Διάγραμμα έξυπνου συστήματος άρδευσης.....	.....
Εικόνα 5.8. Δομή ασύρματου δικτύου αισθητήρων για έξυπνο σύστημα άρδευσης .....	.....
Εικόνα 5.9. Παραδείγματα αισθητήρων τομέα άρδευσης .....	.....
Εικόνα 5.10. Ανάπτυξη αισθητήρων στο έδαφος.....	.....
Εικόνα 5.11. Σχηματική απεικόνιση έξυπνου συστήματος άρδευσης.....	.....
Εικόνα 5.12. Έξυπνο σύστημα άρδευσης.....	.....
Εικόνα 5.13. Προτεινόμενο έξυπνο σύστημα άρδευσης διατήρησης υδάτων.....	.....
Εικόνα 5.14. Πλαίσιο για τη μετατροπή του αλατούχου θαλασσινού νερού σε πόσιμο...	.....
Εικόνα 5.15. Ενσωμάτωση αισθητήρων στα στάδια της αφαλάτωσης.....	.....

Εικόνα 5.16. Παρακολούθηση αφαλάτωσης μέσω αισθητήρων Cloud & IoT .....	
Εικόνα 5.17. Πρόγραμμα περιήγησης .....	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	
Εικόνα 6.1. Διαδικασίες διαχείρισης υδατικών πόρων της K-water με βάση το K-HIT...	

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφοριών & Επικοινωνιών
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
ΣΒΑ	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

### ΔΙΕΘΝΗΣ

SWM	Smart Water Management	Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων
IoT	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
IWM	Integrated Water Management	Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδάτων
AWM	Adaptive Water Management	Προσαρμοστική Διαχείριση Υδάτων
WSN	Wireless Sensor Networks	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων
GIS	Geographic Information System	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών
SCADA	System Control & Acquisition Data	Εποπτικός Έλεγχος & Απόκτηση Δεδομένων
SWN	Smart Water Network	Έξυπνο Δίκτυο Ύδρευσης
PRVs	Pressure Relief Valves	Βαλβίδες Μείωσης Πίεσης
AMR	Automated Measurement Reading	Αυτόματη Ανάγνωση Μετρητή
ITU	International Telecommunication Union	Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών
SMS	Short Message Service	Υπηρεσία Σύντομων Μηνυμάτων
NRW	No Revenue Water	Νερό Χωρίς Έσοδα
MNF	Minimum Night Flow	Ελάχιστη Νυχτερινή Ροή
LNF	Legal Night Flow	Νόμιμη Νυχτερινή Ροή
DMA	District Metered Areas	Περιφέρειες Μετρήσιμων Περιοχών
MMR	Manual Measurement Reading	Χειροκίνητη Ανάγνωση Μετρητή
AMI	Advanced Measurement Infrastructure	Προηγμένη Υποδομή Μέτρησης
PMA	Pressure Management Areas	Περιοχές Διαχείρισης Πίεσης
GPS	Global Positioning System	Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας
WSPs	Water Safety Plans	Σχέδια Ασφάλειας Υδάτων
RTC	Real Time Control	Έλεγχος σε Πραγματικό Χρόνο
IoUT	Internet of Underground Things	Διαδίκτυο Υπόγειων Πραγμάτων
PUB	Public Utilities Board	Συμβούλιο Υπηρεσιών Κοινής Ωφελείας
SWAN	Smart Water Alliance Network	Σύμπραξη Έξυπνων Δικτύων Ύδρευσης

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας έγινε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Επαγγελματική Περιβαλλοντική Υγεία του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Η διαχείριση των υδατικών πόρων έχει γίνει μια συνεχώς αυξανόμενη πρόκληση εν όψει της αστικοποίησης και της κλιματικής αλλαγής. Η σωστή διαχείριση ενός τόσο εύθραυστου πόρου είναι ζωτικής σημασίας. Η εργασία αυτή αποτελεί μια προσπάθεια να αποτυπώσει το ρόλο της έξυπνης διαχείρισης υδάτων (Smart Water Management, SWM), η οποία επιδιώκει να μετριάσει τις προκλήσεις στον τομέα των υδάτων, να εξασφαλίσει τη βιωσιμότητα των υδατικών πόρων και την ασφάλεια των υδάτων.

Το αρχικό ερέθισμα για την επιλογή του θέματος δόθηκε από εργασίες, που εκπόνησα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, όπου προσωπικά ενθουσιάστηκα με τις δυνατότητες της SWM και τη συμβολή της στη βιώσιμη ανάπτυξη. Λαμβάνοντας υπόψη την πίεση των υδάτων και των επιπτώσεων στον παγκόσμιο πληθυσμό, θέλησα να μελετήσω περισσότερο το συγκεκριμένο θέμα.

Οι λέξεις δεν είναι αρκετές για να ευχαριστήσω ολόψυχα την επιβλέπουσα, κα Ιωάννα Δαμικούκα για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές της, την ενθάρρυνσή της, αλλά και για την υπομονή, τη στήριξη και το ενδιαφέρον της, παράγοντες χωρίς τους οποίους δεν θα είχα ολοκληρώσει αυτή την εργασία. Η ευγένεια, η ηρεμία και η καλοσύνη της, στοιχεία που τη χαρακτηρίζουν, θα μείνουν ανεξίτηλα στο μυαλό μου. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου και να εκφράσω πόσο πολύ χαίρομαι, που το ταξίδι αυτό τελειώνει με την κα Λευκοθέα Εβρένογλου, που ήταν πάντοτε στήριγμα σε κάθε μου προσπάθεια, σαν αληθινή οικογένεια και τον κο Γιώργο Ζέρβα, για τον τρόπο που κέντριζε την κριτική μου σκέψη. Θα ήθελα να εκφράσω, επίσης, την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου και το σύζυγό μου που με στηρίζουν, όχι μόνο στις αποφάσεις μου, αλλά και κάθε φορά που η κούραση λύγιζε τις επιθυμίες και την αντοχή μου. Την εργασία αυτή νιώθω βαθιά ανάγκη να την αφιερώσω στα παιδιά μου, αφενός για τη μεγάλη τους υπομονή, αφετέρου γιατί η αγκαλιά τους είναι βάλαμο τις δύσκολες στιγμές και κινητήριο δύναμη να γίνουν τα ακατόρθωτα, εφικτά, με την προσδοκία να μην σταματήσουν ποτέ να κυνηγούν τα όνειρά τους.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι ο πιο κρίσιμος φυσικός πόρος στον κόσμο. Είναι απαραίτητο για τη ζωή, τα οικοσυστήματα, την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη. Μόνο το 1% από το συνολικό 3% του γλυκού νερού στη γη, είναι διαθέσιμο για ανθρώπινη χρήση. Η σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί μέσο για την εξασφάλιση της παραγωγής τροφίμων, τη μείωση της φτώχειας και την εξάλειψη ασθενειών, που σχετίζονται με το νερό. Η διατήρηση τόσο της ποσότητας όσο και της ποιότητας των υδατικών πόρων τονίζεται όλο και περισσότερο ως μέσο για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων (Ding & Ghosh, 2017) στα πλαίσια της πίεσης, που υφίστανται.

Η πίεση του νερού οφείλεται σε ανισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς, και προκαλεί κρίση και παγκόσμια ανησυχία, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες (Ding & Ghosh, 2017). Η αύξηση του πληθυσμού (από 7,3 δισεκατομμύρια το 2015 σε 9,7 δισεκατομμύρια έως το 2050) και η επιτάχυνση της οικονομικής δραστηριότητας αυξάνουν τη ζήτηση. Ο αντίκτυπος αυτός θα επιδεινωθεί από την κλιματική αλλαγή, έναν σημαντικό παράγοντα πίεσης των υδάτων, που συμβάλλει τόσο στην ποσοτική όσο και στην ποιοτική υποβάθμιση των πόρων γλυκού νερού. Η κλιματική αλλαγή προβλέπεται ότι θα αλλάξει τα πρότυπα υετού και τη μεταβλητότητά τους, επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα του νερού. Καθώς οι βροχοπτώσεις και η ροή των επιφανειακών υδάτων δεν κατανέμονται ομοιόμορφα χωρικά ή χρονικά, η λειψυδρία ή η πίεση εμφανίζεται σε περιοχές, όπου οι πόροι είναι ανεπαρκείς σε σχέση με τον αριθμό των ανθρώπων, που ζουν εκεί και το ποσοστό αυτών από 36% το 2010 προβλέπεται να αυξηθεί σε 52% έως το 2050 (Water Veolia, 2011).

Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, η έλλειψη επαρκούς, καθαρού και ασφαλούς νερού, η ρύπανση των υδατινών περιβαλλόντων, και η αναποτελεσματική διαχείριση των φυσικών πόρων εξακολουθούν να αποτελούν μείζονες αιτίες περιβαλλοντικού προβλήματος και θνησιμότητας (Su et al., 2020). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) αναφέρει ότι το 25-30% των εισαγωγών στα νοσοκομεία και το 60% των βρεφικών θανάτων αποδίδεται σε βακτηριακές και παρασιτικές λοιμώξεις, που μεταδίδονται με το νερό.

Η κρίσιμη σημασία του νερού για τις διάφορες πτυχές της ανθρώπινης υγείας, της ανάπτυξης και της ευημερίας οδήγησε σε συγκεκριμένους στόχους σχετικά με το νερό. Ο



στόχος 6 των 17 Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) των Ηνωμένων Εθνών ζητά να διασφαλιστεί, ότι τα αειφόρα αποθέματα νερού είναι παγκοσμίως διαθέσιμα, συμπεριλαμβάνοντας τη προσβασιμότητα στο νερό, τον έλεγχο της ρύπανσης, την αποδοτικότητα και την αποκατάσταση των φυσικών πόρων (UN, 2017).

Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος απαιτείται μια ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων, που θα καλύπτει το σύνολο του κύκλου νερού. Βασικό ρόλο στην προσέγγιση αυτή έχει η ασφάλεια των υδάτων, στόχος της οποίας είναι η προστασία της αειφόρου ανάπτυξης των οικοσυστημάτων και των ανθρώπινων κοινωνιών και περιλαμβάνει τη διασφάλιση της ποσότητας νερού, της ποιότητας του νερού και της πρόληψης κινδύνων, που σχετίζονται με το νερό (Li et al., 2020). Η πιο τυπική και ευρέως χρησιμοποιούμενη έννοια της ασφάλειας των υδάτων είναι σε επίπεδο πόλης, καθώς, σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, θα χρειαστούν τριπλάσιοι πόροι μέχρι το 2050, λόγω της εκθετικής ανάπτυξης της αστικοποίησης.

Τα τρέχοντα μοντέλα διαχείρισης αστικών υδάτων δεν έχουν αντιμετωπίσει την κρισιμότητα της κατάστασης με βιώσιμο τρόπο, με αποτέλεσμα την αναποτελεσματικότητα στη χρήση υδατικών πόρων, καθώς και άλλων οικονομικών, τεχνικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για να αποφευχθεί η πίεση του νερού χρειάζεται να γίνεται πιο ασφαλής διαχείριση. Οι προσεγγίσεις διαχείρισης περιλαμβάνουν τον μετριασμό της ζήτησης και τη βελτίωση της προσφοράς σε συνδυασμό με την υιοθέτηση βιώσιμων λύσεων.

Η αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων απαιτεί προηγμένα εργαλεία και στρατηγικές, που ανταποκρίνονται καλύτερα στις αυξημένες απαιτήσεις του νερού. Η ενσωμάτωση των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στον τομέα των υδάτων προσφέρει νέες ευκαιρίες για αποτελεσματική διαχείριση στα πλαίσια της έξυπνης διαχείρισής τους.

Η έξυπνη διαχείριση υδάτων (Smart Water Management, SWM) είναι η χρήση συστημάτων βασισμένων στην τεχνολογία για την παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο με σκοπό την αποτελεσματική και αυτοματοποιημένη διαχείριση του νερού, που βοηθά στη μείωση της κατανάλωσης νερού, την ανίχνευση διαρροών, τη διασφάλιση της ποιότητας του νερού, μαζί με άλλες λειτουργίες, που οδηγούν σε βιώσιμη και αυτάρκη

εκμετάλλευση του νερού (Li et al., 2020), όσον αφορά τη διαχείριση των ομβρίων, την αφαλάτωση, αλλά και τον τομέα της άρδευσης.

Τα έξυπνα συστήματα νερού συνδέονται εγγενώς με την έννοια των έξυπνων πόλεων, τον πιο αποτελεσματικό τρόπο αντιμετώπισης σύγχρονων προκλήσεων (Silva et al., 2017). Η SWM μπορεί να αξιοποιήσει τις υποδομές Internet of Things (IoT) και να διαχειριστεί το νερό με αποδοτικό και βιώσιμο τρόπο από την πηγή έως την τελική χρήση. Οι εφαρμοζόμενες στρατηγικές πρέπει να συνδέονται με την παγκόσμια ευαισθητοποίηση της κοινωνίας για βιώσιμο σχεδιασμό και διαχείριση, προκειμένου να γίνει καλύτερη χρήση των διαθέσιμων πόρων.

Η SWM αναμένεται να επιλύσει προκλήσεις αειφορίας και οι φορείς πολιτικής την αγκαλιάζουν όλο και περισσότερο ως εργαλείο για τη διαχείριση υδατικών πόρων, αντιμετωπίζοντάς την ως ένα μονοπάτι προς ευρύτερους κοινωνικούς, οικονομικούς, περιβαλλοντικούς στόχους και στόχους διακυβέρνησης, σε συνέπεια με τα οράματα των ΣΒΑ των Ηνωμένων Εθνών (Hartley & Kuecker, 2020).

Η εργασία αυτή είναι δομημένη σε δύο μέρη. Στο γενικό, όπου παρουσιάζονται γενικά στοιχεία σχετικά με τα ύδατα και την τεχνολογία και στο ειδικό, που περιλαμβάνει την SWM και τις εφαρμογές της. Το πλαίσιο της ασφάλειας των υδάτων και η εξέλιξη των προσεγγίσεων για τη διαχείρισή τους περιγράφονται στο πρώτο κεφάλαιο. Η έννοια των έξυπνων πόλεων και ο ρόλος της τεχνολογίας στη δημιουργία τους, καθώς και οι κυριότερες απ' αυτές αναπτύσσονται στο δεύτερο κεφάλαιο, ενώ στο τρίτο γίνεται αναφορά στην SWM και το έξυπνο δίκτυο ύδρευσης. Η έξυπνη διαχείριση απωλειών νερού και η έξυπνη διαχείριση της ποιότητάς του αναφέρονται στο τέταρτο κεφάλαιο και στο πέμπτο καταγράφονται άλλες έξυπνες εφαρμογές στη διαχείριση των υδάτων, αναφορικά με τα όμβρια, την άρδευση και την αφαλάτωση. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται έργα SWM, που έχουν υλοποιηθεί, καθώς και η συμβολή τους στη βιώσιμη ανάπτυξη, αλλά και περιορισμοί στην εφαρμογή τους. Η εργασία κλείνει με το έβδομο κεφάλαιο και τη συζήτηση, όπου παρατίθενται ευκαιρίες και προκλήσεις της SWM, καθώς και με τα συμπεράσματα.

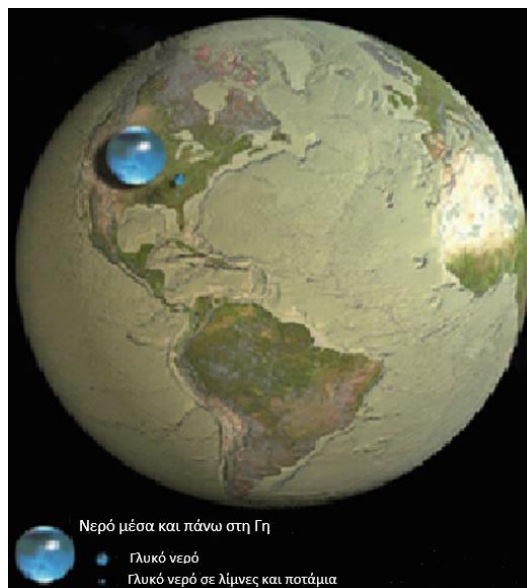
## ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ

#### 1.1. Το Νερό

Τα τρία τέταρτα της επιφάνειας της Γης καλύπτονται με νερό, γι' αυτό και ο πλανήτης μας αποκαλείται και ως μπλε πλανήτης. Αν όλο το νερό της Γης απλωνόταν στην επιφάνειά της, ολόκληρος ο πλανήτης θα καλυπτόταν από έναν ωκεανό, που θα είχε βάθος 2,5 χιλιόμετρα. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού ωστόσο είναι θαλασσινό, γεγονός που το καθιστά ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση (Jain & Singh, 2010).

Το γλυκό νερό είναι ένα μικρό ποσοστό, μόλις 3% του συνολικού νερού. Από αυτό το ποσοστό, λιγότερο από το 1% είναι διαθέσιμο (Εικ. 1.1), δεδομένου ότι περισσότερο από το 68% είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Το γλυκό νερό, που υπάρχει σε ποτάμια, λίμνες και υδροφόρους ορίζοντες, πρέπει να ικανοποιεί όλες τις ανθρώπινες ανάγκες (Zafirakou, 2017).



**Εικόνα 1.1.** Αναπαράσταση διαθέσιμου γλυκού νερού σε ποτάμια και λίμνες σε σχέση με το συνολικό γλυκό νερό πάνω στη Γη (Zafirakou, 2017)

Το νερό είναι υψίστης σημασίας για την ανθρώπινη ζωή και τα οικοσυστήματα. Είναι πολύτιμο αγαθό για την υγεία και την ανάπτυξη, καθώς συνδέεται με τα τρόφιμα, την ενέργεια, το εμπόριο και όλες τις πολιτιστικές, κοινωνικές και οικονομικές πτυχές της ανθρωπότητας, αλλά και με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Tejada-Guibert, 2015).

Το νερό θεωρούνταν άφθονο σε σχέση με τις ανάγκες της κοινωνίας. Τα δεδομένα αυτά άλλαξαν το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα με τη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, την επέκταση αστικών και γεωργικών περιοχών, την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, την ανάπτυξη των βιομηχανιών και την επιτάχυνση της παραγωγής ενέργειας. Η εκθετική αύξηση της κατανάλωσης νερού, επέσυρε αλλαγές στη διαθεσιμότητα, την ποιότητα και τη χρήση του. Άρχισε έτσι να γίνεται αντιληπτό, ότι η παροχή γλυκού νερού ήταν περιορισμένη και σύντομα εκδηλώσεις κρίσης νερού άρχισαν να εμφανίζονται και να γίνονται έντονες σε πολλές περιοχές (Jain & Singh, 2010).

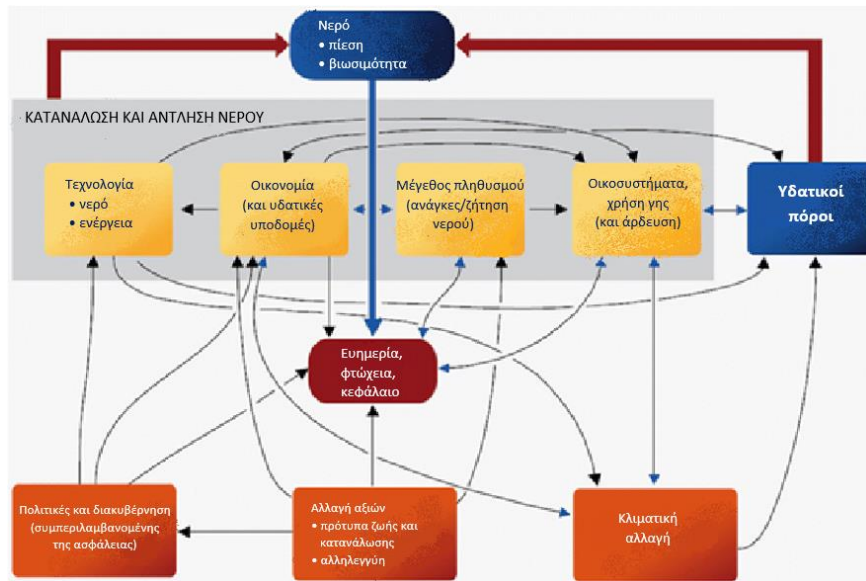
Αυτές οι κρίσιμες προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν, προκειμένου να διασφαλιστεί ένα βιώσιμο μέλλον (Tejada-Guibert, 2015). Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα, «οι κύριες αναπτυξιακές προκλήσεις αυτού του αιώνα, όπως η επισιτιστική και ενεργειακή ασφάλεια, ο έλεγχος της αστικής επέκτασης, η ανθρώπινη ανάπτυξη και η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, θα αντιμετωπιστούν μόνο, εάν η διαχείριση των υδατικών πόρων είναι επαρκής» (UN, 2013).

#### **1.1.1. Η πίεση του νερού**

Ο όρος «κρίση του νερού» υποδηλώνει έλλειψη νερού καλής ποιότητας σε σύγκριση με τη ζήτηση της κοινωνίας για την κάλυψη των αναγκών της. Δισεκατομμύρια άνθρωποι σε περισσότερες από 40 χώρες πλήττονται από την έλλειψη επαρκούς κι ασφαλούς νερού. Οι περισσότεροι ζουν σε αναπτυσσόμενες χώρες (Jain & Singh, 2010). Η οικονομική παγκοσμιοποίηση και η συνεχιζόμενη διαταραχή των φυσικών πόρων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν ως αντίκτυπο τη μεγέθυνση της κρίσης του γλυκού νερού σε παγκόσμιο επίπεδο (Kirshen et al., 2004).

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα, που επηρεάζουν το νερό, και αυτοί πρέπει να γίνουν κατανοητοί, προκειμένου να προβλεφθούν οι συνέπειες και να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις για μελλοντική δράση. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν δημογραφικά στοιχεία (π.χ. αστικοποίηση), αλλαγές στην παγκόσμια οικονομία, τεχνολογική καινοτομία, κλιματική αλλαγή και αλλαγές στη χρήση γης (UN WWAP, 2009). Οι παράγοντες αυτοί ασκούν πιέσεις στους πόρους γλυκού νερού κι επηρεάζουν τη βιωσιμότητα. Οι διαθέσιμες πληροφορίες, που θα οδηγήσουν στη λήψη αποφάσεων, για να είναι κατάλληλες πρέπει να συνυπολογίζουν τις αλληλεπιδράσεις

μεταξύ αυτών των παραγόντων (Εικ. 1.2), που αλλάζουν τη δυναμική των δεδομένων (UN WWAP, 2012).



**Εικόνα 1.2.** Παράγοντες και δεσμοί που επηρεάζουν το νερό (Πηγή: Gallorin, 2012; UN WWAP, 2012)

Σε γενικές γραμμές, περιβαλλοντικές επιδράσεις ασκούν πίεση στη διαθεσιμότητα του νερού και κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις στη ζήτηση νερού (Ding & Ghosh, 2017). Από την πλευρά της προσφοράς, η πίεση του νερού θεωρείται συνέπεια της κλιματικής αλλαγής, που καθιστά το νερό σπάνιο σε ορισμένες περιοχές του κόσμου και λιγότερο αξιόπιστο. Από την πλευρά της ζήτησης, η ταχεία αύξηση του πληθυσμού και της αστικοποίησης σε συνδυασμό με την οικονομική ανάπτυξη αύξησαν τη ζήτηση γλυκού νερού παγκοσμίως κατά 55%, καθώς πρέπει να διατεθεί περισσότερο νερό για οικιακούς, αγροτικούς και βιομηχανικούς τομείς και προκάλεσαν τη ρύπανση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων (Krishnamurti et al., 2012).

Η διασφάλιση του γλυκού νερού θεωρείται η πιο ουσιαστική και βασική ανάγκη για την ανθρωπότητα. Εάν δεν ελεγχθεί, η αλόγιστη χρήση νερού θα επιφέρει καταστροφικές αλλαγές σε ολόκληρο τον πλανήτη. Με περισσότερο από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού να αναμένεται να έχει χρόνια έλλειψη νερού (Sonderlund et al., 2014), οι κυβερνήσεις και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής σε όλο τον κόσμο επικεντρώνονται στην ανακούφιση της πίεσης (Kumar et al., 2020). Οι προσεγγίσεις διαχείρισης περιλαμβάνουν τον μετριασμό της ζήτησης με εφαρμογή πρακτικών εξοικονόμησης νερού και τη βελτίωση της προσφοράς με μεθόδους, όπως ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση νερού (Gude, 2017).

### **1.1.2. Ο αντίκτυπος της πίεσης του νερού και οι ενέργειες αντιμετώπισης**

Το γλυκό νερό είναι σημαντικός φυσικός πόρος για την επιβίωση και την ανάπτυξη της ανθρώπινης ζωής. Με τις πιέσεις, που υφίσταται, η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει μια ακραία κρίση (Sitzenfrei, 2014), η οποία σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ για το έτος 2020, αποτελεί τον 5<sup>ο</sup> παγκόσμιο κίνδυνο με βάση τον αντίκτυπο στην κοινωνία.

Η κρίση αυτή αφορά τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα, καθώς ακόμη και αν υπάρχει επαρκής ποσότητα νερού, η πραγματική χρήση μπορεί να είναι περιορισμένη λόγω της κακής ποιότητάς του. Αναμφίβολα, η κρίση του νερού καταδικάζει δισεκατομμύρια ανθρώπους σε έναν αέναο αγώνα για επιβίωση, καθώς χάνονται περισσότερες ζωές από ό, τι σ' έναν πόλεμο. Εκατομμύρια θάνατοι θα μπορούσαν να προληφθούν κάθε χρόνο, ειδικά στα παιδιά, αφού οι ασθένειες, που σχετίζονται με το νερό, είναι η κύρια αιτία θανάτου σε παιδιά κάτω των πέντε ετών (Jain & Singh, 2010).

Οι δυσμενείς συνέπειες της κρίσης των υδάτων είναι πολλές και επηρεάζουν την κοινωνία, το περιβάλλον και την οικονομία. Η κρίση, που υπάρχει στα ύδατα, είναι κρίση διαχείρισης των υδάτων, από την οποία υποφέρουν δισεκατομμύρια άνθρωποι και το περιβάλλον (Cosgrove & Rijsberman, 2000). Οι επιπτώσεις της έλλειψης νερού και της ρύπανσής του έχουν γίνει αισθητές τόσο στις βιομηχανικές όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες και για να καλυφθούν οι παγκόσμιες ανάγκες σε νερό με βιώσιμο τρόπο, είναι απαραίτητη η υπέρβαση διεθνών και πολιτικών ορίων (Setegn, 2015a).

Οι αυξανόμενες απειλές, που σχετίζονται με το νερό, έχουν οδηγήσει, όπως αναφέρεται στους Nazemi & Madani (2018) σε διάφορες συζητήσεις, οι οποίες τη δεκαετία του 1990, άρχισαν να πλαισιώνονται στον όρο «ασφάλεια των υδάτων» (Falkenmark and Lundqvist, 1998). Η ασφάλεια των υδάτων, ως μακροσκοπική και ολιστική ιδέα, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> Παγκόσμιου Φόρουμ για το Νερό το 2000, το οποίο και ενέκρινε τη συνάφειά της με την αντιμετώπιση της παγκόσμιας υδατικής κρίσης και την έθεσε ως παγκόσμιο πρωταρχικό στόχο (GWP, 2000).

Η ασφάλεια των υδάτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης (Zhu & Chang, 2020). Πολλά έθνη βασιζόμενα στους Αναπτυξιακούς Στόχους της Χιλιετίας του 2000, που είχαν υιοθετηθεί από 189 χώρες, συμφώνησαν το 2015, σε μια

νέα ατζέντα βιώσιμης ανάπτυξης «για τον τερματισμό της φτώχειας, την προστασία του πλανήτη και την εξασφάλιση ευημερίας για όλους» (UN, 2015). Ζητώντας παγκόσμια ευαισθητοποίηση και ενίσχυση των πρακτικών αειφορίας από τις κυβερνήσεις, τα Ηνωμένα Έθνη ανακοίνωσαν 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) στην Ατζέντα 2030 (UN, 2015), οι οποίοι προσπαθούν να επιτρέψουν ένα επίπεδο ανάπτυξης, που να είναι δίκαιο και οικονομικά βιώσιμο κατά τη χρήση των πόρων του (Dutt & Punniakotty, 2021).

Το νερό, ως πόρος, βρίσκεται στο επίκεντρο πολλών στόχων της αειφόρου ανάπτυξης (Εικ. 1.3). Η ασφάλεια των αστικών υδάτων συνδέει άμεσα τον ΣΒΑ 6 (Καθαρό νερό και αποχέτευση) και τον ΣΒΑ 11 (Βιώσιμες πόλεις και κοινότητες). Επιθυμητός σκοπός είναι το ασφαλές πόσιμο νερό για όλους. Έτσι εξασφαλίζεται η υγεία όλων, όπως αναφέρεται στον ΣΒΑ 3, αλλά και η διατήρηση τομέων της κοινωνίας, όπως αναφέρεται στον ΣΒΑ 11. Η δίκαιη κατανομή του νερού συμβάλει στη μείωση της φτώχειας, όπως αναφέρεται στον ΣΒΑ 1, ενώ η ζωή κάτω από το νερό του ΣΒΑ 14, με τη μορφή αποθεμάτων ψαριών συμβάλλει στη γενική επισιτιστική ασφάλεια. Τέλος, η πρόσβαση σε ασφαλείς υδατικούς πόρους και η διατήρηση του περιβάλλοντος και των θρεπτικών στοιχείων των καλλιεργειών αποτελεί προϋπόθεση για το ΣΒΑ 2, (Μηδενική πείνα) και τον ΣΒΑ 7 (Προσιτή και καθαρή ενέργεια) (ICSU, 2017). Όπως αναφέρεται στη Ζαφίρακου (2017), «το νερό δεν πρέπει πλέον να θεωρείται ως ελεύθερος πόρος, αλλά ως πολύτιμος πόρος για τη ζωή».



**Εικόνα 1.3.** Υδατοκεντρικοί στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης (United Nations 2015; Makarigakis & Jimenez-Cisneros 2019)

Η αύξηση όμως του πληθυσμού και η οικονομική ανάπτυξη αυξάνει την πίεση στο νερό, οδηγώντας σε τεράστιες προκλήσεις για τη διαχείριση των υδατικών πόρων και η κλιματική αλλαγή ενδέχεται να επιδεινώσει αυτήν την πρόκληση σε ορισμένες περιοχές. Όλες αυτές οι αλλαγές καθιστούν την επίτευξη των ΣΒΑ πιο δαπανηρή ή αδύνατη (Heinke et al., 2019).

Η βιώσιμη, αποτελεσματική και δίκαιη διαχείριση των υδάτων δεν ήταν ποτέ τόσο σημαντική όσο τώρα (Zafirakou, 2017). Σύμφωνα με τα δεδομένα της έκθεσης του Κοινού Προγράμματος Παρακολούθησης του ΠΟΥ για το 2020, καθίσταται σαφές ότι, εάν οι τρέχουσες τάσεις επιμείνουν έως το 2030 (Vliet et al., 2021):

- 1,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως δεν θα έχει πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό,
- 2,8 δισεκατομμύρια δεν θα έχει ασφαλείς υπηρεσίες υγιεινής, και
- 1,9 δισεκατομμύρια δεν θα έχει βασικές εγκαταστάσεις υγιεινής χεριών.

Αναφέρεται επίσης, ότι στην αρχή της πανδημίας Covid-19, παρόλο, που υπήρχε επιτακτική ανάγκη για καλή υγιεινή των χεριών, 3 στα 10 άτομα παγκοσμίως δεν είχαν τη δυνατότητα να πλύνουν τα χέρια τους με σαπούνι και νερό (Vliet et al., 2021).

Για να επιτευχθεί καθολική πρόσβαση σε πόσιμο νερό με ασφαλή διαχείριση έως το 2030, σύμφωνα με την ίδια έκθεση, ο τρέχων ρυθμός προόδου στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει να αυξηθεί δέκα φορές, έτσι ώστε σε κάθε παιδί και οικογένεια να παρέχονται βασικές ανάγκες για την υγεία και την ευημερία τους, συμπεριλαμβανομένης της καταπολέμησης ασθενειών, όπως ο Covid-19.

Η εκμετάλλευση και η χρήση των υδάτων απαιτεί καλό σχεδιασμό σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο, που θα περιλαμβάνει την εξέταση ποικίλων παραγόντων, για τη λήψη αποτελεσματικών και βιώσιμων αποφάσεων. Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι για το νερό, θα απαιτηθούν σημαντικοί οικονομικοί πόροι, βιώσιμες τεχνολογικές λύσεις και θαρραλέα πολιτική βούληση. Είναι σημαντικό να εφαρμόζονται προγράμματα ανάπτυξης υδατικών πόρων, τα οποία να καλύπτουν δίκαια τις διάφορες απαιτήσεις. Η συνεχής προστασία και προώθηση της ανθρώπινης υγείας είναι ζωτικής σημασίας (Setegn, 2015b).



## **1.2. Ασφάλεια Υδάτων**

### **1.2.1. Το πλαίσιο της ασφάλειας των υδάτων**

Η ασφάλεια των υδάτων επιδιώκει να εγγυηθεί την πρόσβαση σε υπηρεσίες νερού, να διασφαλίσει τη διαθεσιμότητά του και να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις της υδρολογικής μεταβλητότητας (Cook & Bakker, 2012). Είναι μια δυναμική έννοια, που εξελίσσεται (Dou et al., 2021) και μπορεί να μεταφέρει την έμφαση από μια διαδικασία (έλεγχος) σε ένα στόχο (ασφαλής πρόσβαση σε νερό καλής ποιότητας). «Η Παγκόσμια Σύμπραξη Υδάτων θεωρεί την ασφάλεια των υδάτων ως το κύριο μέσο για τη διαχείρισή τους» (GWP, 2000).

Μια πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση εντόπισε 25 μοναδικούς ορισμούς της ασφάλειας των υδάτων στην ακαδημαϊκή και θεσμική βιβλιογραφία (Allan et al., 2018). Οι ορισμοί συνεχίζουν να εξελίσσονται με αυξανόμενη πολυπλοκότητα, υποδηλώνοντας, ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλαπλές πτυχές.

Για την παροχή μιας πιο συγκεκριμένης εικόνας, τα Ηνωμένα Έθνη όρισαν την ασφάλεια των υδάτων ως «την ικανότητα ενός πληθυσμού να διασφαλίζει τη βιώσιμη πρόσβαση σε επαρκείς ποσότητες αποδεκτού ποιοτικού νερού για τη διαβίωση, την ανθρώπινη ευημερία, την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων σε κλίμα ειρήνης και πολιτικής σταθερότητας» (UN Water, 2013). Αυτός ο ορισμός σύμφωνα με τους Zhu & Chang (2020), υπογραμμίζει την ισορροπία μεταξύ της προστασίας των υδατικών πόρων και της υποστήριξης των κοινωνικοοικονομικών αναγκών και αντικατοπτρίζεται ρητά στον ΣΒΑ 6 των Ηνωμένων Εθνών (UNESCO, 2019).

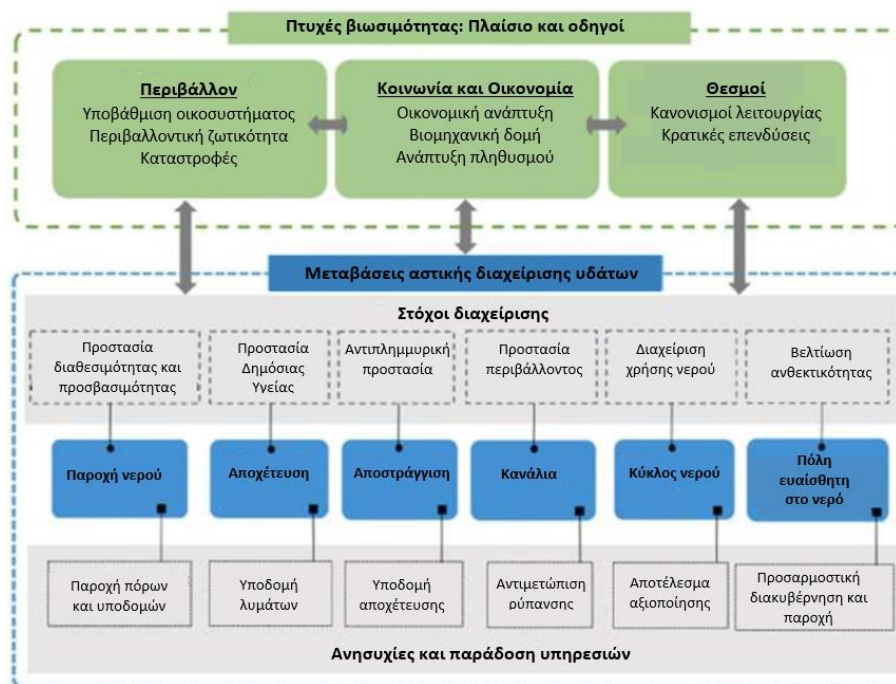
Η ασφάλεια των υδάτων είναι το κλειδί για την πλανητική ανθεκτικότητα και το μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Keys et al., 2019). Αναγνωρίζεται ευρέως από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους ακαδημαϊκούς, ως μια πρόκληση, που θέτει σε προτεραιότητα την υγεία και τα μέσα διαβίωσης των ευάλωτων κοινοτήτων και έχει σημασία για την παγκόσμια ασφάλεια (Wheater & Gober, 2020).

### **1.2.2. Ασφάλεια αστικών υδάτων**

Η βιώσιμη ανάπτυξη έχει καταστεί ο τελικός στόχος, που πρέπει να επιδιώξουν οι κυβερνήσεις και οι κοινωνίες (Zhu & Chang, 2020). Η ασφάλεια αστικών υδάτων έχει

ουσιαστικό ρόλο στην επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης με την έννοια της αειφόρου αστικής ανάπτυξης, της προστασίας των υδατικών πόρων και άλλων πτυχών, όπως είναι η εξασφάλιση καλής υγείας και ευημερίας (Li et al., 2009). Σε αυτήν την ολοκληρωμένη προσέγγιση, η ασφάλεια των αστικών υδάτων μπορεί να θεωρηθεί παρεμφερής με τον όρο «βιωσιμότητα του αστικού νερού» (Hoekstra et al., 2018).

Οι πτυχές της βιωσιμότητας (περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία και θεσμοί) αποτελούν το πλαίσιο για τα χαρακτηριστικά της διαχείρισης των αστικών υδάτων και καθώς η σχέση είναι αμφίδρομη, επηρεάζονται από αυτά (Εικ. 1.4). Για παράδειγμα, η οικονομική ανάπτυξη (οικονομική πτυχή) και η αύξηση του πληθυσμού (κοινωνική πτυχή) αποτελούν βασικούς παράγοντες κατανάλωσης νερού και προκαλούν ρύπανση του νερού, επηρεάζοντας έτσι την ποιότητά του (περιβαλλοντική πτυχή) (Zhu & Chang, 2020). Από την άλλη, η εξάντληση του νερού και οι ρύποι θα περιορίσουν τις οικονομικές δραστηριότητες (Aboelnga et al., 2020).



**Εικόνα 1.4.** Χαρακτηριστικά διαχείρισης αστικών υδάτων και η σχέση τους με τις πτυχές της βιωσιμότητας (Zhu & Chang, 2020).

Η επίτευξη υδατικής ασφάλειας σε αστικά περιβάλλοντα έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς οι πόλεις περιλαμβάνουν ήδη περισσότερο από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού και, κατά συνέπεια, τη μεγαλύτερη συγκέντρωση κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων (Nazemi & Madani, 2018).

Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της ανάπτυξης των πόλεων, αλλάζουν τα πρότυπα οικονομικής ανάπτυξης, οι κοινωνικές ανάγκες, οι αξίες και το κλίμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλονται επίσης οι στόχοι και τα χαρακτηριστικά της διαχείρισης των αστικών υδάτων (Daniell et al., 2015; Hoekstra et al., 2018).

Η σύνθετη δυναμική των αστικών περιοχών, σε συνδυασμό με τα εμπόδια (τεχνολογικά, κοινωνικοοικονομικά, διαχειριστικά) εισάγουν νέες επιστημονικές προκλήσεις. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί τη δημιουργία μιας αμφίδρομης αλληλεπίδρασης μεταξύ επιστημονικής και πολιτικής κοινότητας, προκειμένου να επιτευχθούν πρακτικές λύσεις για την ασφάλεια των αστικών υδάτων (Nazemi & Madani, 2018). Η έρευνα στον τομέα συνεχίζει να αυξάνεται, αλλά τα κοινά πλαίσια λείπουν (Hoekstra et al. 2018), με αποτέλεσμα η ασφάλεια των αστικών υδάτων να παραμένει μια αναγνωρισμένη παγκόσμια πρόκληση (UNESCO 2019).

### 1.2.3. Οι τρεις πυλώνες της ασφάλειας των αστικών υδάτων

Η ασφάλεια των αστικών υδάτων χωρίζεται σε τρεις πυλώνες: α) ασφάλεια των υδατικών πόρων, που εστιάζει στην έλλειψη νερού, που προκαλείται από μη ισορροπημένη ποσότητα υδάτων, β) ασφάλεια περιβάλλοντος των υδάτων με επίκεντρο στο ζήτημα της ρύπανσης, που προκαλείται από μη ισορροπημένη ποιότητα μεταξύ βιομηχανικής παραγωγής, ζωής και οικοσυστημάτων και γ) ασφάλεια των υδάτινων καταστροφών, που επικεντρώνεται σε διαδικασίες καταστροφών, κινδύνους και ευπάθεια, που σχετίζεται με το νερό (Su et al., 2020). Οι πυλώνες αλληλεπιδρούν και αλληλοσυνδέονται μέσω της ποσότητας και της ποιότητας (Εικ. 1.5) (Su et al., 2020).



Εικόνα 1.5. Η σχέση των τριών πυλώνων της ασφάλειας των αστικών υδάτων (Su et al., 2020)

Για παράδειγμα οι συχνές υδάτινες καταστροφές (π.χ. πλημμύρες, ξηρασίες), που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή, επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ασφάλεια των υδατικών πόρων και την ασφάλεια του υδάτινου περιβάλλοντος (Su et al., 2020). Η ανεπαρκής βροχόπτωση προκαλεί καταστροφές ξηρασίας, ανεπαρκή αναγέννηση του υδάτινου συστήματος και βλάπτει τη λειτουργία αυτοκαθαρισμού του. Αντίθετα, η υπερβολική βροχόπτωση προκαλεί πλημμύρες, επιταχύνει τη διάβρωση του εδάφους και καταστρέφει τις λειτουργικές περιοχές του υδάτινου περιβάλλοντος (Su et al., 2020). Επιπλέον μολυσματικές ουσίες, που εισέρχονται σε υδάτινα σώματα μέσω πλημμυρών μολύνουν τα ύδατα. Το ακάθαρτο νερό μειώνει τη διαθέσιμη ποσότητα νερού, επιδεινώνοντας το πρόβλημα της έλλειψής του. Σε αυτούς τους κινδύνους συγκαταλέγονται επιδημίες, υποβάθμιση οικοσυστημάτων, επιπτώσεις στις παραγωγικές διαδικασίες και οικονομικές απώλειες (Su et al., 2020).

Με την εξασφάλιση της ασφάλειας αυτών των τριών πυλώνων μπορεί να γίνει πραγματικότητα η ασφάλεια των αστικών υδάτων, η επένδυση στην οποία έχει τα μεγαλύτερα οφέλη για την ανθρώπινη κοινωνία, γι' αυτό και αποτελεί πρωταρχικό σκοπό (Su et al., 2020).

### **1.3. Διαχείριση Υδάτων και Εξέλιξη Προσεγγίσεων**

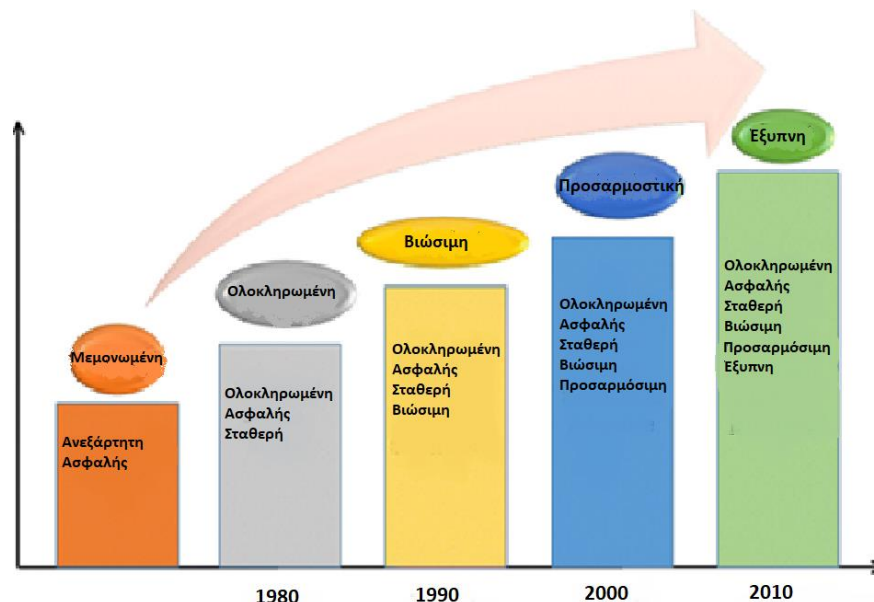
Οι κίνδυνοι, που σχετίζονται με το νερό, αγγίζουν ποσοστό 90% του συνόλου των φυσικών κινδύνων παγκοσμίως κι απειλούν τις ανθρώπινες κοινωνίες (Nazemi & Madani, 2018). Αυτό καθιστά τη διαχείριση των υδάτων μια κρίσιμη πτυχή για τη διασφάλιση της ασφάλειας των υδάτων.

Για τη διαχείριση του αστικού περιβάλλοντος απαιτείται μια ολοκληρωμένη λύση, ικανή να αντιμετωπίσει με βιώσιμο τρόπο τις τρέχουσες καθώς και τις μελλοντικές προκλήσεις (π.χ. αύξηση του πληθυσμού, κλιματική αλλαγή κ.λπ.) (Taji et al., 2021). Πολλές χώρες αντέδρασαν στις υδάτινες κρίσεις υιοθετώντας νέα θεσμικά πλαίσια, αποκεντρωτικό σχεδιασμό υδατικών πόρων ή αναπτύσσοντας νέες υποδομές. Ωστόσο, οι μεταρρυθμίσεις στον τομέα των υδάτων δεν ήταν μια ολοκληρωμένη επιτυχία, ούτε έχουν σταματήσει την κρίση του νερού. Σύμφωνα με τον Pahl-Wostl (2020), η διαχείριση των υδατικών πόρων απέχει πολύ από το να είναι βιώσιμη. Παρά τις προσπάθειες, που έχουν γίνει, η

κατάσταση των υδατικών πόρων παρέχει περισσότερους λόγους ανησυχίας παρά αισιοδοξίας (UN, 2018; UN WWAP, 2019).

Οι απαιτήσεις για την κατανόηση, τη σύνθεση και την επίλυση των προκλήσεων των υδατικών πόρων είναι πιο περίπλοκες σήμερα, από οποιαδήποτε στιγμή στην ανθρώπινη ιστορία, καθώς το πεδίο τους καλύπτει ένα σύνολο επιστημών (Hubbart, 2020) και τα δεδομένα αλλάζουν συνεχώς με αποτέλεσμα να απαιτούνται καινοτόμες, διεπιστημονικές και ολοκληρωμένες λύσεις (Kellner et al., 2015).

Η διαχείριση των υδάτων είναι μια δραστηριότητα σχεδιασμού και ανάπτυξης για τον περιορισμό των ανθρωπογενών και φυσικών πιέσεων στους υδατικούς πόρους και για τη βέλτιστη χρήση τους. Η προσέγγιση διαχείρισης των υδάτων βρίσκεται σε κατάσταση εξέλιξης από τότε, που εμφανίστηκε η έννοια της «ασφάλειας των υδάτων» (Εικ. 1.6). Οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης, όπως η διαχείριση επιφανειακών υδάτων, η διαχείριση των υπόγειων υδάτων και η διαχείριση των λεκανών απορροής είναι μεμονωμένες και μη συντονισμένες, ενόψει μάλιστα της αυξανόμενης πίεσης του νερού (Hidaka et al., 2011).



Εικόνα 1.6. Εξέλιξη προσεγγίσεων διαχείρισης νερού (Su et al., 2020)

Από τη δεκαετία του 1980, η έννοια της «Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδάτων» (Integrated Water Management, IWM) έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή, ειδικά στη σύνοδο κορυφής των υδάτων και των περιβαλλοντικών ζητημάτων στο Δουβλίνο και το Ρίο ντε Τζανέιρο το 1992 (Al-Saidi, 2017). Σύμφωνα με την Παγκόσμια Σύμπραξη για το

Νερό (2000), η IWM είναι η διαδικασία που προωθεί τη συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση των υδάτων, με σκοπό τη μεγιστοποίηση της οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας, χωρίς να διακυβεύεται η βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων (Su et al., 2020). Στόχος της ήταν να στηρίξει τις χώρες για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προκλήσεων (π.χ. λειψυδρία, υδατογενείς ασθένειες, πλημμύρες, ξηρασία) και τη διατήρηση της ανάπτυξής τους επιτυγχάνοντας μείωση της φτώχειας, επισιτιστική ασφάλεια και οικολογική βιωσιμότητα. Αυτό το πλαίσιο έχει υιοθετηθεί από πολλές κυβερνήσεις ανεξάρτητα από το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης (Jensen & Nair, 2019).

Στη δεκαετία του 1990, η διαχείριση των υδατικών πόρων πρόσθεσε ένα βιώσιμο χαρακτηριστικό στην IWM, δηλαδή τη βιώσιμη διαχείρισή τους. Ωστόσο, με τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής, προέκυψαν νέα ζητήματα. Για παράδειγμα, η αντιμετώπιση των αβέβαιων αλλαγών των υδατικών πόρων, η βελτίωση της προσαρμοστικότητας και της ευελιξίας στη διαχείριση των υδάτων. Έτσι, ενώ η IWM παγίωσε λειτουργίες στη διαχείριση των υδάτων, η εφαρμογή της τελικά δεν είχε σαν αποτέλεσμα μια ολοκληρωμένη πολιτική λύση.

Σε αυτό το πλαίσιο, πριν από είκοσι περίπου χρόνια, δημιουργήθηκε ο όρος «Προσαρμοστική Διαχείριση Υδάτων» (Adaptive Water Management, AWM), εμπνευσμένος από την ανάγκη συνεχιζόμενης κι ευέλικτης προσαρμογής και απόκρισης στην κλιματική αλλαγή, στις υδροδυναμικές δυνάμεις και την αβεβαιότητα (Hoekstra et al. 2018). Η AWM τονίζει τις αρχές της προσαρμογής στις τοπικές συνθήκες και σχεδιάζει διαδραστικά την ανταπόκριση των οικοσυστημάτων στις κοινωνικές και κλιματικές αβεβαιότητες. Επιπλέον αξιολογεί επαναληπτικά τα αποτελέσματα της ασφάλειας των υδάτων, όσον αφορά την ανθεκτικότητα των κοινωνιών και των οικοσυστημάτων (Scott et al. 2013). Ωστόσο, το υψηλό κόστος παρακολούθησης και η αδυναμία παροχής γρήγορων αποτελεσμάτων αποτέλεσαν τους περιορισμούς της AWM.

Με την έλευση της έξυπνης εποχής απαιτήθηκαν πιο έξυπνες και ταχύτερες μέθοδοι συλλογής δεδομένων, με αποτέλεσμα, η AWM να συνδυαστεί με τις ΤΠΕ. Έτσι εμφανίστηκε η «Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων» (Smart Water Management, SWM) (Su et al., 2020). Η SWM μπορεί να οριστεί ως ένα έξυπνο μοντέλο, που καλύπτει το φάσμα από την πηγή έως τη διανομή, διαχειρίζεται ψηφιακά δεδομένα νερού με επιστημονικό τρόπο, χρησιμοποιεί τις ΤΠΕ για την επεξεργασία πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, τις οποίες

χρησιμοποιεί επιδέξια για τη βελτιστοποίηση όλων των διαδικασιών, που αφορούν τη διαχείριση των υδάτων (Choi et al. 2016) και τη χρήση τους με σύνεση.

Η SWM συνδέεται εγγενώς με την έννοια των έξυπνων πόλεων (Kumar et al., 2019a), καθώς το νερό ως φυσικός πόρος αποτελεί μέρος της υποδομής τους. Οι περισσότερες από τις χώρες επανδρώνουν τις πόλεις με υποδομές και υπηρεσίες στα πλαίσια των «έξυπνων πόλεων», για να ξεπεράσουν τις προκλήσεις της αστικοποίησης και της κλιματικής αλλαγής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

### 2.1. Έξυπνες Πόλεις

#### 2.1.1. Η ανάγκη δημιουργίας έξυπνων πόλεων

Από τα μέσα του εικοστού αιώνα, λαμβάνουν χώρα πολλές περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές κρίσεις σε παγκόσμια κλίμακα. Η πυκνότητα του πληθυσμού στις χώρες μετατοπίζεται από το αγροτικό περιβάλλον σε ένα αστικό και έτσι, οι πόλεις αυξάνουν τα όριά τους για να καλύψουν τον αυξανόμενο αριθμό πολιτών (Akre & Giankova, 2019), γεγονός που οδήγησε σε πόλεις με πρωτοφανή μεγέθη (Wlodarczak, 2017).

Στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι, το 1913, ποσοστό 10% του πληθυσμού κατοικούσε σε πόλεις, 50% το 2014, και έως το 2050 το ποσοστό των κατοίκων στις πόλεις είναι πιθανό να φτάσει το 75%, δημιουργώντας τεράστια πίεση σε κάθε πτυχή της αστικής ζωής (Perera et al., 2014). Η αστικοποίηση έχει επηρεάσει πολλούς τομείς της ανθρώπινης κοινωνίας. Η αλλαγή στον τρόπο ζωής των ανθρώπων, που ζουν σε πόλεις έχει οδηγήσει στα τρία τέταρτα της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αυτό έχει επηρεάσει αρνητικά την κλιματική αλλαγή με την υπερθέρμανση του πλανήτη και την τήξη των παγετώνων. Οι πληθυσμοί των πόλεων έχουν αυξηθεί, αλλά η παγκόσμια οικονομική επιβράδυνση είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των προϋπολογισμών για εποικοδομητική πρόοδο (Akre & Giankova, 2019).

Πολλές από τις παγκόσμιες πόλεις εξελίσσονται γρήγορα σε οικοσυστήματα που στερούνται πόρων, αναποτελεσματικά, μη διαχειρίσιμα και μη βιώσιμα, λόγω του αυξανόμενου πληθυσμού και της εκβιομηχάνισης, που επηρεάζει αρνητικά την οικονομική ανάπτυξη και την ποιότητα ζωής, την υγεία και την ευημερία των κοινοτήτων, που τις κατοικούν (Sankaran & Chopra, 2020).

Η έλλειψη πόρων, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η δυσκολία στη διαχείριση των αποβλήτων οι ανησυχίες για την ανθρώπινη υγεία, οι ανεπαρκείς κοινωνικές και υγειονομικές υπηρεσίες, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και άλλες ανεπαρκείς, επιδεινούμενες και παλαιωμένες υποδομές είναι μεταξύ των πιο βασικών ζητημάτων, που αντιμετωπίζουν σήμερα οι περισσότεροι πολιτισμοί, σε όλο τον κόσμο και μια έξυπνη πόλη μπορεί να αποτελεί τη λύση τους (Chourabi, 2012). Διαπιστώθηκε έτσι μια επείγουσα και κρίσιμη



ανάγκη «έξυπνων» πολιτικών για τις πόλεις με στόχο τη βελτιστοποίηση των πόρων και την παροχή ενός βιώσιμου τρόπου ζωής στους πολίτες της (Akre & Giankova, 2019).

### 2.1.2. Η έννοια των έξυπνων πόλεων

Ο απώτερος στόχος των αρχικών έξυπνων πόλεων ήταν να ενισχυθεί η ποιότητα ζωής των πολιτών μειώνοντας την αντίφαση μεταξύ ζήτησης και προσφοράς σε διάφορες λειτουργίες (Zanella et al., 2014). Οι σύγχρονες έξυπνες πόλεις (Εικ. 2.1) εστιάζουν ιδιαίτερα σε βιώσιμες και αποτελεσματικές λύσεις για τη διαχείριση της ενέργειας, τη μεταφορά, την υγειονομική περίθαλψη, τη διακυβέρνηση και για πολλά άλλα ζητήματα, προκειμένου να καλύψουν τις ακραίες ανάγκες αστικοποίησης (Silva et al., 2017).



Εικόνα 2.1. Υπηρεσίες έξυπνης πόλης (Anand & Ramesh, 2021)

Η έννοια της έξυπνης πόλης μπορεί να θεωρηθεί διάδοχος της πόλης πληροφοριών, της ψηφιακής πόλης, της ενσύρματης πόλης και της βιώσιμης πόλης και χρησιμοποιείται συχνά, ειδικά μετά το 2013 (Yigitcanlar, 2016). Η έννοια αυτή εξελίσσεται, καθώς ο ρόλος της πόλης αλλάζει, παράλληλα με τις ανάγκες της κοινωνίας. Γι' αυτό το λόγο κι έχουν αποδοθεί διάφοροι ορισμοί και διαφορετικές περιγραφές στην έννοια αυτή, ανάλογα με τη μοναδικότητα, την πολυπλοκότητα, τις οικονομικές, κοινωνικές και τεχνολογικές εξελίξεις (Albino et al., 2015).

Σε έναν ολοκληρωμένο ορισμό, η έξυπνη πόλη ορίζεται ως μια προηγμένη σύγχρονη πόλη, που χρησιμοποιεί τεχνολογίες για τη συλλογή δεδομένων, την επεξεργασία και την ανάλυσή τους σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα, που θα οδηγήσουν στη λήψη κατάλληλων στρατηγικών για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων (Sharma et al., 2021) σε μεγάλο εύρος τομέων της καθημερινής ζωής, διασφαλίζοντας παράλληλα τη διαθεσιμότητα πόρων για τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές (Silva et al., 2017). Οι έξυπνες εφαρμογές της πόλης δημιουργούν λύσεις για διαχειριστικές, κοινωνικές, οικονομικές και οικολογικές προκλήσεις (Yigitcanlar, 2016), που δημιουργούνται από την μετανάστευση περισσότερων από 65 εκατομμύριων νέων κατοίκων στις πόλεις ετησίως (Suzuki, 2017).

Η «Έξυπνη Πόλη» ως αποτέλεσμα του εκσυγχρονισμού δεν είναι μια ιδέα, που μπορεί να απεικονιστεί ως μια γιγαντιαία μοναδική μονολιθική δομή, αλλά περιλαμβάνει διάφορες διαστάσεις, που αλληλοεξαρτώνται και συνεργάζονται μεταξύ τους για την επιτυχή εφαρμογή της (Akre & Giankova, 2019).

Αυτές οι διαστάσεις έχουν ονομαστεί διαφορετικά από τους ερευνητές ως χαρακτηριστικά, πτυχές, στοιχεία, επίπεδα, στρώματα, πυλώνες, κ.λπ. Αποτελεί ωστόσο κοινή παραδοχή, ότι αυτές οι διαστάσεις επηρεάζουν το σχεδιασμό, την εφαρμογή και τη χρήση πρωτοβουλιών έξυπνων πόλεων. Στόχος είναι η δημιουργία ενός πλαισίου, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να χαρακτηρίσει τον τρόπο οραματισμού μιας έξυπνης πόλης (Chourabi, 2012).

Οι Giffinger et al. (2007) «έχουν εντοπίσει ορισμένες σημαντικές διαστάσεις, που πρέπει να είναι «έξυπνες» σε μια έξυπνη πόλη και αφορούν τους φυσικούς πόρους (Έξυπνο περιβάλλον), τις υποδομές μεταφορών και επικοινωνιών (Έξυπνη κινητικότητα), το κοινωνικό και ανθρώπινο κεφάλαιο (Έξυπνοι Άνθρωποι), την ανταγωνιστικότητα (Έξυπνη Οικονομία), τις δημόσιες - κοινωνικές υπηρεσίες και τη συμμετοχή των πολιτών (Έξυπνη διακυβέρνηση) και την ποιότητα ζωής (Έξυπνη Διαβίωση)» (Εικόνα 2.2).



**Εικόνα 2.2.** Το πλαίσιο μιας έξυπνης πόλης (Kézai et al., 2020; Giffinger et al., 2007)

### 2.1.3. Ψηφιακός μετασχηματισμός έξυπνων πόλεων

Με την προβλεπόμενη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού κατά 83 εκατομμύρια ετησίως (αύξηση 1,09% ετησίως) σε συνδυασμό με την ισχυρή τάση μετανάστευσης σε αστικά κέντρα, το ενδιαφέρον από ακαδημαϊκούς, βιομηχανία και κυβέρνηση για την ψηφιοποίηση του δομημένου περιβάλλοντος είναι μεγάλο (Heaton & Parlikad, 2019).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός των πόλεων, που είναι και το πραγματικό αντικείμενο των έξυπνων πόλεων (Abella et al., 2015) απαιτεί υψηλές προσπάθειες στο σχεδιασμό στρατηγικών και ψηφιακών λύσεων (Komninos et al., 2021), πολιτική και κοινωνική υποστήριξη σε συνδυασμό με δημιουργική σκέψη (Yigitcanlar et al., 2018).

Κάθε πόλη είναι μια σύνθετη δομή με μοναδικά χαρακτηριστικά, στόχους, ανάγκες και πόρους. Κοινή προσέγγιση για όλους δεν υπάρχει, οπότε θα χρειαστούν διαφορετικές λύσεις, προσαρμοσμένες στα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες κάθε πόλης (Albino et al., 2015), που θα διασφαλίζουν αξιοπιστία, επεκτασιμότητα, διαλειτουργικότητα και ασφάλεια σε ολόκληρο το σύστημα. Η δημιουργία και η ανάπτυξη εξατομικευμένων στρατηγικών και προσεγγίσεων βοηθά την κοινότητα να μεταβεί ομαλά στην επόμενη εποχή του ψηφιακού μετασχηματισμού (Siokas et al., 2021).

## **2.2. Τεχνολογία και Έξυπνες Πόλεις**

### **2.2.1. Κυριότερες τεχνολογίες των λειτουργιών έξυπνων πόλεων**

Οι πόλεις κυριαρχούσαν στην οικονομία, τον πολιτισμό και την κυβέρνηση από την αρχαιότητα. Επιπλέον, πάντα προσπαθούσαν να είναι «έξυπνες» (Celino & Kotoulas, 2013). Οι σύγχρονες τεχνολογίες ΤΠΕ βοηθούν τις πόλεις να προχωρήσουν ακόμη περισσότερο, ενσωματώνοντας λειτουργίες και πληροφορίες πολύ πιο αποτελεσματικά. Η ευρεία υιοθέτησή τους αποτέλεσε καταλύτη στον μετασχηματισμό των έξυπνων πόλεων.

Οι εφαρμογές μιας έξυπνης πόλης συνήθως έχουν τις ακόλουθες λειτουργίες: α) συλλογή δεδομένων, β) μετάδοση, γ) αποθήκευση και δ) ανάλυση. Η πρώτη περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον, κυρίως μέσω αισθητήρων ανάλογα με την εφαρμογή. Η δεύτερη αφορά τη μετάδοση των δεδομένων σε τοπικό ή παγκόσμιο επίπεδο με διάφορες τεχνολογίες (π.χ. Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, τοπικά δίκτυα). Η τρίτη λειτουργία είναι η αποθήκευση στο Cloud, όπου οργανώνονται τα δεδομένα, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για το τέταρτο στάδιο, δηλαδή για την ανάλυσή τους και για την εξαγωγή συμπερασμάτων, τα οποία θα συντελέσουν στη λήψη αποφάσεων (Khan et al., 2013). Μπορούν επίσης να δημιουργηθούν μοντέλα και γραφήματα προσδιορίζοντας πιθανές μελλοντικές τάσεις (Khan et al., 2012).

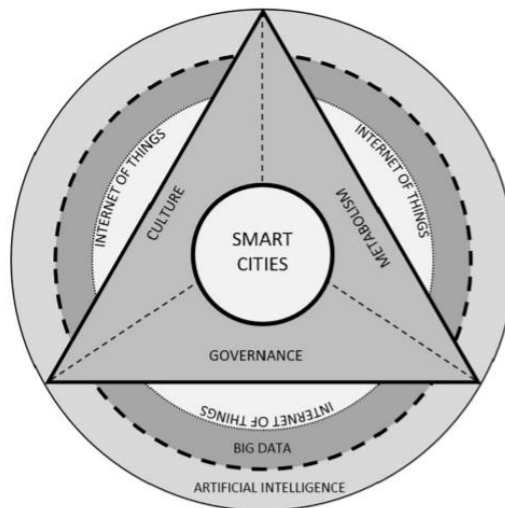
Οι έξυπνες πόλεις ως εγγενώς διεπιστημονικές απαιτούν τη συνεργασία διαφόρων κλάδων (Celino & Kotoulas, 2013). Το Διαδίκτυο διαδραματίζει θεμελιώδη ρόλο στην επικοινωνία, την ανταλλαγή πληροφοριών, τη μεταφορά δεδομένων και την επεξεργασία. Σημαντικό ρόλο στις έξυπνες πόλεις έχει το Internet of Things, το Cloud /Cloud Computing, τα Big data, η σύγκλιση των οποίων βοηθά τις έξυπνες πόλεις σε τέλειο συγχρονισμό (Saravanan et al., 2019).

#### **2.2.1.1. Internet of Things**

Το Internet of Things (IoT) είναι ένα αναδυόμενο πεδίο και έχει γίνει εξαιρετικά σημαντικό στη σύγχρονη εποχή, ειδικά καθώς βοηθά στη σύνδεση αντικειμένων και συσκευών, επιτρέποντας την μεταξύ τους επικοινωνία (Machine-to-Machine, M2M) (Akre & Giankova, 2019). Η παρακολούθηση διαδικασιών από απόσταση και ο εντοπισμός

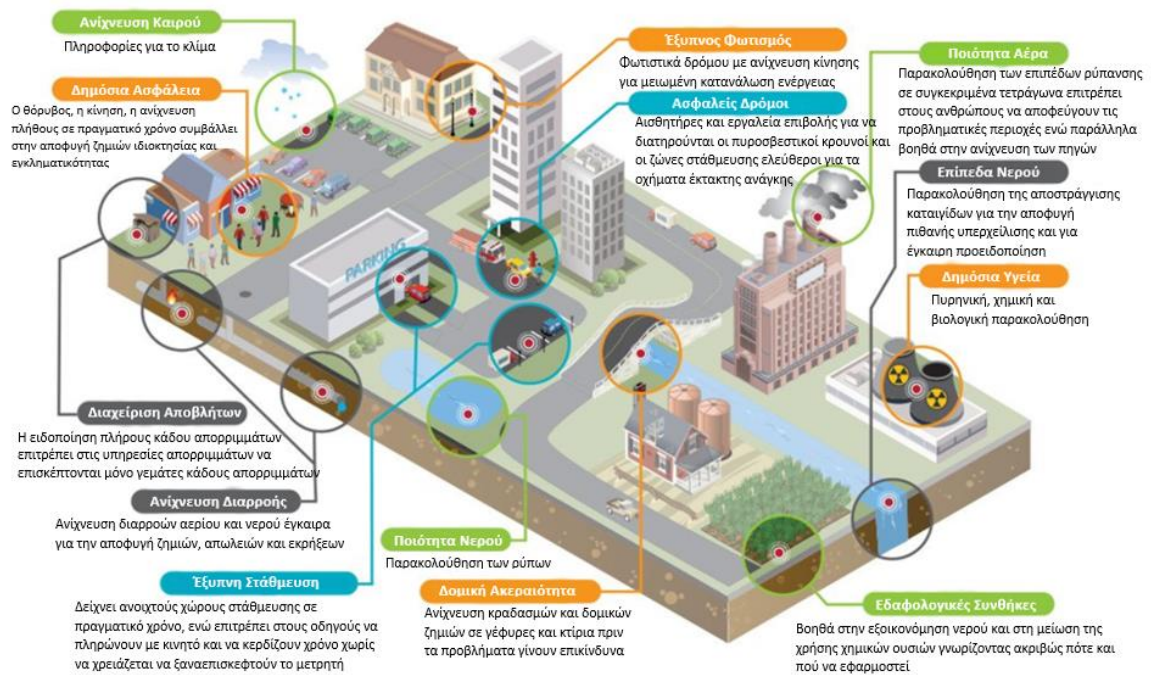
κρίσιμων δεδομένων προσφέρει μοναδικά οφέλη σε μια έξυπνη πόλη (Jiong et al., 2014) βελτιώνοντας την αυτοματοποίηση της διαδικασίας (Szum, 2021).

Το IoT βρίσκει την πραγμάτωσή του στις Έξυπνες Πόλεις κυρίως μέσω δικτύων αισθητήρων, τα οποία μπορούν να συλλέξουν τεράστιο όγκο δεδομένων (Big Data) από τα συνδεδεμένα αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο, τα οποία αναλύονται μέσω τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence, AI) κι όλα αυτά συνδέονται μεταξύ τους (Εικ. 2.3). Οι πληροφορίες, που προκύπτουν επιτρέπουν στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να λάβουν καλύτερες αποφάσεις, καθώς κατανοούν βαθύτερα την εξέλιξη, την προσαρμογή και την απόκριση σε διάφορες συνθήκες (Fayomi et al., 2019).



**Εικόνα 2.3.** Ενσωμάτωση IoT, AI και Big Data σε έξυπνες πόλεις για διασφάλιση της βιωσιμότητας (Allam & Dhunny, 2019).

Σχεδόν όλοι οι τομείς στην ανάπτυξη και την εφαρμογή μιας βιώσιμης έξυπνης πόλης απαιτούν το IoT (Εικ. 2.4). Σε αυτούς εξέχουσα θέση έχει η αποτελεσματική διαχείριση των υδάτων για την ικανοποίηση των εκθετικών αναγκών της έξυπνης πόλης και η SWM μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση, τη διαχείριση και τον προγραμματισμό της χρήσης νερού στους διάφορους τομείς της πόλης.

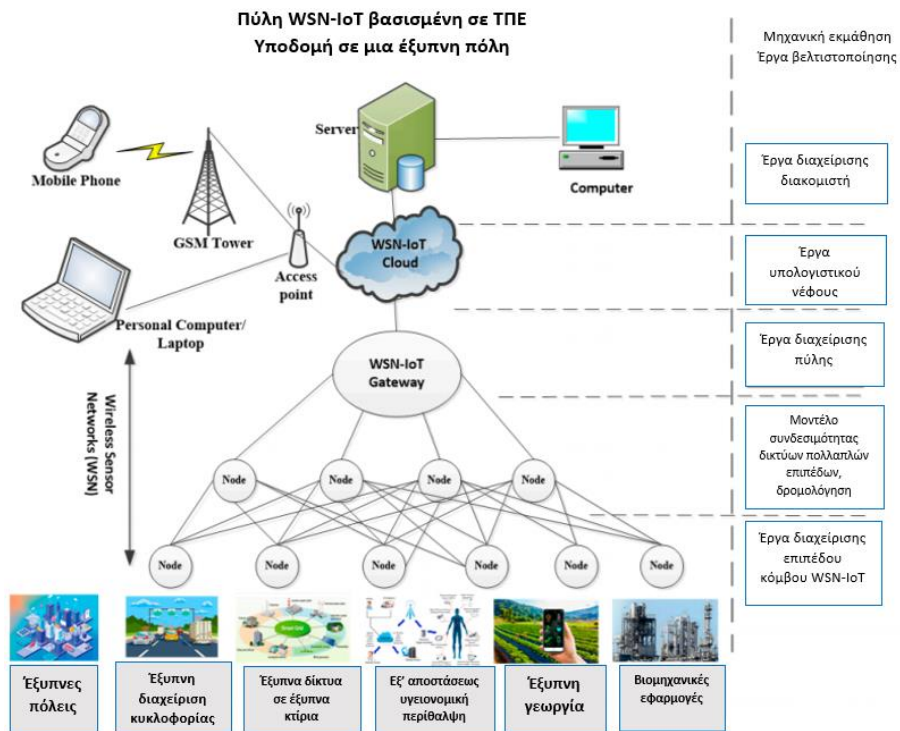


**Εικόνα 2.4.** Τομείς εφαρμογής IoT σε βιώσιμη έξυπνη πόλη (Szum, 2021).

Το IoT είναι η τάση της τεχνολογίας, που ενσωματώνει διάφορες έννοιες, όπως αναπτύσσονται παρακάτω.

### 2.2.1.2. Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks, WSN)

Οι αισθητήρες είναι τα πιο σημαντικά τεχνολογικά συστατικά μιας έξυπνης πόλης (Akre & Giankova, 2019). Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από πολλούς κόμβους, που επικοινωνούν μεταξύ τους, παρακολουθούν συνεχώς και ελέγχουν οποιαδήποτε φυσική ποσότητα, όπως θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, ροή κ.λπ., ανάλογα με την εφαρμογή του δικτύου. Οι κόμβοι λαμβάνουν τις πληροφορίες, που συλλέγονται από τους αισθητήρες και τις μεταδίδουν στον κυρίως κόμβο- πύλη WSN-IoT. Από τον κόμβο πύλη, τα δεδομένα αποστέλλονται στον διακομιστή cloud, όπου λαμβάνει χώρα το cloud computing (Εικ. 2.5) (Sharma et al., 2021).



*Εικόνα 2.5. Κόμβοι WSN-IoT σε έξυπνη πόλη (Sharma et al., 2021)*

### 2.2.1.3. Cloud Computing

Το Cloud Computing είναι μια έξυπνη τεχνολογία, που αποτελεί σύγκλιση πολλών διακομιστών σε μία πλατφόρμα cloud με στόχο την κοινή χρήση των πόρων και την πρόσβαση σε αυτούς από οπουδήποτε και οποτεδήποτε (Rao et al., 2012). Η τεχνολογία cloud αποθηκεύει τα δεδομένα, τα επεξεργάζεται και τα αναλύει για μελλοντική δράση. Το cloud συνδέεται απευθείας με απομακρυσμένους διακομιστές, κινητό τηλέφωνο χρήστη, υπολογιστές, κ.λπ. (Εικ. 2.6).



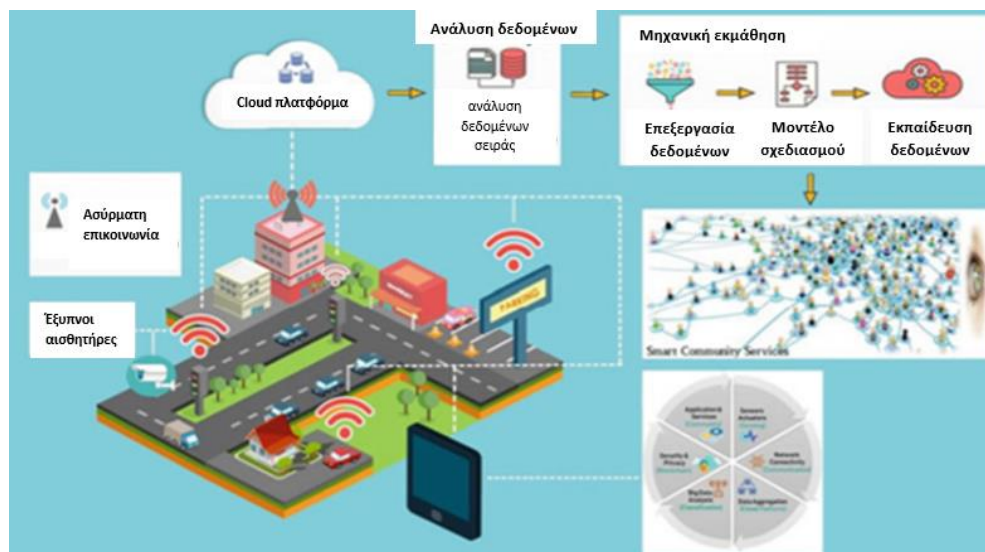
*Εικόνα 2.6. Cloud Computing (Sharma et al., 2021).*

#### 2.2.1.4. Big Data

Τα Big Data είναι τεράστια συγκεντρωτικά δεδομένα, που συλλέγονται μέσω συσκευών IoT. Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις έξυπνες πόλεις, καθώς με την επεξεργασία και την περαιτέρω ανάλυσή τους, διεξάγονται σημαντικές πληροφορίες, που συντελούν στη λήψη κατάλληλων στρατηγικών κινήσεων και επιχειρηματικών αποφάσεων.

#### 2.2.1.5. Mechanical Learning

Το πραγματικό όφελος των δεδομένων αισθητήρων IoT έγκειται στην ανάλυση μεγάλων δεδομένων, στην πρόβλεψη μελλοντικής συμπεριφοράς και συμβάντων και άλλες παρόμοιες διαδικασίες, χρησιμοποιώντας τη μηχανική εκμάθηση (Mechanical Learning) (Εικ. 2.7). Πρόκειται για μια νέα επαναστατική τεχνική, μέρος της τεχνητής νοημοσύνης, που εξελίσσεται ως το μέλλον των πλήρως αυτοματοποιημένων εφαρμογών IoT (Sharma et al., 2021).



Εικόνα 2.7. Απεικόνιση μηχανικής μάθησης σε έξυπνη πόλη (Chaurasia et al., 2020).

Με την εφαρμογή της μηχανικής εκμάθησης μπορούν να αναπτυχθούν έξυπνες τεχνικές ελέγχου, στις οποίες δεν απαιτείται ανθρώπινη αλληλεπίδραση (π.χ. αυτοκίνητα ή τρένα χωρίς οδηγό κ.λπ.) (Sharma et al., 2021).

#### 2.2.2. Τεχνολογία και προκλήσεις υδάτων

Η έξυπνη πόλη εξελίσσεται προς μια ιδέα, με έμφαση στο βασικό ρόλο των ΤΠΕ ως προς τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας του αστικού συστήματος, επιδιώκοντας την ποιότητα ζωής των πολιτών (Dameri & Ricciardi, 2017).



Ορισμένες πόλεις στον κόσμο μπορεί να έχουν ξεκινήσει στρατηγικές έξυπνης διαμόρφωσης πόλεων, ενώ άλλες όχι. Ωστόσο, οι περισσότερες πόλεις χρησιμοποιούν ήδη έξυπνες τεχνολογίες (π.χ. έξυπνα συστήματα μεταφοράς) για καλύτερη διαχείριση των υπηρεσιών τους (Akre & Giankova, 2019), επιδρώντας θετικά σε πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής.

Καθώς οι πόλεις αυξάνονται σε γεωγραφική περιοχή και πληθυσμό, αναμφίβολα, θα αυξηθεί και η ζήτηση πόρων. Η παραδοσιακή διαχείριση των υδάτων δεν περιλαμβάνει διακυμάνσεις στο σχεδιασμό, επομένως, το υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης των υδάτων δεν θα ικανοποιούσε τη μελλοντική ζήτηση (Lee et al., 2015).

Ως εκ τούτου, πρέπει να αναβαθμιστούν οι τρέχουσες στρατηγικές και η προσέγγιση διαχείρισης πόρων για να αντιμετωπιστούν οι μελλοντικές προκλήσεις. Σε μια έξυπνη πόλη, αυτά τα ζητήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω της SWM (Yuanquan et al., 2017) με τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών πληροφοριών, ελέγχου και παρακολούθησης (Tadokoro et al., 2011).

Το έξυπνο όραμα και οι στρατηγικές της πόλης πρέπει να συνδυάζονται με τεχνολογία SWM, προκειμένου να δημιουργούνται ολοκληρωμένες βιώσιμες λύσεις, που θα εγγυώνται την ασφάλεια της ποσότητας νερού και την ασφάλεια της ποιότητας του νερού. Η SWM μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στη μετατροπή των πόλεων ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών σε έξυπνες και βιώσιμες πόλεις (Elabdine, 2018).

## **ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΞΥΠΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ**

#### **3.1. Ο Ρόλος της Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων**

##### **3.1.1 Η έννοια της έξυπνης διαχείρισης υδάτων**

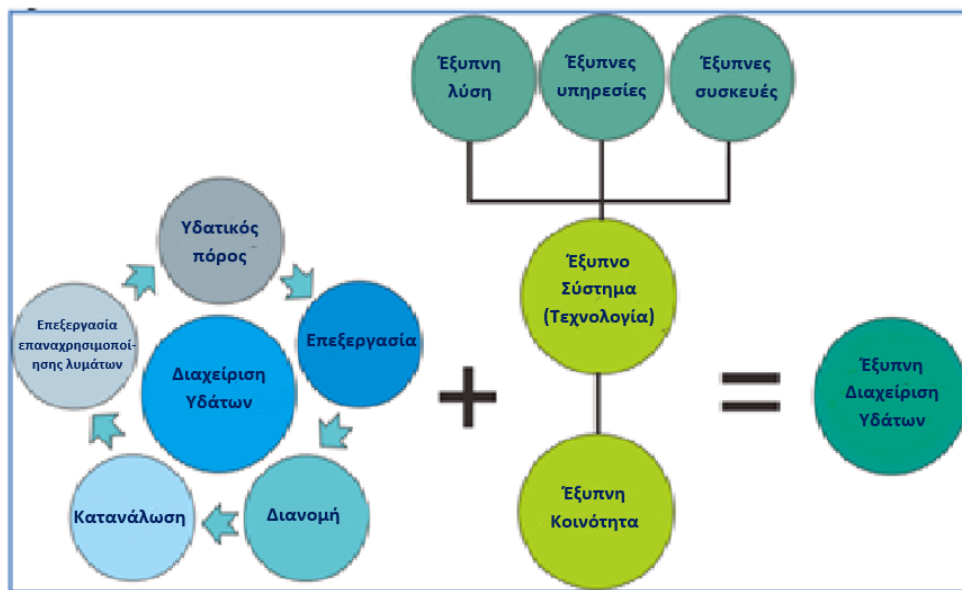
Η διαχείριση των υδάτων στις έξυπνες πόλεις είναι ένα θέμα, που εκτιμάται όλο και περισσότερο, στο πλαίσιο της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας σε κάθε τομέα νερού. Η διαχείριση των υδάτων δεν είναι απλώς ένα τεχνικό ζήτημα. Απαιτεί ένα συνδυασμό μέτρων, που περιλαμβάνουν αλλαγές στις πολιτικές, στις υποδομές, σε φυσικές εγκαταστάσεις και εστιάζει στην απαραίτητη ενσωμάτωσή τους σε όλους τους τομείς (Elabdine, 2018).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διαχείριση των πόρων γλυκού νερού έχει γίνει μια συνεχώς αυξανόμενη πρόκληση εν όψει της αστικοποίησης και της κλιματικής αλλαγής. Οι προκλήσεις για το νερό επηρεάζουν όλον τον κόσμο, με αποτέλεσμα αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες περιοχές να αντιμετωπίζουν αυξανόμενες προκλήσεις σε σχέση με την ασφάλεια, την πρόσβαση και τη διαχείριση των υδάτων. Η σωστή διαχείριση ενός τόσο εύθραυστου πόρου είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η παγκόσμια κατανάλωση νερού αυξάνεται. Οι θεσμικοί περιορισμοί, η γήρανση των υποδομών, το χάσμα πληροφοριών, επικοινωνίας και τεχνολογίας, η φτώχεια, η έλλειψη επενδύσεων, τα λιγοστά δεδομένα και η έλλειψη ποιότητας υπηρεσιών είναι μερικές μόνο βασικές προκλήσεις, που αντιμετωπίζει ο τομέας των υδάτων. Προκειμένου να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων για τις μελλοντικές γενιές, η σωστή διαχείριση είναι πλέον κρίσιμη (ITU, 2014).

Η SWM επιδιώκει μέσω της χρήσης ΤΠΕ να μετριάσει τις προκλήσεις στον τομέα των υδάτων, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την οικονομική και κοινωνική ευημερία, χωρίς να θέσει σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα των υδατικών πόρων ή του περιβάλλοντος (Hope & Thomas, 2012). Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ στην SWM μπορεί να προσαρμοστεί για συνεχή παρακολούθηση και αναγνώριση προβλημάτων, ιεράρχηση και διαχείριση θεμάτων συντήρησης και χρήση δεδομένων για τη βελτιστοποίηση όλων των πτυχών στον τομέα των υδάτων (ITU, 2014).

Η SWM προσανατολίζεται στο μέλλον και ενσωματώνει τη διαχείριση ολόκληρης της διαδικασίας του κύκλου του νερού από την ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης έως την επεξεργασία, τη διανομή, τη χρήση και την ανακύκλωση των υδατικών πόρων (Elabdine, 2018) και συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας, της ορθότητας και της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης των υδάτων (Rediana & Pharmasetiawan, 2017).

Όπως αναφέρεται στους Rediana & Pharmasetiawan (2017), η SWM αναπτύχθηκε συνδυάζοντας α. τη διαχείριση υδάτων (ISO, 2007) β. το έξυπνο σύστημα (Gye et al., 2016) και γ. την έξυπνη κοινότητα (Εικ. 3.1) (Sullivan, 2009).



**Εικόνα 3.1.** Έννοια SWM: Διαχείριση υδάτων, έξυπνο σύστημα, έξυπνη κοινότητα (Rediana & Pharmasetiawan, 2017)

α. Η διαχείριση των υδάτων καλύπτει την παροχή νερού, από την πηγή έως την κατανάλωση (Rediana & Pharmasetiawan, 2017).

β. Το έξυπνο σύστημα αφορά την «έξυπνη συσκευή», την «έξυπνη υπηρεσία» και την «έξυπνη λύση».

- Έξυπνη συσκευή: μπορεί να μετρήσει, να αντιληφθεί και να δει την ακριβή κατάσταση, που υπάρχει (π.χ. έξυπνοι αισθητήρες, έξυπνοι μετρητές).

- Έξυπνη υπηρεσία: άτομα, συστήματα και αντικείμενα, που επικοινωνούν και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (π.χ. εκτίμηση ζήτησης κ.α.) (Rediana & Pharmasetiawan, 2017).

- *Έξυπνη λύση*: γρήγορη και ακριβής απόκριση στις αλλαγές, που λαμβάνονται από έξυπνες συσκευές σε πραγματικό χρόνο και βελτιστοποίηση για καλύτερη επίτευξη αποτελεσμάτων στο μέλλον (Sullivan, 2009).

γ. Έξυπνη κοινότητα αφορά συνεργασία κοινής ωφέλειας με ενδιαφερόμενα μέρη, όπως ακαδημαϊκή, κυβερνητική ή υδατική αρχή, πελάτες/εργολάβοι, γεωργικοί, βιομηχανικοί, τοπικοί φορείς και άλλες υπηρεσίες, για διάφορες εφαρμογές (π.χ. διαχείριση ποσότητας και ποιότητας υδάτων, εκτιμήσεις επιπτώσεων, έρευνα, κ.α.) (Sullivan, 2009).

Οι κίνδυνοι από την έλλειψη νερού, καθώς και από τη ρύπανση των υδάτων είναι πραγματικοί. Η SWM αποτελεί στρατηγική υψηλής τεχνολογίας και παρέχει ολοκληρωμένες βιώσιμες λύσεις για τη διαχείριση ζητημάτων, που σχετίζονται με το νερό. Είναι μια μέθοδος για την καλύτερη χρήση των υδατικών πόρων, που δημιουργεί καινοτόμους τύπους οικονομίας και διαχείρισης. Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων συμπεριλαμβάνουν έξυπνες αρχές στις στρατηγικές πολιτικής τους, οδηγώντας σε πιο ανθεκτικά, βιώσιμα και ασφαλέστερα περιβάλλοντα διαβίωσης (Rocher, 2018).

Η εφαρμογή έξυπνων συστημάτων στη διαχείριση των υδάτων είναι ευρεία και περιλαμβάνει πολλές λύσεις, από την οικιακή κλίμακα (π.χ. έξυπνη παρακολούθηση χρήσης νερού) σε κλίμακα πόλης (π.χ. ανίχνευση διαρροών) και σε εθνική κλίμακα (π.χ. παρακολούθηση και διαχείριση πλημμυρών και ξηρασίας) (Rocher, 2018).

Καθώς το νερό παίζει έναν τόσο καθοριστικό ρόλο στη μελλοντική βιώσιμη ανάπτυξη του κόσμου, δεν είναι έκπληξη ότι 11 από τους 17 ΣΒΑ σχετίζονται άμεσα με το νερό. Η SWM μπορεί να προσφέρει καινοτόμες λύσεις διαχείρισης των υδάτων, που θα βοηθήσουν στην επίτευξη αυτών των στόχων και ενδεχομένως να βοηθήσουν σε άλλους τομείς αειφόρου ανάπτυξης, συμπεριλαμβανομένης της οικοδόμησης της κοινότητας, αποδοτική χρήση ενέργειας και βελτίωση του βιοπορισμού για τις αναπτυσσόμενες περιφέρειες (Rocher, 2018).

Το ενδιαφέρον για την SWM έχει αυξηθεί ραγδαία την τελευταία δεκαετία, αλλά η υιοθέτησή της στην πολιτική παραμένει αργή. Για να τροποποιηθεί αυτό, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων πρέπει να γνωρίζουν τα κοινωνικά οφέλη (βελτίωση υγείας, υποστήριξη αειφόρου ανάπτυξης, ασφάλεια υδάτων, ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή, πρόσβαση σε δεδομένα, αυξημένη κατάρτιση και ανάπτυξη ικανοτήτων, ισότητα

φύλων κ.α.) τα οικονομικά οφέλη (αυξημένη αποδοτικότητα, αύξηση εργασίας και ευκαιριών, μείωση μελλοντικού κόστους υποδομής κ.α.), τα περιβαλλοντικά οφέλη (βελτιωμένη ποιότητα και ποσότητα νερού, μείωση άντλησης υπόγειων υδάτων, μειωμένη κατανάλωση νερού κ.α.), τα οφέλη διακυβέρνησης (βελτιωμένη διαχείριση και γνώση, ακρίβεια δεδομένων, ευκαιρίες λήψης αποφάσεων, βελτιωμένη διαφάνεια κ.α.) και τα οφέλη τεχνολογίας (ανάπτυξη νέων και καινοτόμων εργαλείων κ.α.). Οι υπεύθυνοι θα πρέπει επίσης να γνωρίζουν και τον τρόπο πολιτικής, που μπορεί να υποστηρίξει την επιτυχή εφαρμογή της SWM (Rocher, 2018).

Κάθε χώρα έχει το δικό της θεσμικό πλαίσιο και απαιτείται διαφορετική προσέγγιση. Κάθε περιοχή πρέπει να αξιολογήσει τον τρόπο, με τον οποίον οι έξυπνες τεχνολογίες μπορούν να υποστηρίξουν την προστασία των υδατικών πόρων, για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στο μέλλον κι έτσι να επιλέξει τις κατάλληλες πολιτικές, που θα υποστηρίξουν την επιτυχημένη SWM με διάφορους τρόπους (Rocher, 2018).

### **3.1.2. Η έξυπνη διαχείριση υδάτων στις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας**

Η ισότιμη πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό αποτελεί έναν από τους στόχους της ατζέντας των Ηνωμένων Εθνών (2030) για τη βιώσιμη ανάπτυξη (UN, 2015). Η πρόσβαση στο πόσιμο νερό στις αστικές περιοχές παρέχεται από επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ασφαλή και αξιόπιστη παροχή νερού από τις διάφορες πηγές στους τελικούς χρήστες (Berg & Danilenko, 2011).

Η επίτευξη του στόχου των Ηνωμένων Εθνών για το 2030 από τις διάφορες χώρες μέσω των φορέων εκμετάλλευσης πόσιμου νερού, που συνήθως λειτουργούν με μονοπώλιο (Marques et al., 2016), αντιμετωπίζουν μερικές κοινές προκλήσεις σε όλο τον κόσμο. Αυτές οι κύριες προκλήσεις, που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία, είναι ο αυξανόμενος πληθυσμός για παροχή νερού με το σωστό επίπεδο υπηρεσιών και ποιότητας (Loubet et al., 2014), η έλλειψη νερού (Wang et al., 2019), η κλιματική αλλαγή (Flörke et al., 2018) και η παλαιότητα των υποδομών (Snidder & McBean, 2020).

Η ζήτηση νερού αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά. Αυτή η αύξηση θα οδηγήσει σε κατάσταση λειψυδρίας (Pahl-Wostl et al., 2016), και σύμφωνα με τον ΠΟΥ θα ξεπεράσει την προσφορά κατά 40%. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα περισσότερο από το ήμισυ του

συνολικού παγκόσμιου πληθυσμού να κατοικεί σε μέρη με έλλειψη νερού μέχρι το 2050 (World T.U., 2018). Η έλλειψη νερού επηρεάζει ήδη ένα σημαντικό μερίδιο των αστικών και αγροτικών περιοχών με πληθυσμό χαμηλού εισοδήματος με τις μορφές της περιορισμένης, χρονοβόρας και ανασφαλούς πρόσβασης στους πόρους, καθώς και υψηλή συχνότητα ασθενειών, που μεταδίδονται με το νερό.

Η κλιματική αλλαγή είναι υπεύθυνη για ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως μεγάλες περιόδους ξηρασίας (Mukherjee et al., 2018), κινδύνους πλημμύρας και αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων (Meehl et al., 2016). Αυτοί οι παράγοντες ασκούν πρόσθετη πίεση στη λειτουργία των υπηρεσιών ύδρευσης (Dilling et al., 2019). Επιπλέον, η μέση θερμοκρασία της Γης αυξάνεται χρόνο με το χρόνο, προκαλώντας αύξηση της κατανάλωσης νερού (Toth et al., 2018; Manouseli et al., 2019). Επίσης, μία από τις αιτίες βλάβης του δικτύου ύδρευσης είναι η εποχιακή μεταβολή της θερμοκρασίας (Almheiri et al., 2020).

Στην μελέτη των Ortega-Ballesteros et al., (2021) αναφέρεται ότι η παλαιότητα της υποδομής των δικτύων ύδρευσης είναι μια ακόμη από τις προκλήσεις, που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι φορείς εκμετάλλευσης νερού, καθώς είναι υπεύθυνη για τη διακοπή των υπηρεσιών, τις πιθανές εισόδους ρύπων στο δίκτυο και την απώλεια εσόδων. Υπάρχουν πολλά μέρη και πόλεις, όπου η υδάτινη υποδομή έχει κατασκευαστεί εδώ και πολύ καιρό και παλαιώνει, υποβαθμίζεται και ενδέχεται να μην μπορεί να καλύψει τις μελλοντικές συνθήκες ζήτησης. Η ηλικία και τα χαρακτηριστικά των σωλήνων θεωρούνται από τους κυριότερους παράγοντες, που οδηγούν σε επιδείνωση του δικτύου ύδρευσης (Li et al., 2013).

Οι Li et al., (2020) αναφέρουν ότι παραδοσιακά, μηχανικοί και ερευνητές συνηθίζουν να αλλάζουν το μέγεθος των συστημάτων παροχής νερού, αλλά είναι μια χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία. Αν και για τις περισσότερες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, η κορυφαία προτεραιότητα είναι η οικοδόμηση και επέκταση της υποδομής, που απαιτείται για την παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού, δυστυχώς δεν μπόρεσαν να λάβουν τους οικονομικούς πόρους ή την πολιτική υποστήριξη (Walsby, 2013).

Οι επιχειρήσεις αυτές για την αντιμετώπιση των προκλήσεων μετατρέπουν σταδιακά τα παλιά δίκτυα διανομής νερού σε έξυπνες υποδομές εκμεταλλεόμενοι τις σύγχρονες ΤΠΕ

(Nguyen et al., 2018). Οι έξυπνες λύσεις χρησιμοποιούν υπερσύγχρονο λογισμικό και υλικό, προσφέροντας στις υπηρεσίες κοινής ωφελείας, βελτιωμένα επίπεδα παρακολούθησης του συστήματος και αυτόματου ελέγχου, λειτουργική αποδοτικότητα και καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών (Shahra et al., 2019).

Τα ζητήματα ύδρευσης, εάν συνδυάζονται με κατάλληλες και αποτελεσματικές λύσεις ΤΠΕ, μπορούν να διαχειριστούν κατάλληλα (Li et al., 2020). Στο πλαίσιο αυτό εισάγεται η έννοια του Έξυπνου Δικτύου Ύδρευσης (Smart Water Network, SWN) (Shahra et al., 2019).

## **3.2. Έξυπνο Δίκτυο Ύδρευσης**

### **3.2.1. Η έννοια του έξυπνου δικτύου ύδρευσης**

Αν και σχετικά νέα, η έννοια του SWN έχει αναγνωριστεί ως μια τεράστια ευκαιρία για τις υδάτινες αρχές να αντιμετωπίσουν παγκόσμια ζητήματα, όπως η ασφάλεια των υδάτων (Walsby, 2013 ). Οι όροι «έξυπνο δίκτυο ύδρευσης», «έξυπνο σύστημα παροχής νερού» ή «έξυπνο σύστημα ύδρευσης» κερδίζουν μεγάλη ώθηση στον ακαδημαϊκό χώρο, την κυβέρνηση και τη βιομηχανία, τραβώντας την προσοχή διεθνών οργανισμών του τομέα των υδάτων (American Water Works Association - AWWA, Environmental Protection Agency - EPA, International Water Association - IWA κ.α.).

«Ένα SWN βρίσκεται στην καρδιά της έξυπνης πόλης και δεν μπορεί να υπάρξει πλήρως χωρίς αυτήν» (Fabbiano et al., 2020). Το SWN ενσωματώνει τις διαδικασίες νερού με υποδομές ΤΠΕ, μετατρέποντας έτσι τα δεδομένα σε ενεργές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να διαχειρίζονται αποτελεσματικότερα την υποδομή και τις εγκαταστάσεις τους, βελτιώνοντας τη λήψη αποφάσεων και μειώνοντας το ανθρώπινο σφάλμα στην ανάλυση της απόδοσης.

Οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας έχουν πολλά κίνητρα, προκειμένου να υιοθετήσουν τον έξυπνο μετασχηματισμό τους, όπως αναφέρθηκε παραπάνω (Cahn, 2014). Επιπλέον, κάθε μέρα, οι υπηρεσίες κοινής ωφελείας παράγουν έναν εξαιρετικό όγκο δεδομένων, το 60% των οποίων δεν μπορούν να επεξεργαστούν αρκετά γρήγορα (Thompson, 2014). Παρόλο, που σήμερα υπάρχουν λύσεις, που επιτρέπουν στις επιχειρήσεις ύδρευσης την εξ' αποστάσεως λειτουργία, ο έλεγχος του συστήματος δεν γίνεται σε πραγματικό χρόνο (Walsby, 2013). Έτσι, η συνεχής παρακολούθηση του τομέα των υδάτων παραμένει μια

πρόκληση και η τεχνολογία παρέχει στις εγκαταστάσεις του συστήματος ύδρευσης αυτές τις δυνατότητες (Adedeji et al., 2019) με το κατάλληλο υλικό και λογισμικό.

Η τεχνολογία πληροφοριών, που βασίζεται στο cloud επιτρέπει την αποθήκευση πολύ μεγάλων συνόλων δεδομένων, ενώ μέσω της τεχνητής νοημοσύνης, η αξία των δεδομένων μπορεί να μεγιστοποιηθεί, καθώς μπορούν να αναλυθούν με υπολογιστικά μοντέλα για να αποκαλυφθούν μοτίβα και τάσεις. Έτσι, το σύστημα ύδρευσης καθίσταται ικανό να συλλέγει και να αναλύει δεδομένα και επίσης να επικοινωνεί με άλλα συστήματα. Με αυτόν τον τρόπο πολλές λειτουργίες (διαχείριση πίεσης, έλεγχος ροής κ.λπ.) γίνονται πιο αποτελεσματικές (Patnaik et al., 2020). Η επιτυχία του SWN απαιτεί συλλογική προσπάθεια και συνεργασία των ενδιαφερομένων μερών στη βιομηχανία νερού, χρηματοδότηση και πολιτική υποστήριξη, καθώς και ολοκληρωμένες τεχνολογικές λύσεις, φιλικές προς τον χρήστη (Walsby, 2013).

### 3.2.2. Αρχιτεκτονική έξυπνου δικτύου ύδρευσης

Το SWN περιλαμβάνει διάφορες τεχνολογίες. Αρκετές μελέτες έχουν παρουσιάσει την αρχιτεκτονική ενός συστήματος. Η πιο ευρέως αποδεκτή έξυπνη αρχιτεκτονική στη διαχείριση των υδάτων χαρακτηρίζεται από πέντε επίπεδα, τα οποία λειτουργούν συνεργικά: α) φυσικό, β) ανίχνευσης και ελέγχου, γ) συλλογής και επικοινωνίας, δ) διαχείρισης και εμφάνισης δεδομένων και ε) συγχώνευσης και ανάλυσης δεδομένων (Εικ. 3.2) (Li et al., 2020a).



Εικόνα 3.2. Τα πέντε επίπεδα SWN (Li et al., 2020a)



Το «Φυσικό» επίπεδο περιλαμβάνει τα φυσικά στοιχεία του δικτύου (π.χ. σωλήνες, αντλίες, βαλβίδες, δεξαμενές), τα οποία επειδή δεν περιέχουν δεδομένα, δεν θεωρούνται «έξυπνα».

Το επίπεδο «Ανίχνευσης και Ελέγχου» περιλαμβάνει τον εξοπλισμό για τη μέτρηση διαφόρων παραμέτρων (π.χ. ροή, πίεση, ποιότητα) και συσκευές τηλεχειρισμού (π.χ. βαλβίδες μείωσης πίεσης (Pressure Relief Valves, PRVs). Αποτελεί τη γέφυρα μεταξύ της φυσικής υποδομής και των έξυπνων επιπέδων (Li et al., 2020a).

Το επίπεδο «Συλλογής και επικοινωνίας» περιλαμβάνει τεχνολογίες για τη συλλογή πληροφοριών από απομακρυσμένες τοποθεσίες, οι οποίες μεταδίδονται σε ανώτερα επίπεδα χρησιμοποιώντας κανάλια επικοινωνίας (Li et al., 2020a).

Το επίπεδο «Διαχείρισης και Εμφάνισης δεδομένων» περιλαμβάνει τη συγκέντρωση και την επεξεργασία των δεδομένων σε πληροφορίες, καθώς και τη σύνδεσή τους με άλλα συστήματα ή εργαλεία (π.χ. σύστημα ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (System Control & Acquisition Data, SCADA), σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System, GIS) (Dutt & Punniakotty, 2021).

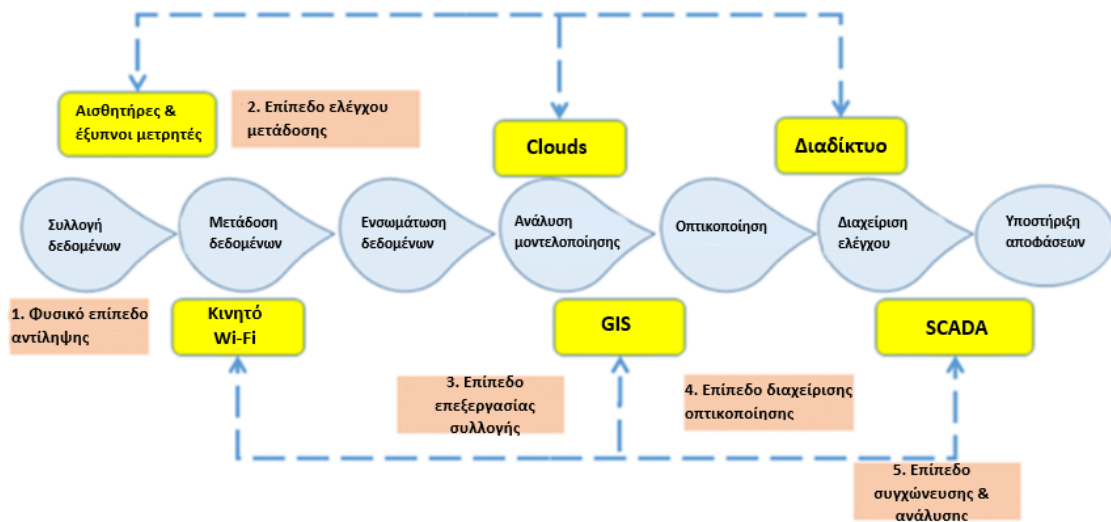
Τέλος, το επίπεδο «Συγχώνευσης και Ανάλυσης Δεδομένων» παρέχει εργαλεία, που διασυνδέονται με το λογισμικό ανάλυσης δεδομένων και μοντελοποίησης, με αποτέλεσμα να εκτελούνται εργασίες διαχείρισης δικτύου από απόσταση και αυτόματα (π.χ. διαδικτυακή παρακολούθηση ποιότητας νερού, αυτόματη βελτιστοποίηση πίεσης, κ.α.). Δίνεται η δυνατότητα της εκτίμησης του πιθανού αντίκτυπου των αλλαγών στο δίκτυο και της ανταπόκρισης σε αυτές σε πραγματικό χρόνο (Dutt & Punniakotty, 2021).

### **3.2.3. Εργαλεία έξυπνης διαχείρισης υδάτων**

Η SWM, μια στρατηγική διαχείρισης υδάτων προσανατολισμένη στο μέλλον, βασίζεται στο SWN. Πολλά καινοτόμα εργαλεία ΤΠΕ έχουν αναπτυχθεί στον τομέα των υδάτων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της απόδοσης, στη μείωση του κόστους και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το συνολικό δίκτυο ύδρευσης μπορεί να γίνει πιο έξυπνο υιοθετώντας τα σωστά τεχνολογικά στοιχεία.

Οι Dutt & Punniakotty (2021) αναφέρουν, ότι στη μελέτη, που διεξάγεται από την Focus Group των Έξυπνων Βιώσιμων Πόλεων, που δημιουργήθηκε το 2013 στο πλαίσιο της

Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union, ITU), διερευνώντας την SWM για έξυπνες βιώσιμες πόλεις, προτείνεται να συμπεριληφθούν τα ακόλουθα στοιχεία στο έξυπνο σύστημα παροχής νερού (Εικ. 3.3): α) αισθητήρες και έξυπνοι μετρητές, β) κανάλια επικοινωνίας, γ) Cloud computing (analytics), δ) GIS, ε) SCADA, στ) εργαλεία επικοινωνίας και πληροφόρησης μέσω διαδικτύου.



Εικόνα 3.3. Επίπεδα και εργαλεία έξυπνου δικτύου ύδρευσης (Dutt & Punniakotty, 2021)

Τα εργαλεία αυτά έχουν ως εξής (Ramos, 2020, ITU-T, 2014):

#### Αισθητήρες και έξυπνοι μετρητές

Οι έξυπνοι αισθητήρες αποτελούν μια βιώσιμη λύση για την συνεχή εξ' αποστάσεως παρακολούθηση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας τη δυνατότητα για γρήγορη ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως π.χ. διαρροές, ρύπανση.

Η ανάπτυξη έξυπνων μετρητών επιτρέπει την απομακρυσμένη προσβασιμότητα σε δεδομένα κατανάλωσης, τον εντοπισμό διαρροών, τις παράνομες συνδέσεις και ειδοποιήσεις παραβίασης, και μπορεί επίσης να ενισχύσει τον προσδιορισμό των αιτημάτων αιχμής και διαχείρισης του δικτύου.

#### Κανάλια επικοινωνίας

Οι λύσεις επικοινωνίας (π.χ. Bluetooth, Wi-Fi, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας κ.α.) επιτρέπουν την απομακρυσμένη ανάγνωση αισθητήρων και μετρητών με άμεση μεταφορά δεδομένων και ειδοποιήσεων σε πραγματικό χρόνο στο κεντρικό σύστημα διαχείρισης της εταιρείας ύδρευσης.

### *Cloud computing*

Μετά τη μετάδοση δεδομένων, αυτά αποθηκεύονται, αναλύονται και επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο στο cloud computing, το οποίο παρέχει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για μοντελοποίηση.

### *Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS).*

Το GIS συλλέγει, αποθηκεύει, αναλύει και παρουσιάζει πληροφορίες, που αναφέρονται γεωγραφικά, διαδραματίζοντας ισχυρό ρόλο στην SWM (Sharvelle et al., 2017). Το κύριο πλεονέκτημά του είναι η προσομοίωση της πραγματικότητας. Η υψηλής ποιότητας εμφάνιση των αποτελεσμάτων βοηθά στη λήψη αποφάσεων και στη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτων.

### *Εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων (SCADA).*

Είναι συστήματα, που επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της επεξεργασίας και της διανομής του νερού, την προειδοποίηση για διάφορες λειτουργίες δικτύου, την ενίσχυση ετοιμότητας σε καταστροφές και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας και αποστολής εντολών σε πραγματικό χρόνο.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα συστήματα SCADA ξεφεύγουν από τις εγγενείς λειτουργίες τους, προτείνοντας προαιρετικά ενότητες για μοντελοποίηση ή βελτιστοποίηση (π.χ. καθορισμός ωρών αιχμής της χρήσης νερού, εντοπισμός πιθανών διαρροών). Σε παγκόσμιο επίπεδο τα συστήματα SCADA συνέβαλαν σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά 30%, μείωση των απωλειών νερού και διακοπή λειτουργίας κατά 20% (Aoun, 2013).

### *Εργαλεία επικοινωνίας και πληροφόρησης μέσω διαδικτύου*

Η διαχείριση πληροφοριών και γνώσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην αποτελεσματικότητα του τομέα των υδάτων (Dondeynaz et al., 2009). Ένα βασικό πρόβλημα, που αντιμετωπίζει ο τομέας, είναι η ύπαρξη μεγάλου συνόλου σύνθετων, αδόμητων και κατακερματισμένων δεδομένων. Οι διαδικτυακές πλατφόρμες επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση, εμφάνιση και ανάκτηση των πληροφοριών.

Οι διακομιστές προσφέρουν πρόσβαση σε ολοκληρωμένες πληροφορίες για όλους τους παράγοντες, που πρέπει να ληφθούν υπόψη στη διαχείριση των υδάτων. Τα συστήματα

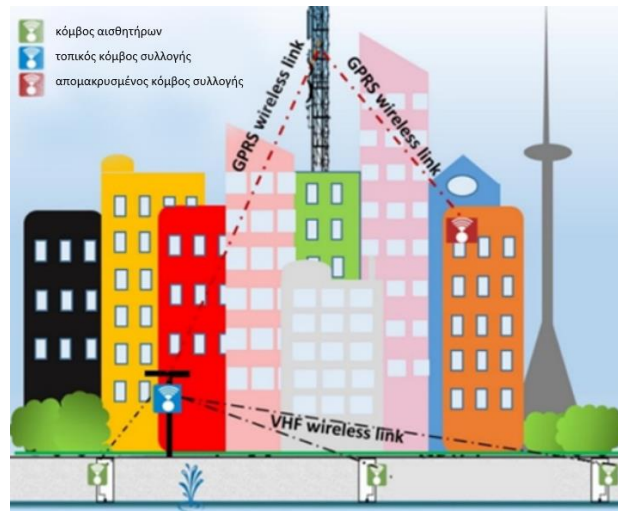
επικοινωνίας και πληροφόρησης προβάλουν σχετικές δραστηριότητες από εξειδικευμένους χρήστες (π.χ. διαχειριστές νερού, δήμους, κυβερνήσεις), προειδοποιούν έγκαιρα σε έκτακτες καταστάσεις, βοηθούν στη λήψη αποφάσεων, ενισχύουν τη διαφάνεια και αυξάνουν την εμπιστοσύνη και τη συμμετοχή του κοινού.

#### **3.2.4. Παρακολούθηση έξυπνου δικτύου ύδρευσης**

Η πιο βασική λειτουργία ενός SWN είναι η παρακολούθησή του και κύριο χαρακτηριστικό του είναι η δημιουργία αμφίδρομης επικοινωνίας για όλους τους συλλέκτες πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση της υποδομής του (Fabbiano et al., 2020). Το SWN περιλαμβάνει εξ' ορισμού έξυπνα στοιχεία, τα οποία είναι ενσωματωμένα στην έννοια του IoT (Li et al., 2019a).

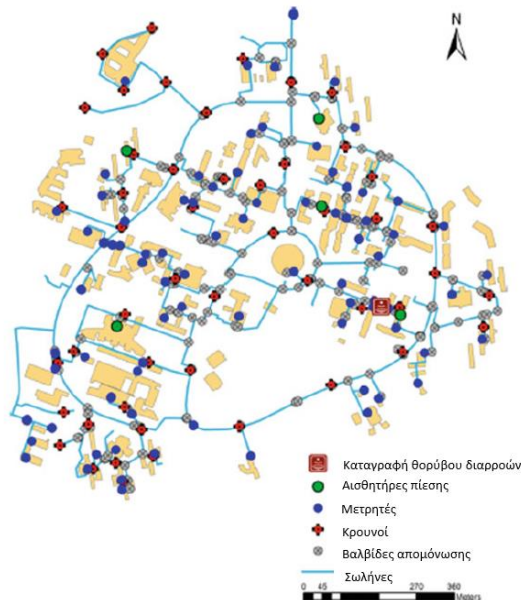
Οι αισθητήρες, που αναπτύσσονται σε όλο το δίκτυο, είναι ένα από τα βασικά συστατικά και χρησιμοποιούνται για τη λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, οι αισθητήρες διατάσσονται σε κόμβους. Οι λήψεις δεδομένων μεταξύ των διαφόρων κόμβων μπορούν να γίνονται ταυτόχρονα και ο ενδιάμεσος χρόνος λήψεων εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων και του συλλέκτη. Η επικοινωνία των δεδομένων επιτυγχάνεται με ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας. Οι έξυπνοι αισθητήρες και η τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας, που υιοθετούνται πρέπει να έχουν δυνατότητα μεγάλης εμβέλειας, καθώς στη διαχείριση υδάτων παρέχεται τεράστιος όγκος δεδομένων.

Οι έξυπνοι αισθητήρες αναπτύσσονται για πολλές εφαρμογές και μετρούν μεταξύ άλλων, θερμοκρασία, πίεση, ροή, pH, TDS, υγρασία. Περισσότερες παράμετροι, όπως η παρουσία χημικών ρύπων, *Escherichia coli* (E.Coli), μικροπλαστικών, μπορούν ν' ανιχνευθούν με την προσθήκη κατάλληλων αισθητήρων (Dutt & Punniakotly, 2021). Τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες είναι συνήθως σε αναλογική μορφή και πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή για την περαιτέρω επεξεργασία τους, κι αυτό πραγματοποιείται μέσω ενός ενσωματωμένου επεξεργαστή. Τα δεδομένα μεταφέρονται στην πύλη IoT και μέσω κατάλληλου πρωτοκόλλου μετάδοσης οδηγούνται στο απομακρυσμένο κέντρο υπολογιστών και επεξεργασίας δεδομένων (Εικ. 3.4) (Adedeji et al., 2019).



**Εικόνα 3.4.** Παράδειγμα έξυπνης υποδομής δικτύου ύδρευσης, εξοπλισμού των μονάδων ανίχνευσης και μετάδοσης (Fabbiano et al., 2020).

Στο κέντρο αυτό τα δεδομένα μετατρέπονται σε χρήσιμες πληροφορίες (Adedeji et al., 2019), πραγματοποιείται η ανάλυσή τους και η σύγκριση με αντίστοιχους δείκτες. Κάθε μεταβλητή λειτουργίας, που υπερβαίνει τις τιμές κατωφλιού επισημαίνεται αυτόματα και αποστέλλονται σύντομα γραπτά μηνύματα (Short Message Service, SMS) ή μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου στην ομάδα διαχείρισης υδάτων (Patnaik et al., 2020). Το GIS εμφανίζει τις πληροφορίες (Εικ. 3.5), όπου κάθε κόμβος αισθητήρα αναγνωρίζεται μέσω γεωγραφικής τοποθεσίας (Patnaik et al., 2020).



**Εικόνα 3.5.** Χάρτης GIS ενός δικτύου ύδρευσης (Patnaik et al., 2020)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΞΥΠΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ**

Καθώς το μέγεθος των πόλεων μεγαλώνει, τα δίκτυα ύδρευσης μεγαλώνουν επίσης. Η αποτελεσματική διαχείριση μεγάλης κλίμακας, πολύπλοκων και δυναμικών συστημάτων ύδρευσης αποτελεί ένα επίπονο έργο. Η έλλειψη υδατικών πόρων λόγω της κλιματικής αλλαγής, η αυξημένη ζήτηση νερού λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και η παρουσία περιοχών, όπου το νερό εκτίθεται σε ρύπους, αντιπροσωπεύουν ένα εκτεταμένο πρόβλημα, που αφορά τη διαχείριση των δικτύων ύδρευσης (Fabbiano et al., 2020).

Σήμερα, εκτός από την παροχή νερού στους χρήστες και την ικανοποίηση των ελάχιστων επιπέδων εξυπηρέτησης, οι κύριοι στόχοι για τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας κυμαίνονται από τη διαχείριση απωλειών νερού (Wu et al., 2018) έως την αντιμετώπιση, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο τυχαίας ή σκόπιμης μόλυνσης (Herrera et al., 2018), σεβόμενοι ταυτόχρονα τις απαιτήσεις της οικονομικής, κοινωνικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και λειτουργίας εντός προσιτού ενεργειακού κόστους (Giudicianni et al., 2019).

### **4.1. Έξυπνη Διαχείριση Απωλειών Νερού**

Η έλλειψη νερού παραμένει μια παγκόσμια απειλή, που αντιμετωπίζουν δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο, η οποία εντείνεται ακόμη περισσότερο με απώλειες, που συμβαίνουν στα δίκτυα διανομής νερού. Μελέτες δείχνουν, ότι το ένα τρίτο των χωρών έχει απώλειες νερού σε ποσοστό περισσότερο από 40%, λόγω διαρροής (Afifi et al., 2018). Το κόστος των απωλειών νερού παγκοσμίως ανέρχεται σε 39 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (Tzagkarakis et al., 2020).

Οι διαρροές στο δίκτυο ύδρευσης κυμαίνονται από 5% (ευρωπαϊκές χώρες) έως 50% (αναπτυσσόμενες χώρες) και μπορεί να προκύψουν κυρίως, είτε λόγω θεμάτων, που σχετίζονται με τη συντήρηση, όπως ρωγμές, σκουριά, εξωτερικές ζημιές από ανθρώπινα λάθη, είτε από ακραίες καιρικές συνθήκες (πολύ ζέστη ή πολύ κρύο) ή ανώμαλες συνθήκες πίεσης.

Το μέγεθος των απωλειών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (π.χ. χαρακτηριστικά των σωλήνων, μέγεθος φορτίων, κατασκευή δικτύου κ.α.) (Afifi et al., 2018). Απώλεια νερού,

όταν εκβάλλει μέσω φυσικής αναποτελεσματικότητας ορίζεται ως «απώλεια υποβάθρου», και εάν ο ρυθμός ροής υπερβαίνει την τιμή κατωφλιού, ορίζεται ως «έκρηξη» (Bragalli et al., 2018). Επιπλέον, αν η διαρροή είναι ορατή και το νερό αναδύεται στην επιφάνεια, χαρακτηρίζεται ως «αναφερόμενη έκρηξη», ενώ αν η έκρηξη λειτουργεί, έως ότου εντοπιστεί χαρακτηρίζεται ως «μη αναφερόμενη έκρηξη» (Bragalli et al., 2018). Οι μη αναφερόμενες εκρήξεις γίνονται ιδιαίτερα σημαντικές, όταν συνδέονται με υψηλές τιμές ροής και χρόνο λειτουργίας (Bragalli et al., 2018). Επίσης υπάρχει η διάκριση των απωλειών νερού ανάμεσα σε φαινομενικές απώλειες (πυρόσβεση, σφάλματα μέτρησης) και πραγματικές (δεξαμενές, κεντρικό δίκτυο) (Gurta & Kulat, 2018).

Οι απώλειες νερού οδηγούν σε μεγαλύτερη άντληση και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας προκαλώντας οικονομικές απώλειες και αύξηση της τιμής του νερού (Beal & Flynn, 2015). Προκαλούν επίσης μόλυνση στον αγωγό ύδρευσης από τη διείσδυση ρύπων στα συστήματα των σωληνώσεων με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Kouchi et al. 2017). Επηρεάζουν τις υποδομές της πόλης (π.χ. ζημιές δρόμων κ.α.) και έχουν αντίκτυπο στη βιωσιμότητα των υδατικών πόρων, όταν μάλιστα η ζήτηση νερού αναμένεται να αυξηθεί κατά 40% έως το 2030 (Endo et al., 2017).

#### **4.1.1. Εκτίμηση και πρόγραμμα ελέγχου απωλειών νερού**

Η ταχεία ανίχνευση των διαρροών μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες νερού και να μειώσει τη ζημιά στο δίκτυο ύδρευσης (Sena et al., 2021), μειώνοντας περαιτέρω το άμεσο και έμμεσο κόστος. Οι μέθοδοι ανίχνευσης διαρροών έχουν γίνει πιο εξελιγμένοι με την έλευση των ΤΠΕ, της τεχνητής νοημοσύνης και του IoT, στο πλαίσιο των Έξυπνων Πόλεων (Penteado et al., 2018). Οι έξυπνες πόλεις με κατάλληλες υποδομές και τεχνολογίες μπορούν να αποκαλύψουν διαρροή στο δίκτυο και να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τη θέση της (Mounce et al., 2015). Εκτιμάται, ότι η εφαρμογή μεθόδων στα πλαίσια της SWM, θα μπορούσε να εξοικονομήσει στις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και τους καταναλωτές τους έως και 12,5 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (Sensus, 2013).

Η πιο κοινή μεθοδολογία για τον εντοπισμό της διαρροής σε έξυπνα δίκτυα ύδρευσης συνίσταται στο συνδυασμό των μεθόδων του ισοζυγίου νερού και της ελάχιστης νυχτερινής ροής (Minimum Night Flow, MNF) (Farah & Shahrour, 2017).

Η IWA έχει αναπτύξει ένα διεθνές πρότυπο ισοζυγίου νερού (EPA, 2010), το νερό χωρίς έσοδα (No Revenue Water, NRW), το οποίο έχει γίνει αποδεκτό από άλλους οργανισμούς, όπως η AWWA, η EPA κ.α. Πρόκειται για τη διαφορά μεταξύ του όγκου, που αποστέλλεται στα συστήματα ύδρευσης και του όγκου του νερού, που τελικά φτάνει στους καταναλωτές (Penteado et al., 2018).

Η ελάχιστη νυχτερινή ροή (Minimum Night Flow, MNF), από την άλλη, είναι η πιο κοινή προσέγγιση στην εκτίμηση των διαρροών. Οι συνολικές απώλειες νερού υπολογίζονται αφαιρώντας την MNF από τη νόμιμη νυχτερινή ροή (Legal Night Flow, LNF), που βασίζεται στην υπόθεση, ότι μόνο το 6% του πληθυσμού είναι ενεργό (Gupta & Kulat, 2018).

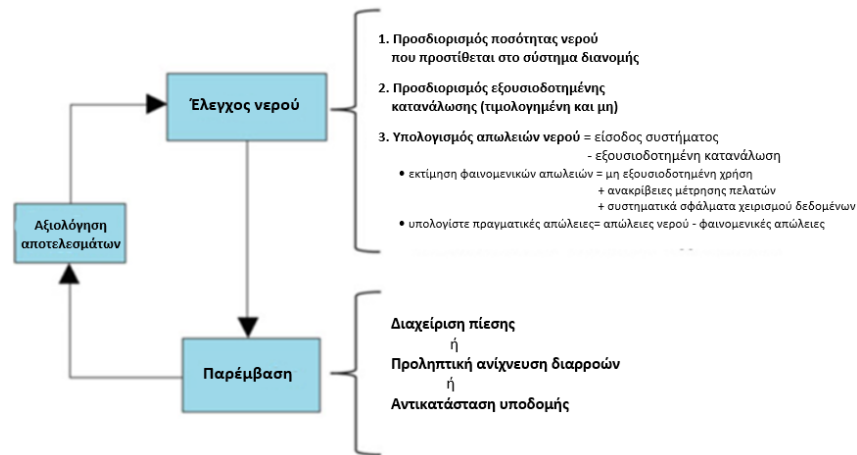
Βασικό θεμέλιο, προκειμένου να διασφαλιστούν επαρκή αξιόπιστα δεδομένα, αποτελεί η τμηματοποίηση του δικτύου σε περιφέρειες μετρημένων περιοχών (District Metered Areas, DMA), όπου οι ποσότητες νερού, που εισέρχονται και εξέρχονται, υπολογίζονται από έναν μετρητή ροής. Οι επιχειρήσεις ύδρευσης μειώνουν με αυτόν τον τρόπο την πολυπλοκότητα της διάταξης του δικτύου τους σε μικρότερες περιοχές, που παρακολουθούνται με ακρίβεια (Giudicianni et al., 2019), με αποτέλεσμα την έγκαιρη ανίχνευση διαρροών και συνεπώς τη μείωση του χρόνου αποκατάστασης της βλάβης (Farley, 2001).

Μια επισκόπηση των αριθμών NRW ανά έτος εκτιμά ότι περίπου 48 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού χάνονται παγκοσμίως (Liemberger et al., 2006), το ήμισυ του οποίου συμβαίνει στις αναπτυσσόμενες χώρες. Αν οι απώλειες αυτές μειώνονταν κατά το ήμισυ, θα υπήρχε αρκετό νερό για περίπου 90 εκατομμύρια ανθρώπους (Afifi et al., 2018).

Οι φορείς εκμετάλλευσης νερού προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τις απώλειες νερού χρησιμοποιώντας διάφορες έξυπνες λύσεις και εργαλεία ανάλυσης δεδομένων (Cassidy et al., 2021). Η συνεχής παρακολούθηση των υποδομών του δικτύου διανομής νερού και ο έλεγχος των απωλειών νερού σχεδόν σε πραγματικό χρόνο μειώνει τον χρόνο ευαισθητοποίησης, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την έναρξη του γεγονότος έως την ενημέρωση της εταιρείας ύδρευσης και με την κατάλληλη μεθοδολογία εκτίμησης των απωλειών νερού, λαμβάνονται αποφάσεις για τη μείωσή τους (Bragalli et al., 2018).



Στον τομέα αυτό θεμελιώδη ρόλο έχουν τα προγράμματα ελέγχου των απωλειών νερού, τα οποία περιλαμβάνουν: α. έλεγχο νερού, β. παρέμβαση και γ. αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Εικ. 4.1) (Patnaik et al., 2020).



**Εικόνα 4.1.** Πρόγραμμα ελέγχου απωλειών νερού (Patnaik et al., 2020).

Το πρόγραμμα ξεκινά με τον έλεγχο του νερού, δηλαδή με την παρακολούθηση του όγκου του νερού, που μεταφέρεται από τις πηγές στους καταναλωτές, έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι απώλειες. Στη συνέχεια καθορίζονται παρεμβάσεις (διαχείριση πίεσης, προληπτική ανίχνευση διαρροών ή αντικατάσταση υποδομής) και επιλέγονται οι καλύτερες, σύμφωνα με την τεχνική και την οικονομική βιωσιμότητά τους. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρέμβασης γίνεται με μέτρηση της πραγματικής εξοικονόμησης νερού, ή άλλου τύπου βελτιώσεων (Sánchez et al., 2020).

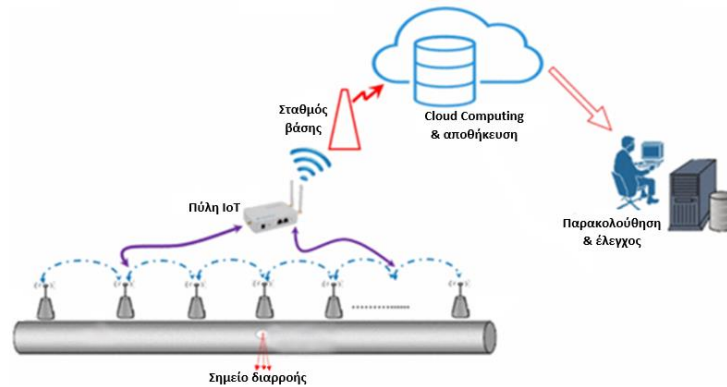
Τα συστήματα μέτρησης είναι απαραίτητα και παρέχουν δεδομένα για το ισοζύγιο νερού, για τον υπολογισμό των απωλειών και για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από τους μετρητές ροής του συστήματος, που παρέχουν λειτουργικά δεδομένα και από τους μετρητές κατανάλωσης.

#### 4.1.2. Έξυπνη μέτρηση

Τα έξυπνα συστήματα μέτρησης συνοδευόμενα από τεχνικές μηχανικής εκμάθησης και ανάλυσης δεδομένων, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο παρέχοντας αξιόπιστες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την εφαρμογή επιτυχημένων στρατηγικών εξοικονομώντας ζωτικούς υδατικούς πόρους (Stewart et al., 2018).

Κάθε μέρος του δικτύου, από κρουνοί και βαλβίδες έως σωλήνες, μπορεί να είναι εξοπλισμένο με μετρητές για τη συλλογή δεδομένων (Patnaik et al., 2020). Τα δεδομένα,

που συλλέγονται, μεταφορτώνονται σε διακομιστή, όπου οι αλγόριθμοι τα ερμηνεύουν και ανεβαίνουν στο cloud για ανάλυση από λογισμικό, που στέλνει αυτόματα συναγερμούς σε περίπτωση συμβάντων διαρροών (Εικ. 4.2).



**Εικόνα 4.2.** Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση διαρροών (Adedeji et al., 2016)

Το GIS εμφανίζει τις πληροφορίες (διαρροές, πιθανές αστοχίες σωλήνων ή αντλιών) και επιτρέπει στον χειριστή να βλέπει ένα γράφημα για την εύρεση της ακριβούς τοποθεσίας της διαρροής, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο εντοπισμού της (Patnaik et al., 2020). Ένας τύπος έξυπνου μετρητή, που συνδέεται με GIS για τον εντοπισμό διαρροών στο δίκτυο ύδρευσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 4.3).



**Εικόνα 4.3.** Έξυπνος μετρητής συνδεδεμένος με GIS (Patnaik et al., 2020).

Οι έξυπνες εφαρμογές μέτρησης αποτελούν βασικό συστατικό για την υλοποίηση έξυπνων περιβαλλόντων, καθώς επιτρέπουν πολλαπλές δυνατότητες σε εταιρείες κοινής ωφελείας και καταναλωτές.

Οι μόνιμα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες μπορούν να εντοπίσουν και να προειδοποιήσουν έγκαιρα το επιχειρησιακό προσωπικό ενός βοηθητικού προγράμματος επιτρέποντάς του να αντιδράσει, πριν προκύψει ορατή και δαπανηρή αστοχία, σπατάλη ενέργειας ή υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, με αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση της απώλειας νερού (Duffy, 2013). Οι διαχειριστές μπορούν να λάβουν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με την επισκευή, την αντικατάσταση ή αποκατάσταση παλαιωμένων

περιουσιακών στοιχείων και επίσης να βελτιώσουν τη λειτουργία και την ανθεκτικότητα του συστήματος, εξοικονομώντας νερό και κόστος. Στη Λισαβόνα η έγκαιρη ανίχνευση διαρροών είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά 40% των απωλειών νερού.

Οι έξυπνες τεχνολογίες μέτρησης επιτρέπουν επίσης στις επιχειρήσεις ύδρευσης να αντιμετωπίζουν αβεβαιότητες μέσω της πρόσβασης στα δεδομένα ταχύτερα και πιο αποτελεσματικά (Richards & Schultz, 2020). Η συνεχής παρακολούθηση παραμέτρων, όπως η πίεση του νερού και ο ρυθμός ροής, επιτρέπει στους παρόχους να κατανοήσουν τις απαιτήσεις και να εξισορροπήσουν την παροχή και τη ζήτηση νερού. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο οδηγούν σε μοντελοποίηση για έναν αποτελεσματικό μακροπρόθεσμο σχεδιασμό διαχείρισης των υδάτων, καθιστώντας τον μια πιο ακριβής και δυναμική διαδικασία (Mutchek & Williams, 2014). Στις πληροφορίες έχουν πρόσβαση και οι καταναλωτές, οι οποίοι τις βλέπουν με τη μορφή γραφικών (Εικ. 4.4) (Sánchez et al., 2020). Έτσι οι πελάτες έχουν έγκαιρη ενημέρωση σχετικά με την κατανάλωση νερού για μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση όσον αφορά τη χρήση του (Liu et al., 2015).



*Εικόνα 4.4. Απεικόνιση μετρήσεων (Sánchez et al., 2020).*

Η έξυπνη μέτρηση νερού χρησιμοποιείται ευρέως ως μια κρίσιμη προσέγγιση για τη βελτίωση της διαχείρισης των αστικών υδάτων στα πλαίσια της έξυπνης διαχείρισής τους.

#### **4.1.3. Έξυπνοι μετρητές**

Οι μέθοδοι ανίχνευσης των διαρροών διακρίνονται σε α. ακουστικής ανίχνευσης με ανάλυση ηχητικού σήματος από τα δεδομένα, που μεταδίδονται αυτόματα από τις συσκευές (π.χ. συσχετιστές διαρροών και καταγραφείς θορύβου διαρροών) και β. μη ακουστικές (π.χ. έγχυση αερίου, ραντάρ διείσδυσης εδάφους, κάμερες υπερύθρων (Cassidy et al., 2021).

Οι έξυπνοι μετρητές εξοπλισμένοι με αισθητήρες πίεσης και συσχετιστές θορύβου χρησιμοποιούνται ευρέως. Η Εικόνα 4.5 δείχνει μετρητή νερού, που λειτουργεί με μπαταρία, και μπορεί να μετρήσει ροή, πίεση και θερμοκρασία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό διαρροών ή σε συστήματα ποιοτικού ελέγχου και διαχείρισης πίεσης στα δίκτυα ύδρευσης (Sánchez et al., 2020).



*Εικόνα 4.5. Μετρητής νερού για ροή, πίεση και θερμοκρασία (Sánchez et al., 2020).*

Τα αυτοματοποιημένα οχήματα (ρομπότ εξοπλισμένα με κάμερες ή αισθητήρες) δεν είναι συνηθισμένα στα δίκτυα ύδρευσης (Sánchez et al., 2020). Υπάρχουν, ωστόσο, κινητοί αισθητήρες, όπως οι ελεύθεροι πλωτοί ακουστικοί ανιχνευτές διαρροών, μικρές πλαστικές μπάλες, που ταξιδεύουν κατά μήκος του σωλήνα καταγράφοντας το ακουστικό προφίλ του σωλήνα. Υπάρχουν και τα καλώδια ροής, όπου ο αισθητήρας ταξιδεύει κατά μήκος του σωλήνα τραβιέται από ένα μικρό αλεξίπτωτο στην κορυφή του, μεταδίδοντας ένα ηχητικό σήμα (Εικ. 4.6) σε εκπαιδευμένο χειριστή στην επιφάνεια (Patnaik et al., 2020).



*Εικόνα 4.6. Έξυπνα ηχητικά συστήματα (Sánchez et al., 2020).*

Οι μετρητές διαβάζονται είτε με χειροκίνητη ανάγνωση μετρητή (Manual Measurement Reading, MMR), που είναι μια κουραστική, δαπανηρή και ιδιαίτερα απαιτητική εργασία (Depuru et al., 2011) είτε με αυτοματοποιημένη ανάγνωση μετρητή (Automated Measurement Reading, AMR) (Fanner et al., 2007). Τα συστήματα AMR χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό των απωλειών νερού σε περιοχές DMA με τη μέθοδο του ισοζυγίου νερού και με την MNF (Thornton et al., 2008) οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας (Farah & Shahrou, 2017).

Ανεξάρτητα από το πόσο προηγμένη είναι η τεχνολογία ανάγνωσης μετρητών, οι ανακριβείς μετρήσεις, που μπορεί να οφείλονται σε χαμηλές ροές ή σε φθορά, σε ακατάλληλη εγκατάσταση ή ακατάλληλο τύπο μετρητή, ενδέχεται να δώσουν μη ασφαλή συμπεράσματα. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται ένας ακριβής και αξιόπιστος μετρητής (Richards & Schultz, 2020). Πολλές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας χρησιμοποιούν πλέον προηγμένα συστήματα υποδομής μέτρησης (Advanced Measurement Infrastructure, AMI) για την ακριβή και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων ροής νερού, που προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη εγκατάστασης και συντήρησης και είναι συστήματα επεκτάσιμα και ευέλικτα, ώστε να ταιριάζουν στις απαιτήσεις κάθε προγράμματος (Εικ. 4.7) (Richards & Schultz, 2020).



Εικόνα 4.7. Τεχνολογία AMI (Πηγή: Alliance for Water Efficiency, 2014).

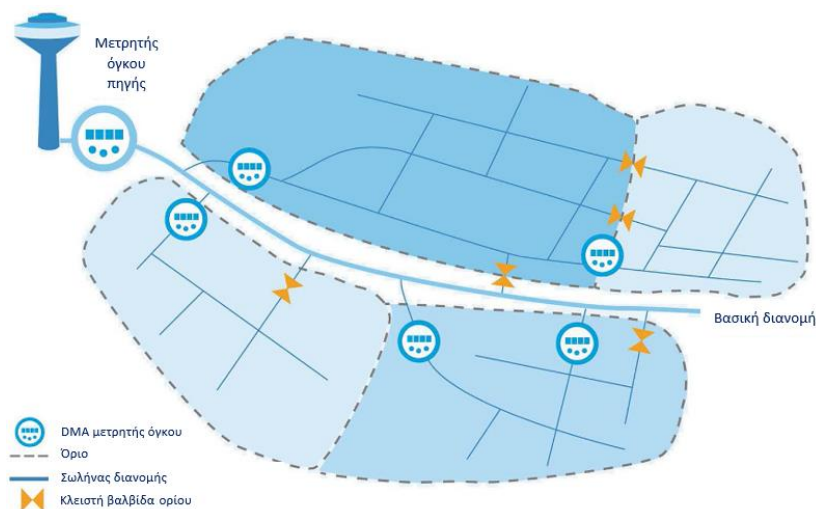
#### 4.1.4. Διαχείριση απωλειών νερού

Η διαχείριση της πίεσης περιλαμβάνει την προσαρμογή της πίεσης στο βέλτιστο επίπεδο υπηρεσιών, στο οποίο εξασφαλίζεται επαρκής και αποτελεσματική παροχή στους νόμιμους καταναλωτές, ενώ ταυτόχρονα αποφεύγεται αυξημένη πίεση, διαρροές, θραύση σωλήνων και σπατάλη ενέργειας. Η διαχείριση της πίεσης είναι πολύτιμη στρατηγική για την παρεμπόδιση των εκρήξεων νερού και τη βελτίωση της διάρκειας ζωής της υποδομής του συστήματος ύδρευσης, αλλά και για την έγκαιρη ανίχνευση των διαρροών, όταν αυτές συμβαίνουν (Patnaik et al., 2020).

Οι βασικές στρατηγικές για να επιτευχθεί αποτελεσματική διαχείριση της πίεσης σε ένα δίκτυο ύδρευσης είναι α. διαχωρισμός του δικτύου σε περιοχές διαχείρισης πίεσης

(Pressure Management Areas, PMA), β. βαλβίδες ελέγχου πίεσης και γ. περιστροφή αντλίας (Sánchez et al., 2020).

Η διαίρεση του δικτύου ύδρευσης σε σύνολο ανεξάρτητων PMA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση της πίεσης. Οι DMA για την ανίχνευση διαρροών σε ένα δίκτυο ύδρευσης σχηματίζονται με την τοποθέτηση βαλβίδων πύλης κατά μήκος ορισμένων οριακών σωλήνων, που συνδέουν το ένα DMA με το άλλο και με την τοποθέτηση ενός μετρητή ροής στους υπόλοιπους σωλήνες σύνδεσης (Εικ. 4.8) (Giudicianni et al., 2019).



**Εικόνα 4.8.** Διαχωρισμός δικτύου ύδρευσης (Giudicianni et al., 2019).

Η διαρροή σε κάθε DMA υπολογίζεται μετρώντας τη MNF. Έτσι εκτιμάται η ροή, που οφείλεται σε πραγματική κατανάλωση και η ροή, που οφείλεται σε διαρροές και προσδιορίζονται οι τομείς με ένδειξη υψηλής συχνότητας διαρροών, αφού συνυπολογιστούν παράγοντες, όπως τα διαφορετικά επίπεδα πίεσης, η ηλικία των σωλήνων και η πυκνότητα του πληθυσμού των τομέων. Οι τομείς DMA είναι πολύ χρήσιμοι για την παρακολούθηση της αύξησης των ποσοστών διαρροών και τη διατήρηση των απωλειών νερού κάτω από τα αποδεκτά επίπεδα.

Με τον ίδιο τρόπο μια PMA παρακολουθεί την πίεση του συστήματος, η οποία ρυθμίζεται με μία βαλβίδα μείωσης πίεσης (Pressure Relief Valves, PRV), που συνήθως εγκαθίσταται στο σημείο εισόδου ενός PMA δίπλα στον μετρητή ροής (USEPA, 2010). Σε ένα DMA ή PMA, οι πληροφορίες συλλέγονται συνεχώς από καταγραφείς δεδομένων και στη συνέχεια μεταδίδονται συνήθως σε ένα σύστημα SCADA ή σε ελεγκτές, που είναι

εγκατεστημένοι σε PRV, για να ρυθμίσουν την πίεση στιγμιαία σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα ζήτησης και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του δικτύου (GWI, 2011).

Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης περιλαμβάνουν διάφορους τύπους βαλβίδων (ανακούφισης, αναγωγής, αλληλουχίας, αντιστάθμισης και εκφόρτωσης), που χρησιμοποιούνται περισσότερο για τη διατήρηση μειωμένων πιέσεων σε καθορισμένες θέσεις υδραυλικών συστημάτων (Patnaik et al., 2020). Ο έλεγχος της πίεσης στο Πόζναν της Πολωνίας με PRV μείωσε την απώλεια νερού κατά 21%.

Τέλος, με την *περιστροφή των αντλιών* και τη μεταβολή της ροής του νερού, που αντλείται, διατηρείται μια προκαθορισμένη τιμή πίεσης στο δίκτυο. Η λειτουργία αυτή γίνεται αυτόματα από τον έλεγχο της συχνότητας του εναλλασσόμενου ρεύματος και της τάσης, που παρέχεται από τους κινητήρες των αντλιών κι επομένως από την ταχύτητα, με την οποία περιστρέφονται οι κινητήρες (Patnaik et al., 2020).

Οι επιχειρήσεις ύδρευσης παγκοσμίως χρησιμοποιούν τη διαχείριση της πίεσης για τον έλεγχο των απωλειών νερού, για τη συντήρηση των περιουσιακών τους στοιχείων, αλλά και ως εργαλείο εξοικονόμησης νερού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, η εταιρεία ύδρευσης (Sabesp) του Σάο Πάολο στη Βραζιλία έκανε την εγκατάσταση βαλβίδων ελέγχου πίεσης ένα βασικό σημείο της στρατηγικής της για την αντιμετώπιση της ξηρασίας το διάστημα 2013-2015 επιτυγχάνοντας μείωση απωλειών νερού σε ποσοστό από 35,8 σε 30,6%.

## **4.2. Έξυπνη Διαχείριση Ποιότητας Υδάτων**

### **4.2.1. Ανάγκη παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων**

Η SWM είναι απαραίτητη για έναν έξυπνο πλανήτη (Singh & Ahmed, 2020) και για την επίτευξή της απαιτείται, όχι μόνο η παρακολούθηση της ποσότητας, αλλά και η παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων σε πραγματικό χρόνο.

Ωστόσο η διασφάλιση της ποιότητας των υδάτων αποτελεί μεγάλη πρόκληση λόγω των πολλών πηγών ρύπων, που είναι κυρίως ανθρωπογενείς (Anand & Choudhary, 2020). Η εκθετική αύξηση του πληθυσμού και ο γρήγορος ρυθμός εκβιομηχάνισης, η μεγαλύτερη έμφαση στη γεωργική ανάπτυξη, τα γεωργικά λιπάσματα και η μη επιβολή των νόμων, οδήγησαν σε μεγάλο βαθμό στη ρύπανση των υδάτων, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της κοινωνίας μας, το οποίο μάλιστα επιδεινώνεται λόγω της κλιματικής

αλλαγής (CGWB, 2017), που προκαλεί συχνότερα και σοβαρότερα ακραία καιρικά φαινόμενα. Τέτοια φαινόμενα περιλαμβάνουν έντονες βροχοπτώσεις και πλημμύρες, κυκλώνες, ξηρασίες, καύσωνες, ακραίο κρύο και πυρκαγιές, καθένα από τα οποία μπορεί να επηρεάσει εκτός από την ποσότητα, και την ποιότητα του πόσιμου νερού στις λεκάνες απορροής, τους ταμιευτήρες αποθήκευσης, την απόδοση των διαδικασιών επεξεργασίας νερού και την ακεραιότητα των συστημάτων διανομής (Khan et al., 2015).

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν μια σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών επιπτώσεων, που επηρεάζουν το σχεδιασμό, τη λειτουργία και το κόστος των διαδικασιών επεξεργασίας του πόσιμου νερού (Emelko et al., 2011). Οι επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων ορισμένων τύπων καιρικών φαινομένων μπορεί να πραγματοποιηθούν μήνες μετά την εκδήλωση ενός συμβάντος (π.χ. συσσώρευση ρύπων στη λεκάνη απορροής κατά τη διάρκεια μιας ξηρασίας) και μπορεί επίσης να παραμείνουν για μήνες ή και χρόνια μετά την αρχική τους έναρξη. Οι διαχειριστές των συστημάτων ύδρευσης θα πρέπει να είναι σε ετοιμότητα συνεχώς και να διασφαλίζουν ότι έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στις προκλήσεις για την ποιότητα του νερού (Khan et al., 2015).

Οι πηγές ρύπανσης των υδάτων μπορεί να είναι σημειακές και μη σημειακές (π.χ. λύματα, αστικές απορροές, απορρίψεις από βιομηχανίες και καλλιέργειες). Άλλες πτυχές, όπως η υγιεινή του περιβάλλοντος, η αποθήκευση και η διάθεση αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη διατήρηση της ποιότητας των υδατικών πόρων. Η εκπαίδευση και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και η ενεργός συμμετοχή τους στη διατήρηση της ποιότητας των υδάτων έχει επίσης βαρύνουσα σημασία (Geetha & Gouthami, 2016).

Οι κυριότερες συνέπειες της ρύπανσης των υδάτων είναι (Lakshmikantha et al., 2021):

- Καταστροφή της βιοποικιλότητας: Μείωση των οικοσυστημάτων και αύξηση του φυτοπλαγκτόν στους υδατικούς πόρους.
- Μόλυνση τροφικής αλυσίδας: Η αλιεία, που πραγματοποιείται σε μολυσμένους υδατικούς πόρους και η χρήση ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων για τη γεωργία και την κτηνοτροφία, μπορεί να οδηγήσει σε προσθήκη τοξινών ή μολυσματικών παραγόντων στις τροφές, προκαλώντας βλάβη στην υγεία μετά την κατανάλωσή τους.



➤ Έλλειψη πόσιμου νερού: Εάν αυξηθεί η ρύπανση του νερού, τότε δεν θα είναι επαρκές για οποιαδήποτε χρήση.

➤ Νοσηρότητα - Θνησιμότητα: Δισεκατομμύρια άνθρωποι, σύμφωνα με τον ΠΟΥ, δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό, γεγονός, που έχει ως αποτέλεσμα, εκατομμύρια άνθρωποι να πεθαίνουν κάθε χρόνο λόγω ασθενειών, που μεταδίδονται με το νερό.

Η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι, στο μέλλον περισσότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί θα εμφανιστούν και θα εξαπλωθούν μέσω των υδάτων (EPA, 2012), λόγω της αστικοποίησης και της κλιματικής αλλαγής, αλλά και της ικανότητας των παθογόνων να αναπτύσσουν αντοχή σε απολυμαντικά (Jan et al., 2021).

Η διασφάλιση της ποιότητας του νερού και της δημόσιας υγείας αποτελεί σημαντικό ζήτημα, για το οποίο έχουν θεσπιστεί αρκετές βασικές οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, όπως η οδηγία πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το νερό (Bennion & Battarbee, 2007), ο νόμος για το καθαρό νερό στις Ηνωμένες Πολιτείες (Keiser & Shapiro, 2018), οι οδηγίες ποιότητας του πόσιμου νερού του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2019). Για να εφαρμοστούν αυτές οι ρυθμίσεις, απαιτείται ένα ισχυρό καθεστώς παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων, που να επιτρέπει τη συνεχή συλλογή πληροφοριών και την έγκαιρη ανίχνευση των κινδύνων, προκειμένου το σύστημα ύδρευσης ν' αντιδράσει άμεσα λαμβάνοντας τις κατάλληλες αποφάσεις (Wu et al., 2020a).

Η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, που διανέμεται από τις επιχειρήσεις ύδρευσης, πρέπει να είναι συνεχής, προκειμένου να βελτιωθεί η ασφάλεια των υδάτων και να προστατευτεί η ανθρώπινη υγεία. Γενικά, τα δεδομένα, που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του στόχου ενός αποτελεσματικού και ασφαλούς συστήματος ύδρευσης περιλαμβάνουν (Wu et al., 2020a): φυσικά δεδομένα (π.χ. θερμοκρασία, αγωγιμότητα, γεύση, οσμή κ.α.), χημικά δεδομένα (π.χ. pH, βαρέα μέταλλα, νιτρικά κ.α.), βιολογικοί δείκτες (π.χ. *Escherichia coli* (*E.coli*) κ.α.) και περιβαλλοντικά δεδομένα (π.χ. καιρικές συνθήκες, υδρολογία κ.α.).

Στα οφέλη των συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων περιλαμβάνεται η βελτίωση των διαδικασιών επεξεργασίας νερού και η αυξημένη αποδοτικότητα των υπηρεσιών κοινής ωφελείας. Η ταχύτητα και η ευαισθησία στις στρατηγικές ανίχνευσης

έχουν καίριο ρόλο στη διασφάλιση καθαρής κι ασφαλούς παροχής νερού κι επομένως στην αυξημένη προστασία της Δημόσιας Υγείας (Shahra & Wu, 2019b).

#### **4.2.2. Προσεγγίσεις παρακολούθησης ποιότητας υδάτων**

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός συστήματος για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού περιλαμβάνει όχι μόνο επιστημονικές, αλλά και οικονομικές, νομικές και τεχνικές πτυχές και πρέπει να πληροί διαφορετικές απαιτήσεις διαχείρισης, όπως κανονισμούς για παραβιάσεις και επείγουσα παρακολούθηση συμβάντων (Jiang et al., 2020).

Επιστήμονες και επαγγελματίες έχουν καταβάλει πολλές προσπάθειες για τη βελτίωση του σχεδιασμού ενός συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων, καθώς πρέπει να εξισορροπήσουν τις απαιτήσεις διαχείρισης έναντι πολλών περιορισμών, συμπεριλαμβανομένου του προϋπολογισμού, του διοικητικού σκοπού, των σημείων και της συχνότητας δειγματοληψίας, της τεχνολογίας και της αντιπροσωπευτικότητας (Behmel et al., 2016).

Στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες η ποιότητα του νερού παρακολουθείται με παραδοσιακές εργαστηριακές μεθόδους, που περιλαμβάνουν τη συλλογή των δειγμάτων και την ανάλυσή τους στο εργαστήριο (Jan et al., 2021). Αυτή η προσέγγιση παρέχει επαρκείς παραμέτρους ποιότητας του νερού και έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια, αλλά έχει ορισμένους περιορισμούς: α) απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός και εξειδικευμένο προσωπικό για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, β) τα αποτελέσματα μπορούν να χαθούν/να ανταλλαχθούν με εκθέσεις άλλων δειγμάτων, οφειλόμενο σε ανθρώπινο σφάλμα, γ) ο εξοπλισμός μπορεί να είναι παρωχημένος, δ) η ανάπτυξη μιας υπερσύγχρονης εγκατάστασης και η επακόλουθη συντήρησή της είναι δαπανηρή, ε) η πρόβλεψη των μελλοντικών τάσεων και ανάδρασης σε πραγματικό χρόνο δεν είναι δυνατή, στ) οι ιδιότητες του νερού μπορεί να αποκλίνουν λόγω καθυστερήσεων μεταφοράς δειγμάτων και ζ) η περιορισμένη συχνότητα δειγματοληψίας δεν επαρκεί για εκτεταμένη ανάλυση δεδομένων. Το πιο σημαντικό ωστόσο, είναι οι καθυστερήσεις στη δημιουργία αποτελεσμάτων ποιότητας νερού, οι οποίες μπορεί να είναι καταστροφικές, εάν οι άνθρωποι συνεχίσουν να χρησιμοποιούν παθογόνο νερό (Chen & Han, 2018).

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, αναπτύχθηκε μια νέα προσέγγιση στη συνεχή παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας του νερού με αισθητήρες, που μετρούν διάφορες παραμέτρους στο πεδίο. Οι αισθητήρες αυτοί, όμως, δεν είχαν τη δυνατότητα αυτόματης μετάδοσης των δεδομένων στους χρήστες για επεξεργασία και απεικόνιση (Chen & Han, 2018).

Με περαιτέρω πρόοδο σε φορητούς αισθητήρες και ΤΠΕ, οι ερευνητές προσέγγισαν τη χρήση της τεχνολογίας WSN, για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Τα WSN είναι τα πλέον κατάλληλα για απομακρυσμένες εφαρμογές κι έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ευρέως με πλεονεκτήματα, όπως το χαμηλό κόστος εγκατάστασης, γρήγορη ανάπτυξη κλπ. (Dong et al., 2015).

Οι νέες τεχνολογίες επικοινωνίας, που αναπτύχθηκαν πρόσφατα για το IoT, ωθούν σημαντικά την ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του νερού, που βασίζεται σε WSN, σε ακόμη υψηλότερα επίπεδα (Jan et al., 2021). Η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, που βασίζεται στο IoT είναι γνωστή ως «έξυπνη παρακολούθηση της ποιότητας του νερού» (Kumar et al., 2019c; Kawarkhe et al., 2019). Αυτά τα συστήματα παρακολούθησης νερού έχουν χαμηλό κόστος, αυξημένη χωρική ανάλυση, χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, παροχή ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο και επομένως βελτιωμένη ποιότητα νερού (Chen & Han, 2018).

Έχουν επίσης αναπτυχθεί και δοκιμαστεί για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, ρομποτικές συσκευές βασισμένες στον συνδυασμό ρομποτικής και τεχνολογίας WSN (Dunbabin & Marques, 2012), όπως αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (Eichhorn et al., 2013) και βιομημητικά ρομπότ (Liu et al., 2016) με καλύτερη κινητικότητα κάτω από το νερό, καθώς και αυτόνομα οχήματα επιφανείας (Jadaliha & Choi, 2013). Τα ρομπότ, με τη βοήθεια του ενσωματωμένου συστήματος εντοπισμού τοποθεσίας (Global Positioning System, GPS) ή σόναρ από τους σταθερούς αισθητήρες, έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν καλύτερη χωρική κάλυψη των δεδομένων ποιότητας του νερού (Chen & Han, 2018).

#### **4.2.3. Έξυπνη παρακολούθηση ποιότητας υδάτων**

Το SWN έχει στόχο την παροχή νερού υψηλής ποιότητας. Η έξυπνη παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων είναι ένα από τα σημαντικά στοιχεία υποδομής της έξυπνης πόλης.

Η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο έχει αποκτήσει μεγάλη δυναμική (Singh & Ahmed, 2020). Οι επιχειρήσεις ύδρευσης έχουν τη δυνατότητα να καθορίζουν την ποιότητα του νερού σε πραγματικό χρόνο, να εντοπίζουν έγκαιρα τάσεις μη συμμόρφωσης και με την άμεση λήψη μέτρων να βελτιώνουν την ασφάλεια του συστήματος (Εικ. 4.9) (Mutchek, 2013). Επίσης, μπορούν να προβλεφθούν μελλοντικές τάσεις χρησιμοποιώντας τις τεχνικές μηχανικής εκμάθησης.



*Εικόνα 4.9. Έξυπνο σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων (Prasad et al., 2015).*

Το σύστημα παρακολούθησης νερού με βάση το IoT είναι μια οικονομική και αξιόπιστη λύση. Αποτελείται από αισθητήρες, έναν ελεγκτή και μια εφαρμογή για την εμφάνιση των δεδομένων (Singh & Ahmed, 2020).

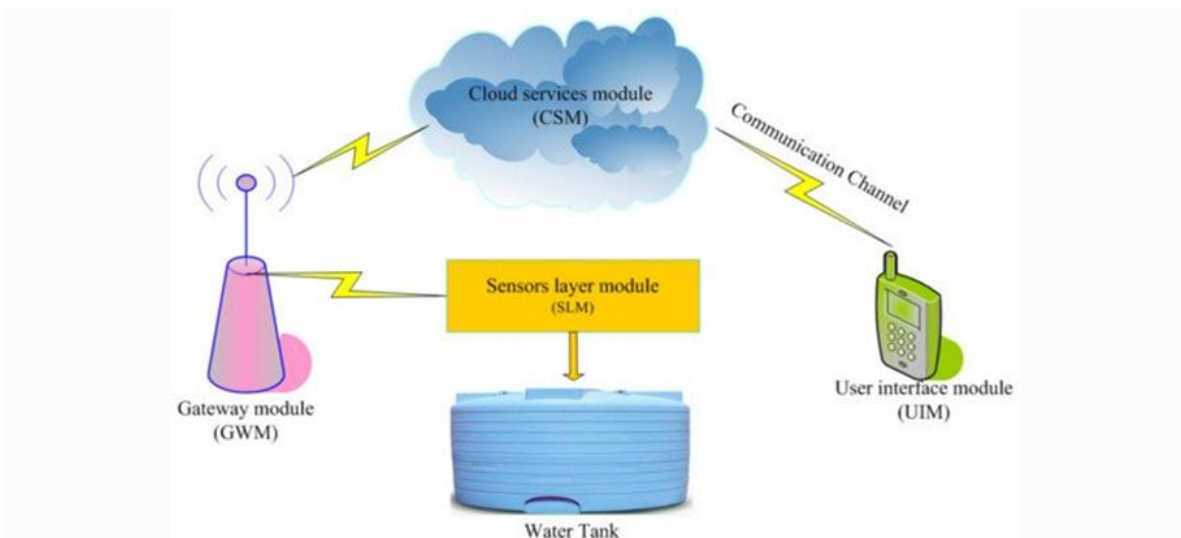
Οι αισθητήρες παίζουν κρίσιμο ρόλο στη μέτρηση και τη συνολική απόδοση του συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του νερού. Τυχόν δυσλειτουργία τους μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή δεδομένα. Η κατάλληλη επιλογή των θέσεων παρακολούθησης α. επηρεάζει την ακρίβεια και την πληρότητα των δεδομένων ποιότητας των υδάτων, β. ελαχιστοποιεί το χρόνο ανίχνευσης ρύπων, επιτυγχάνοντας παράλληλα μέγιστη αξιοπιστία για την απόδοση του συστήματος παρακολούθησης και γ. μειώνει το κόστος ανάπτυξης του συστήματος παρακολούθησης (Telci et al., 2009). Η συχνότητα δειγματοληψίας σ' ένα δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας του νερού εξαρτάται από τον στόχο του και από την αναμενόμενη μεταβλητότητα των δεδομένων ποιότητας του νερού σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας (Canter, 1985).

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού έχουν αναπτύξει διάφορους αισθητήρες για την αποτελεσματική παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, που επιτρέπουν στους χειριστές των εγκαταστάσεων να συλλέγουν και να συγκεντρώνουν

δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για ένα ευρύ φάσμα φυσικών και χημικών δεικτών ποιότητας του νερού (Wu et al., 2020b).

Οι τεχνολογίες αισθητήρων, που χρησιμοποιούνται συνήθως, διακρίνονται σε ασύρματους αισθητήρες και τηλεπισκόπησης. Οι ασύρματοι αισθητήρες, που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση παραμέτρων της ποιότητας του νερού (π.χ. pH, χλώριο, θερμοκρασία, ροή, θολερότητα) ταξινομούνται συνήθως ως χημικοί, βιολογικοί και φυσικοί αισθητήρες (Dong et al., 2015). Η τηλεπισκόπηση είναι ουσιαστικά ένα είδος ασύρματου αισθητήρα απομακρυσμένης απόστασης, που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ακτινοβολία, ανάκλαση και σκέδαση) πολύ μακριά από την επιφάνεια του νερού.

Οι αισθητήρες συλλέγουν την τιμή μέτρησης και τη μεταδίδουν στον ελεγκτή, μέσω της πύλης, που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών και δικτύου. Ο ελεγκτής είναι ένας υπολογιστής μικρού μεγέθους με δυνατότητα εκτέλεσης προγραμμάτων επεξεργασίας και ανάλυσης. Λαμβάνει τιμές από τους αισθητήρες και τις μεταδίδει για αποθήκευση και ανάλυση στο Cloud (Εικ. 4.10). Οι τιμές των αισθητήρων παρακολουθούνται συνεχώς και εάν η τιμή είναι μεγαλύτερη από το όριο, τότε θα κοινοποιηθεί στον ενδιαφερόμενο τελικό χρήστη μέσω SMS, email κ.λπ. (Singh & Ahmed, 2020) για περαιτέρω ενέργειες, ενώ εάν είναι μικρότερη από το όριο, τότε οι παράμετροι ελέγχονται ξανά για διαφορετική πηγή νερού.



**Εικόνα 4.10.** Μοντέλο IoT για έξυπνη παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων (Jan et al., 2021).

Στην εποχή της έξυπνης πόλης ο σχεδιασμός ενός κατάλληλου δικτύου παρακολούθησης των υδάτων αποτελεί το πρώτο βήμα για την παροχή αντιπροσωπευτικής κι αξιόπιστης εκτίμησης της ποιότητάς τους (Jiang et al., 2020).

#### **4.2.4. Έξυπνη παρακολούθηση ποιότητας υδάτων και Σχέδια Ασφάλειας Υδάτων**

Η πρόσφατη ανάπτυξη της έξυπνης παρακολούθησης των υδάτων είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων συσκευών, οι οποίες επιτρέπουν την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο, καταγράφοντας φυσικές ή χημικές παραμέτρους (Saab et al., 2019). Αυτές οι παράμετροι, αν και σχετίζονται με την ποιότητα του νερού, δε δίνουν πληροφορίες για την πηγή μόλυνσης. Αυτή η δυσκολία αντιμετωπίστηκε με το συνδυασμό της προσέγγισης της έξυπνης παρακολούθησης και της εκτίμησης επικινδυνότητας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται έγκαιρη ανίχνευση της μόλυνσης των υδάτων, καθώς και της πηγής της (Saab et al., 2019).

Αν και υπάρχει πληθώρα ρύπων, που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ποιότητα του πόσιμου νερού, δεν απαιτείται σε κάθε πιθανό κίνδυνο ο ίδιος βαθμός προσοχής (NHMRC, 2011). Η εκτίμηση της επικινδυνότητας βοηθά στον καθορισμό προτεραιοτήτων στις διορθωτικές ενέργειες. Ένα γεγονός υψηλού κινδύνου απαιτεί άμεση αντιμετώπιση, ενώ ένα αντίστοιχο χαμηλού κινδύνου χρειάζεται χαμηλότερη προτεραιότητα προσοχής.

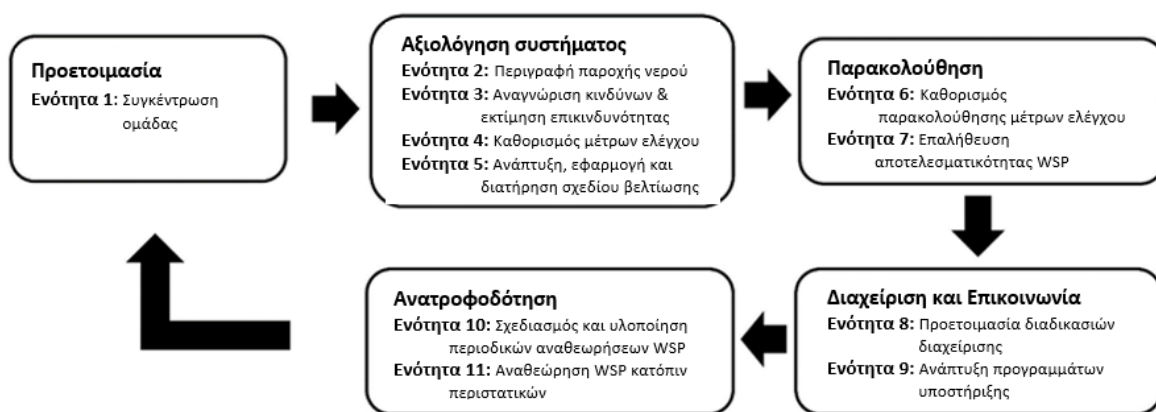
Στην αξιολόγηση επικινδυνότητας της ποιότητας του νερού χρησιμοποιούνται τρεις τύποι προσεγγίσεων. Αυτές είναι: α) Επιδημιολογική προσέγγιση, η οποία χρειάζεται ένα μεγάλο μέγεθος δειγμάτων για να αποκαλυφθούν πολύ μικρές αυξήσεις κινδύνου, β) Προσέγγιση ποσοτικής αξιολόγησης (μικροβιακής ή χημικής), η οποία είναι γενικά χρονοβόρα και θα μπορούσε να οδηγήσει σε ψευδή προειδοποίηση και γ) Προσέγγιση ποιοτικής αξιολόγησης, η οποία συνίσταται στην ταξινόμηση κινδύνων ανά κατηγορίες (Saab et al., 2019).

Η προσέγγιση ποιοτικής αξιολόγησης είναι η πλέον κατάλληλη για γρήγορη ανίχνευση τυχαίων μολύνσεων. Παρέχει μια ποιοτική ένδειξη ανωμαλιών στην ποιότητα του νερού (Saab et al., 2019). Αυτή η προσέγγιση είναι σχετικά απλή και χρησιμοποιείται ευρέως από τον ΠΟΥ στην εκτέλεση των Σχεδίων Ασφάλειας των Υδάτων (Water Safety Plans, WSPs) (Niedbalski & Cos, 2015).

Τα WSPs είναι ένα βελτιωμένο εργαλείο διαχείρισης κινδύνου, που έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίζει την ποιότητα του πόσιμου νερού, μέσω της χρήσης μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης εκτίμησης και διαχείρισης κινδύνων σε όλα τα στάδια παροχής νερού. Αποτελούν στην ουσία ένα σχέδιο εσωτερικής διαχείρισης του κινδύνου, που βοηθά τον φορέα να εντοπίσει έγκαιρα και με ακρίβεια οποιαδήποτε απόκλιση του συστήματος από τους στόχους, που έχει θέσει. Η επιτυχής εφαρμογή των WSPs οδηγεί σε αποτελεσματικές προληπτικές στρατηγικές εκτίμησης κινδύνου, ταχύτερη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε περίπτωση συμβάντων, αύξηση της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς ποιότητας των υδάτων και βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού και της δημόσιας υγείας (Roeger & Tavares, 2018). Τα WSPs, υποστηρίζονται από τον ΠΟΥ από το 2004 και εφαρμόζονται σε τουλάχιστον 93 χώρες σε όλο τον κόσμο (WHO/IWA, 2017).

#### 4.2.5. Η Έξυπνη παρακολούθηση στην εφαρμογή των WSPs

Το πλαίσιο των WSPs, που παρουσιάζεται στα εγχειρίδια του ΠΟΥ, αποτελείται από πέντε κύρια στάδια: α) προετοιμασία, β) αξιολόγηση του συστήματος, γ) παρακολούθηση της απόδοσης, δ) διαχείριση - επικοινωνία και ε) ανατροφοδότηση, τα οποία περιλαμβάνουν έντεκα ενότητες (Εικ. 4.11) (Bartram et al., 2009).



**Εικόνα 4.11.** Στάδια και επιμέρους ενότητες WSPs (Bartram et al., 2009).

Η βελτιωμένη γνώση της ποιότητας του νερού και της παρουσίας παθογόνων παραγόντων στο νερό με βάση την χρήση της έξυπνης παρακολούθησης έχει αντίκτυπο στη διαχείριση της ασφάλειας των υδάτων, όπως στην εφαρμογή του WSP, με πολλούς τρόπους σε κάθε στάδιο, όπως αυτοί αναφέρονται σε μελέτη των Gunnarsdottir et al. (2019) ως εξής:

1. **Προετοιμασία:** Η φάση προετοιμασίας περιλαμβάνει τη συγκέντρωση μιας ομάδας υπεύθυνης για το WSP. Η εφαρμογή της έξυπνης παρακολούθησης απαιτεί από την ομάδα

γνώσεις για το ρόλο και τη σημασία της παρουσίας και του αντίκτυπου των παθογόνων παραγόντων, καθώς και τη θεραπεία για τη μείωσή τους. Η ομάδα θα πρέπει ακόμα να γνωρίζει τις ευκαιρίες, αλλά και τις προκλήσεις των τεχνολογιών παρακολούθησης, καθώς και των δυνατοτήτων των ΤΠΕ, που μπορούν να αυξήσουν την ενημέρωση των καταναλωτών.

2. *Αξιολόγηση συστήματος*: Η αξιολόγηση του συστήματος επιτυγχάνεται με την περιγραφή του από την πηγή έως τους καταναλωτές, εντοπίζοντας σημεία, όπου μπορεί να προκύψουν προβλήματα ποιότητας του νερού εκτιμώντας την επικινδυνότητα. Η έξυπνη παρακολούθηση θα αυξήσει τη γνώση των σχετικών παθογόνων παραγόντων και συνεπώς θα βοηθήσει στον εντοπισμό προβλημάτων ποιότητας του νερού στο σύστημα και στην επαλήθευση της τρέχουσας εκτίμησης επικινδυνότητας. Υποδεικνύει επίσης, τα απαραίτητα μέτρα ελέγχου (π.χ. τακτικός καθαρισμός των δεξαμενών) και βελτιώνει τα σχέδια αναβάθμισης της υποδομής για τον μετριασμό του κινδύνου (Gunnarsdottir et al., 2019). Η έξυπνη παρακολούθηση συντελεί στη διαχείριση των θεραπευτικών διαδικασιών δίνοντας προτεραιότητα σε όλα τα απαραίτητα σχέδια βελτίωσης (Gunnarsdottir et al., 2019).

3. *Παρακολούθηση*: Η εφαρμογή της έξυπνης παρακολούθησης και ταχείας ανίχνευσης δυσλειτουργιών, έχει ένα σημαντικό δυναμικό έγκαιρης προειδοποίησης και λήψης αποφάσεων για τις ενέργειες, που απαιτούνται για την πρόληψη της ρύπανσης/μόλυνσης (π.χ. σε περίπτωση εισβολής επιφανειακών υδάτων στα υπόγεια και αύξησης των επιπέδων βακτηρίων E.coli, ενημερώνει για ενέργειες, όπως το κλείσιμο φρεατίων ή γεωτρήσεων, προκειμένου να προληφθεί η μόλυνση του πόσιμου νερού). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επικύρωση του WSP, αν δηλαδή τα μέτρα ελέγχου του, είναι αποτελεσματικά σε όλα τα στάδια της παροχής νερού.

4. *Διαχείριση και επικοινωνία*: Η διαχείριση, συμπεριλαμβάνει προγράμματα υποστήριξης και κατάρτισης και η επικοινωνία αφορά τους χρήστες και τα ενδιαφερόμενα μέρη. Οι κατευθυντήριες γραμμές και τα προγράμματα εκπαίδευσης του προσωπικού για χρήση εργαλείων και για την επεξεργασία νερού θα πρέπει να αποτελούν ουσιαστικό μέρος του WSP. Η εφαρμογή της έξυπνης παρακολούθησης αναμένεται να βελτιώσει τη διαχείριση και τις διαδικασίες της θεραπείας. Επιπλέον η πρόοδος στις ΤΠΕ, δίνει πολλές δυνατότητες για παροχή πιο έγκαιρης ενημέρωσης των καταναλωτών σχετικά με το πόσιμο νερό.



5. *Ανατροφοδότηση*: Η βελτιωμένη παρακολούθηση παθογόνων παραγόντων και δεικτών θα οδηγήσει σε καλύτερη γνώση περιστατικών, που θα βοηθήσουν στην ανατροφοδότηση και θα υποστηρίξουν την αναθεώρηση της εκτίμησης επικινδυνότητας.

Η χρήση των ΤΠΕ στα πλαίσια της έξυπνης παρακολούθησης και της εφαρμογής των WSPs, θα μπορούσε να βελτιώσει την ποιότητα του νερού και την απόδοση των υπηρεσιών (Gunnarsdottir et al., 2019). Είναι επίσης σημαντικές για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις επιπτώσεις από τους φυσικούς κινδύνους στην ποιότητα του νερού. Τέλος, η άμεση ενημέρωση του καταναλωτή οδηγεί σε αυξημένη εμπιστοσύνη στην ασφάλεια του νερού (Gunnarsdottir et al., 2019).

Η έξυπνη παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων βοηθάει στη διεξαγωγή μιας ταχείας και αξιόπιστης στρατηγικής για την προάσπιση της Δημόσιας Υγείας. Η διαχείριση της ποιότητας στο σύστημα παροχής νερού είναι ένα βασικό βήμα στη σύγχρονη ανάπτυξη της έξυπνης πόλης (Wu et al., 2018).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΞΥΠΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

### 5.1. Έξυπνη Διαχείριση Ομβρίων Υδάτων

#### 5.1.1. Ανάγκη διαχείρισης όμβριων υδάτων

Τα όμβρια ύδατα αποτελούν πολύτιμο πόρο για τη διατήρηση της βιώσιμης ανάπτυξης και ο ποσοτικός και ποιοτικός έλεγχός τους είναι βασικά συστατικά στη διαχείρισή τους. Το επεξεργασμένο νερό της βροχής εφαρμόζεται για άρδευση, πλύσιμο οδοστρωμάτων (Habib Abdullah et al., 2015) και άλλους σκοπούς, βελτιώνοντας τη χρήση του πόσιμου νερού και μειώνοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ωστόσο, η ακατάλληλη διαχείριση των ομβρίων μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα, όπως κακή υγιεινή, αισθητικά ζητήματα και περισσότερους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (Ali et al., 2020).

Η ταχεία οικιστική ανάπτυξη λόγω της αστικοποίησης, που συνέβη τις τελευταίες δεκαετίες, έχει μειώσει φυσικά τοπία, που απορροφούν περίσσεια νερού και έχει αυξήσει σημαντικά τις αδιαπέραστες επιφάνειες (π.χ. δρόμοι, πεζοδρόμια, στέγες), που εκτρέπουν αντί να απορροφούν τη βροχή και το χιόνι. Η ποσότητα απορροής, αυξάνει την εμφάνιση και την ένταση των πλημμυρών κατάντη, μειώνοντας τα αποθέματα υπόγειων υδάτων και το ρυθμό επαναφόρτισής τους. Για παράδειγμα, μελέτη στο Σουίντον του Ηνωμένου Βασιλείου έδειξε, ότι αύξηση της αδιαπέραστης επιφάνειας από 11% σε 44% αύξησε την απορροή κατάντη πάνω από 400% (Shishegar et al., 2021).

Παράλληλα οι αδιαπέραστες επιφάνειες μειώνουν τη φυσική ικανότητα του εδάφους να φιλτράρει ρύπους και υποβαθμίζουν σημαντικά το φυσικό κύκλο διήθησης (Aspacher & Alam, 2020). Ρύποι, όπως, σωματίδια από την ατμόσφαιρα, οξείδια του αζώτου από σωλήνες εξάτμισης αυτοκινήτων, φωσφορικά άλατα από οικιακά και γεωργικά λιπάσματα, μέταλλα και πολλά άλλα μεταφέρονται στις κοντινές υδάτινες οδούς. Αυτή η ρύπανση θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα του νερού, συμπεριλαμβανομένης της αλείας, των χώρων αναψυχής και των πηγών πόσιμου νερού, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη αιτία, ιδιαίτερα στις αγροτικές περιοχές, όπου κυριαρχεί η γεωργία (Booth, 1991).

Η απορροή των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, όπως ο φώσφορος και το άζωτο, στοιχεία, που αλλάζουν τις λεπτές φυσικές ισορροπίες, που

διατηρούν τα υδάτινα οικοσυστήματα (EPA, 2017). Το άζωτο και ο φώσφορος υποστηρίζουν την ανάπτυξη φυκιών και υδρόβιων φυτών, τα οποία στη συνέχεια καταναλώνονται και χρησιμοποιούνται ως ενδαιτήματα από τα ψάρια και άλλες υδρόβιες ζώες (Aspacher & Alam, 2020). Όταν υπάρχει υπερβολικό άζωτο και φώσφορος, το υδάτινο περιβάλλον κατακλύζεται από την ανάπτυξη φυκιών, που παρεμβαίνει στα επίπεδα οξυγόνου στο νερό, το οποίο υποστηρίζει όλη την υδρόβια ζωή. Η άνθιση των φυκιών σε περιπτώσεις σημαντικής ανάπτυξης φυκιών έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή τοξινών, που μπορούν να καταστήσουν το πόσιμο νερό μη ασφαλές για ανθρώπινη χρήση και κατανάλωση (EPA, 2017).

Από την άλλη πλευρά, η κλιματική αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα συχνότερα, ασταθή και έντονα καιρικά φαινόμενα. Οι αστικές πλημμύρες και οι υπερχειλίσεις αποχετεύσεων αυξάνουν την ευπάθεια των συστημάτων (Piro et al., 2019), απειλώντας περιουσίες και υποδομές, με αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη ζωή, τις οικονομικές δραστηριότητες και το περιβάλλον (UN, 2018). Αυτό το φαινόμενο επιδεινώνεται γενικά από την ανεπάρκεια σχεδιασμού δικτύων αποχέτευσης και την ελλιπή συντήρησή τους.

### **5.1.2. Προσεγγίσεις διαχείρισης ομβρίων υδάτων**

Η αστικοποίηση και η κλιματική αλλαγή έχουν αλλοιώσει σημαντικά τον φυσικό υδρολογικό κύκλο (Shishegar et al., 2019). Η βιώσιμη διαχείριση των ομβρίων επιδιώκει την αποκατάσταση του φυσικού υδρολογικού κύκλου, των υπόγειων υδάτων και των υδάτινων συστημάτων σε αστικές και αγροτικές περιοχές (Shishegar et al., 2019). Για το σκοπό αυτό, είναι αναγκαία μια κατάλληλη και οικονομικά αποδοτική υποδομή διαχείρισης ομβρίων υδάτων, που θα μετριάξει τις επιπτώσεις της αστικοποίησης και θα προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, που προκαλούνται, μεταξύ άλλων, από την κλιματική αλλαγή (Shishegar et al., 2019).

Για χρόνια, ερευνητές και επαγγελματίες προωθούν τη χρήση μέτρων ελέγχου για να μειώσουν τον κίνδυνο της πλημμύρας και να αποκαταστήσουν φυσικά καθεστώτα ροής (Rhea et al., 2015). Το πλαίσιο διαχείρισης των ομβρίων υδάτων περιλαμβάνει συμβατικές μεθόδους διαχείρισης, που βασίζονται σε παρατηρήσεις βροχοπτώσεων και χρήσης γης, γνωστή ως «παραδοσιακή ή γκρίζα υποδομή», η οποία ίσως είναι η πιο συνηθισμένη λύση για την αντιμετώπιση της αυξημένης απορροής. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση τα νερά

των ομβρίων μεταφέρονται μακριά από τις πόλεις για να αποφευχθούν οι πλημμύρες. Ωστόσο η κλιματική προσαρμογή μέσω παραδοσιακών εργαλείων μπορεί να οδηγήσει σε υπερσχεδιασμένη γκρίζα υποδομή, η οποία μεταφέρει το νερό πολύ γρήγορα στα ρέματα, οδηγώντας σε πλημμύρες, αυξανόμενους όγκους απορροής και διάβρωση των ρεμάτων.

Για να διατηρηθεί η σταθερότητα του ρέματος και η οικολογική λειτουργία, η πρόοδος στην επιστήμη των ομβρίων αναζήτησε πιο ανθεκτικές και προσαρμόσιμες λύσεις ομβρίων, στην «πράσινη υποδομή», η οποία αυξάνει τις αδιαπέραστες αστικές περιοχές με διαπερατές λύσεις (Askarizadeh et al., 2015). Αυτές περιλαμβάνουν συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων, λεκάνες κράτησης, πράσινα σοκάκια, πορώδη πεζοδρόμια, κήποι βροχής, βιοκαλλιέργειες, βαρέλια βροχής, δενδροφύτευση, πράσινες στέγες, τάφροι διήθησης κ.α. (Xu et al., 2020a).

Αυτές οι υποδομές προσφέρουν μια εναλλακτική λύση αντιμετωπίζοντας τα όμβρια ύδατα ως πόρους κι όχι ως υποπροϊόντα αποβλήτων. Σε γενικές γραμμές, η πράσινη υποδομή είναι μια πτυχή των βασικών στόχων των κοινοτήτων για την επίτευξη περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας (EPA, 2009). Η πράσινη υποδομή χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με την υπάρχουσα γκρίζα υποδομή για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης των ομβρίων υδάτων (Aspacher & Alam, 2020).

Οι πρακτικές της πράσινης υποδομής έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς, ωστόσο η έλλειψη γνώσης σχετικά με την μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα πολλών υποδομών και η σχετική επιβάρυνση συντήρησης περιορίζουν την ευρύτερη υιοθέτηση τέτοιων πρακτικών (Meng & Hsu, 2019).

Ο συνδυασμένος αντίκτυπος της αστικοποίησης και της κλιματικής αλλαγής καθιστά μερικές φορές τα συμβατικά συστήματα αναποτελεσματικά και μη προσαρμόσιμα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες (Shishegar et al., 2019). Δεδομένων πρόσθετων μελλοντικών πιέσεων, υπάρχει πραγματική ανάγκη για την ενίσχυση τόσο της απόδοσης όσο και της προσαρμοστικότητας των μεθόδων διαχείρισης των ομβρίων υδάτων (Shishegar et al., 2019).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία του SWN και των υποδομών διαχείρισης ομβρίων υδάτων μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Η αειφόρος αστική ανάπτυξη βασίζεται στο σχεδιασμό προηγμένων

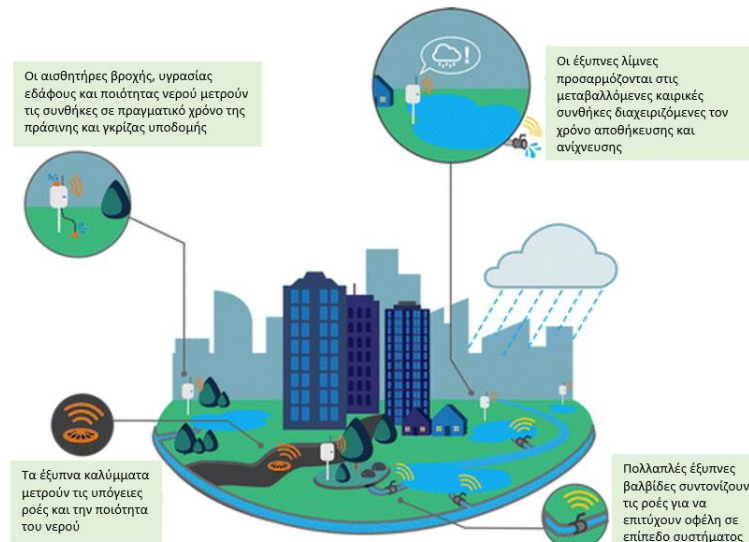
συστημάτων διαχείρισης ομβρίων υδάτων, που είναι προσαρμόσιμα στις επερχόμενες καταστάσεις (Shishegar et al., 2019).

Χρησιμοποιώντας έξυπνα συστήματα και προηγμένες τεχνικές IoT, οι πόλεις είναι πλέον σε θέση να μετατρέψουν παραδοσιακές υποδομές ομβρίων σε δυναμικές, προκειμένου να επιτρέψουν μια προσαρμοστική απόδοση για τον έλεγχο της απορροής αστικών ομβρίων (Shishegar et al., 2021). Έτσι δημιουργήθηκε η έννοια των έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ομβρίων, που συγκεντρώνουν παρατηρήσεις και προβλέπουν δεδομένα για παρακολούθηση και έλεγχο των αστικών ομβρίων σε πραγματικό χρόνο.

### **5.1.3. Έξυπνη διαχείριση ομβρίων υδάτων**

Το έξυπνο πλαίσιο διαχείρισης των ομβρίων και ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο (Real Time Control, RTC), μπορεί να τροποποιήσει την παθητική λειτουργία των συμβατικών μεθόδων παρακολούθησης των ομβρίων, ελέγχοντας ενεργά τις διαδικασίες του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου εισροής, εκροής και κράτησης (Xu et al., 2020b). Συνδυάζοντας τη ροή του νερού με τη ροή πληροφοριών, η σύγχρονη υποδομή ομβρίων υδάτων θα προσαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο στις μεταβαλλόμενες καιρικές και χρήσεις γης, ενώ ταυτόχρονα θα προσφέρει μια εξαιρετικά οικονομικά αποδοτική λύση για τις πόλεις, που διαφορετικά αναγκάζονται να ξοδέψουν δισεκατομμύρια για την ανακατασκευή της υποδομής ομβρίων υδάτων (Kerkez et al., 2016). Για ένα νέο σύστημα, ο RTC θα μπορούσε δυνητικά να επιτρέψει την κατασκευή του σε μικρότερο μέγεθος, ενώ παράγει το ίδιο επίπεδο εξυπηρέτησης. Για υπάρχοντα συστήματα, ο RTC θα μπορούσε να βελτιώσει την τρέχουσα απόδοση, χωρίς να απαιτείται αναβάθμιση της χωρητικότητας του συστήματος.

Ένα σύστημα RTC ρυθμίζει δυναμικά το σύστημα αποστράγγισης, βασιζόμενο σε διαδικτυακές μετρήσεις για την επίτευξη συγκεκριμένων επιχειρησιακών στόχων και τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Το σύστημα RTC, εξοπλισμένο με συσκευές, όπως αισθητήρες, ελεγκτές, ενεργοποιητές, εκτελεί διάφορες λειτουργίες. Παρακολουθεί την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου και τη συγκρίνει με την επιθυμητή, καθορίζει τις δομές ελέγχου για την επίτευξη της επιθυμητής κατάστασης και προσδιορίζει τις ενέργειες στους τελικούς ενεργοποιητές ελέγχου. Έτσι, όλος ο εξοπλισμός επιτρέπει τη δυναμική διαχείριση του συστήματος, σύμφωνα με τις τρέχουσες συνθήκες (Εικ. 5.1) (Maiolo et al., 2020).



**Εικόνα 5.1.** Μέτρηση και έλεγχος ομβρίων σε επίπεδο συστήματος (Kerkez et al., 2016).

Διάφοροι αισθητήρες, που έχουν αναπτυχθεί στο πεδίο (Εικ. 5.2), συλλέγουν τα δεδομένα παρατήρησης της ποσότητας και της ποιότητας του νερού στο δίκτυο για να τα αποθηκεύσουν στη βάση δεδομένων Cloud (Shishegar et al., 2021). Επιπλέον, τα δεδομένα μετεωρολογικής πρόβλεψης, ιστορικών βροχοπτώσεων και πραγματικών καιρικών συνθηκών μεταφέρονται στο σύννεφο, όπου διατηρούνται όλα τα δεδομένα, δημιουργούνται αντίγραφα ασφαλείας και αναλύονται εξ' αποστάσεως (Shishegar et al., 2021). Το κέντρο ελέγχου, όπου δημιουργούνται οι τιμές - στόχοι για τη λήψη αποφάσεων, λειτουργεί ως ο πυρήνας του συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο και τυχόν προβλεπόμενες εισροές, επιλέγεται μια απόφαση ελέγχου (Sadler et al., 2020), η οποία εφαρμόζεται από τους ενεργοποιητές (π.χ. αντλίες, πύλες, βαλβίδες), που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συστήματος, μέχρι την επόμενη απόφαση ελέγχου (Sadler et al., 2020).



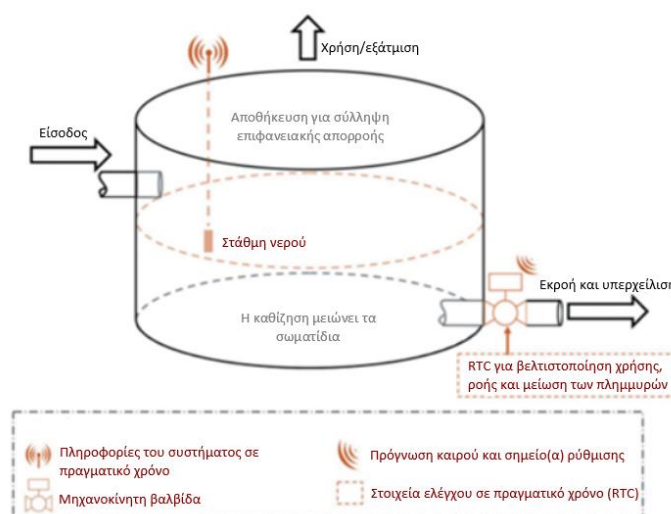
**Εικόνα 5.2.** Έξυπνη διαχείριση ομβρίων σε επίπεδο συστήματος (Shishegar et al., 2021)

Η ενσωμάτωση συσκευών IoT σε ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει την επικοινωνία (Shishegar et al., 2021) και δίνει το πλεονέκτημα της αυτοματοποίησης, της οικονομικής αποδοτικότητας και της ευελιξίας του συστήματος, βοηθώντας το να επιτύχει τους επιχειρησιακούς του στόχους (Bach et al., 2014). Για την επίτευξη βιώσιμης διαχείρισης των αστικών υποδομών ομβρίων χρησιμοποιούνται στρατηγικές ελέγχου, που ενσωματώνουν τη δυναμική ροής του συστήματος και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις (Shishegar et al., 2021).

#### 5.1.4. Στρατηγικές ελέγχου σε πραγματικό χρόνο

Τα έξυπνα συστήματα ομβρίων, ως ένα από τα βασικά στοιχεία των έξυπνων πόλεων, τροποποιούνται συνεχώς, ώστε να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες εισροές (Kerkez et al., 2016) και η χρησιμότητά τους μπορεί να πραγματοποιηθεί εξοπλίζοντας τις υποδομές διαχείρισης ομβρίων υδάτων με στρατηγικές RTC (Kerkez et al., 2016). Οι στρατηγικές αυτές αφορούν:

- *Έλεγχος πλημμυρών*: Με την έγκαιρη χρήση του RTC στις λεκάνες κράτησης μειώνεται η συχνότητα και ο όγκος της απορροής, που απορρίπτεται στο κατάντη αποχετευτικό δίκτυο κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Οι υδραυλικές βαλβίδες είναι συνήθως προγραμματισμένες για να κλείνουν κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων και ανοίγουν μόνο, όταν η αποθήκευση υπερβεί ένα ορισμένο επίπεδο (π.χ. 70%), ή τα όμβρια έχουν διατηρηθεί για μια προκαθορισμένη περίοδο (π.χ. 12 ώρες) (Εικ. 5.3) (Middleton & Barrett, 2008).



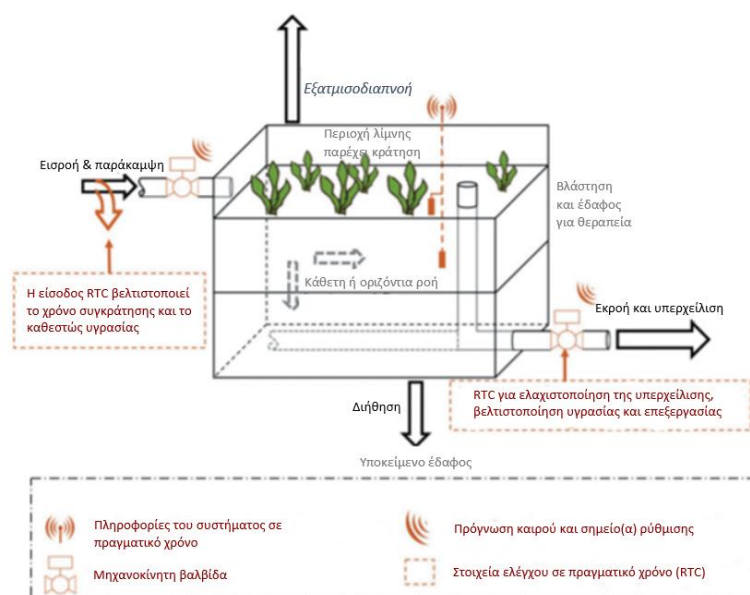
Εικόνα 5.3. Έλεγχος σε πραγματικό χρόνο σε λεκάνες κράτησης (Xu et al., 2020a)

- *Δυναμικό διάβρωσης*: Ένας κατάλληλος σχεδιασμός, που περιορίζει τις εισροές μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά το δυναμικό διάβρωσης (Elliott et al., 2010). Ο RTC σε μια

υπάρχουσα λεκάνη κράτησης θα μπορούσε να συμβάλει σε αυτό το αποτέλεσμα, χωρίς να θυσιάζεται η απόδοση στον έλεγχο των πλημμύρων, μειώνοντας σημαντικά το δυναμικό διάβρωσης σε ποσοστό 50%-60%.

- Έλεγχος ανεξέλεγκτης υπερχειλίσης: Τα συστήματα συλλογής βρόχινου νερού συλλαμβάνουν την απορροή των ομβρίων από αδιαπέραστες επιφάνειες με σκοπό τον μετριασμό της. Τα συμβατικά συστήματα έχουν συχνά ανεξέλεγκτη υπερχειλίση, επειδή στερούνται σταθερών και υψηλών απαιτήσεων χρήσεων για τα αποθηκευμένα όμβρια (Burns et al., 2015). Αύξηση των τελικών χρήσεων μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του προβλήματος, αλλά δεν είναι πάντα εφικτό, λόγω των αντιλήψεων του κοινού για την ποιότητα του νερού της βροχής (Gwenzi et al., 2015).

Η ανεξέλεγκτη υπερχειλίση θα μπορούσε να μειωθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογίες για τον RTC. Η τεχνολογία επιτρέπει στο σύστημα τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας (π.χ. επίπεδο νερού) και την πρόγνωση καιρού (π.χ. πρόβλεψη βροχόπτωσης για υπολογισμό χρόνου και όγκου απορροής), ώστε να ληφθεί η κατάλληλη απόφαση. Μια κοινή εφαρμογή στρατηγικής ελέγχου, για παράδειγμα, αποτελεί το άνοιγμα της βαλβίδας, πριν την καταιγίδα, μέχρι να δημιουργηθεί αρκετός χώρος για την εισερχόμενη απορροή (Εικ. 5.4). Μελέτες δείχνουν, ότι η τεχνολογία αυτή μειώνει τις ανεξέλεγκτες υπερχειλίσεις κατά 10–35% (Oberascher et al., 2019) και την ετήσια απορροή κατά 47%.



Εικόνα 5.4. Έλεγχος σε πραγματικό χρόνο σε αδιαπέραστη επιφάνεια (Xu et al., 2020a)



- *Ποιότητα του νερού*: Η στρατηγική προσωρινή συγκράτηση των ομβρίων μπορεί να απομακρύνει μερικώς τους ρύπους βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού, μέσω καθίζησης και βιολογικής αποδόμησης (Carpenter et al., 2014). Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από το χρόνο κράτησης και το ρυθμό εκροής (Muschalla et al., 2014) και βελτιώνεται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία. Με τον RTC απομακρύνονται βιολογικοί και χημικοί ρύποι (Kertez et al., 2016). Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας RTC, η αποτελεσματικότητα αφαίρεσης αμμωνίας-αζώτου και τα συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) αυξήθηκε κατά 80% και 50% αντίστοιχα (Carpenter et al., 2014). Τέτοια οφέλη αποδείχθηκαν επίσης για την απομάκρυνση βιολογικών ρύπων, όπως το E.coli (Gilpin & Barrett, 2014).

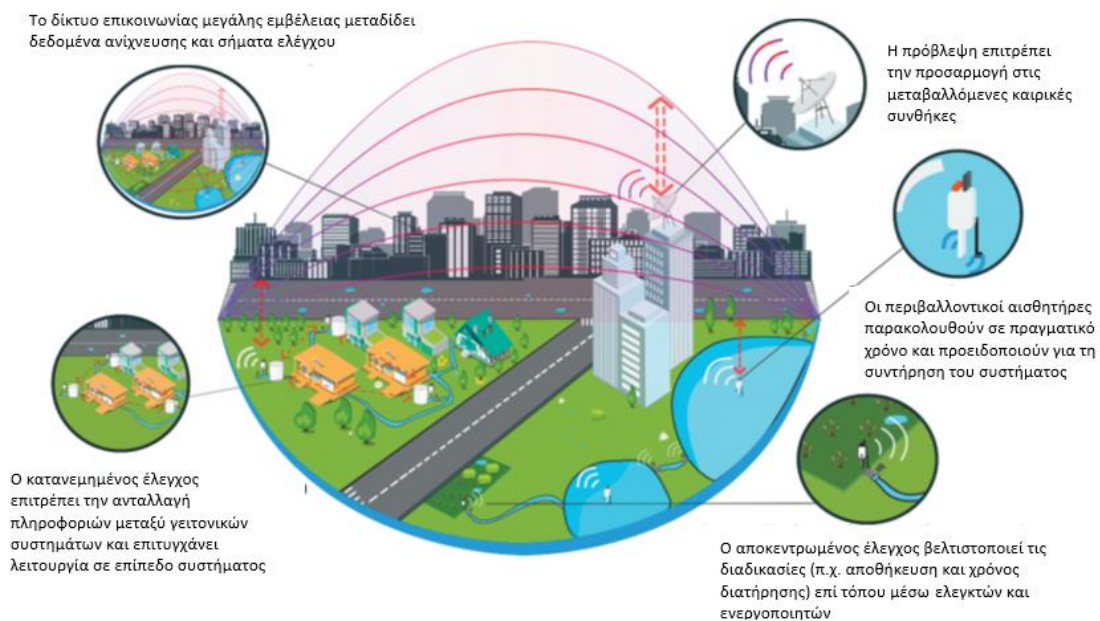
Σε περιοχές, όπου η άμεση χρήση ομβρίων υδάτων γίνεται μία από τις λίγες βιώσιμες επιλογές ανάκτησης νερού, η ανίχνευση και ο RTC παραμέτρων, όπως ο χρόνος και το μέγεθος των ροών και η βελτίωση της απομάκρυνσης των ρύπων, πριν φτάσουν στη μονάδα επεξεργασίας, θα οδηγήσει επίσης σε μείωση των πόρων επεξεργασίας (Kerkez et al., 2016).

- *Αύξηση ανθεκτικότητας*: Οι αισθητήρες μπορούν να εντοπίσουν και να αναφέρουν σε πραγματικό χρόνο συστήματα εκτός σύνδεσης λόγω βλάβης ή συντήρησης, παίζοντας σημαντικό ρόλο στην αύξηση της ανθεκτικότητας. Γειτονικά συστήματα μπορούν ουσιαστικά να αντικαταστήσουν τα συστήματα, που δεν αποδίδουν, και έτσι το δίκτυο παραμένει αποτελεσματικό. Μια τέτοια εφαρμογή προσφέρει δυνατότητα για τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο, η οποία θα μπορούσε δυνητικά να αντιμετωπίσει το μείζον πρόβλημα ανεπαρκούς λειτουργίας του συστήματος, λόγω ελλιπούς συντήρησης (Blecken et al., 2017).

Ο RTC προσφέρει μια πραγματική ευκαιρία για πρόοδο στα συστήματα διαχείρισης ομβρίων υδάτων. Μπορεί να διαχειριστεί αποθήκες και εκροές για την αποφυγή υπερχειλίσσης (Lund et al., 2019). Η μελλοντική παροχή νερού θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένα σύστημα, που ενσωματώνει τη συλλογή ομβρίων υδάτων ως συμπλήρωση στο δίκτυο ύδρευσης. Η πρόβλεψη της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο συντελεί στη βέλτιστη χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η συνολική αξιοπιστία του δικτύου ύδρευσης. Επίσης μπορεί να βελτιώσει την παρακολούθηση και απομάκρυνση των ρύπων, ακόμη και να επιτύχει γκρίζα

επαναχρησιμοποίηση υδάτων (Barron et al., 2019), μειώνοντας σημαντικά τους πόρους, που απαιτούνται για την κατάντη επεξεργασία. Η κατάσταση όλων αυτών των στοιχείων θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης. Επιπλέον, οι πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο προκαλούν ανατροφοδότηση, δίνοντας στους πληθυσμούς την ικανότητα να επιλέγουν το συντονισμό των συστημάτων τους.

Η έξυπνη παρακολούθηση των ομβρίων υδάτων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της διαχείρισής τους τόσο από πλευράς ποιότητας όσο και ποσότητας. Εκτός από τη συμβολή της στη βελτιστοποίηση της λειτουργικής αποδοτικότητας (πρόβλεψη ζήτησης, βελτίωση ποιότητας) και της ανθεκτικότητας του συστήματος, δίνει προτεραιότητα στη συντήρηση των υποδομών, βοηθά στη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και συμβάλλει στη διασφάλιση βιώσιμου μέλλοντος για μεγάλες αστικές περιοχές (Εικ. 5.5). Προσφέρει επίσης κι άλλα οφέλη στις κοινότητες, όπως η επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων, η υποστήριξη της φυσικής βιοποικιλότητας, οι αυξημένες ευκαιρίες πρασίνου και αναψυχής και η καλύτερη ποιότητα του αέρα (Boulos, 2017).



**Εικόνα 5.5.** Κατακεντρωμένος έλεγχος του δικτύου σε πραγματικό χρόνο (Xu et al., 2020a)

Τα τελευταία χρόνια, θεωρητικές μελέτες και τεχνολογικές καινοτομίες επέτρεψαν την εξάπλωση της εφαρμογής τέτοιων συστημάτων (Maiolo et al., 2020). Μια νέα δυνατότητα περιλαμβάνει την αποκατάσταση της ροής μέσω μιας σταθερής εκκένωσης χαμηλού ρυθμού, που μιμείται τα φυσικά καθεστώτα ροής (Xu et al., 2020a).

## **5.2. Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων Άρδευσης**

### **5.2.1. Διαχείριση υδάτων άρδευσης**

Η άρδευση είναι βασικός παράγοντας για τον αγροτικό τομέα, ο οποίος θεωρείται ως η ραχοκοκαλιά της οικονομίας (Hamami & Nassereddine, 2020). Αποτελεί μια σημαντική πρακτική, ιδιαίτερα σε περιοχές με ανεπαρκείς βροχοπτώσεις, καθώς η ανεπαρκής άρδευση των καλλιεργειών οδηγεί σε μείωση της ποιότητας και της απόδοσής τους (Hamami & Nassereddine, 2020).

Ο τομέας της γεωργίας, ιδιαίτερα η άρδευση, επηρεάζεται σοβαρά από την κλιματική αλλαγή, τις πλημμύρες και τη ξηρασία, τη ρύπανση των υδάτων, τον αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό και τις σχετικές αυξημένες διατροφικές ανάγκες, που προκαλούν σοβαρή μείωση των υδατικών πόρων (Hamami & Nassereddine, 2020). Ο αγροτικός τομέας είναι η πιο υδροβόρα δραστηριότητα, καθώς υπολογίζεται ότι περίπου το 70% της παγκόσμιας κατανάλωσης νερού, χρησιμοποιείται για υπηρεσίες άρδευσης (Haddeland et al., 2014). Η αναποτελεσματικότητα στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων άρδευσης έχει ως αποτέλεσμα περίπου το 50% του νερού να χρησιμοποιείται καταχρηστικά (Fierro-Chacon & Torres-Tello, 2019). Αυτή η σπατάλη τεράστιας ποσότητας νερού, θα μπορούσε να εξοικονομηθεί για μελλοντική χρήση ή να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς.

Η αποτελεσματική διαχείριση των υδάτων αποτελεί μείζον μέλημα σε πολλά συστήματα καλλιέργειας. Η υπερεκμετάλλευση του γλυκού νερού στη γεωργία καθιστά επιτακτική την ανάγκη να βρεθούν έξυπνες στρατηγικές και συστήματα, που βασίζονται σε προηγμένες τεχνολογίες, για την αποτελεσματική χρήση του και τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των φυσικών πόρων. Όπως αναφέρεται στους Canales-Ide et al. (2019), η έξυπνη διαχείριση του νερού για άρδευση στη γεωργία ή αλλιώς «έξυπνη άρδευση» αποτελεί μέρος της έννοιας των έξυπνων πόλεων, στο πλαίσιο της λειψυδρίας και της ανάγκης για αποδοτική χρήση του νερού και μπορεί να διασφαλίσει την ασφάλεια του νερού και των τροφίμων στον παγκόσμιο πληθυσμό.

### **5.2.2. Έξυπνο σύστημα άρδευσης**

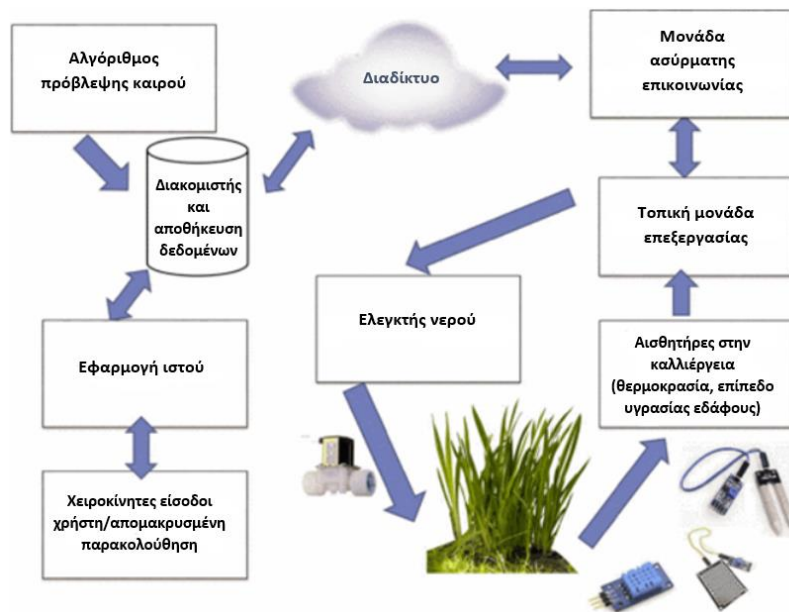
Με την πρόοδο της τεχνολογίας, είναι πλέον δυνατή η δημιουργία έξυπνων συστημάτων άρδευσης, που επιτρέπουν τη διαχείριση της άρδευσης μέσω ενός βιώσιμου συστήματος

παροχής νερού, που βασίζεται στις πραγματικές απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό (Masseroni et al., 2020).

Η γνώση σχετικά με την απαιτούμενη ποσότητα νερού στις καλλιέργειες αποτελεί ουσιαστικό βοήθημα στον σχεδιασμό αρδευτικών προγραμμάτων (Canales-Ide et al., 2019). Η συνεκτίμηση παραγόντων (π.χ. τύπος και ανάγκες καλλιέργειας, μέθοδος άρδευσης, βροχόπτωση), έχει καθοριστικό ρόλο στην ακριβή εκτίμηση της ζήτησης νερού των καλλιεργειών (Ayaz et al., 2019).

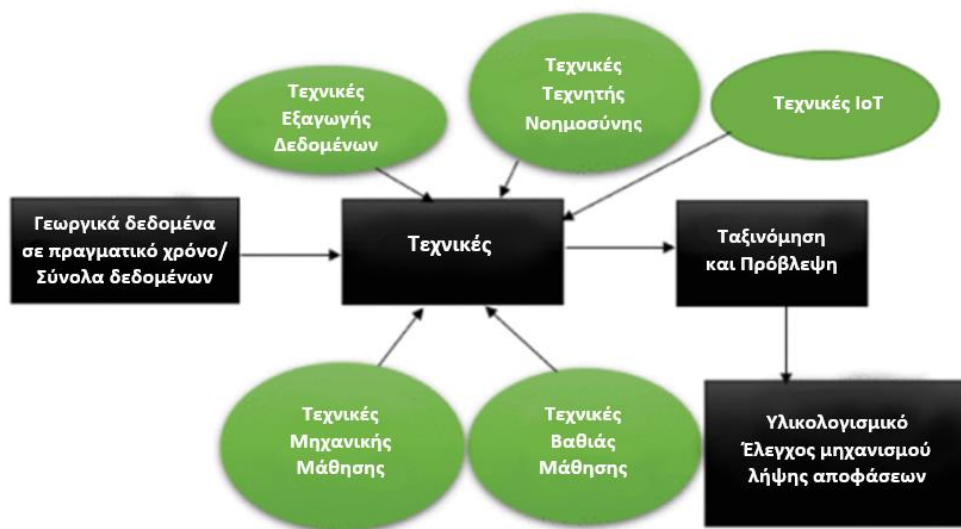
Ένα έξυπνο σύστημα συλλέγει και επεξεργάζεται δεδομένα από διάφορες πηγές για τη διαχείριση της άρδευσης, χρησιμοποιώντας ΤΠΕ (Voutos et al., 2019), που παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η ακριβέστερη διαχείριση των υδατικών πόρων, αποφεύγοντας την περιττή άρδευση, την υπερβολική απορροή και τη διάβρωση του εδάφους (Masseroni et al., 2020).

Το έξυπνο σύστημα άρδευσης ενσωματώνει πολλές τεχνολογίες που δίνουν έμφαση στην SWM και τον αυτόματο ή απομακρυσμένο έλεγχο (Εικ. 5.6) (Pornillos et al., 2020).



**Εικόνα 5.6.** Στοιχεία συστήματος έξυπνης άρδευσης με βάση το IoT (Gimpel et al., 2021).

Το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης έχει διαφορετικά στάδια, όπως α) Συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, β) Εφαρμογή τεχνικών, γ) Ταξινόμηση και πρόβλεψη, δ) Έλεγχος και λήψη αποφάσεων (Εικ. 5.7) και χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνολογίες, όπως, IoT, τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική εκμάθηση, μεγάλα δεδομένα, υπολογιστικό νέφος κ.λπ. (Blessy & Kumar, 2021).



*Εικόνα 5.7. Διάγραμμα έξυπνου συστήματος άρδευσης (Blessy & Kumar, 2021)*

Το IoT αναδεικνύεται ως η φυσική επιλογή για εφαρμογές SWM, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη της βέλτιστης αξιοποίησης των υδατικών πόρων στον τομέα της γεωργίας (Goar et al., 2018), προσδιορίζοντας τον κατάλληλο χρόνο για άρδευση και την απαιτούμενη ποσότητα νερού, ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας σε κάθε στάδιο (Ayaz et al., 2019). Συμβάλει επίσης στην καλύτερη απόδοση των καλλιεργειών, στη διατήρηση του περιβάλλοντος και στη μείωση του γεωργικού κόστους. Οι αγρότες έχουν τον έλεγχο της γης και των περιουσιακών τους στοιχείων από απόσταση και σε πραγματικό χρόνο (Ayaz et al., 2019).

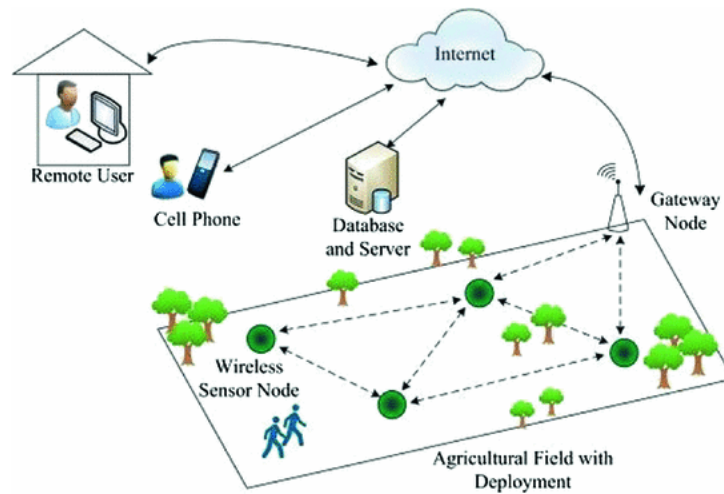
Το μέλλον του IoT μπορεί να διαμορφωθεί περισσότερο από τις εκπληκτικές προόδους στα WSN, καθώς αυτά αποτελούν τον κανόνα στα συστήματα γεωργικής παραγωγής.

### **5.2.3. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στον τομέα της άρδευσης**

Τα WSN έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικούς τομείς της ζωής (Hamami & Nassereddine, 2020), όπως οι γεωργικές εφαρμογές, στις οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως και εφαρμόζονται με επιτυχία. Η χρήση τους στον τομέα της άρδευσης είναι μια ιδανική επιλογή για την εξασφάλιση ορθολογικής χρήσης των υδάτων (Hamami & Nassereddine (2020).

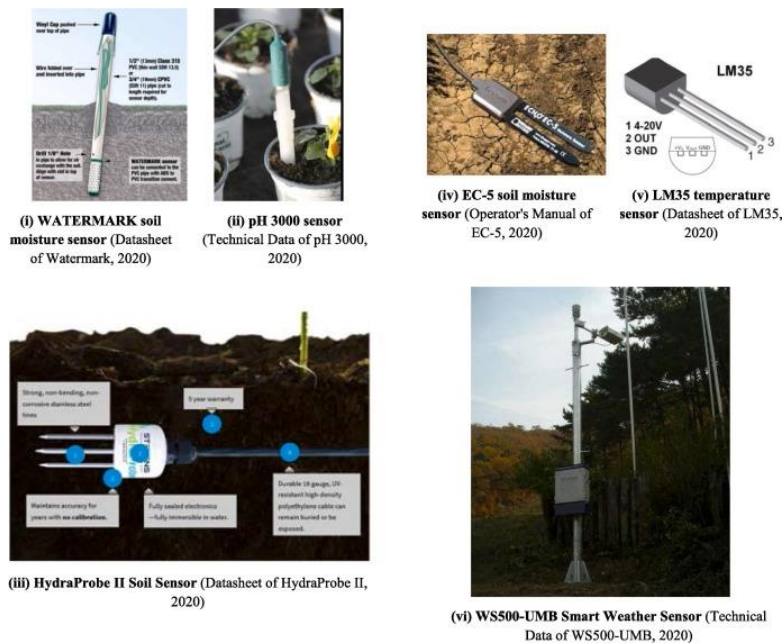
Λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης αλλά και της ύπαρξης πολλών διαφορετικών συνθηκών και καταστάσεων στον τομέα της άρδευσης, όπως διάφορα είδη εδάφους και καλλιεργειών και διαφορετικοί αισθητήρες, έχουν αναπτυχθεί πολλά έξυπνα συστήματα από τους ερευνητές για ένα WSN. Ο προσεκτικός σχεδιασμός της δομής ενός έξυπνου

συστήματος άρδευσης συνεισφέρει στη βέλτιστη απόδοσή του, καθώς μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των πληροφοριών (Εικ. 5.8) (Hamami & Nassereddine (2020).



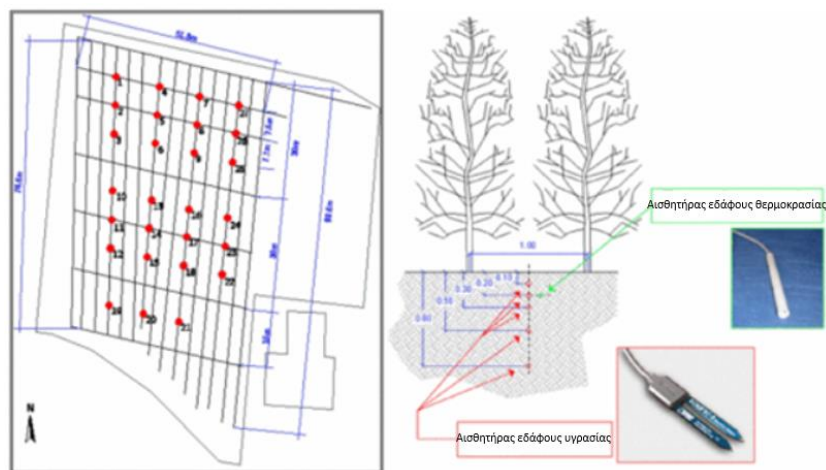
Εικόνα 5.8. Δομή WSN για άρδευση (Divya & Chinnaiyan, 2018)

Καθώς η αποδοτικότητα των έξυπνων συστημάτων άρδευσης εξαρτάται από διάφορες συνθήκες, χρησιμοποιούνται διάφοροι αισθητήρες (Εικ. 5.9) για τη μέτρηση και την παρακολούθηση ενός συνόλου παραμέτρων του εδάφους (π.χ. αλατότητας, υγρασίας, pH και θερμοκρασίας) και των καιρικών συνθηκών (π.χ. υγρασία, θερμοκρασία, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, βαρομετρική πίεση), χρησιμοποιώντας κόμβους αισθητήρων, που είναι διάσπαρτοι στην περιοχή προς άρδευση.



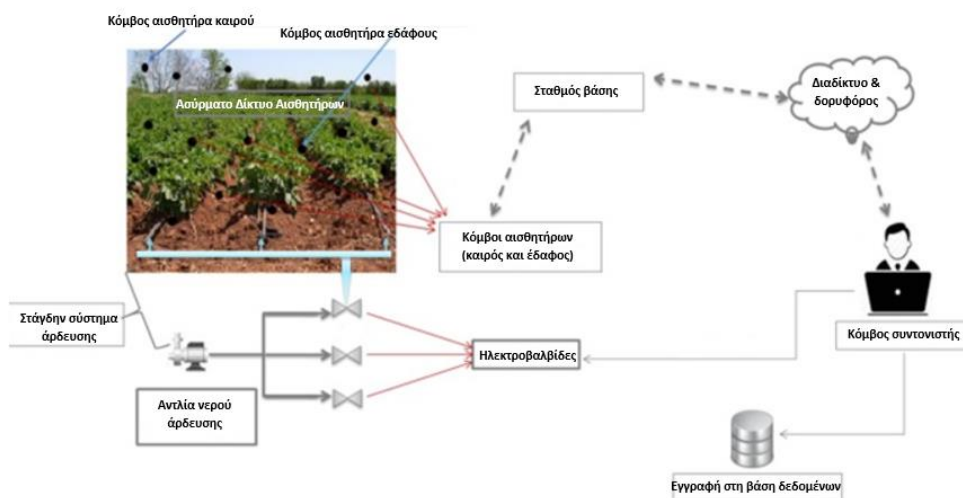
Εικόνα 5.9. Παραδείγματα αισθητήρων τομέα άρδευσης i, iii, iv) αισθητήρες υγρασίας εδάφους, ii) αισθητήρας pH, v) αισθητήρας θερμοκρασίας, vi) αισθητήρας καιρού (Hamami & Nassereddine, 2020).

Ο αριθμός των κόμβων αισθητήρων (εδάφους ή καιρού), που χρησιμοποιείται είναι ανάλογος με το εύρος του πεδίου (Hamami & Nassereddine, 2020). Επιπλέον, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των αναπτυγμένων συστημάτων άρδευσης, αποφασίζεται ο τύπος των κόμβων αισθητήρων, οι οποίοι μπορούν, είτε να αναπτυχθούν στο έδαφος για την ενημέρωση των ευφυών συστημάτων άρδευσης (Εικ. 5.10) (Goar et al., 2018), είτε να τοποθετηθούν σε αυτοματοποιημένα οχήματα, που εκτελούν γεωργικές εργασίες, για να αναγνωρίσουν συγκεκριμένες απαιτήσεις γλυκού νερού των φυτών (Bechtsis et al., 2018).



Εικόνα 5.10. Ανάπτυξη αισθητήρων στο έδαφος (Raucar et al., 2015)

Κάθε κόμβος συλλέγει δεδομένα, προκειμένου να υπάρχει συνολική εποπτεία του ελεγχόμενου πεδίου (Hamami & Nassereddine, 2020). Τα δεδομένα, που συλλέγονται, δρομολογούνται απευθείας ή μέσω άλλων αισθητήρων στο σταθμό βάσης, για μεταγενέστερη επεξεργασία (Εικ. 5.11).

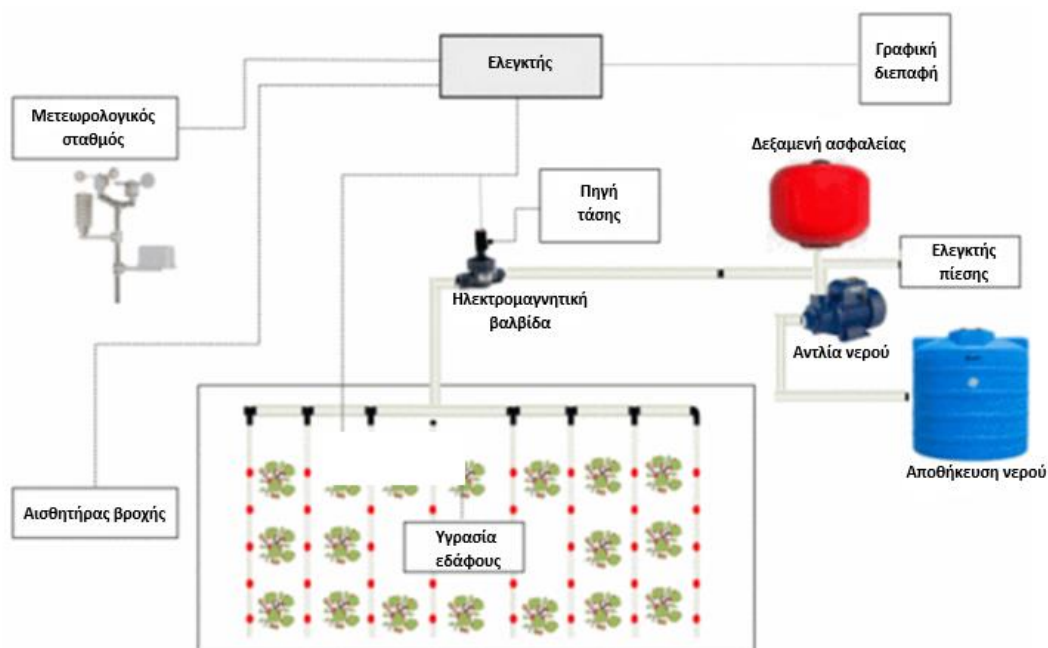


Εικόνα 5.11. Σχηματική απεικόνιση έξυπνου συστήματος άρδευσης (Hamami & Nassereddine, 2020).

Ο σταθμός βάσης είναι ένας κόμβος με ισχυρές λειτουργίες για την επεξεργασία των δεδομένων, τα οποία μεταδίδει σε έναν κόμβο συντονιστή για περαιτέρω ανάλυση. Η σύνδεση των στοιχείων αυτών γίνεται μέσω πρωτοκόλλου ασύρματης τεχνολογίας επικοινωνίας, για την επιλογή του οποίου λαμβάνονται υπόψη πολλές παράμετροι (π.χ. εύρος και μέγεθος περιοχής, προϋπολογισμός και μέγιστος αριθμός κόμβων) (Hamami & Nassereddine, 2020).

Ο κόμβος συντονιστής αναλύει τα δεδομένα και τα αποθηκεύει στη βάση. Οι τιμές, που προκύπτουν από την ανάλυση των επεξεργασμένων δεδομένων συγκρίνονται με τιμές αναφοράς για κάθε μετρούμενη παράμετρο, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας, ώστε να ληφθεί η απόφαση άρδευσης (Hamami & Nassereddine, 2020).

Αν τα αποτελέσματα είναι χαμηλότερα από την τιμή αναφοράς, ανοίγει η ηλεκτροβαλβίδα (Εικ. 5.12) και ενεργοποιείται το σύστημα άρδευσης και αντίστροφα. Δηλαδή, όταν η υγρασία του εδάφους πέφτει σε χαμηλό επίπεδο, πιστοποιείται η αναγκαιότητα άρδευσης μετά από μια συνδυασμένη ανάλυση της υγείας της βλάστησης, των ιδιοτήτων εδάφους, του σημείου μαρασμού και της ικανότητας συγκράτησης νερού στον αγρό και μόλις η υγρασία φτάσει τα επιθυμητά επίπεδα, η άρδευση διακόπτεται. Η διάδοση των πληροφοριών γίνεται μέσω email, sms ή τηλεφωνικών εφαρμογών, ώστε οι αγρότες να έχουν τη δυνατότητα ενημέρωσης παντού και οποιαδήποτε στιγμή (Hamami & Nassereddine, 2020).



Εικόνα 5.12. Έξυπνο σύστημα άρδευσης (Fierro-Chacon & Torres-Tello, 2019).



Το έξυπνο σύστημα άρδευσης επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση του νερού στις καλλιέργειες. Είναι αρκετά εφικτό και προσιτό και είναι επίσης χρήσιμο στις περιοχές, όπου υπάρχει λειψυδρία. Βοηθά στη βελτίωση της βιωσιμότητας, καθώς μπορεί να εξοικονομήσει έως και 72% νερό, με τις ισορροπημένες προτάσεις άρδευσης, που παρέχει στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων (Sun & Di, 2021). Τα περισσότερα τρέχοντα συστήματα συστάσεων έχουν ενσωματωμένους πολλούς κανόνες, οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τη γνώση, που σχετίζεται με το κλίμα, την άρδευση και την ανάπτυξη καλλιεργειών, που έχει συσσωρευτεί από τους γεωπόνους μετά από έρευνα ετών (Sun & Di, 2021).

Η πρόβλεψη καιρού χρησιμοποιείται επίσης για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των υδατικών πόρων στα συστήματα άρδευσης, καθώς βοηθά στον έλεγχο της ποσότητας νερού, που χρειάζεται να παρέχεται στις καλλιέργειες (π.χ. μείωση ποσότητας άρδευσης σε περίπτωση βροχοπτώσεων) (Laksiri et al., 2019). Στη γεωργία μεγάλης κλίμακας, αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο για την εξοικονόμηση νερού (Susrnitha et al., 2017). Επιπλέον, έχοντας έλεγχο των διαφόρων περιβαλλοντικών μεταβλητών, επιτυγχάνεται υψηλότερη ποιότητα στο τελικό προϊόν (Morales et al., 2016).

Ο έλεγχος των κλιματικών συνθηκών πρέπει να πραγματοποιείται σε τακτικά διαστήματα, ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως η εποχή του έτους και η διακύμανση του κλίματος στη συγκεκριμένη περιοχή (Shivani et al., 2020). Για τη μέτρηση των καιρικών παραμέτρων χρησιμοποιούνται διάφοροι αισθητήρες. Ωστόσο, ορισμένα έξυπνα συστήματα άρδευσης, επιλέγουν να μην συμπεριλαμβάνουν αυτούς τους αισθητήρες και ζητούν περιβαλλοντικές πληροφορίες σε διακομιστές ιστού (Malhotra et al., 2017), που παρέχουν δεδομένα καιρού και περιβάλλοντος από μετεωρολογικούς οργανισμούς (García et al., 2020).

#### **5.2.4. Νέοι τρόποι απόκτησης δεδομένων**

Η πρόοδος της τεχνολογίας οδηγεί σε νέους τρόπους απόκτησης δεδομένων, ένας εκ των οποίων είναι η χρήση drones (Cambra et al., 2017). Τα drones επιτρέπουν τη λήψη δεδομένων, όπως εναέριας εικόνας των πεδίων, που δεν μπορούσαν να ληφθούν με άλλους τρόπους. Ο εξοπλισμός τους με αισθητήρες και κάμερες βοηθά στον εντοπισμό περιοχών, που βρίσκονται υπό πίεση νερού και παρέχουν λύσεις ψεκάζοντας νερό ακριβώς πάνω από αυτές τις περιοχές, γι' αυτό και θεωρούνται το νεότερο εργαλείο

εξοικονόμησης νερού. Η χρήση τους βοηθά επίσης στην ανίχνευση πιθανής διαρροής ή μεγάλης απορροής (Ayaz et al., 2019).

Μια άλλη νέα μορφή απόκτησης δεδομένων είναι η χρήση ρομπότ (Gondchawar & Kawitkar, 2016). Το λειτουργικό τους σύστημα χωρίζεται σε τρία επίπεδα, εκ των οποίων το πρώτο διαβάζει τα δεδομένα από τους αισθητήρες, το δεύτερο εκτελεί την επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων του συστήματος και το τρίτο επίπεδο εκτελεί τη λήψη αποφάσεων και το σχεδιασμό της διαδρομής (Johar et al., 2018). Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για την άρδευση περιοχών με ακρίβεια, λόγω της ικανότητάς τους να πηγαίνουν στην επιθυμητή τοποθεσία (Johar et al., 2018). Εκτελούν δραστηριότητες, όπως η ανίχνευση υγρασίας του εδάφους και με το σύστημα καταιονισμού ποτίζουν την επιθυμητή περιοχή (García, 2021).

Μια ακόμα νέα τεχνολογία είναι το Internet of Underground Things (IoUT), μια νέα άποψη του IoT, που συνδυάζει υπόγειες και υπέργειες συσκευές IoT, που επικοινωνούν μεταξύ τους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην άρδευση και τη γεωργία, καθώς οι συσκευές δεν παρεμποδίζουν την εργασία των μηχανών και των αγροτών και μειώνουν το μέγεθος της φυσικής ζημιάς, που μπορεί να υποστούν οι κόμβοι, που αναπτύσσονται στις καλλιέργειες (García et al., 2020).

Τέλος, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στις περισσότερες υπηρεσίες IoT (Hassija et al., 2019), συμπεριλαμβανομένων εκείνων, που στοχεύουν στην άρδευση, παρέχει, όχι μόνο αυξημένη ασφάλεια αλλά και βελτιστοποίηση στη διαχείριση των συστημάτων IoT. Μειώνει την κατανάλωση νερού και οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση των καλλιεργειών, χαρακτηρίζει ταχύτερα τις γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες και συμβάλει στην κατανόηση των επιπτώσεων των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Επιπλέον, βελτιώνει τους μηχανισμούς, που προτείνονται για τον καθορισμό των περιπτώσεων, στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επεξεργασμένα λύματα για άρδευση (π.χ. ανάλογα με τη σύνθεση των καλλιεργειών) (García et al., 2020).

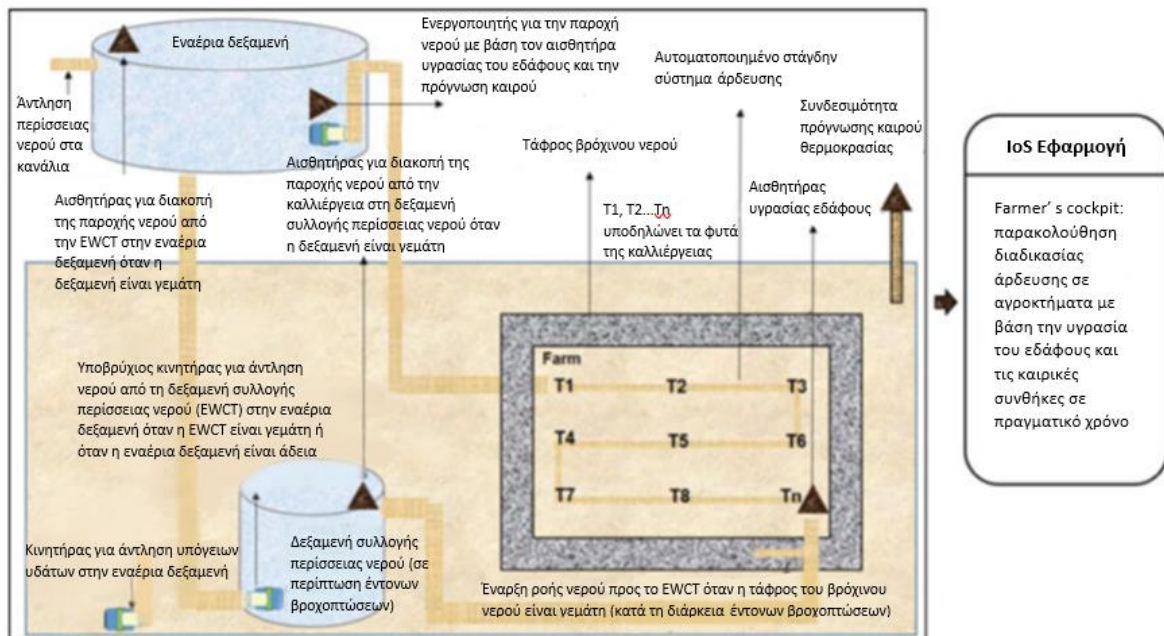
### **5.2.5. Έξυπνα συστήματα άρδευσης για διατήρηση υδάτων**

Τα συστήματα έξυπνης άρδευσης φαίνεται να είναι ένας διορατικός τρόπος για την προώθηση της μελλοντικής ανθεκτικής διαχείρισης άρδευσης (Masseroni et al., 2020). Οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώνονται κυρίως στην απεικόνιση τεχνικών έξυπνης άρδευσης για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης νερού στην άρδευση των καλλιεργειών και για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης. Είναι ζωτικής

σημασίας ωστόσο, αυτές οι έξυπνες τεχνικές άρδευσης να επεκταθούν και για τη διατήρηση του νερού, που παράγεται από βροχοπτώσεις, γεγονός, που θα συμβάλει στην αύξηση των επιπέδων των υπόγειων υδάτων, στην προστασία των καλλιεργειών, στην επαναχρησιμοποίηση του νερού για άρδευση των καλλιεργειών και επομένως στη βιωσιμότητα των υδατικών πόρων (Koduru et al., 2018).

Ένα τέτοιο πλαίσιο προτείνεται από τους Koduru et al. (2018), με βάση το IoT. Όπως και προηγουμένως, οι συσκευές, που είναι συνδεδεμένες, καταγράφουν με τους αισθητήρες δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και ενημερώνουν τη βάση δεδομένων. Στη συνέχεια, τα δεδομένα επεξεργάζονται για τη λήψη αποφάσεων άρδευσης.

Η παροχή νερού στις καλλιέργειες γίνεται με βάση τις τιμές υγρασίας του εδάφους και την πρόγνωση του καιρού. Σε περίπτωση έντονων βροχοπτώσεων και όταν η υγρασία του εδάφους φτάσει στο καθορισμένο μέγιστο όριο, η περίσσεια νερού συλλέγεται σε τάφρους ομβρίων υδάτων, όπου θα βοηθήσει στην αύξηση της στάθμης των υπόγειων υδάτων (Εικ. 5.13).



**Εικόνα 5.13.** Προτεινόμενο έξυπνο σύστημα άρδευσης διατήρησης υδάτων (Koduru et al., 2018)

Μόλις γεμίσει η τάφρος του βρόχινου νερού, η περίσσεια αποστραγγίζεται στη δεξαμενή συλλογής περίσσειας νερού. Με αισθητήρες υπερήχων, που είναι εγκατεστημένοι σε αυτή τη δεξαμενή κι όταν η στάθμη της φτάσει ένα καθορισμένο όριο, το νερό αντλείται στην εναέρια δεξαμενή, χρησιμοποιώντας υποβρύχιο αντλία. Ένας αισθητήρας υπερήχων, που

είναι εγκατεστημένος στην εναέρια δεξαμενή, ανιχνεύει το επίπεδο του νερού κι όταν είναι γεμάτη, η περίσσεια νερού αποστραγγίζεται στα κανάλια (Koduru et al., 2018). Όταν δεν υπάρχει αρκετό νερό, το νερό για την άρδευση αντλείται από τη δεξαμενή συλλογής περίσσειας νερού κι όταν και σε αυτή δεν υπάρχει νερό, η άρδευση πραγματοποιείται από τις γεωτρήσεις. Οι γεωργοί έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις καλλιέργειες και να ελέγχουν το σύστημα σε πραγματικό χρόνο. Το έξυπνο σύστημα άρδευσης είναι αυτοματοποιημένο για την αποτελεσματική χρήση των υδατικών πόρων, αλλά και για την προστασία των καλλιεργειών από απρόβλεπτες βροχοπτώσεις.

### 5.3. Έξυπνη Διαχείριση Αφαλάτωσης

#### 5.3.1. Έξυπνο πλαίσιο αφαλάτωσης

Η αυξανόμενη ζήτηση νερού και το επιδεινούμενο περιβάλλον υπογραμμίζουν συνεχώς την απαίτηση για νέες τεχνολογίες και μεθόδους για την επίτευξη βελτιστοποιημένης χρήσης των υδατικών πόρων. Το νερό με μεταβλητή αλατότητα, συμπεριλαμβανομένου του υφάλμυρου, των εκβολών ή του θαλασσινού νερού αφαλατώνεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αποτελεί την κύρια πηγή πόσιμου νερού (Alshehri et al., 2021).

Για τη μετατροπή του αλμυρού θαλασσινού νερού σε πόσιμο, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες. Στην ερευνητική εργασία των Alshehri et al. (2021) παρουσιάζεται ένα πλαίσιο, που βασίζεται στην ενσωμάτωση του IoT για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού και την παραγωγή καθαρού πόσιμου νερού. Η αυτοματοποιημένη διαδικασία υλοποιείται σε τρία στάδια, πριν το θαλασσινό νερό διατεθεί για ανθρώπινη κατανάλωση (Εικ. 5.14) (Alshehri et al., 2021).



Εικόνα 5.14. Πλαίσιο για τη μετατροπή του αλατούχου θαλασσινού νερού σε πόσιμο (Alshehri et al., 2021)

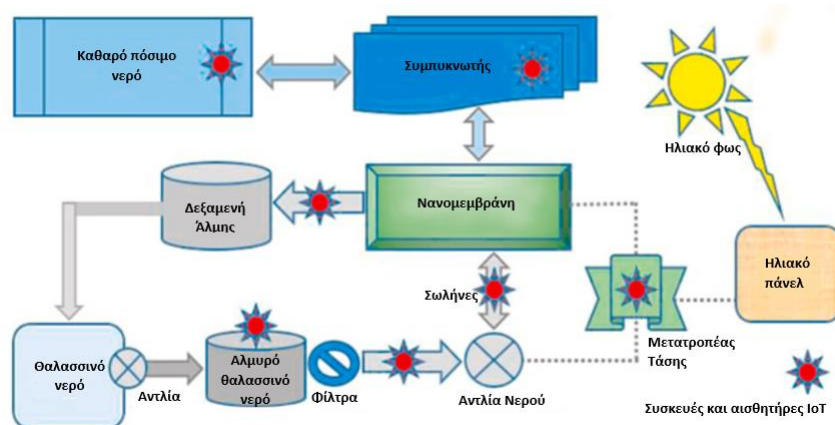
Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την προεπεξεργασία του αλατούχου θαλασσινού νερού με την αφαίρεση των ορατών ρύπων και των θαλάσσιων οντοτήτων, τα οποία ωθούνται πίσω στον ωκεανό. Σε αυτό το στάδιο, το νερό αντλείται από τον ωκεανό με αντλίες, οι οποίες χρησιμοποιούν αισθητήρες πίεσης IoT και βαλβίδες για τον έλεγχο και τη διατήρηση της πίεσης στην είσοδο της αντλίας.

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη διαδικασία αφαλάτωσης, όπου το αλατούχο νερό διηθείται σε δύο χρόνους. Αρχικά αφαιρούνται μικροί έως μεσαίου μεγέθους ρύποι (άμμος) στο πρώτο φίλτρο και στη συνέχεια το αλατούχο νερό διηθείται στο δεύτερο φίλτρο, απ' όπου αφαιρείται περαιτέρω η λάσπη και η άλμη.

Αφού ολοκληρωθεί η διήθηση, λαμβάνει χώρα η τρίτη φάση της μετα-επεξεργασίας, όπου το νερό ελέγχεται για πιθανή μόλυνση ή ρύπανση με αισθητήρες IoT, οι οποίοι λειτουργούν με φθορισμό και ανιχνεύουν επιβλαβή βακτήρια (Fang et al., 2020). Σε περίπτωση, που εντοπιστεί υπέρβαση προκαθορισμένων ορίων σε οποιαδήποτε δεξαμενή ή σωλήνα, το κέντρο ελέγχου διακόπτει τη λειτουργία, ελέγχει τις βαλβίδες και οι παραπάνω διαδικασίες εκτελούνται ξανά (Alshehri et al., 2021).

### 5.3.2. Έξυπνη διαχείριση αφαλάτωσης

Η διαχείριση της διαδικασίας αφαλάτωσης γίνεται από έξυπνες συσκευές με ενσωματωμένους αισθητήρες IoT, οι οποίοι παρακολουθούν και μετρούν παραμέτρους της ποιότητας του νερού σε κάθε στάδιο (Εικ. 5.15).



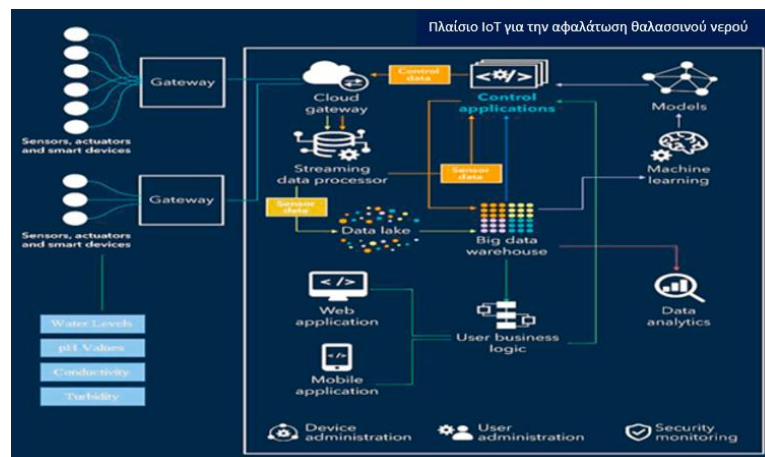
**Εικόνα 5.15.** Ενσωμάτωση αισθητήρων στα στάδια της αφαλάτωσης (Alshehri et al., 2021)

Τα δεδομένα, που δημιουργούνται, συγκεντρώνονται για μεταφορά σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας ασφαλή ασύρματη επικοινωνία. Η συλλογή των δεδομένων ξεκινά με τα WSN, όπου οι συνδεδεμένοι κόμβοι συγκεντρώνουν τα ακατέργαστα δεδομένα από τα

μηχανικά εξαρτήματα της μονάδας αφαλάτωσης, συμπεριλαμβανομένων των αντλιών και των δεξαμενών, τα οποία αποθηκεύονται στην πύλη cloud.

Η πλατφόρμα Cloud αφού λάβει τα δεδομένα των αισθητήρων, τα επεξεργάζεται για την εκτέλεση αναλύσεων και τη δημιουργία κρίσιμων πληροφοριών, προκειμένου να παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης αποφάσεων. Οι αναλύσεις δεδομένων μπορούν να βοηθήσουν στην αποκάλυψη κρίσιμων ζητημάτων ποιότητας ή στην αξιολόγηση της ανάγκης συντήρησης των σωλήνων, των δεξαμενών και των συσκευών, πριν από οποιαδήποτε βλάβη. Η διαχείριση αποφάσεων περιλαμβάνει τον έλεγχο ροής και ποιότητας νερού. Μετά την επιβεβαίωση, το νερό απελευθερώνεται για κατανάλωση, διαφορετικά σε περίπτωση, που οι παρακολουθούμενες παράμετροι υπερβαίνουν τα προβλεπόμενα όρια, η πύλη cloud στέλνει ειδοποιήσεις.

Κάθε υποδομή και εξοπλισμός συσκευής είναι προσβάσιμα μέσω μιας διεπαφής Ιστού σε απομακρυσμένους υπολογιστές χρηστών, κινητά ακόμη και smartphone. Η διάταξη του πλαισίου απεικονίζεται στην Εικόνα 5.16.



Εικόνα 5.16. Παρακολούθηση αφαλάτωσης μέσω αισθητήρων Cloud & IoT (Hawlader, 2020).

### 5.3.3. Έξυπνη διασφάλιση ποιότητας αφαλατωμένου θαλασσινού νερού

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, η αξιοποίηση αυτού του πόρου έγινε σταδιακά η τάση πολλαπλών πηγών νερού σε πολλές πόλεις, ειδικά στις παράκτιες. Ωστόσο, η απευθείας είσοδος αφαλατωμένου θαλασσινού νερού στο δίκτυο ύδρευσης μπορεί εύκολα να προκαλέσει το πρόβλημα του «κόκκινου νερού» (Mi et al., 2014) και τη διάβρωση του αγωγού μακροπρόθεσμα, λόγω του χαμηλότερου pH, της αλκαλικότητας και της σκληρότητάς του, καθώς και της ισχυρότερης διαβρωτικότητας (Deng et al., 2014).

Οι λειτουργίες ρύθμισης ασφαλείας χρησιμοποιούνται σπάνια σε δίκτυο παροχής αφαλατωμένου θαλασσινού νερού (Zhao et al., 2021). Το γεγονός αυτό οδήγησε σε προβλήματα, όπως η έλλειψη δεδομένων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και η αργή απόκριση έκτακτης ανάγκης, που επιφέρουν νέες προκλήσεις στη διασφάλιση της ποιότητας του νερού (Zhao et al., 2021). Έτσι καθίσταται απαραίτητο, όχι μόνο να μελετηθούν τεχνολογίες μετα-επεξεργασίας, αλλά και να ενισχυθεί η εποπτεία ασφάλειας σε πραγματικό χρόνο (Li et al., 2020b).

Στην μελέτη των Zhao et al. (2021), προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερότητα της ποιότητας του νερού, να αποφευχθεί η διάβρωση του αγωγού και το πρόβλημα του «κόκκινου νερού», δημιουργήθηκε ένα σύστημα εποπτείας ασφάλειας για το αφαλατωμένο θαλασσινό νερό, που εισέρχεται στο αστικό δίκτυο αγωγών ύδρευσης, μέσω της ανάπτυξης, ενσωμάτωσης και εφαρμογής ΤΠΕ. Το σύστημα περιλαμβάνει: α) σύστημα παρακολούθησης, β) σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και πρόβλεψης, γ) σύστημα ρύθμισης της ποιότητας του νερού και δ) σύστημα διαχείρισης λειτουργίας.

Το σύστημα παρακολούθησης χρησιμοποιείται για τη συλλογή και διαχείριση δεδομένων. Αυτά λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες και μεταδίδονται σε απομακρυσμένο υπολογιστή για επεξεργασία (Zhao et al., 2021). Σύμφωνα με τους παράγοντες, που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα «κόκκινου νερού», ανιχνεύονται σε πραγματικό χρόνο παράμετροι, όπως θολότητα, χρώμα, pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής, αγωγιμότητα, υπολειμματικό χλώριο κ.λπ. Επιπλέον, παρακολουθείται η διάβρωση του αγωγού. Η παρακολούθηση της πίεσης, της ροής και του όγκου του αφαλατωμένου θαλασσινού νερού σε πραγματικό χρόνο επιτυγχάνεται μέσω αισθητήρα πίεσης και ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου, που μπορεί να καθορίσει την αναλογία αφαλατωμένου θαλασσινού νερού προς το συμβατικό γλυκό νερό (Zhao et al., 2021).

Το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και πρόβλεψης χρησιμοποιεί τεχνολογίες (π.χ. GIS, SCADA) για την παρακολούθηση και πρόβλεψη της τάσης της ποιότητας του νερού και της διάβρωσης των αγωγών (Zhao et al., 2021). Καθορίζονται τα όρια των παραμετρικών τιμών και τα ποσοστά διάβρωσης του αγωγού (Zhao et al., 2021).

Τα δεδομένα, που συλλέγονται από τους αισθητήρες παρακολούθησης (ποιότητα, πίεση, ρυθμός ροής, ρυθμός διάβρωσης, γεωγραφική θέση), αποθηκεύονται και διαβιβάζονται στο κέντρο παρακολούθησης, που αποτελείται από διάφορα λογισμικά, προκειμένου να

γίνει η ανάλυση και ο προγραμματισμός των αποφάσεων. Όταν η λειτουργία του συστήματος είναι μη φυσιολογική, ενεργοποιείται το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης μέσω ηχητικού συναγερμού, ενδεικτικών λυχνιών, που αναβοσβήνουν, και μέσω μηνυμάτων και ενεργοποιείται το σύστημα ρύθμισης της ποιότητας του νερού (Zhao et al., 2021). Το σύστημα προσαρμόζει την τιμή του pH, την αλκαλικότητα, την οξειδοαναγωγή και οι αλλαγές παρακολουθούνται συνεχώς. Το σύστημα διαχείρισης λειτουργίας με μετρητές ροής και αντλίας προσαρμόζει τον ρυθμό ροής του νερού και τον χρόνο παραμονής του στο δίκτυο (Zhao et al., 2021).

Η παροχή νερού δεν χρειάζεται να σταματήσει, αν ο ποιοτικός έλεγχος βρίσκεται εντός συγκεκριμένου εύρους. Όταν όμως η ποιότητα του νερού είναι πολύ κακή και μπορεί να επηρεάσει την υγεία των καταναλωτών, η παροχή νερού διακόπτεται και αποκαθίσταται, μόνο εφόσον η ποιότητα του νερού φτάσει στο πρότυπο πόσιμου νερού, κι έχει ξεπλυθεί το δίκτυο σωληνώσεων (Zhao et al., 2021).

Οι αλλαγές στην ποιότητα του αφαλατωμένου θαλασσινού νερού μπορούν να παρακολουθούνται από απόσταση και να ελέγχονται σε πραγματικό χρόνο στο πρόγραμμα περιήγησης με τη μορφή γραφικών, μέσω οθόνης κινητού ή υπολογιστή (Εικ. 5.17).



**Εικόνα 5.17.** Πρόγραμμα περιήγησης (Zhao et al., 2021)

Το προτεινόμενο σύστημα των Zhao et al. (2021) με την χρήση των τεχνολογιών διασφαλίζει την ασφαλή ποιότητα του αφαλατωμένου θαλασσινού νερού, που εισέρχεται στο αστικό δίκτυο ύδρευσης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Η ΕΞΥΠΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

### 6.1. Έργα Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων

Ένας αυξανόμενος αριθμός υπηρεσιών κοινής ωφελείας παγκοσμίως υιοθετεί μια έξυπνη προσέγγιση για τη βελτίωση της κατανόησης, της διαχείρισης και του ελέγχου του δικτύου ύδρευσής του. Ένα έξυπνο δίκτυο ύδρευσης παρέχει υπηρεσίες, που βοηθούν στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας, ποιότητας και απόδοσης, βελτιώνοντας παράλληλα την αξιοπιστία του δικτύου και το επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών (Cahn, 2014).

Σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές έξυπνες προσεγγίσεις για τη διασφάλιση της ποσότητας και της ποιότητας του νερού, που απαιτείται στις αστικές περιοχές. Τα ευρήματα της παγκόσμιας έρευνας δείχνουν, ότι η διαρροή και η διαχείριση της πίεσης, η βελτιστοποιημένη παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, οι λειτουργίες και η συντήρηση του δικτύου αντιπροσωπεύουν σημαντικές ευκαιρίες για τη βελτίωση της απόδοσης των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Δεδομένων των εφαρμογών ΤΠΕ στους τομείς του νερού, το έξυπνο δίκτυο ύδρευσης γίνεται ευρέως αποδεκτό από πολλούς ενδιαφερόμενους.

Όπως αναφέρεται στους Κοο et al. (2021) η Σιγκαπούρη, η Αυστραλία, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), οι Ηνωμένες Πολιτείες (ΗΠΑ) και η Κορέα έχουν το προβάδισμα στην εφαρμογή της SWM.

Η Σιγκαπούρη στερείται φυσικών πηγών νερού και προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες της εισάγει νερό από τις γειτονικές χώρες. Για το λόγο αυτό, η κυβέρνηση της Σιγκαπούρης ίδρυσε το Public Utilities Board (PUB), με σκοπό να συλλέγει, να παράγει και να διανέμει νερό στη Σιγκαπούρη, προκειμένου να αντιμετωπίσει τη λειψυδρία, κάνοντας χρήση εναλλακτικών πηγών νερού (Lalle et al., 2021). Το νερό που συλλέγεται, αποθηκεύεται σε δεξαμενές και μεταφέρεται με αγωγούς στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και μετά την επεξεργασία του, διανέμεται στους πελάτες (Lalle et al., 2021).

Το 2011, το PUB δημιούργησε την πλατφόρμα Water Wise, που ενσωματώνει εφαρμογές, όπως παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο, ανίχνευση διαρροών, διαχείριση πίεσης, πρόβλεψη ζήτησης και συμβάντων, για να υποστηρίξει τη

λήψη αποφάσεων. Τα δεδομένα διαβιβάζονται μέσω του κυβελοειδούς δικτύου της Σιγκαπούρης σε ένα κέντρο υπολογιστών, όπου το λογισμικό μοντελοποίησης τα χρησιμοποιεί για τον εντοπισμό προβλημάτων στο σύστημα διανομής νερού (Mutchek & Williams, 2014). Όταν εντοπίζονται προβλήματα, αποστέλλεται συναγερμός στο βοηθητικό πρόγραμμα.

Η Αυστραλία υλοποιεί από το 2008 το έργο South East Queensland (SEQ) για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας. Κατασκεύασε ένα SWN, που συνδέει 12 φράγματα, 36 εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, 3 εγκαταστάσεις επεξεργασίας ανακυκλωμένου νερού, 1 μονάδα αφαλάτωσης, 28 ταμιευτήρες, 22 αντλιοστάσια και 600 χλμ. αγωγών για να εξασφαλίσει τη σταθερότητα της παροχής νερού. Στο έργο αυτό ενσωματώθηκαν πηγές νερού ανθεκτικές στο κλίμα και πρόβλεψη της ζήτησης νερού, προκειμένου να αποφεύγονται προβλήματα λειψυδρίας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση υλοποίησε το έργο «Λύσεις ΤΠΕ για την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτων» (ICeWater) και το έργο «Καινοτομία στο νερό μέσω της διάδοσης της εκμετάλλευσης των έξυπνων τεχνολογιών» (WIDEST), που υποστηρίχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Αυτά τα έργα στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης των αστικών δικτύων ύδρευσης μέσω παρακολούθησης της κατανάλωσης νερού σε πραγματικό χρόνο, καθώς και μείωσης των απωλειών νερού με την ανάπτυξη τεχνολογιών ανίχνευσης διαρροών (Fantozzi et al., 2014).

Στις Η.Π.Α., οι μεσοδυτικές πολιτείες αντιμετωπίζουν καταστροφικές πλημμύρες, ενώ οι δυτικές προσπαθούν να επιλύσουν προβλήματα ξηρασίας. Για την παροχή γλυκού νερού στις δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ, δημιουργήθηκε το έργο National Smart Water Grid (NSWG), ένα σχέδιο παροχής νερού, που χρησιμοποιεί μεγάλους ποταμούς στα μεσοδυτικά, όπως ο ποταμός Μισισσιπή, ο οποίος αντιμετωπίζει σοβαρές ζημιές από πλημμύρες. Το έργο προτείνει την άντληση γλυκού νερού μέσω αγωγών από περιοχές πλημμύρας σε περιοχές ξηρασίας ή μεγάλης ζήτησης, για την παρακολούθηση και την εφαρμογή του οποίου χρησιμοποιούνται έξυπνες τεχνολογίες.

## **6.2. Παραδείγματα Εφαρμογών Έξυπνης Διαχείρισης Υδάτων**

Η SWM έχει απεριόριστες δυνατότητες να συμβάλει στην υλοποίηση των στόχων διαχείρισης υδατικών πόρων και βιώσιμης ανάπτυξης. Η συμβολή της SWM στην

αντιμετώπιση σημαντικών προκλήσεων για το νερό σε διάφορες κλίμακες και γεωγραφικές τοποθεσίες φαίνεται έμπρακτα στις παρακάτω εφαρμογές (K-water & IWRA, 2018).

### **6.2.1. Δημοκρατία της Κορέας**

Η διαχείριση των υδάτων είναι μια πρόκληση στην Κορέα, που αντιμετωπίζει τακτικές ακραίες πλημμύρες και ξηρασίες, τις τελευταίες δυο δεκαετίες, λόγω της κλιματικής αλλαγής με επιπτώσεις, που αγγίζουν το 87% στο σύνολο των ζημιών, που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές. Δημιουργήθηκε έτσι αυξημένη ανάγκη για εθνική διαχείριση των υδάτων και ασφάλεια, γι' αυτό και η Κορέα κατασκεύασε φράγματα πολλαπλών χρήσεων και δημιούργησε πολυπεριφερειακά έξυπνα συστήματα διαχείρισης υδάτων.

Η K-water είναι μια επιτυχημένη κρατική εταιρεία ύδρευσης, που επιβλέπει τους πολύτιμους υδατικούς πόρους της Δημοκρατίας της Κορέας μέσω της SWM και των σχετικών τεχνολογιών. Είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση υποδομών, που περιλαμβάνουν 34 φράγματα πολλαπλών χρήσεων και ύδρευσης, 4 αντιπλημμυρικά φράγματα και δεξαμενές ελέγχου, 16 φράγματα και ένα φράγμα εκβολών με συνολική χωρητικότητα δεξαμενών 15,83 δισεκατομμυρίων τόνων (K-water & IWRA, 2018).

Για να διασφαλιστεί η βέλτιστη λειτουργία αυτών των υποδομών απαιτούνται συνεχείς μετρήσεις και ανάλυση πληροφοριών σχετικά με τις καιρικές συνθήκες και την ποιότητα του νερού, προκειμένου να παρέχει ασφαλές πόσιμο νερό και να διασφαλίζει τη βιωσιμότητα των υδατικών πόρων της χώρας για το μέλλον.

Το 2002, δημιουργήθηκε το K-water Hydro Intelligent Toolkit (K-HIT), ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης υδάτων, που αποτελείται από τεχνολογίες ικανές να εκτελούν πέντε λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της απόκτησης υδρολογικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, πρόβλεψη βροχοπτώσεων, ανάλυση πλημμύρας, παροχή νερού ταμιευτήρα και παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας (Εικ. 6.1).



**Εικόνα 6.4.** Διαδικασίες διαχείρισης υδατικών πόρων της K-water με βάση το K-HIT (Yi et al., 2020)

Η ικανότητα λειτουργίας και διαχείρισης αυτού του συστήματος καθορίζει αποτελεσματικά την ανθεκτικότητα της Κορέας στους κινδύνους, που σχετίζονται με το νερό και η SWM ενισχύει αυτή την ικανότητα. Μέσω δορυφορικής απεικόνισης και άλλων τεχνολογιών επικοινωνίας, συλλέγονται πληροφορίες για τη στάθμη του νερού, την ποιότητά του και άλλα δεδομένα, διαχειρίζονται διαρροές, παρέχεται νερό υπολογίζοντας τη ζήτηση και προειδοποιεί έγκαιρα για πλημμύρες, ενισχύοντας την ικανότητα λήψης αποφάσεων.

Κατά την περίοδο των πλημμυρών ελαχιστοποιούνται οι ζημιές, καθώς αποθηκεύεται περισσότερο νερό, το οποίο παρέχεται κατά την ξηρή περίοδο, αποτρέποντας τη ξηρασία. Η αποτελεσματική λειτουργία αυτού του συστήματος έχει αντιμετωπίσει τις πλημμύρες, που συνέβησαν το 2012, το 2013 και το 2015. Το K-HIT συμβάλει επίσης στην επίτευξη του ΣΒΑ 6 με τη διαθεσιμότητα και βιώσιμη διαχείριση του νερού και του ΣΒΑ 11 με την πρόληψη καταστροφών (πλημμύρες, ξηρασίες).

Η κρατική στήριξη έχει σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή της SWM. Το K-HIT είναι ένα σύστημα, που απαιτεί μακροπρόθεσμες επενδύσεις και είναι απαραίτητο να αναπτύσσεται σε φάσεις, ανάλογα με την πρόοδο στη διαχείριση των υδάτων. Για την επιτυχή εφαρμογή της SWM, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά κάθε λεκάνης, καθώς και το κοινωνικό και οικονομικό πλαίσιο κάθε χώρας.

### **6.2.2. Seosan (KOPEA), Dhaka (Bangladesh, N. ΑΣΙΑ)**

Μια σημαντική υπηρεσία ύδρευσης της K-water είναι η ελαχιστοποίηση των διαρροών και η παροχή σταθερά ασφαλούς νερού στους χρήστες.

Η πόλη Seosan με πληθυσμό 157.000 κατοίκων, τροφοδοτείται με νερό από το φράγμα Boryeong. Το 2015 είχε υψηλό δείκτη NRW με ποσοστό 32%, και καθώς λειτουργούσε με δύο DMA, δεν ήταν εφικτό να εντοπιστεί και να αντιμετωπιστεί η απώλεια νερού. Ωστόσο, οι προσπάθειες για τη μείωση των απωλειών ήταν απαραίτητες λόγω της ξηρασίας, που επηρέασε την πόλη την ίδια χρονιά. Το φράγμα Boryeong είχε φτάσει σε αποθήκευση νερού λιγότερο από 21%, με αποτέλεσμα να ληφθούν επείγοντα μέτρα κατά της ξηρασίας.

Το 2016, η κυβέρνηση της πόλης Seosan ζήτησε από την K-water να εγκαταστήσει ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης υδάτων, προκειμένου να ανταποκριθεί στις σοβαρές ξηρασίες, που αντιμετώπιζε. Ο κύριος σκοπός του έργου ήταν η μείωση των διαρροών και κατά συνέπεια η βελτίωση εσόδων νερού με την εξ' αποστάσεως μέτρηση μέσω 1550 έξυπνων μετρητών. Εφαρμόστηκαν επιπλέον έξυπνες τεχνολογίες για την παρακολούθηση δεδομένων σχετικά με την ποσότητα και την ποιότητα του νερού με σκοπό τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων (K-water & IWRA, 2018).

Τα υπάρχοντα δύο DMA χωρίστηκαν σε εννέα για να εντοπιστούν γρήγορα οι ύποπτες περιοχές διαρροής. Επίσης, η διαδικασία ανίχνευσης και αποκατάστασης διαρροής εφαρμόστηκε γρήγορα με τη συλλογή και ανάλυση του ρυθμού ροής νερού και των πληροφοριών χρήσης σε πραγματικό χρόνο μέσα σε ένα DMA. Εγκαταστάθηκαν επίσης βαλβίδες μείωσης πίεσης (PRV) για να παρέχουν μικρή αποσυμπίεση σε PMA με βάση την ανάλυση προτύπων των χρηστών.

Οι έξυπνες τεχνολογίες διαχείρισης νερού με την υψηλή ακρίβεια δεδομένων, βελτίωσαν από 32% σε 10% την αναλογία εσόδων νερού, μείωσαν τη χρήση νερού από τους πελάτες κατά 55%, το κόστος τους κατά 70% και τη διαρροή κατά 190.000 m<sup>3</sup> ανά έτος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οικονομικό όφελος 590.000 USD καθώς και βελτίωση της ικανοποίησης των πελατών.

Το έργο αυτό συνδέεται με τους ΣΒΑ 6 για τη βιώσιμη διαχείριση νερού και ΣΒΑ 11 για την ανθεκτικότητα της κοινότητας. Συμβάλλει επίσης στο ΣΒΑ 1 (μηδενική πείνα), στο ΣΒΑ 8

(προώθηση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης) και στο ΣΒΑ 12 (εξασφάλιση βιώσιμων προτύπων κατανάλωσης).

Η κρατική στήριξη, η προηγμένη τεχνολογία ΤΠΕ της Κορέας και το πυκνό δίκτυο επικοινωνίας σε όλες τις περιοχές διευκόλυναν την υλοποίηση του έργου. Ωστόσο το αρχικό κόστος επένδυσης ήταν υψηλότερο από την υπάρχουσα επένδυση εγκατάστασης και χρειαζόταν συνεχής οικονομική στήριξη και επενδύσεις.

Η K-water προωθεί την εμπειρία της SWM στο εξωτερικό. Η Ασιατική Τράπεζα Ανάπτυξης (Asian Development Bank, ADB) διεξάγει έργα SWM σε τέσσερις χώρες στη Νότια Ασία, συμπεριλαμβανομένου του Bangladesh και της Ινδίας.

Η στάθμη των υπόγειων υδάτων της Dhaka πέφτει κατά ένα μέτρο κάθε χρόνο λόγω της λειψυδρίας, που προκαλείται από πολλές διαρροές και ανεξέλεγκτη χρήση υπόγειων υδάτων. Η κατάσταση αυτή είναι σοβαρή, λαμβάνοντας υπόψη ότι το 80% της συνολικής παροχής νερού εξαρτάται από τα υπόγεια ύδατα. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, η κυβέρνηση του Bangladesh έχει επενδύσει σε εγκαταστάσεις αγωγών μέσω της στήριξης της ADB, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές διαρροές.

Για τη δημιουργία ενός βιώσιμου συστήματος διαχείρισης νερού, η K-water εγκατέστησε έξυπνους μετρητές σε γεωτρήσεις, ώστε να παρακολουθείται η ροή σε πραγματικό χρόνο και να αντιμετωπίζονται άμεσα οι δυσλειτουργίες. Ως αποτέλεσμα, η ADB και η τοπική κυβέρνηση του Bangladesh έχουν σημειώσει σημαντικά κέρδη και σχεδιάζουν να επεκτείνουν το έργο SWM σε επτά πόλεις σε έξι χώρες της Νότιας Ασίας.

### **6.2.3. National Autonomous University of MEXICO**

Το Μεξικό αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η ποιότητα, η πρόσβαση και η αναποτελεσματική διαχείριση των υδάτων. Ποσοστό 30% των γαστρεντερολογικών παθήσεων σχετίζονται με την ποιότητα του νερού, και οι διάρροιες αποτελούν την τέταρτη πιο κοινή αιτία παιδικής θνησιμότητας. Παρόλο που μεγάλο μέρος του πληθυσμού (92%) έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό βρύσης, το 80% καταναλώνει εμφιαλωμένο νερό.

Το μεγαλύτερο πανεπιστήμιο του Μεξικό (National Autonomous University of Mexico, UNAM), αντιμετωπίζει τις ίδιες προκλήσεις σε μικρότερη κλίμακα. Στο UNAM διαπιστώνεται απώλεια νερού έως και 50% λόγω διαρροών, παρατυπίες στην

απολύμανση του πόσιμου νερού και έλλειψη εκστρατειών επικοινωνίας για την εξοικονόμηση νερού (K-water & IWRA, 2018).

Για να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις, το UNAM ξεκίνησε το Πρόγραμμα για τη διαχείριση και τη χρήση του νερού (PUMAGUA) το 2008. Στόχοι του προγράμματος ήταν η μείωση της κατανάλωσης κατά 50%, η βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού και η προώθηση της συμμετοχής της κοινότητας στην αποτελεσματική χρήση του νερού.

Για να τους πετύχει η PUMAGUA χρησιμοποίησε την SWM για την απομακρυσμένη μέτρηση κατανάλωσης νερού και την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού. Το Πρόγραμμα δημιούργησε το Παρατηρητήριο Υδάτων της UNAM, μια ψηφιακή πλατφόρμα, που περιλαμβάνει δεδομένα ποσότητας και ποιότητας νερού σε πραγματικό χρόνο, αλλά και κοινωνική συμμετοχή για ενεργή αλληλεπίδραση της πανεπιστημιακής κοινότητας.

Με τις έξυπνες τεχνολογίες υπήρχε άμεση απόκριση, όταν μια παράμετρος ποιότητας νερού δεν συμμορφωνόταν με τους κανονισμούς. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση της παρακολούθησης της ποιότητας του νερού είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοχής και της εμπιστοσύνης στο πόσιμο νερό της βρύσης στην πανεπιστημιούπολη. Η χρήση της έξυπνης τεχνολογίας για τη μέτρηση της ποσότητας του νερού ήταν θεμελιώδους σημασίας. Επέτρεπε τη μέτρηση της κατανάλωσης νερού, τον εντοπισμό διαρροών και την ταχεία απόκριση, ανάλογα με τις προτεραιότητες.

Από τότε που ξεκίνησε το πρόγραμμα, έχει επιτύχει μείωση της παροχής νερού κατά 25% και παροχή πόσιμου νερού εξαιρετικής ποιότητας. Το PUMAGUA έχει ενισχύσει την υπεύθυνη χρήση του νερού, καθώς και τη συμμετοχή της πανεπιστημιακής κοινότητας στην επίλυση προβλημάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά συνδέονται με το ΣΒΑ 1, καθώς ενισχύεται η διαθεσιμότητα νερού, με το ΣΒΑ 6 μέσω της πρόσβασης σε επαρκή καλής ποιότητας νερό και με το ΣΒΑ 9 με τις επενδύσεις στην αναβάθμιση της υποδομής για βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα. Επιπλέον, αυξήθηκε η ευαισθητοποίηση και η συμμετοχή της κοινότητας στα πλαίσια των ΣΒΑ 12 (βιώσιμη κατανάλωση), ΣΒΑ 17 (συνεργασίες για τους στόχους) και ΣΒΑ 13 (δράση για το κλίμα με τη μείωση της παραγωγής εμφιαλωμένου νερού).

Οι περιορισμένοι πόροι (χρηματοοικονομικοί, ανθρώπινου κεφαλαίου, τεχνολογικοί) στάθηκαν βασικό εμπόδιο του έργου, παρόλο που οι δράσεις του UNAM και η σύνδεσή τους με την βιώσιμη ανάπτυξη αποτελούν πρότυπο.

#### **6.2.4. Raju (ΚΟΡΕΑ)**

Παρά τη διαθεσιμότητα υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού στην Κορέα, μόνο το 5% της κοινότητας καταναλώνει πόσιμο νερό βρύσης, ποσοστό εξαιρετικά χαμηλό σε σύγκριση με προηγμένες χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες (56%) και η Ιαπωνία (52%). Ο κύριος λόγος είναι η δυσπιστία ως προς την ποιότητα του νερού βρύσης λόγω ανησυχιών σχετικά με τους παλιούς σωλήνες ύδρευσης, την οσμή και τη γεύση του νερού.

Η K-water έχει στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του νερού και την αντίληψη της κοινότητας και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε το έργο Smart Water City (SWC). Ένα SWC ενσωματώνει τις ΤΠΕ σε ολόκληρη τη διαδικασία παροχής νερού, από την επεξεργασία έως τη βρύση, έτσι ώστε οι άνθρωποι να μπορούν να ελέγχουν μόνοι τους σε πραγματικό χρόνο τη διαδικασία και την ποιότητα του νερού, με σκοπό να μειωθεί η δυσπιστία του κοινού για το νερό της βρύσης και να αυξηθεί ο ρυθμός κατανάλωσης (K-water & IWRA, 2018).

Σε πιλοτική εφαρμογή του έργου αυτού στην έξυπνη πόλη Raju, το ποσοστό αυτό αυξήθηκε σημαντικά από 1% σε 36,3% σε τρία χρόνια. Η K-water έχει ως στόχο να εφαρμόσει το έργο αυτό σε περισσότερους δήμους, ώστε το παραπάνω ποσοστό να φτάσει το 20% στη Δημοκρατία της Κορέας.

Η δημόσια στήριξη και χρηματοδότηση ήταν σημαντική για την επιτυχία του έργου. Ένας άλλος παράγοντας, που υποστήριξε το έργο, είναι το υψηλό επίπεδο των ΤΠΕ στην Κορέα, το οποίο αποτέλεσε ευνοϊκό περιβάλλον στην ανάπτυξη τεχνολογίας διαχείρισης υδάτων. Η συμμετοχή οργανισμών επίσης, στάθηκε απαραίτητη για την ανάπτυξη κατάλληλης στρατηγικής.

Χρειάζεται ωστόσο συνεχής χρηματοδότηση για εφαρμογή νέων τεχνολογιών στον τομέα των υδάτων. Η κρατική υποστήριξη (μέσω πολιτικής και επενδύσεων) και η έρευνα είναι σημαντικές πτυχές στην υποστήριξη της παγκόσμιας ατζέντας του SWM και στην επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης.



### **6.2.5. Μαλάουι, Τανζανία, Μοζαμβίκη, Ζιμπάμπουε (Ν. ΑΦΡΙΚΗ)**

Περίπου το 70% των Αφρικανών είναι κάτοικοι της υπαίθρου, η απασχόληση των οποίων εξαρτάται από αγροτικές δραστηριότητες. Το μεγαλύτερο ποσοστό (90%) της παραγωγής τροφίμων προέρχεται από αγρότες μικρής κλίμακας (Abayomi-Alli et al., 2018).

Η ανάπτυξη συμβατικών συστημάτων άρδευσης στην Αφρική απέτυχε να προσφέρει βιωσιμότητα. Πολλά αρδευτικά προγράμματα παγιδεύονται σε έναν αρνητικό κύκλο ασύμφορης γεωργίας, έλλειψης επενδύσεων, υποβάθμισης υποδομών, με αποτέλεσμα μη βιώσιμη αξιοποίηση των πόρων, αναποτελεσματική χρήση νερού και γης και αυξημένες συγκρούσεις για την πρόσβαση σε αυτούς τους πόρους.

Οι περισσότερες αφρικανικές γεωργικές εκτάσεις επηρεάζονται από απρόβλεπτες βροχοπτώσεις, καθιστώντας την παραγωγή τροφίμων εποχιακή και ευάλωτη στην κλιματική αλλαγή. Μόνο το 6% των καλλιεργειών στην Αφρική (περίπου 32 εκατομμύρια στρέμματα) εκτιμάται ότι έχει πρόσβαση σε αξιόπιστη άρδευση, σε σύγκριση με το 37% στην Ασία.

Τα συμβατικά συστήματα πρέπει να μετατραπούν σε δίκαια και βιώσιμα συστήματα κι απαιτούνται επενδύσεις σε έξυπνες τεχνολογίες και σε ανθρώπινο δυναμικό. Σε ένα έργο, που χρηματοδοτήθηκε από το Αυστραλιανό Κέντρο Διεθνούς Αγροτικής Έρευνας αναπτύχθηκε σύστημα αισθητήρων εδάφους και νερού (Chameleon) για χρήση από μικροκαλλιεργητές σε όλο τον κόσμο. Αφρικανικές χώρες, που χρησιμοποιούν το σύστημα αυτό, περιλαμβάνουν το Μαλάουι, την Τανζανία, τη Μοζαμβίκη και τη Ζιμπάμπουε.

Οι πληροφορίες, που λαμβάνονται από το έξυπνο αυτό σύστημα, βοηθούν στη βαθύτερη κατανόηση της δυναμικής μεταξύ νερού και θρεπτικών συστατικών, η οποία επιτρέπει στους αγρότες να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κρίσιμη αλλαγή συμπεριφοράς και πρακτικής, που οδηγεί στην αποφυγή υπερβολικής άρδευσης, που μπορεί να εξαντλήσει τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους και στην αποφυγή σπατάλης πολύτιμων πόρων.

Έτσι, καθώς μεγιστοποιείται η υγεία των φυτών, αυξάνεται η απόδοση των καλλιεργειών και το εισόδημα των αγροτών, με αποτέλεσμα αυξημένη επισιτιστική ασφάλεια και ευημερία. Οι αγρότες έχουν δει έως και 30% αυξήσεις στις αποδόσεις των καλλιεργειών τους και μείωση κατά 30% στη χρήση νερού. Τα αποτελέσματα αυτά μείωσαν τις

συγκρούσεις και οδήγησαν σε αυξημένη προθυμία για συλλογική δράση (π.χ. συντήρηση συστήματος).

Τα έξυπνα προγράμματα άρδευσης συντελούν στην εξοικονόμηση νερού για μελλοντική χρήση σε περιόδους ξηρασίας. Ωστόσο, η νέα τεχνολογία απαιτεί εμπιστοσύνη από την πλευρά του αγρότη και εκπαίδευση. Οι μικροκαλλιεργητές πρέπει να πειστούν ότι μια επένδυση σε νέα τεχνολογία, όπως οι αισθητήρες άρδευσης, θα προσφέρει μακροπρόθεσμες ωθήσεις στις αποδόσεις και στα κέρδη.

Η ανάπτυξη ικανοτήτων και δεξιοτήτων, που βελτιώνονται μέσω της κατάρτισης υπήρξε σημαντική συνιστώσα του έργου. Με τη συνεχή έρευνα προκύπτουν πολύτιμα συμπεράσματα και μπορεί ν' αξιολογηθεί η ανάπτυξη της προσέγγισης και σε άλλες χώρες. Η διατήρηση συνεργασιών είχε ουσιαστική σημασία για όλα τα στάδια του έργου και υπήρξαν δεσμοί με πολλούς περιφερειακούς και εθνικούς εταίρους, που διευκόλυναν την υποστήριξη και την υλοποίησή του.

Οι δραστηριότητες του έργου με τη βελτίωση των θεσμών, την πρόσβαση σε φυσικούς πόρους, την οικονομική ευημερία και τη δράση στη λήψη αποφάσεων, με την ευαισθητοποίηση σχετικά με τις βιώσιμες πρακτικές άρδευσης και την αποδοτική χρήση νερού συμβάλλει στους ΣΒΑ 1, ΣΒΑ 2, ΣΒΑ 5, ΣΒΑ 6, ΣΒΑ 8, ΣΒΑ 10 και ΣΒΑ 16 (K-water & IWRA, 2018).

Με τη μελέτη αυτή αποδίδεται το πλαίσιο (τεχνολογία, θεσμοί, διαδικασίες), που απαιτείται, για να διασφαλιστεί η σωστή εφαρμογή της SWM. Χωρίς αυτό το πλαίσιο, η τεχνολογία SMW θα έχει μικρό πραγματικό αντίκτυπο.

#### **6.2.6. Chao Phraya (NA Ασία), Lake Victoria (Αν. Αφρική) και Volta Basin (Δ. Αφρική)**

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα αυξάνονται ανησυχητικά στις λεκάνες Chao Phraya (Ταϊλάνδη, ΝΑ Ασία), Lake Victoria (Αν. Αφρική) και Volta Basin (Δ. Αφρική) κι επιδεινώνουν τον κίνδυνο ξηρασίας και πλημμύρας στη νοτιοανατολική Ασία και την Αφρική τα τελευταία χρόνια.

Η λεκάνη του Chao Phraya στην Ταϊλάνδη υφίσταται συχνές καταστροφές από πλημμύρες λόγω της ταχείας αστικοποίησης και της μείωσης των περιοχών κατακράτησης πλημμυρών. Επιπλέον, η Μπανγκόκ είναι επιρρεπής σε πλημμύρες λόγω του χαμηλού

υψομέτρου της σε σχέση με τη θάλασσα και την καθίζηση της γης από την άντληση υπόγειων υδάτων. Το 2011, μια τροπική καταιγίδα, που διήρκεσε περισσότερο από πέντε μήνες, προκάλεσε σοβαρές πλημμύρες στην Μπανγκόκ, που επηρέασαν 13 εκατομμύρια ανθρώπους, προκαλώντας πάνω από 800 θανάτους (K-water & IWRA, 2018).

Στην ίδια περιοχή πολύ λίγες βροχοπτώσεις πέφτουν κατά την ξηρή περίοδο, προκαλώντας ξηρασίες. Σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων στην ξηρή περίοδο το 2015 μείωσαν τη δυνατότητα της Μπανγκόκ να παράσχει νερό στους κατοίκους της, ζητώντας από τους αγρότες να απέχουν από την άρδευση, προκαλώντας έτσι μεγάλες απώλειες στην αγροτική παραγωγή.

Η λεκάνη της λίμνης Βικτώρια επίσης, βάλλεται από πλημμύρες και ξηρασία. Οι πλημμύρες ποταμών είναι ο κυρίαρχος τύπος πλημμυρών στην Κένυα. Οι έντονες και απρόβλεπτες πλημμύρες στη λεκάνη αυτή έχουν επιπτώσεις, όπως μετακίνηση πληθυσμών, αύξηση νοσηρότητας και απώλεια περιουσιών, μέσω διαβίωσης και, σε ακραίες περιπτώσεις, ζωής. Τα φαινόμενα ξηρασίας επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, την υγεία των υδροβίων οικοσυστημάτων, την παραγωγή τροφίμων και υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Οι πλημμύρες και οι ξηρασίες είναι συχνό φαινόμενο και στη λεκάνη Βόλτα. Μεταξύ των χωρών της λεκάνης, η Γκάνα έχει τον μεγαλύτερο κίνδυνο. Μεγάλες πλημμύρες έχουν προκαλέσει την καταστροφή χιλιάδων εκταρίων γεωργικής γης και μια σοβαρή πλημμύρα το 2007 επηρέασε περισσότερους από 300.000 ανθρώπους, προκαλώντας 56 θανάτους. Σοβαρές ξηρασίες μεταξύ των ετών 2006 και 2007 προκάλεσαν ελλείψεις ενέργειας σε βιομηχανικούς κλάδους στην Γκάνα, επιδρώντας αρνητικά στην οικονομική σταθερότητα της περιοχής.

Για να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων στις λεκάνες αυτές, αναπτύχθηκε μεταξύ 2014-2018 το έργο Εργαλεία Διαχείρισης Πλημμύρας και Ξηρασίας (Flood and Drought Management Tools, FDMT), που χρησιμοποιεί την SWM. Το έργο αυτό περιλαμβάνει μια διαδικτυακή Πύλη με ελεύθερη πρόσβαση σε ένα σύνολο εφαρμογών για τη διαχείριση υδατικών πόρων.

Η πύλη Flood and Drought παρέχει δεδομένα βασισμένα σε δορυφόρους σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, που σχετίζονται με τον προσδιορισμό πλημμυρών και ξηρασίας και

πληροφορίες σχετικές με προσεγγίσεις σχεδιασμού, δείκτες νερού, εκτιμήσεις ξηρασίας, επίπεδα νερού σε λίμνες και ταμιευτήρες. Κάθε εφαρμογή ή εργαλείο μπορεί να εφαρμοστεί μεμονωμένα ή μαζί σε μια διαδικτυακή πλατφόρμα, που είναι διαθέσιμη σε οργανισμούς και χρήστες για την υποστήριξη του σχεδιασμού και της οικοδόμησης ανθεκτικότητας κατά των πλημμυρών και ξηρασιών. Έτσι οι αρχές είναι καλύτερα προετοιμασμένες για ακραία καιρικά φαινόμενα.

Οι προσεγγίσεις σχεδιασμού περιλαμβάνουν Διασυνοριακή Διαγνωστική Ανάλυση/Πρόγραμμα Στρατηγικής Δράσης (TDA/SAP), Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδάτων (IWM) και Σχέδια Ασφάλειας Υδάτων (WSPs). Η IWM σε επίπεδο λεκάνης υποστηρίζει τα WSPs σε τοπικό επίπεδο. Μέσω αυτής της προσέγγισης, η εφαρμογή καθοδηγεί τους χρήστες να προσδιορίσουν τους τρέχοντες και μελλοντικούς κινδύνους και να καθορίσουν μέτρα ελέγχου, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης της απόδοσης των μέτρων για κάθε κίνδυνο.

Η υλοποίηση του έργου υποβοηθήθηκε με τη συμμετοχή, την ανάπτυξη ικανοτήτων και την ανατροφοδότηση των ενδιαφερομένων καθ' όλη τη διάρκεια του έργου μέσω διαβουλεύσεων και εκπαιδεύσεων. Χρήστες από 42 διασυνοριακές λεκάνες απορροής από έξι ηπείρους χρησιμοποιούν την Πύλη κι έχουν πρόσβαση στα εργαλεία και τα δορυφορικά δεδομένα, που απαιτούνται για την υποστήριξη του προγραμματισμού τους.

Στα εμπόδια υλοποίησης του έργου συμπεριλαμβάνονται οι περιορισμένοι διατιθέμενοι πόροι και οι πολιτικές επιρροές, που παρεμπόδιζαν τη διεξαγωγή των διαβουλεύσεων. Επιπλέον, η μεθοδολογία δε μπορεί να προσαρμοστεί στις ειδικές τοπικές συνθήκες και τους στόχους κάθε παγκόσμιας διασυνοριακής λεκάνης, καθώς οι προτεραιότητες των τοπικών ενδιαφερομένων ποικίλουν σημαντικά. Για να είναι το έργο ευέλικτο, πρέπει να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών.

Τα δεδομένα και οι δυνατότητες διαχείρισης συμβάντων πλημμύρας και ξηρασίας συμβάλλουν στη διαθεσιμότητα νερού και τη μείωση της λειψυδρίας (ΣΒΑ 6). Επίσης ενδυναμώνει τους τοπικούς οργανισμούς να είναι καλύτερα ενημερωμένοι για τη διαχείριση των υδατικών πόρων τους. Το έργο FDMT ενισχύει επίσης την ασφάλεια και την ανθεκτικότητα πόλεων στο πλαίσιο του ΣΒΑ 11 και προστατεύει τη γη, που

διαφορετικά θα υποβαθμιζόταν από την επιπτώσεις φυσικών καταστροφών στα πλαίσια του ΣΒΑ 15.

Συμβάλλει επίσης στο ΣΒΑ 13 για τη βελτίωση της ανθρώπινης και θεσμικής ικανότητας μέσω της διαχείρισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, με τη συμμετοχή διεθνών και τοπικών οργανισμών και με τη διάδοση του έργου σε παγκόσμια κλίμακα ενισχύονται οι παγκόσμιες εταιρικές σχέσεις για τη βιώσιμη ανάπτυξη (ΣΒΑ 17).

Μετά την επιτυχή ανάπτυξη και εφαρμογή του έργου FDMT, προωθείται σε μια παγκόσμια πλατφόρμα, ώστε να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες διασυνοριακές λεκάνες.

### **6.2.7. Smart Water, Europe**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) είναι σθεναρά προσηλωμένη στην καταπολέμηση των περιβαλλοντικών προκλήσεων σε όλους τους τομείς. Ένα σημαντικό σημείο εστίασης έχει γίνει η λειψυδρία λόγω του μεταβαλλόμενου κλίματος, της αύξησης της ζήτησης, αλλά και των απωλειών στα δίκτυα διανομής νερού. Τα τελευταία πέντε χρόνια, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρηματοδοτεί συνεχώς διάφορα Έργα Έρευνας και Καινοτομίας, που σχετίζονται με τον τομέα της SWM. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω.

#### **6.2.7.1. Το Έργο «Έξυπνο Νερό για την Ευρώπη» (Smart Water for Europe, SW4EU)**

Στην Ευρώπη υπάρχουν περίπου 3.500.000 km δικτύων διανομής νερού. Οι επιχειρήσεις ύδρευσης αντιμετωπίζουν προκλήσεις, που σχετίζονται με την κατάσταση και τις επιδόσεις των δικτύων αυτών. Σε πολλές χώρες δεν τηρείται η ευρωπαϊκή οδηγία για την ποιότητα του πόσιμου νερού, όσον αφορά μικροβιολογικές και χημικές παραμέτρους, θέτοντας έτσι σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, οι υδατικοί πόροι δεν χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά. Ως επί το πλείστον, η διαχείριση των δικτύων διανομής νερού και των περιουσιακών στοιχείων δεν γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διαπιστώνονται υψηλά ποσοστά διαρροών, μη βέλτιστη διαχείριση πίεσης και περιουσιακών στοιχείων κι εκτιμάται ότι θα χρειαστούν 20 δισεκατομμύρια € ετησίως για την αναβάθμιση των δικτύων τα επόμενα 10 - 30 χρόνια.

Το έργο «Smart Water for Europe (SW4EU)» αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει τις ανησυχίες και τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Σύμπραξης Καινοτομίας (European Innovation Partnership, EIP) αναφορικά με τις προκλήσεις, που υφίστανται σήμερα οι επιχειρήσεις ύδρευσης. Ενώ η EIP απευθύνεται στις Ευρωπαϊκές ανησυχίες, οι στόχοι του

έργου σχετίζονται επίσης με το πλαίσιο των ΣΒΑ του ΟΗΕ και συγκεκριμένα με το ΣΒΑ 6 (καθαρό νερό και αποχέτευση), με το ΣΒΑ 7 (εξασφάλιση βιώσιμης ενέργειας για όλους), με το ΣΒΑ 9 (ανθεκτικές υποδομές και βιώσιμες βιομηχανίες), με το ΣΒΑ 11 (βιώσιμες πόλεις και κοινότητες), με το ΣΒΑ 12 (βιώσιμη κατανάλωση), με το ΣΒΑ 13 (δράση για το κλίμα) και υποστηρίζονται από την επιστήμη και τη δημόσια εκπαίδευση, όπως αναφέρεται στο ΣΒΑ 4 (K-water & IWRA, 2018).

Με το έργο SW4EU υλοποιήθηκαν ολοκληρωμένες λύσεις SWM για δίκτυα διανομής νερού σε τέσσερις χώρες της Ευρώπης, και συγκεκριμένα στη Friesland της Ολλανδίας, στο BurGos της Ισπανίας, στο Reading (κοιλάδα Τάμεση) της Αγγλίας και στο Πανεπιστήμιο της Lille στη Γαλλία, για την αντιμετώπιση προκλήσεων, που αφορούσαν την ποιότητα του νερού, την ανίχνευση διαρροών, την ενεργειακή βελτιστοποίηση και την αλληλεπίδραση με τον πελάτη, καθώς τα ζητήματα αυτά έχουν αναγνωριστεί ως οι τομείς, που προκαλούν τη μεγαλύτερη ανησυχία στα δίκτυα διανομής νερού στην Ευρώπη.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μέσω της SWM και της χρήσης κατάλληλων αισθητήρων εξασφαλίζεται αξιόπιστος έλεγχος της ποιότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο και έγκαιρη λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση διαφόρων συμβάντων, μειώνοντας έτσι τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Απαιτούνται ωστόσο περισσότερες δοκιμές στο πλαίσιο διαφορετικών συνθηκών, προκειμένου να δημιουργηθεί μια αξιόπιστη βάση δεδομένων.

Για την ανίχνευση διαρροών αναπτύχθηκαν αρκετοί αλγόριθμοι ανάλυσης δεδομένων σε κλίμακα DMA για την προληπτική διαχείριση διαρροών. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει α) ανίχνευση τυχόν αποκλίσεων των προτύπων ροής, β) διάκριση γεγονότων (π.χ. διαρροές, ρήξεις σωλήνων) από προβλέψιμες αλλαγές κατανάλωσης νερού (π.χ. αλλαγές καιρού, αργίες κ.λπ.) και γ) παρακολούθηση διακύμανσης της MNF για ανίχνευση αλλαγών σε κλίμακα DMA (Farah & Shahrou, 2017).

Αναπτύχθηκαν επίσης εργαλεία για την ενεργειακή βελτιστοποίηση, που απεικονίζουν μέσω μιας πλατφόρμας GIS τις περιοχές, όπου η πίεση είναι χαμηλότερη ή μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Η εστίαση σε τομείς με υψηλή ζήτηση, δίνει ευκαιρίες για βελτιστοποίηση της ζήτησης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους, όπως το ισοζύγιο ζήτησης-προσφοράς. Επιπλέον με την ανάπτυξη εκπαιδευτικών παιχνιδιών και μέτρων αλληλεπίδρασης πελατών προωθείται η ευαισθητοποίηση του κοινού για την εξοικονόμηση νερού.

Το έργο SW4EU παρέχει μια εξαιρετική πλατφόρμα για την ανάπτυξη των καινοτόμων και ολοκληρωμένων έξυπνων λύσεων, που τέθηκαν σε εφαρμογή. Η πλατφόρμα και η διάδοση των αποτελεσμάτων του έργου συμβάλει σημαντικά στη διευκόλυνση της υιοθέτησης των έξυπνων λύσεων από την αγορά και στην ανταπόκριση των προκλήσεων. Ήδη η επιτυχία του έργου οδήγησε σε μια σημαντική επένδυση επέκτασης από την επαρχία Friesland της Ολλανδίας σε μια κατά 5 φορές μεγαλύτερη περιοχή και αναμένεται να ακολουθήσουν περισσότερες επιχειρήσεις ύδρευσης.

Με εκτιμώμενο δυναμικό εξοικονόμησης περίπου 10 δισεκατομμυρίων ευρώ ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο, η SWM προσφέρει τεράστιες δυνατότητες. Με το έργο αυτό αποδεικνύεται ότι τα έξυπνα δίκτυα ύδρευσης εκτός από οικονομικά οφέλη, συμβάλλουν επίσης σε καλύτερη και αξιόπιστη απόδοση των υπηρεσιών, ασφάλεια, βιωσιμότητα, αλλά και στη διαδραστική συμμετοχή των καταναλωτών, όσον αφορά τη διαχείριση της ζήτησης νερού. Τα οφέλη αυτά θα ενισχύσουν τη θέση τους στο μέλλον και θα συμβάλουν σε μια ανθεκτική στρατηγική του δικτύου πόσιμου νερού σε σχέση με την κλιματική αλλαγή, την αύξηση του πληθυσμού και την προστασία από την τρομοκρατία και τις φυσικές καταστροφές. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη οι ευρωπαϊκές κυβερνήσεις και οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας να υποστηρίξουν την καινοτομία και να ενσωματώσουν λύσεις ΤΠΕ στη διαχείριση συστημάτων πόσιμου νερού (K-water & IWRA, 2018).

Το έργο αυτό απέδειξε τις υψηλές δυνατότητες της SWM για τη σημαντική εξοικονόμηση πόρων και τη βελτίωση της αποδοτικότητάς τους κι αναμένεται, ότι η κοινή χρήση των αποτελεσμάτων θα συμβάλει στη συμμετοχή των επιχειρήσεων ύδρευσης και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής στην επιτάχυνση της ανάπτυξής της.

#### **6.2.7.2. Smart Water Management Platform (SWAMP)**

Το έργο Smart Water Management Platform (SWAMP) ξεκίνησε το 2017 για την αντιμετώπιση του προβλήματος της χρήσης νερού στη γεωργία (Heideker et al., 2020). Πρόκειται για μια ιδέα έξυπνου συστήματος με σκοπό τη βελτιστοποίηση της άρδευσης υψηλής ακρίβειας, της διανομής νερού και της κατανάλωσης στον τομέα της γεωργίας.

Η πλατφόρμα SWAMP παρέχει μηχανισμούς για την απόκτηση δεδομένων από ετερογενείς αισθητήρες και τη λήψη αποφάσεων χρησιμοποιώντας μια ποικιλία διαφορετικών τεχνικών. Χρησιμοποιεί μεθόδους και προσεγγίσεις, που βασίζονται στο

IoT, για την έξυπνη διαχείριση του νερού στον τομέα της άρδευσης ακριβείας και τις εφαρμόζει σε τέσσερα μέρη με διαφορετικά χαρακτηριστικά και προκλήσεις, δύο στην Ευρώπη (Ιταλία και Ισπανία) και δύο στη Βραζιλία.

Τα τέσσερα αυτά πιλοτικά συστήματα SWAMP, αν και βασίζονται σε παρόμοιες τεχνικές λύσεις, ασχολούνται με διαφορετικές καλλιέργειες και έχουν διαφορετικούς κύριους στόχους (Kleinschmidt et al., 2019). Συγκεκριμένα:

α) Το Consorzio di Bonifica Emilia Centrale (CBEC), στη Μπολόνια της Ιταλίας, μια κοινοπραξία υπεύθυνη για την άρδευση, όπου το νερό διανέμεται μέσω μιας περίπλοκης υποδομής (3500 km καναλιών, δεκάδες αντλιοστάσια). Κύριος στόχος είναι η βελτιστοποίηση της διανομής νερού στις καλλιέργειες των μελών της κοινοπραξίας, με βάση την πραγματική ζήτηση εξοικονομώντας νερό και ενέργεια.

β) Το Intercrop στη Cartagena της Ισπανίας, που αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις, καθώς πρόκειται για μια ξηρή περιοχή και το νερό, που απαιτείται για την άρδευση, προέρχεται από μια μονάδα αφαλάτωσης. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η ορθολογική χρήση του νερού στην άρδευση, η παρακολούθηση της οποίας επιτυγχάνεται με τη χρήση drones και η μεγιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών.

γ) Η Matoriba στη Βραζιλία, μια ιδιαίτερα ξηρή περιοχή, εστιάζει στη χρήση και αξιολόγηση στροφείων με άρδευση μεταβλητού ρυθμού (Variable Rate Irrigation, VRI) σε καλλιέργειες (σόγια, καλαμπόκι, βαμβάκι) με κύριο στόχο την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας. Η πρακτική των VRI παρέχει την ίδια απόδοση με μείωση της κατανάλωσης νερού και ενέργειας σε ποσοστό 30% - 50% ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, γεγονός που βελτιώνει τη συνολική παραγωγή.

δ) Το Guaspari, ένα οινοποιείο στη Βραζιλία, χρησιμοποιεί στάγδην άρδευση στην καλλιέργεια οινοποιήσιμων σταφυλιών, και πραγματοποιεί αυτόματη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους σε διαφορετικά βάθη παρέχοντας γρήγορες και ακριβείς πληροφορίες διαχείρισης της άρδευσης με κύριο στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του κρασιού.

Αν και η πανδημία COVID-19 επηρέασε σημαντικά τα σχέδια του έργου περιορίζοντας τις πραγματικές δοκιμές, οι λύσεις SWAMP απέδειξαν τις δυνατότητές τους. Με την ανάπτυξη του IoT τα οφέλη είναι πολλά και ιδιαίτερα σημαντικά, όπως η εξοικονόμηση νερού και



ενέργειας, αποτελεσματική άρδευση, αυξημένη απόδοση καλλιεργειών, αποφυγή μετακίνησης θρεπτικών ουσιών, βελτίωση ποιότητας τελικού προϊόντος, λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον η πλατφόρμα SWAMP μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικά συστήματα SWAMP σύμφωνα με τις ανάγκες των πιλοτικών εγκαταστάσεων, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές χώρες, κλίμα, έδαφος και καλλιέργειες.

Η υιοθέτηση του IoT στη γεωργία, παρά τις ευκαιρίες, φέρνει και αρκετές προκλήσεις ασφάλειας με σοβαρές και μη αναστρέψιμες ζημιές στις καλλιέργειες. Η πλατφόρμα SWAMP πρέπει να παρέχει το απόρρητο των δεδομένων, ασφάλεια, εμπιστευτικότητα, ακεραιότητα, διαθεσιμότητα υλικού και λογισμικού και έλεγχο ταυτότητας για να διατηρείται η σωστή λειτουργία της. Η διαθεσιμότητα των πόρων και το ενδιαφέρον των αγροτών είναι επίσης παράγοντες, που πρέπει να συνεκτιμηθούν στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων.

#### **6.2.7.3. Το Έργο «Ευφυή Δίκτυα Νερού» (SmartWater2020)**

Οι επιχειρήσεις ύδρευσης στην Κύπρο και την Κρήτη, εξαιτίας του νησιώτικου χαρακτήρα τους, αντιμετωπίζουν προβλήματα, που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή, τη λειψυδρία, το κόστος αφαλάτωσης, καθώς και διαρροές σε ποσοστό 15-25%. Με έξυπνες λύσεις μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση πόρων και διασφάλιση της βιωσιμότητάς τους.

Το έργο «Ευφυή Δίκτυα Νερού» (SmartWater2020) αναφέρεται στην ανάπτυξη έξυπνης παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο του δικτύου τεσσάρων επιχειρήσεων ύδρευσης σε αυτά τα νησιά. Σκοπός του έργου είναι η έγκαιρη ανίχνευση διαρροών και ζητημάτων ποιότητας νερού και ο έλεγχός τους, καθώς και η αποτελεσματική ρύθμιση της πίεσης μέσω της ανάπτυξης έξυπνων τεχνολογιών (π.χ. αισθητήρες, έξυπνοι μετρητές, κ.α.) (Tzagkarakis et al., 2020).

Η διαδικτυακή πλατφόρμα, που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο αυτό, διερευνά τη δυνατότητα των επιχειρήσεων ύδρευσης για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του δικτύου τους. Συγκεκριμένα αξιοποιεί μεθοδολογίες για την ανάλυση του μεγάλου όγκου δεδομένων, ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση του δικτύου, η έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων, με σκοπό την καλύτερη διαχείρισή του.

Οι πιο πάνω γενικοί και επιμέρους στόχοι είναι άμεσα συνυφασμένοι με τους ΣΒΑ 6 (βιώσιμη διαχείριση νερού), ΣΒΑ1 (ενίσχυση διαθεσιμότητας νερού), ΣΒΑ 9 (ανθεκτικές και βιώσιμες υποδομές), αλλά και με το στόχο του Προγράμματος αναφορικά με την προώθηση καινοτόμων τεχνολογιών για την βελτίωση της προστασίας του περιβάλλοντος και της αποδοτικότερης χρήσης των υδατικών πόρων.

Η βιομηχανία ύδατος της Ευρώπης βρίσκεται σε δράση για να οδηγήσει τον κόσμο σ' ένα ταξίδι προς εξυπνότερα δίκτυα ύδρευσης. Με έμφαση στη μέτρηση, τη διαχείριση διαρροών και την ενεργειακή απόδοση, οι ευρωπαϊκές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας βελτιστοποιούν τις λειτουργίες του δικτύου μέσω μιας σειράς νέων λύσεων υλικού και λογισμικού.

#### **6.2.8. Smart Water Alliance Network Forum**

Επιπλέον των παραπάνω έργων, για να προωθηθεί η παγκόσμια ανάπτυξη δικτύων νερού, καθιστώντας τα δίκτυα πιο αποτελεσματικά και βιώσιμα, αναπτύχθηκε το Smart Water Alliance Network Forum (SWAN Forum), το οποίο συγκεντρώνει βασικούς παράγοντες της βιομηχανίας νερού. Τα μέλη του περιλαμβάνουν επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, παρόχους τεχνολογίας, μηχανικές και συμβουλευτικές εταιρείες, ακαδημαϊκούς και επενδυτές από 22 χώρες (Cahn, 2014). Ευθυγραμμίζοντας τους ηγέτες του κλάδου και τους συμμετέχοντες, το SWAN Forum έχει τη δυνατότητα να μοιράζεται τη διαφορετική εμπειρία των μελών του, να αναπτύσσει τη δική του έρευνα και να διαμορφώνει βιομηχανικά πρότυπα.

Για την αξιολόγηση της απόδοσης των επιχειρήσεων ύδρευσης χρησιμοποιείται το SWAN SMART SCORE. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα για σύγκριση της βαθμολογίας με άλλα βοηθητικά προγράμματα στην ίδια γεωγραφική περιοχή, αλλά και σε άλλες. Η κατανόηση και η αξιοποίηση των βέλτιστων πρακτικών από άλλα βοηθητικά προγράμματα ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους, δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης δικτύων ύδρευσης με βελτιωμένη αποδοτικότητα και βιωσιμότητα. Η αξιολόγηση μπορεί να είναι χρήσιμη για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, μόλις ξεκινήσουν το ταξίδι τους στην SWM, καθώς και για εκείνες, που έχουν ήδη υιοθετήσει έξυπνες τεχνολογίες.

Η SWAN αναπτύσσει επίσης το SWAN Interactive Architecture Tool, για την εξερεύνηση έξυπνων τεχνολογιών νερού. Οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να δουν, πώς διασυνδέονται

διαφορετικά στοιχεία τεχνολογίας, να πλοηγούνται σε διαδραστικά αρχιτεκτονικά διαγράμματα, καθώς και σχετικές μελέτες περιπτώσεων και αναλύσεις ωφελειών (Cahn, 2014).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο πλαίσιο της επιταχυνόμενης αστικοποίησης και της κλιματικής αλλαγής δημιουργούνται κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις, μια από τις οποίες αφορά την αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων. Ως βασικός πόρος για τη ζωή, το νερό συχνά θεωρείται δεδομένο, σα να υπάρχει άφθονο για κάθε αξίωση χρήσης, όμως οι πόροι του γλυκού νερού σε πολλές χώρες υπόκεινται σε μεγάλη πίεση. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά των υδατικών πόρων και η πολυπλοκότητα της χρήσης νερού έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη διαμόρφωση της διαχείρισης των υδάτων, η αποτελεσματικότητα της οποίας έχει βαρύνουσα σημασία για τη στήριξη τόσο της βραχυπρόθεσμης όσο και της μακροπρόθεσμης λήψης αποφάσεων, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του παρόντος καθώς και του μέλλοντος.

Στη σημερινή ολοκληρωμένη παγκόσμια οικονομία, οι καινοτομίες στην τεχνολογία έχουν δημιουργήσει μια πολύτιμη ευκαιρία για την αντιμετώπιση της πίεσης των υδάτων και την προστασία της αειφόρου ανάπτυξης μέσω της ασφάλειας των υδάτων (Su et al., 2020).

Η έξυπνη διαχείριση υδάτων (SWM) χρησιμοποιεί Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), καθώς επίσης δεξιότητες και εξοπλισμό υψηλής τεχνολογίας, για την εξ' αποστάσεως παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, που βοηθούν στον αυτοματοποιημένο έλεγχο των υδάτων, παρέχοντας τη βάση για μια αποτελεσματική και βιώσιμη προσέγγιση στη διαχείρισή τους (Su et al., 2020).

Η SWM μπορεί να βελτιώσει τη λήψη αποφάσεων, την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και τη συνολική βιωσιμότητα των συστημάτων ύδρευσης με ολιστική διαχείριση, ευαισθητοποίηση και συμμετοχή των ενδιαφερομένων, δίκαιη κατανομή των υδατικών πόρων, διαφάνεια στο σύστημα, επαρκή επένδυση και κατάλληλη τεχνολογία. Η SWM παράγει οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη και αναμένεται να επιλύσει προκλήσεις αειφορίας, όπως η μείωση των διαρροών, η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης νερού, η διασφάλιση της ποιότητας του νερού, η βελτίωση της πρόσβασης στο νερό και η εξασφάλιση της ανθεκτικότητας των πόρων με το χαμηλότερο περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος, συμβάλλοντας στην άνεση, την ασφάλεια και την ευημερία των κοινοτήτων.

Αν και υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες στην εφαρμογή της SWM και στην επίτευξη των ΣΒΑ, υπάρχουν και πολλές προκλήσεις, που έχουν σημειωθεί στο ερευνητικό πεδίο, μέχρι τώρα, που πρέπει να συνυπολογισθούν στο μέλλον από τους υπευθύνους λήψης αποφάσεων και από τους ερευνητές. Οι καινοτομίες, οι πολιτικές, η διακυβέρνηση, η χρηματοδότηση και τα κίνητρα, η γνώση και η εκπαίδευση, ο συλλογικός σχεδιασμός, καθώς και οι κυβερνοεπιθέσεις, είναι μερικές από τις πιο σημαντικές, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, προκειμένου να αναπτυχθούν κατάλληλα και αποτελεσματικά έξυπνα έργα διαχείρισης υδάτων.

Οι καινοτομίες στον τομέα των ΤΠΕ είναι αποτέλεσμα ενός πολύπλοκου και συνεχώς μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος και προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η βιωσιμότητα των συστημάτων SWM είναι απαραίτητη η τυποποίηση και η ανάπτυξη βέλτιστων πρακτικών, που μπορεί να χρησιμεύσουν ως οδηγός διαχείρισης κινδύνου, επιτρέποντας την στρατηγική εφαρμογή τους.

Οι πολιτικές επίσης, είναι ένας παράγοντας, που μπορεί να ενθαρρύνει ή να παρεμποδίσει την ανάπτυξη συστημάτων SWM. Οι πολιτικές πρέπει να αναπτυχθούν μετά από σαφή έρευνα σε μια δεδομένη χώρα. Οι συνεκτικές διατομεακές πολιτικές και η σωστή διακυβέρνηση είναι απαραίτητες για την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα συστημάτων SWM.

Η χρηματοδότηση και τα κίνητρα επηρεάζουν επίσης την ανάπτυξη συστημάτων SWM. Οι κυβερνήσεις δεν έχουν κινητοποιήσει πλήρως τη συμμετοχή του κοινού στο έργο SWM, ούτε παρέχουν περισσότερα κίνητρα για χρηματοδότηση και έρευνα. Είναι απαραίτητη η δράση και η συμμετοχή της κυβέρνησης και του κοινού, καθώς μαζί μπορούν να δημιουργήσουν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη συστημάτων SWM.

Η γνώση και η σωστή εκπαίδευση αποτελούν επίσης σημαντικές πτυχές. Πολλές χώρες, αν και γνωρίζουν ότι η τεχνολογία είναι αρωγός, δεν έχουν απαραίτητα συνείδηση του ρόλου, που μπορούν να διαδραματίσουν οι ΤΠΕ στη διαχείριση των υδάτων ή της χρησιμότητάς τους, και άλλες χώρες, αν και έχουν πρόσβαση στην τεχνολογία, δεν την αξιοποιούν. Με την εκπαίδευση και τη γνώση, δημιουργούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την υποστήριξη πολιτικής, την ανάπτυξη και την εφαρμογή συστημάτων SWM.

Εξάλλου, η SWM ως σύνθετο διεπιστημονικό έργο χρειάζεται τη συνεργασία του ακαδημαϊκού τομέα, των εταιρειών ύδρευσης και των κυβερνήσεων, οι οποίοι με τον κατάλληλο σχεδιασμό θα βοηθήσουν τον τομέα των υδάτων να κινηθεί προς ένα πιο έξυπνο μέλλον. Προκειμένου να επιτραπεί συλλογικός σχεδιασμός, ικανός να διασφαλίζει βιώσιμη ανάπτυξη, πρέπει να αντιμετωπιστούν εμπόδια, που περιλαμβάνουν διαφορές στη γλώσσα και τους ορίζοντες σχεδιασμού, έλλειψη θεσμικών εντολών και μηχανισμών και έλλειψη κατάλληλης κατανομής οικονομικών και ανθρώπινων πόρων.

Εξαιρετικά σημαντικό είναι και το έγκλημα στον κυβερνοχώρο, που έχει γίνει τακτική στην παγκόσμια πολιτική στη σημερινή εποχή και οι έξυπνες πόλεις διατρέχουν έναν ολοένα μεγαλύτερο κίνδυνο να αποτελέσουν στόχο τέτοιων κακόβουλων επιθέσεων. Το γεγονός αυτό καθιστά την κρυπτογράφηση των δεδομένων, που μεταδίδονται μέσω του δικτύου, απαραίτητη για τη διατήρηση της ακεραιότητας του πλαισίου της λήψης αποφάσεων στον τομέα των υδάτων με σκοπό την ολοκληρωμένη και επιτυχή διαχείρισή τους.

Η ανάπτυξη SWM μπορεί να βελτιωθεί και ξεπερνώντας τις παραπάνω προκλήσεις, να διασφαλιστεί η αποτελεσματική αντιμετώπιση των παγκόσμιων ζητημάτων νερού. Η προσέγγιση SMW είναι μια σχετικά νέα ιδέα και στο πλαίσιο της παγκοσμιοποίησης, η ανταλλαγή γνώσεων και η συνεργασία μεταξύ των χωρών, θα βοηθήσει την ανάπτυξή της. Η κοινή χρήση των ευκαιριών και των προκλήσεων της SWM υποστηρίζει όλους τους ενδιαφερόμενους να κατανοήσουν καλύτερα τις προϋποθέσεις και τα εμπόδια για την επιτυχή υλοποίηση αντίστοιχων έξυπνων έργων.

Επιπλέον, καθώς οι έξυπνες λύσεις στον τομέα των υδάτων εξελίσσονται, εντείνεται η σημασία των κοινών προτύπων και πρακτικών, που μπορούν να ενθαρρύνουν τη διεθνή ανάπτυξη έργων SWM και να συνεχίσουν την πρόοδό της. Με σωστό συντονισμό, τυποποίηση, συμμετοχή και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, μπορούν να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν εργαλεία, προϊόντα και συστήματα SWM, δημιουργώντας μια τεράστια ποσότητα ευκαιριών στη διαχείριση των υδάτων.

Η SWM έχει ήδη φτάσει μακριά σε σύντομο χρονικό διάστημα και μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο στις αναπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες περιοχές. Καθώς οι τεχνολογίες αναπτύσσονται, η υιοθέτηση έργων SWM θα συνεχίσει να αυξάνεται, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις στις προκλήσεις του τομέα των υδάτων, συμβάλλοντας

στην ολοκληρωμένη διαχείρισή τους κι επομένως στη βιώσιμη ανάπτυξη. Η έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στην καινοτομία, την ευελιξία και την μείωση της πολυπλοκότητας. Στο εγγύς μέλλον η SWM θα γίνει πιο έξυπνη, πιο αποδοτική, πιο οικονομική.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παροχή βιώσιμης πρόσβασης στο νερό αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις και θα γίνει ακόμα μεγαλύτερη στο μέλλον. Η εντατική αστικοποίηση, που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, θέτει σε υψηλό κίνδυνο τους υφιστάμενους υδατικούς πόρους και επιδεινώνει τις πιέσεις, που συνδέονται με την ταχεία αύξηση του πληθυσμού και την αβεβαιότητα, που προκαλείται από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι προκλήσεις και οι απαιτήσεις, που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους, θα μπορούσαν να υπονομεύσουν σοβαρά την ικανότητα των πόλεων για την επίτευξη αστικής ανάπτυξης, κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων και απαιτούνται βιώσιμες πολιτικές, στρατηγικές και πρακτικές.

Οι μέθοδοι διαχείρισης των υδάτων, που χρησιμοποιούνταν συνήθως, δεν μπόρεσαν να ανταπεξέλθουν στις πιέσεις των υδάτων. Με την πρόοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας, η SWM παρέχει αυτή τη δυνατότητα. Η SWM ουσιαστικά είναι ένας σχεδιασμός συστήματος, που εξασφαλίζει τη διαχείριση του νερού με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα από την πηγή έως την τελική χρήση. Σε αυτήν τη διαδικασία, εφαρμόζονται έξυπνες τεχνολογίες, με τις οποίες η μέτρηση, η παρακολούθηση και ο έλεγχος των υδάτων μπορεί να γίνει εξ' αποστάσεως σε πραγματικό χρόνο με χαμηλότερο κόστος και με μεγαλύτερα έσοδα.

Οι έξυπνες τεχνολογίες οδηγούν σε έναν έξυπνο πράσινο πλανήτη. Η ενσωμάτωση του IoT, η διαχείριση μεγάλων δεδομένων και η τεχνητή νοημοσύνη στα πλαίσια των έξυπνων πόλεων, έχουν ήδη επιφέρει πολλά οφέλη, κυρίως όμως μπορούν να προωθήσουν την ποιότητα ζωής και να βοηθήσουν δραστικά την ανθρωπότητα με βιώσιμες λύσεις.

Η έξυπνη τεχνολογία εφαρμόζεται κυρίως στη διαχείριση των αστικών υδάτων. Αν και οι πόλεις καλύπτουν μόλις το 2% της επιφάνειας του πλανήτη, περισσότερο από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού έχει εγκατασταθεί σε αυτές. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, πραγματοποιήθηκε μια σειρά πιλοτικών εφαρμογών, που αποτελούν τα πρώτα έξυπνα δίκτυα ύδρευσης, που επιτρέπουν την υιοθέτηση πιο αποτελεσματικών και βιώσιμων προσεγγίσεων στη διαχείριση των αστικών υδάτων.

Η ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων διαχείρισης υδάτων προάγει τη βιωσιμότητα, κυρίως μέσω της ανίχνευσης διαρροών, παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων σε



πραγματικό χρόνο και πρόβλεψη της ζήτησης νερού, αλλά και μέσω άλλων εφαρμογών, όπως για παράδειγμα τη διαχείριση των ομβρίων υδάτων και της άρδευσης. Αποδεικνύεται σαφώς ότι ολοκληρωμένα, σε απευθείας σύνδεση συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, βασισμένα σε συνεχή παρακολούθηση παραμέτρων ποσότητας και ποιότητας του νερού, μπορούν να βοηθήσουν τις επιχειρήσεις ύδρευσης να διαχειριστούν καλύτερα τις παλαιωμένες υποδομές, να αυξήσουν την ποιότητα και την απόδοση των υπηρεσιών, και τους χρήστες να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση νερού και να υιοθετήσουν φιλικές προς το περιβάλλον συμπεριφορές.

Η SWM είναι μια έξυπνη βιώσιμη λύση, που μπορεί να αντιμετωπίσει την επιδείνωση της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας στη διαθεσιμότητα νερού και πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω τόσο από ερευνητές όσο και από φορείς χάραξης πολιτικής, που πρέπει να διαθέτουν τα απαραίτητα εργαλεία και δεξιότητες, που συνάδουν με την πολυπλοκότητα των υδατικών προκλήσεων. Απαιτείται επίσης ένα ευνοϊκό περιβάλλον, που θα βελτιώνει το συντονισμό μεταξύ διαφόρων επιστημόνων και ερευνητών και την ανάπτυξη πολύπλευρων καινοτόμων λύσεων, στοιχεία θεμελιώδη για την επιτυχή εφαρμογή SWM και για την αντιμετώπιση των φυσικών, κοινωνικών, πολιτικών και οικονομικών πτυχών των προκλήσεων, που σχετίζονται με το νερό, και τη χάραξη μελλοντικών οδών προς πιο βιώσιμα, ανθεκτικά και δίκαια συστήματα ύδρευσης.

Η πολιτική υποστήριξη είναι ιδιαίτερα απαραίτητη στη μακροπρόθεσμη και επιτυχημένη ανάπτυξη έργων SWM. Ένας καλός σχεδιασμός για τη διαχείριση των υδάτων πρέπει να ανταποκρίνεται στο πλαίσιο ενός συνολικού σχεδιαστικού οράματος και να εφαρμόζεται ως μέρος ευρύτερων στρατηγικών προσεγγίσεων. Οι προσπάθειες σε αυτόν τον τομέα πρέπει να συντονιστούν και να δημιουργηθούν συνέργειες σε όλη την επικράτεια σε διάφορους τομείς και ενδιαφερόμενα μέρη, που εμπλέκονται στη διαχείριση των υδάτων, η ευαισθητοποίηση των οποίων είναι κρίσιμος παράγοντας για τη βιώσιμη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. Η ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών, βέλτιστων πρακτικών, προτύπων και πολιτικών στο πλαίσιο της SWM διασφαλίζει την ακεραιότητα, τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα και προωθεί την ασφάλεια των υδάτων.

Η SWM μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στον μετασχηματισμό των πόλεων ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών σε έξυπνες και βιώσιμες πόλεις, εάν υπάρχουν επαρκείς πολιτικές στον σχεδιασμό και την εφαρμογή της, αυστηρή

διακυβέρνηση και ευρεία συμμετοχή των ενδιαφερομένων. Μπορεί επίσης να διασφαλίσει, ότι η ανάπτυξη μιας πόλης δεν θα επιτευχθεί εις βάρος των υδατικών πόρων, μέσω παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, βελτιωμένης λήψης αποφάσεων και βελτιωμένης απόδοσης και παροχής υπηρεσιών.

Οι έξυπνες πόλεις του μέλλοντος οφείλουν να παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε νερό υψηλής ποιότητας για όλους τους πολίτες. Η SWM και ο αυτοματοποιημένος έλεγχος μέσω της τεχνολογίας υπόσχονται τη διασφάλιση της ποσότητας του νερού, τη διασφάλιση της ποιότητας του νερού και επομένως τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. Η SWM μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση του οράματος για ασφαλές, καθαρό νερό για όλους.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abayomi-Alli O. et al., (2018). Smart-Solar Irrigation System (SMIS) for Sustainable Agriculture. In: Florez H., Diaz C., Chavarriaga J. (eds). Applied Informatics. ICAI 2018. Communications in Computer and Information Science, vol 942. Springer, Cham.
- Abella A., Ortiz-de-Urbina-Criado M., & De-Pablos-Heredero C. (2015). Information reuse in smart cities' ecosystems. *El profesional de la información*, 24(6), 838-844.
- Aboelnga T., El-Naser H., Ribbe L., & Frechen B., (2020). Assessing Water Security in Water-Scarce Cities: Applying the Integrated Urban Water Security Index (IUWSI) in Madaba, Jordan. *Water*, 12(5), 1299.
- Adedeji B., Nwulu I., & Clinton A., (2019). IoT-Based Smart Water Network Management: Challenges and Future Trend. 2019 IEEE AFRICON.
- Afifi M., Abdelkader F., & Ghoneim A., (2018). An IoT system for continuous monitoring and burst detection in intermittent water distribution networks. 2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE).
- Akre V., Giankova V., (2019). Smart City Facilitation Framework (SCFF) and the Case of Dubai Smart City. International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE), Amity University Dubai, UAE.
- Albino V., Berardi U., & Dangelico M., (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3-21.
- Ali A., Khan M., Bolong N., Maarof A., & Tanalol H., (2020). Conceptual and design framework for smart stormwater filtration. 2020 IEEE 2nd International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAJET).
- Allam Z., Dhunny A., (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities*, 89, 80-91.
- Allan C., Curtis A., Stankey G., Shindler B., (2008). Adaptive Management and Watersheds: A Social Science Perspective. *JAWRA*, 44, 166-174.
- Allan V., Kenway J., Head W., (2018). Urban water security - what does it mean? *Urban Water J.* 15 (9), 899-910.
- Alliance for Water Eciency. Smart Metering Introduction. Obtained on 12 August 2015, from Alliance for Water Eciency.
- Almheiri Z., Meguid M., Zayed T., (2020). An Approach to Predict the Failure of Water Mains Under Climatic Variations. *Int. J. Geosynth. Ground Eng.*, 6, 1-16.
- Al-Saidi M., (2017). Conflicts and security in integrated water resources management. *Environ Sci Pol* 73:38-44.

- Alshehri M., Bhardwaj A., Kumar M., Mishra S., & Gyani J., (2021). Cloud and IoT based smart architecture for desalination water treatment. *Environmental Research*, 195, 110812.
- Anand R., Choudhary M., (2020). Water Quality Monitoring for Horticulture and Aquaculture. In: Pandian A., Ntalianis K., Palanisamy R. (eds) *Intelligent Computing, Information and Control Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1039. Springer, Cham.
- Anand S. & Ramesh M., (2021). Multi-Layer Architecture and Routing for Internet of Everything (IoE) in Smart Cities. *Sixth International Conference on Wireless Communications. IEEE*, 411-416.
- Aoun C., (2013). *The Smart City Cornerstone: Urban Efficiency*. Schneider Electric White Paper.
- Askarizadeh A., Rippey A., Fletcher D., Feldman L., Peng J. et al., (2015). From Rain Tanks to Catchments: Use of Low-Impact Development to Address Hydrologic Symptoms of the Urban Stream Syndrome. *Environ. Sci. Technol.*, 49 (19), 11264-11280.
- Aspacher M., Alam B. (2020). Stormwater Best Management Practices: Green Infrastructure in Rural Communities. In: Patnaik S., Sen S., Mahmoud M. (eds) *Smart Village Technology. Modeling and Optimization in Science and Technologies*, vol 17. Springer, Cham.
- Ayaz M., Ahammad-uddin M., Sharif Z., Mansour A., & Aggoune M., (2019). Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: Towards Making the Fields Talk. *IEEE Access*, 1-1.
- Bach M., Rauch W., Mikkelsen S., McCarthy T., Deletic A., (2014). A critical review of integrated urban water modelling-Urban drainage and beyond. *Environ. Model. Softw.*, 54, 88-107.
- Barron J., Deletic A., Jung J., Fowdar H., Chen Y., Hatt E., (2019). Dualmode Stormwater-greywater Biofilters: The Impact of Alternating Water Sources on Treatment Performance. *Water Research* 159: 521-537.
- Bartram J., Corrales I., Davison A., Deere D., Drury D., Gordon B., Howard G., Rinehold A., Stevens M., (2009). *Water Safety Plan Manual: Step-by-Step Risk Management for Drinking-Water Suppliers*. World Health Organization, Geneva.
- Beal D., Flynn J., (2015). Toward the digital water age: Survey and case studies of Australian water utility smart-metering programs. *Utilities Policy*, 32, 29-37.
- Bechtsis D., Tsolakis N., Vlachos D., Srai S., (2018). Intelligent Autonomous Vehicles in digital supply chains: A framework for integrating innovations towards sustainable value networks. *J. Clean. Prod.*, 181, 60-71.
- Behmel S., Damour M., Ludwig R., Rodriguez J. (2016). Water quality monitoring strategies. A review and future perspectives. *Science of The Total Environment*, 571, 1312-1329.

Bennion H., Battarbee R., (2007). The european union water framework directive: opportunities for palaeolimnology, *J. Paleolimnol.* 38 (2), 285-295.

Berg V., Danilenko A. (2011). The international benchmarking network for water and sanitation utilities databook. In *The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Bluebook*; World Bank: Washington, DC, USA.

Blecken T., Hunt W., Al-Rubaei M., Viklander M., Lord W., (2017). Stormwater Control Measure (SCM) Maintenance Considerations to Ensure Designed Functionality. *Urban Water Journal* 14 (3): 278-290.

Blessy J., Kumar A. (2021). Smart Irrigation System Techniques using Artificial Intelligence and IoT. *Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*.

Booth D., (1991). Urbanization and the natural drainage system-impacts, solutions, and prognoses. *Northwest Environ. J* 7:93-116 Environmental Protection Agency (EPA), 2017. Nonpoint source: agriculture.

Boulos F., (2017). Smart Water Network Modeling for Sustainable and Resilient Infrastructure. *Water Resources Management*, 31(10), 3177-3188.

Bragalli C., Neri M., Toth E., (2018). Effectiveness of smart meter-based urban water loss assessment in a real network with synchronous and incomplete readings. *Environmental Modelling & Software*.

Burns J., Fletcher D., Duncan P., Hatt E., Ladson R., Walsh J., (2015). The Performance of Rainwater Tanks for Stormwater Retention and Water Supply at the Household Scale: An Empirical Study. *Hydrological Processes* 29 (1): 152-160.

Cahn A., (2014). An overview of smart water networks. *Journal - American Water Works Association*, 106 (7), 68-74.

Cambra C., Sendra S., Lloret J., García L., (2017). An IoT Service-Oriented System for Agriculture Monitoring. In *Proceedings of the IEEE ICC, SAC Symposium Internet of Things Track*, Paris, France.

Canales-Ide F., Zubelzu S., Rodríguez-Sinobas L., (2019). Irrigation systems in smart cities coping with water scarcity: The case of valdebebas, Madrid (Spain). *Journal of Environmental Management*, 247, 187-195.

Canter L., (1985). *River water quality monitoring*. Lewis Publishers, Inc., Chelsea.

Carpenter F., Vallet B., Pelletier G., Lessard P., A. Vanrolleghem P., (2014). Pollutant Removal Efficiency of a Retrofitted Stormwater Detention Pond. *Water Quality Research Journal of Canada (IWA Publishing)* 49 (2): 124-134.

Cassidy N., Blenkinsopp P., Brown I., Curry J., Murrin N., Webb R., Cox D., (2021). Single Ion Implantation of Bismuth. *Physica Status Solidi*, 218 (1), 2170010.

Celino I., Kotoulas S., (2013). Smart Cities [Guest editors' introduction]. *IEEE Internet Computing*, 17 (6), 8-11.

Central Ground Water Board (CGWB), (2017). Ministry of Water Resources, River Development and Ganga Rejuvenation, Government of India.

Chaurasia K., Yunus A., Singh M., (2020). An Overview of Smart City: Observation, Technologies, Challenges and Blockchain Applications. In: Singh D., Rajput N. *Blockchain Technology for Smart Cities*. Blockchain Technologies. Springer, Singapore.

Chen Y., Han D., (2018). Water quality monitoring in smart city: A pilot project. *Automation in Construction*, 89, 307-316.

Choi W., Chong Y., Kim J., Ryu S., (2016). SWMI: new paradigm of water resources management for SDGs. *Smart Water* 1(1).

Chourabi H., Nam T., Walker S., Gil-Garcia R., Mellouli S., Nahon K., et al., (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. *Proceedings of the annual Hawaii international conference on system sciences* (pp. 2289-2297).

Cook C., Bakker K., (2012). Water security: Debating an emerging paradigm, *Global Environmental Change*, 22, 94-102.

Cosgrove J., Rijsberman R., (2000). *World water vision: Making water everybody's business*. London: Earthscan for the World Water Council.

Dameri P., Ricciardi F., (2017). Leveraging Smart City Projects for Benefitting Citizens: The Role of ICTs. *Springer Optimization and Its Applications*, 111-128.

Daniell A., Rinaudo J., Chan W., Nauges C., Grafton Q., (2015). Understanding and managing urban water in transition. In: Grafton Q., Daniell A., Nauges C., Rinaudo J., Chan W. (Eds.), *Understanding and Managing Urban Water in Transition*. Global Issues in Water Policy 15. Springer, Dordrecht, pp. 1-30.

Deng A., Xie R., Gomez M., Adin A., Ong N., Hu J., (2014). Impact of pH level and magnesium addition on corrosion of re-mineralized seawater reverse osmosis membrane (SWRO) product water on pipeline materials. *Desalination*, 351, 171-183.

Depuru R., Wang L., Devabhaktuni V., (2011). Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2736-2742.

Dilling L., Prakash A., Zommers Z., Ahmad F., Singh N. et al., (2019). Is adaptation success a flawed concept? *Nature Climate Change*, 9(8), 572-574.

Ding K., Ghosh S., (2017). *Sustainable Water Management. A Strategy for Maintaining Future Water Resources*. Encyclopedia of Sustainable Technologies, University of Technology Sydney, Ultimo, NSW, Australia.

- Divya R., Chinnaiyan R., (2018). Reliable AI-Based Smart Sensors for Managing Irrigation Resources in Agriculture - A Review. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 263-274.
- Dondeynaz C., Mainardi P., Carmona-Moreno C., Leone A., (2009). A web based communication and information system tool for water management in developing countries, 34th WEDC International Conference, Addis Ababa, Ethiopia.
- Dong J., Wang G., Yan H., Xu J., Zhang X., (2015). A survey of smart water quality monitoring system. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7), 4893-4906.
- Dou P., Zuo S., Ren Y., Rodriguez M., Dai S., (2021). Refined water security assessment for sustainable water management: A case study of 15 key cities in the Yangtze River Delta, China. *Journal of Environmental Management* 290, 112588.
- Duffy M., (2013). *Innovative Solutions in the Water Industry: Leak Detection*. White paper, American Water, Voorhees, New Jersey.
- Dunbabin M., Marques L., (2012). Robots for environmental monitoring: significant advancements and applications, *IEEE Robot. Autom. Mag.* 19 (2012) 24-39.
- Dutt S., Punniakotty P., (2021). Sustainable Water Management: Smart Solutions for Equity in Vellore Municipal Corporation. In: Thirumaran K., Balaji G., Prasad D. (eds). *Sustainable Urban Architecture. Lecture Notes in Civil Engineering*, 114. Springer, Singapore.
- Eichhorn M., Taubert R., Ament C., Jacobi M., (2013). Modular AUV system for Sea Water Quality Monitoring and Management, *MTS/IEEE OCEANS - Bergen*, IEEE, pp. 1-7.
- Elabdine L., (2018). *Drinking Water Management in smart cities*. University of Boudiaf - M' Sila.
- Elliott H., Spigel H., Jowett G., Shankar U., Ibbitt P., (2010). Model Application to Assess Effects of Urbanisation and Distributed Flow Controls on Erosion Potential and Baseflow Hydraulic Habitat. *Urban Water Journal* 7 (2): 91-107.
- Emelko B., Silins U., Bladon D., Stone M., (2011). Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for "source water supply and protection" strategies. *Water Research* 45(2), 461-472.
- Endo A., Tsurita I., Burnett K., Orencio M., (2017). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. *J Hydrol* 11:20-30.
- Fabbiano L., Vacca G., Dinardo G., (2020). Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks. *Measurement*, 151, 107260.
- Falkenmark M., Lundquist J., Widstrand C., (1989). Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural Resources Forum* 13 (4), 258-267.
- Fang S., Huang L., Wan Y., Sun W., Xu J., (2020). Outlier detection for water supply data based on joint auto-encoder. *Comput. Mater. Continua (CMC)* 64 (1), 541-555.

Fanner V., Sturm R., Thornton J., Liemberger R., Davis E., Hoogerwerf T., (2007). Leakage management technologies. Denver CO: American Water Works Association (AWWA) Research Foundation.

Fantozzi M., Popescu I., Farnham T., Archetti F., Mogre P., Tsouchnika E., Chiesa C., Tsertou A., Gama C., Bimpas M., (2014). ICT for efficient water resources management: The ICeWater energy management and control approach. *Procedia Eng.*, 70, 633-640.

Farah E., Shahrour I., (2017). Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow Water Resour. *Manage*, 31:4821-4833.

Farley M., (2001). Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Fayomi G., Mini S., Fayomi O., Mbonu C., Udoeye N., (2019). Sustainable Smart City and its Promising Urban Value: An Overview. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 331, 012046.

Fierro-Chacon A., Torres-Tello J., (2019). Fuzzy Logic That Determines Sky Conditions as a Key Component of a Smart Irrigation System. Sixth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG).

Flörke M., Schneider C., McDonald I., (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nat. Sustain.*, 1, 51-58.

Gallopin C., (2012). Global water futures 2050 - Five stylized scenarios, UNESCO, Paris.

García L., Parra L., Jimenez M., Lloret J., Lorenz P., (2020). IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*, 20(4), 1042.

García L., (2021). Architecture and communication protocol to monitor and control water quality and irrigation in agricultural environments. Universitat Politècnica de Valencia.

Geetha S., Gouthami S. (2016). Internet of things enabled real time water quality monitoring system. *Smart Water*, 2(1).

Giffinger R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R., Pichler-Milanović N., Meijers E., (2007). Smart Cities: Ranking of European medium-sized Cities. Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology, Vienna, Austria.

Gilpin A., Barrett M., (2014). Interim Report on the Retrofit of an Existing Flood Control Facility to Improve Pollutant Removal in an Urban Watershed. In *World Environmental and Water Resources Congress 2014*: 65-74.

Gimpel H., Graf-Drasch V., Hawlitschek F., Neumeier K., (2021). Designing smart and sustainable irrigation: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128048.



Giudicianni C., Herrera M., di Nardo A., Carravetta A., Ramos M., Adeyeye K., (2019). Zero-net energy management for the monitoring and control of dynamically-partitioned smart water systems. *Journal of Cleaner Production*, 119745.

Global Water Intelligence (GWI), (2011). SWAN's Way-In Search of Lost Water. 12:6.

Global Water Partnership (GWP), (2000). *Towards Water Security: A Framework for Action*. Global Water Partnership, Stockholm, Sweden.

Goap A., Sharma D., Shukla K., Rama Krishna C., (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 41-49.

Gondchawar N., Kawitkar R., (2016). IoT based smart agriculture. *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng*, 5, 838-842.

Gude G., (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Rev Environ Sci Biotechnol* 16, 591-609.

Gunnarsdottir J., Gardarsson M., Figueras J., Puigdomènech C., Juárez R., Saucedo G., Hunter P., (2019). Water safety plan enhancements with improved drinking water quality detection techniques. *Science of The Total Environment*, 134185.

Gupta A., Kulat D., (2018). A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System. *Water Resour. Manage.* 32, 3247-3269.

Gwenzi W., Dunjana N., Pisa C., Tauro T., Nyamadzawo G., (2015). Water Quality and Public Health Risks Associated with Roof Rainwater Harvesting Systems for Potable Supply: Review and Perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology* 6: 107-118.

Gye W., Yoi C., Sae Jin K., Tae S., (2016). SWMI: new paradigm of water resources management for SDGs, Smart water.

Habib Abdullah M., Niharul Haque M., Alamgir M., (2015). Performance study of filler materials used in anaerobic baffled reactor. *Global Journal of Human-Social Science*, vol. 15, no. 2, pp. 25-29.

Haddeland I., Heinke J., Biemans H., Eisner S., Flörke M., Hanasaki N., (2014). Global water resources affected by human interventions and climate change *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 111 (9) pp. 3251-3256.

Hamami L., Nassereddine B., (2020). Application of wireless sensor networks in the field of irrigation: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105782.

Hartley K., Kuecker G., (2020). The moral hazards of smart water management. *Water International*, 1-9.

Hassija V., Chamola V., Saxena V., Jain D., Goyal P., Sikdar B., (2019). A survey on IoT security: Application areas, security threats, and solution architectures. *IEEE Access* 7, 82721-82743.

Hawlder, (2020). IOT in healthcare: 20 IoMT for better smart healthcare [Online]. Available: <https://www.fossguru.com/iot-in-healthcare-iomt-for-better-smart-healthcare>

Heaton J., Parlikad K., (2019). A conceptual framework for the alignment of infrastructure assets to citizen requirements within a Smart Cities framework. *Cities*, Volume 90, Pages 32-41.

Heinke J., Müller C., Lannerstad M., Gerten D., Lucht W., (2019). Freshwater resources under the success and failure of the Paris Climate Agreement. *Earth Syst. Dynam.*, 10, 205-217.

Herrera M., Wright R., Giudicianni C., Di Nardo A., Izquierdo J., (2018). Complex network multiresolution for optimal sensor placement in big urban infrastructures. *Artificial Intelligence Research and Development: Current Challenges, New Trends and Applications* 308, 74-78.

Hidaka E., Jasperse J., Kolar R., Williams P., (2011). Collaboration platforms in smarter water management. *IBM, J Res Dev* 55(1&2):157-167.

Hoekstra Y., Buurman J., van Ginkel C., (2018). Urban water security: A review. *Environ Res Lett* 13(5):053002.

Hope R., Thomas M., (2012). *Smart Water Systems Phase II: Progress Report*, 1 Project R5737.

Hubbart A., (2020). *Integrated Water Resources Research: Advancements in Understanding to Improve Future Sustainability*. *Water*, 12(8), 2208.

International Council for Science (ICSU), (2017). *A Guide to SDG Interactions: from Science to Implementation*, edited by: Griggs J., Nilsson M., Stevance A., McCollum D., International Council for Science, Paris.

International Telecommunication Union, ITU, (2014). *Partnering for solutions: ICTs in Smart Water Management*. Switzerland, Geneva.

ISO (International Organization for Standardization), 24512 (2007). *Activities Relating to drinking water and wastewater services-guidelines for the management of drinking water utilities and for the assesment of drinking water services*.

Jadaliha M., Choi J., (2013). Environmental monitoring using autonomous aquatic robots: sampling algorithms and experiments, *IEEE Trans. Control Syst. Technol.* 21, 899-905.

Jain S., Singh V., (2010). Water crisis. *Journal of Comparative Social Welfare*, 26 (2-3), 215-237.

Jan F., Min-Allah N., Düştegör D., (2021). IoT Based Smart Water Quality Monitoring: Recent Techniques, Trends and Challenges for Domestic Applications. *Water*, 13(13), 1729.

Jensen O., Nair S., (2019). *Integrated Urban Water Management and Water Security: A Comparison of Singapore and Hong Kong*. *Water*, 11(4), 785.

Jepson W., Budds J., Eichelberger L., Harris L., Norman E., O'Reilly K., Pearson A., Shah S., Shinn J., Staddon C., Stoler J., Wutich A., Young S., (2017). Advancing human capabilities for water security: A relational approach. *Water Security* 1:46-52.

Jiang J., Tang S., Han D., Fu G., Solomatine D., Zheng Y., (2020). A comprehensive review on the design and optimization of surface water quality monitoring networks. *Environmental Modelling & Software*, 104792.

Jiong J., Jayavardhana G., Slaven M., Marimuthu P., (2014), An information framework of creating a smart city through Internet of Things. *IEEE Internet Things J.* 1 (l. 2), pp112-121.

Johar R., Bensenouci A., Benesenouci M., (2018). IoT based Smart Sprinkling System. In *Proceedings of the 15th Learning and Technology Conference, Jeddah, Saudi Arabia.*

Kawarkhe B., Agrawal S., Corresponding I., (2019). Smart Water Monitoring System Using IOT at Home. *IOSR J. Comput. Eng.*, 21, 14-19.

Keiser D., Shapiro J., (2018). Consequences of the clean water act and the demand for water quality, *Q. J. Econ.* 134 (1), 349-396.

Kellner E., Hubbart J., Ikem A., (2015). A comparison of forest and agricultural shallow groundwater chemical status a century after land use change. *Sci. Total. Environ.*, 529, 82-90.

Kerkez B., Gruden C., Lewis M., Montestruque L., Quigley M., Wong B., Bedig A., Kertesz R., Braun T., Cadwalader O., Poresky A., Pak C., (2016). Smarter stormwater systems. *Environ. Sci. Technol.* 50, 7267-7273.

Keys W., Porkka M., Wang-Erlandsson L., Fetzer I., Gleeson T., Gordon L.J., (2019). Invisible water security: moisture recycling and water resilience. *Water Secur.* 8, 100046.

Kézai K., Fischer S., Lados M., (2020). Smart Economy and Startup Enterprises in the Visegrád Countries-A Comparative Analysis Based on the Crunchbase Database. *Smart Cities*, 3(4), 1477-1494.

Khan R., Khan S., Zaheer R., Khan S., (2012). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. *Proceedings of the 2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, 257-260.

Khan Z., Anjum A., Kiani L., (2013). Cloud based big data analytics for smart future cities. *Proceedings of the 2013 IEEE/ACM 6th international conference on utility and cloud computing*, IEEE Computer Society, 381-386.

Khan J., Deere D., Leusch L., Humpage A., Jenkins M., Cunliffe D., (2015). Extreme weather events: Should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? *Water Research*, 85, 124-136.

Kirshen P., Vogel M., Rogers L., (2004). Challenges in Graduate Education in Integrated Water Resources Management. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 130, 185-186.

Koduru S., Padala R., Padala P., (2018). Smart Irrigation System Using Cloud and Internet of Things. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 195-203.

Komninos N., Kakderi C., Mora L., Panori A., Sefertzi E., (2021). Towards High Impact Smart Cities: a Universal Architecture Based on Connected Intelligence Spaces. *Journal of Knowledge Economy*.

Koo M., Han H., Jun S., Lee G., Yum T., (2021). Smart Water Grid Research Group Project: An Introduction to the Smart Water Grid Living-Lab Demonstrative Operation in YeongJong Island, Korea. *Sustainability*, 13(9), 5325.

Kouchi H., Esmaili K., Faridhosseini A., Sanaeinejad H., Khalili D., Abbaspour C., (2017). Sensitivity of Calibrated Parameters and Water Resource Estimates on Different Objective Functions and Optimization Algorithms. *Water*, 9(6), 384.

Krishnamurti R., Biswas K., Wang H., (2012). Modeling water use for sustainable urban design. School of Architecture, Pittsburgh, PA.

Kumar H., Singh K., Gupta P., Madaan J. (2019a). Moving towards smart cities: Solutions that lead to the Smart City Transformation Framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 119281, ISSN 0040-1625.

Kumar V., Firoz M., Bimal P., Harikumar P., Sankaran, P., (2019b). Smart Water Management for Smart Kozhikode Metropolitan Area. *Advances in 21st Century Human Settlements*, 241-306.

Kumar S., Yadav S., Yashaswini M., Salvi S., (2019c). An IoT-based smart water microgrid and smart water tank management system. In *Proceedings of the Advances in Intelligent Systems and Computing*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, Volume 906, pp. 417-431.

Kumar M., Deka J., Kumari O., (2020). Development of Water Resilience Strategies in the context of climate change, and rapid urbanization: a discussion on vulnerability mitigation. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100308.

K-water - IWRA, (2018). Smart water management. Case study report. Deajeon, Korea.

Lakshmikantha V., Hiriyannagowda A., Manjunath A., Patted A., Basavaiah J., Anthony A., (2021). IoT based Smart Water Quality Monitoring System. *Global Transitions Proceedings*.

Laksiri R., Dharmagunawardhana C., Wijayakulasooriya V., (2019). Design and Optimization of IoT Based Smart Irrigation System in Sri Lanka. 14th Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS).

Lalle Y., Fourati M., Fourati C., Barraca P., (2021). Communication technologies for Smart Water Grid applications: Overview, opportunities, and research directions. *Computer Networks*, 190, 107940.

Lee W., Sarp S., Jeon J., Kim H., (2015). Smart water grid: the future water management platform. *Desalin. Water Treat.* 55, 339-346.

- Li Y., Zhu M., Li J., (2009). Evaluation method of urban water security assurance capability for emergency rescue based on similarity measure of Vague sets. *J. Hydraul. Eng.*, 40 (5): 608-613, 622.
- Li Z., Zhang B., Wang Y., Chen F., Taib R., Whiffin V., Wang Y., (2013). Water pipe condition assessment: A hierarchical beta process approach for sparse incident data. *Mach. Learn.*, 95, 11-26.
- Li J., Bao S., Burian S., (2019). Real-time data assimilation potential to connect micro-smart water test bed and hydraulic model. *H2Open J.*, 2, 71-82.
- Li J., Yang X., Sitzenfrei R., (2020a). Rethinking the Framework of Smart Water System: A Review. *Water*, 12 (2), 412.
- Li X., Wang T., Sun H., Xu N., Bao F., (2020b). Strengthening monitoring and supervision of water supply utilities in rural areas: Research and practices. *China Water Resour.*, 5, 15-17.
- Liemberger R., Marin P. et al., (2006). The challenge of reducing non-revenue water in developing countries—how the private sector can help: A look at performance-based service contracting.
- Liu A., Giurco D., Mukheibir P., (2015). Motivating metrics for household water-use feedback. *Resour. Conserv. Recycl.* 103, 29-46.
- Liu J., Wu Z., Yu J., (2016). Design and implementation of a robotic dolphin for water quality monitoring, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), IEEE, pp. 835-840.
- Loubet P., Roux P., Loiseau E., Bellon-Maurel V., (2014). Life cycle assessments of urban water systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Water Res.*, 67, 187-202.
- Lund V., Borup M., Madsen H., Mark O., Arnbjerg-Nielsen K., Mikkelsen S., (2019). Integrated Stormwater Inflow Control for Sewers and Green Structures in Urban Landscapes. *Nature Sustainability* 2 (11): 1003-1010.
- Maiolo M., Palermo A., Brusco C., Pirouz B., Turco M., Vinci A., ... Piro P., (2020). On the Use of a Real-Time Control Approach for Urban Stormwater Management. *Water*, 12(10), 2842.
- Makarigakis A, Jimenez-Cisneros B., (2019). UNESCO's contribution to face global water challenges. *Water* 11(2):388.
- Malhotra A., Saini S., Kale V., (2017). Automated irrigation system with weather forecast integration. *Int. J. Eng. Technol. Manag. Appl. Sci.*, 5, 179-184.
- Manouseli D., Kayaga M., Kalawsky R., (2019). Evaluating the Effectiveness of Residential Water Efficiency Initiatives in England: Influencing Factors and Policy Implications. *Water Resour. Manag.*, 33, 2219-2238.
- Marques R., Carvalho P., Pires J., Fontainhas A., (2016). Willingness to pay for the water supply service in Cape Verde-How far can it go? *Water Supply*, 16, 1721-1734.

Masseroni D., Arbat G., de Lima P., (2020). Editorial-Managing and Planning Water Resources for Irrigation: Smart-Irrigation Systems for Providing Sustainable Agriculture and Maintaining Ecosystem Services. *Water*, 12(1), 263.

Meehl G., Hu A., Santer B., Xie S., (2016). Contribution of the Interdecadal Pacific Oscillation to twentieth-century global surface temperature trends. *Nature Clim Change* 6, 1005-1008.

Meng T., Hsu D., (2019). Stated preferences for smart green infrastructure in stormwater management. *Landscape and Urban Planning*, 187, 1-10.

Mi L., Zhang X., Chen C., Wang J., (2014). Iron stability in desalinated seawater in municipal drinking water distribution systems. *J. Tsinghua Univ. (Sci. Technol.)*, 54, 1333-1338.

Middleton R., Barrett E., (2008). Water Quality Performance of a Batch-Type Stormwater Detention Basin. *Water Environment Research* 80 (2): 172-178.

Morales R., Bodkhe P., Kolte M., (2016). Intelligent irrigation systems for Farms. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*.

Mounce R., Pedraza C., Jackson T., Linford P., Boxall B., (2015). Cloud Based Machine Learning Approaches for Leakage Assessment and Management in Smart Water Networks. *Procedia Engineering*, 119, 43-52.

Mukherjee S., Mishra A., Trenberth E., (2018). Climate Change and Drought: A Perspective on Drought Indices. *Curr. Clim. Chang. Rep.*, 4, 145-163.

Muschalla B., Vallet F., Anctil P., Lessard G., Pelletier P., Vanrolleghem A., (2014). Ecohydraulic-driven Real-time Control of Stormwater Basins. *Journal of Hydrology* 511: 82-91.

Mutchek M., (2013). Moving Towards Sustainable and Resilient Smart Water Grids: Networked Sensing and Control Devices in the Urban Water System. Arizona State University.

Mutchek M., Williams E., (2014). Moving Towards Sustainable and Resilient Smart Water Grids. *Challenges*, MDPI, Open Access Journal, vol. 5(1), pages 1-15, 123-137.

Nazemi A., Madani K., (2018). Urban water security: Emerging discussion and remaining challenges. *Sustainable Cities and Society*, 41, 925-928.

Nguyen A., Stewart A., Zhang H., Sahin O., Siriwardene N., (2018). Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics. *Environ. Model. Softw.*, 101, 256-267.

NHMRC (National Health and Medical Research Council) (2011). Australian drinking water guidelines paper 6 national water quality management strategy. National Resource Management Ministerial Council, Commonwealth of Australia, Canberra, pp 5-7.

Niedbalski S., Cos V., (2015). Risk assessment in drinking water supplies of Sweden and Latvia. An overview within the Water Safety Plan framework. Master of Science Thesis in

the Master's Programme Infrastructure and Environmental Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Water Environment Technology, Chalmers University of Technology, Göteborg.

Oberascher M., Zischg J., Palermo A., Kinzel C., Rauch W., Sitzenfrei R., (2019). Smart Rain Barrels: Advanced LID Management through Measurement and Control. Paper Presented at the UDM2018. Cham.

Ortega-Ballesteros A., Manzano-Agugliaro F., Perea-Moreno A., (2021). Water Utilities Challenges: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 13(14), 7726.

Pahl-Wostl C., Gupta J., Bhaduri A., (2016). Water security: A popular but contested concept. In *Handbook on Water Security*; Edward Elgar Publishing: Cheltenham, U.K., Chapter 1, pp. 1-16.

Pahl-Wostl C., (2020). Adaptive and sustainable water management: from improved conceptual foundations to transformative change. *International Journal of Water Resources Development*, 1-19.

Patnaik S., Sen S., Mahmoud S., (2020). Smart Village Technology. Modeling and Optimization in Science and Technologies. Chapter 12, *Water Loss Management Through Smart Water Systems*.

Paucar G., Diaz R., Viani F., Robol F., Polo A., Massa A., (2015). Decision support for smart irrigation by means of wireless distributed sensors. *IEEE 15th Mediterranean Microwave Symposium (MMS)*.

Penteado C., Olivatti Y., Lopes G., Rodrigues P., Filev R., Aquino T., (2018). Water leaks detection based on thermal images. *2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*.

Perera C., Zaslavsky A., Christen P., Georgakopoulos D., (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things. *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.* 25(1), 81- 93.

Piro P., Turco M., Palermo A., Principato F., Brunetti G., (2019). A Comprehensive Approach to Stormwater Management Problems in the Next Generation Drainage Networks. In *Internet of Things for Smart Urban Ecosystems*, Springer: Cham, Switzerland, pp. 275-304.

Pornillos H., Billones O., Leonidas D., Reyes A., Esguerra J., Bolima P., Concepcion R., (2020). Smart Irrigation Control System Using Wireless Sensor Network Via Internet-of-Things. *IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*.

Prasad N., Mamun A., Islam R., Haqva H., (2015). Smart water quality monitoring system. *2nd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE)*.

Ramos M., McNabola A., López-Jiménez A., Pérez-Sánchez M., (2019). Smart Water Management towards Future Water Sustainable Networks. *Water*, 12(1), 58.

- Rao P., Saluia P., Sharma N., Mittal A., Sharma V., (2012). Cloud computing for internet of things and sensing based applications. In: 2012 Sixth International Conference Sensing Technology (ICST), IEEE.
- Rediana R., Pharmasetiawan B., (2017). Designing a business model for smart water management system with the smart metering system as a core technology: Case study: Indonesian drinking water utilities. 2017 International Conference on ICT For Smart Society (ICISS).
- Rhea L., Jarnagin T., Hogan D., Loperfido V., Shuster W., (2015). Effects of Urbanization and Stormwater Control Measures on Streamflows in the Vicinity of Clarksburg, Maryland, USA. *Hydrological Processes* 29 (20): 4413-4426.
- Richards G., Schultz W., (2020). Get Smart About Water Conservation. *Journal - American Water Works Association*, 112(7), 75-77.
- Rocher V., (2018). Smart water management - Case Report. International water resources association. K-water, Deajeon, Korea, 34350.
- Roeger A., Tavares F., (2018). Water safety plans by utilities: a review of research on implementation. *Util. Policy* 53, 15-24.
- Saab C., Shahrour I., Hage Chehade F., (2019). Risk Assessment of Water Accidental Contamination Using Smart Water Quality Monitoring. *Exposure and Health*.
- Sadler M., Goodall L., Behl M., Bowes D., Morsy M., (2020). Exploring real-time control of stormwater systems for mitigating flood risk due to sea level rise. *Journal of Hydrology*, 583, 124571.
- Sánchez S., Oliveira-Esquerre P., dos Reis Nogueira B., de Jong P., Filho A., (2020). Water Loss Management Through Smart Water Systems. In: Patnaik S., Sen S., Mahmoud M. (eds) *Smart Village Technology. Modeling and Optimization in Science and Technologies*, vol 17. Springer, Cham.
- Sankaran V., Chopra A., (2020). Creating Global Sustainable Smart Cities (A Case Study of Masdar City). *Journal of Physics: Conference Series* 1706, Amity University, Dubai.
- Saravanan K., Julie G., Robinson H., (2019). *Smart Cities & IoT: Evolution of Applications, Architectures & Technologies, Present Scenarios & Future Dream, Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation* pp 135-151.
- Scott A., Meza J., Varady G., Tiessen H., McEvoy J., Garfin M., Wilder M., Farfán M., Pablos P., Montaña E., (2013). Water security and adaptive Management in the Arid Americas. *Ann Assoc Am Geogr.* 103(2): 280-289.
- Sena P., Porika S., Gopalachari M., (2021). A Mining Framework for Efficient Leakage Detection and Diagnosis in Water Supply System. In: Kumar A., Mozar S. (eds), *ICCCE. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 698. Springer, Singapore.
- Sensus, (2013). *Water 20/20: Bringing Smart Water Networks into Focus*, Raleigh, N.C.



Setegn G., (2015a) Water Resources Management for Sustainable Environmental Public Health. In: Setegn S., Donoso M. Sustainability of Integrated Water, Resources Management, Springer, Cham.

Setegn G., (2015b) Introduction: Sustainability of Integrated Water Resources Management (IWRM). In: Setegn S., Donoso M. Sustainability of Integrated Water Resources Management, Springer, Cham.

Shahra Q., Wu W., Romano M., (2019). Considerations on the Deployment of Heterogeneous IoT Devices For Smart Water Networks. IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation.

Shahra E., Wu W., (2019). Dynamic water quality sensor placement using metaheuristic algorithm on water distribution system. School of Computing, Engineering and Built Environment, Birmingham City University Birmingham, United Kingdom.

Sharma H., Haque A., Blaabjerg F., (2021). Machine Learning in Wireless Sensor Networks for Smart Cities: A Survey. Electronics, 10, 1012.

Sharvelle S., Dozier A., Arabi M., Reichel B., (2017). A geospatially-enabled web tool for urban water demand forecasting and assessment of alternative urban water management strategies. Environ. Model. Softw., 97, 213-228.

Shishegar S., Duchesne S., Pelletier G., (2019). An Integrated Optimization and Rule-based Approach for Predictive Real Time Control of Urban Stormwater Management Systems. Journal of Hydrology, 124000.

Shishegar S., Duchesne S., Pelletier G., Ghorbani R., (2021). A smart predictive framework for system-level stormwater management optimization. Journal of Environmental Management, 278, 111505.

Shivani B., Sai S., Shreya B., Abhishek P., Vijay N., (2020). Smart Irrigation System: A Review. Broad Band Capacitive Coupling Antenna for C-Band Applications, Springer, Singapore.

Silva N., Khan M., Han K., (2017). Internet of Things: A Comprehensive Review of Enabling Technologies, Architecture, and Challenges. IETE Technical Review, 35(2), 205-220.

Singh M., Ahmed S., (2020). IoT based smart water management systems: A systematic review. Materials Today: Proceedings.

Sitzenfrei R., Kleidorfer M., Meister M., Burger G., Urich C., Mair M., Rauch W., (2014). Scientific computing in urban water management. In G. Hofstetter, Computational Engineering (1st ed., pp. 173-193).

Siokas G., Tsakanikas A., Siokas E., (2021). Implementing smart city strategies in Greece: Appetite for success. Cities, 108, 102938.

- Snidder B., McBean A., (2020). Watermain breaks and data: The intricate relationship between data availability and accuracy of predictions. *Urban Water J.*, 17, 163-176.
- Sonderlund A., Smith J., Hutton C., Kapelan Z., (2014). Using smart meters for household water consumption feedback: knowns and unknowns. *Procedia Eng*, 89, 990-997.
- Stewart A., Nguyen K., Beal C., Zhang H., Sahin O., Bertone E., Vieira S., Castelletti A., Cominola A., Giuliani M. et al. (2018). Integrated intelligent water-energy metering systems and informatics: Visioning a digital multi-utility service provider. *Environ. Model. Softw.*, 105, 94-117.
- Su Y., Gao W., Guan D., Zuo T., (2020). Achieving Urban Water Security: a Review of Water Management Approach from Technology Perspective. *Water Resources Management*, Springer Nature B.V., 34: 4163-4179.
- Sullivan M., (2009). Lets Build a smarter planet: Smarter Water Management. 5th National Drinking Water Symposium.
- Sun Z., Di L., (2021). A Review of Smart Irrigation Decision Support Systems. 9th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), 978 (1), Shenzhen, China.
- Susrnitha A., Alakananda T., Apoorva L. Ramesh K., (2017). Automated Irrigation System using Weather Prediction for Efficient Usage of Water Resources. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 225, No.1, p. 012232). IOP Publishing.
- Suzuki L., (2017). Smart cities IoT: enablers and technology road map. *Rassia S., Pardalos P., Smart City Networks, Springer Optimization and Its Applications*, vol. 125, Springer, Cham.
- Szum K., (2021). IoT-based smart cities: a bibliometric analysis and literature review. *Engineering Management in Production and Services*, 13(2), 115-136.
- Tadokoro H., Onishi M., Kageyama K., Kurisu H., Takahashi S., (2011). Smart water management and usage systems for society and environment. *Hitachi Rev.*, 60, 164-171.
- Taji S., Saraf V., Regulwar D., (2021). Smart Rain Water Harvesting for Smart Cities. *Smart City Development, Studies in Systems*, 308, Cham.
- Tejada-Guibert A., (2015). Integrated Water Resources Management (IWRM) in a Changing World. *Sustainability of Integrated Water Resources Management*, 65-85.
- Telci T., Nam K., Guan J., Aral M., (2009). Optimal water quality monitoring network design for river systems, *J Environ Manag.*, 90(10):2987-2998.
- Thompson K., (2014). Comprehensive Water Contamination Warning System Demonstration Pilots Serve as Model for Water Utility Community. *Utility Intelligence and Infrastructure*, Ellwood Media Lab.
- Thornton J., Sturm R., Kunkel G., (2008). *Water loss control* (2nd ed.). London: McGraw Hill.

Toth E., Bragalli C., Neri M., (2018). Assessing the significance of tourism and climate on residential water demand: Panel-data analysis and non-linear modelling of monthly water consumptions, *Environmental Modelling & Software*, 103, 52-61.

Tzagkarakis G., Charalampidis P., Roubakis S., Makrogiannakis A., Tsakalides P., (2020). Quantifying the Computational Efficiency of Compressive Sensing in Smart Water Network Infrastructures. *Sensors*, 20 (11), 3299.

Tzagkarakis G., Anastasiadou M., Eliades D., (2020). Smart Water distribution Networks to Reduce Water Loss. *The Climate Action, Ercim News*, 121, 22-23.

UNESCO, (2019). Water security and the sustainable development goals. In *Water Security and the Sustainable Development Goals; Series I*, UNESCO Publishing: Paris, France.

United Nations (UN), (2013). Secretary- General's Message for 2013. UN, General Assembly, New York.

United Nations (UN) (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*, UN, New York.

United Nations (UN) (2017). *The Sustainable Development Goals Report 2017*, United Nations General Assembly, New York.

United Nations (UN), (2018). Sustainable development goal 6 synthesis report 2018 on water and sanitation. Department of Economic and Social Affairs. *World Urbanization Prospects The 2018 Revision*, New York.

United States, Environmental Protection Agency (EPA), (2009). *Stormwater wet pond and wetland management guidebook*. USEPA, Center for Watershed Protection, Washington.

United States, Environmental Protection Agency (EPA), (2010). *Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution Systems*. USEPA, Washington.

United States, Environmental Protection Agency (EPA), (2012). *The Facts about Nutrient Pollution*. United State Environmental Protection, USEPA, Agency, 1-2, Washington.

United States, Environmental Protection Agency (EPA), (2017). *Protecting our water*. USEPA, Office of Research and Development, Washington.

UN-Water (2013). *Water security & the global water agenda: A UN-Water Analytical Brief*. Ontario, Canada: United Nations University.

UN WWAP (World Water Assessment Programme), (2009). Part 1 - Understanding what drives the pressures on water. In: *United Nations world water development report 3 – water in a changing world*, UNESCO, Paris

UN WWAP (World Water Assessment Programme), (2012a). Understanding uncertainty and risks associated with key drivers. In: *United Nations world water development report 4 - managing water under uncertainty, vol 1*. UNESCO, Paris.

UN WWAP (World Water Assessment Programme), (2019). The United Nations world water development report 2019: Leaving no one behind. Paris: UNESCO.

Vliet M., Jones E., Flörke M., Franssen W., Hanasaki N., Wada Y., Yearsley J., (2021). Global water scarcity, including surface water quality and clean water technology extensions. *Environmental Scientific Letters*, 16, 2.

Voutos Y., Mylonas P., Katheriotis J., Sofou A., (2019). A Survey on Intelligent Agricultural Information Handling Methodologies. *Sustainability*, 11, 3278.

Walsby C., (2013). The power of smart water networks. *Journal - American Water Works Association*, 105(3), 72–77.

Wang H., Asefa T., Bracciano D., Adams A., Wanakule N., (2019). Proactive water shortage mitigation integrating system optimization and input uncertainty. *J. Hydrol.*, 571, 711-722.

Water Veolia (2011). Finding the blue path for a sustainable economy. A White paper by Veolia Water, Veolia Water, Chicago, USA.

WCED (World Commission on Environment and Development), (1987). Our common future. Oxford University Press, Oxford.

Wheater S., Gober P., (2020). Water security and the science agenda. *Water Resour. Res.*, Water, 12, 1299 of 2251, 5406-5424.

WHO/IWA, (World Health Organization/The International Water Association) (2017). Global Status Report on Water Safety Plans: A Review of Proactive Risk Assessment and Risk Management Practices to Ensure the Safety of Drinking-Water.

WHO (World Health Organization) (2019). Guidelines for drinking-water quality, Geneva.

Wlodarczak P., (2017). Smart Cities - Enabling Technologies for Future Living. Springer Optimization and Its Applications, 1-16.

World T.U. (2018). Nature Based Solutions for Water. New York. Available online: [www.unwater.org/publications/world-waterdevelopment-report-2018](http://www.unwater.org/publications/world-waterdevelopment-report-2018)

Wu D., Mohammed H., Wang H., Seidu R. (2018). Smart Data Analysis for Water Quality in Catchment Area Monitoring. IEEE International Conference on iThings and GreenCom and Smart Data.

Wu D., Wang H., Seidu R. (2020a). Smart data driven quality prediction for urban water source management. *Future Generation Computer Systems*, 107, 418-432.

Wu D., Wang H., Mohammed H., Seidu R., (2020b). Quality Risk Analysis for Sustainable Smart Water Supply Using Data Perception. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, 5(3), 377-388.

Xu W., Burns M., Cherqui F., Fletcher D., (2020a). Enhancing stormwater control measures using real-time control technology: a review. *Urban Water Journal*, 18(2), 101-114.

- Xu W., Fletcher D., Burns J., Cherqui F., (2020b). Real-Time Control of Rainwater Harvesting Systems: The Benefits of Increasing Rainfall Forecast Window. *Water Resources Research*.
- Yi S., Ryu M., Suh J., Kim S., Seo S., Jang S., (2020). K-water's Integrated Water Resources Management system (K-HIT, K-water Hydro Intelligent Toolkit). *Water International*, 45(6), 552-573.
- Yigitcanlar T., (2016). *Technology and the city: Systems, applications and implications. Technological Forecasting and Social Change*, 89, New York.
- Yigitcanlar T., Kamruzzaman M., Buys L., Ioppolo G., Sabatini-Marques J., da Costa, E., Yun J., (2018). Understanding "smart cities": Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. *Cities*, 81, 145-160.
- Yuanyuan W., Ping L., Wenzel S., Xinchun Y., (2017). A new framework on regional smart water. *Procedia Computer Science* 107:122-128.
- Zafirakou A., (2017). Sustainable Urban Water Management. *City Networks*, AG, 128.
- Zanella A., Bui N., Castellani A., Vangelista L., Zorzi M., (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- Zhao C., Gao Q., Song J., Wang Y., Sun F., (2021). Research on Design of the Safety Supervision System for Desalinated Seawater Entering Urban Water Supply Network. *Water*, 13(15).
- Zhu D., Chang J., (2020). Urban water security assessment in an integration of sustainability and urban water management transitions: An empirical study in Shanghai. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122968.