مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰. پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020
۱۲۲ - ۱۰۱
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی :۱۳۹۹/۱۱/۱۲

ارائه مدل جدید مکانیابی برای تأسیسات هوشمند تحت پوشش شرکت‌های آب و فاضلاب ایران

(موردمطالعه: شرکت آب و فاضلاب شهری استان تهران)

مجید کلانتری[۱]:دانشجوی دکتری، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
جلال حقیقت منفرد[*]: عضو هیئت علمی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
محمدعلی کرامتی: عضو هیئت علمی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

چکیده

در صنعت آب و فاضلاب ایران، علیرغم توجه به سامانه‌های مبتنی بر مدیریت هوشمند، مکانیابی استقرار آنها، چندان مورد توجه قرار نگرفته و باوجود سرمایه‌گذاری فراوان، عدم توجه به این موضوع، تا حد بسیار زیادی، اثربخشی آنها را با ابهام مواجه کرده است. لذا این تحقیق درصدد است تا رویکردی نوین را به‌منظور مکانیابی استقرار تأسیسات هوشمند تحت پوشش شرکت‌های آب و فاضلاب ایران (با محوریت شرکت آب و فاضلاب شهری استان تهران) ارائه کند و به تبیین مدلی جهت استقرار آنها در سطح ملی بپردازد. بر همین اساس و پس از اولویت‌دهی به مدیریت مخاطره در بحث مکانیابی استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند تأسیسات آبی (حاصل از تحلیل مضمون)، ضمن بررسی عدم قطعیت‌های موجود در قالب تحلیل مونت‌کارلو، از روش تحلیل سناریو در گام نخست، روش درخت خطا و محاسبه شاخص بیرنبام در گام دوم و از مدل پاپیونی جهت طراحی شبکه هوشمند آب و تأیید تحقق هدف استقرار آن در گام نهایی استفاده شده است تا اصولی‌ترین مکان جهت استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند آب شناسایی گردد.

کلید واژه: مکان‌یابی، مدیریت هوشمند آب، اسکادا.

Presenting a new location model for smart facilities covered by water and wastewater companies in Iran (Case study: Tehran Water and Wastewater Company)

Abstract
Despite the focus on smart water management in the water and wastewater sector of Iran, little attention has been paid to the site-selection their implementation. Furthermore, despite the huge investments made, the neglect of this issue has undermined their effectiveness. Therefore, this study seeks to provide a new approach to locating smart facilities under the auspices of Iranian Water and wastewater Companies (with the focus on Tehran Water and Wastewater Company) and to explain the model for their establishment at the national level. Accordingly, after prioritizing risk management in the discussion of locating the establishment of intelligent management systems of water facilities (resulting from Thematic analysis), while examining the uncertainties in the Monte Carlo analysis, the scenario analysis method in the first step, the fault tree method and calculation of Byrnbaum index in the second step and the bow tie model has been used to develop a smart model of water supply process and verify the realization of its implementation in the final step to identify the most basic place for the establishment of smart water management systems.
Key Words:Site selection, Smart water management, SCADA

* - نویسنده مسئول – jhm۱۸۴۷@gmail.com

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

مقدمه:

آب منشأ زندگی و یکی از سه عنصر اصلی اکوسیستم می‌باشد که خصوصاً در سال‌های اخیر بیش از سایر منابع حیاتی با بحران جدی و کمبود روبرو است. اهمیت نقش حیاتی آب و دفع بهداشتی فاضلاب در سلامتی و رفاه انسان و نقش آنها در پیشبرد توسعه بر همگان واضح است. بسیاری از کشورها در دنیای امروز، براثر تجربه به این باور رسیده‌اند که تأسیسات مرتبط با فرآیندهای آب و فاضلاب به دلیل تأثیرات عمیق بر روی سلامت انسان و محیط‌زیست باید تحت نظارت و کنترل قرار گیرد تا بدینوسیله مدیران ارشد بهره‌بردار در هر لحظه و از هر مکان بر اساس درجه اولویت و دسترسی خود بر فرآیند تولید، انتقال و توزیع و تصفیه نظارت داشته باشند و در صورت نیاز و با توجه به سطح دسترسی بتوانند این فرآیندها را کنترل و هدایت نمایند. در واقع عدم دسترسی به آب برای مصارف شرب و صنعتی و همچنین عدم دسترسی به تصفیه‌خانه‌های مجهز فاضلاب، یک محدودیت عمده برای توسعه پایدار محسوب می‌شود و این بدان معناست که در کشورهایی مانند کشور ما که با میزان بارندگی کم روبرو هستند و در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارند باید از حداقل آب مناسب شرب موجود بیشترین استفاده را کرد (کلانتری،۱۳۹۳).

ما در جهانی فناوری‌محور زندگی می‌کنیم که در آن، فناوری اطلاعات و ارتباطات[1] برای نیل به اهداف توسعه پایدار اهمیت بسیار دارد. مدیریت آب یکی از حوزه‌هایی است که این فناوری، نقش کلیدی در پاسخ به چالش‌هایی مانند تشخیص نشت و بهینه‌سازی پویا ایفا می‌کند (نونهلا نهلا انتولی و عدنان ابومحفوظ[2]،۲۰۱۶). درواقع امروزه شبکه هوشمند آب به‌عنوان نسل بعدی طرح مدیریت آب پیشنهاد شده است که فناوری اطلاعات و ارتباطات را برای افزایش اثربخشی تمام عناصر ساختار شبکه آب به‌هم مرتبط می‌کند. (سئونگ وون لی و همکاران[2]، ۲۰۱۵)

در کشور ما با توسعه صنعت آب و فاضلاب در بیش از ۱۰۵۰ شهر و وجود بالغ بر ۲۳۰۰۰ تأسیسات در این صنعت، لزوم نگرش کلان مدیریتی در این حوزه بسیار مشهود می‌باشد. در این خصوص شاخص‌های تعریف شده وزارت نیرو در زمینه مدیریت سیستماتیک منابع آب و تأسیسات آب و فاضلاب در افق سال ۱۴۰۴ لزوم گذر از بهره‌برداری سنتی به یک سیستم نوین مبتنی بر فناوری روز را دوچندان می‌نماید. بند هفت و دوازدهم این شاخص‌ها عبارت است از :

- بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند در مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع
- برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع آب و کاهش عملیاتی ریسک‌پذیری ناشی از پیش‌بینی‌های ضعیف و بعضاً غلط یا غیرواقعی مبتنی بر آمار و اطلاعات نادرست یا با دقت‌های بسیار اندک

که به‌صورت مستقیم بر استقرار و پیاده‌سازی سامانه‌های مدیریت هوشمند آب تأکید می‌کند(کنترل سازان فرآیند،۱۳۹۲).

محدودیت منابع آب شرب کشور و تناوب وقوع بلایای طبیعی خصوصاً خشک‌سالی از یک‌سو و افزایش جمعیت شهرها و نیاز روزافزون آنها به آب مناسب شرب از سوی دیگر، ضرورت توجه و رویکرد مناسب به مدیریت کارآمد تأمین آب را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. یکی از روش‌های مناسب برای تحقق مدیریت کارآمد تأمین و توزیع آب، تهیه و اجرای طرح جامع کنترل هوشمند شبکه‌های آبرسانی به‌عنوان شریان‌های حیاتی است. ابزار تحقق کنترل هوشمند شبکه‌های آبرسانی سامانه‌های اسکادا هستند که پایش، کنترل و جمع‌آوری داده[3] وظیفه اصلی آنها است (کلانتری،۱۳۹۳).

در ایران نیز مانند سایر کشورهای دنیا، استقرار اینگونه سامانه‌های نظارتی به عنوان راه‌حلی اساسی برای حل مشکلات سامانه‌های آب و فاضلاب در مدار بهره‌برداری، مورد توجه مسئولین وزارت نیرو و مدیران ارشد صنعت آب و فاضلاب کشور قرار گرفته است. اما باوجود توجه فراوان به طراحی و اجرای سامانه‌های مبتنی بر مدیریت هوشمند و تهیه شرح خدمات مشاورین و پیمانکاران ذی‌صلاح در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور، مکانیابی استقرار آنها چندان مورد توجه قرار نگرفته و علیرغم سرمایه‌گذاری بسیار، عدم توجه به این

۱- ICT: Information and Communications Technology

۲- Seung Won Lee et al.

۳- SCADA: Supervisory control and data acquisition

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰. پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

موضوع، تا حد بسیاری اثربخشی آنها را با ابهام مواجه کرده است. لذا این پژوهش درصدد است تا رویکردی نوین را به‌منظور مکانیابی استقرار تأسیسات هوشمند تحت پوشش شرکت‌های آب و فاضلاب ایران (با محوریت شرکت آب و فاضلاب شهری استان تهران) ارائه کند و به تبیین مدلی جهت استقرار آنها در سطح ملی بپردازد. بر این اساس و پس از اولویت‌دهی به مدیریت مخاطره در بحث مکانیابی استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند تأسیسات آبی (حاصل از تحلیل مضمون[1])، ضمن بررسی عدم قطعیت‌های موجود در قالب تحلیل مونت کارلو[2]، از روش تحلیل سناریو[3] در گام نخست، روش درخت خطا [4] و محاسبه شاخص بیرنبام[5] در گام دوم و از مدل پاپیونی[6] به‌منظور طراحی شبکه هوشمند آب و تأیید تحقق هدف استقرار در گام نهایی استفاده شده است تا اصولی‌ترین مکان شناسایی و درنهایت مدلی ارائه گردد که بتواند مبنای توسعه اجرای اینگونه سامانه‌های هوشمند باشد.

بیان مساله:

در اهمیت نقش سامانه‌های کنترل هوشمند باید به این نکته مهم اشاره شود که استفاده از آب آشامیدنی کیفی و دفع و تصفیه اصولی فاضلاب از نیازهای بشر قرن بیست و یک است و کشورهای جهان بسته به شرایط اقلیمی و فراوانی یا کمبود آب، همچنین با توجه به میزان سرانه تولید ناخالص ملی خود از نعمت آب آشامیدنی مناسب، برخوردار یا محروم‌اند و از نظر دسترسی به سیستم فاضلاب مناسب بهداشتی نیز متفاوت هستند و این یعنی اهداف ناشی از استقرار سامانه‌های اسکادا در کشورهای مختلف متفاوت است. (شاه‌حسینی،۱۳۹۷). نظر به تمرکز این پژوهش بر صنعت آب و فاضلاب، ذکر این نکته ضروری است که علیرغم سابقه بسیار مثبت سامانه‌های اسکادا در جهت مدیریت بهینه و تهیه گزارش‌های مدیریتی متنوع، در طراحی آنها بیشتر به کاهش مصرف انرژی و هدررفت آب پرداخته شده و کمتر از نقش و اهمیت آنها، جهت تحقق سایر اهداف مدیریتی سخن به میان آمده است. (کلانتری،۱۳۹۳). در بسیاری موارد دیگر و علیرغم هزینه‌های سنگین اجرایی، مشاهده می‌شود که به علت عدم احصاء پیش‌نیازهای لازم، اثربخشی آنها در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. تفاوت فاحش اهداف و پیش‌نیازهای استقرار شبکه هوشمند آب در مناطق مختلف، به موازات فقدان تعریفی واحد و منسجم از هوشمندسازی در صنعت آب و فاضلاب، به میزان زیادی اجرای مدیریت هوشمند آب را در کشور با مشکل مواجه کرده است تا حدی که به دلیل فقدان منابع مالی و لزوم رعایت حداکثری الزامات امنیت سایبری مترتب بر استقرار اینگونه سامانه‌های هوشمند، پارهای از شرکت‌های آب و فاضلاب از اجرای شبکه‌های هوشمند آب استنکاف می‌ورزند.

در سطح جهانی و مطابق پژوهش دانشگاه کلرادو، مفهوم شبکه آب هوشمند سال‌ها است که مطرح شده اما اجرای آن بسیار کند پیش رفته است. دلیل این موضوع به فقدان درک مناسب مورد کسب‌وکار آن، بودجه ناکافی، عدم‌حمایت متولیان امور، دستاوردهای ناملموس و نبود راهکارهای مناسب جهت اجرای آن برمی‌گردد. (الگا مارتیشوا[7]، ۲۰۱۴). یافته‌های گروه سنوس[8] درخصوص بهترین فرصت‌های ناشی از اجرای شبکه هوشمند آب، نیز نشان از استقرار تک وجهی و در محدوده مکانی مشخص این سامانه‌ها دارد. همچنین مستندات کتابخانه‌ای شرکت آب و فاضلاب مشهد نشان می‌دهد که هزینه کلان پیاده‌سازی منجر به آن شده است که اکثر طرح‌های هوشمندسازی آب در دنیا، صرفاً جهت تحقق و بهبود شاخص‌های مرتبط با یک هدف، نظیر کاهش آب بدون درآمد[9] و در یک واحد[10] مشخص طراحی و تا حد امکان از طراحی گسترده و چندمنظوره[11] آنها پرهیز می‌گردد که این موارد، به‌تنهایی، بیانگر ضرورت تدوین مدل

۱- Thematic analysis
۲- Monte Carlo method
۳- Scenario analysis method
٤- Fault tree method
٥- Birnbaum Index
٦- Bow-tie model
۷- Olga Martyusheva
۸- Sensus Group
۹-NRW: Non-Revenue Water
۱۰- Field
۱۱- Multi objective

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

مکانیابی مناسب استقرار شبکه‌های آب هوشمند است.

اهمیت مکانیابی استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند آب در ایران، به نوع بنگاه‌داری شرکت‌های آب و فاضلاب نیز برمی‌گردد. اصولاً یکی از مشخصه‌های منحصربه فرد صنعت آب و فاضلاب در تمام کشورها سرمایه‌بر بودن آن است. یعنی این صنعت در راستای رسالت سازمانی (تأمین آب و خدمات دفع فاضلاب) به سرمایه اولیه بسیار زیادی نیاز دارد. لذا در بیشتر کشورهای دنیا دولت‌ها در امور آب و فاضلاب دخالت و سرمایه اولیه آن را تأمین می‌کنند ولی بهره‌برداری از آن را به بخش خصوصی یا نهادهای وابسته به دولت واگذار می‌کنند. از منظری دیگر، به دلیل وجود فرض بازده نسبت به مقیاس در صنعت آب و فاضلاب و طولانی بودن مدت سرمایه‌گذاری یا ساخت و تجهیز تأسیسات، بخش خصوصی تمایلی به سرمایه‌گذاری در این صنعت ندارد و صرفاً در برخی فعالیت‌های بهره‌برداری آن دخالت می‌کند. اصولاً بر اساس مفاد قانون اساسی و در کشور ما، اختیار و امتیاز منابع طبیعی از جمله آب و فاضلاب در اختیار دولت است به گونه‌ای که مدیریت نظارت و بهره‌برداری از منابع آب در اختیار شرکت‌های آب منطقه‌ای و بهره‌برداری، تأمین و توزیع آب و خدمات فاضلاب مناطق مختلف کشور توسط شرکت‌های آب و فاضلاب انجام می‌شود. (مستندات کتابخانه‌ای شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور،۱۳۹۹)

در شرایط موجود کشور، اکثر شرکت‌های آب و فاضلاب به دلیل فروش آب و خدمات فاضلاب به بهایی کمتر از قیمت تمام شده، زیانده هستند و از منابع سرمایه‌ای و بودجه دولتی برای ساخت و تجهیز تأسیسات استفاده می‌کنند. لذا با توجه به اهمیت استقرار و مزایای متنوع شبکه هوشمند آب، لزوم مدیریت هزینه‌های بالای اجرای آن و با عنایت به ضرورت اولویت‌دهی به کلیه فعالیت‌ها از جمله اجرای اینگونه سامانه‌های هوشمند و نقش تأثیرگذار تصمیم‌گیری در مورد مکانیابی تسهیلات که عمدتاً از تصمیم‌گیریهای بلندمدت و استراتژیک شرکت‌های بزرگ است، مکانیابی مناسب استقرار این سامانه‌های نظارتی، به سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت شرکت‌های آب و فاضلاب تبدیل شده و با توجه به محدودیت منابع مالی موجود برای آنها، حائز اهمیت فراوان است، چرا که در شرایط موجود، موفقیت یا شکست استقرار سامانه مدیریت هوشمند آب در ایران، بستگی کامل به مکان‌های انتخابی دارد. از دیگر سوی بدیهی است که شرکت‌های آب و فاضلاب برنامه‌ریزی استقرار تجهیزات هوشمند خود را به گونه‌ای انجام دهند که برای مدت زیادی بتواند سودآور باقی بماند و این به آن معنی است که ضروری است تا مکان‌هایی برای استقرار تسهیلات در نظر بگیرند که نه تنها در شرایط فعلی مناسب باشند بلکه در طول عمر تسهیلات نیز سودآور باقی بمانند، لذا به‌عنوان ضرورتی حتمی باید شرایط غیرمطمئن را وارد تحلیل‌های خود در زمینه مکانیابی کنیم.

بنابراین این پژوهش مترصد است تا با لحاظ کردن معیارهای مرتبط با مدیریت مصرف آب و تبعات زیست‌محیطی ناشی از بروز هرگونه مخاطره کمی یا کیفی در فرآیند آبرسانی، به تدوین یک چارچوب اجرایی مناسب جهت استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند آب در ایران بپردازد.

ادبیات پژوهش:

شبکه آب هوشمند[1]

شهر، به‌عنوان خاستگاه تمدن بشری همواره مورد توجه نظریه‌پردازان علوم مختلف بوده است. فضای پیچیده شهر، انسان‌های آگاه را برای رهایی از مشکلات و نارسایی‌ها و رسیدن به حد متعالی زندگی به فکر اصلاح و ایجاد ساختارهای جدید شهری وادار کرده است. در طی یک دهه اخیر، شهر هوشمند به‌عنوان راهکار بی بدیل حل معضلات شهری، مورد توجه مدیران امور شهری واقع شده است (غلامرضا محمدی، ۱۳۹۵).

می‌توان گفت که هدف اصلی شهرهای هوشمند، دستیابی به وضعیت پایدار در شهر با کمک فناوری‌های مدرن در پارهای ساختارهای (هدف‌گذاری شده و موردنظر) است. شهر هوشمند سعی می‌کند به‌منظور یافتن راه‌حل‌های نوآورانه مؤثر بر ارتقاء پایداری، فناوری‌های دیجیتال پیشرفته را با روش‌های برنامه‌ریزی شهری یکپارچه کند. شهر هوشمند در درجه اول شهر را به‌عنوان سیستمی که دارای زیرسیستم‌های متعدد است بررسی می‌کند)

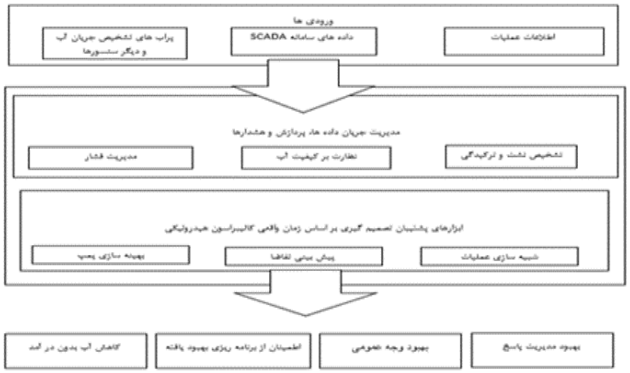
۱- Smart Water Grid

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

سی هاف و همکاران[1] ، ۲۰۱۲).
بدیهی است که آب منبع حیات انسان است و با افزایش جمعیت و توسعه شهری،کمبود منابع آب مناسب شرب به‌طور فزایندهای برجسته می‌شود و موضوع آلودگی آب نیز بیشتر و بیشتر اهمیت پیدا می‌کند. به دلیل تأثیرات جدی بروز سیل، خشک‌سالی و هوای آلوده در سرتاسر جهان، نظارت و مدیریت منابع آب به مشکلی بزرگ در فرآیند توسعه شهری بدل شده است و به‌عنوان بخش مهمی از شهر هوشمند، انتظار می‌رود تا استقرار (فرآیند) آب هوشمند به‌عنوان معیاری مهم برای کمک به جوامع، توسط نسلی جدید از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات که می‌تواند مشکلاتی نظیر تغییرات اقلیمی در سطح جهان، کمبود آب به دلیل استفاده بیش از حد توسط مردم و وضعیت بغرنج منابع آبی به واسطه بروز سوانح شدید، خشک‌سالی و تخریب زیست‌بوم‌های محیط‌زیست را حل کند، پذیرفته شود (وانگ یوانوآن و همکاران[2]، ۲۰۱۷) .
طبق بررسی‌ها، برای حل مشکلات موجود و برای تمام منابع آبی در دسترس، یک روش مدیریت آب یکپارچه بر اساس عرضه و تقاضای منطقه‌ای نیاز است که باید قادر باشد توزیع منابع آبی را متناسب با تعصبات (محلی) موجود بر سر منابع آبی مدیریت کند و منجر به افزایش بهره‌وری عملیاتی و پوشش تقاضاهای نگهداری و تعمیرات از طریق ابزارهای فناوری اطلاعات و ارتباطات و با توجه به طرح کلی موجود برای استفاده از تمام منابع آبی شناسایی شده در سایت هدف شود. لذا اخیراً شبکه آب هوشمند به‌عنوان گزینه‌ای برای تکمیل سیستم مدیریت آبی موجود معرفی شده است.(دونگون کواکا و یون جانگ کیما و ونتایی کیما[3]،۲۰۱۶) اساساً اهداف مدیریت هوشمند آب را می‌توان در قالب پیش‌بینی تقاضا، نظارت بر کیفیت آب و تشخیص خطا تقسیم کرد. (پراوین ویجیا و باگاواتیسیواکومار[4]،۲۰۱۶) در واقع شبکه آب هوشمند، مدل جدید توسعه پایدار شهری است و برای افزایش سطح کیفی و کمی خدمات و کاهش هزینه‌های مرتبط، اینگونه تعریف شده است که آنها، شبکه‌هایی با کارایی بالا هستند که امکان مدیریت بهنگام، بهینه و مطمئن را برای تولید، بهره‌برداری و توزیع منابع آبی فراهم می‌کنند. (بهپویان امین منتظر،۱۳۹۴)
از دیگر سوی مفهوم اسکادا به عنوان یک ابزار متداول در سطح دنیا، در قالب دسترسی از راه دور به انواع ماژول‌های[5] کنترل محلی، توسعه یافته است که می‌تواند اجازه دسترسی (به تجهیزات صنعتی) را از طریق پروتکل‌های استاندارد اتوماسیون و از تولیدکنندگان مختلف داشته باشد. سیستم اسکادای غیرمتمرکز (توزیع شده)، از یک مرکز کنترل مرکزی و تعدادی مراکز کنترل محلی که شامل پایانه‌های دوردست[6] و یا کنترل‌کننده‌های قابل برنامه‌ریزی[7] هستند تشکیل شده است که از طریق یک شبکه مخابراتی با یکدیگر متصل هستند. (تشیعی و محمدی،۱۳۹۵)
امروزه اسکادا به‌طور گسترده برای نظارت و کنترل اجزای سخت‌افزاری پراکنده در صنایعی مانند نیروگاه‌ها، شبکه‌های برق و تصفیه آب استفاده می‌شود. اغلب این سامانه نظارتی در زیرساخت‌های بحرانی استفاده می‌شوند که امنیت و ایمنی در آنها جزو عوامل حیاتی است. (آنتونیو ام گریلو و همکاران[8]، ۲۰۱۴)
شکل یک نشان می‌دهد که داده‌های حاصل از سامانه اسکادا در کنار ورودی‌های سنسورها و اطلاعات عملیاتی فرآیند، ورودی‌های اصلی سیستم یکپارچه داده و هشدارهای الکترونیکی و ماژول پشتیبانی از تصمیم شبکه آب هوشمند هستند. ابزارهای بسیار متنوع پیش‌بینی سریع مصرف آب شامل مدل‌سازی با روش‌های معمول رگرسیون، تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی، تکنیک‌های هوش مصنوعی، سیستم‌های خبره، شبکه‌های عصبی مصنوعی و یا تکنیک‌های مدل‌سازی مانند مدل‌های اکتشافی اغلب عملکردی مشابه را در پیش‌بینی ساعت به ساعت فرآیند نشان می‌دهند و دقت آنها بستگی به‌دقت و پیش‌بینی پذیری داده‌های حاصل از سیستم اسکادا، پیچیدگی و همچنین کالیبراسیون و سطح نگهداری تجهیزات نرم‌افزاری دارد.

۱- C.Hafedh et al.
۲- Wang Yuanyuanet al.
۳- Donggeun Kwaka & Yunjung Kima & Wontae Kima
٤- Praveen Vijaia & Bagavathi Sivakumar P
٥- Module
٦- RTU: Remote Terminal Unit
۷- PLC: programmable Logic Controller
۸- António M. Grilo et al.

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]



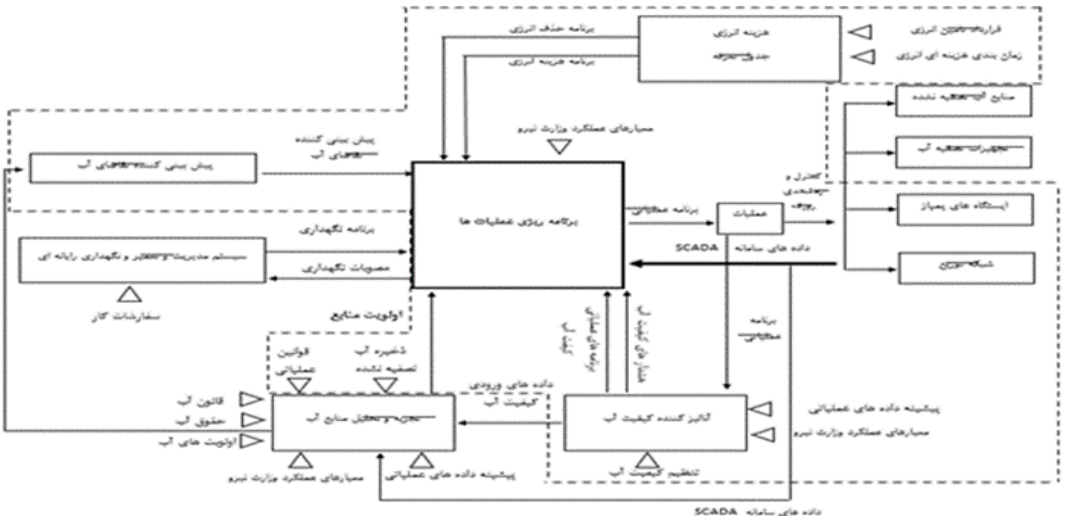
شکل ۱: بررسی اجمالی عملکرد پلت فرمWaterWiSe با کاربردهای فعال شده توسط سیستم یکپارچه داده[1] و هشدارهای الکترونیکی و ماژول پشتیبانی از تصمیم[2] و یک مجموعه منتخب از مزایای دیده شده (مایکل النا و همکاران ، ۲۰۱۲).

اصلی‌اش ایجاد و توسعه روزانه برنامه عملیاتی کل سیستم است هماهنگ می‌شود. نرم‌افزار با اسکادا مرتبط و یکپارچه می‌شود به‌گونه‌ای که رویکرد آن براساس برآوردهای دقیق و افزایش دقت پیش‌بینی عملکردهای هیدرولیکی، کارکرد پمپ، ساختار تعرفه برق، تغییرات، تقاضای سیستم (دیماند) و کیفیت آب است. (کارلا چرچی و همکاران،۲۰۱۵).

در منابع داخلی و مطابق مستندات کتابخانه‌ای شرکت آب و فاضلاب مشهد، شکل کلی ارتباطات طرح شبکه هوشمند آب، مطابق شکل سه است که دارای پنج لایه فیزیکی، اندازه‌گیری و دریافت، جمع‌آوری و ارتباطات، مدیریت داده، تحلیل و برنامه‌های کاربردی می‌باشد و لایه امنیت و حفاظت هم، چون چتری بر تمام مراحل سایه افکنده است. مطابق این شکل نیز، جایگاه سامانه اسکادا در لایه جمع‌آوری اطلاعات کاملاً مشهود به نظر می‌رسد.

اما علیرغم همه مزایای ممکن، نباید فراموش کرد که پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه انرژی و آب با چالش‌های بسیاری مواجه است که عمده آنها به زیرساخت، مرزهای مفروض سیستم، انرژی برآورد شده و پیکربندی جغرافیایی اختصاص دارد. اگرچه تمام اجزاء سامانه مدیریت یکپارچه انرژی و آب دارای پیکربندی مشابهی هستند اما هر یک نیاز

شکل دو، نشانگر شمای ارتباط بین اجزای مختلف یک شبکه هوشمند (مبتنی بر مدیریت انرژی و کیفیت آب) می‌باشد که مطابق آن، اسکادا یکی از زیرمجموعه‌های کلیدی شبکه هوشمند آب است. این شکل مثالی مفهومی و نمادین از اجزای یک سیستم مدیریتی یکپارچه انرژی و آب را با لحاظ نمودن قابلیت‌هایی که معمولاً در نرم‌افزارهای تجاری تلفیق می‌شوند و معماری داخلی آنها، نمایش می‌دهد که مطابق آن، خدمت‌رسانی توسط یک برنامه‌ریز عملیاتی و مدیر پروژه‌ای که نقش



شکل ۲:رابطه میان اجزای مختلف در یک شبکه هوشمند آبرسانی (کارلا چرچی و همکاران،۲۰۱۵).

۱- IDEAS: Integrated Data and Electronic Alerts System

۲- DSTM: Decision Support Tools Module

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]



شکل ۳:رابطه میان اجزای مختلف در یک شبکه هوشمند آبرسانی (بهپویان امین منتظر،۱۳۹٤)

به بسط و تغییر در قالب ویژگی‌های خاص سیستمی، اهداف و محدودیت‌ها یا ملاحظات هرسایت جهت نصب دارند و هزینه گزاف استقرار سامانه‌های اسکادا، به‌عنوان یکی از پیش‌نیازهای اصلی پیاده‌سازی شبکه هوشمند آب، در چگونگی اجرای آن بسیار تعیین‌کننده می‌باشد. تاکنون تنها بنگاه‌های بزرگ که قادر به ایجاد و پرداخت هزینه مالی یک پلت‌فرم خودکار هستند و یا همه‌گونه با سخت‌افزار و نرم‌افزار پیچیده تجهیز شده‌اند کنترل مبتنی بر مدیریت یکپارچه آب و انرژی را انتخاب کرده‌اند که این مهم، دلیل کلیدی ضرورت بررسی متون و انجام این تحقیق است که با علم به مزایای استفاده از اینگونه سامانه‌های هوشمند و هزینه‌های سرسام‌آور طراحی و پیاده‌سازی آنها، مکانیابی مناسب جهت استقرارشان چگونه است و از چه محلی و بر اساس چه منطقی باید این کار را شروع کرد؟

پیشینه پژوهش:

رشد جمعیت و توسعه شتابان اقتصادی دلیل اصلی افزایش تقاضا برای آب شیرین در سراسر جهان است. تأثیرات احتمالی تغییرات آب و هوایی و افزایش روند شهرنشینی باعث افزایش سهم استفاده از آبهای موجود برای رفع تقاضای شهرها شده و امنیت (تأمین) آب برای جمعیت شهری را بسیار دشوار و پرهزینه کرده است. (دی ساویچ و همکاران[۱]،۲۰۱۴) به دلیل آنکه زیرساخت‌های توزیع آب سالم با تقاضاهای بسیار مواجه هستند، نیازی واقعی برای یکپارچه‌سازی سیستم‌های پشتیبان تصمیم[2]، بر پایه نظارت مستمر شبکه، پارامترهای هیدرولیکی و کیفیت آب وجود دارد. این موارد در قالب شبکه هوشمند آب تجلی می‌یابند و به شرکت آب و فاضلاب اجازه می‌دهند در جهت بهبود بهینه‌سازی عملکرد سیستم، کنترل مؤثرتر مدیریت نشت، کاهش زمان تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی تجهیزات حرکت کند. (مایکل النا و همکاران[۳]، ۲۰۱۲)

شبکه آب هوشمند، یک ساختار توسعه فناوری با هدف (ابتدایی) تلفیق کسب‌وکار (آب) با کسب‌وکار اطلاعاتی (هوشمند) و کسب‌وکار زیرساخت (شبکه آبرسانی) و با قصد پرکردن خلأ (کمبود) منابع آبی و هدف نهایی دستیابی به کیفیت و ایمنی آب با استفاده از انرژی کم و راندمان بالا و در عین حال مقابله با تغییرات اقلیمی است. (سئونگ جون بیون و همکاران[۴]،۲۰۱۵).

اولین تلاش‌ها در راستای مدیریت انرژی و کیفیت آب[۵]، مربوط به مدیریت انرژی مصرفی پمپ‌ها می‌شود که بیش از دو دهه پیش توسط پژوهشگران دانشگاهی و خبرگان صنعت آب، انجام گرفت. در سال ۲۰۰۳ کلرادور اسپرینگز[۶] سیستم (مدیریت کیفیت آب و انرژی) را بر پایه تلاش‌های صورت گرفته در منطقه خدمات شهری خلیج شرقی ایجاد کرد،

۱- D. Savić et al.

۲- DCS: Decision Support System

۳- Michael Allena et al.

٤- Seongjoon Byeon et al.

٥- EWQM: Energy and Water Quality Management

٦- Colorado Springs

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰. پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

به گونه‌ای که یک برنامه‌ریزی عملیاتی زمان‌بندی شده، بر اساس فرآیندهای سازمانی ذیربط که توسط کاربر تنظیم می‌شد به دست آمد. درنهایت این گزارش، امکان کنترل عملیات روزانه سیستم (مدیریت کیفیت آب و انرژی) را نشان داد. در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ نرم‌افزار به روز شده و تجاری سیستم (مدیریت کیفیت آب و انرژی) در مناطق مختلف جهان مانند نیوزلند، بریتانیا، استرالیا، کانادا و کره نصب و اجرا شد. در واقع مفهوم سامانه مدیریت یکپارچه انرژی و کیفیت آب در اوایل دهه نود میلادی برای ایجاد یک شرکت آب و فاضلاب، بر پایه یک سامانه مدیریتی مبتنی بر کنترل سیستم و به‌منظور دستیابی همزمان به کارایی در حوزه انرژی و تحقق اهداف کیفی آب طراحی و تبیین شد.

همانگونه که پیشتر، به تفصیل گفته شد، ارتباطات بلادرنگ نرم‌افزار مدیریت یکپارچه انرژی و آب با اسکادا این امکان را فراهم می‌آورد تا به کنترل و صدور توصیه‌های مستمر و پیشنهادات پویا در مورد عملکرد سیستم بپردازد. کنترل واقعی فرایندهای آبی و به‌ویژه تأمین آب سیستم‌های توزیع بدون (زیرساخت) تله‌متری[1] مناسب یا اسکادای کافی امکان‌پذیر نیست. استفاده از زیرساخت مدیریتی یکپارچه انرژی و آب، نیاز به ارتباط با یک سیستم کنترل در دسترس دارد. اگر سیستم اسکادا و تله‌متری موجود دربرگیرنده قابلیت کنترل از راه دور پمپ و شیرآلات، مطابق منطق از پیش تعریف شده نباشد، شرکت آب و فاضلاب نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجه برای توسعه منطق کنترلی دارد تا بتواند ارتباط با سیستم اسکادا را برقرار کند. اصولاً شبکه اسکادا، جز حیاتی پروسه نظارت و کنترل فرایندهای تأسیسات تحت پوشش است و یک خطا در آن می‌تواند عملکرد سیستم را تا آنجا تغییر دهد که تأثیر منفی بر سلامت عمومی و ایمنی بگذارد و یا ضررهای اقتصادی برای شرکت آب و فاضلاب به ارمغان بیاورد. درنتیجه بنگاه‌های خدماتی در حوزه آب، (سرنوشت) زیرساخت‌های اسکادای موجود خود را با اجزاء نرم‌افزار سیستم مدیریت یکپارچه انرژی و آب جدید پیوند نمی‌زنند (و از آنها به شکل مستقل استفاده می‌کنند). (کارلا چرچی و همکاران[2]،۲۰۱۵) حضور زیرساماته اسکادا به‌عنوان جزء کلیدی پلتفرم شبکه هوشمند آب و لزوم استفاده مستقل، به موازات هزینه‌بر بودن اجرای آن، عاملی شد تا با تأیید گروه کانونی، مکانیابی پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند آب از منظر انتخاب محل مناسب جهت جایابی استقرار سامانه اسکادا صورت پذیرد.

در زمینه مکانیابی در صنعت آب و فاضلاب پژوهش‌های زیادی انجام گرفته که غالب آنها، مبتنی بر توانایی‌های نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی[3] و با هدف یافتن مکان مناسب احداث تصفیه‌خانه فاضلاب است. در خصوص مکانیابی سامانه‌های هوشمند در میان منابع داخلی، می‌توان به دستورالعمل سطح‌بندی و اولویت‌بندی استقرار و پیاده‌سازی سامانه‌های اسکادا اشاره کرد که در سال ۱۳۹۰ به کلیه شرکت‌های آب و فاضلاب ابلاغ شده است. این دستورالعمل بر پایه وضعیت اقلیم، جمعیت، فرایند بهره‌برداری، وجود نیروی انسانی متخصص و قابلیت پشتیبانی از سیستم اجرا شده و... به امتیازدهی و اولویت‌بندی مکانی استقرار سامانه‌های اسکادا در سطح شهرها و روستاهای تحت پوشش می‌پردازد و بر مبنای بودجه عملیاتی موجود، اقدام به ارائه نقشه راه اجرای این سامانه در سطوح مختلف می‌کند. سایر فعالیت‌های پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق، به شرح جدول یک است.

لذا پس از بررسی پیشینه و مبانی علمی مرتبط با جایگاه سامانه اسکادا در بطن شبکه هوشمند آب، مثال‌های عملیاتی استقرار شبکه‌های هوشمند آب و اجرای سامانه‌های اسکادا در کشورهایی نظیر استرالیا، آمریکا، کانادا، ایرلند، کره جنوبی، هند و ایران مورد بررسی قرار گرفت، الزامات استقرار آنها متناسب با پهنه موردمطالعه، استخراج و الگوی مکانیابی موردنظر طراحی و تبیین گردید.

۱- Telemetring & telecontrol

۲- Carla Cherchi et al.

۳- GIS: Geographic Information System

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

جدول ۱: پیشینه پژوهش در خصوص مکانیابی شبکه آب هوشمند

ردیف	نام پژوهشگر	سال	عنوان
۱	امیر آدینی و همکاران	۱۳۹۵	مکانیابی تصفیه‌خانه فاضلاب با استفاده از تکنیک TOPSIS و تصمیم‌گیری چندمتغیره بر پایه ملاحظات پدافند غیرعامل مطالعه موردی شهر مشهد
۲	ابراهیم احمدی شرف و همکاران	۲۰۱۶	لحاظ نمودن خطر سیل در فرایند انتخاب سایت با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره فضایی
۳	محمدحسین محمدی و همکاران	۱۳۹۶	پیاده‌سازی تابع انتقال HyperbolicTangent شبکه عصبی مصنوعی جهت مکانیابی نصب فشارشکن روی شبکه توزیع آب
٤	الخلیدی و همکاران	۲۰۱۸	انرژی و آب به‌عنوان شاخص‌هایی برای طراحی و انتخاب محل شهر پایدار در اردن با استفاده از شبکه هوشمند
٥	داوود رستم خانی و اکرم آقایاری	۱۳۹۸	مکان‌یابی نصب فشارشکن روی شبکه توزیع آب با استفاده از استنتاج فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (منطقه موردمطالعه : شهرستان زنجان)
٦	علی حقیقی	۱۳۹۸	تهیه طرح نرم‌افزار جامع مکانیابی بهینه سنسورهای فشار جهت هوشمندسازی شبکه توزیع آب

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰. پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

پهنه موردمطالعه:

محدوده موردمطالعه، منطقه تحت پوشش مخزن A است که طبق مستندات موجود و مصاحبه به عمل آمده با مدیران ذیربط، شاخص معنی‌داری وضعیت آب شرق شهر تهران است. این مخزن، سیصد و بیست هزار نفر را سیراب می‌کند و دلیل انتخاب آن به نقش کلیدی مخزن مذکور در تأمین فشار آب شبکه و نیز سابقه مخاطره قبلی به واسطه پیامدهای ناشی از سیلاب و همچنین اهمیت آن برای تأمین آب مصرف‌کنندگان برمی‌گردد. حجم این مخزن شصت و پنج هزار مترمکعب است که با نرخ ۱۰۳۹ لیتر بر ثانیه، آب از آن برداشت و مصرف می‌شود.

روش پژوهش:

در این پژوهش از روش تحقیق آمیخته متوالی استفاده شده است. در بخش کیفی از تحلیل مضمون و در بخش کمی از روش‌های ارزیابی ریسک با احتمال[1] مشتمل بر تحلیل سناریو، درخت خطا و شاخص بیرنبام (جهت اولویت‌بندی رویداد برتر) بهره‌گیری، عدم قطعیت‌های موجود در سناریوهای تدوین شده به کمک تحلیل مونت کارلو بررسی و سپس از مدل پاپیونی جهت اعتبارسنجی، استفاده شده است. بر این اساس مدل مفهومی انجام پژوهش به شرح شکل چهار است.

۱- Probabilistic Risk Assessment

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]



شکل ٤: مدل مفهومی پژوهش

روش نمونه‌گیری:

به‌منظور انجام مصاحبه عمیق و نیمه ساختاریافته با خبرگان در بخش کیفی، از ترکیب روش‌های هدفمند قضاوتی و غیراحتمالاتی گلوله‌برفی، استفاده شده است. بدین منظور، براساس سابقه فعالیت در حوزه هوشمندسازی آب، افرادی از خبرگان این حوزه شناسایی، بر اساس معیارهای لازم انتخاب و در ادامه بر اساس روش گلوله‌برفی، خبرگان دیگر شناسایی گردید. در طی انجام فرآیند مصاحبه از خبرگان درخواست گردید تا خبرگان دیگر را معرفی نمایند. اکثر خبرگان علاوه بر دارا بودن معیارهای مربوطه مشتمل بر دارا بودن دانش، تخصص و تجربه بالا در مبحث هوشمندسازی آب، شناسایی شده توسط سایرین، فهم نظری موضوع، تنوع فعالیت در حوزه مربوطه و دارای انگیزه مشارکت در تحقیق، توسط خبرگان دیگر معرفی و تأیید گردیدهاند.

جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها تا آنجا ادامه می‌یابد که محقق در داده‌ها به مرز اشباع برسد، مفاهیم مرتبط با پدیده موردنظر که توسط مصاحبه‌شوندگان مختلف مطرح می‌شود تکراری شود، هیچ‌گونه تغییری در جریان مفاهیم و مقولات خاص ایجاد نشود و کفایت نظری حاصل شود. با توجه به نوپایی مفاهیم، پس از مصاحبه با هفت نفر از مدیران و انجام تحلیل لازم، اشباع نظری حاصل شد. پنج نفر از مصاحبه‌شوندگان دارای مدرک کارشناسی ارشد، دو نفر کارشناسی و همگی آقا می‌باشند.

در خصوص گروه کانونی نیز با توجه به پرسش‌ها، هدف تحقیق و ضرورت انجام مصاحبه گروهی، از نمونه‌گیری هدفمند سهمیه‌ای، با لحاظ نمودن حضور متناسب شش نفر از افراد مطلع مرتبط با موضوع مشتمل بر معاونین ارشد شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و وزارت نیرو (دو نفر)، مشاورین و پیمانکاران فعال در حوزه هوشمندسازی آب (دو نفر) و اساتید دانشگاهی صاحب‌نظر در این حوزه (دو نفر) استفاده و درنهایت پس از شناسایی مضامین و اولویت‌دهی به مدیریت مخاطره در بحث مکانیابی استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند آب، از تکنیک‌های ارزیابی ریسک بر مبنای احتمال یاری گرفته شد تا بهترین مکان جهت استقرار شبکه هوشمند آب شناسایی گردد.

روایی و پایایی پژوهش:

برای سنجش روایی این تحقیق در بخش کیفی، علاوه بر اینکه مضامین فراگیر، سازمان‌دهنده و پایه با مطالعه مبانی نظری، پیشینه تحقیق و کلیه منابع و مستندات اجرایی در دسترس انتخاب و تأیید گردید،

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

نظرات و راهنمایی گروهی از خبرگان نیز لحاظ شد و قبل از کدگذاری، جرح و تعدیل نهایی صورت پذیرفت. در این بخش، ابتدا کدگذاری با مطالعه سطر به سطر کلیه مستندات موجود به شکل دستی صورت گرفت و پس از اتمام کدگذاری دستی و بدون مراجعه مجدد به آن، کدگذاری رایانه‌ای با نرم‌افزار Maxqda.10 به‌صورت مستقل انجام، نتایج این دو کدگذاری با یکدیگر مقایسه و از روش هولستی[1] برای محاسبه پایایی استفاده شد. رابطه هولستی جهت تعیین پایایی داده‌های اسمی برحسب «درصد توافق مشاهده‌شده»[2] و بین صفر (عدم توافق) و یک (توافق کامل) متغیر است و اگر از ۰/۷ بزرگ‌تر باشد، مطلوب می‌باشد که مقدار آن در

$$۶۹۲*۲/(۷۷۴+۷۳۷)=۰.۹۱۶$$

این تحقیق برابر است با:

در جدول دو، فهرست روش‌های تأمین اعتمادپذیری پژوهش حاضر در بخش کیفی آمده است.

یافته‌های پژوهش:

تحلیل مضمون

تحلیل مضمون روشی جهت شناخت، تحلیل و گزارش الگوهای موجود در داده‌های کیفی و فرآیندی برای تحلیل داده‌های متنی است که داده‌های پراکنده و متنوع را به داده‌هایی غنی و تفصیلی بدل می‌کند و زمانی مفید است که پژوهش در زمینه‌ای نامشخص صورت گیرد و یا نظر افراد درباره موضوع مورد پژوهش معلوم نباشد. (حسین خنیفر، ناهید مسلمی. ۱۳۹۷)

در این قسمت، نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها با روش تحلیل تم و با کمک نرم‌افزارMaxqda.10 در قالب تم‌های اصلی، تم‌های فرعی و مفاهیم ارائه گردید. بر اساس رویکرد براون و کلارک، فرایند به کار گرفته شده برای تحلیل مضمون در این پژوهش، شامل شش فاز آشنایی با داده‌ها، ایجاد کدهای اولیه، جستجوی تم‌ها، بازنگری تم‌ها، تعریف و نامگذاری تم‌ها و نهایتاً تهیه گزارش می‌باشد.

جدول ۲ :روش‌های تأمین اعتمادپذیری پژوهش در بخش کیفی

معیار	زیر معیارها		استراتژی تأمین	اقدام صورت گرفته
قابل‌قبول بودن	روایی ورودی‌های پژوهش	روایی داده‌های ورودی پژوهش	نمونه‌گیری گلوله‌برفی	معرفی مصاحبه‌شوندگان بعدی توسط مصاحبه‌شوندگان قبلی
			نمونه‌گیری برمبنای اعتبار	انتخاب مصاحبه‌شوندگان بر اساس توصیه متخصصان
		روایی تفسیری	استفاده از توصیف گرهای با حداقل مداخله	بهره‌گیری از عبارات توصیفی مانند نقل‌قول‌ها در تفسیرها
انتقال‌پذیری وصف تفصیلی همه جزییات ارائه یک تصویر مفصل از زمینه‌ای که پژوهش در آن انجام شده است.			استفاده از نمونه‌گیری بر مبنای اعتبار	انتخاب مصاحبه‌شوندگان از میان مدیران ذی‌ربط صنعت آب و فاضلاب
قابلیت اطمینان تشکیل گروه کانونی و در اختیار گذاشتن داده‌ها، روش‌ها و تصمیمات با هدف بازبینی و موشکافی تحقیق توسط دیگر پژوهشگران			ممیزی قابلیت اطمینان	انجام کدگذاری مستقل دستی و رایانه‌ای و مقایسه و تأیید آن بر اساس رابطه هولستی
تأیید پذیری			ارائه جزییات داده‌های پژوهش	ارائه گزیده مصاحبه‌ها و توضیح روند تحلیل داده‌ها

۱- Holsti's method

۲- Percentage of Agreement Observation

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

در گام نخست بخش کیفی، با مرور گسترده ادبیات، مطالعه مستندات و مصاحبه با متولیان امر، الزامات استقرار سامانه اسکادا به‌عنوان جزیی از پلت‌فرم شبکه هوشمند آب، از منظر صاحب‌نظران این حوزه تبیین گردید. در گام بعدی، پس از انجام مراحل فوق و تخصیص کلیه مفاهیم به تم‌های فرعی و دسته‌بندی تم‌های فرعی در قالب تم‌های اصلی، بازنگری فرایند مذکور در چندین نوبت انجام شد و ضمن تفکیک مفاهیم، در قالب فراوانی (بدون تکرار) و مراجع (با تکرار)، نهایتاً یک نقشه تماتیک راضی کننده از داده‌ها به دست آمد.

جدول ۳: عناوین اهداف استقرار سامانه اسکادای تأسیسات آب و فاضلاب

ردیف	عنوان (مقوله) هدف	مراجع (با تکرار)	فراوانی (بدون تکرار)
۱	هوشمند سازی یک مجموعه در سطح صنعتی	٦٨	٦٥
۲	بهبود شاخص‌های مرتبط با کارایی فرایندها	٤٨	٤٧
۳	بهبود شاخص‌های مرتبط با اقتصاد آب از طریق مدیریت هزینه	٤٨	٤٥
٤	مدیریت مخاطره	٤٢	٤٢
٥	بهبود فرایندهای بهره‌برداری تأسیسات آب و فاضلاب	٤٥	٣٤
٦	مدیریت بحران	٢٤	٢٤
۷	مدیریت مصرف انرژی و کاهش هزینه برق مصرفی	٢٤	٢١
۸	ایجاد زیرساخت برای سیستم‌های پشتیبان تصمیم	۹	۹
۹	افزایش رضایتمندی مشترکین	۸	۸
۱۰	افزایش بهره‌وری منابع انسانی و کاهش هزینه و خطای نیروی انسانی	٥	٥
۱۱	بهبود شاخص‌های مرتبط با فرآیند نگهداری و تعمیرات	۱	۱

جدول٤: عناوین پیش‌نیازهای استقرار سامانه اسکادای تأسیسات آب و فاضلاب

ردیف	عنوان (مقوله) پیش‌نیاز	مراجع (با تکرار)	فراوانی (بدون تکرار)
۱	لزوم تدوین استراتژی اجرایی مناسب	٦٥	٤٥
۲	لزوم آموزش و جذب نیروی انسانی آگاه و متخصص	۸	۷
۳	لزوم رعایت الزامات امنیت سایبری	٦	٦
٤	تأمین منابع مالی لازم	٥	٥
٥	تحلیل هیدرولیکی شبکه	۲	۲
٦	استقرار سامانه GIS	۳	۳
۷	لزوم خدمات پس از فروش مناسب جهت تجهیزات منصوبه	۲	۲
۸	ضرورت انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های مرتبط	۲	۲

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

بـر اسـاس نتایـج گام دوم بخـش کیفـی پژوهـش و طبـق جـدول سـه، بـر مبنـای بیشـترین فراوانـی (بـدون تکـرار)، اصلی‌تریـن هـدف اسـتقرار سـامانه اسـکادای آب، هوشمندسـازی یـک مجموعـه در سـطح صنعتـی اسـت و در ادامـه، بهبـود شـاخص‌های مرتبـط بـا کارایـی فرایندهـا و اقتصـاد آب (از طریـق مدیریـت هزینـه) و همچنیـن مقولـه مدیریـت مخاطـره قـرار دارد.

جـدول چهـار نیـز مهم‌تریـن پیش‌نیـاز اسـتقرار سـامانه اسـکادا در صنعـت آب و فاضـلاب را لـزوم تدویـن اسـتراتژی اجرایـی مناسـب می‌دانـد و در ادامـه، بیشـترین تأکیـدات بـر مبحـث لـزوم آمـوزش و جـذب نیـروی انسـانی متخصـص، اهمیـت رعایـت الزامـات امنیـت سـایبری و تأمیـن منابـع مالـی لازم اسـت.

به‌منظـور کمـک بـه قضـاوت گـروه کانونـی، اولویت‌بنـدی تمایـزات سـامانه اسـکادای آب در قیـاس بـا سـایر صنایـع، پـس از انجـام مصاحبـه و بررسـی دقیـق پیشـینه پژوهـش و بـر اسـاس فراوانـی (بـدون تکـرار)، در جـدول پنـج ذکـر شـد تـا بـا آن، بـه تبییـن بافـت سـازمانی اسـتقرار اینگونـه سـاختارهای هوشـمند بپردازیـم.

و دسـتیابی بـه بینـش منسـجم‌تر و آگاهـی بیشـتر در زمینـه الزامـات اسـتقرار سـامانه‌های اسـکادای آب و فاضـلاب، بهـره گرفتـه شـد. در ایـن گـروه، مـوارد مطروحـه در گام‌هـای قبلـی مـورد تأییـد ضمنـی قـرار گرفـت امـا در مبحـث اهـداف اسـتقرار اسـکادا، مقولـه مدیریـت مصـرف انـرژی و کاهـش هزینـه بـرق مصرفـی جـزو اهـداف کلانتـر و در سـطح شـبکه هوشـمند آب لحـاظ شـد و بـر بهبـود شـاخص‌های اقتصـاد آب از طریـق مدیریـت هزینـه و همچنیـن افزایـش بهـره‌وری منابـع انسـانی و کاهـش هزینـه و خطـای نیـروی انسـانی تأکیـد و پـس از تأییـد نهایـی، شـبکه مضامیـن در شـکل پنـج ارائـه گردیـد.

تحلیل سناریو

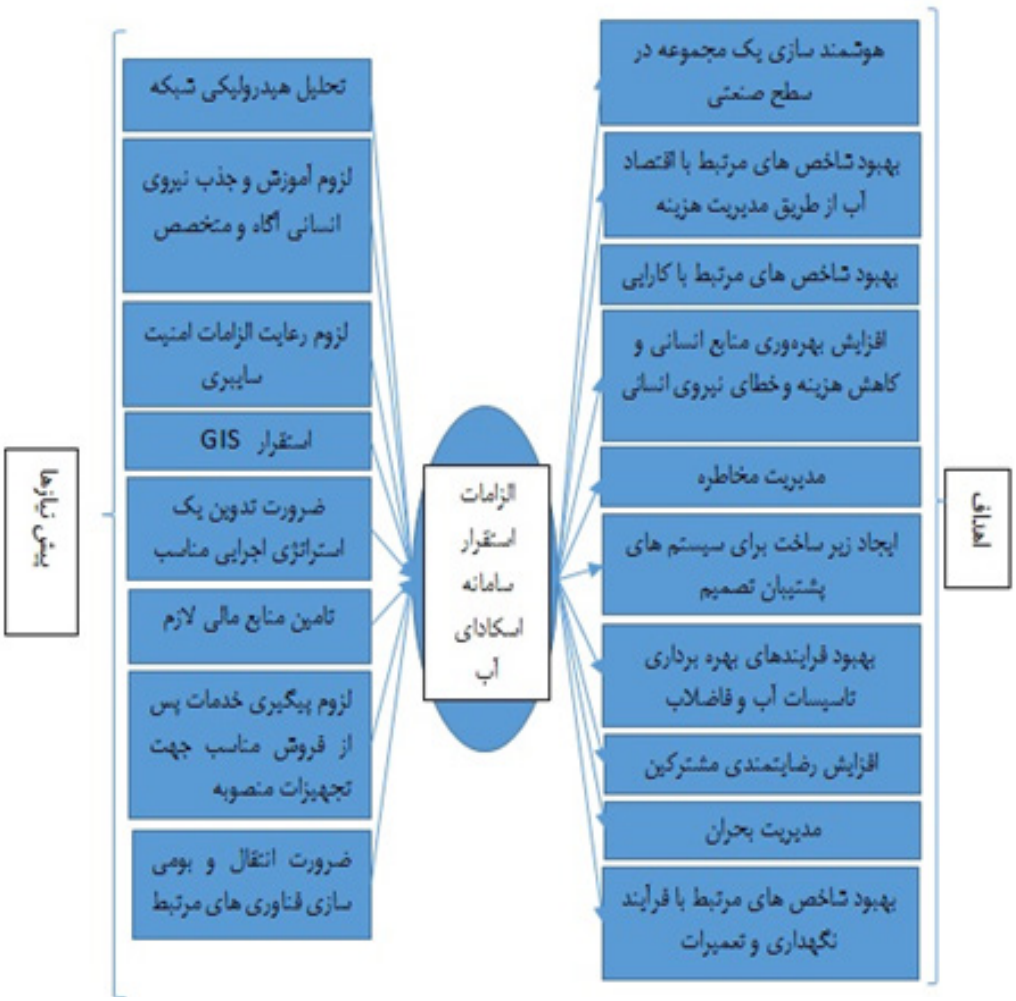
پـس از رسـم شـبکه مضامیـن و اولویت‌دهـی بـه مدیریـت مخاطـره در مکانیابـی شـبکه هوشـمند آب توسـط گـروه کانونـی، در گام نخسـت بخـش کمـی از روش تحلیـل سـناریو اسـتفاده شـده اسـت. مجموعه‌هـای از سـناریوها کـه (بـرای مثـال) انعکاسـدهنده بهتریـن یـا بدتریـن حالـت و یـا

جدول۵: اولویت‌بندی وجوه افتراق اسکادای آب و فاضلاب با سایر سامانه‌های مشابه کنترل صنعتی

ردیف	عنوان (مقوله) ویژگی متمایزکننده	مراجع (با تکرار)	فراوانی(بدون تکرار)
۱	پراکندگی زیاد تأسیسات تأمین، انتقال، ذخیره و توزیع آب	۳	۳
۲	عدم یکپارچگی و به هم‌پیوستگی منابع آبی در سطح کشور	۲	۲
۳	ضرورت ایجاد شبکه ارتباطی قوی و مؤثر	۲	۲
٤	لختی فرایندهای آب و فاضلاب در قیاس با صنایع دیگر	۲	۲
٥	عدم اتکای صددرصدی به اسکادا و سایر زیرسیستم‌های مدیریت هوشمند آب و نیاز به قضاوت‌های انسانی در تصمیم گیر یها	۲	۱
٦	ضرورت تحلیل داده‌های عملیاتی حاصل از اسکادای صنعت آب	۱	۱
۷	ضرورت حداکثری جهت بهره‌گیری از سیستم‌های کنترل محلی در صنعت آب	۱	۱
۸	رعایت فوق‌العاده و حداکثری ملاحظات امنیتی	۱	۱

مطابـق جـدول پنـج، آنچـه کـه مشـهود اسـت، اهمیـت توجـه بـه پراکندگـی زیـاد تأسیسـات تأمیـن، انتقـال، ذخیـره و توزیـع آب می‌باشـد کـه بایـد به‌عنـوان نقطـه تمایـز، بـه هنـگام تدویـن الزامـات عملیاتـی اسـتقرار اینگونـه سـامانه‌های کنترلـی در صنعـت آب لحـاظ گـردد. در ادامـه بـا اسـتفاده از نتایـج جـداول سـه تـا پنـج، از گـروه کانونـی بـرای برقـراری تعامـل بیـن شـرکتکنندگان در تحقیـق، جهـت ایجـاد داده‌هـا مطابـق انتظـار اسـت را می‌تـوان جهـت تحلیـل پیامدهـای بالقـوه و احتمـال وقـوع آنهـا در هـر سـناریو محاسـبه کـرد. ایـن کار بـه هنـگام تحلیـل ریسـک به‌عنـوان شـکلی از تحلیـل میـزان حساسـیت اسـتفاده می‌شود.(حسـین ابراهیمـی و دیگـران ،۱۳۹۶) جهـت اعتباربخشـی بـه خروجی‌هـای تحلیـل سـناریو از قضـاوت خبـرگان در قالـب تشـکیل گـروه کانونـی اسـتفاده شـد. گـروه کانونـی جدیـد متشـکل از

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]



شکل ۵: شبکه مضامین استقرار سامانه اسکادای آب و فاضلاب (مبتنی بر شبکه هوشمند آب)

مدیران ارشد امور هماهنگی و کنترل آب و فاضلاب شهر تهران است و تمام سناریوهای ممکن و معنی‌دار بر اساس دیدگاه آنها، راستی‌آزمایی شده‌اند. نمونه‌گیری اعضاء این گروه کانونی، براساس سابقه فعالیت در زمینه هوشمندسازی آب و بهره‌برداری از پهنه موجود، از ترکیب روش‌های هدفمند قضاوتی و گلوله‌برفی حاصل شده است.

در این پژوهش، با لحاظ نمودن میزان دقیق آسیب‌پذیری تأسیسات به هنگام وقوع خطر و وجود پشتیبان‌های مناسب برای شرایط مختلف بهره‌برداری و حالت‌های اضطرار شبکه آبرسانی شهر تهران، سه سناریو مشتمل بر از دست رفتن هر سایت (به‌صورت منفرد) ، از دست رفتن سایت و سایت پشتیبان مرتبه اول و درنهایت از دست رفتن سایت و پشتیبان‌های مرتبه اول و دوم تدوین شد. برای محاسبه پیامد و ریسک در هر سناریو، ابتدا نقش هر یک از ۶۹ ایستگاه موجود در فرآیند آبرسانی پهنه موردنظر تعیین و سپس در صورت از مدار خارج شدن هر یک از ایستگاه‌ها یا پشتیبان‌ها، جایگزین‌های آنها به شکل مجزا و بسته به ماه موردنظر، با نظر گروه کانونی مشخص گردید. سپس احتمال بروز هر یک از این حالات، بر اساس نظرسنجی فازی صورت گرفته از یازده کارشناس خبره بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب شهر تهران که غیرتصادفی و هدفمند انتخاب شده‌اند، لحاظ کردن ضریب اهمیت هر کارشناس و بر اساس رابطه یک حاصل آمده است.

(رابطه۱)

$$FP = 1/10k \quad \text{اگر CFP مخالف صفر باشد}$$
$$FP = 0 \quad \text{اگر CFP برابر با صفر باشد}$$
$$K = \left(\sqrt[5]{(1-CFP)/CFP}\right) * 2/301$$

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

که در این رابطه:
FP: احتمال شکست[1] هر رویداد پایانی
CFP: عدد امکانی[2] حاصل از مرحله غیر فازی کردن

با توجه به تحلیل بر مبنای رفتار پویای شبکه آبرسانی و وجود سایت‌های پشتیبان متمایز در ماه‌های مختلف سال، پیامد هر مخاطره، با توجه به مصرف متفاوت روزهای هر ماه می‌بایست تا روزبه‌روز و به‌صورت مجزا حساب گردد. لذا، نظر به الگوهای به‌شدت متفاوت رفتار مصرف مشترکین در طی روزهای مختلف سال و فقدان اطلاعات چگونگی تغییرات مصرف آب برای هر ۳۶۵ روز سال، اطلاعات مصرف یک روز در هر ماه به‌صورت تصادفی استخراج شده است که شامل اطلاعات مصرف روزهای عادی، اواخر هفته، تعطیلات و روزهای خاص نظیر عید نوروز یا شب یلدا و یا مراسمات مذهبی نظیر تاسوعا و عاشورا می‌باشد که رفتار مصرف در آن‌ها احتمالاً متفاوت می‌باشد. رابطه محاسبه پیامد عبارت است از:

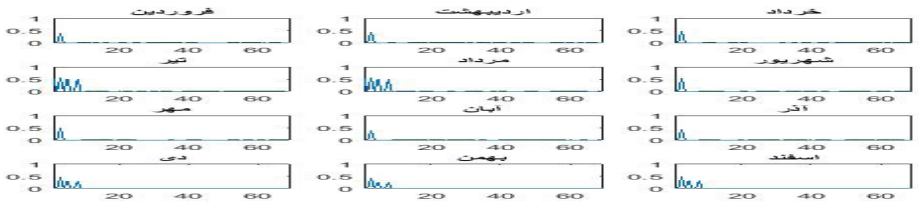
$$\text{پیامد} = \frac{\text{آب کمبود}}{\text{میزان مصرف آب}} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که کمبود برابر است با:
کمبود= (مصرف میزان)-((A موجوددرمخزن آب حجم)+(جایگزین آب دبی*آب قطعی زمان))

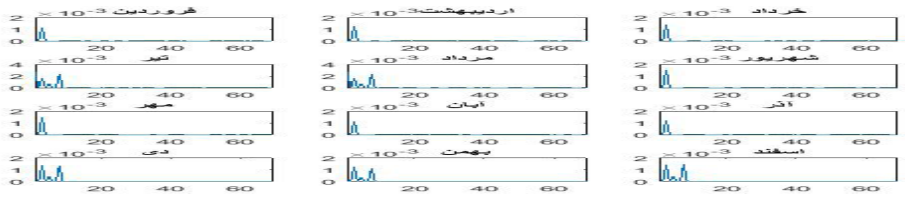
ریسک خطر نیز در هر سناریو از حاصل‌ضرب احتمال وقوع یا تکرارپذیری حادثه در پیامد یا شدت حاصله به دست می‌آید.

نظر به پویایی فرآیند آبرسانی و تغییرات شدید و لحظه به لحظه مقادیر حجم آب موجود در مخازن (برحسب m^3)، دبی آب جایگزین(برحسب m^3/h) و متفاوت بودن زمان‌های قطعی آب (برحسب h)، با نظر گروه کانونی و در گام نخست، کلیه مقادیر برای بدترین حالت ممکن مشتمل بر حداکثر زمان قطعی آب و با فرض حداکثر بودن آب ذخیره موجود در مخزن A لحاظ و در گام‌های بعدی، عدم قطعیت‌های مقادیر ورودی به‌صورت پویا در مدل اعمال گردید. لذا کدنویسی انجام شده در متلب، ابتدا مصرف هر ماه را از طریق برآورد انتگرال زیر سطح منحنی مصرف مشترکین محاسبه، سپس پیامد ایجاد مخاطره برای هر ۶۹ ایستگاه را بسته به هر سناریو، اندازه‌گیری و با توجه به احتمال وقوع، ریسک آنها را محاسبه می‌کند.

بین ایستگاه‌ها، کسری آبدهی چاه‌ها به‌راحتی توسط چاه‌های مجاور جبران‌پذیر است و حذف آنها، پیامد اندکی ایجاد می‌کند. لذا با توجه به دیدگاه گروه کانونی و قضاوت خبرگان، در صورت حذف یک چاه، چاه جایگزین با حداکثر ۲۰ ± درصد تغییر در دبی آبدهی، جایگزین خواهد شد و نقش پشتیبان را ایفاء می‌کند. در کدنویسی انجام شده نیز در صورت خروج یک چاه، جایگزین آن با ۲۰ ± درصد (به‌صورت کاملاً تصادفی) تغییرات در دبی آبدهی، محاسبه می‌گردد. بر این اساس



نمودار ۱: پیامد بروز سناریو اول یا خروج تکی هر یک از تأسیسات



نمودار ۲ :ریسک بروز سناریو اول یا خروج تکی هر یک از تأسیسات به تفکیک ماه

۱- Failure Probability
۲- Crisp Failure Possibility

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

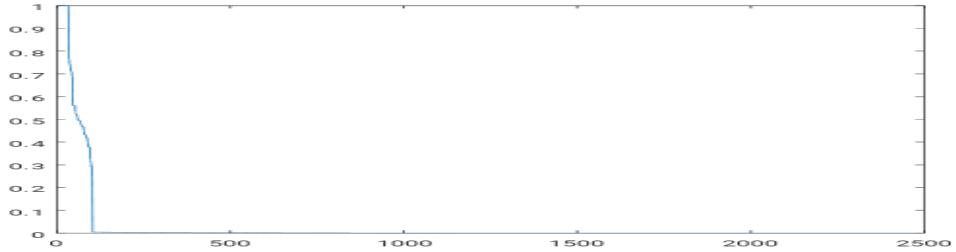
نتایج تحلیل سناریو اول، به تفکیک ماه‌های مختلف در نمودارهای یک و دو آمده است که مطابق آن، بیشترین پیامد در ماه چهارم یعنی تیرماه اتفاق می‌افتد.
مطابق نمودار دو، بیشترین ریسک سناریو اول، متعلق به تیرماه و از مرتبه 10^{-3} می‌باشد. نکته قابل توجه آن است که برای چاه‌ها میزان پیامد صفر نیست و مقدار کمی دارد.
محاسبه پیامد و ریسک همانند سناریو اول برای سناریوهای دوم و سوم نیز انجام شد. سناریو دوم شامل از مدار خارج شدن هریک از ایستگاه‌ها و تأسیسات پشتیبان مرحله اول آنها و سناریو سوم به معنی از دست رفتن همه تأسیسات پشتیبان است. مقایسه روند تغییرات هنگام گذر از سناریو اول به دوم، نشان می‌دهد که اگرچه تعداد ریسک‌های غیرصفر بیشتر می‌شود اما مرتبه ریسک‌ها 10^{-5} است که در قیاس با سناریو اول کاهش پیداکرده است.
همین روند برای سناریو سوم نیز وجود دارد بدین معنی که پیامدها بیشتر می‌شود و در بعضی ایستگاه‌ها به یک میرسند اما ریسک از مرتبه 10^{-7}است. در این تحلیل، ۶۹ ایستگاه موجود در پهنه هدف، در طی دوازده ماه سال (به تفکیک) و در قالب سه سناریو و ۲۴۸۴ حالت مختلف بررسی شد. این تعداد داده در نمودار سوم به‌صورت نزولی، به نحوی مرتب شد که همه پیامدهای ممکن قابل توجه به سهولت در کنار هم مشاهده گردد. مطابق این نمودار، اکثر پیامدها بسیار ناچیز و نزدیک به صفر است

ریسک موجود برای ۲۴۸۴ حالت ممکن در نمودار چهار آمده است. در این نمودار، ریسک‌ها به شکل مستقل و با توجه به مقدار خود و نه میزان پیامد، مرتب شده‌اند.
بعد از محاسبه همه پیامدهای ممکن، با کدنویسی دیگری در متلب، پیامدهایی که طبق نظر گروه کانونی، مقدار آنها از یک حد آستانه مشخص یعنی نیم بیشتر باشند، شمارش و خروجی به تفکیک ایستگاه سرمنشاء مخاطره و ماه وقوع در یک فایل اکسل ذخیره می‌شود.

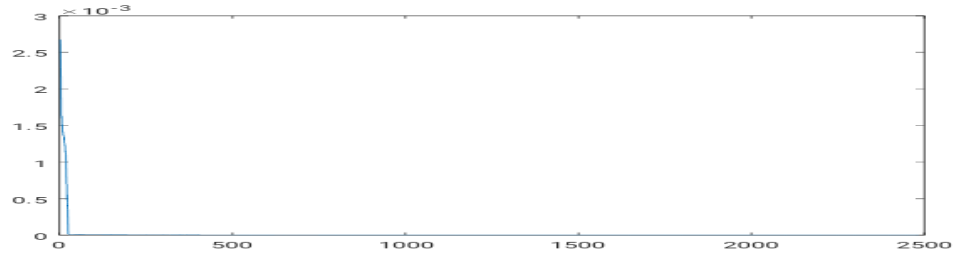
جدول٦: جدول تجمیع پیامدهای معنی‌دار ناشی از سناریوهای سهگانه

نام ایستگاه	جمع همه سناریوهای معنی‌دار
تصفیه‌خانه B	14
تصفیه‌خانه C	0
مخزن A	3
مخزن D	0
مخزن E	15
مخزن F	12
مخزن G	0
ایستگاه پمپاژ E	15

جدول شش، تجمیع پیامدهای معنی‌دار برای همه سناریوهای سه گانه را نشان می‌دهد. بدیهی است که



نمودار ۳: نمودار کلی پیامدها



نمودار ٤ : نمودار کلی ریسک‌ها

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

برای حد آستانه‌های دیگر، اعداد متفاوتی به دست خواهد آمد.

جدول ۷: جدول تجمیع ریسک‌های معنی‌دار ناشی از سناریوهای سهگانه

نام ایستگاه	جمع همه سناریوهای معنی‌دار
تصفیه‌خانه B	2
تصفیه‌خانه C	0
مخزن A	12
مخزن D	0
مخزن E	5
مخزن F	0
مخزن G	0
ایستگاه پمپاژ E	15

با برنامه‌ای مشابه می‌توان به شمارش ریسک‌های مهم و معنی‌دار اقدام کرد. حدود ریسک‌های محاسبه شده از 10^{-3} تا 10^{-7}است. با توجه به این اعداد و با نظر گروه کانونی، میانگین هندسی یعنی آستانه 10^{-5}الحاظ، محاسبات انجام و نتایج تجمیع تمام ریسک‌های معنی‌دار مطابق جدول هفت ارائه شد که از آن می‌توان به‌آسانی، سایت‌های اولویت‌دار حاصل از تحلیل سناریو را مشاهده کرد.

تحلیل مونت کارلو

از آنجا که در مدیریت ریسک سیستم‌های آب شهری و بخش‌های مختلف آن چندین منبع عدم قطعیت اساسی وجود دارد و شبیه‌سازی مونت‌کارلو نیز از جمله روش‌های احتمالاتی مناسب برای تحلیل عدم قطعیت و ریسک سیستم‌های پیچیده و مبهم است، لذا در این بخش، از آن برای تحلیل ریسک سناریوهای مختلف استفاده و نتایج آن با دستاوردهای بخش قبل مقایسه گردید.

در مسئله موردبحث، چندین پارامتر به‌صورت غیرقطعی وجود دارد که در محاسبات تجزیه‌وتحلیل سناریو، همه آنها بر اساس نقشه‌های موجود و دیدگاه گروه کانونی، به‌صورت ثابت لحاظ گردید. این موارد مشتمل بر میزان مصرف مشترکین، حجم اولیه مخزن، زمان قطعی آب و مقدار دبی آب جایگزین می‌توانند کمتر یا زیادتر از مقدار پیش فرض باشند. ورودی‌های مدل مونت‌کارلو، عموماً اعداد صریحی هستند که به‌صورت تصادفی از توابع احتمالاتی برازش داده شده به پارامترهای دارای عدم قطعیت ورودی انتخاب می‌شوند. لذا منطقی است که در این تحقیق نیز، اعداد ثابت لحاظ شده در مرحله قبل، مبنا قرار گیرد و سپس با برازش تابع احتمالاتی مانند توزیع نرمال به آنها، عمل شبیه‌سازی چندین بار انجام شود. لیکن عملاً تعیین یک توزیع مناسب آماری، برای این کار میسر نیست و حتی برازش تابع نرمال و انتخاب میزان انحراف نیز باعث افزایش عدم قطعیت‌ها خواهد شد. بر این اساس، اعداد مورد استفاده در بخش قبل به شکل بازه‌های یکنواخت (تابع یکنواخت) فرض شد که حد بالا و پایین این بازه‌ها، دارای تلورانس۲۰٪ ± است. انتخاب اعداد تصادفی از این بازه‌ها، با یک میزان احتمال و به عبارت دیگر با فرض برابر بودن درجه عضویت کلی اعداد درون بازه صورت می‌گیرد. ورود مکرر مقدار صریح چهار پارامتر دارای عدم قطعیت، منجر به راستی‌آزمایی فرایند انتخاب پرمخاطره‌ترین سناریو خواهد شد. لذا به جای یک بار اجرای برنامه با مقادیر پیش‌فرض ثابت، برنامه ۵۰۰ بار با مقادیر تصادفی اجرا می‌شود. این مقادیر، دارای یک توزیع نرمال با میانگین پیش‌فرض و انحراف معیاری است که ۹۵ درصد اعداد انتخاب شده در بازه ۲۰٪ ± مقدار پیش‌فرض قرار گیرند. پرسش ما در این قسمت آن است که آیا جواب تحلیل با مقادیر ثابت در سناریوهای اول و دوم درست است و یا اینکه با اعمال عدم قطعیت بر مقادیر ورودی، پیامد و ریسک به چه میزان تغییر می‌کند.

مطابق جدول هشت، تحلیل مونت‌کارلو برای سناریو اول و دوم و برای ۲۰ ماه-ایستگاه دارای بیشترین پیامد انجام شد. دلیل عدم استفاده از این تحلیل برای سناریو سوم، به یک رسیدن پیامد در آن است که درنتیجه، تحلیل مونت‌کارلو در این سناریو چیز بیشتری به ما ارائه نخواهد کرد.

جدول هشت نشان می‌دهد که در اکثر موارد با احتمال بالای هشتاد درصد، عدد محاسبه شده برای پیش‌فرض عدد قابل‌قبولی است. با تکرار همین فرآیند برای ریسک و مطابق جدول نه، نتایج مبین آن است که در اکثر ماه-ایستگاه‌ها با احتمال بالای هفتاد درصد، ریسک محاسبه شده درست است و این یعنی در صورت تغییر در پارامترهای ورودی و اعمال عدم‌قطعیت، در نتایج مرحله قبل تغییری حاصل نمی‌شود.

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

جدول ۸: نتایج محاسبه احتمال (صحت) مقادیر پیامد برای ۲۰ ماه-ایستگاه با پیامد بالا

سناریو	ماه	ایستگاه	پیامد	احتمال قرارگیری در بازه ۲۰ درصد مقدار پیش‌فرض
2	8	4	0.561	0.658
2	5	4	0.561	0.69
2	1	4	0.561	0.676
1	3	4	0.561	0.944
2	8	5	0.560	0.688
2	5	5	0.560	0.7
2	1	5	0.560	0.696
1	3	5	0.560	0.944
2	8	6	0.523	0.822
2	5	6	0.523	0.794
2	1	6	0.523	0.804
1	3	6	0.523	0.898
1	1	4	0.518	0.89
1	1	5	0.516	0.892
1	8	4	0.496	0.904
1	5	4	0.496	0.9
2	8	7	0.495	0.806
2	5	7	0.495	0.804
2	1	7	0.495	0.82
1	3	7	0.495	0.838

جدول ۹: نتایج محاسبه احتمال (صحت) مقادیر ریسک برای ۲۰ ماه-ایستگاه با ریسک بالا

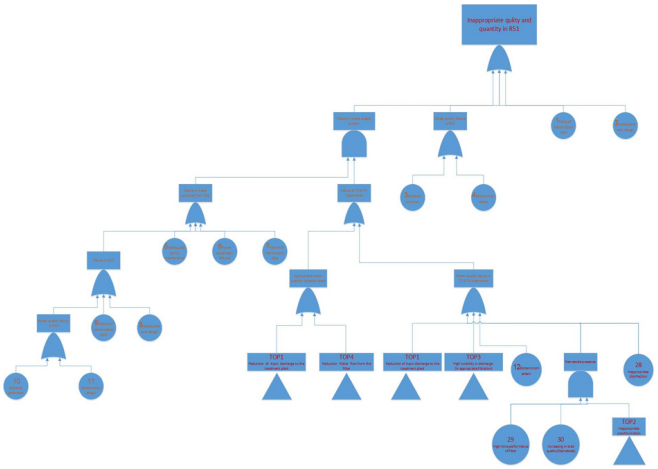
سناریو	ماه	ایستگاه	ریسک	احتمال قرارگیری در بازه ۲۰ درصد مقدار پیش‌فرض
1	1	4	0.002677317	0.89
1	1	5	0.002669335	0.892
1	8	4	0.002296649	0.904
1	8	5	0.002289183	0.88
1	3	4	0.001632379	0.944
1	3	5	0.00162829	0.944
1	3	6	0.001522488	0.898
1	8	12	0.001445896	0.5
1	3	7	0.001439609	0.838
1	3	12	0.001403378	0.772
1	3	3	0.001366574	0.794
1	3	10	0.001356615	0.776
1	8	10	0.001347089	0.436
1	3	2	0.001260134	0.712
1	3	11	0.001255773	0.704
1	3	9	0.001215947	0.644
1	8	11	0.001134016	0.362
1	3	1	0.001101435	0.574
1	3	8	0.001101281	0.522
1	5	4	0.000701502	0.9

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

ترسیم درخت خطا

پس از اعمال تحلیل مونت‌کارلو، تأیید ضمنی آن در گروه کانونی و بر مبنای محاسبات سناریو محور مرحله قبل، پرریسک‌ترین سایت‌هایی که ایجاد مشکل در آنها منجر به بروز مخاطره جدی در پهنه تحت پوشش مخزن هدف می‌شود مشتمل بر مخزن A، تصفیه‌خانه B، مخزن E و ایستگاه پمپاژ آن مشخص گردید. لذا در مرحله بعدی و پس از بررسی مستندات، درخت خطای منتج به بروز مخاطره به‌وسیله نرم‌افزار Visio ۲۰۱۶. برای چهل‌وسه رویداد اولیه ترسیم گردید و پس از اخذ و اعمال نظرات اصلاحی، به تأیید گروه کانونی رسید. از میان یک رویداد اصلی و چهار رویداد فرعی تعریف شده، درخت خطای رویداد اصلی در شکل شش آورده شده است.



شکل ٦: درخت خطای رویداد اصلی

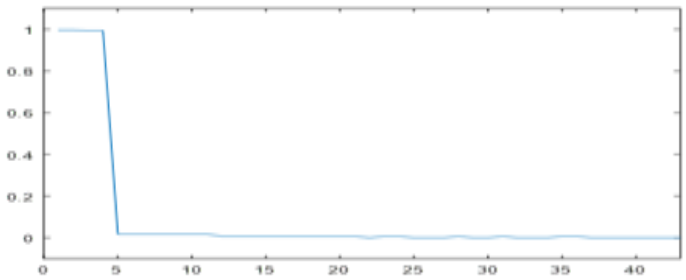
محاسبه شاخص بیرنبام

در گام پیشین، دلیل ترسیم درخت خطا آن بود که پرمخاطره‌ترین مسیر ممکن شناسایی شود. اما به دلیل فقدان اطلاعات کافی، برآورد دقیق احتمال رویدادهای اساسی مقدور نیست. لذا جهت محاسبه احتمالات وقوع هر یک از درگاه‌ها، از رویکرد فازی و ترکیب آن با نظر هفت نفر از کارشناسان ذیربط استفاده و سپس اولویت‌بندی پرمخاطره‌ترین رویدادهای پایه بر مبنای شاخص بیرنبام، به‌وسیله کدنویسی انجام شده در نرم‌افزار متلب صورت پذیرفت. مطابق تعاریف موجود برای رتبه‌بندی رویدادهای پایه در صورتی که احتمال شکست آنها، اعداد غیرفازی باشد می‌توان از شاخص بیرنبام استفاده کرد که توسط رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$BI = Q(qi = 1) - Q(qi = 0)$$

(رابطه سه)

در این رابطه، $Q(qi=1)$ تابع فازی احتمال شکست رویداد رأس زمانی است که شکست رویداد پایه i ام به‌طور کامل رخ دهد و $Q(qi=1)$ تابع فازی احتمال شکست رویداد رأس زمانی است که شکست رویداد پایه i ام اصلاً رخ ندهد.



نمودار ٥: تغییرات شاخص بیرنبام برحسب رخدادهای اولیه

با توجه به آن که هر چه میزان این شاخص بزرگ‌تر باشد، سهم رویداد پایه در وقوع رویداد رأس بزرگ‌تر است، ساختار درخت خطا در متلب پیاده‌سازی شد. نمودار پنج، نشانگر اهمیت هر رویداد پایه بر مبنای بزرگی شاخص بیرنبام است. مطابق انتظار رویدادهای یک و دو که به پایان درخت خطا نزدیک‌تر هستند، در ایجاد رویداد نهایی مؤثرتر هستند. خروجی عددی مقادیر موجود در نمودار پنج برای ده رویداد برتر به شرح زیر است که نتایج آن، مشتمل بر بهترین محل استقرار تأسیسات هوشمند و فرآیند مناسب اولویت‌دار جهت انجام هوشمندسازی به تأیید گروه کانونی رسیده است.

The Total Event for Gate 1 is 0.99657
The Total Event for Gate 2 is 0.99617
The Total Event for Gate 3 is 0.99353
The Total Event for Gate 4 is 0.99355
The Total Event for Gate 5 is 0.017988
The Total Event for Gate 6 is 0.017989
The Total Event for Gate 7 is 0.017964
The Total Event for Gate 8 is 0.017949
The Total Event for Gate 9 is 0.017982
The Total Event for Gate 10 is 0.017949

رسم نمودار پاپیونی

اصولاً سیستم‌های تأمین آب را می‌توان به‌صورت تعدادی از مراحل در نظر گرفت که در کنار هم موجب تضمین ایمنی آب آشامیدنی می‌شوند. این مراحل عبارتند از: جلوگیری از آلودگی منابع آبی، استحصال آب از منابع انتخابی، مخازن تحت کنترل، تصفیه قبل از توزیع،

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

حفاظت حین توزیع و ذخیره‌سازی ایمن در منازل و نقاط مصرف. هریک از مراحل فوق می‌توانند به عنوان یک مانع در نظرگرفته شود. در راهکار چند مانعی، هر مانع به کاهش بیشتر ریسکی که موجب غیرایمن شدن آب شده بود منجر می‌شود، به طوری که اگر ایرادی در یک نقطه پیش آید موانع دیگر موجب فراهم آوردن حفاظت بیشتر می‌شوند. (نعیمه کاظمیان،۱۳۹۲).

لذا درنهایت، فرای تأیید گروه کانونی و به‌منظور حصول اطمینان از انتخاب مکان مناسب و بررسی تحقق هدف اصلی استقرار شبکه آب هوشمند یا همان مدیریت مخاطره در آن، شبکه هوشمند فرضی آب برای درگاه دارای اولویت اول (بروز مشکل یا شکستن لوله‌های انتقال آب ورودی مخزنA)، بر اساس روش پاپیونی و به وسیله نرم‌افزار BowTie pro™-LOPA، به شرح شکل هفت طراحی و تأیید گردید.

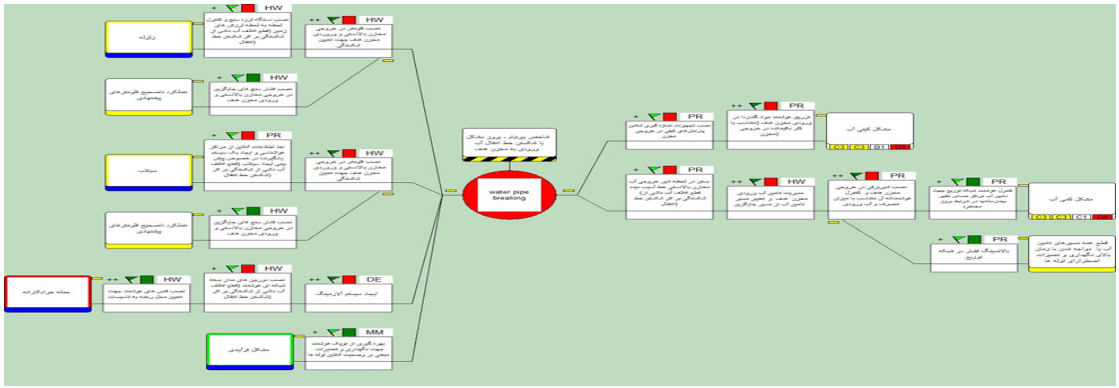
تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی[1]، تکنیک ارزیابی ریسک ساده‌ایی است که به‌آسانی از آن می‌توان در ساخت مدل‌های پاپیونی استفاده نمود. این روش، شیوه نظام‌مندی است که از آن می‌توان در بررسی ریسک‌های موجود در هر شاخه به‌تنهایی و یا کل نمودار پاپیونی بر همین اساس است که عملکرد سیستم تأیید و یا رد می‌شود. (زهرا ناصر زاده و دیگران،۱۳۹۲)

یک روش موجود برای تعریف معیارهای پذیرش، استفاده از جدول SSL برای عملکرد سیستم‌های ایمنی است. جدول دهم از استاندارد IEC61511(2003) بر گرفته شده است.

جدول ۱۰: سطوح یکپارچگی ایمنی

Safety integrity (level (SIL	Average probabilty of failure to perform its design function on demand
SIL٤	$<1*10^{-4}$
SIL٣	$<1*10^{-3}$
SIL٢	$<1*10^{-2}$
SIL١	$<1*10^{-1}$

در این مرحله، مطابق شکل نه و در صورت مبنا قرار دادن استاندارد مذکور، ریسک باقیمانده سیستم هوشمند آب فرضی تعریف شده، مشتمل بر رقم نهایی فراوانی پیامدها در حد سطحSSL4، به‌عنوان بالاترین سطح ایمنی برای کلیه تهدیدات مورد تأیید قرار گرفت که



شکل ۷: هوشمند سازی فرآیند با هدف مدیریت مخاطره ناشی از شکستن لوله‌های انتقال آب

به‌صورت یک جا استفاده و نهایتاً سطح یکپارچگی ایمنی[2] را در سیستم تعیین کرد و برای هر SIL، احتمال شکست در زمان موردنیاز [3]را تخمین زد. بر اساس معیار پذیرش است که موفقیت و یا شکست شاخه موردمطالعه (نمودار LOPA) مشخص می‌شود. هر معیار پذیرش دارای یک مقدار عددی است که رقم نهایی فراوانی پیامد (مقدار ریسک باقیمانده[4]) با آن مقایسه می‌شود و نشانگر تأیید مدل و خروجی آن در راستای تحقق هدف هوشمندسازی یا کاهش مخاطرات است. لازم به ذکر است که شاخص احتمال شکست در زمان موردنیاز بر مبنای دیدگاه گروه کانونی و با لحاظ نمودن مستندات موجود، تعیین و در محاسبات لحاظ شده است. این شاخص در شاخه‌های متفاوت، ممکن است مقادیر متفاوتی داشته باشد.

۱- LOPA: Layer of Protection Analysis

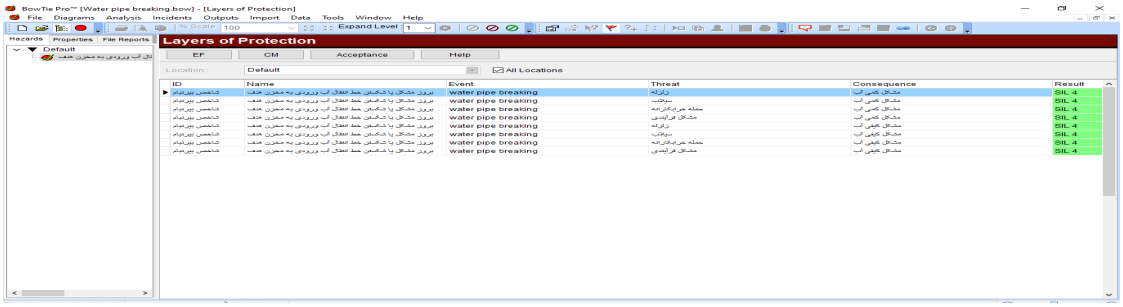
۲- SIL: Safety Integrity Level

۳- PFD: Probability of Failure on Demand

٤- Acceptance Details

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۶۰ . پاییز ۱۳۹۹
Urban managment
No.60 Autumn 2020

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]



شکل ۹ : جدول معیار پذیرش مدل هوشمند طراحی شده

بحث و نتیجه‌گیری:

امروزه شبکه هوشمند آب به‌عنوان نسل بعدی مدیریت آب پیشنهاد شده است که فناوری اطلاعات و ارتباطات را به‌منظور افزایش اثربخشی تمام عناصر ساختار شبکه آب به هم مرتبط می‌کند. در این میان اسکادا، به‌عنوان یکی از اجزاء کلیدی شبکه مذکور، سامانه جمع‌آوری داده مبتنی بر رایانه است که داده‌های عملیاتی مجموعه نقاط پراکنده را از راه دور گردآوری و از طریق لینک‌های ارتباطی برای یک یا چند مرکز کنترل ارسال می‌کند تا عملیات نمایش،کنترل و گزارش‌گیری روی آنها انجام شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نظر به نوپا بودن بحث هوشمندسازی در جوامع پیشرو، هوشمندسازی در کشور ما نیز با چالش‌های مشابهی روبرو خواهد بود و در گام اول ضروری است تا نقشه راه هوشمند سازی در ابعاد مختلف آن ترسیم شود. با چنین رویکردی، اتوماسیون و به تبع آن اسکادا، به‌عنوان پیش‌نیاز شبکه هوشمند از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود و باید سرمایه‌گذاری لازم در آن صورت پذیرد. مطابق مستندات موجود، ضمن استقرار چند پایلوت سامانه مدیریت هوشمند آب در شرکت‌های آب و فاضلاب مشهد و تهران، حجم عظیم سرمایه‌گذاری در زمینه طراحی و اجرای اسکادا در صنعت آب و فاضلاب صورت گرفته است و مطابق برنامه و تا پایان سال ۱۴۰۴ تمامی تأسیسات آب و فاضلاب کشور در تمامی شهرها باید مجهز به اینگونه سامانه‌های نظارتی گردند. لذا این پژوهش درصدد است تا بر پایه روش تحقیق آمیخته متوالی، ضمن تمایز بخشیدن به مفاهیم مدیریت هوشمند آب و اسکادای آب و فاضلاب، به طراحی مدلی نوآورانه جهت استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند آب بر مبنای مکانیابی استقرار سامانه‌های اسکادا بپردازد و از این طریق، ضمن حرکت گام‌به‌گام به سمت محل فرآیند موردنظر، به موازات هدایت سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته به مکان مناسب، مانع از اتلاف هزینه، کاهش بهره‌وری و افزایش تاب‌آوری سامانه‌های در مدار بهره‌برداری گردد. لذا در بخش کیفی تحقیق و با استفاده از مرور گسترده ادبیات، مطالعه مستندات و انجام مصاحبه با متولیان امر، الزامات استقرار سامانه اسکادا به‌عنوان جزیی از پلتفرم شبکه هوشمند آب، از منظر صاحب‌نظران این حوزه تبیین گردید. نتایج این بخش نشان داد که برمبنای بیشترین فراوانی (بدون تکرار)، مهم‌ترین هدف اجرای اسکادای آب و فاضلاب، هوشمندسازی مجموعه در سطح صنعتی است و در ادامه، بهبود شاخص‌های مرتبط با کارایی فرایندها و معیارهای مرتبط با اقتصاد آب (از طریق مدیریت هزینه) و همچنین مدیریت مخاطره قرار می‌گیرد. این نتایج، مهم‌ترین پیش‌نیاز استقرار سامانه اسکادای آب را لزوم تدوین استراتژی اجرایی مناسب میداند و در پله‌های بعدی بیشترین تأکیدات بر مبحث لزوم آموزش و جذب نیروی انسانی آگاه و متخصص، اهمیت رعایت الزامات امنیت سایبری و همچنین تأمین منابع مالی لازم است. پس از رسم شبکه مضامین، تأیید ضمنی نتایج بخش کیفی و تأکید بر مکانیابی استقرار شبکه آب هوشمند برمبنای مدیریت مخاطره توسط گروه کانونی، از تکنیک‌های ارزیابی مخاطره به‌منظور انتخاب مکان مناسب و فرآیند اولویتدار، در پروسه استقرار سامانه‌های مدیریت هوشمند آب استفاده گردید. بر این اساس و در گام نخست از روش تحلیل سناریو استفاده و ۲۴۸۴ حالت معنی‌دار، ارزیابی کمی و پرمخاطره‌ترین سایت‌ها در پهنه موردنظر شناسایی شد. سپس عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند آبرسانی در قالب تحلیل مونت‌کارلو بر محاسبات مرحله قبل اعمال و نتایج راستی‌آزمایی گردید. در ادامه درخت خطا در قالب چهل‌وسه رویداد اولیه، برای سایت‌های منتخب ترسیم شد و به تأیید گروه کانونی رسید. سپس با کدنویسی محاسبه شاخص بیرنبام در متلب، رویدادهای اولیه درخت خطا رتبه‌بندی، پرمخاطره‌ترین سایت و فرایند اولویتدار شناسایی و درنهایت از روش پاپیونی جهت تأیید مدل استفاده گردید. درنهایت ضمن پیشنهاد به پژوهشگران آتی برای طراحی یک مدل مکانیابی چندهدفه جهت استقرار شبکه هوشمند آب و بر مبنای نتایج حاصل

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]

از ایـن تحقیـق، بـا توجـه بـه نویـن بـودن مباحـث شـبکه هوشـمند آب، اسـتفاده از روش‌هـای کمـی ارزیابـی ریسـک، شناسـایی فرآیندهـای اولویـت‌دار بـه مـوازات مکانیابـی تأسیسـات هوشـمند و همچنیـن تاییـدات مرحله‌به‌مرحلـه گـروه کانونـی در ایـن پژوهـش، پیشـنهاد می‌شـود مـدل تدویـن شـده، به‌عنـوان یـک راهبـرد عملیاتـی در فرآینـد مکانیابـی تأسیسـات هوشـمند آبـی اسـتفاده گـردد.

منابع

۱. ابراهیمـی، حسـین. عابـدی، کمال‌الدیـن. فرجـی، مهـدی. (۱۳۹۶)، ارزیابـی ریسـک (صفـر تـا صـد)، تهـران ، انتشـارات فـن‌آوران ، ۸۸

۲. بهپویـان امیـن منتظـر. (۱۳۹۴)، هوشـمند سـازی سیسـتم آبرسـانی شـهر مشـهد ، مسـتندات کتابخانـه‌ای شـرکت آب و فاضـلاب مشـهد، صـص ۲-۱۴

۳. تشـیعی،ح.ر.محمدی،م.(۱۳۹۵)،راهنمای جامـع بهره‌بـرداری از تأسیسـات آب و فاضلاب:راه‌کارهـای اسـتقرار سـامانه اسـکادا در تأسیسـات آب و فاضلاب،جلـد هفتم،چـاپ اول، تهـران، انتشـارات مکـث نظـر، صـص ۱۷-۲۵

۴. خنیفـر،ح .مسـلمی،ن.(۱۳۹۸)، اصـول و مبانـی روش‌هـای پژوهـش کیفـی ، جلـد اول، چـاپ اول، تهـران ، انتشـارات نـگاه دانـش ، صـص ۵۰-۷۳

۵. شاه‌حسـینی، ن. (۱۳۹۷)، بررسـی تأثیـر هوشمندسـازی کسـب‌وکار بـر رضایتمنـدی مشـتریان بـا تأکیـد بـر سیسـتم اسـکادا شـرکت آب و فاضـلاب شـهری اسـتان تهـران ،دانشـگاه آزاد اسـلامی واحـد تهـران مرکـز، دانشـکده مدیریـت، صـص ۷-۱۰۸

۶. کاظمیـان، نعیمـه.(۱۳۹۲)، پیاده‌سـازی برنامـه ایمنـی آب در سیسـتم‌های آبرسانی،تبریز،نشـر سـتوده،صص ۱-۴

۷. کلانتـری،م. (۱۳۹۳) ، تعییـن میـزان اثـر بخشـی اسـتفاده از سـامانه‌های اسـکادا در مدیریـت بحـران شـرکت‌های آب و فاضـلاب شـهری (مطالعـه مـوردی شـرکت آب و فاضـلاب شـهری اسـتان البـرز)، فصلنامـه علمـی پژوهشـی مطالعـات مدیریـت شـهری، دوره ۶ شـماره ۱۸، صـص ۱-۲۰

۸. کنتـرل سـازان فراینـد. (۱۳۹۲)، گـزارش مطالعـات راهبـردی و اسـتقرار سیسـتم اسـکادا و دیسـپاچینگ ملـی آب و فاضـلاب کشـور، مسـتندات کتابخانـه‌ای شـرکت مهندسـی آب و فاضـلاب کشـور، صـص ۱۲-۹۱

۹. محمـدی، غ. (۱۳۹۵)، تبییـن الگـوی شـهر هوشـمند درکلانشـهر مشـهد مبتنـی برتوسـعه پایـدار ،دانشـگاه فردوسـی مشـهد ،دانشـکده جغرافیـا، صـص ۱-۲۰

۱۰. ناصـر زاده، زهـرا و دیگـران.(۱۳۹۲). آمـوزش نرم‌افـزار ارزیابـی ریسـکBOWTie Pro TM- LOPA ، تهـران ، انتشـارات فـن‌آوران ، ۱۳

11. Aawdahl, A. (2017). An Exploratory Study of Smart City Initiatives: Theory, Practice, and Linkage to Sustainability. Lawrence Technological University .College of Management,40

12. Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., j. whittle ,A. (2012). Case study: a smart water grid in Singapore. IWA Publishing. Water Practice & Technology 7(4), 1-2.

13. Byeon, S., Choi, G., Maeng, S., Gourbesville, P. (2015). Sustainable Water Distribution Strategy with Smart Water Grid. Sustainability, 7(4), 4243-4245.

14. Cherchi, C.(et al.). (2015). Energy and water quality management systems for water utility's operations: A review. Journal of Environmental Management, 153, 109.

15. C.Hafedh, N. (et al.). (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. 45th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE Computer Society, 2.

16. He, Y. (et al.). (2014). smart city, International Journal of Distributed Sensor Networks, 1.

17. Kwaka, D. Kima, Y. Kima, W2016) .). Development of SWG Standard Model by Location Type and Case Study of Inland. Procedia Engineering ,154, 268.

18. Martyusheva, Olga.2014)). Smart Water Grid.In Partial Fulfilment of The Requirements For Degree Master Of Science.Colorado State University.27-30

19. M. Grilo, A. (et al.). (2014). An Integrated WSAN and SCADA System for Monitoring a Critical Infrastructure.IEEE TRANSACTION ON INDUSTRIAL INFORMATICS, 10 (3), 1.

20. Ntuli, N & Abu-Mahfouz, A. (2016). A Simple Security Architecture for Smart Water Management System. The 11th International Symposium on Intelligent Techniques for Ad hoc and Wireless Sensor Networks,1164-1165

21. Savić, D. Vamvakeridou-lyroudia, l., kapelan, z. (2014). Smart Meters, Smart Water, Smart Societies: The iWIDGET Project. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA, 1105.

22. Sensus Group. (2015). Water 20/20, bringing smart water network into focus, 13

23. Vijai, P & Bagavathi Sivakumar, P .(2016). Design of IoT Systems and Analytics in the Context of Smart City Initiatives in India. Procedia Computer Science, 584.

24. Won Lee, S. (et al.). (2015). Smart water grid: the future water management platform. Desalination and Water Treatment, 55, ۳۴۰.

25. Yuanyuan, W. (et al.). (2017). A New Framework on Regional Smart Water. International Congress of Information and Communication Technology (ICICT 2017), 122.

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-01]