Original Paper

مقاله پژوهشی

کنترل هدر رفت آب با مدیریت هوشمند فشار در شبکه توزیع آب شهری با استفاده از کنترل‌گرهای چندنقطه‌ای به‌منظور مدیریت بحران در تأمین آب شرب شهری

DOR : https://dorl.net/dor/20.1001.1.23453915.1402.12.2.7.3

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳

غلامرضا سیف[۱*]، ناصر مهردادی[۲]، علیرضا پرداختی[۳]

۱- دانشجوی دکترا، مهندسی محیط زیست -آب و فاضلاب، دانشگاه تهران پردیس کیش، کیش، ایران

۲- استاد، مهندسی عمران – محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- استادیار، مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

مدیریت بحران دانشی است که برنامه‌ریزی و رعایت اصول و استانداردها قبل، حین و بعد بحران سهم انسان را در کنترل حوادث افزایش داده و مدیریت بحران آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت خاصی دارا است. مدیریت بحران آب به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین مسائل توسعه شهری به‌حساب می‌آید که رشد بی‌برنامه شهرها سیستم مدیریت بحران را در شهرهای بزرگ و کوچک دچار اخلال می‌کند. کنترل هدر رفت آب در بحران بی‌آبی ایران نقش بسزایی را دارد که یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب در دسترس است. آب به‌حساب نیامده علاوه بر اینکه بر تنش آبی شهرهای کشور تحمیل‌شده است ازلحاظ منابع درآمدی برای شرکت‌های آب و فاضلاب بحران‌های مالی را در بر دارد؛ اما در اثر اضافه فشار شبکه، پدیده نامطلوب نشت که ارتباط مستقیم با فشار دارد بروز می‌کند (جهانگیر، بارانی، جهانگیر، ۱۳۹۲) که مدیریت فشار شبکه به‌عنوان کاراترین و ساده‌ترین روش در میان روش‌های کاهش نشت بشمار می‌آید. از الزامات مدیریت فشار می‌توان به کاهش نشت، کاهش مصرف، کاهش حوادث، عدم پرداخت و توزیع کارآمد آب اشاره نمود. (وزارت نیرو، ۱۳۸۶). با مدیریت هوشمند فشار در شبکه توزیع آب توسط کنترل‌گرهای چندنقطه‌ای علاوه بر کنترل و عرضه فشار شبکه توزیع، نقاط بحرانی شبکه شناسایی و اقدامات مؤثر در توزیع فشار یکسان را انجام شد که منجر به کاهش هزینه‌های تولید، کاهش میزان نشت‌های زمینه، کاهش تعداد حوادث انشعاب به میزان ۳۱ درصد و کاهش تعداد حوادث شبکه‌های اصلی به میزان ۳۷ درصد شد.

واژه‌های کلیدی: **مدیریت هوشمند فشار، نشت، بحران بی‌آبی، کنترل‌گر چندنقطه‌ای**

Water Wastage Control with Intelligent Pressure Management in the Urban Water Distribution Network Using Multi-Point Controllers in Order to Manage the Crisis in Urban Drinking Water Supply

Gholamreza Seyf[1*], Naser Mehrdadi[2], Alireza Pardakhti[3]

1. PhD. Student, Environmental Engineering - Water and Wastewater, University of Tehran, Kish Campus, Tehran, Iran (gholamrezasaif20@yahoo.com)
2. Prof., Civil Engineering – Environment, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Assist. Prof., Civil Engineering – Environment, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Crisis management is the knowledge that planning and complying with principles and standards before, during and after a crisis increases the human contribution in controlling incidents, and water crisis management is especially important in arid and semi-arid areas. Water crisis management as one of the The most fundamental issues of urban development are the unplanned growth of cities that disturbs the crisis management system in big and small cities. Controlling water wastage plays a significant role in Iran's dehydration crisis, which is one of the solutions for optimal use of available water resources. Unaccounted water, in addition to being imposed on the water stress of the country's cities, in terms of sources of income for water and sewage companies, it involves financial crises. However, as a result of excess network pressure, the undesirable phenomenon of leakage that is directly related to pressure occurs (Jahangir, Barani, Jahangir, 2013). Network pressure management is considered as the most efficient and simplest method among leakage reduction methods. The requirements of pressure management include reducing leakage, reducing consumption, reducing accidents, non-payment and efficient distribution of water. With the intelligent management of pressure in the water distribution network by multi-point controllers, in addition to controlling and supplying the pressure of the distribution network, the critical points of the network were identified and effective measures were taken to distribute the same pressure, which led to the reduction of production costs, The amount of field leaks, the number of branching incidents decreased by 31% and the number of main network incidents decreased by 37%.

Keywords: Intelligent Pressure Management, Leak, Dehydration Crisis, Multi-Point Controllers.

۱- مقدمه

ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی به‌عنوان یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک شناخته‌شده است، محدودیت منابع آب ازیک‌طرف و رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضای آب از طرف دیگر، یکی از بحران‌های پیش روی جوامع درحال‌توسعه است، ازاین‌رو برای مقابله با این بحران می‌توان به اهمیت مدیریت منابع آب، مدیریت شبکه آب‌رسانی و جلوگیری از هدر رفت آب در شبکه توزیع آب اشاره نمود. شناسایی پرت آب در شبکه‌های آب‌رسانی شهری به‌صورت‌های فیزیکی و غیر فیزیکی که از مخازن ذخیره و لوله‌های اصلی شبکه توزیع آب شهری و نیز شبکه‌های فرعی و انشعابات مشترکین که ممکن است به‌صورت نشت آب و یا ترکیدگی لوله‌های اصلی و فرعی شبکه و انشعابات و شیرهای شبکه به خارج از سیستم توزیع آب منتقل شود، پدیده نامطلوب نشت در شبکه‌های آب‌رسانی ارتباط مستقیم با فشار دارد، نشت آب همواره باعث کمبود منابع آب شده و برای جبران این کمبود معمولاً هزینه‌های پمپاژ، تصفیه و انتقال آب را بر تولیدکننده تحمیل می‌نماید. مدیریت فشار شبکه به‌عنوان کاراترین و ساده‌ترین روش در میان روش‌های کاهش نشت و جلوگیری از هدر رفت آب در شبکه‌های آب‌رسانی بشمار می‌رود. برای مدیریت فشار در شبکه توزیع آب می‌توان به انتخاب صحیح محل احداث مخازن ذخیره، اجرای طرح ناحیه بندی فشار (زون فشار) کنترل پمپاژ، کنترل سطح آب در مخازن ذخیره، احداث حوضچه‌های تعدیل فشار و استفاده از شیرهای کنترل‌گر چندنقطه‌ای استفاده نمود. (وزارت نیرو ۱۳۸۶).

در این پژوهش با مدیریت هوشمند فشار و کنترل میزان نشت آب و تجزیه‌وتحلیل شبکه توسط نرم‌افزار WaterGEMS و استفاده از شیرهای فشارشکن و همچنین کنترل‌گرهای چندنقطه‌ای و شناسایی نقاط بحرانی شبکه آب‌رسانی تحت پوشش مخزن ۲۶ شرکت آب و فاضلاب منطقه یک استان تهران بررسی شد. هدر رفت آب یا آب بدون درآمد از اختلاف بین حجم آب ورودی به سیستم (شبکه توزیع) و مصارف مجاز با درآمد طی یک دوره که دارای دو بخش هدر رفت واقعی، هدر رفت ظاهری است محاسبه و بیان می‌شود که با بررسی منابع و سابقه مطالعات پیشین می‌توان عنوان نمود که در کشورهای توسعه‌یافته هدر رفت آب کمتر از ۱۵ درصد و در کشورهای درحال‌توسعه بیشتر از ۳۰ درصد است (کارآموز ۱۳۸۵). مدیریت فشار یکی از روش‌های مؤثر و اقتصادی برای کاهش نشت در شبکه توزیع است. با توجه به ارتباط مستقیم بین فشار شبکه و میزان مصارف مشترکین، مدل‌سازی توزیع مکانی فشار در نرم‌افزارهای هیدرولیکی قابل انجام است، پارامترهای مختلف مدیریت هوشمند شبکه از قبیل عملکرد هیدرولیکی، قابلیت اطمینان و پایداری شبکه شامل می‌شود ازاین‌رو شناسایی روند تغییرات و تعیین میزان آن از اهمیت بسیاری در سطوح مختلف مدیریتی برخوردار است. (کارآموز؛ تابش و نظیف و مریدی، ۱۳۸۵)

حداقل فشار شبکه توزیع آب شرب باید به نحوی باشد که در هنگام برداشت آب برای انواع مصارف و با در نظر گرفتن افت‌های موضعی، امکان تأمین فشار مناسب وجود داشته باشد. ضمن اینکه بالا بودن فشار در شبکه موجب ازدیاد تلفات آب و افزایش هزینه طرح می‌شود. با توجه به اینکه افزایش فشار موجب ازدیاد مصارف ناخواسته، افزایش نشت و حوادث شده و همچنین با در نظر گرفتن کیفیت اجرای شبکه‌های توزیع آب و لوله‌کشی‌های داخل ساختمان‌ها و عمر

متفاوت آنها، حداکثر فشار مجاز شبکه برابر ۵ بار توصیه‌شده است. البته درصورتی‌که محدودیت‌هایی به‌واسطه توپوگرافی و یا افزایش هزینه‌های جداسازی وجود داشته باشد می‌توان حداکثر فشار را تا ۶ بار افزایش داد. حداقل فشار مجاز در شبکه توزیع آب باید به‌اندازه‌ای باشد که با توجه به افت فشارهای شبکه و لوله‌کشی داخل ساختمان و همچنین تغییرات سطح آب در مخازن، در بالاترین نقطه برداشت در ساختمان‌ها، حداقل فشار از ۰/۳ بار کمتر نباشد. البته در ساختمان‌های بلند (بیش از ۴ طبقه)، برای تأمین فشار باید از تأسیسات داخلی استفاده نمود. بنابراین حداقل فشار موردنیاز ۲,۶ بار است.

امروزه با توجه به پیشرفت دانش و پیچیدگی سیستم‌های تحت‌فشار مانند شبکه‌های توزیع آب (شبکه توزیع آب مجموعه‌ای به‌هم‌پیوسته شامل مخازن، لوله‌ها، ابزارهای کنترل هیدرولیکی (نظیر پمپ‌ها، شیرها، تنظیم‌کننده‌های جریان، تانک‌ها و غیره است) که وظیفه رساندن آب با فشار و کمیت و کیفیت مناسب را از تصفیه‌خانه به مصرف‌کننده بر عهده دارد.) و از طرفی توزیع مناسب و عادلانه آب به مشترکین مطابق با استانداردها و همچنین برای تجزیه‌وتحلیل شبکه آب‌رسانی در زمان بروز مشکلات از قبیل افت فشار شبکه، توسعه شبکه برای مشترکین جدید استفاده از نرم‌افزارهای بروز دنیا از قبیل WaterGEMS ضروری است.

۱-۱- استراتژی‌های اصلی کاهش هدر رفت

مدیریت فشار

یکی دیگر از عوامل مهم در طراحی و محاسبات سیستمهای توزیع آب شرب شهری ایجاد فشار مناسب در نقاط مختلف مصرف است. مقدار این فشار با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی طرح دارای محدودیت‌هایی است که رعایت آنها به منظور توزیع صحیح آب الزامی و انتخاب مقادیر حداقل و حداکثر فشار در ناحیه بندی فشاری شبکه در سیستمهای ثقلی و ایجاد فشار در سیستمهای پمپاژ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کاهش هدر رفت ارتباط مستقیم با فشار شبکه توزیع دارد با افزایش فشار میزان هدر رفت افزایش پیدا می‌کند و بالعکس.

افزایش سرعت و کیفیت تعمیرات

با توجه اینکه امکان وقوع حادثه در هر نقطه‌ای از شبکه با جنس‌های مختلف لوله‌ها دارد، شناسایی دقیق نوع حادثه و استفاده از اتصالات باکیفیت بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که رفع حادثه با کمترین زمان ممکن از میزان هدر رفت در شبکه جلوگیری کرده و به‌تبع آن منجر به حفظ تأمین پایدار آب برای مشترکین خواهد شد.

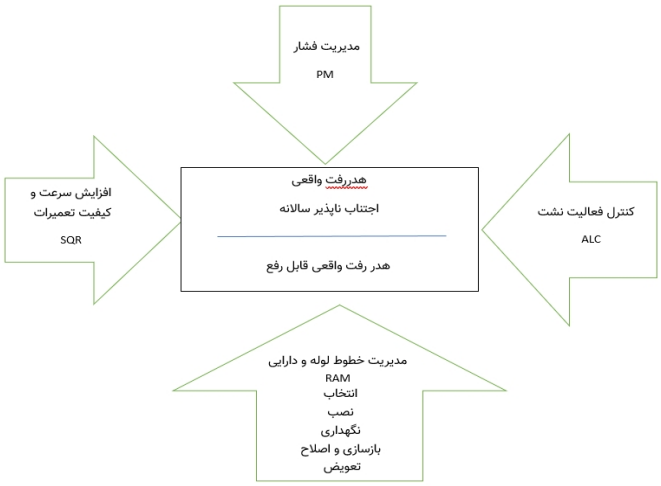
کنترل فعالیت نشت

شناسایی و اندازه‌گیری نشت‌های موجود در شبکه توزیع به‌طورمعمول با استفاده از روش‌های تشخیص صوتی نشت و نظارت مستمر بر جریان ورودی به نواحی زیر ایزوله صورت می‌پذیرد، برای موفقیت برنامه مدیریت نشت تضمین تعمیرات به‌موقع و پایدار حیاتی است.

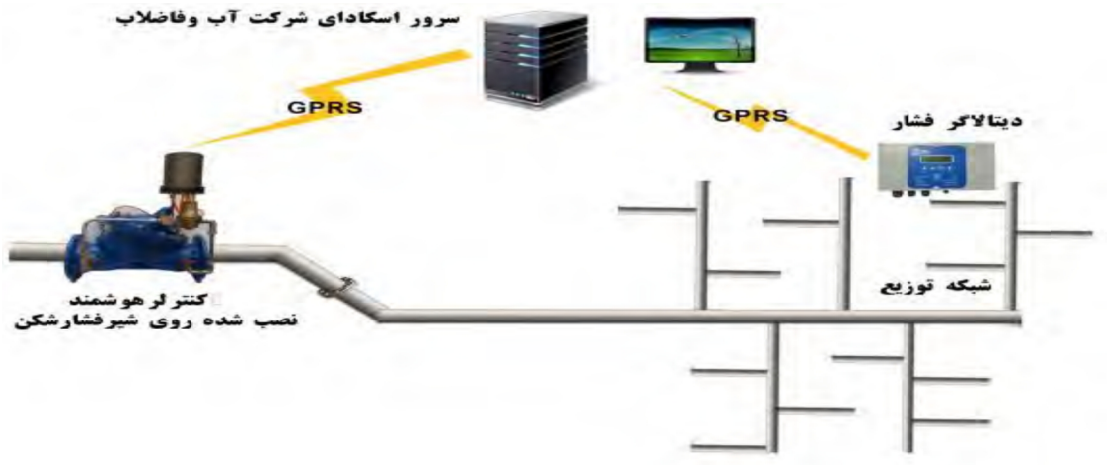
مدیریت خطوط اصلی انتقال آب

با توجه به اینکه حجم بالایی از نیاز آبی یک محدوده از مخازن ذخیره آب توسط خطوط انتقال آب تأمین می‌شود، کنترل و مانیتورینگ خطوط انتقال از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در شکل شماره یک نمودار استراتژی‌های اصلی کاهش هدر رفت که شامل مدیریت فشار و افزایش کیفیت تعمیرات و کنترل نشت و همچنین مدیریت خطوط اصلی انتقال آب است معرفی شده است. (کرم‌وند و عادلی، ۱۳۹۸)



شکل شماره ۱- استراتژی‌های اصلی کاهش هدر رفت واقعی



شکل شماره ۲ - دیاگرام ارتباطی شیرهای فشارشکن هوشمند و شبکه توزیع آب

شیر فشارشکن

•به‌طور اتوماتیک فشار زیاد و متغیر ورودی را به فشار کم و ثابت خروجی تبدیل می‌کند. چنانچه در شبکه بعد از شیر فشارشکن مصرف آب وجود نداشته باشد برای جلوگیری از انباشته شدن فشار استاتیک شیر فشارشکن به‌طور اتوماتیک جریان را قطع می‌کند. استفاده از این شیرها سهولت بهره‌برداری از شبکه و خطوط انتقال حذف هزینه‌های هنگفت خرید زمین و ساخت مخازن فشارشکن را در بردارد و نیز با کاهش فشارهای ناخواسته در شبکه‌ها و خطوط انتقال به مقدار زیادی از هدر رفتن سیال جلوگیری می‌کند.

کنترل‌گر فشار

•کنترل‌گر دستگاهی است قابلیت کنترل هوشمند و از راه دور فشار شبکه توزیع آب شهری را داراست و روی شیرهای فشارشکن نصب می‌شود. امکان استفاده از برق ۱۲-۲۴ ولت، مناسب بودن برای استفاده از برق سلول‌های خورشیدی، مقاومت در برابر آب و رطوبت و قابلیت تنظیم دستی از دیگر ویژگی‌های این دستگاه است.

•جلوگیری از هدر رفت آب در شبکه و اقدام سریع در وقوع حوادث در شبکه را از اهداف ساخت این دستگاه است. (کرم‌وند و عادلی، ۱۳۹۸)

۱-۲- لوله‌های آب‌رسانی

لوله‌ها قسمتی از خطوط انتقال و شبکه توزیع است که دبی و قطر آن ثابت بوده و برابر مشخصات فنی آن به انواع زیر تقسیم می‌شود:

۲- مشخصات منطقه مورد مطالعه

به‌منظور اجرای مدیریت هوشمند فشار در شبکه توزیع آب، محدوده خدماتی مخزن ۲۶ در شرکت آب و فاضلاب منطقه یک انتخاب و اقدامات لازم در دستور کار قرار گرفت.

محدوده مخزن ۲۶ در شمال منطقه تحت پوشش آب و فاضلاب منطقه یک واقع شده است. این محدوده، مساحتی بالغبر ۵۷۶ هکتار را تحت پوشش قرار می‌دهد. این ناحیه از جنوب به بزرگراه شهید چمران و خیابان‌های رشیدالدین فضل‌الله، مقدس اردبیلی، ولیعصر و زمانی، از شرق به خیابان محمودی یکم و محدوده گلاب دره، از غرب به محدوده زندان اوین و از شمال به محدوده کاخ سعدآباد و خیابان‌های طاهری، اعجازی و عدالت منتهی می‌شود. شبکه مورد مطالعه به‌طورکلی دارای ۱۰۴۱۴۶ متر لوله، ۹۷۶ فقره شیرآلات، یک مخزن به حجم ۵۲۵۰۰ مترمکعب و ۱۲ دستگاه شیر فشارشکن است.

ردیف	جنس / شرح	لوله فولادی St.P	لوله چدن داکتیل D.I.P	لوله GRP	لوله پلی‌اتیلن PE.P	کاروگیت	لوله بتنی
۱	مقاومت در برابر بار داخلی	قابلیت تولید لوله و اتصالات در انواع ضخامت‌ها برای تطبیق کامل با انواع فشار کار تا ۳۲ بار و بالاتر برای کلیه اقطار	قابلیت تولید لوله در اقطار تا ۶۰۰ میلی‌متر تا فشار کار ۲۰ بار و اتصالات مربوطه تا فشار کار ۱۶ بار	قابلیت تولید لوله با فشار کار ۳۲ بار تا اقطار ۱۴۰۰ میلی‌متر و فشار کار ۱۶ بار برای اقطار بالاتر	قابلیت استفاده لوله با فشار کار ۳۲ بار در اقطار پایین و فشار کار ۱۶ بار برای اقطار بالاتر	حداکثر فشار طراحی درون آنها ۱/۵ بار	قابلیت تحمل فشارهای داخلی
۲	مقاومت در برابر بار خارجی	مقاومت بسیار خوب به دلیل قابلیت ارتجاعی بالا. مقاوم در برابر تنش خستگی.	مقاومت بسیار خوب به دلیل قابلیت ارتجاعی نسبی خوب	مقاومت کم به دلیل سختی (Stiffness) پایین و عدم مقاومت در برابر بارهای نوسانی.	مقاومت نسبتاً خوب در برابر بار خارجی	مقاومت حلقوی بالا- فشار حلقوی ۳۱/۵ کیلو نیوتن	۶ الی ۳۵ اتمسفر

شکل شماره ۳- موقعیت جغرافیایی و پلان اجرایی تأسیسات شبکه توزیع

جدول شماره ۱- مشخصات لوله‌های موجود محدوده مخزن ۲۶

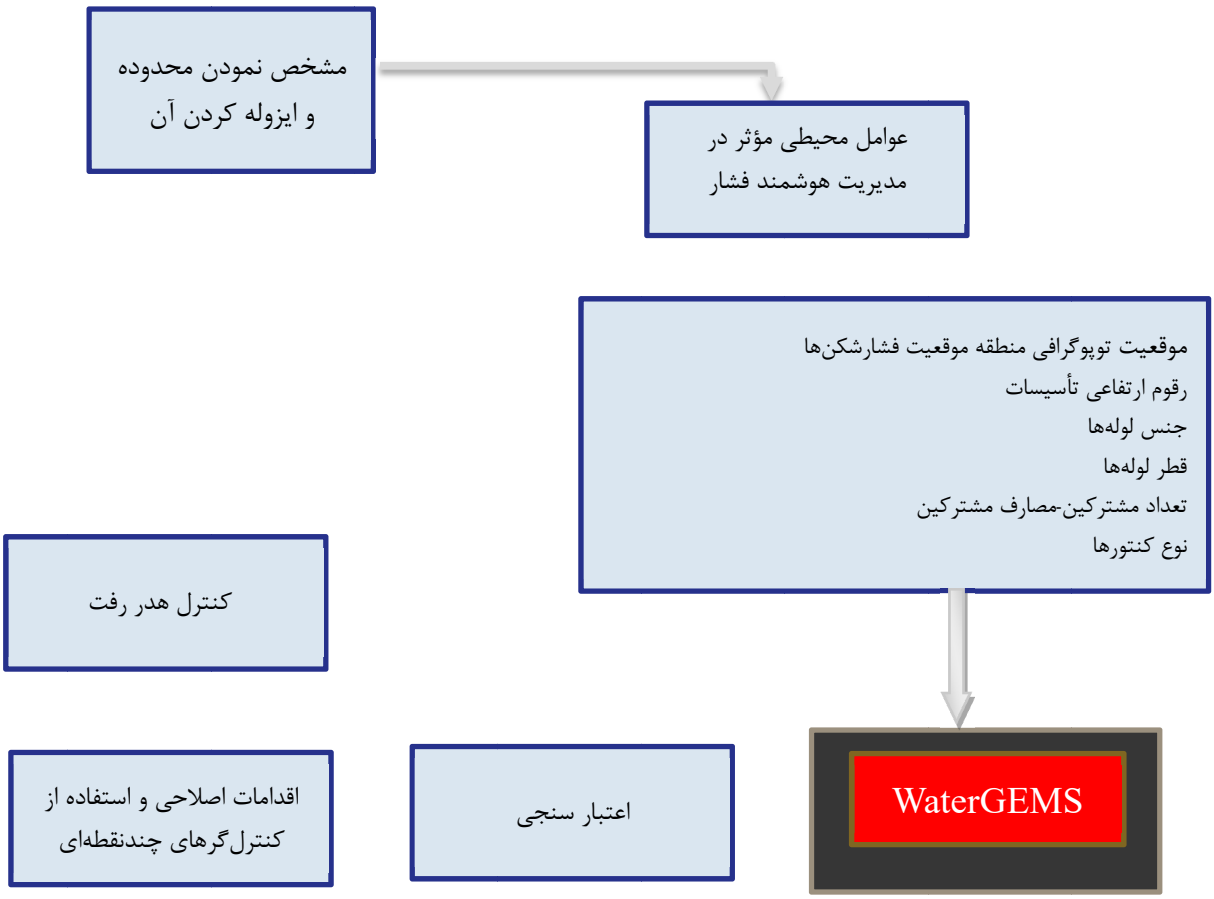
Diameter (mm)	Length					
	PE (m)	PVC (m)	DI (m)	AC (m)	ST (m)	All Materials (m)
25	0	1,933	0	0	0	1,933
50	0	3,820	0	0	0	3,820
60	0	0	6,305	2,178	0	8,483
63	1,060	0	0	0	0	1,060
80	0	0	15,023	7,375	0	22,398
90	451	0	0	0	0	451
100	0	0	24,515	261	0	24,777
110	1,771	0	0	0	0	1,771
150	0	0	13,533	0	0	13,533
200	0	0	3,954	0	0	3,954
250	0	0	8,139	0	0	8,139
300	0	0	2,078	0	0	2,078
350	0	0	520	0	0	520
400	0	0	1,734	0	0	1,734
500	0	0	1,678	0	21	1,699
700	0	0	163	0	2,649	2,812
900	0	0	0	0	1,588	1,588
Sum (m)	**3,282**	**5,753**	**77,641**	**9,815**	**4,257**	**100,770**

۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا محدوده مورد مطالعه مشخص و ایزوله شد، سپس نسبت به تعیین عوامل محیطی مؤثر در مدیریت هوشمند فشار اقدام شد که شامل گردآوری اطلاعات محدوده ازجمله مشخصات جنس لوله‌ها به همراه اقطار و شیرآلات و کنتورهای منصوبه است، در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS که یک نرم‌افزار تحلیل شبکه آب بوده محدوده ایزوله را تحلیل و نقاط بحرانی شبکه را مشخص شد (شبکه‌هایی که دارای کمبود و یا ازدیاد فشار باشند را بحرانی میگویند) که یکی از اقدام‌های مؤثر، نصب کنترل‌گرهای چندنقطه‌ای بر روی شیرهای فشارشکن محدوده مورد مطالعه است؛ که توسط این کنترل‌گرها می‌توان فشار شبکه را با توجه به میزان مصرف در چند بازه زمانی کاهش و یا افزایش داد. (مطابق الگوی مصرف روزانه فشار در شب کاهش و در روز افزایش داده می‌شود)، پس از دریافت مدل وضعیت موجود اعتبار سنجی صورت گرفت (اعتبار سنجی: کنترل وضعیت موجود در منطقه با مدل است) و نهایتاً به تجزیه‌وتحلیل اقدامات انجام‌شده پرداخته و کاهش میزان هدر رفت آب را نسبت به دو دوره قبل محاسبه و نتیجه آن را به‌صورت مقایسه‌ای و نموداری مورد ارزیابی قرار گرفت.

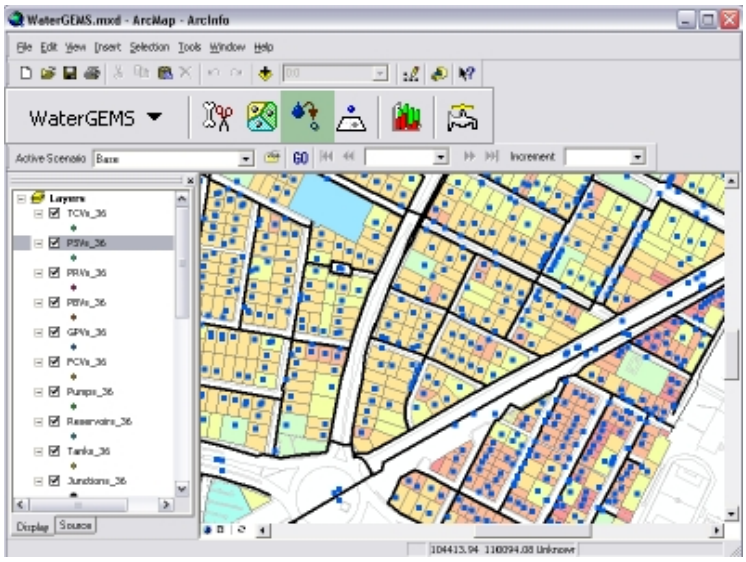
گردآوری اطلاعات (میدانی، کتابخانه‌ای و غیره):

پس از دریافت اطلاعات ثبت‌شده در بانک‌های مختلف شرکت آب و فاضلاب منطقه یک شهر تهران از قبیل بانک‌های اطلاعاتی ثبت حوادث و ۱۲۲ موجود در پست‌های امداد تمامی حوادث انشعاب و شبکه‌های اصلی به‌صورت روزانه دریافت شد و از صورت‌وضعیت‌های پیمانکاران پست‌های امداد عملکرد تعمیر و تعویض شیرآلات استخراج شد و از بانک‌های اطلاعاتی نرم‌افزار سیمافا (سیمافا: سیستم جامع خدمات الکترونیک مشترکین در شرکت‌های آب و فاضلاب) تعداد مشترکین محدوده موردنظر و از نرم‌افزار DCH ۲ (دستگاهی است که مأمورین قرائت کنتور از آن



برای ثبت مصرف مشترکین استفاده می‌نمایند) مأمورین قرائت میزان مصرف مشترکین و از صورت‌وضعیت‌های پیمانکاران تعویض کنتور اطلاعات کنتورهای معیوب و بانک اطلاعاتی GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) اطلاعات لوله‌های اصلی و فرعی، شیرآلات شبکه توزیع استخراج شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS که در شبیه‌سازی شبکه‌های توزیع آب به کار می‌رود که ورودی‌های خود را از نرم‌افزار GIS که شامل لوله‌های اصلی و فرعی، مخازن ذخیره آب و شیرآلات شبکه توزیع آب به همراه رقوم ارتفاعی را در قالب فرمت DXF (فرمت نرم‌افزاری انتقال دیتا) دریافت نموده و پس از تنظیم پارامترهای تحلیلی اولیه توسط کاربر شروع به شبیه‌سازی و مدل‌سازی می‌نماید، نرم‌افزار WaterGems شبکه توزیع آب را به‌صورت یک شبکه شامل گره‌ها، شکل اتصالات، شبکه نمایش می‌دهد، اتصال‌ها می‌توانند شامل اجزای لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرها باشند. گره‌ها نیز علاوه بر نقاط اتصال بین لوله‌ها می‌توانند شامل اجزای زیر در شبکه باشند: نقاط مصرف آب، نقاط ورودی آب به شبکه و محل تانک‌ها و مخازن. (شکل شماره ۴) تاکنون دو روش برای مدل‌سازی ارائه شده است.

۱- روش حالت پایدار (STEADYSTATE) که در آن نیروهای خارجی در طول زمان ثابت بوده و زمانی که سیستم به حالت تعادل رسید تحلیل صورت می‌گیرد.



شکل شماره ۴- نمونه از فضای نرم‌افزار واترجیمز

۲- مدل‌سازی دینـامیکی :(Dynamic Modeling)
در این روش تأمین و مصرف آب بـا زمـان تغییـر می‌کند و نتایج تحلیل به‌صـورت متغیـر بـا زمـان ارائه می‌شوند(CLARK,CRAMAN;1998) .

در هـر دو روش حالـت پایـدار و دینـامیکی شبکه توزیع به‌صورت شبکه اتصال – گره (یعنـی لوله‌ها و پمپ‌ها و شیرها به‌صورت اتصال و چاه‌ها، تانک‌ها، مخازن و نقاط برداشت آب به‌صورت گـره می‌باشند) نمایش داده می‌شوند.

مدل‌های هیدرولیکی بـه‌منظـور تعیـین دبـی جریان، جهت جریان، سرعت جریان، افت فشار در لوله‌هـا و اتصـالات و فشـار در شـبکه بکـار بـرده می‌شوند.

در این تحقیق ابتدا محدوده مـورد مطالعـه را مشـخص و سـپس ایزولـه (ایزولـه: قطـع ارتبـاط محدوده مورد پژوهش با سایر محدوده مخازن در منطقه است) نموده و از آبگیری محـدوده از یـک نقطه (مخزن شماره ۲۶) اطمینان حاصل می‌شود.

منطقـه مطالعـاتی پـیش از اجـرای طـرح بـه همراه کارشناسان شـرکت آب و فاضـلاب منطقـه مـورد بررسـی و پیمـایش قـرار گرفـت و تمـام شیرهای مرزی بازبینی شد و ارتباط شبکه توزیـع این محدوده با سایر محدوده‌ها مورد بررسی قـرار گرفت که کاملاً ایزوله باشد. پس از ایزوله نمـودن محـدوده‌ی مـورد پـژوهش اقـدام بـه شناسـایی قسمت‌های مختلف شبکه ازجملـه بررسـی کلیـه لوله‌های اصلی و فرعـی شـبکه، شـیرآلات شـبکه شد.

پس از جمع‌آوری اطلاعـات و اقـدامات اولیـه اقدام بـه دریافـت اطلاعـات خروجـی دبـی سـنج مخزن مورد پـژوهش شـد و در یـک بـازه زمـانی میزان خروجی از مخزن و هم‌زمان میزان مصـرف مشـترکین کـه از قرائـت کنتـور مشـترک‌هـای محـدوده در همـان زمـان بـه دسـت مـی‌آیـد را محاسبه و اختلاف آنها که همـان هـدر رفـت آب (که شامل تلفات فیزیکی و غیـر فیزیکـی) بـوده، محاسبه و میزان آن محاسبه شد و در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS محدوده ایزوله را تحلیـل و نقـاط بحرانـی شـبکه مشـخص شـد. شبکه‌هایی توزیع آب که دارای کمبود حجـم آب در لوله و یا ازدیاد فشـار باشـند بـه‌عنـوان شـبکه بحرانی معرفی می‌شوند.

نقـاط بحرانـی ازنظـر فشـار جـدا شـد و قسمت‌هایی کـه فشـار در آنهـا از حـد اسـتاندارد پایین‌تر بود به قسمت نشت‌یاب ارجاع و نشت‌یابی شـد و قسـمت‌هـایی کـه فشـار شـبکه در آنهـا

بیش‌ازحد مجاز بود نسبت به نصب کنترل‌گرهای هوشمند چندنقطه‌ای بر روی شیرهای فشارشکن اقدام شد؛ که توسط این کنترل‌گرها فشار شبکه را با توجه به میزان مصرف در چند بازه زمانی کاهش و یا افزایش داده شد. مطابق الگوی مصرف روزانه معمولاً فشار در شب کاهش و در روز افزایش می‌یابد.

۴- نتایج و بحث

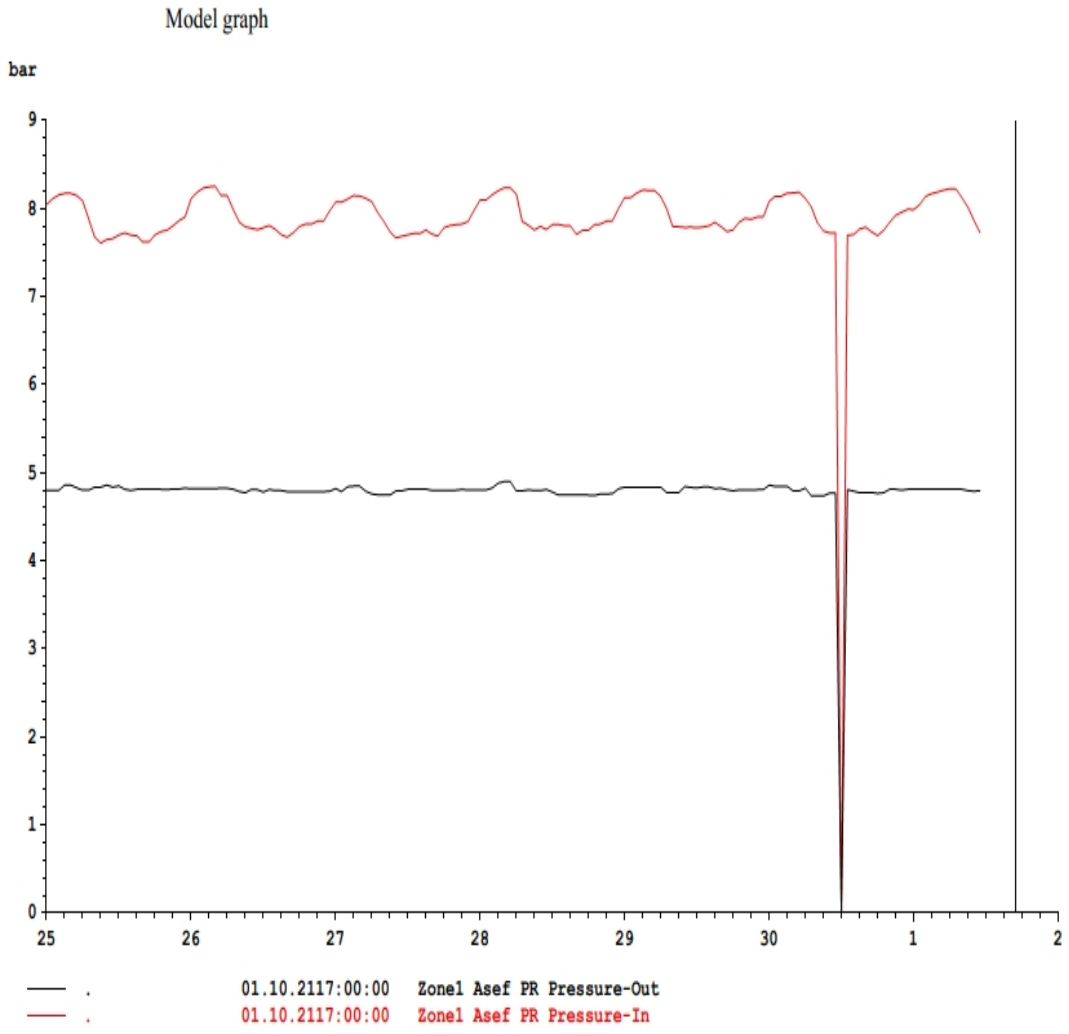
۴-۱- وضعیت فشار در شبکه با خروجی ثابت و متغیر در شیرهای فشارشکن دارای کنترل‌گر

با توجه به الگوی نوسانات ساعتی شبکه محدوده مورد پژوهش در دو حالت مختلف مورد بررسی و تحلیل هیدرولیکی قرار گرفت.

۴-۱-۱- حالت ۱ بررسی شبکه دارای شیر فشارشکن با خروجی ثابت:

در این حالت فشار ورودی به شیر فشارشکن برابر ۸۲ متر ستون آب و فشار خروجی شیر فشارشکن بر روی ۴۸ متر ستون آب تنظیم شد.

پس از تحلیل هیدرولیکی بیشترین فشار نیز مربوط به نقطه بحرانی شبکه توزیع آب و برابر با ۷۸ متر ستون آب مشاهده شد.



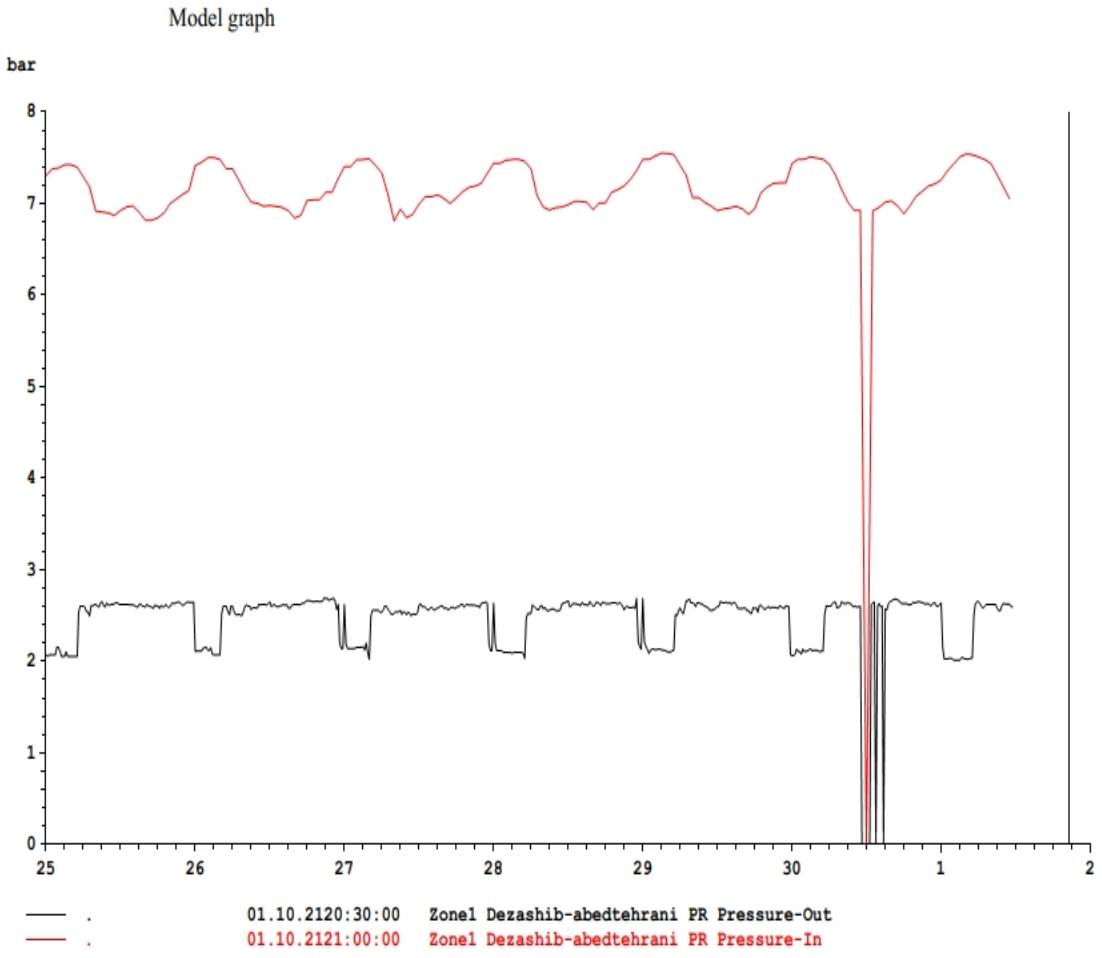
نمودار شماره ۱- تغییرات فشار ورودی و خروجی شیر فشارشکن با خروجی ثابت

نتایج به‌دست‌آمده از نمودار فوق در طی چند روز حاکی از آن است که فشار ورودی و خروجی منطقه مذکور بین ۴/۸ تا ۸ بار در زمان‌های متفاوت متغیر بوده که علاوه بر فشار ۴ بار که خود فشاری بالایی است و منجر به شکستگی لوله‌های آب می‌شود، نوسانات فشار نیز زیاد بوده که این نوسانات باعث اختلال در شبکه و ایجاد ضربه قوچ و در نهایت شکستگی تأسیسات در شبکه خواهد شد.

۴-۱-۲- حالت ۲ بررسی شبکه دارای شیر فشارشکن با خروجی متغیر

در این حالت فشار ورودی به شیر فشارشکن برابر ۸۰ متر ستون آب و فشار خروجی شیر فشارشکن بین ۴۸ متر ستون آب تنظیم شد. پس از تحلیل هیدرولیکی بیشترین فشار نیز مربوط به نقطه بحرانی شبکه توزیع آب و برابر با ۴۸ متر ستون آب مشاهده شد.

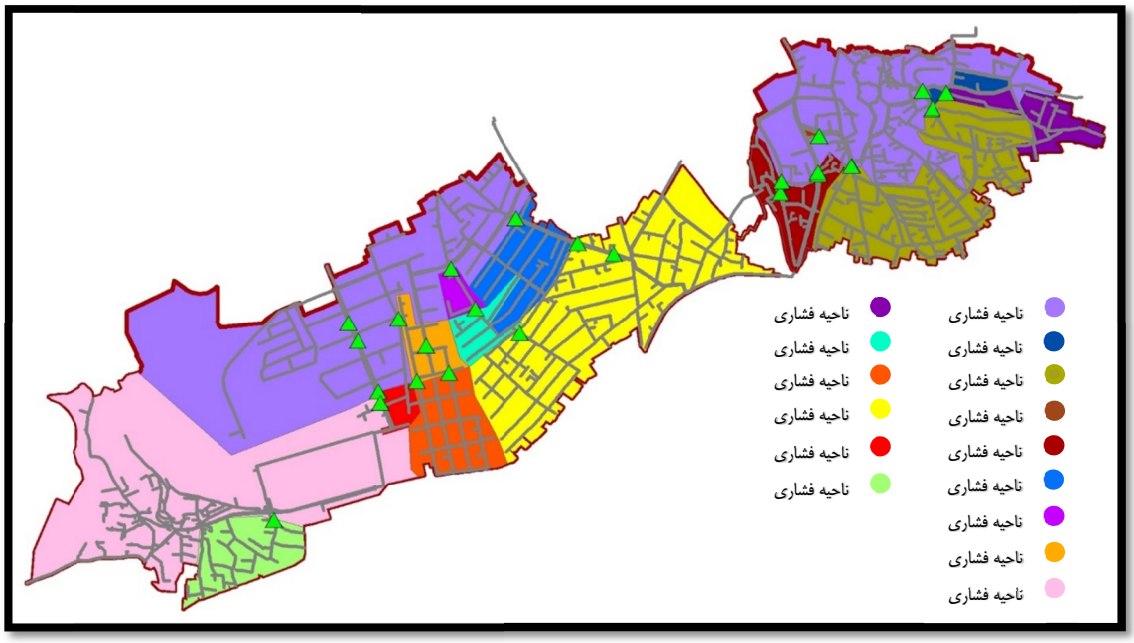
نتایج به‌دست‌آمده از نمودار فوق حاکی از آن است که فشار ورودی منطقه مذکور بین ۶۸ تا ۷۳ متر ستون آب در زمان‌های متفاوت متغیر بوده که فشاری بالایی را به تأسیسات وارد کرده و منجر به شکستگی تأسیسات می‌شود که با نصب کنترل‌گرهای چند نقطه در خروجی فشارشکن، فشار خروجی بین ۲۰ تا ۲۶ متر ستون آب تنظیم‌شده که از فشار اضافه بر تأسیسات در مصرف شبانه و خسارت به تأسیسات جلوگیری شد.



نمودار شماره ۲- تغییرات فشار ورودی و خروجی شیر فشارشکن با خروجی متغیر

اقداماتی نظیر اصلاح شبکه توزیع آب، تعمیر شیرآلات معیوب و آبده، قطع انشعابات غیرمجاز و تعویض کنتورهای معیوب این امکان را داد که در یک بازه زمانی یک‌ماهه میزان خروجی آب مخزن و مصرف مشترکین مجدداً محاسبه شد و میزان هدر رفت آب که از اختلاف آب ورودی و مصرف مشترکین به دست می‌آید تعیین شد.

سپس به تجزیه‌وتحلیل اقدامات انجام‌شده پرداخته شد و کاهش میزان هدر رفت آب را نسبت به دوره قبل محاسبه و نتیجه آن به‌صورت مقایسه‌ای و نموداری مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل شماره ۵- محدوده نواحی فشاری و موقعیت شیرهای فشارشکن

جدول شماره ۲- موقعیت و مشخصات شیرهای فشارشکن در محدوده مخزن مورد مطالعه

آدرس	قطر (میلی‌متر)	رقوم نصب	نوع شیر	فشار ورودی	فشار خروجی
زعفرانیه آصف ساسانی ابتدای ماکوئی پور	۱۵۰	۱۶۹۷	کلایتون	۲۰	۱۷
زعفرانیه آصف شمالی (بین کیانی ۱ و ۲)	۱۵۰	۱۶۹۴	کلایتون	۴۹	۲۰
خیابان ماکوئی پور اواسط ماکوئی پور	۱۵۰	۱۶۷۷	کلایتون	۲۵	۱۷
فناخسرو (ثبت)-اواسط کوچه ایرج	۴۰۰	۱۶۷۶	میراب	۷۵	۴۰
باهنر - مژده -نخجوان	۴۰۰	۱۶۷۴	میراب	۷۲	۳۵
اول لاریجان شهید زمانی	۲۰۰	۱۶۷۲	میراب	۵۰	۲۴
مژده -نخجوان-همایون شهید فرزین	۲۰۰	۱۶۶۹	میراب	۴۵	۲۸
زعفرانیه اواسط خ آصف -مهر- سر بانک	۲۰۰	۱۶۶۵	کلایتون	۶۵	۵۵
مقدس اردبیلی پسیان شمالی	۱۵۰	۱۶۵۶	کلایتون	۳۶	۲۲
پل تجریش خ جعفرآباد –اول امیر اسلام	۱۵۰	۱۶۵۵	میراب	۳۵	۲۵
زعفرانیه ابتدای خ آصف	۲۰۰	۱۶۵۰	میراب	۷۰	۳۵
مقدس اردبیلی، فرخ نبش شهریار	۱۵۰	۱۵۶۴	کلایتون	۴۵	۲۴

با توجه به ارتباط مستقیم تعداد حوادث با فشار در شبکه توزیع آب، با اجرای روش هوشمندسازی شبکه با استفاده از به‌کارگیری کنترل‌گرهای چندنقطه‌ای منجر به مدیریت فشار شبکه شد، تعداد حوادث و اتفاقات انشعابات و شبکه توزیع آب در محدوده مورد پژوهش به میزان قابل‌توجهی کاهش یافت که این موضوع سبب کاهش هدر رفت آب و افزایش ذخیره آب در شبکه توزیع آب در محدوده پژوهش شد. با افزایش ظرفیت ذخیره آب در شبکه توزیع و مخازن ذخیره در محدوده مورد پژوهش منجر به تأمین پایدار آب شرب مشترکین شد که این امر سبب کاهش حداکثری تنش آبی و بحران در منطقه مورد مطالعه شد.

برابر این تحقیق، استفاده از شیرهای فشارشکن و اجرای طرح مدیریت هوشمند فشار با توجه به اینکه دامنه وسیعی از شبکه توزیع آب در معابر اصلی است و امکان اصلاح و بازسازی آنها نسبت به معابر فرعی (کوچه‌ها) بیشتر است، احتمال کاهش هدر رفت در انشعابات می‌تواند کمتر باشد که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده به‌طور میانگین حوادث شبکه ۳۷ درصد کاهش داشته و میزان حوادث انشعاب آب ۳۱ درصد کاهش داشته است.

۵- نتیجه‌گیری

هوشمندسازی شبکه

با توجه به بررسی محدوده مورد پژوهش با دو سناریوی دارای شیر فشارشکن با خروجی ثابت و خروجی متغیر اقدام به شبیه‌سازی فشار در شبکه با نصب کنترل‌گرهای هوشمند بر روی شیرهای فشارشکن نصب شد که نتایج به‌دست‌آمده از این شبیه‌سازی سبب کاهش قابل‌توجهی در میزان فشار در نقاط بحرانی شبکه توزیع و ذخیره آب شرب در شبکه شد که نتایج آن در جدول شماره ۳ آمده است.

جدول شماره ۳- مقایسه تعداد حوادث انشعابات قبل و بعد از اجرای هوشمندسازی

نام فشارشکن	تعداد حوادث (قبل از اجرای هوشمندسازی	تعداد حوادث (بعد از اجرای هوشمندسازی)	کاهش درصد تغییرات
زعفرانیه یکم	۲۱	۱۴	۳۳
عاصف	۲۴	۱۵	۳۷
کیایی	۱۹	۱۶	۱۵
میرتقوی	۲۶	۱۸	۳۰
ماکویی پور	۱۸	۱۱	۳۸
شارستان ۶	۲۶	۱۷	۳۴
فناخسرو	۱۸	۱۳	۲۷
امیرسلام	۲۳	۱۴	۳۹
همایون	۲۹	۲۱	۲۷
لاریجانی ۱	۲۲	۱۵	۳۱
فرزین	۱۷	۱۳	۲۳
طباطبایی ۱	۲۶	۱۸	۳۰
جمع	۲۶۹	۱۸۵	۳۱

جدول شماره ۴ - مقایسه تعداد حوادث شبکه‌های اصلی منطقه مورد مطالعه قبل و بعد از هوشمندسازی

نام فشارشکن	تعداد حوادث (قبل از اجرای هوشمندسازی)	تعداد حوادث (بعد از اجرای هوشمندسازی)	کاهش درصد تغییرات
زعفرانیه یکم	۶	۳	۵۰
عاصف	۴	۳	۲۵
کیایی	۷	۵	۲۸
میرتقوی	۳	۲	۳۳
ماکویی پور	۴	۲	۵۰
شارستان ۶	۲	۲	۰
فناخسرو	۸	۵	۳۷
امیرسلام	۵	۳	۴۰
همایون	۳	۲	۳۳
لاریجانی ۱	۶	۳	۵۰
فرزین	۴	۳	۲۵
طباطبایی ۱	۲	۱	۵۰
جمع	۵۴	۳۴	۳۷

با توجه به با اجـرای مـدیریت هوشـمند فشـار در شبکه توزیع آب مطابق جدول شماره سـه شـاهد کاهش ۳۱ درصدی تعداد حوادث انشعاب در بازه زمانی یک‌ساله (اول تیرماه ۱۴۰۰ الی اول تیرمـاه ۱۴۰۱) نسبت به مدت مشابه سال قبـل، قبـل از هوشمندسازی شبکه توزیع آب شد.

با توجه به با اجـرای مـدیریت هوشـمند فشـار در شبکه توزیع آب مطابق جدول شماره چهار شاهد کاهش ۳۷ درصدی تعـداد حـوادث در لولـه‌هـای اصلی به همراه شیرآلات منصوبه در خطوط اصلی شبکه در بازه زمانی یک‌سـاله (اول تیرمـاه ۱۴۰۰ الی اول تیرماه ۱۴۰۱) نسبت به مدت مشابه سال قبل (قبل از هوشمندسازی شبکه توزیع آب) شد.

شـبکه‌هـای هوشـمند یـک سـامانه نـوین در مدیریت، کنترل و پایش لحظه‌ای از ابتدا تا انتهـا فرآیند تولید و توزیع آب اسـت. شـبکه هوشـمند مزایای فراوانی نسبت به شبکه متداول دارنـد کـه می‌توان با مدیریت فشـار، کـاهش نشـت، کـاهش خرابی، افزایش کیفیت آب شـرب و رضـایتمندی مشتریان اشاره کرد.

۶- منابع

۱-جهانگیر مهدی، بارانی غلام عباس، جهانگیر علیرضا، ۱۳۹۲، مدیریت هوشمند فشار و کاهش نشت شبکه‌های آب‌رسانی در محیط WaterGEMS مطالعه موردی مجتمع آب‌رسانی دو حصاران خراسان جنوبی، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۱۳

۲-وزارت نیرو. ۱۳۸۶. دستورالعمل شناخت و نحوه مطالعه عوامل مؤثر در آب به‌حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن

۳-اسلامی، محمدحسین،۱۳۸۷، برنامه کاهش آب بدون درآمد شهر اسفراین بر اساس نتایج بالانسینگ آب، دومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره‌برداری، تهران

۴-کارآموز، محمد و تابش، مسعود و نظیف، سارا و مریدی، علی،۱۳۸۵، مدل مدیریت فشار در شبکه توزیع آب شهری، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تهران

۵-کرم‌وند، حمیدرضا و عادلی، محسن،۱۳۹۸، مدیریت هوشمند فشار در شبکه توزیع آب (مطالعه موردی شهر خرم‌آباد)، دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدر رفت و بازیافت، تهران

۶-ذبیحی، زین‌العابدین،۱۳۹۵، مدیریت هوشمند فشارسنجی شبکه‌های آب به‌منظور کاهش هدر رفت آب در شبکه‌های توزیع (مطالعه موردی شبکه آب شهر یاسوج)، کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه تهران

۷-تشیعی، ح.ر؛ محمدی، م. (۱۳۹۵).راهنمای جامع بهره‌برداری از تأسیسات آب و فاضلاب: راهکارهای استقرار سامانه اسکادا در تأسیسات آب و فاضلاب، جلد هفتم، چاپ اول، انتشارات مکث نظر، تهران، صص ۲۵-۱۷

۸- آجری ح.ع. ۱۳۸۸. کاربرد تلفیقی GIS و WaterGEMS در مدیریت هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب

9. Mazzolania, Berardib, Laucellib, Martinoc, 2018, reduce leakage in urban water distribution network by minimizing excess pressure in the light. Italy university

10. Samir nourhan, rawyan Kanosh, walid elbarky, amr fleifle, 2017. pressure control for minimizing leakage in water, eygept, sanitaryengineering departman, alexsandra journal.

11. Cheungl,P.B. Van Zyl2 J.E. Reis L.F.R. 2005. Extention of EPANET for Pressure Driven Demand Modeling in Water Distribution System.Water Resources Management 2005

12. Tabesh M. and S. Hoomehr. 2007. Consumption management in water distribution systems by optimizing pressure redusing valves setting using genetic algorithm.Center of Excellence for Engineering and of Infrastructures,Factory of Civil Engineering,University of Tehran. PO Box 11155-4563. Tehran, Iran

13. Arab ameri,A, Rezaei, Kh, Cerda, A, Conoscenti, Ch, Kalantari, Z, 2019, A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran, Sience of total Enviroment, (660): 443-458.

14. Azareh A. Rahmati O. Rafiei-Sardooi E. Sankey J.B. Lee S. Shahabi H. and Ahmad B.B. (2019). Modelling gully-erosion susceptibility in a semi-arid region, Iran: Investigation of applicability of certainty factor and maximum entropy models. Science of the Total Environment, 655: 684-696.

15. Ballabio C. and Sterlacchini S. (2012). Support vector machines for landslide susceptibility mapping: the Staffora River Basin case study, Italy. Mathematical geosciences, 44(1): 47-70.

16. Basin, L.T.R. 2017. Identification of Drought and Flood Induced Critical Moments

17. Araujo L.S. Ramos H.M. and Coelho S.T. 2006. Pressure Conrtol for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management.Water Resources Management (2006) 20: 133-149.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License