Lorestan University

Applied Researches in Water Engineering
Vol. 2, No. 2, Autumn & Winter 2024, p. 291-303

ARWE

Original Research

Pressure Management Using Water Distribution Network Zoning (Case Study: Noorabad City)

Pari Maleki[*1], Khashayar Namdarian[2], Nooreddin Nouryazdan[3]

1. Management Department, Institute of Research and Education in Management, Tehran, Iran.
2. Hydraulic Structures Department, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3. Energy Conversion Department, Technical Faculty, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Iran

Received: 06 June 2024/ **Revised:** 12 September 2025/ **Accepted:** 19 January 2025

https://doi.org/10.22034/arwe.2025.2063026.1043

Abstract

Optimal pressure management is a standard strategy for minimizing water losses in water distribution systems. Minimizing background leakage and pipe bursts is critical to improving the reliability, competency, and overall performance of the network. One of the pressure and leakage management methods in water distribution networks is the use of pressure relief valves and the creation of pressure zones, for the effective operation of these valves, it is very important to determine the appropriate position and their regulatory pressure. In the present study, the effect of pressure zoning method on pressure management and network leakage reduction has been studied using a hydraulic model. For this purpose, with the help of Water GEMS software, the hydraulic model of the water distribution network of Noorabad city was built and the model was calibrated using the information of flow measurement and pressure measurement, then the hydraulic analysis of the model was performed. Based on the results of the pressure zoning, the city's distribution network was divided into 11 pressure zones. Three of the zones were supplied by gravity and eight zones were supplied by installing pressure relief valves using appropriate valve placement. In addition to the existing pressure relief valves, five new pressure relief valves were also proposed to regulate the network pressure. The results showed that by using of zoning, the network pressure reduction level was %17. According to the results of the presented method, it has a proper efficiency on managing the pressure and network events and leakage of the water distribution network.

Keywords: Leakage Rreduction, Pressure management, zoning, Pressure-reducing valve (PRV), Water distribution system.

***Corresponding Author Email:** Parimaleki.6771@gmail.com

Lorestan University

دوفصلنامهٔ پژوهش‌های کاربردی مهندسی آب
دورهٔ دوم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳ (صفحات ۲۹۱-۳۰۳)

ARWE

مقالهٔ پژوهشی

مدیریت فشار با استفاده از پهنه بندی شبکه توزیع آب (مطالعه موردی: شهر نورآباد)

پری ملکی*[۱]، خشایار نامداریان[۲]، نورالدین نوریزدان[۳]

۱. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۲. گروه تبدیل انرژی، دانشکده فنی، دانشگاه علوم و تحقیقات بروجرد، ایران.
۳. گروه مدیریت، موسسه تحقیقات و آموزش مدیریت تهران، ایران

دریافت: ۱۷ خرداد ماه ۱۴۰۳/ **اصلاحات:** ۲۰ شهریور ماه ۱۴۰۳/ **پذیرش:** ۳۰ دی ماه ۱۴۰۳

https://doi.org/10.22034/arwe.2025.2063026.1043

چکیده

مدیریت فشار بهینه یک استراتژی استاندارد برای به حداقل رساندن تلفات آب در سیستم های توزیع آب است. به حداقل رساندن نشت پس زمینه و ترکیدگی لوله برای بهبود قابلیت اطمینان، شایستگی و عملکرد کلی شبکه بسیار مهم است. از جمله روشهای مدیریت فشار و نشت در شبکه های توزیع آب استفاده از شیرهای فشارشکن و ایجاد پهنه های فشاری می باشد که به منظور عملکرد مؤثر این شیرها تعیین موقعیت مناسب و فشار تنظیمی آنها اهمیت بالایی دارد. در مطالعه حاضر تأثیر روش پهنه بندی فشاری در کاهش نشت شبکه و مدیریت فشار به کمک مدل هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور نیل به اهداف با جمع آوری اطلاعات مورد نیاز و با استفاده از نرم افزار Water GEMS مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر نورآباد ساخته شد و با استفاده از اطلاعات دبی سنجی و فشارسنجی مدل کالیبره و سپس تحلیل های هیدرولیکی مدل انجام شد. براساس نتایج پهنه بندی فشاری شبکه توزیع این شهر به ۱۱ پهنه فشاری تقسیم بندی شد که ۳ پهنه بصورت ثقلی و ۸ پهنه با استفاده از جانمایی مناسب شیرآلات با نصب فشارشکن آبرسانی شد و علاوه بر شیرهای فشار شکن های موجود ۵ عدد شیر فشارشکن جدید نیز جهت تنظیم فشار شبکه پیشنهاد شد. نتایج نشان داد با اجرای پهنه بندی فشاری، فشار در سطح شبکه به میزان ۱۷ درصد کاهش یافته لذا رویکرد ارائه شده کارایی مؤثری در مدیریت فشار و در نتیجه کاهش حوادث ونشت دارا می باشد.

کلمات کلیدی: پهنه بندی، سیستم توزیع آب ، شیرهای فشارشکن، کاهش نشت، مدیریت فشار.

***Corresponding Author Email:** Parimaleki.6771@gmail.com

مقدمه

رشـد روز افـزون جمعیـت و افزایـش تقاضـای آب از یـک طـرف و محدودیـت منابـع آب از طـرف دیگر، از جمله چالش های پیـش روی توسـعه جوامـع مـی باشـد، لذا کاهـش "نیـاز بـه تولید" بسـیار حائـز اهمیت می باشـد (Boustani and Khodashenas, 2015). براساس تجزیه و تحلیل (IFPRI) شیوه های فعلی مدیریت آب و سطوح بهره برداری آب تقریباً ۴۵ درصد از تولید ناخالص پیش بینی شده در سال ۲۰۵۰ داخلی جهان را در معرض خطر جدی قرار می دهد. و تقریباً نیمی از جهان با مشکل کمبود و تنش آبی مواجه خواهند شد.از آنجایی که دسترسی به منابع جدید با صرف هزینه های هنگفتی در ایجاد زیر ساخت های لازم همراه است لذا مدیریت منابع آبی به عنوان مقرون به صرفه‌ترین راه حل جهت جلوگیری از اتلاف و حفظ منابع آبی موجود به عنوان یکی از استراتژی های مهم مطرح است (Boustani and Khodashenas, 2015).

هدر رفت آب از جمله مشکلاتی است که شرکتهای آبرسانی به شکل مستقیم و غیر مستقیم با آن در ارتباط هستند و همواره دنبال راهکارهایی برای کاهش آن هستند. در سراسر جهان بین ۵ تا ۵۰ درصد از حجم آب توزیعی توسط شرکتهای آب و فاضلاب به تلفات نشت از شبکه های توزیع آب اختصاص دارد (Farley et al ,2001) . آب ناشی از سیستم های ثانویه توزیع آب درسطح جهانی از اجزای مختلفی از جمله تلفات فیزیکی، مصارف غیر مجاز و تلفات ظاهری تشکیل می شود. نشت ها گاهی بیش از ۷۰ درصد از هدررفت آب را تشکیل می دهند (Tabesh and Karimi, 2006).

از جمله عوامل مؤثر بر ایجاد شکستگی ها و نشت و افزایش هدر رفت در شبکه های توزیع آب عبارتند از:

وجود فشار بیش از حد استاندارد در نقاطی از شبکه، تغییرات شدید دمای هوا، جنس نامرغوب لوله ها و اتصالات، بار ترافیک روی معابر، سربارهای استاتیکی و دینامیکی، خوردگی و پوسیدگی لوله های شبکه، فرسودگی و افزایش سن لوله های شبکه، (Thornton and Lambert, 2005). مدیریت فشار یکی از مؤثرترین و مقرون به صرفه ترین روشهای کاهش نشت شبکه های توزیع آب می باشد. می توان آن را به عنوان عملکرد مدیریت فشار شبکه توزیع تا سطوح بهینه خدمات که تضمین تأمین کافی و کارآمد برای مصرف کنندگان است تعریف کرد (Hedayati Marzouni et al,2022). از متداولترین روشهای مدیریت فشار می توان به ایجاد مرزهای منطقه واجرای طرح ناحیه بندی فشاری (پهنه های فشاری)، انتخاب صحیح محل احداث مخازن ذخیره و کنترل سطح آب در آنها، شیرهای فشارشکن، احداث حوضچه های تعدیل فشار اشاره نمود. از دیگر رویکردهـای اصلـی شرکت هـای آب و فاضلاب در جهـت مدیریـت تولیـد و توزیـع، ثابت نگه داشتن نیاز بـه تولیـد آب حتـی درصـورت افزایـش تعداد مشترکین بوده اسـت، استراتژیها و برنامه هـای تدوینی بـر مبنای کاهش "نیـاز بـه تولیـد" بـا اقداماتـی از قبیـل اجـرا و تکمیـل پروژههـای رینـگ و پهنه بندی شـبکه توزیـع آب،حـذف پمپاژهای مسـتقیم ، افزایـش رسانـه ذخیـره مخـازن، مدیریت فشـار و... قابل انجام اسـت. از بین روشهای مذکور استفاده از شیرهای فشارشکن (کنترل فشار) و همچنین اجرای طرح ناحیه بندی فشاری مورد توجه بسیاری از شرکتهای آبرسانی قرار گرفته که این امر ناشی از امکان اجرای مدیریت فشار پیشرفته است (Vicente et al, 2016). مطالعات زیادی در زمینه نظری و عملی در خصوص مدیریت فشار انجام شد از جمله مطالعات میدانی مدیریت فشار در شهر بلغارستان میزان نشت به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت همچنین کاربرد مدیریت فشار در پایلوتی در شهر کبک کانادا میزان نشت سالانه را به میزان ۱۲۰۰۰۰ متر مکعب کاهش داد Jalili Qazizadeh and (Eidi,2016). درپژوهشی از روش مدیریت فشار به منظور کاهش نشت و مصارف وابسته به فشار و نیز کاهش ترکیدگی لوله ها و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان هیدرولیکی شبکه توزیع استفاده شد که در آن از یک مدل شبیه ساز و بهینه ساز به منظور یافتن مکان و فشار تنظیمی شیر های فشار شکن با خروجی ثابت بهره گرفتنه شد(Latifi et al, 2018).

در سال ۲۰۱۷ نشت شبکه توزیع آب اسکندریه در مصر به عنوان تابعی از فشار و طول لوله با کالیبره نمودن ضریب نشت به کمک شیرهای کاهنده فشار توسط سمیر و همکاران مدلسازی شده ونتایج مطالعات نشان داد مدیریت فشار به کمک شیرهای کاهنده فشار نتایج مؤثر و مطلوبی در کنترل میزان نشت دارد(Samir et al, 2017).

در سال ۲۰۱۹ گارسیا و همکاران جهت ارزیابی نشت شبکه توزیع آب به مدلسازی شبکه در نرم‌افزار Epanet پرداختند، نتایج آنها نشان از کاهش ۳۰ درصدی میزان نشت با استفاده از شیرهای کاهنده فشار را داد و ایشان به شرکتهای تأمین کننده آب شرب نیز پیشنهاد استفاده از این روش را دادند(Garcı´a-A´vila et al,2019).

پرایس و همکاران در سال ۲۰۲۲ نیز به منظور مدیریت فشار شبکه توزیع آب به مدلسازی شبکه توزیع آب در نرم افزار Epanet پرداختند و نتایج حاصل از تحقیق آنها بیانگر استفاده از شیرهای فشارشکن در مدیریت فشار و کاهش نشت بود که به کمک مدل ساخته شده جانمایی شیرها نیز تعیین شد (Price et al,2022). وظیفه دوست و همکاران در سال ۱۴۰۳ با جانمایی بهینه توامان شیر های فشارشکن و پمپ معکوس مدیریت فشار را در ناحیه ۳ شهرداری تهران مورد بررسی قرار دادند . نتایج آنها نشان داد این روش دارای نتایج اثر بخش در مدیریت فشار است (Vazifeh Doost Saleh et al, 2024). مطالعات محققان در زمینه مدیریت فشار شبکه های توزیع نشان می دهد کارایی همزمان شیرهای فشارشکن با پمپ دور متغیر (سناریو ترکیبی) در قیاس با سناریو مجزا، از اثربخشی بیشتری در زمینه کاهش نوسانات فشار گرهای و همچنین افزایش درصد پوشش گرههای با فشار مطلوب همراه است (Hedayati Marzouni et al, 2022).

با عنایت به مطالعات انجام شده از جمله از اقدامات اولیه در مدیریت فشار، ناحیه بندی فشاری یا پهنه بندی فشاری در شبکه توزیع است. در صورت وجود اختلاف بسیار زیاد بین تراز حداقل و حداکثر، به کاهش فشار شبکه نیاز است. این کار اغلب از طریق نصب شیرآلات تنظیمی خودکار، استفاده از مخازن و یا پمپهای دور متغییر قابل انجام است. ناحیه بندی فشاری به صورت کلی سبب جلوگیری از ایجاد فشارهای بالا در بخشهای کم ارتفاع شبکه توسط روش هایی از قبیل استفاده از شیرهای کاهش فشار، یا ایجاد فشار کافی در قسمتهای مرتفع شبکه توسط پمپ، (هنگامی که منابع تأمین در مناطق ارتفاعی پایین قرار داشته باشند) می شود.

اهداف کلی پهنه بندی یا ناحیه بندی فشاری عبارتند از ۱- کاهش نیاز به تولید ۲- بهره برداری بهینه و توزیع عادلانه آب شرب ۳- ایجاد بستر لازم به منظور هوشمندسازی شبکه توزیع آب ۴-امکان اجرای طرحهای مدیریت مصرف ۵-مدیریت فشار شبکه و کاهش هدررفت آب ۶-کاهش خرابی شبکه توزیع و انشعابات آب ۷-کاهش هزینه های بهره برداری و نگهداشت.

با توجه به مطالب گفته شده اهمیت مطالعات مدیریت فشار در شبکه های آبرسانی بیش از پیش نمایان است. به منظور بررسی و کارایی روش پهنه بندی فشاری از یک شبکه توزیع آب واقعی (شبکه توزیع آب شهر نورآباد) استفاده شده است. در این شهر به دلیل عدم توزیع عادلانه فشار در سطح شبکه توزیع آب متاسفانه تعداد شکستگی ها و حوادث زیاد است که موجب افزایش هدررفت آب و اعمال هزینه به شرکت آبفا شده است و در برخی نقاط از شبکه نیز دچار کمبود فشار می باشند که خود موجب نارضایتی مشترکین خواهد شد. لذا با استفاده از نرم افزار مدلسازی شبکه توزیع آب این شهر مدل سازی و سپس کالیبره شده است سپس به کمک نتایج مربوطه تلاش شده است تأثیر این روش بر کاهش نشت و تعدیل فشار نشان داده شود.

مواد و روشها

شهر مورد مطالعه

جهت نیل به اهداف از اطلاعات واقعی شبکه توزیع آب شهر نورآباد استفاده شد. جنس لوله های شبکه شامل ۲۴ درصد لوله آزبست، ۷۳.۷درصد پلی اتیلن و ۱/۳ درصد چدن داکتیل و ۰/۳درصد فولادی می باشد. ضریب هیزن ویلیامز برای مدلسازی شبکه ۱۲۰ در نظر گرفته شد.

بیشترین طول لوله در شبکه شهر نورآباد مربوط به قطر۹۰ و ۱۱۰ میلیمتر به ترتیب با ۳۰ و ۱۵ درصد و کمترین آن مربوط به لوله ۴۰ میلیمتر با ۰.۱۴ درصد می باشد. شبکه مورد بررسی دارای طول عمرمتوسط ۱۰ سال می باشد. جمعیت تحت پوشش شبکه در حدود ۷۰۶۴۱ نفر است. برای کنترل فشار از۳ دستگاه شیر فشار شکن تعبیه شده است. همچنین دارای ۵ مخزن آب شرب به حجم ۱۵۰۰۰ متر مکعب می باشد. در این شهر آمار شکستگی های ماهانه به طور متوسط ۲۰۰ مورد در ماه می باشد که موجب اعمال هزینه و خسارت به شرکت آبفا شده و نتیجه آن هدررفت بالای آب می باشد به طوری که به طور متوسط به ۳۵ لیتر در ثانیه می رسد. از طرفی کاهش فشار در برخی از نقاط شبکه موجبات نارضایتی مشترکین را بدنبال خواهد داشت. میزان تحقیقات محققان و نتایج اندازه گیری های میدانی فشار نشان می دهد تحلیل هیدرولیکی شبکه های توزیع بدون در نظر گرفتن تغییرات دبی و فشار در گره ها و چشم پوشی از جریان نشت در شبکه از دقت کافی برخوردار نیست. رابطه فشار و نشت به شکل توانی و به صورت زیر است: (سلطانی اصل و فغفور، ۱۳۸۸)

$$Q=cP^{n} \quad (1)$$

که در آن Q میزان دبی نشت بر حسب لیتر بر ثانیه، P میزان فشار بر حسب متر و c ضریب نشت و n ثابت فشار می باشد. از جمله روشهای متداول در مدلسازی نشت که منجر به تعیین مقادیر ضریب نشت در گره ها می شود استفاده از روش تلفیقی روش اندازه گیری جریان حداقل شبانه و تحلیل هیدرولیکی شبکه است. براساس تحقیقات انجام شده مقدار ثابت n در رابطه توانی شماره (۱) در شبکه های آبرسانی بیش از ۰/۵ می باشد و به عواملی از جمله جنس لوله ها، تغییرات فشار در شبکه بستگی دارد. معروفترین روش در تعیین مقدار آن نظریه FAVAD می باشد (Karamooz et al,2005).

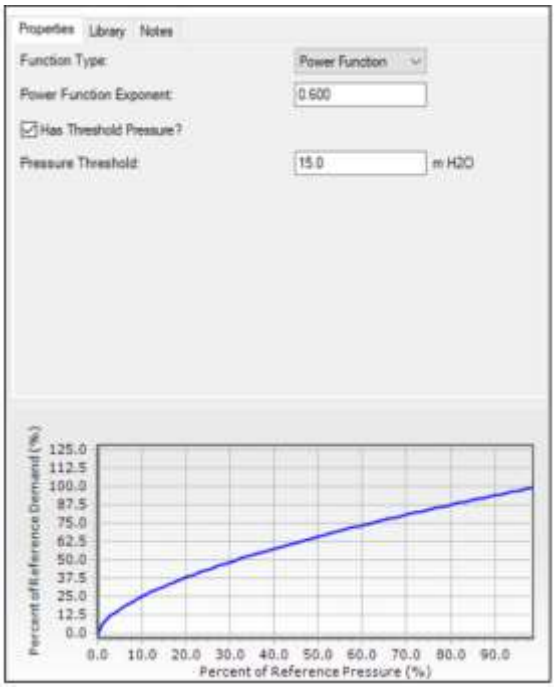
مدلسازی

ساخت مدل هیدرولیکی خطوط شبکه و انتقال شهر نورآباد با استفاده از نقشه اتوکد موجود و در نرم افزار WaterGems تهیه شد. به کمک جدول بالانس و قرائت مصارف مشترکین در دو سال اخیر به همراه مختصات جغرافیایی آنها، مصارف به نزدیکترین گره موجود اختصاص داده شد.

براساس اطلاعات مصارف مشترکین و با میانگین گیری از میزان مصرف هر مشترک در دوره های مختلف قرائت میزان کل مصرف قرائت شده در کنتور مشترکین برابر ۱۶۱ لیتر در ثانیه برآورد شد. هد استاتیکی هر گره توسط نقاط برداشت شده با استفاده از GPS دو فرکانسه در نقاطی از شبکه و میانیابی انجام شد. همچنین تمامی شیر آلات موجود در شبکه اعم از شیرهای فشارشکن، شیرهای نگهدارنده فشار، شیرهای مانوری و شیرهای بسته موجود درشبکه توزیع مدلسازی شدند. در شهر نورآباد ۳ عدد شیر فشار شکن به سایزهای ۱۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ میلیمتر موجود می باشد .

براساس رابطه (۱) و با توجه به میزان هدر رفت شبکه به میزان ۱۰۳۳۵۷۸ مترمکعب در سال و معادل ۳۵ لیتر در ثانیه می باشد. بر اساس مدل اولیه تهیه شده میزان متوسط فشار شبکه برابر ۳۳ متر می باشد که با استفاده از رابطه (۱) مقدار ضریب c برابر ۱۳.۱ می باشد. ضریب نشت در نرم افزار WaterGEMS به صورت Coefficient Emitter تعریف گردیده است که در مدل تهیه شده، این مقدار ضریب با نسبت طول لوله های متصل به گره به مدل اضافه گردید. همچنین میزان هدر رفت ظاهری به گره ها اضافه شد که مقدار آن برابر ۳۹.۳ لیتر در ثانیه می باشد.

به منظور تطابق بیشتر مدل هیدرولیکی با واقعیت و عدم وجود فشار منفی در مدل هیدورلیکی (فشار غیرواقعی)، منحنی فشار-مصرف به صورت شکل شماره (۱) به مدل هیدرولیکی وارد شد .همچنین مشخصات کلی مدل اولیه ساخته شده در جدول (۱) ارائه شده است.



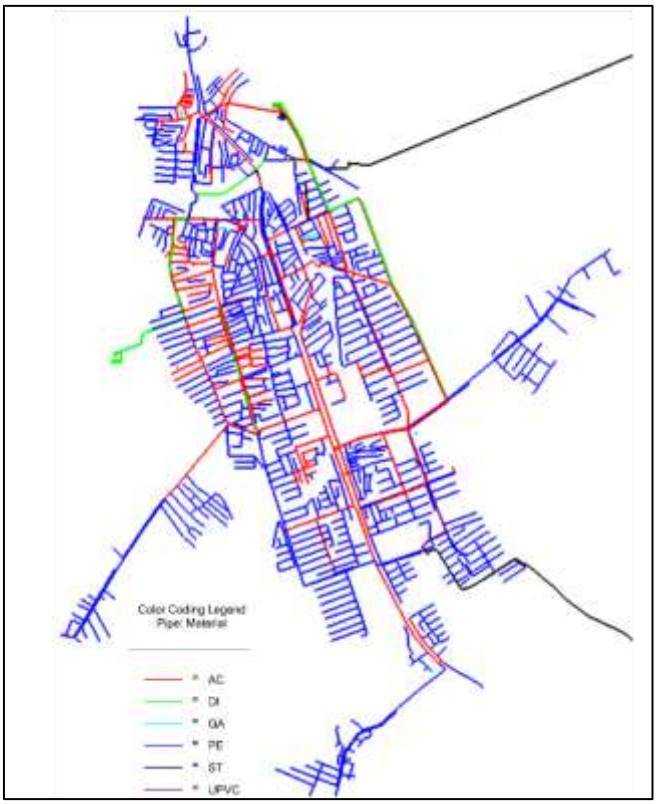
شکل۱. منحنی فشار -مصرف

Figure 1. Pressure-Consumption Curve

جدول ۱. مشخصات مدل هیدرولیکی
Table 1. Hydraulic model specifications

تعداد مشترک	تعداد لوله	تعداد گره	تعداد شیر قطع و وصل	تعداد شیر فشارشکن	متراژ لوله ها (متر)			
					آزبست	پلی اتیلن	فولادی	چدنی
24448	2699	20107	468	3	35005	105805	11877	11560

مدل ساخته شده شبکه توزیع پایلوت انتخاب شده در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل۲. ایجاد مدل هیدرولیکی اولیه از وضع موجود شبکه توزیع آب شهر نورآباد درمحیط Water GEMS
Figure 2. Creating a preliminary hydraulic model of the current state of the Noorabad city water distribution network in the Water GEMS

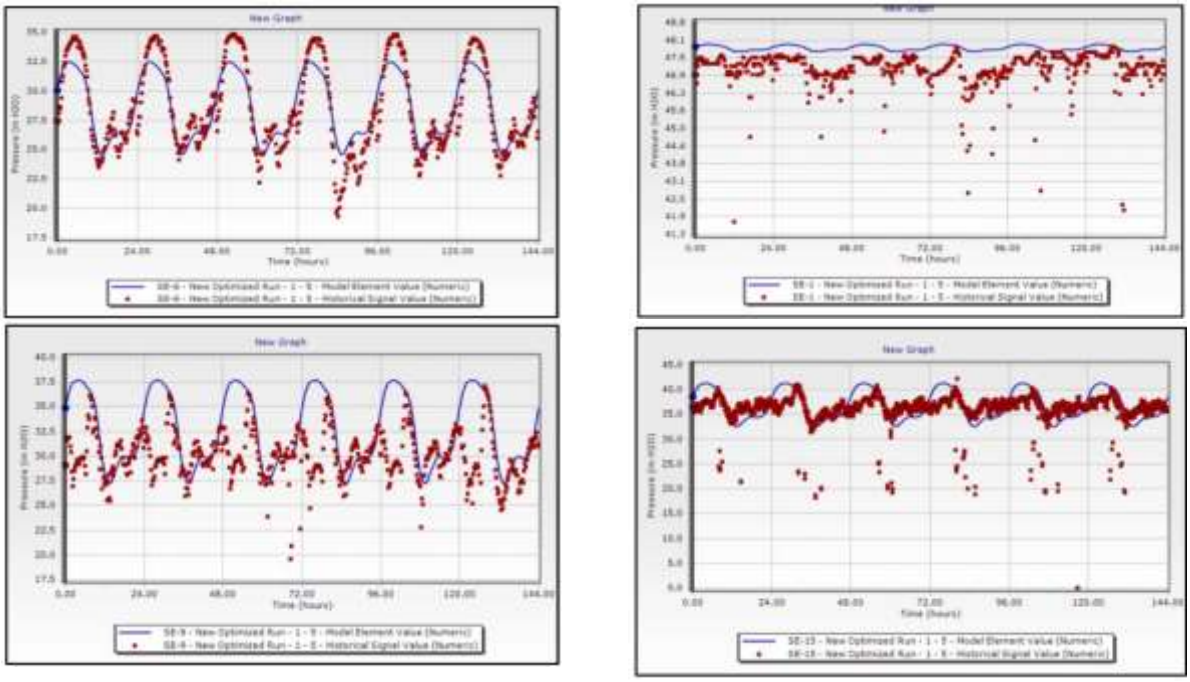
کالیبراسیون مدل هیدرولیکی

جهت دستیابی به حداکثر دقت در تهیه مدل وضعیت موجود پارامتر های ضریب زبری لوله ها، مصارف تخصیص داده شده به گره ها به طور همزمان فرآیند کالیبراسیون انجام شد. به همین منظور ۱۵ دستگاه فشار سنج در سطح شبکه نصب شده و میزان فشار برداشت شد. علاوه بر آن عملیات دبی سنجی نیز از داده های فلومتر موجود در شبکه در یک دوره ۲۴ ساعته انجام شد. بدلیل شرایط یخبندان داده های تعدادی از فشارسنج های پرتابل قابل استاد نبوده و از مدار خارج شدند. جهت ورود نشت به مدل هیدرولیکی با در نظر گرفتن فشار شبکه و میزان هدررفت آب، مقدار این ضریب برای مدل برابر ۲.۵ محاسبه گردید. همچنین میزان آب مصرفی شبکه با استفاده از داده های مصرف مشترکین استخراج و با استفاده از ابزار(Customer meter) به مدل وارد گردید. جهت کالیبره کردن مدل، فشار اندازه گیری شده با فواصل زمانی یک ساعته به مدل داده شد و با استفاده از از داده های فشار سنجی و دبی سنجی مقادیر ضریب هیزن ویلیامز لوله ها کالیبره شد.

در شکل (۳) مقایسه نمودارهای فشار سنجی در مدل و واقعیت ارائه شده است جهت تعیین میزان خطا نیز از میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا استفاده شده است که در جدول (۲) قابل مشاهده است.

جدول ۲. مقادیر خطا در ایستگاههای فشارسنجی
Table 2.Error values in pressure measuring

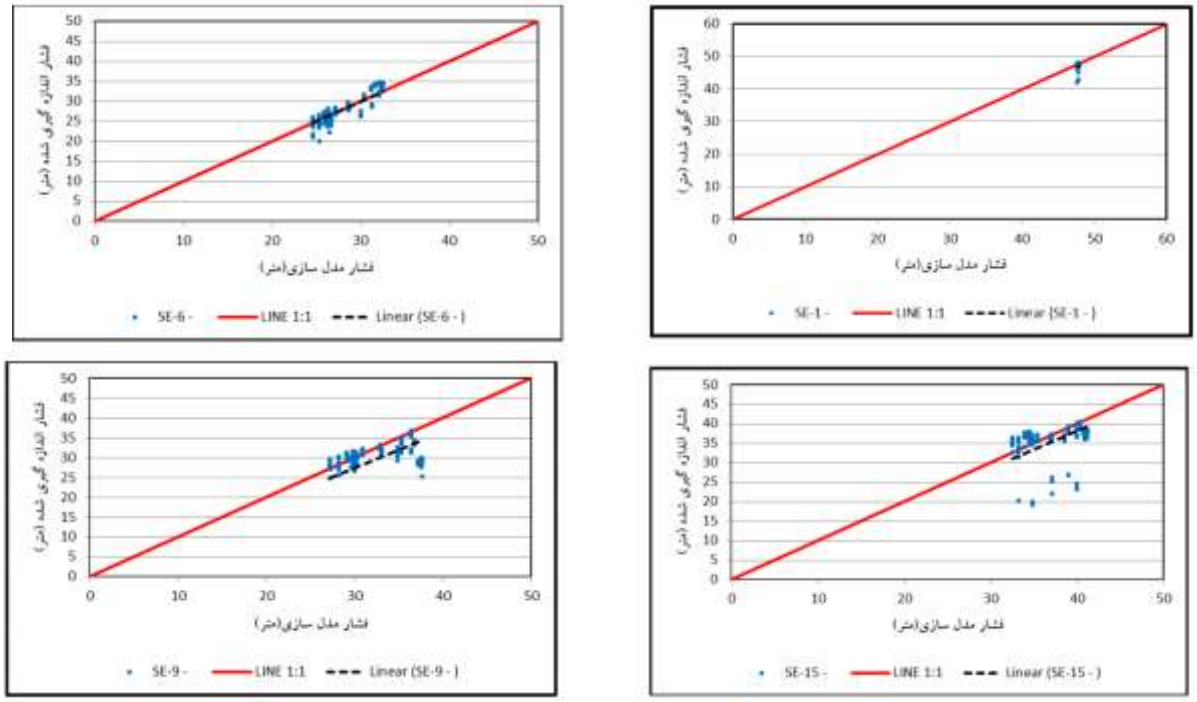
ایستگاه	آدرس	مجذور مربعات خطا(متر)	میانگین خطا(متر)
1	خیابان فردوسی، کوچه مدرسه راهنمایی شهید حسینی	-0.8	**-0.8**
3	خیابان تبلیغات اسلامی	2.1	**-0.8**
4	خیابان منوچهر خزایی	.7	**-0.7**
6	خیابان شهید نجف جابری	1.4	**-0.1**
9	خیابان آزادگان	3	**-2.5**
11	مسکن مهر	0.5	**-0.4**
13	فشارشکن میدان کشاورزی	1.9	**1.8**
15	فشارشکن نبش جهاد یک	3.2	**-1.5**



شکل ۳ .نمودارهای فشار سنجی در مدل و واقعیت در ایستگاههای شماره ۱، ۶، ۹ و ۱۵
Figure 3. Pressure measurement charts in the model and reality at stations number 1,6,9 and 15

میزان خطا در فشارهای اندازه گیری شده در فشارسنج هاو مدل کالیبره شده و دقت آن در ۸ ایستگاه فشارسنج ارائه شده است. ازهمانطور که در این جدول مشاهده می گردد میزان حداقل خطا برابر ۰/۵ متر در ایستگاه شماره ۱۱ و حداکثر خطا برابر ۳.۲ متر می باشد. براساس نتایج میزان کل خطا در فرآیند کالیبراسیون ۱.۷ متر می باشد که با توجه به اینکه مقدار متوسط فشار ثبت شده در فشارسنج های سطح شهر نورآباد برابر با ۳۵.۲ متر می باشد لذا دقت کالیبراسیون مدل برابر ۹۵.۲ درصد می باشد.

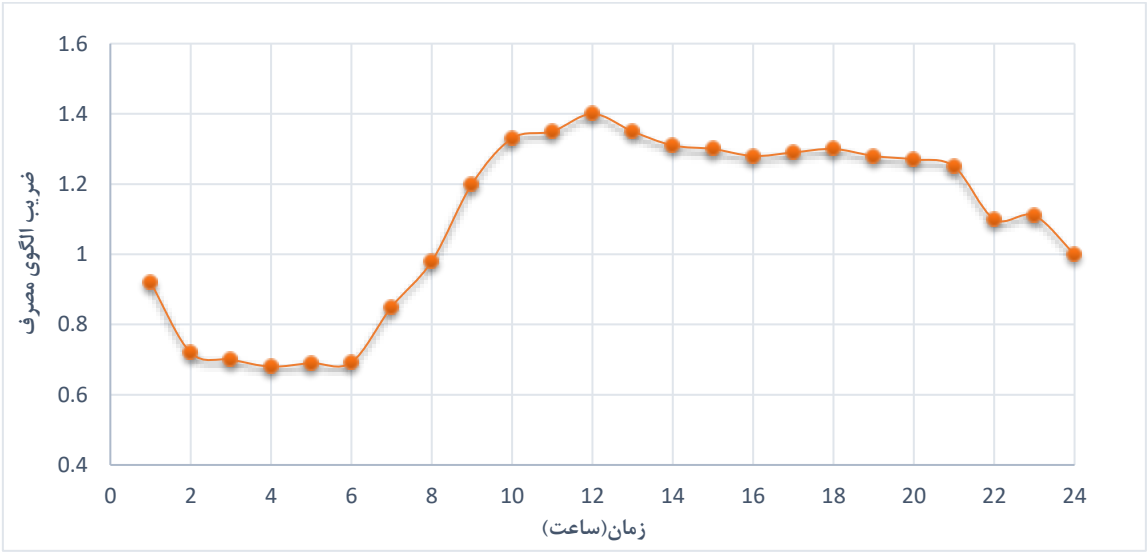
در شکل (۴) نیز تغییرات و پراکندگی فشارهای اندازه گیری شده در فشارسنج ها و مدل کالیبره شده در ایستگاههای فشارسنجی شماره ۱، ۶، ۱۵ و ۹ ارائه شده است. در این نمودارها نقاط آبی رنگ داده های فشار، خط قرمز رنگ خط متناظر ۱: ۱ و خط چین مشکی خط رگرسیون بین داده های فشار می باشد. همانطور که قابل ملاحظه است نتایج نشان از پراکندگی مناسب داده ها می‌باشد.



شکل ۴. تغییرات و پراکندگی فشارهای اندازه گیری شده در فشارسنج ها و مدل کالیبره شده

Figure 4. Variations and distribution of pressures measured by pressure gauges and in the calibrated model.

براساس دبی خروجی از مخازن و مصارف مشترکین و کالیبره شدن مدل نمودار الگوی مصرف تهیه و در شکل (۵) ارائه شده است. همانطور که قابل ملاحظه است بیشترین میزان آن مربوط به ساعت ۱۰ صبح لغایت ۱۴ بعد از ظهر می باشد و کمترین میزان نیز در ساعت ۲ بامداد تا ۶ صبح می باشد.

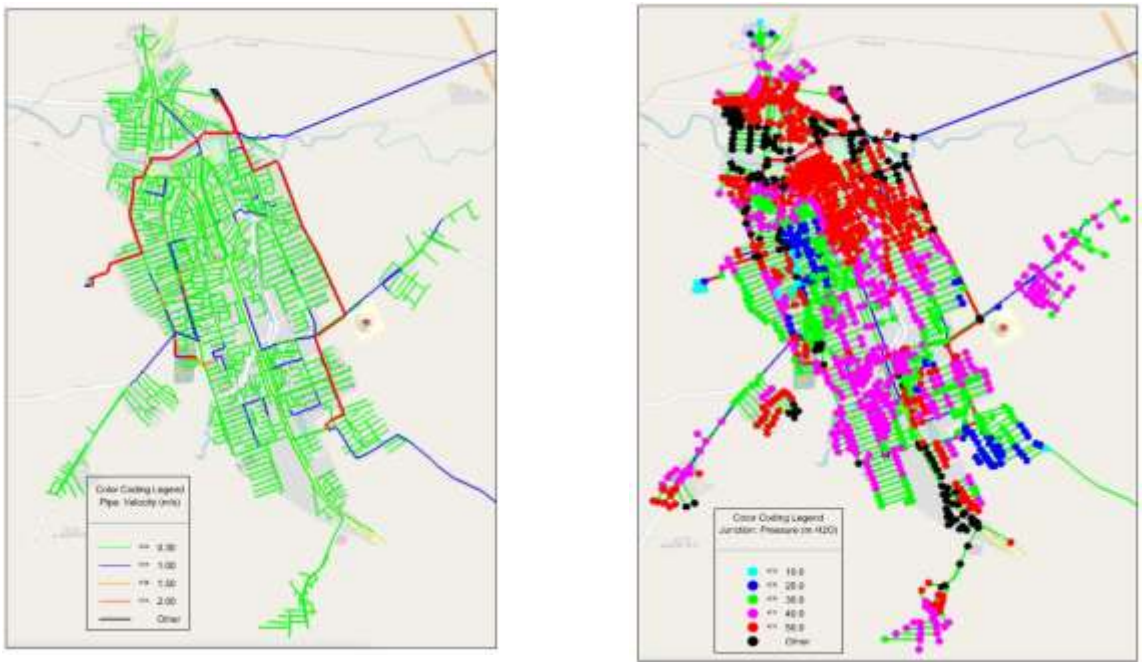


شکل ۵. نمودار الگوی مصرف مشترکین

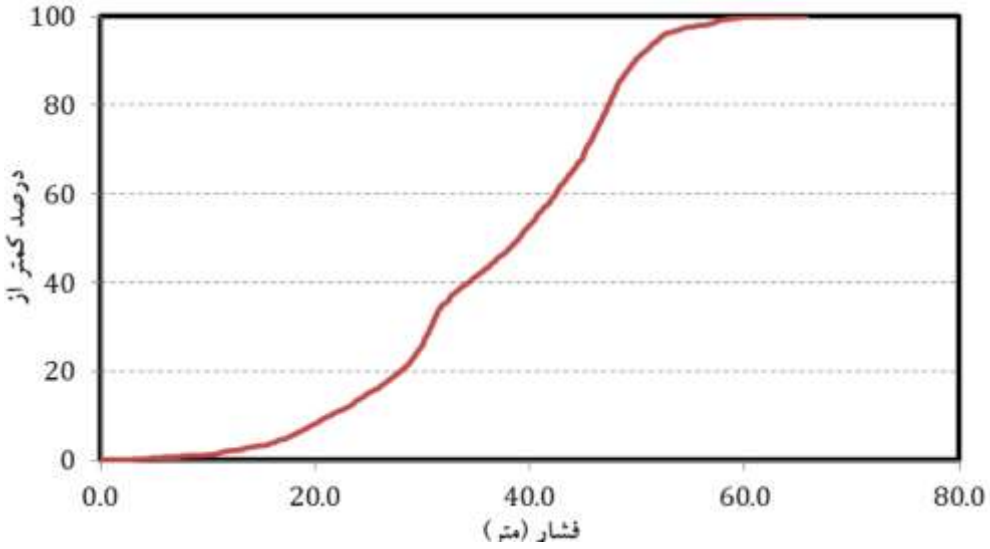
Figure 5. Chart of consumer consumption patterns

نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی و ارائه راهکار مناسب جهت توزیع فشار بهینه از شبیه سازی مدل در محیط نرم افزار Water Gems استفاده شد. این نرم افزار با قابلیت Arc Gis توانایی انجام و انتقال نتایج حاصل از اطلاعات جغرافیایی را دارد. شبکه آب شهر دارای 3 عدد شیر فشار شکن است. در شکل (۶) توزیع فشار، سرعت و افت شبکه توزیع آب در ساعت ۱۳ بعداظهر نشان داده شده است.



الف ب



ج

شکل ۶. الف) توزیع فشار شبکه ب) توزیع سرعت و ج) چگونگی توزیع فشار در ساعت ۱۳ بعداظهر

Figure 6. a) Pressure distribution of the network, b) Speed distribution, and c) Pressure distribution at 1:00 PM

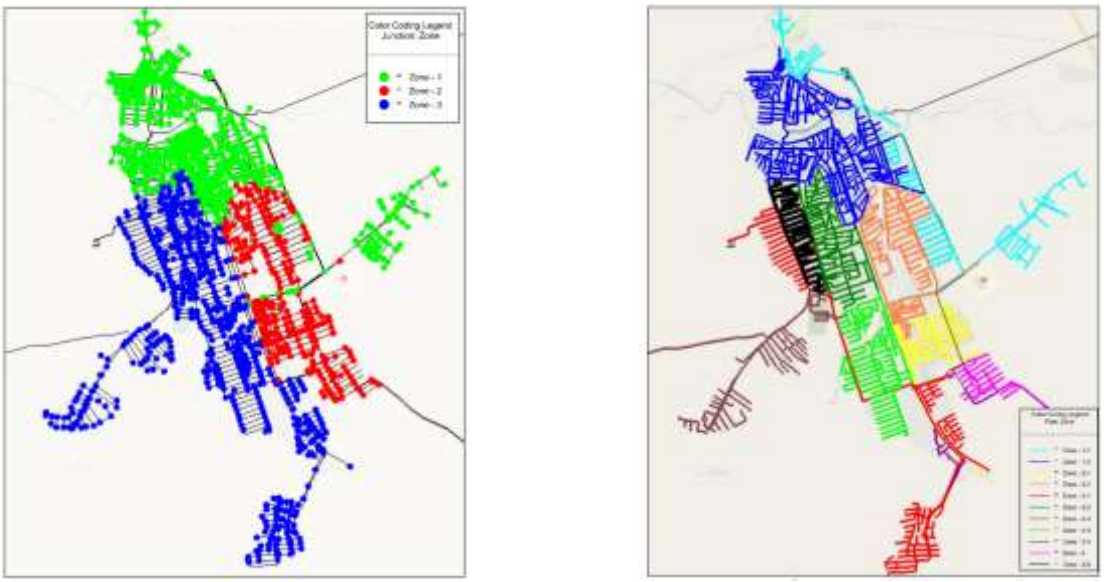
با توجه به شکل (۶) در ساعت ۱ بعدازظهر حدود ۲۶.۱ درصد از گره ها در بازه فشاری ۲۵ تا ۳۵ متر و ۲۷.۷ درصد فشاری بین ۳۵ تا ۴۵ متر و ۲.۴ درصد فشاری بیش از ۵۵ متر را دارا می باشند. در ساعت ۴ بامداد با کاهش میزان مصرف مشترکین حدود ۱۶.۶ درصد از گره ها در بازه فشاری ۲۵ تا ۳۵ متر ، ۳۶.۲ درصد در بازه ۳۵ تا ۴۵ و ۲۸.۵ درصد در بازه ۴۵ تا ۵۵ متر و ۴ درصد آنها فشاری بیشتر از ۵۵ متر قرار دارند. براساس مدل هیدرولیکی کالیبره شده مقدار متوسط نشت از شبکه از یک روز برابر ۱۴.۴ لیتر در ثانیه و برابر ۱۲۴۴ متر مکعب در شبانه روز است. بیشترین میزان نشت برابر با۱۴.۹ لیتر در ثانیه در ساعت ۴ بامداد و کمترین آن برابر ۱۴ لیتر در ثانیه در ساعت ۱بعد از ظهر می‌باشد.

روش کلی مورد استفاده جهت پهنه بندی شبکه توزیع آب شهر نورآباد، براساس نشریه Op310 و همچنین حداقل تغییرات براساس شرایط موجود بهره برداری است. لذا جهت نیل به اهداف سعی شده است که از تمامی مخازن شهر و با توجه به رقوم نقشه شبکه توزیع مناسبترین تغییرات به منظور بهبود شرایط هیدرولیکی وضع موجود اعمال شود.

با استفاده از مدل تهیه شده جانمایی و تنظیمات بهینه شیرهای فشار شکن انجام شد و جهت بدست آوردن موقعیت بهینه شیرهای فشارشکن موقعیت های محتمل جهت نصب بررسی شد. مطابق شکل ملاحظه می شود ۴عدد شیر فشار شکن به مدل اضافه شد. با توجه به اینکه افزایش فشار موجب افزایش تعداد نقاط با فشار بیش از توان تحمل لوله ها و در نتیجه ترکیدن لوله ها و افزایش نشت می شود، در این تحقیق فشار تنظیمی شیرهای فشارشکن با در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی استاندارد در شرایط حداقل و حداکثر بین ۱۵تا ۳۵ متر متغیر تنظیم شد تا این مشکل تا حد زیادی برطرف شود. الگوی مصرف گره ها در ۲۴ ساعت، فشار گره ها در تمام ساعات شبانه روز مشخص شد. سناریوهای مختلف از نظر میانگین کاهش نشت و مصرف نسبت به وضع موجود و کاهش تعداد گره های با فشار بالاتر از ۵۰ متر که باعث کاهش نشت و کاهش ترکیدگی لوله ها می شود، مورد تحلیل قرار گرفت.

با توجه به نحوه آبرسانی، مطالعات هیدرولیکی و شرایط منطقه، شبکه توزیع پهنه بندی می گردد که بایستی ملزومات زیر رعایت گردد:

هر پهنه ترجیحا دارای یک ورودی مجزا باشد 2. پهنه بندی باید به نحوی باشد که مجزاسازی مرزها، کمترین تأثیر را بر آبرسانی به سایر پهنه ها داشته باشد 3. پهنه بندی باید به نحوی باشد که تعداد شیر مجزا ساز حداقل گردد 4. مرزهای پهنه آبرسانی به روش های مختلف از جمله روش تحلیل ردیابی یا مسیریابی به کمک تعیین مسیر حرکت آب و پهنه تحت پوشش هر ورودی میتواند انتخاب شود. 5. مرزبندی باید به نحوی باشدکه ورودی های هر پهنه به صورت دستی و یا از طریق تله متری قابل کنترل باشد. با توجه به الزامات فوق شبکه توزیع آب شهر نورآباد به ۳ پهنه پیشنهادی تقسیم شد به طوری که هر پهنه تحت پوشش یک مخزن می باشد و هر پهنه به زیر پهنه هایی تقسیم می شود که به روش ثقلی یا با استفاده از شیر فشارشکن آبرسانی می شود. در پهنه های دارای شیر فشارشکن امکان تنظیم دبی و فشار با استفاده از شیرهای کنترلی وجود خواهد داشت. شکل (۷) نمای کلی پهنه های شبکه توزیع آب شهر نورآباد به همراه زیرپهنه های آن را نشان می‌دهد.

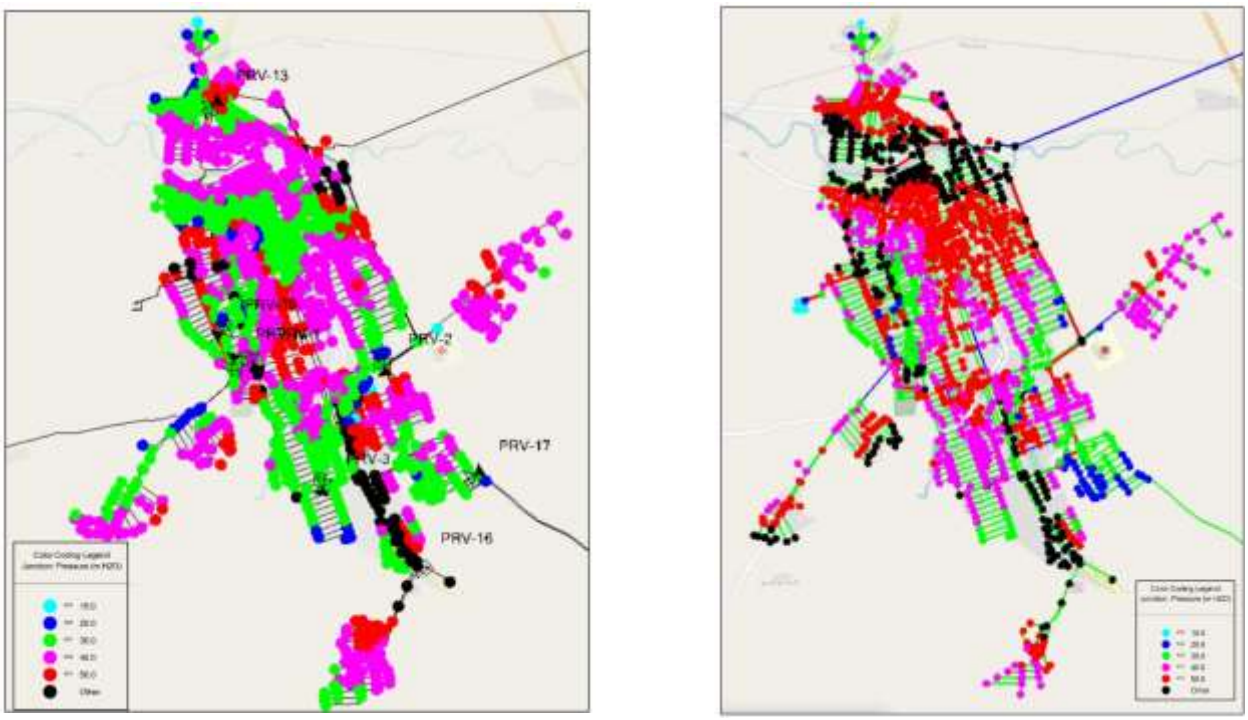


شکل۷. پهنه‌ها و زیرپهنه‌های شبکه توزیع آب شهر نورآباد

Figure 7. Zones and subzones of the water distribution network of Noorabad city

بررسی تغییرات فشار در حالت حداقل مصرف :

شکل (۸) وضعیت توزیع فشار را در ساعت ۴ بامداد در شرایط وضع موجود و در شرایط پهنه بندی شبکه نشان می دهد.



(ب) (الف)

شکل۸. وضعیت توزیع فشار (الف) وضعیت موجود، (ب) شرایط پهنه بندی

Figure 8. Pressure distribution status: (a) Existing condition, (b) Zonation condition

چنانکه از شکل فوق مشخص است پس از انجام طرح، فشار شبکه پس از اجرای طرح کاهش می یابد و همچنین دامنه نوسانات زمانی کم شده است به طوریکه پس از اجرای طرح توزیع فشار و مقدار آن در زمانهای مختلف تقریبا یکسان شده است.

به منظور بررسی تأثیر پهنه بندی شبکه توزیع بر روی مدیریت فشار شبکه، مقادیر فشار در سه حالت حداقل، متوسط و حداکثر مصرف محاسبه و در جدول (۳) مقایسه توزیع فشار در گره های شبکه در شرایط پهنه بندی و وضع موجود ارائه شده است.

با محاسبه میزان فشار در شرایط حداکثر مصرف(ساعت ۱۲ ظهر) این میزان برابر ۳۷.۶ متر و در شرایط متوسط مصرف (۸صبح) ۳۹.۵ متر و در حداقل مصرف به میزان ۴۱.۴ متر می باشد. همانطور که مشهود است میانگین فشار شبکه در حالت اجرای پهنه بندی برابر ۳۲ متر خواهد بود در حالی که این میزان در وضعیت موجود بین ۳۷.۶ تا ۴۱.۴ متر متغیر است.لذا با اعمال پهنه بندی و اجرای آن امکان بهبود فشار در شرایط مختلف مصرف فراهم می گردد. با توجه به نتایج در حالت ماکزیمم مصرف میزان فشار حدود ۱۱ درصد، در متوسط مصرف ۱۷.۴ درصد و در شرایط حداقل مصرف به میزان ۲۱.۳ درصد کاهش یافته است.

جدول۳. وضعیت گره های موجود در هر محدوده فشاری

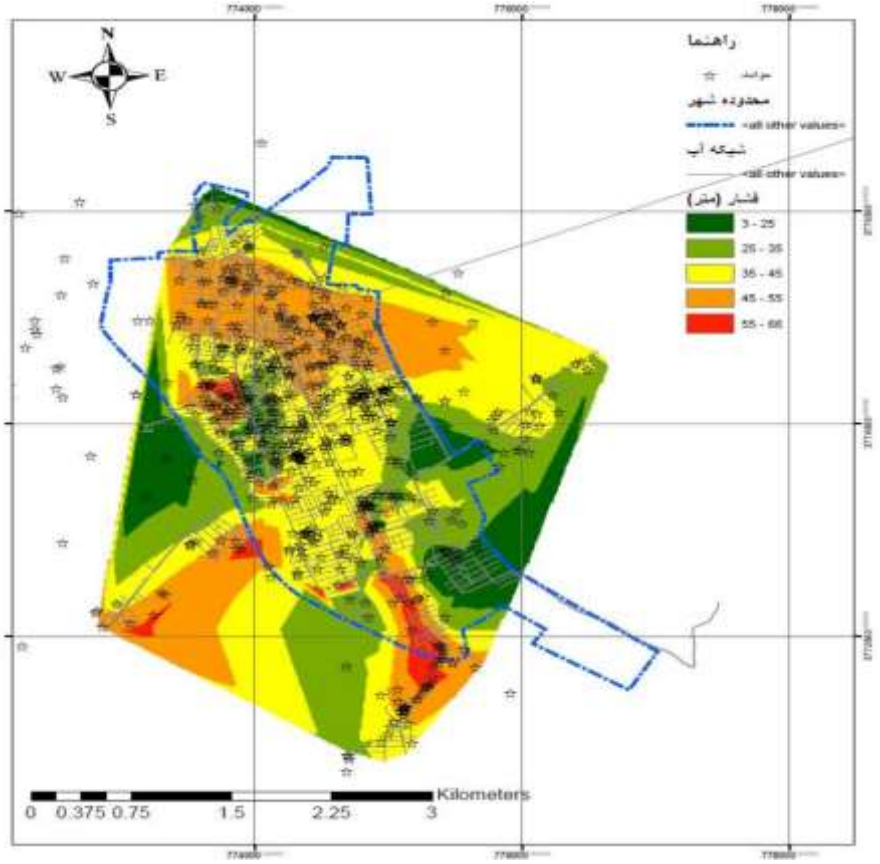
Table 3. Status of nodes in each pressure range

حالات مصرف	فشار متوسط وضع موجود (متر)	فشار متوسط پهنه بندی (متر)	میزان کاهش فشار(درصد)
حداکثر مصرف (۱۲ ظهر)	37.6	33.5	10.9
متوسط مصرف(۸صبح)	39.5	32.6	17.4
حداقل مصرف(۴بامداد)	41.4	32.6	21.3

بررسی حوادث شبکه

با استفاده از مکان یابی حوادث شبکه در شهر نورآباد نقشه تراکم حوادث به صورت شکل (۹) تهیه شد. با توجه به شکل منحنی نقاط هم فشار در سطح شبکه در بازه های مختلف و همپوشانی نقاط حادثه دیده و فشار شبکه مشخص گردید. نتایج نشان می دهد تراکم

حوادث با فشار شبکه رابطه مستقیمی نداشته و تراکم حوادث هم در نقاط با فشار بالا و هم در نقاط با فشار پایین مشاهده می گردد که می تواند به دلایل مختلفی از جمله فرسودگی شبکه ، تردد وسائل نقلیه سنگین و ... در این مناطق باشد.



شکل ۹. تراکم حوادث و فشار در شبکه آب شهر نورآباد

Figure 9. Incident density and pressure in the water network of Noorabad city

سپاسگزاری

این مجموعه با حمایتهای مالی شرکت آب و فاضلاب لرستان تهیه شده است لذا از تمامی همکاران محترمی که در تهیه این تحقیق همکاری نموده اند تشکر و قدردانی داریم.

نتیجه گیری

وجود فشارهای اضافی در شبکه های توزیع آب موجب افزایش میزان مصارف، نشت و تعداد حوادث می گردد. مدیریت بهینه فشار، با استفاده از نصب شیرهای فشارشکن و تنظیمات بهینه این شیرها در مسیر جریان یکی از روش‌های کاهش نشت می‌باشد. در این پژوهش از روش پهنه بندی فشاری به عنوان یک روش کارا به منظور مدیریت فشار در شبکه و کاهش نشت در شبکه توزیع آب، کاهش اتفاقات و استفاده بهینه از تجهیزات شبکه شهر نورآباد استفاده شد که با توجه به نحوه آبرسانی، مطالعات هیدرولیکی و شرایط منطقه شبکه توزیع آب پهنه بندی شد. نتایج نشان می دهد که استفاده مؤثر از شیرهای فشارشکن میزان فشار شبکه را کاهش داده و تأثیر مثبتی در کاهش میزان نشت و اتفاقات خواهد داشت. در این تحقیق علاوه بر ۳ شیر فشار شکن موجود ،۵ عدد شیر فشار شکن جدید جهت ایجاد پهنه های مجزا پیشنهاد شد که در مجموع ۸ عدد شیر فشارشکن مورد نیاز می باشد و شبکه توزیع آب شهر به ۴ پهنه تقسیم بندی شد و هر پهنه نیز به زیر پهنه هایی تقسیم گردید که در مجموع ۱۱ پهنه و زیر پهنه فشاری طراحی شده است. با انجام محاسبات هیدرولیکی شبکه میانگین فشار شبکه در حالت اجرای پهنه بندی برابر ۳۲ متر خواهد بود در حالی که این میزان در وضعیت موجود تا ۴۰.۸ متر متغیر است و متوسط میزان کاهش فشار ۱۷ درصد می باشد.

منابع

Boustani, A., & Khodashenas, S. (2015). Studying a leakage detection method in pressurized water networks based on the pressure–leakage relation (Presentation of Optimization Code for Locating Leakage). Water and Sustainable Development Journal, 2(1), 59-66 (In Persian). https://doi.org/10.22067/jwsd.v2i1.39106

Farley, M. (2001). Leakage management and control: A best practice training manual. World Health Organization.

García-Ávila, F., Avilés-Añazco, A., Ordoñez-Jara, J., Guanuchi-Quezada, C., Flores del Pino, L., & Ramos-Fernández, L. (2019). Pressure management in water distribution systems for reducing leakages. Alexandria Engineering Journal, 58(4), 1313-1326. https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.11.004

Hedayati Marzouni, N., Jalili Ghazizadeh, M., Moslehi, A., & Kameli, M. (2022). Smart pressure management in water distribution networks to reduce spatial and temporal pressure fluctuations. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 54(10), 3657-3674 (In Persian). https://doi.org/10.22060/ceej.2022.19743.7250

Jalili Ghazizadeh, M., & Eidi, Z. (2016). Analytical relationships for pressure management in water distribution networks. Environmental Journal, 42(3), 517-529 (In Persian). https://doi.org/10.22059/jes.2016.60064

Karamooz, M., Tabesh, M., Nazif, S., & Moridi, A. (2005). Pressure prediction in water distribution networks using artificial neural networks and fuzzy inference. Water and Wastewater Journal, 53, 3-14 (In Persian).

Latifi, M., Naeeni, S. T., & Gheibi, M. A. (2018). Upgrading the reliability of water distribution networks through optimal use of pressure-reducing valves. Journal of Water Resources Planning and Management, 144(2), 04017080. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000866

Price, E., Abhijith, G. R., & Ostfeld, A. (2022). Pressure management in water distribution systems through PRVs optimal placement and settings. Water Research, 226, 119236. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119236

Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W., & Fleifle, A. (2017). Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. Alexandria Engineering Journal, 56(4), 601-612. https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.07.008

Soltani Asl, M., & Faghfor Mogharbi, M. (2009). Intelligent pressure management for leak reduction in water distribution networks: A case study of the Sarafrazan area in Mashhad. Water and Wastewater Journal, 20(3), 99-104 (In Persian).

Tabesh, M., & Karimi, K. (2006). Determining the time for leak detection and renovation of urban water distribution networks using incident data analysis. Journal of the Faculty of Engineering, 5, 597-610 (In Persian).

Thornton, J., & Lambert, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. Proceedings of the IWA Special Conference on Leakage, 12-14.

Vicente, D., Garrote, L., Sánchez, R., & Santillán, D. (2016). Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. Journal of Water Resources Planning and Management, 142(2), 04015061. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000600

Vazifeh Doost Saleh, P., Yazdi, J., & Moridi, A. (2024). Pressure management in water distribution networks by optimal placement of pressure reducing valves and reverse pumps. Journal of Water and Wastewater Science and Engineering, 9(2), 31-42 (In Persian).

Hedayati Marzouni, N., Jalili Ghazizadeh, M. R., Moslehi, I., & Kameli, M. (2022). Intelligent pressure management in water distribution networks to reduce temporal and spatial pressure fluctuations. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 54(10), 3657-3674 (In Persian)