

Article Type Technical paper

نوع مقاله فنی و ترویجی

The Effect of Water Distribution Network Zoning on Pressure Management and Network Leakage Reduction (Case Study: Dorud City)

تأثیر پهنه بندی شبکه توزیع آب در مدیریت فشار و کاهش نشت شبکه (مطالعه موردی: شهر دورود)

P.Maleki^{1*}, Kh.Namdarian²

پری ملکی^{۱*}، خشایار نامداریان^۲

1- Ph.D. in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Office of Operation and Development of Water Distribution Network, Lorestan Water and Wastewater Company, Lorestan, Iran. 2- M.Sc. in Mechanical Engineering, Office of Operation and Development of Water Distribution Network and Reduction of Non-Revenue Water, Lorestan Water and Wastewater Company, Lorestan, Iran.

۱- دکترای سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز، دفتر بهره برداری و توسعه شبکه توزیع آب، شرکت آب و فاضلاب لرستان، لرستان، ایران. ۲- کارشناسی ارشد مکانیک گرایش انرژی، دفتر بهره برداری و توسعه شبکه توزیع آب و کاهش آب بدون درآمد، شرکت آب و فاضلاب لرستان، لرستان، ایران.

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

*رایانامه نویسنده مسئول: Parimaleki.67@gmail.com

Received 26-01-2025
Revised 11-03-2025
Accepted 18-03-2025
Available Online 20-09-2025

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۱/۰۷
تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۲/۲۸
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

Abstract

چکیده

In order to deal with the challenges caused by the limitations of water resources in the path of social and economic development, various models of pressure management methods have been proposed and developed all over the world. One of the pressure and leakage management methods in water distribution networks is the use of Pressure Reducing Valves and the creation of District Metered Areas, for the effective operation of these valves, it is very important to determine the appropriate position and regulated pressure. In the present study, the effect of the pressure zoning method on pressure management and network leakage reduction was investigated using a hydraulic model. For this purpose, with the help of WaterGEMS software, the hydraulic model of the water distribution network of Dorud city was designed and the model was calibrated using the information of flow measurement and pressure measurement, then the hydraulic analyses were performed. Based on the obtained results, the distribution network of this city was divided into 4 zones, and in addition to the existing pressure reducing valves, 4 new pressure reducing valves were proposed for pressure regulation. The results showed that applying zoning reduced the average pressure across the network by 17%, which led to an average leakage reduction of 17%. According to the results of the presented method, it has a proper efficiency in managing the pressure and leakage of the water distribution network.

Keywords: Pressure Management, Zoning, Water Distribution Network, Leakage.

به منظور مقابله با چالش های ناشی از محدودیت های منابع آبی در مسیر توسعه اجتماعی و اقتصادی مدل های مختلفی از روش های مدیریت فشار در تمام جهان مطرح و توسعه یافته است. از جمله روش های 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 پژوهش حاضر تأثیر روش پهنه بندی فشاری در مدیریت فشار و کاهش نشت شبکه با استفاده از مدل هیدرولیکی بررسی شد. به این منظور با کمک نرم افزار WaterGems مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر دورود طراحی شد و با استفاده از اطلاعات دبی سنجی و فشارسنجی مدل کالیبره و سپس تحلیل های هیدرولیکی مدل انجام شد. براساس نتایج به دست آمده شبکه توزیع این شهر به ۴ پهنه تقسیم بندی شد و علاوه بر فشارشکن های موجود ۴ شیر فشارشکن جدید جهت تنظیم فشار پیشنهاد شد. نتایج نشان داد با اعمال پهنه بندی، فشار در سطح شبکه به میزان ۱۷ درصد کاهش یافته و میزان نشت به طور متوسط به میزان ۱۷ درصد کاهش یافت. از نتایج به دست آمده می توان دریافت که رویکرد ارائه شده کارایی مؤثری در مدیریت فشار و نشت شبکه توزیع آب دارد.

واژه های کلیدی: مدیریت فشار، پهنه بندی، شبکه توزیع آب، نشت.

How to cite this article: Maleki, P., & Namdarian, Kh. (2025). The Effect of Water Distribution Network Zoning on Pressure Management and Network Leakage Reduction (Case Study: Dorud City). Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 131-142.
<http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2501-1400>

رشد روز افزون جمعیت و افزایش تقاضای آب از یک طرف و محدودیت منابع آب از طرف دیگر، از جمله چالش‌های پیش روی توسعه جوامع می‌باشد، لذا کاهش «نیاز به تولید» بسیار حائز اهمیت می‌باشد (بوستانی و خداشناس، ۱۳۹۴). براساس تجزیه و تحلیل (IFPRI) شیوه‌های فعلی مدیریت آب و سطوح بهره‌برداری آب تقریباً ۴۵ درصد از کل تولید ناخالص پیش‌بینی شده داخلی جهان در سال ۲۰۵۰ را در معرض خطر جدی قرار می‌دهد و تقریباً نیمی از جهان با مشکل کمبود و تنش آبی مواجه خواهند شد. از آنجایی که دسترسی به منابع جدید با صرف هزینه‌های هنگفتی در ایجاد زیر ساخت‌های لازم همراه است لذا مدیریت منابع آبی به عنوان مقرون به صرفه ترین راه‌حل جهت جلوگیری از اتلاف و حفظ منابع آبی موجود به عنوان یکی از استراتژی‌های مهم مطرح است (بوستانی و خداشناس، ۱۳۹۴).

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 شبکه‌های توزیع آب اختصاص دارد (Farley و همکاران، ۲۰۰۱) آب ناشی از سیستم‌های ثانویه توزیع آب در سطح جهانی از اجزای مختلفی از جمله تلفات فیزیکی، مصارف غیر مجاز و تلفات ظاهری تشکیل می‌شود. نشت‌ها گاهی بیش از ۷۰ درصد از هدررفت آب را تشکیل می‌دهند (تابش و کریمی، ۱۳۸۵).

از جمله عوامل مؤثر بر ایجاد شکستگی‌ها و نشت و افزایش هدر رفت در شبکه‌های توزیع آب عبارتند از:

وجود فشار بیش از حد استاندارد در نقاطی از شبکه، تغییرات شدید دمای هوا، جنس نامرغوب لوله‌ها و اتصالات، بار ترافیک روی معابر، سربارهای استاتیکی و دینامیکی، خوردگی و پوسیدگی لوله‌های شبکه، فرسودگی و افزایش سن لوله‌های شبکه (Thornton و Lambert، ۲۰۰۵). مدیریت فشار یکی از مؤثرترین و مقرون به صرفه ترین روش‌های کاهش نشت شبکه‌های توزیع آب می‌باشد و می‌توان 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 (هدایتی مزرونی و همکاران، ۱۴۰۱). از متداول‌ترین روش‌های مدیریت فشار می‌توان به ایجاد مرزهای منطقه و اجرای طرح ناحیه‌بندی فشاری (پهنه‌های فشاری)، انتخاب صحیح محل

احداث مخازن ذخیره و کنترل سطح آب در آن‌ها، شیرهای فشارشکن، احداث حوضچه‌های تعدیل فشار اشاره نمود. از دیگر رویکردهای اصلی شرکت‌های آب و فاضلاب در جهت مدیریت تولید و توزیع، ثابت نگهداشتن نیاز به تولید آب حتی در صورت افزایش تعداد مشترکین بوده است. استراتژی‌ها و برنامه‌های تدوینی بر مبنای کاهش «نیاز به تولید» با اقداماتی از قبیل اجرا و تکمیل پروژه‌های رینگ و پهنه‌بندی شبکه توزیع آب، حذف پمپاژهای مستقیم، افزایش رسانه ذخیره مخازن، مدیریت فشار و... قابل انجام است. از بین روش‌های بیان شده استفاده از شیرهای فشارشکن (کنترل فشار) و همچنین اجرای طرح ناحیه‌بندی فشاری مورد توجه بسیاری از شرکت‌های آب‌رسانی قرار گرفته که این امر ناشی از امکان اجرای مدیریت فشار پیشرفته است (Vicente و همکاران، ۲۰۱۶). 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 (جلیلی قاضی‌زاده و ایدی، ۱۳۹۵). در پژوهشی از روش مدیریت فشار به منظور کاهش نشت و مصارف وابسته به فشار و نیز کاهش ترکیدگی لوله‌ها و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان هیدرولیکی شبکه توزیع استفاده شد که در آن از یک مدل شبیه‌ساز و بهینه‌ساز به منظور یافتن مکان و فشار تنظیمی شیرهای فشار شکن با خروجی ثابت بهره گرفته شد (Latifi و همکاران، ۲۰۱۸).

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 Samir و همکاران (۲۰۱۷) مدل‌سازی شد و نتایج مطالعات نشان داد مدیریت فشار به کمک شیرهای کاهنده فشار نتایج مؤثر و مطلوبی در کنترل میزان نشت دارد.

García-Avila و همکاران (۲۰۱۹) برای ارزیابی نشت شبکه توزیع آب را با استفاده از نرم‌افزار Epanet مدل‌سازی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد میزان نشت با استفاده از شیرهای کاهنده فشار ۳۰ درصد کاهش یافته است، بنابراین آن‌ها به شرکت‌های تأمین کننده آب شرب پیشنهاد استفاده از این روش را دادند.

Price و همکاران (۲۰۲۲) برای مدیریت فشار شبکه توزیع آب با استفاده از نرم‌افزار Epanet مدل‌سازی کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد استفاده از شیرهای فشارشکن

در مدیریت فشار و کاهش نشت مؤثر بوده و به کمک مدل ساخته شده جانمایی شیرها نیز تعیین شد. با توجه به مطالعات انجام شده از جمله از اقدامات اولیه در مدیریت فشار، ناحیه‌بندی فشاری یا پهنه‌بندی 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. ناحیه‌بندی فشاری به صورت کلی سبب جلوگیری از ایجاد فشارهای بالا در بخش‌های کم ارتفاع شبکه توسط روش‌هایی 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) می‌شود.

اهداف کلی پهنه‌بندی یا ناحیه‌بندی فشاری عبارتند از ۱- کاهش نیاز به تولید، ۲- بهره‌برداری 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 و ۷- کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداشت. با توجه به مطالب بیان شده اهمیت مطالعات مدیریت فشار در شبکه‌های آب‌رسانی بیش از پیش نمایان است. به منظور بررسی و کارایی روش پهنه‌بندی فشاری از یک شبکه توزیع آب واقعی (شبکه توزیع آب شهر دورود) استفاده شد و با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS مدل‌سازی، سپس به کمک نتایج آن تأثیر این روش بر کاهش نشت و تعدیل فشار بررسی شد.

مواد و روش‌ها

شهر مورد مطالعه

شهر دورود یکی از شهرهای استان لرستان می‌باشد. جنس لوله‌های شبکه شامل ۲۹/۱ درصد لوله آریست، ۶۱/۳ درصد پلی‌اتیلن و ۵ درصد چدن داکتیل و ۴/۶ درصد فولادی می‌باشد. ضریب هیزن ویلیامز برای مدل‌سازی شبکه ۱۲۰ در نظر گرفته شد. بیشترین طول لوله در شبکه شهر دورود مربوط به اقطار ۷۵ و ۹۰ میلیمتر به ترتیب با ۲۱/۸ و ۲۱/۵ درصد و کمترین آن مربوط به لوله ۴۰ میلیمتر با ۰/۰۲ درصد می‌باشد. شبکه مورد بررسی طول عمر متوسط ۱۰ سال داشت. جمعیت تحت پوشش شبکه در حدود ۱۳۱۰۰۰ نفر است. برای مدیریت فشار شبکه توزیع آب ۵ دستگاه شیر فشارشکن در نقاط مختلفی از شبکه نصب شده است همچنین ۵ مخزن آب

شرب به حجم ۳۴۷۶۰ متر مکعب دارد. تحقیقات پژوهشگران و نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی فشار نشان می‌دهد تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های توزیع بدون در نظر گرفتن تغییرات دبی و فشار در گر‌ها و چشم‌پوشی از جریان نشت در شبکه دقت کافی ندارد. رابطه فشار و نشت به شکل توانی و به صورت رابطه (۱) است (سلطانی اصل و فغفور، ۱۳۸۸):

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

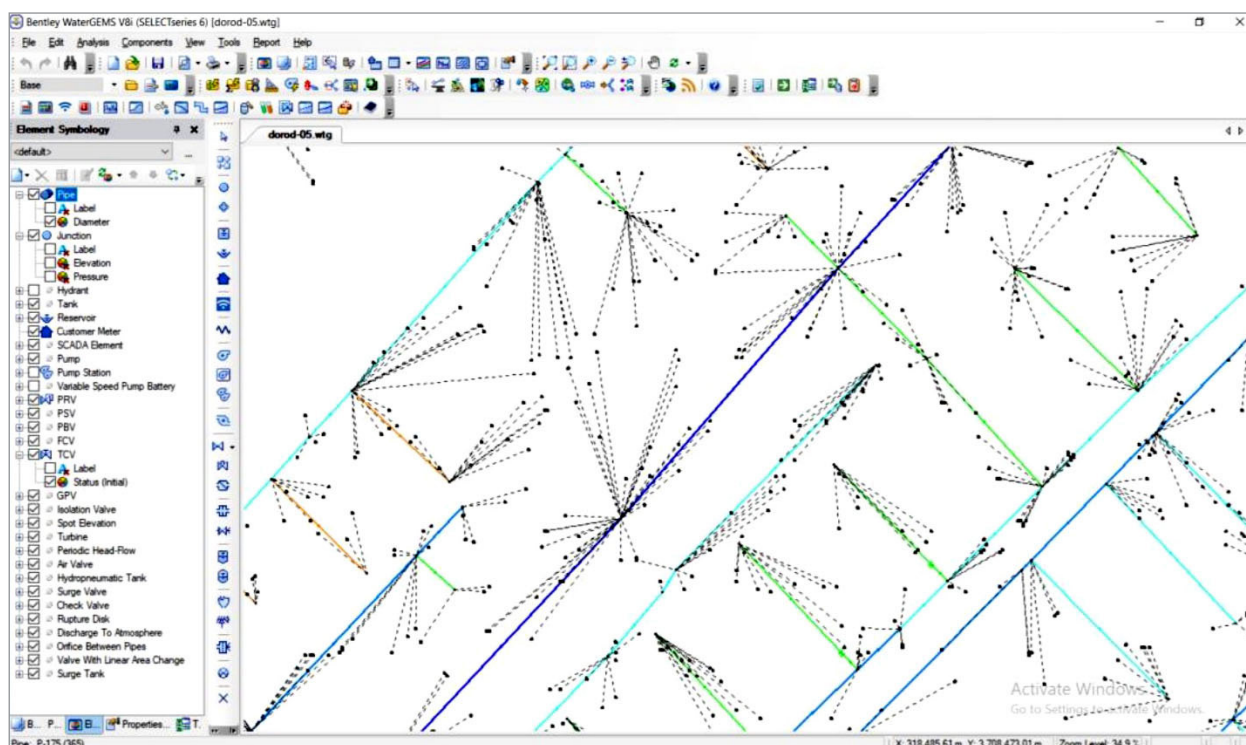
که در آن Q میزان دبی نشت بر حسب لیتر بر ثانیه، P میزان فشار بر حسب متر و c ضریب نشت و n ثابت فشار می‌باشد. از جمله روش‌های متداول در مدل‌سازی نشت که منجر به تعیین مقادیر ضریب نشت در گر‌ها می‌شود استفاده از روش تلفیقی روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و تحلیل هیدرولیکی شبکه است. براساس پژوهش‌های انجام شده مقدار ثابت n در رابطه توانی (۱) در شبکه‌های آب‌رسانی بیش از ۵/۰ می‌باشد و به عواملی از جمله جنس لوله‌ها، تغییرات فشار در شبکه بستگی دارد. معروف‌ترین روش در تعیین مقدار آن نظریه FAVAD می‌باشد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴).

مدل‌سازی

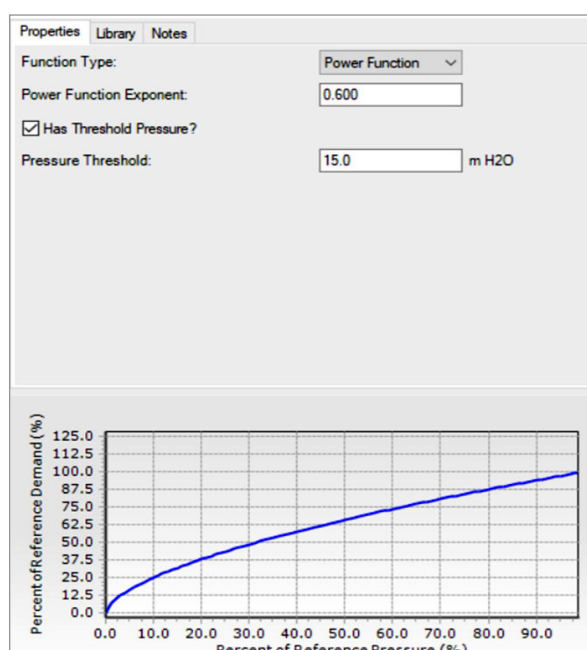
ساخت مدل هیدرولیکی خطوط شبکه و انتقال شهر دورود با استفاده از نقشه اتوکد موجود و در نرم‌افزار WaterGems تهیه شد. به کمک جدول بالانس و قرائت مصارف مشترکین در دو سال اخیر به همراه مختصات جغرافیایی آن‌ها، مصارف به نزدیک‌ترین گر موجود اختصاص داده شد (شکل ۱).

براساس اطلاعات دریافتی از شرکت آبفا و با میانگین‌گیری از میزان مصرف هر مشترک در دوره‌های مختلف قرائت میزان کل مصرف قرائت شده در کنتور مشترکین برابر ۳۱۱ لیتر در ثانیه برآورد شد. هد استاتیکی هر گر 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 شامل شیرهای فشارشکن، شیرهای نگهدارنده فشار، شیرهای مانوری و شیرهای بسته موجود در شبکه توزیع، مدل‌سازی شدند. در شهر دورود ۵ عدد شیر فشار شکن به سایزهای ۴۰۰، ۱۵۰، ۱۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ میلیمتر موجود می‌باشد.

براساس رابطه (۱) و با توجه به میزان هدر رفت شبکه به میزان ۲۴۱۴۶۲۱ مترمکعب در سال و معادل ۷۸/۸ لیتر در ثانیه می‌باشد. بر اساس مدل اولیه تهیه شده میزان متوسط فشار شبکه برابر ۳۳ متر می‌باشد که با استفاده از رابطه (۱) مقدار ضریب c برابر ۱۳/۱ می‌باشد. ضریب نشت در نرم‌افزار WaterGEMS به صورت Coefficient Emitter تعریف شده



شکل ۱- وارد کردن مصارف مشترکین به مدل شبکه توزیع در محیط نرم افزار Watergems



شکل ۲- منحنی فشار-مصرف

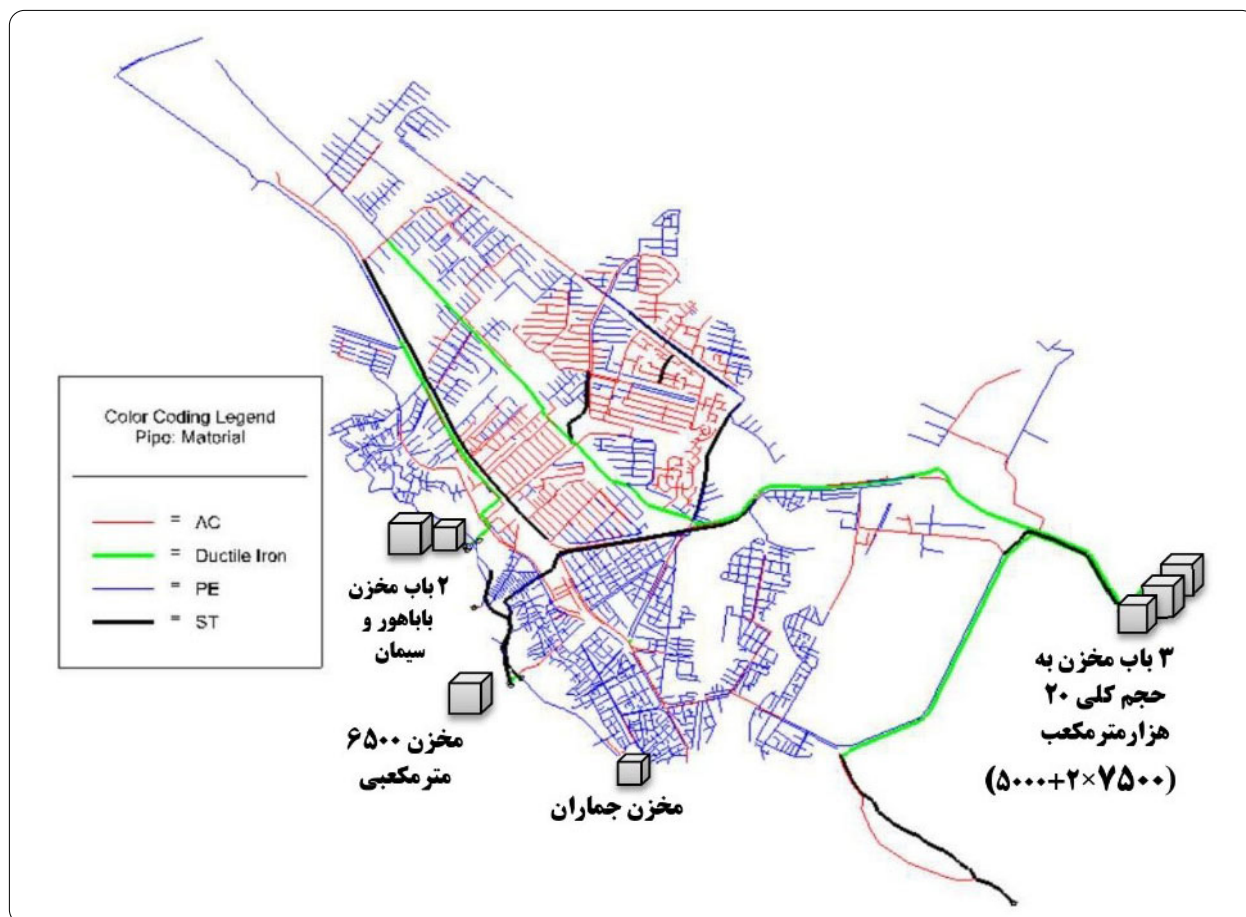
است که در مدل تهیه شده، این مقدار ضریب با نسبت طول لوله‌های متصل به گره به مدل اضافه شد. همچنین میزان هدر رفت ظاهری به گره‌ها اضافه شد که مقدار آن برابر $3/39$ لیتر در ثانیه می‌باشد.

به منظور تطابق بیشتر مدل هیدرولیکی با واقعیت و عدم وجود فشار منفی در مدل هیدرولیکی (فشار غیرواقعی)، منحنی فشار-مصرف به صورت شکل (۲) به مدل هیدرولیکی وارد شد. همچنین مشخصات کلی مدل اولیه ساخته شده در جدول (۱) ارائه شده است.

مدل طراحی شده شبکه توزیع پایلوت انتخاب شده در شکل (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات مدل هیدرولیکی

مترائز لوله‌ها (متر)				تعداد شیر فشارشکن	تعداد شیر قطع و وصل	تعداد گره	تعداد لوله	تعداد مشترک
چدنی	فولادی	پلی اتیلن	آزبست					
۱۲۲۱۶	۱۱۱۹۶	۱۴۹۹۷۸	۷۱۰۸۳	۵	۳۲۲	۴۹۸۷	۵۳۹۵	۴۱۳۱۷

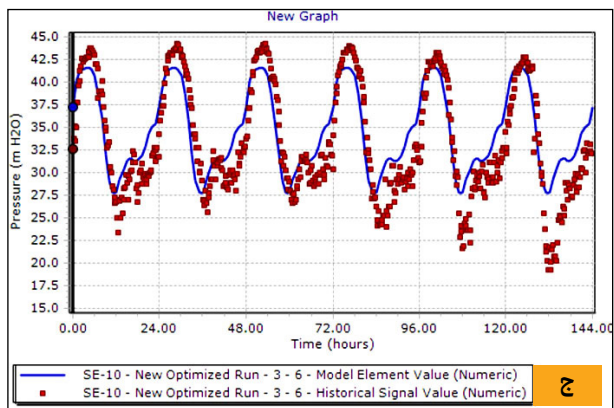
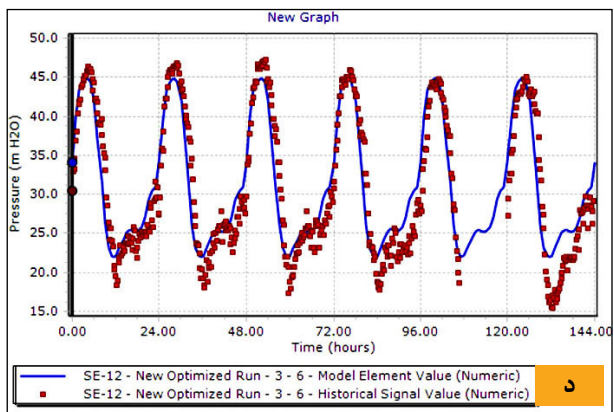
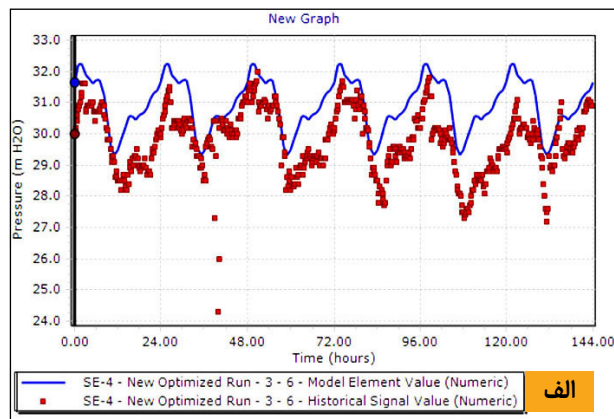
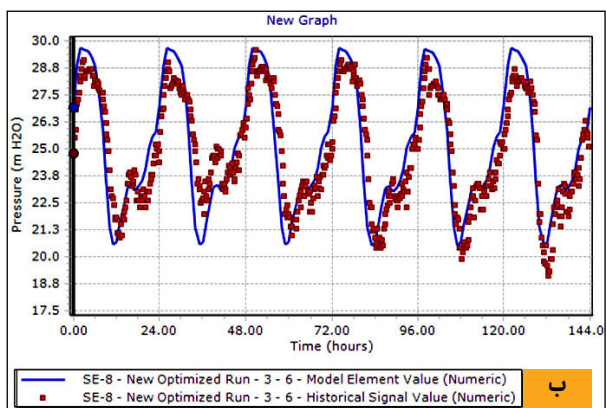


شکل ۳- ایجاد مدل هیدرولیکی اولیه از وضع موجود شبکه توزیع آب شهر دورود در محیط Water GEMS

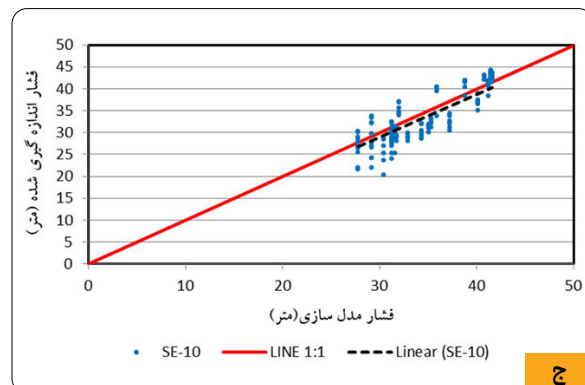
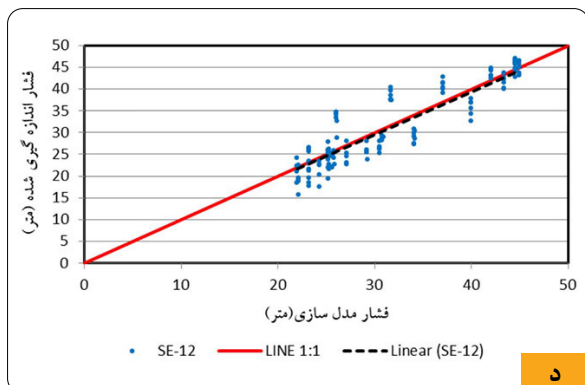
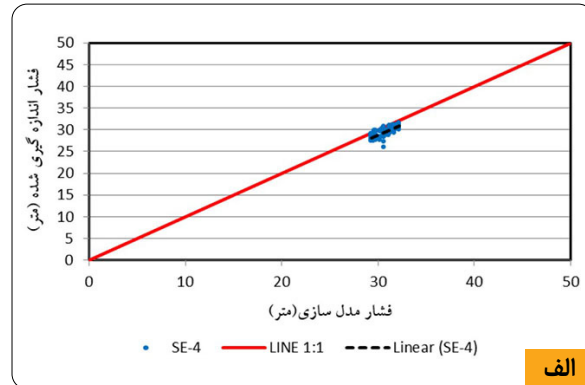
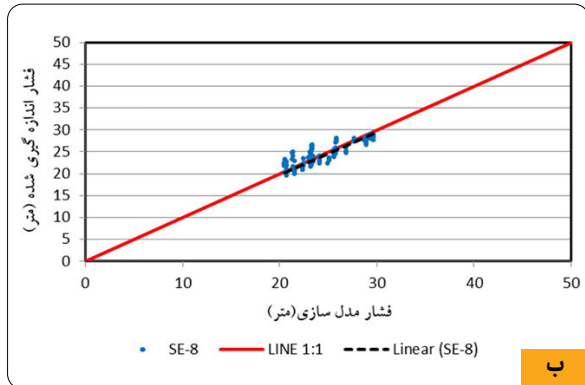
کالیبراسیون مدل هیدرولیکی

به طور هم‌زمان وضعیت موجود پارامترهای ضریب زبری لوله‌ها و مصارف تخصیص داده شده به گره‌های مدل ساخته شده، برای دستیابی به حداکثر دقت در تهیه مدل فرآیند کالیبراسیون انجام شد. به همین منظور ۲۳ دستگاه فشارسنج در سطح شبکه نصب شد و میزان فشار برداشت شد. علاوه بر این عملیات دبی‌سنجی نیز از داده‌های فلومتر موجود در شبکه در یک دوره ۲۴ ساعته انجام شد. برای ورود نشت به مدل هیدرولیکی با در نظر گرفتن فشار شبکه و میزان هدررفت آب، مقدار این ضریب برای مدل برابر ۱۲/۸ محاسبه شد. همچنین میزان آب مصرفی شبکه با استفاده از داده‌های مصرف مشترکین استخراج و با استفاده از ابزار (Customer meter) به مدل وارد شد. برای کالیبره کردن مدل، فشار اندازه‌گیری شده با فواصل زمانی یک ساعته به مدل داده شد و با استفاده از داده‌های فشارسنجی و دبی‌سنجی مقادیر ضریب هیزن ویلیامز لوله‌ها کالیبره شد. در شکل (۴) مقایسه نمودارهای فشارسنجی در مدل و

واقعیت ارائه شده است برای تعیین میزان خطا نیز از میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا استفاده شد که در جدول (۲) قابل مشاهده است. میزان خطا در فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده و دقت آن در ۱۷ ایستگاه فشارسنج ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود مقدار حداقل خطا برابر ۰/۵ متر در ایستگاه شماره ۱۷ و حداکثر خطا برابر ۷/۸ متر در ایستگاه شماره ۱۶ می‌باشد. همچنین مقدار خطا در فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده نشان داده شده است. در شکل (۵) نیز تغییرات و پراکندگی فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده در ایستگاه‌های فشارسنجی شماره ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ ارائه شده است. در این نمودارها نقاط آبی رنگ داده‌های فشار، خط قرمز رنگ خط متناظر ۱:۱ و خط چین مشکی خط رگرسیون بین داده‌های فشار می‌باشد. همان‌طور که قابل ملاحظه است نتایج نشان از پراکندگی مناسب داده‌ها می‌باشد.



شکل ۴- نمودارهای فشارسنجی در مدل و واقعیت در ایستگاه‌های، الف- شماره ۴، ب- شماره ۸، ج- شماره ۱۰ و د- شماره ۱۲



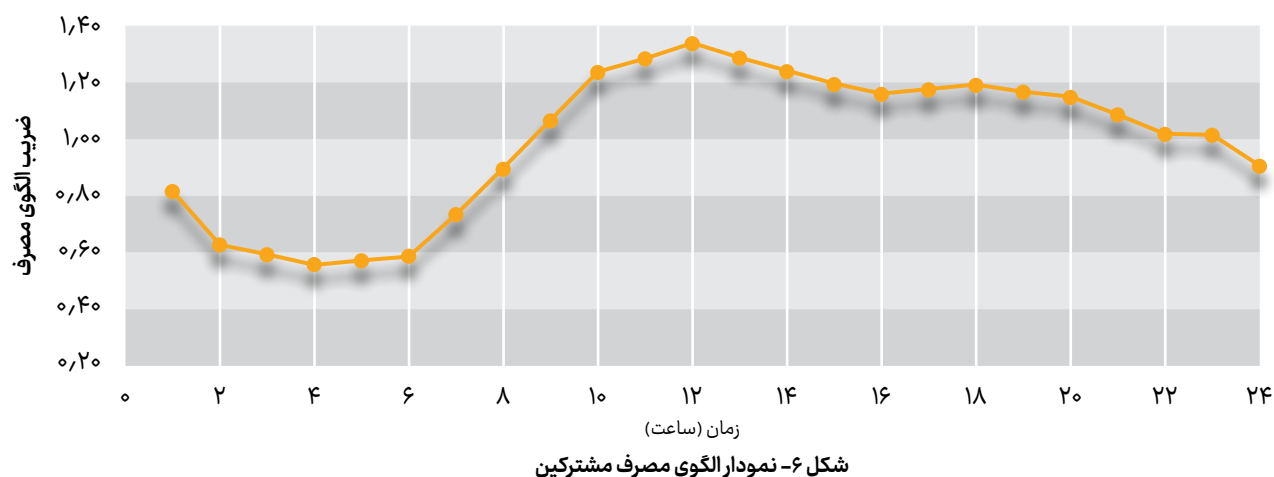
شکل ۵- تغییرات و پراکندگی فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده در ایستگاه‌های، الف- شماره ۴، ب- شماره ۸، ج- شماره ۱۰ و د- شماره ۱۲

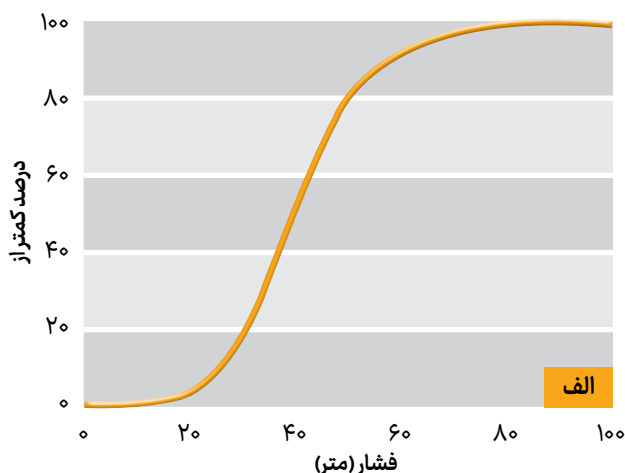
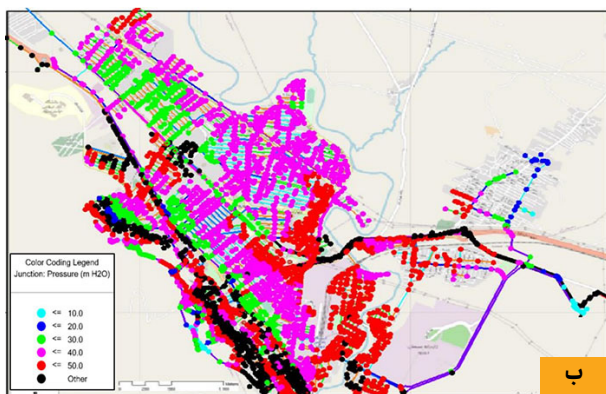
جدول ۲- مقادیر خطا در ایستگاه‌های فشارسنجی

ایستگاه	آدرس	مجذور مربعات خطا (متر)	میانگین خطا (متر)
۱	خیابان تختی، قدس ۸	۶	۶
۲	خیابان منوچهری، گلستان ۹	۳/۲	۰/۵
۳	خیابان شهریار	۱/۹	۰/۷-
۴	بلوار فردوس، خیابان دانشجو	۱/۲	۱/۲-
۵	خیابان فرهنگ غربی	۲/۸	۲/۵
۶	خیابان کارگر، وصال ۷	۶	۶
۷	خیابان نصر شرقی، بهاران ۵	۱/۶	۰/۵-
۸	خیابان فتح، رز ۳	۱/۲	۰/۳-
۹	بلوار فدک، گهر ۱۰	۵/۲	۴/۸-
۱۰	بلوار سینا، شفا ۴	۲/۹	۱/۳-
۱۱	خیابان جهادگران، سادات ۱۷	۱/۱	۰/۹-
۱۲	خیابان توانیر	۲/۹	۰/۶-
۱۳	خیابان آزادگان، سرو ۹	۳/۶	۲/۵-
۱۴	خیابان صفا، بوستان ۱۳	۲/۵	۰/۵-
۱۵	فشارشکن حافظ	۴	۳/۷
۱۶	فشارشکن بروجردی	۷/۸	۷/۸
۱۷	مشتاق اول	۰/۵	۰/۴

براساس دبی خروجی از مخازن و مصارف مشترکین و کالیبره شدن مدل نمودار الگوی مصرف تهیه و در شکل (۶) ارائه شده است.

همان طور که قابل ملاحظه است بیشترین میزان آن مربوط به ساعت ۱۰ صبح لغایت ۱۴ بعد از ظهر می‌باشد و کمترین میزان نیز در ساعت ۲ بامداد تا ۶ صبح می‌باشد.





شکل ۷- الف) وضعیت گره‌های شبکه توزیع آب، ب) وضعیت توزیع فشار شبکه آب شهر در ساعت ۴ بامداد

نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی و ارائه راهکار مناسب برای توزیع بهینه فشار از شبیه‌سازی مدل در محیط نرم‌افزار Arc Gis استفاده شد. این نرم‌افزار با قابلیت جغرافیایی را دارد. شبکه آب شهر ۵ عدد شیر فشار شکن دارد. در شکل (۷) توزیع فشار در ساعت ۴ بامداد نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۷-الف) حدود ۳۵ درصد از گره‌ها در بازه فشاری ۳۵ تا ۴۵ متر، ۲۰ درصد در بازه ۴۵ تا ۵۵ متر و ۱۲ درصد فشاری بیشتر از ۵۵ متر را به خود اختصاص می‌دهند. در ساعت ۱۱ صبح با افزایش میزان مصرف مشترکین حدود ۳۲ درصد از گره‌ها در بازه فشاری ۲۵ تا ۳۵ متر، ۲۳ درصد در بازه ۳۵ تا ۴۵ و ۹/۷ درصد در بازه ۴۵ تا ۵۵ متر و ۹ درصد آن‌ها بیشتر از ۵۵ متر قرار دارند.

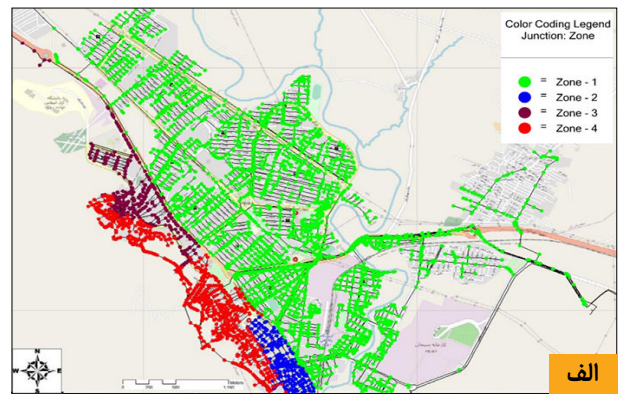
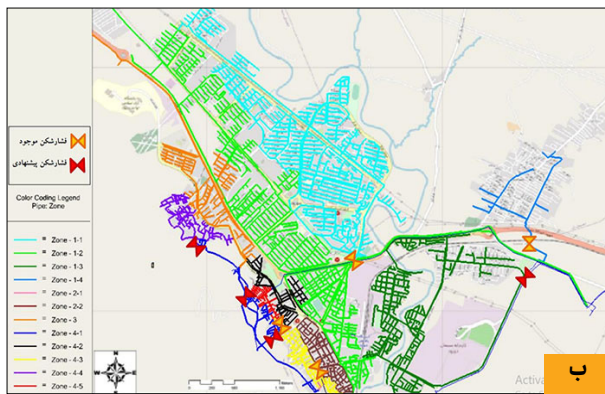
بر اساس مدل هیدرولیکی کالیبره شده مقدار متوسط نشت از شبکه از یک روز برابر ۷۵۰۴ لیتر در ثانیه و برابر ۶۵۱۴ متر مکعب در شبانه روز است. بیشترین میزان نشت برابر با ۷۹۰۵ لیتر در ثانیه در ساعت ۴ بامداد و کمترین آن برابر ۷۱۰۸ لیتر در ثانیه در ساعت ۱۲ ظهر می‌باشد.

با استفاده از مدل تهیه شده جانمایی و تنظیمات بهینه شیرهای فشار شکن انجام شد و برای به‌دست آوردن موقعیت بهینه شیرهای فشار شکن موقعیت‌های محتمل برای نصب بررسی شد. بر اساس شکل (۸) ملاحظه می‌شود ۴ عدد شیر فشار شکن به مدل اضافه شد. با توجه به اینکه افزایش فشار موجب افزایش تعداد نقاط با فشار بیش از توان تحمل لوله‌ها و در نتیجه ترکیدن لوله‌ها و افزایش نشت می‌شود، در این پژوهش فشار تنظیمی شیرهای فشار شکن با در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی استاندارد در شرایط حداقل و حداکثر بین

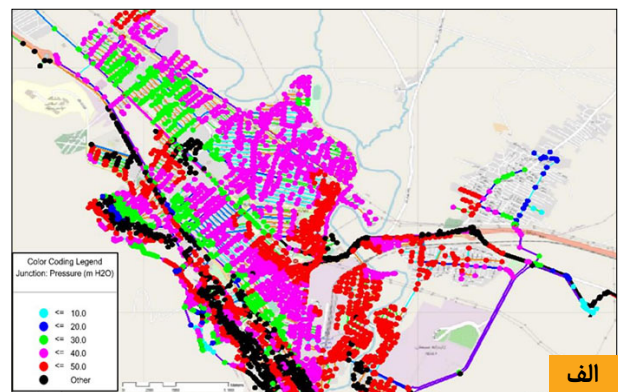
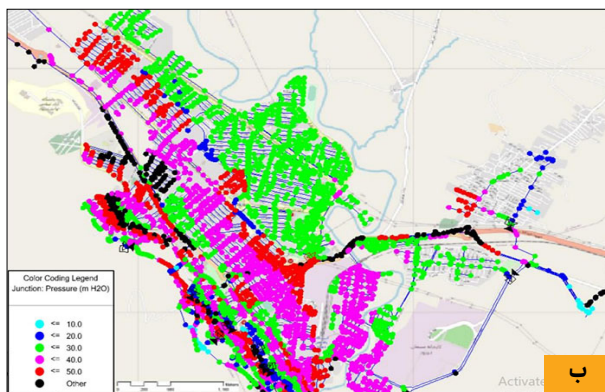
۱۵ تا ۳۵ متر متغیر تنظیم شد تا این مشکل تا حد زیادی برطرف شود. الگوی مصرف گره‌ها در ۲۴ ساعت، فشار گره‌ها در تمام ساعات شبانه روز مشخص شد. سناریوهای مختلف از نظر میانگین کاهش نشت و مصرف نسبت به وضع موجود و کاهش تعداد گره‌های با فشار بالاتر از ۵۰ متر که باعث کاهش نشت و کاهش ترکیدگی لوله‌ها می‌شود، با استفاده از نرم‌افزار WaterGems تحلیل شد.

با توجه به نحوه آبرسانی، مطالعات هیدرولیکی و شرایط منطقه، شبکه توزیع پهنه‌بندی می‌شود که رعایت اصول زیر ضروری است:

۱. هر پهنه ترجیحاً یک ورودی مجزا داشته باشد،
۲. پهنه‌بندی باید به نحوی باشد که مجزاسازی مرزها، کمترین تأثیر را بر آبرسانی به سایر پهنه‌ها داشته باشد،
۳. پهنه‌بندی باید به نحوی باشد که تعداد شیر مجزا ساز حداقل شود،
۴. مرزهای پهنه آبرسانی به روش‌های مختلف از جمله روش تحلیل ردیابی یا مسیریابی به کمک تعیین مسیر حرکت آب و پهنه تحت پوشش هر ورودی می‌تواند انتخاب شود،
۵. مرزبندی باید به نحوی باشد که ورودی‌های هر پهنه به صورت دستی و یا از طریق تله متری قابل کنترل باشد. با توجه به اصول فوق شبکه توزیع آب شهر دورود به ۴ پهنه پیشنهادی تقسیم شد به طوری که هر پهنه تحت پوشش یک مخزن می‌باشد و هر پهنه به زیر پهنه‌هایی تقسیم می‌شود که به روش ثقلی یا با استفاده از شیر فشار شکن آبرسانی می‌شود. در پهنه‌هایی که شیر فشار شکن دارد امکان تنظیم دبی و فشار با استفاده از شیرهای کنترلی وجود خواهد داشت. شکل (۸) نمای کلی پهنه‌های شبکه توزیع آب شهر دورود به همراه زیرپهنه‌های آن را نشان می‌دهد.



شکل ۸- الف) پهنه و ب) زیرپهنه‌های شبکه توزیع آب



شکل ۹- وضعیت توزیع فشار (الف) وضعیت موجود، (ب) شرایط پهنه‌بندی

در زمان‌های مختلف تقریباً یکسان شده است. به منظور بررسی تأثیر پهنه‌بندی شبکه توزیع، مقادیر فشار در حالت حداقل مصرف محاسبه و در جدول (۳) مقایسه توزیع فشار در گره‌های شبکه در شرایط پهنه‌بندی و وضع موجود ارائه شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود تعداد گره‌ها در بازه فشاری ۱۵ تا ۲۵ متر نسبت به شرایط موجود بیشترین افزایش را داشته و فشار متوسط شبکه برابر $33/8$ متر می‌باشد.

بررسی تغییرات فشار در حالت حداقل مصرف

شکل (۹) وضعیت توزیع فشار را در ساعت ۴ بامداد در شرایط وضع موجود و در شرایط پهنه‌بندی شبکه نشان می‌دهد. در شکل (۹) مشخص است پس از انجام طرح، فشار شبکه پس از اجرای طرح کاهش می‌یابد و همچنین دامنه نوسانات زمانی کم شد، به طوری که پس از اجرای طرح توزیع فشار و مقدار آن

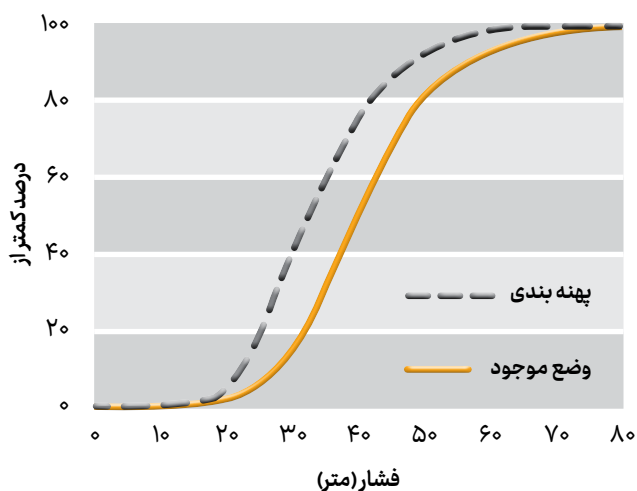
جدول ۳- توزیع فشار در گره‌های شبکه در شرایط پهنه‌بندی و وضع موجود

محدوده فشار (متر)	وضع موجود	پهنه‌بندی	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود
کمتر از ۵ متر	۰/۶	۰	-۱۰۰
۱۵-۵	۰/۷	۰/۹	۲۴/۵
۲۵-۱۵	۴/۸	۱۸/۱	۲۷۴/۵/۵
۳۵-۲۵	۲۶/۸	۴۱/۴	۵۴/۸
۴۵-۳۵	۳۵/۳	۲۶/۳	۲۵/۶
۵۵-۴۵	۲۰/۵	۱۰	۵۱/۱
بزرگ‌تر از ۵۵	۱۱/۲	۳/۳	۷۰/۹
فشار متوسط شبکه (متر)	۴۰/۸	۳۳/۸	۱۷/۳

جدول ۴- وضعیت گره‌های موجود در هر محدوده فشاری

زمان‌های مصرف	فشار متوسط وضع موجود (متر)	فشار متوسط پهنه‌بندی (متر)	میزان کاهش فشار (درصد)
حداکثر مصرف (۱۲ ظهر)	۳۴	۳۴/۵	۱/۲
متوسط مصرف (۸ صبح)	۳۷/۵	۳۳/۳	۸/۳
حداقل مصرف (۴ بامداد)	۴۰/۸	۳۳/۸	۱۷/۳

گره‌ها فشاری کمتر از ۴۰ متر و ۱۵ درصد بیش از ۴۰ متر را دارند. لذا تعداد گره‌های با فشار بیش از ۴۰ متر در شرایط پهنه‌بندی نسبت به شرایط موجود کاهش یافته است.



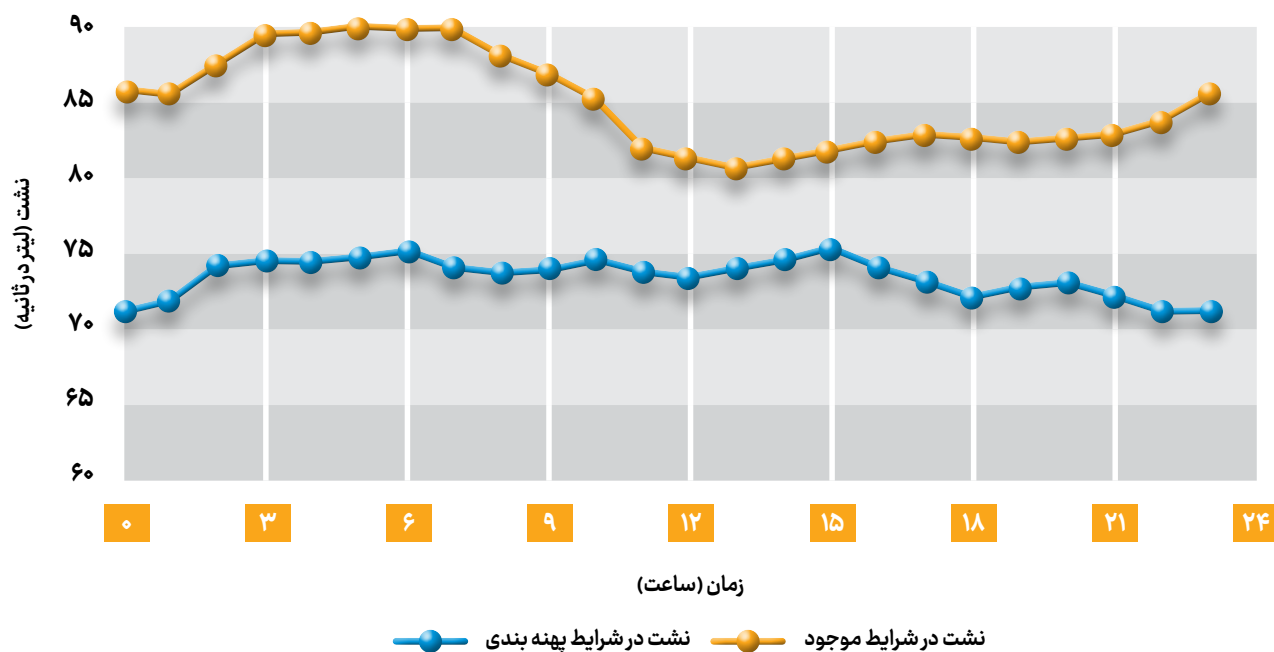
شکل ۱۰- مقایسه تغییرات فشار در شرایط پهنه‌بندی و وضع موجود در شرایط حداقل مصرف ساعت ۴ بامداد

با توجه به جدول (۴) با انجام پهنه‌بندی شبکه، میزان متوسط فشار در حالت حداقل مصرف حدود ۱۷/۳ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین جدول (۴) درصد تغییرات فشار را در حداکثر مصرف، متوسط و حداقل مصرف نشان می‌دهد. با محاسبه میزان فشار در شرایط حداکثر مصرف (ساعت ۱۲ ظهر) این میزان برابر ۳۴/۵ متر و در شرایط متوسط مصرف (۸ صبح) ۳۳/۳ متر خواهد داشت. همان‌طور که مشهود است میانگین فشار شبکه در حالت اجرای پهنه‌بندی برابر ۳۳ متر خواهد بود درحالی‌که این میزان در وضعیت موجود بین ۳۴ تا ۴۰/۸ متر متغیر است. مقایسه تغییرات فشار در شرایط پهنه‌بندی با وضع موجود در حالت مینیمم مصرف در شکل (۱۰) ارائه شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود در شرایط پهنه‌بندی مقدار فشار شبکه در شرایط پهنه‌بندی به‌طور محسوسی کاهش پیدا کرده است. در فشار ۴۰ متر در شرایط وضع موجود ۴۵ درصد از گره‌ها فشاری کمتر از ۴۰ متر داشته و این به این معنی است که ۵۵ درصد از گره‌ها فشار بیشتر از ۴۰ متر را دارند درحالی‌که در شرایط پهنه‌بندی ۸۵ درصد از

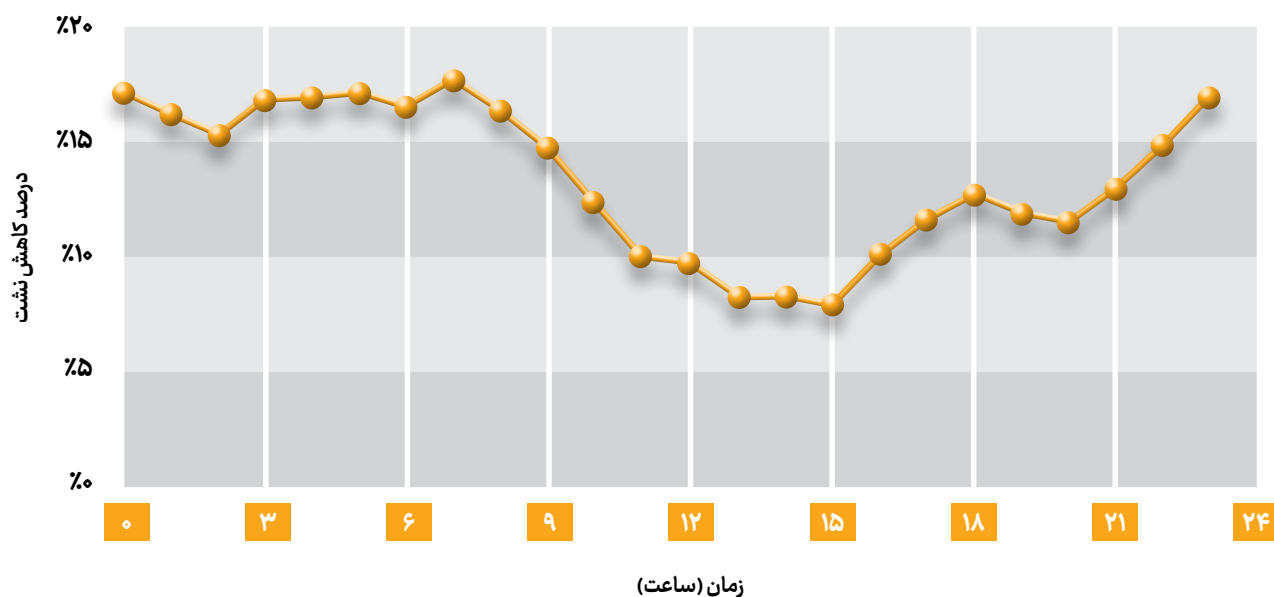
بررسی میزان نشت شبکه

با اندازه‌گیری دبی خروجی از مخازن و همچنین مصارف در یک دوره ۲۴ ساعته میزان نشت (هدر رفت واقعی و ظاهری) از شبکه محاسبه شد. میزان متوسط نشت در وضع موجود و در شرایط ایجاد پهنه‌بندی در نمودار شکل (۱۱) و شکل (۱۲) درصد کاهش نشت شبکه ارائه شده است.

با توجه به محاسبات انجام شده بیشترین میزان نشت در ساعات کمینه مصرف می‌باشد که در بازه زمانی ۲ تا ۷ بامداد می‌باشد و کمترین میزان آن نیز در ساعت ۱۱ تا ۱۳ ظهر که میزان مصرف حداکثر می‌باشد به وقوع پیوسته است. با توجه به نتایج میزان نشت شبکه به طور متوسط در ساعات‌های کمینه مصرف حدود ۱۷ درصد و در زمان‌های بیشینه مصرف در ساعت ۱۳ ظهر به میزان ۷٫۵ درصد کاهش یافته است.



شکل ۱۱- وضعیت نشت شبکه قبل و بعد از پهنه‌بندی



شکل ۱۲- درصد کاهش نشت بعد از اعمال پهنه‌بندی

نشت در شبکه‌های توزیع آب، موجب اتلاف منابع و سرمایه صرف شده در تولید، انتقال، تصفیه و توزیع آب می‌شود. از این‌رو تلاش برای کاهش نشت در شبکه‌های توزیع آب اهمیت بالایی دارد. 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 پهنه‌بندی 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 درود استفاده شد که با توجه به نحوه آب‌رسانی، مطالعات هیدرولیکی و شرایط منطقه شبکه توزیع آب پهنه‌بندی شد. نتایج نشان می‌دهد 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 ۴ عدد شیر فشارشکن موجود و با جابه‌جایی دو عدد از شیرهای موجود، ۴ عدد شیر فشارشکن جدید جهت ایجاد پهنه‌های مجزا پیشنهاد شد که در مجموع ۸ عدد شیر فشارشکن مورد نیاز می‌باشد و شبکه توزیع آب شهر به ۴ پهنه تقسیم‌بندی شد. با انجام محاسبات هیدرولیکی شبکه میانگین فشار شبکه در حالت اجرای پهنه‌بندی برابر ۳۳ متر خواهد بود درحالی‌که این میزان در وضعیت موجود تا ۴۰/۸ متر متغیر است و میزان کاهش فشار ۱۷ درصد می‌باشد. همچنین میزان حداکثر نشت از کل شبکه قبل از اعمال پهنه‌بندی برابر ۹۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که با اجرای پهنه‌های فشاری این میزان به ۷۵ لیتر بر ثانیه کاهش خواهد یافت.

سپاسگزاری

به این وسیله از مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب لرستان و تمامی همکاران محترمی که در تهیه این تحقیق همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- بوستانی، آرمین، و خداشناس، سعیدرضا. (۱۳۹۴). بررسی روش نشت‌یابی در شبکه آب تحت فشار بر مبنای رابطه فشار-نشت. نشریه آب و توسعه پایدار، ۲، (۱)، ۵۹-۶۶.
doi: 10.22067/jwsd.v2i1.39106
- تابش، مسعود، و کریمی، کیان. (۱۳۸۵). تعیین زمان نشت‌یابی و نوسازی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از تحلیل اطلاعات حوادث. نشریه دانشکده فنی، ۴۰، (۵)، ۵۹۷-۶۱۱.
https://jfe.ut.ac.ir/article_15591_6c35e11025fba34a3a
- هدایتی مرزونی، نیوشا، جلیلی قاضی‌زاده، محمدرضا، مصلحی،

ایمان، و کمیلی، مهدی. (۱۴۰۱). مدیریت هوشمند فشار در شبکه‌های آب‌رسانی برای کاهش نوسانات زمانی و مکانی فشار. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۴، (۱۰)، ۳۶۵۷-۳۶۷۴.

doi: 10.22060/ceej.2022.19743.7250

- جلیلی قاضی‌زاده، محمدرضا، و ایدی، ضیاءالدین. (۱۳۹۵). ارائه روابط تحلیلی مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب. نشریه محیط‌شناسی، ۴۲، (۳)، ۵۲۹-۵۱۷.

doi: 10.22059/jes.2016.60064

- کارآموز، محمد، تابش، مسعود، نظیف، سارا، و مریدی، علی. (۱۳۸۴). پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آب‌رسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی. مجله آب و فاضلاب، (۵۳)، ۱۴-۳.

https://www.wwjjournal.ir/article_2079.html

- سلطانی اصل، محمد، و فغفور مغربی، محمود. (۱۳۸۸). مدیریت هوشمند فشار به منظور کاهش نشت در شبکه‌های آب‌رسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد. مجله آب و فاضلاب، (۳)، ۲۰، ۹۹-۱۰۴.

https://www.wwjjournal.ir/article_1685.html

- Farley, M. (2001). Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual. World Health Organization, Water, Sanitation and Health Team & Water Supply and Sanitation Collaborative Council. Available online: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66893> (accessed on 29 March 2024).
- García-Avila a, F., Alex Avile' s-An'azco a, A., Ordon' ez-Jara, J., Guanuchi-Quezada, C., Flores del Pino, L., & Ramos-Ferna' ndez, L. (2019). Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves. Case study in an Andean city Alexandria. Engineering Journal, 58(4), 1313-1326. doi: 10.1016/j.aej.2019.11.003
- 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), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000866](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000866)
- Price, E. R., Abhijith, G., & Ostfeld, A. (2022). Pressure management in water distribution systems through PRVs optimal placement and settings. Journal of Water Research, 226(2), 1-12. <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>
- Thornton, J., & Lambert, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. Proceedings of IWA Special Conference'Leakage. Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Vicente, D., Garrote, L., Sanchez, R., & Santillan, 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.1943-5452.0000582](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000582)