

مقاله پژوهشی

اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی هیدرولیکی خطوط انتقال و شبکه توزیع آب شرب (مطالعه موردی: شهر چوار - استان ایلام)

حسنا فتاحی^۱، جعفر مامی‌زاده^{۲*}، امیر باقی^۳ و سید حامد عبداللہی^۴

چکیده

در این مطالعه ارزیابی میدانی و شبیه‌سازی هیدرولیکی خطوط انتقال و شبکه توزیع آب شهر چوار با هدف اطلاع از وضعیت هیدرولیکی، میزان هدررفت و بررسی علل شکستگی‌های مداوم در شبکه برای دو حالت ماکزیمم و مینیمم مصرف در شبکه، با استفاده از نرم‌افزارهای AutoCAD، WaterGEMS و GIS انجام گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در حالت پیک مصرف نشان داد ۵۷ درصد از گره‌های شبکه، به دلیل اختلاف تراز بیش از ۱۳۰ متر میان مخزن و مصرف‌کننده و نبود شیرهای فشارشکن، فشاری خارج از محدوده مجاز ۱۴ تا ۴۵ متر آب را داشته و ۷۳ درصد خطوط لوله نیز به دلیل قطر نامناسب خطوط لوله، فاقد سرعت بهینه ۰/۳ تا ۲/۵ متر بر ثانیه هستند. در حالت دوم شبیه‌سازی با ۰/۷ حداکثر دبی، فشار در گره‌ها رو به بهبود بوده و ۶۴/۵ درصد از گره‌ها دارای فشار بهینه بوده، اما سرعت در ۸۴ درصد خطوط لوله فاقد سرعت بهینه است. صحت‌سنجی شبیه‌سازی در خطوط انتقال با مقایسه اندازه‌گیری میدانی توسط دبی‌سنج التراسونیک و مقدار محاسبه‌شده در نرم‌افزار انجام شد. فشارسنجی شبکه نیز در چندین نقطه از آن توسط گیج فشارسنج انجام و این مقادیر با فشارهای حاصل از شبیه‌سازی در حالت کمترین میزان مصرف مقایسه شد. نتایج، نشان‌دهنده تطابق بالای شبیه‌سازی با ارزیابی میدانی شبکه بود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی میدانی، شبکه‌های توزیع آب، مدیریت فشار، نرم‌افزار WaterGEMS.

ارجاع: فتاحی ح.، مامی‌زاده ج.، باقی ا. و عبداللہی س. ح. ۱۴۰۳ اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی هیدرولیکی خطوط انتقال و شبکه توزیع آب شرب (مطالعه موردی: شهر چوار - استان ایلام). مجله پژوهش آب ایران. ۵۵: ۸-۱. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2024.14921.2633>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۳- معاونت بهره‌برداری و توسعه آب، آب و فاضلاب استان ایلام، ایلام، ایران.

۴- دانشجوی سابق کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

* نویسنده مسئول: j.mamizadeh@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۴

مقدمه

مجموعه عوامل کاهش نزولات جوئی، افزایش جمعیت، استفاده بی‌رویه و اتلاف آب در شبکه‌های آبرسانی، باعث شده تا امروزه جهان با کمبود جدی منابع آب روبه‌رو باشد. جلوگیری از هدررفت از مهم‌ترین شاخصه‌های حفظ منابع آب است. در هر محل مصرف آب (کشاورزی، شرب، صنعت و...)، طبیعتاً با اتلاف آب مواجه خواهیم بود، اما شبکه‌های توزیع آب شهری به‌واسطه گستره بالا و تعدد در اتصالات سهم بسزایی در هدررفت آب به خود اختصاص داده‌اند. از مؤثرترین راهکارها برای جلوگیری از هدررفت آب، پایش دائمی سیستم‌های آبرسانی است. اقسام پایش را می‌توان به دو بخش اصلی پایش میدانی و تحلیل هیدرولیکی تقسیم کرد. وضعیت موجود در دهه‌های اخیر محققان را بر این داشته است که اهم مطالعات خود را به بررسی هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی، کاهش هدررفت و بهینه‌سازی سیستم‌های آبرسانی معطوف کنند. (Jahangeer et al. (2013 با هدف کنترل فشار و نشت به روش مبتنی بر تقاضا توسط نرم‌افزار WaterGEMS، به تحلیل یکی از مجتمع‌های آبرسانی در شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی پرداختند. تأثیر مدیریت هوشمند فشار بر شبکه با نصب شیرهای فشارشکن، بیانگر آن است که مدیریت فشار با استفاده از شیرهای تنظیم فشار روش کم‌هزینه و مؤثر در کاهش نشت شبکه است. (Nashat et al. (2015 برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهر منیا، در دو بخش پیش‌بینی عملکرد شبکه در ۳۰ سال آینده و ساده‌سازی شبکه‌های اصلی به شبکه‌های فرعی، از طراحی داروین که ابزاری در نرم‌افزار WaterGEMS است، استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که هزینه خرید و اجرا به‌تنهایی نباید به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شود و قیدهای دیگری مانند ضریب زبری و شکست لوله‌ها نیز می‌بایست مدنظر قرارداد. (Mamizadeh et al. (2016 به‌منظور تخصیص تقاضا در نقاط مصرف در محدوده دانشگاه ایلام از نرم‌افزارهای WaterGems و ArcGis استفاده کردند. شیپ فایل‌های مرز محدوده مورد مطالعه، مرز مکان‌های موجود در این محدوده، ارتفاع نقاط موجود و تراکم جمعیت در بخش‌های مختلف دانشگاه به کمک نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. با استفاده از سه روش تراکم جمعیت، اطلاعات مصارف به‌صورت نقطه‌ای و مساحت انجام گرفت.

نتایج نشان داد که حداکثر نیاز شبکه توزیع آب در روش تراکم جمعیت ۳۰/۴۸ لیتر در ثانیه است. خط انتقال آب توانایی پمپاژ حداکثر ۱۷/۶۱ لیتر بر ثانیه را داشت؛ درحالی‌که نیاز شبکه توزیع بیش از این مقدار بود. این موضوع نشان‌دهنده طراحی نامناسب خط انتقال است. (Khalifeh et al. (2019 به بهینه‌سازی بخشی از شبکه توزیع آب رویدر، واقع در استان هرمزگان براساس تابع هدف دومنظوره، با هدف تأمین فشار مناسب با کمترین میزان هزینه، توسط نرم‌افزار WaterGEMS تحلیل هیدرولیکی و بهینه‌سازی آن با استفاده از نرم‌افزار متلب پرداختند. از بین چند سناریوی ارائه‌شده، سناریویی که از نظر بهبود فشار شبکه و کاهش هزینه، مطلوب‌تر بود را انتخاب کردند که در نتیجه موجب کاهش ۱۲ تا ۱۵ درصدی هزینه کل پروژه شده است. (Mazaherizadeh et al. (2019 با استفاده از نرم‌افزار EPANET 2.0 و شاخص تاب‌آوری به بهینه‌سازی چهار شبکه توزیع آب، شامل: شبکه‌های دوحلقه‌ای، کادو، هانوی و پهنه D شهر مشهد، با دو هدف کاهش حداکثری هزینه و افزایش اطمینان‌پذیری پرداختند. نتایج بیانگر آن است که مدل پیشنهادشده با افزایش فشار گرهی و کاهش هزینه شبکه، توانمندی قابل‌قبولی در بهینه‌سازی شبکه دارد. بهینه‌سازی شبکه توزیع آب (زون یک شهر ایلام)، با استفاده از ابزار الگوریتم‌های ژنتیکی آشفته سریع (FMGA) در مدل هیدرولیکی WaterGems برای سه نوع لوله مختلف توسط (Heidari et al. (2020 انجام شد. همچنین این شبکه‌ها با استفاده از ترکیبی از EPANET و الگوریتم ژنتیک باینری توسعه یافته در نرم‌افزار متلب بهینه شدند. هزینه شبکه‌های هیدرولیک بهینه شده با لوله‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به‌ترتیب ۲۰/۵۶ درصد و ۵۲/۹۴ درصد نسبت به طرح‌های اصلی شرکت مشاور کمتر بود؛ درحالی‌که برای شبکه لوله‌های GRP، هزینه ۱۲/۶۱ درصد افزایش یافت. (Dini and Asadi (2022 مدلی مبتنی بر بهینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه با اعمال برنامه زمان‌بندی بهینه تنظیم شیرهای کنترل جریان و پمپ‌ها در ساعت‌های مختلف ارائه کردند. بهینه‌سازی در محیط متلب در ترکیب با مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی شبکه انجام شده است. با به‌کارگیری برنامه زمان‌بندی بهینه شیرها و پمپ‌ها در شبکه توزیع آب شهر اهر، قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه به‌طور متوسط در

حداقل و حداکثر در شبکه و مقایسه آن براساس داده‌های اندازه‌گیری شده متعدد میدانی دبی‌سنجی و فشارسنجی است. در بیشتر طراحی‌های صورت گرفته، تخصیص تقاضا با توجه به تراکم جمعیت در واحد سطح انجام می‌گیرد که دارای دقت کمی است. تخصیص تقاضای هریک از مشترکان به نزدیک‌ترین گره یا لوله در نسخه‌های جدید WaterGEMS اضافه شده است و در سطح کشور و در طراحی‌های مهندسين مشاور به‌ندرت استفاده شده است که در این تحقیق از این قابلیت پیشرفته نرم‌افزار استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

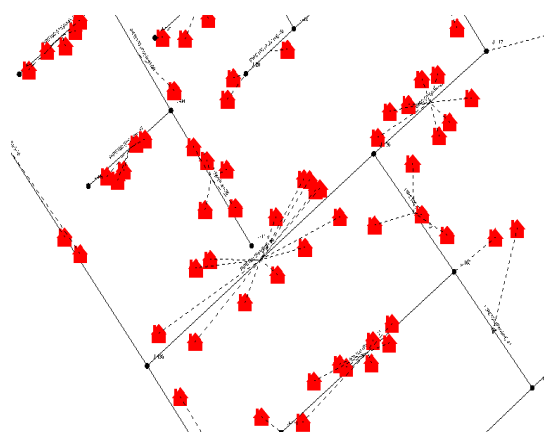
شهرستان چوار از شهرستان‌های استان ایلام با فاصله ۱۵ کیلومتری در شمال غربی مرکز استان واقع شده است. جمعیت این شهرستان ۱۰۵۵۴ نفر بوده که ۵۸۳۱ نفر آن در بخش مرکز، یعنی شهر چوار ساکن هستند. این شهرستان دارای آب‌وهوای معتدل و نیمه‌مرطوب بوده که بالاترین دمای سالیانه آن ۳۷/۶ درجه سانتیگراد در مرداد و شهریور و کمترین آن ۱۰- درجه سانتیگراد در اسفند و میانگین بارش سالانه آن حدود ۶۶۷ میلی‌متر است. سه رودخانه تلخاب، گلالرود و رود چوار در این شهرستان جریان دارند و آب شرب شهر نیز از چاهی که در مجاورت رود چوار حفر شده است، تأمین می‌شود.

شبکه توزیع آب شهر چوار از دو بخش، شامل: مرکز شهر و بخش حاشیه بهمن‌آباد تشکیل شده است. آرایش خطوط در این شبکه از نوع مختلط بوده و طراحی آن به‌صورت یک بخش کوچک لوپ و بخش اعظم شبکه به‌صورت شاخه‌ای است. قدمت شبکه توزیع شهر چوار به بیش از ۳۰ سال می‌رسد و به موجب این امر بیشتر لوله‌های موجود از جنس آریست (AC) و حتی تعدادی لوله فلزی (ST) با قطرهای کم دیده می‌شود. بخش‌هایی از شبکه نیز به دلیل توسعه و حوادث، لوله‌های پلی‌اتیلن (PE) کار شده است. لوله‌های آریست موجود در شبکه در قطرهای ۱۵۰، ۱۱۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر، لوله‌های پلی‌اتیلن با قطرهای ۱۱۰ و ۱۲۵ میلی‌متر و لوله‌های فولادی در قطرهای ۲۵، ۳۸ و ۲۰۰ میلی‌متر هستند (شکل ۱). اختلاف ارتفاع شبکه با مخزن بالادست شهر به بیش از ۱۳۰ متر می‌رسد. این اختلاف باعث ایجاد فشاری بالاتر از حد مجاز شبکه شده است. از آن جایی که شبکه

حدود ۳۳ درصد افزایش و نشت شبکه در حدود ۲۵ درصد کاهش یافته است که نشان‌دهنده توانایی مدل پیشنهادی در بهبود کارایی شبکه‌ها است. (Adhav et al. 2022) با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS به شبیه‌سازی شبکه توزیع روستایی یکی از روستاهای ایالت مازندران هند بر مبنای کاهش هزینه‌ها و قطر بهینه شبکه، پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن بود که پس از ایجاد لوپ در شبکه، سرعت در انتهای گره‌ها رو به افزایش رفت و گره‌های نزدیک به مخزن اصلی فشار کمتری را نشان دادند. از علل افت فشار در شبکه می‌توان به کاهش قطر لوله‌ها از ۶۵ به ۴۰ میلی‌متر و افزایش اتصالات در داخل ساختمان‌ها اشاره کرد. (Desta et al. 2022) به ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شهر آداما، توسط روشی پیشنهادی از ترکیب بین یک الگوریتم بهینه‌سازی و WaterGEMS پرداختند. در این بررسی مشاهده شد که ۴۳ درصد از گره‌ها دارای فشار ۱۵ تا ۶۰ مترآب و ۵ درصد دارای فشار ۱۵ مترآب و ۵۱ درصد از گره‌ها فشاری بیش از ۶۰ مترآب را در ساعات اوج بار داشته‌اند. این درحالی است که در زمان حداقل تقاضا، تنها ۴ درصد از گره‌ها فشاری در محدوده ۱۵ تا ۶۰ مترآب را داشته و بیش از ۹۵ درصد از گره‌ها دارای فشاری بالاتر از ۶۰ مترآب بوده‌اند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی حاکی از آن است که فشار بهینه از ۴ درصد گره‌ها به ۷۵ درصد از گره‌ها بهبود یافته و گره‌های با فشار بیش از ۶۰ مترآب از ۹۵ درصد به ۲۴ درصد کاهش یافته است.

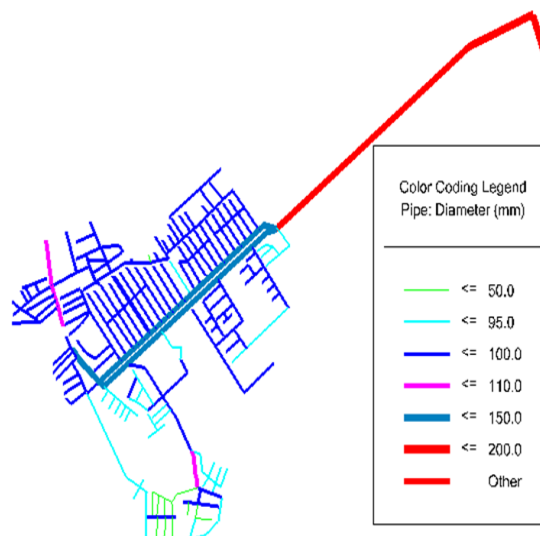
مرور تحقیقات انجام‌شده، نشانگر لزوم تداوم مطالعه در زمینه بررسی مسائل و مشکلات خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب است. بسیاری از مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته به بهینه‌سازی فشار و هزینه‌ها در شبکه‌های توزیع آب پرداخته‌اند، اما تحلیل جامع‌تری که شامل عوامل محیطی، اجتماعی و اقتصادی باشد، نیازمند تحقیقات بیشتری بوده و کمتر به آن پرداخته شده است. همچنین، توسعه روش‌های پایش هوشمند و خودکار که در آن سنسورها و دستگاه‌های اندازه‌گیری در سراسر شبکه نصب می‌شوند، یکی از نیازها و اولویت‌های مهم برای بهبود مدیریت منابع آب و افزایش کارایی شبکه‌های توزیع آب است؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر شبیه‌سازی یک شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن مصارف

انتها باز شد. عدد قرائت‌شده از نشان‌گر عقربه‌ای، میزان فشار موجود در لوله آب را نشان داد. برای اندازه‌گیری دبی از دستگاه دبی‌سنج پرتابل التراسونیک (شکل ۳) استفاده شد.



شکل ۲- تخصیص تقاضای هر مشترک به نزدیک‌ترین لوله

شهر چوار فاقد شیرهای فشارشکن است، کنترل و همچنین قطع و وصل در شبکه تنها با استفاده از شیرفلکه‌های پروانه‌ای انجام می‌شود.



شکل ۱- نمایش قطر لوله‌های شبکه توزیع شهر



شکل ۳- دستگاه دبی‌سنج التراسونیک و متعلقات آن

نتایج و بحث

مشترکان از نظر محل مصرف به ۱۳ تعرفه تقسیم می‌شوند که در جدول ۱ تعداد و درصد هر تعرفه نیز مشخص شده است. در این تقسیم‌بندی مصرف خانگی با تعداد ۱۹۶۹ مشترک، ۸۴ درصد مجموع مشترکان شهر چوار را به خود اختصاص داده است که به‌تبع بیشترین میزان آب نیز توسط این گروه مصرف می‌شود. پس از مصرف خانگی، گروه تولیدی-صنعتی با توجه به تعداد گاو‌داری‌های اطراف شهر، از مصرف قابل‌توجهی برخوردارند. فضای سبز، از دیگر گروه‌های پرمصرف است که با تعداد مشترک پایین، میانگین مصرف بالایی را به خود اختصاص داده است.

در ادامه، آمار و اطلاعات مصارف مشترکان سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ از شرکت آب و فاضلاب اخذ شد. سپس با بررسی‌های میدانی نقشه ساخت شبکه توزیع شهر چوار به‌روزرسانی و تحلیل هیدرولیکی شبکه توسط نرم‌افزارهای AutoCAD، GIS، WaterGEMS انجام شد. بدین شکل که پس از ترسیم خطوط لوله شبکه توزیع در نرم‌افزار AutoCAD و تحلیل مصارف سه ساله مشترکان (قرائت‌شده از کنتورها طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱) در Excel، اطلاعات دسته‌بندی‌شده شبکه توزیع در نرم‌افزار WaterGEMS فراخوانی و شبیه‌سازی شد. با توجه به حداکثر و حداقل مصرف در طول سال، شبیه‌سازی در دو حالت حداکثر دبی طراحی و حداقل مصرف (۰/۷ حداکثر دبی طراحی) شبکه تحلیل هیدرولیکی شد. در این روش با خروجی گرفتن موقعیت مکانی مشترکان از نرم‌افزار GIS و رفع نواقص آن توسط مکان‌یابی مشترکان فاقد موقعیت مکانی در Google Earth و محاسبه میانگین مصرف مشترکان، در نهایت هر تقاضا به نزدیک‌ترین لوله در مجاورت خود تخصیص یافت (شکل ۲).

برای اندازه‌گیری فشار در نقاط مختلف شبکه از گیج‌های عقربه‌ای دستی نوع روغنی (گلیسرین) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری فشار یک لوله توسط شیر متصل به آن، ابتدا شیلنگ متصل به گیج از آب پر و به شیر آب وصل و توسط یک بست فلزی محکم شد، سپس شیر تا

جدول ۱- تعداد و درصد تخصیص هر تعرفه

ردیف	نوع مصرف	تعداد	درصد از کل تعداد مصرف‌کننده‌ها	میانگین مصرف سالانه (مترمکعب)
۱	اداری، دولتی	۲۲	۰/۹	۳۴/۵
۲	تجاری	۸۱	۳/۵	۹/۵
۳	تولیدی، صنعتی	۶۳	۲/۷	۳۳/۴
۴	سایر تعرفه‌ها	۰	۰	۰
۵	عام‌المنفعه	۱	۰	۲۸۷
۶	فضای سبز	۶	۰/۳	۲۲۴/۳
۷	قطع	۵	۰/۲	۰
۸	مدارس	۲۱	۰/۹	۳۳
۹	مساجد	۷	۰/۳	۲۶/۹
۱۰	مسکونی	۱۹۶۹	۸۴	۲۲/۴
۱۱	موقت	۱۵۶	۶/۷	۳/۳
۱۲	نانوایی	۱۰	۰/۴	۱۰/۴۵
۱۳	نظامی	۴	۰/۲	۱۰۹/۷

حالت استندبای در طول شب فعالیت می‌کنند. در حالت دو پمپ فعال هر کدام از پمپ‌ها داری دبی ۳۸/۴۴ لیتر بر ثانیه و هد ۱۵۸/۳ متر است. مشخصات خطوط تحلیل‌شده در نرم‌افزار نشان داد که خط انتقال اول دبی ۵۶/۲ لیتر بر ثانیه را با سرعت ۱/۷۹ متر بر ثانیه به سمت مخزن ۷۰۰ مترمکعبی منتقل کرده و خط انتقال دوم نیز دبی ۷۶/۸ لیتر بر ثانیه که مجموع دبی دو پمپ فعال است را با سرعت ۱/۲۲ متر بر ثانیه به سمت مخزن ۱۰۰۰ مترمکعبی برای تزریق به شبکه توزیع انتقال می‌دهد. سرعت در هر دو خط با توجه به محدوده ضوابط طراحی قابل قبول بوده و دبی نیز با دبی طراحی پمپ‌ها کاملاً مطابقت دارد.

جدول ۲- دبی‌های اندازه‌گیری شده در خط انتقال

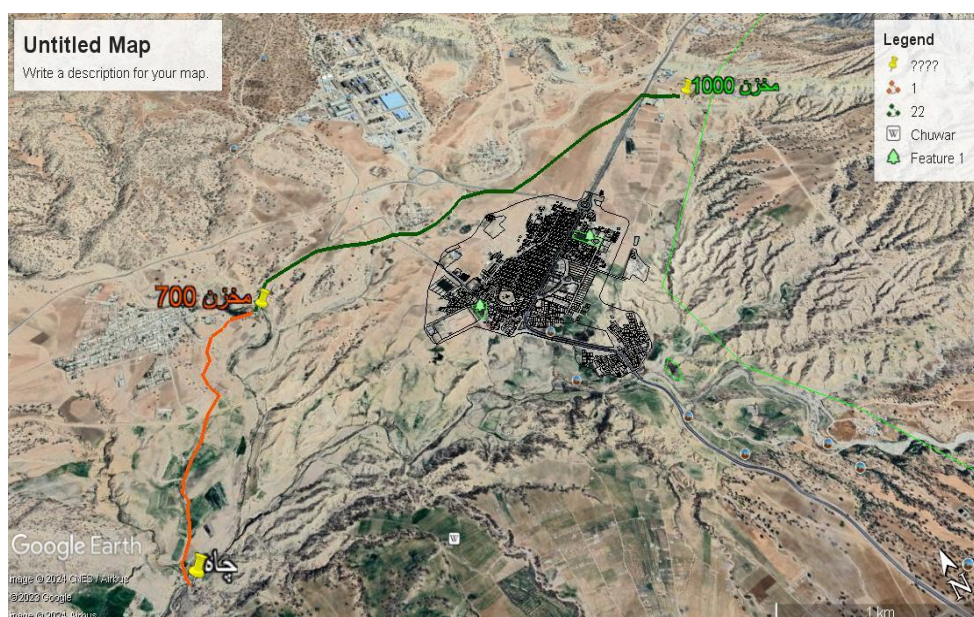
ردیف	مکان اندازه‌گیری	دبی (لیتر بر ثانیه)			
		مرداد	شهریور	دی	بهمن
۱	لوله خروجی چاه	۶۳	۶۴	۴۵	۴۴
۲	لوله ورودی به مخزن ۷۰۰	۶۱	۵۸	۴۲	۴۰
۳	لوله خروجی از مخزن ۷۰۰	۴۳	۵۳	۴۵	۵۰
۴	لوله ورودی به مخزن ۱۰۰۰	۴۳	۴۰	۴۰	۴۵
۵	لوله خروجی از مخزن ۱۰۰۰	۴۰	۴۱	۳۶	۳۳

در بررسی میزان آب مصرفی و محاسبه مجموع آب مصرف‌شده طی سه سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ و مقایسه با آب تولیدشده در طی این سه سال، مشاهده شد میزان هدررفت آب به‌طور میانگین ۶۰ درصد بوده است.

تحلیل هیدرولیکی خطوط انتقال

پس از پیگیری‌های متعدد و نبود نقشه کاربردی از خط انتقال آب شهر چوار، از منطقه مورد نظر بازدید میدانی انجام شد. سپس با همکاری کارکنان اداره آب و فاضلاب و نقطه‌یابی مسیر، به کمک برنامه‌های Google Earth و AutoCAD، نقشه‌ای از خطوط انتقال (شکل ۴) تهیه شد. در گام نخست تحلیل خط انتقال، اندازه‌گیری دبی به‌صورت میدانی از چاه تأمین آب مصرفی، مسیر انتقال و دو مخزن موجود در سیستم انتقال، انجام شد. در جدول ۲ نتایج دبی‌سنجی‌ها در نقاط مختلف نشان داده شده است.

طراحی خط انتقال در دو بخش توسط نرم‌افزار WaterGEMS انجام شد. بخش اول شامل چاه تا مخزن بتنی ۷۰۰ مترمکعبی و بخش دوم شامل مخزن ۷۰۰ تا مخزن سنگی ۱۰۰۰ مترمکعبی است. از ۴ عدد پمپ موجود، PMP-1 پمپ شناور متعلق به چاه است که دارای دبی ۵۶/۲۹ لیتر بر ثانیه و هد پمپ برابر با ۱۵۳/۳ متر است. پمپ‌های PMP-2، PMP-3 و PMP-4 متعلق به مخزن ۷۰۰ مترمکعبی که به‌صورت دو پمپ فعال و یکی در حالت رزرو در طول روز و یک پمپ فعال و دو پمپ در



شکل ۴- نقشه خطوط انتقال

تحلیل هیدرولیکی شبکه

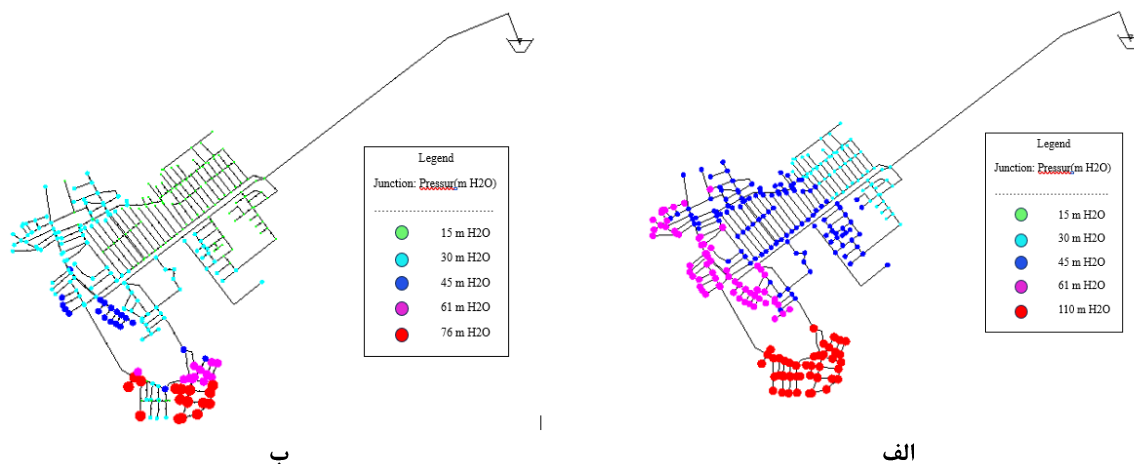
به‌منظور شبیه‌سازی شبکه، نقشه خطوط لوله و مصرف هر مشترک در نرم‌افزار WaterGEMS فراخوانی شد. پس از فراخوانی داده‌های اولیه و تکمیل مشخصات لوله‌ها از جمله جنس، قطر، زبری و... شبیه‌سازی شبکه انجام شد. در این شبیه‌سازی تحلیل هیدرولیکی شبکه به گونه‌ای است که هر تقاضا به نزدیک‌ترین لوله اختصاص داده می‌شود. ارتفاع ابتدا و انتهای هر خط لوله نیز باید مشخص شود. بدین‌منظور یک لایه شیب فایل دارای نقاط ارتفاعی از نقشه توپوگرافی شهر توسط نرم‌افزار GIS ساخته و در نرم‌افزار فراخوانی شد. با توجه به اختلاف ارتفاع ۱۳۰ متری مابین مخزن و سیستم توزیع، فشار استاتیک شبکه حداکثر ۱۳۰ متر آب است. فشار قابل قبول برای هر شبکه مطابق با نشریه ۳-۱۱۷ باید در حدود ۱۴ تا ۴۵ متر باشد. از آن جایی که درصد بالایی از بافت شهری منطقه مورد مطالعه را ساختمان‌های یک تا دو طبقه تشکیل داده، به نظر می‌رسد سیستم با میزان فشار استاتیک بالایی روبه‌روست. از طرفی نتایج مدل‌سازی براساس حداکثر دبی طراحی (شکل ۵) حاکی از آن است که فشار در ۴۸ درصد از گره‌ها پایین‌تر و در ۹ درصد آن‌ها بالاتر از حد مجاز بوده و تنها ۴۳ درصد از گره‌ها دارای فشار مناسب هستند؛ اما در مدل‌سازی با ۰/۷ حداکثر دبی طراحی که مطابق با مصرف در فصل زمستان و حداقل مصرف است، فشار ۶۴/۵ درصد گره‌ها مناسب بوده و تنها

فشار ۳۵/۵ درصد از آن‌ها بالاتر از حد مجاز بود. قطر و طول لوله فلزی در خط لوله انتقال آب از مخزن تا ابتدای شبکه به ترتیب ۲۰۰ میلی‌متر و نزدیک به ۲ کیلومتر بوده و سرعت آن بالاتر از ۱/۵ متر در ثانیه است. افت این خط در هر کیلومتر معادل ۲۰ متر بوده که حداقل دو برابر بیشتر از مقدار معمول بوده و در نتیجه ۴۰ متر از فشار خط در ابتدای شبکه کاسته شده و همین امر باعث شده است که فشار در ۴۸ درصد گره‌ها در حالت حداکثر مصرف، پایین‌تر از حد مجاز باشد؛ بنابراین برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود این خط با قطر بالاتر یعنی سایز ۲۵۰ یا ۳۰۰ میلی‌متر تعویض شود.

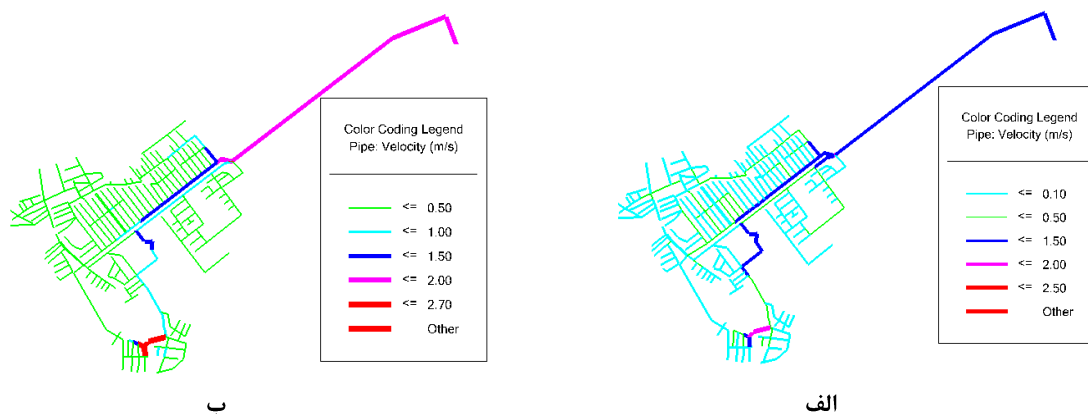
مطابق با نشریه ۳-۱۱۷ برای عدم ایجاد رسوب و حفظ کیفیت آب در لوله‌ها، سرعت نباید به کمتر از ۰/۳ متر بر ثانیه برسد. تحلیل سرعت در شبکه توزیع در حالت حداکثر دبی مصرفی (شکل ۶) نشان داد که تنها ۲۷ درصد از خطوط لوله دارای سرعت قابل قبول هستند. سرعت بالا در شبکه مختص به لوله‌های فلزی با قطرهای پایین همچون ۲۵ (یک اینچ) و ۳۸ (یک و نیم اینچ) میلی‌متر بوده که پیشنهاد می‌شود برای کاهش سرعت و استهلاک با لوله‌های پلی‌اتیلن با قطرهای ۹۰ میلی‌متر تعویض شوند. در بررسی شبکه با ۰/۷ حداکثر دبی طراحی ۸۴ درصد لوله‌ها دارای سرعتی کمتر از ۰/۳ متر بر ثانیه بوده و تنها ۱۷ درصد از آن‌ها از سرعت قابل قبولی برخوردار هستند. قطرهای ۱ و ۱/۵ اینچ انتخاب شده برای

کاهش فشار خیلی زیاد در این نقاط از لوله‌های با سایز بسیار پایین استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود در این نقاط که اختلاف ارتفاع خیلی زیاد است، از شیر فشارشکن استفاده شود.

شبکه اشتباه است و از نظر استاندارد نیز پایین‌تر از حداقل قطر طراحی، یعنی ۹۰ یا ۱۱۰ میلی‌متر هستند. لوله‌های با قطر کوچک در انتهای شبکه هستند و بیشترین اختلاف ارتفاع را با مخزن دارند؛ بنابراین برای



شکل ۵- (الف) وضعیت فشار در ۰/۷ دبی حداکثر مصرف؛ (ب) وضعیت فشار در دبی حداکثر مصرف



شکل ۶- (الف) وضعیت سرعت خطوط لوله در ۰/۷ دبی حداکثر مصرف؛ (ب) وضعیت سرعت خطوط لوله در دبی حداکثر مصرف

بیشتر و ارزیابی میدانی شبکه، ازجمله عوامل اصلی عدم بهینه‌بودن شبکه می‌توان به اختلاف تراز بیش از ۱۳۰ متر بین مخزن تأمین آب و محل مصرف و لوله‌های با قطر نامناسب (قطرهای ۱ و ۱/۵ اینچ) اشاره کرد. همچنین برای کاهش تعداد شکستگی‌ها در شبکه می‌بایست شیرهای فشارشکن تعبیه شود.

منابع

1. Adhav N, Zerikunthe V, Sasane A. & Deshmukh A. 2022. Analysis and Redesign of 24/7 Water Distribution Network using Watergem Software. Ijrasnet Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 10(6): 2054-2059.

نتیجه‌گیری

در تحلیل هیدرولیکی شبکه توزیع شهر چوار مشاهده شد که این شبکه از نظر فشار و سرعت در محدوده مناسب قرار ندارد؛ به‌گونه‌ای که ۶۶ درصد از گره‌ها در حالت حداکثر مصرف دبی دارای فشار خارج از محدوده استاندارد ۱۴ تا ۴۵ مترآب و همچنین ۳۶ درصد گره‌ها در حالت ۰/۷ دبی حداکثر خارج از محدوده استاندارد قرار دارند. وضعیت سرعت در بیش از ۷۰ درصد خطوط لوله در شبکه توزیع آب شهر چوار در حالت دبی حداکثر و ۷۵ درصد خطوط لوله در حالت ۰/۷ دبی حداکثر، خارج از محدوده مجاز ۰/۳ تا ۲/۵ متر بر ثانیه است. در بررسی‌های

2. Desta W. M. Feyessa F. F. & Debela S.K. 2022. Modeling and Optimization of Pressure and Water Age for Evaluation of Urban Water Distribution Systems Performance. *Heliyon*, 8(11): 26.
3. Dini M. & Asadi A. 2022. Pressure and Leakage Management of Water Distribution Network with Optimal Scheduling of Valves and Pumps, *Journal of Civil and Environmental Engineering*. University of Tabriz, 52(2): 79-88.
4. Heidari S. Mamizadeh J. Sarvarian J. & Ahmadi G. 2020. Optimization of water distribution networks using developed binary genetic algorithm and hydraulic model software. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 13: 30-35. (In Persian)
5. Jahangeer M. Barani G. A. & Jahangeer A. 2013. Intelligent management of pressure and leakage reduction in water supply network by WaterGEMS; Case study: integrated water supply in South Khorasan Duhsaran. *Irrigation and water engineering scientific research journal*, 4(13): 45-55 (In Persian)
6. Khalifeh S. Barani G. Khalifeh V. & Zonemat kermani M. 2019. Optimization of Water Distribution Systems Using Genetic Algorithms in WaterGems model (Case study: part of Rooydar), *Journal of Civil Engineering Ferdowsi*, 32(3): 111-124.
7. Mamizadeh J. Heidari S. & Bahrami A. 2016. Demand Allocation Pattern to Consumption Nodes in Water Distribution Networks (Case Study: Ilam University). *Irrigation and water engineering scientific research journal*, 29: 55-67. (In Persian).
8. Mazaherizadeh Y. Faridhosseini A. & Davari K. 2019. Multi Objective Design of Water Distribution System Using Todini's Resilience Index and Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm. *Journal of Water and Wastewater*. *Journal of Water and Wastewater*, 30(6): 18-34. (In Persian)
9. Nashat A. A. Abozeid G. Darweesh M. S. and Mamdouh M. 2015. Evaluation of Rehaillitation Solutions for Performance of water pipes network (case study-el-minia new city network ies). *Journal of Engineering Sciences*. Assiut University, 43(5): 644-662.