2024, Vol.11, No.3, Pages 17 to 26
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۳، ۱۴۰۳، صفحات ۱۷ تا ۲۶
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Operation of the Ghadir Khuzestan Water Transmission System under Defensive Conditions Using Hydraulic Modeling

N. Pousti Zadeh[1*], D. Horri[2], R. Rameshi[3]

1- Ph.D. in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Head of Hydraulics Group in Ghadir Khuzestan Water Operation, Production and Transmission Company, Ahvaz, Iran. 2- Ph.D. Student in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Chief Executive Officer of Ghadir Khuzestan Water Operation, Production and Transmission Company, Ahvaz, Iran. 3- Bachelor in Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Khomeini Shahr, Management of the Technical Office and Studies of the Ghadir Khuzestan Water Operation, Production and Transmission Company, Ahvaz, Iran.

*(Corresponding Author Email: nedapzh@gmail.com)

Received: 10-09-2024 Revised: 21-10-2024
Accepted: 08-11-2024 Available Online: 19-12-2024

بهره‌برداری از سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط پدافندی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی

ندا پوستی‌زاده[1*]، داود حری[2]، رامین رامشی[3]

۱- دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، رئیس گروه هیدرولیک شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان، اهواز، ایران. ۲- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، مدیرعامل شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان، اهواز، ایران. ۳- کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، مدیریت دفتر فنی و مطالعات شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان، اهواز، ایران.

*(رایانامه نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: nedapzh@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

Abstract

Access to drinking water is one of the most important human needs and citizenship rights. For this reason, the supply, transmission, treatment, and distribution of sanitary drinking water in order to meet the water needs of urban and rural subscribers is one of the primary tasks and priorities of every government. The Ghadir Water Project in Khuzestan, aimed at supplying water to the central, western, and southwestern cities of Khuzestan Province, is of great significance as the largest water transfer project in Iran. Accordingly, the current study focuses on the operation of the Ghadir Khuzestan water transmission system under defensive conditions using WaterGEMS software modeling. First, the hydraulic model of the studied transportation system is prepared and calibrated using hydraulic software. In the second stage, the quality of delivered water, as well as the strategy to ensure the sustainability of water transfer in emergency and defense conditions, were examined. A comparison of the quality results indicates that the establishment of the Northern Ghadir pump station and the replacement of the Dez Dam with the Karkheh Dam as the new water supply source for the Ghadir water transmission system will have a significant effect on improving the quality of the water being transferred in compliance with the water quality standards of Iran, as it reduces the EC amount of the water being sent by about 68%. According to the proposed solution in this research, in the emergency and temporary shutdown conditions of the main pumping station, which is responsible for pumping 90% of the total water volume required for the target cities, 60% of this water volume can be supplied through the Northern Ghadir pump station to ensure the continuity of water supply.

Keywords: Operation, Water Transmission System, Hydraulic Model, Defensive Conditions and Water Quality.

چکیده

دسترسی به آب شرب یکی از مهمترین نیازهای بشری و حقوق شهروندی است. به همین دلیل تأمین، انتقال، تصفیه و توزیع آب شرب به‌منظور رفع نیازهای آب مشترکین شهری و روستایی یکی از وظایف اولیه و اولویت‌های هر دولتی است. طرح انتقال آب غدیر خوزستان با هدف آبرسانی به شهرهای مرکزی، غرب و جنوب‌غرب استان خوزستان به‌عنوان بزرگترین طرح انتقال آب در ایران اهمیت زیادی دارد. براین‌اساس، مطالعه حاضر به مسأله بهره‌برداری از طرح انتقال آب غدیر خوزستان برای استمرار آبرسانی در شرایط پدافندی با استفاده از شبیه‌سازی هیدرولیکی در محیط نرم‌افزار WaterGEMS می‌پردازد. برای‌این‌منظور ابتدا مدل هیدرولیکی سامانه انتقال آب مورد بررسی، در نرم‌افزار هیدرولیکی تهیه و واسنجی شد. در مرحله دوم، کیفیت آب ارسالی و سپس راهکاری جهت حفظ پایداری انتقال آب در شرایط اضطراری و پدافندی بررسی شد. مقایسه نتایج کیفی نشان داد استقرار تلمبه‌خانه غدیر شمالی و جایگزین کردن سد دز به جای سد کرخه به‌عنوان منبع جدید تأمین آب سامانه انتقال آب غدیر، تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت آب انتقالی و مطابق با استاندارد کیفیت آب‌های ایران خواهد داشت به‌طوری‌که میزان EC آب ارسالی حدود ۶۸ درصد کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس راهکار پیشنهادی در این پژوهش، در شرایط اضطراری و خاموش شدن موقت ایستگاه اصلی که وظیفه پمپاژ ۹۰ درصد از کل حجم آب مورد نیاز شهرهای مورد نظر را بر عهده دارد، می‌توان ۶۰ درصد از حجم این آب را از طریق تلمبه‌خانه غدیر شمالی برای استمرار آبرسانی تأمین کرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری، سامانه انتقال آب، مدل هیدرولیکی، شرایط پدافندی و کیفیت آب.

How to cite this article: Pousti Zadeh, N., Horri, D., & Rameshi, R. (2024). Operation of the Ghadir Khuzestan Water Transmission System under Defensive Conditions Using Hydraulic Modeling. Journal of Water and Sustainable Development, 11(3), 17-26. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i3.2409-1361

مقدمه

اجرای مرحله به مرحله یک طرح بزرگ آبرسانی و در مدار قرار گرفتن تدریجی آن به موازات ادامه اجرای بخش‌های دیگر، بهره‌برداری این طرح را به موضوعی پیچیده تبدیل می‌کند. همچنین تغییراتی که حسب ضرورت در طراحی‌های اولیه داده می‌شود یا اجرای بخش‌های جدیدی که به مرور به این طرح اضافه می‌شود بر پیچیدگی‌های این موضوع می‌افزاید. در چنین شرایطی، بهره‌برداری از قسمت‌های ساخته شده با دشواری روبه‌رو است. بخش دیگری از مشکل نیز مربوط به تصمیم‌گیری برای مشخصات قسمت‌هایی است که در آینده اجرا می‌شود. از طرفی بررسی سامانه انتقال آب در حال بهره‌برداری از دیدگاه پدافند غیرعامل نیز اقدامی ضروری است و تأخیر در آن باعث ناپایداری شهر و آسیب‌پذیری آن در برابر بحران‌های طبیعی و انسانی می‌شود (Kettler و Goulter، ۱۹۸۵). باید سامانه انتقال و شبکه توزیع آب شهری به‌گونه‌ای مورد توجه قرار گیرد که قبل از وقوع حوادث، برنامه‌های اضطراری برای مقابله با آن تدارک دیده شود و در این شرایط، پایداری و امنیت امر آبرسانی تأمین شود و عملیات بهره‌برداری آن به حالت اولیه باز گردد. بنابراین ساخت مدل هیدرولیکی بهره‌برداری از طرح مورد نظر و تحلیل هیدرولیکی برای کمک به حل این مشکلات بسیار موثر خواهد بود. چنین مدلی گسترده‌تر از مدل‌هایی است که در مراحل طراحی سامانه‌های انتقال آب به‌کار می‌رود و جزئیات به مراتب بیشتری را در مقایسه با آنها شامل می‌شود. تحلیل هیدرولیکی، شامل یافتن تمامی پارامترهای مجهول مربوط به خط لوله و گره‌ها با استفاده از اطلاعات اولیه مربوط به گره‌ها و لوله‌ها می‌شود. از جمله نرم‌افزارهایی که برای مدل‌سازی هیدرولیکی در بازار موجود می‌باشد می‌توان به نرم‌افزار WaterGEMS اشاره نمود. برتری نرم‌افزار مذکور در این است که بر خلاف تمامی نرم‌افزارهایی که تاکنون وجود داشته استکه برای ورود اطلاعات اولیه نیاز به محاسبات دستی و مقدماتی روی نقشه‌ها دارند، قابلیت ترکیب‌شدن با نرم‌افزارهای AutoCAD، ArcGIS و Excel و همچنین حذف محاسبات اضافی را دارد. این نرم‌افزار دارای سه برنامه اساسی است (Darwin Designer، Darwin Calibrator و Darwin Scheduler)، که دو مورد آن مربوط به بهره‌برداری و یکی از آن‌ها مربوط به طراحی است و بر این اساس نرم‌افزار، برای حل مشکلات طراحان و بهره‌برداران موثر می‌باشد. در پژوهش حاضر، به دلیل اهمیت بهره‌برداری سامانه انتقال آب غدیر برای تأمین آب و آبرسانی به شهرهای مرکزی، جنوب غرب و غرب استان خوزستان (۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا)، شبیه‌سازی هیدرولیکی این سامانه در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شده و به‌منظور مدیریت بهره‌برداری از این خطوط انتقال و در نظر گرفتن تمهیدات لازم در شرایط وقوع بحران و پدافندی که منجر به خاموشی موقت ایستگاه پمپاژ اصلی می‌شود، راهکار مناسب برای حفظ تداوم آبرسانی بررسی شده است. مهندسی پدافند غیرعامل یک نیاز معماری، مهندسی و استراتژیک برای تأمین امنیت پایدار سامانه‌های تأمین آب مانند سدها، چاه‌های آب، خطوط انتقال، ایستگاه‌های پمپاژ، تصفیه‌خانه، مخازن ذخیره و شبکه‌های توزیع آب است. پدافند غیرعامل موضوعی است که باتوجه‌به تحولات و تهدیدات محیط‌زیستی ، اهمیت آن در سال‌های اخیر بیشتر روشن شده است (توکلی امینیان، ۱۳۹۲). بنابراین در این پژوهش به دلیل اهمیت بهره‌برداری از سامانه‌های انتقال و توزیع آب و همچنین حفظ امنیت پایداری آن‌ها در شرایط وقوع بحران، پژوهش‌های انجام شده به دو بخش که بخش اول پیرامون پدافند غیرعامل سامانه‌های انتقال و توزیع آب و بخش دوم مدل‌سازی سامانه‌ها و تأسیسات در دست بهره‌برداری برای مدیریت و رفع چالش‌های آنها می‌باشد، پرداخته شده است.

در طی سالیان اخیر، مطالعات زیادی در زمینه اهمیت پدافند غیرعامل در زنجیره سامانه انتقال آب شهرها صورت گرفته است که از جمله آن می‌توان به مطالعات جعفری و نوربخش (۱۳۹۷) در ارزیابی اجرای پدافند غیرعامل در مجتمع‌های بزرگ آبرسانی، مطالعه موردی تأسیسات آبرسانی شهید خوش سیرت آستانه اشرفیه، پورطبری و پورطبری (۱۳۹۶) در بررسی موضوع حفاظت سامانه‌های آبرسانی با رویکرد پدافند غیرعامل و مودی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی پدافند غیرعامل تأسیسات آبی در شرایط بحران و تأثیر بر کیفیت منابع آب اشاره کرد.

Mohammadi(۲۰۲۳) در پژوهش خود یک رویکرد مدیریت استراتژی بهبود یافته برای پدافند غیرعامل سامانه توزیع آب نودشه واقع در کرمانشاه ارائه داده است که به آن روش اولویت‌بندی یکپارچه SWOT QSPM یا روش IPSQ می‌گویند. خوشه‌بندی وزن عوامل موثر با استفاده از مدل ELECTRE TRI بر اساس معیارهای خاص تعیین شده است .این وزن‌ها باتوجه‌به ترجیحات شخصی کاربر، قبلاً تخصیص داده می‌شوند. سپس عملکرد روش پیشنهادی بررسی شده و اطلاعات لازم جمع‌آوری و آنالیز هیدرولیکی با استفاده از WaterGEMS انجام شده است. در مرحله بعد، ماتریس SWOT انجام و استراتژی‌های برتر شکل گرفته است. در نهایت، اولویت‌ها با استفاده از تحلیل QSPM نشان داده شده‌اند. نتایج تحقیق نشان داد روش IPSQ کاربر را با موفقیت به سمت برنامه‌ریزی اولویت‌ها با کمترین تداخل و جلوگیری از اشتباهات احتمالی هدایت کرده است. پردازشگرهای خوشه‌بندی و اولویت‌بندی را می‌توان به سادگی و مفید به تکنیک‌های مدیریت استراتژی مرتبط کرد و خروجی‌های تجزیه و تحلیل هیدرولیک برای اتخاذ بهترین تصمیمات برای شبکه توزیع

آب بسیار مفید هستند. حمایت مالی دولت برای اجرای امنیت آنلاین و امکانات نظارتی (WO1 با STAS = 4.61) به‌عنوان اولویت اول استراتژی پدافند غیرعامل سامانه توزیع آب مورد مطالعه شناخته شده است.

ریاحی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) با یک نگاه تحلیلی مبتنی بر پژوهش‌های کتابخانه‌ای و اسنادی تأسیسات آب شرب یاسوج را از دیدگاه پدافند غیرعامل بررسی کردند و راهکارهایی برای شناسایی عوامل داخلی و خارجی و راهبردهای چهارگانه در تأسیسات آب شرب این شهر با رویکرد چگونگی شناسایی اعمال ضوابط و ملاحظات پدافند غیرعامل در حال و آینده ارائه دادند که با استفاده از روش QSPM، راهبردهای انتخاب شده اولویت‌بندی می‌شوند. در مورد چگونگی پراکنش به وسیله GIS و بررسی و تحلیل‌های لازم، از مدل ارزیابی SWOT استفاده شده است. باتوجه‌به نتایج به‌دست آمده، لازم است تهیه راهبرد طرح بهسازی و نوسازی سامانه تأسیسات آب شرب این شهر با تاکید بر پدافند غیرعامل در اولویت اول قرار گیرد. تهیه راهبردهای احداث کانال مشترک برای تمام تأسیسات به دلیل چیدمان نامناسب آنها در اولویت بعدی قرار دارند.

احسانی‌فر و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود به‌منظور مدیریت بحران آب شهر اراک، با به‌کارگیری مدل‌سازی پویا و روش تحلیل پویایی‌های سامانه و با استفاده از شبیه‌سازی رفتاری در محیط نرم‌افزاری ون‌سیم (Vensim)، مدیریت یکپارچه منابع آب در متغیر اصلی و رفتار مرجع سامانه را بررسی کردند. سامانه آب شهری اراک با استفاده از روش سامانه دینامیک مدل شده است. سناریوهای مختلفی برای مدل شبیه‌سازی شده بررسی شد، در نهایت دو سناریو ازجمله نصب لوازم کاهنده مصرف در منازل و اصلاح شبکه تأمین، به دلیل تأثیر آنها بر کاهش کمبود آب و مدیریت پدافندی این سامانه آب شهری توصیه شد. مدل برای شهر اراک مناسب ارزیابی شده و می‌تواند برای بقیه شهرها به ویژه شهرهایی که در مناطق خشک یا نیمه خشک قرار گرفته‌اند، کاربردی باشد.

Awe و همکاران (۲۰۲۰) مدل‌سازی سامانه توزیع آب نیجریه را با استفاده از طرح‌بندی سامانه توزیع آب برای تخمین تقاضای آب، جریان، سرعت و افت هد در نرم‌افزار EPANET انجام و در نهایت توسط نرم‌افزار LINGO آن را بهینه‌سازی کردند. این سامانه شامل یک مخزن، ۱۷۶۳ لوله و یک پمپ است و الگوریتم بهینه‌سازی توسعه یافته در این پژوهش پارامترهای بهینه سامانه را با کمترین هزینه جستجو می‌کند که به سامانه‌ها اجازه می‌دهد با قوانین و محدودیت‌های هیدرولیکی و ابتکاری که معمولاً برای طراحی خط لوله استفاده می‌شوند، به طور کارآمد هدف خود را برآورده کنند و در مدل برای دستیابی به راه‌حل بهینه استفاده شوند. نمایش مدل سامانه توزیع آب موجود با استفاده از قطرهای اولیه لوله ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر، مشخصه‌های ارتفاع تولید فشار ۲۵، ۳۰ و ۳۵ متر حل شد. مسئله به طور یکپارچه ارزیابی شد و نتایج نشان داد که ارتفاع بهینه مخزن ۲۵ متر و قطر بهینه لوله ۳۰۰ میلی‌متر تعیین شده است و در نتیجه ۳۸٪ کاهش در هزینه کل نصب، بهره‌برداری و نگهداری سامانه توزیع آب حاصل شده است.

جویلی و حیدرنژاد (۱۴۰۲) مدل‌سازی الگوی جریان در خط انتقال آب دارخوین را با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS انجام دادند و به تغییر قطر لوله‌ها و پمپاژ و تأثیر آن بر فشار، سرعت و تلفات پرداخته‌اند. نتایج نشان داد با کاهش ۳۳/۳ درصدی قطر لوله‌ها تلفات فشار در تمامی مسیر زیر ۳ متر می‌باشد. تلفات فشار پایین به دلیل سرعت نرمال می‌باشد. همچنین کاهش ۳۳/۳ درصدی قطر لوله‌ها و کاهش قطر پروانه پمپ‌ها از ۵۰۰ به ۴۶۰ میلی‌متر باعث کاهش چشمگیر فشار شده است.

Desta و همکاران (۲۰۲۲) روش پیشنهادی خود مبنی بر یک فرآیند ترکیبی تعاملی بین یک الگوریتم بهینه‌سازی و WaterGEMS را برای ارزیابی عملکرد سامانه توزیع آب موجود در شهر بررسی کردند. آنها مشاهده کردند در دوره‌های کم تقاضا، ۴۵/۵۸ درصد از لوله‌ها عمر آب کمتر از ۴/۸ ساعت داشتند، درحالی‌که ۵۴/۴۲ درصد دیگر از لوله‌ها دارای سن آبی ۴/۸-۲۰ ساعت بودند. نتایج بهینه‌سازی نشان داد پس از بهینه‌سازی، ۴/۴ درصد از گره‌های دارای فشار بهینه به ۷۵/۱۸ درصد افزایش یافته و ۹۵/۶ درصد از گره‌ها به ۲۴/۸۲ درصد کاهش یافته‌اند. تغییر اندازه لوله بر اساس نتیجه بهینه‌سازی و تقسیم یک منطقه به مناطق فشار مختلف (افزودن مخازن بیشتر در انتهای سامانه توزیع) همه راه‌هایی برای بهبود بهره‌برداری یا ارتقاء سامانه توزیع هستند.

روان قلاتی و احمدی (۱۳۹۷) مدل‌سازی شبکه توزیع آب با اعمال ضرایب مصرف ساعتی و ماهانه در محیط نرم‌افزار WaterGEMS را انجام دادند. با اندازه‌گیری میدانی فشار ۹ گره (محل تحویل آب در شبکه)، مدل با مقدار شاخص خطای جذر میانگین مربعات برابر ۰/۶ صحت‌سنجی شد. پس از اجرای مدل و بررسی پارامترهای هیدرولیکی، مشخص شد مقادیر سرعت در بیش از ۹۵ درصد لوله‌ها، در ماه حداکثر مصرف مشترکین (مرداد)، کمتر از ۰/۳ متر در ثانیه است. در این شبکه، مقادیر فشار در بیش از ۵۰ درصد گره‌ها، از مقدار ۵ اتمسفر، بیشتر است که باعث تشدید نشت و افزایش احتمال ترکیدگی در ساعت‌های اوج فشار می‌شود. با بررسی پارامترهای هیدرولیکی شبکه، می‌توان استنباط کرد مهمترین علتی که منجر به عدم ایجاد وضعیت هیدرولیکی بهینه در این شبکه توزیع شده است، استفاده از لوله‌هایی با قطر زیاد از جمله ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۵۰ و ۸۰ میلی‌متر در شبکه است. نتایج این پژوهش لزوم تعیین دقیق مقادیر نیاز مشترکین بر حسب

ضرایب مصرف ساعتی و ماهانه برای طراحی بهینه یک شبکه توزیع آب و تحلیل این شبکه‌ها به روش شبیه‌سازی دوره گسترش یافته، برای ارزیابی و اصلاح مشکلات موجود شبکه‌های توزیع آب فعلی را بیان می‌کند.

Dini و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود یک روش جدید برای بهینه‌سازی تعداد پمپ‌های فعال (NAPs) و تنظیم متغیر آن‌ها جهت بهبود قابلیت اطمینان فشار، نشتی و مصرف برق در شبکه‌های توزیع آب ارائه داده‌اند. برای این منظور، یک شاخص پمپ‌های فعال (API) برای یافتن تعداد پمپ‌های فعال بهینه در هر گام زمانی پیشنهاد داده‌اند و یک شاخص قابلیت اطمینان فشار شبکه تک هدفه (NPRI) برای بهینه‌سازی تنظیم پمپ‌های سرعت متغیر استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) در MATLAB توسعه یافته و با EPANET به‌عنوان شبیه‌ساز هیدرولیکی مرتبط است. روش پیشنهادی بر روی یک نمونه و یک سامانه توزیع آب واقعی اعمال می‌شود. نتایج در هر دو مورد نشان‌دهنده کاهش قابل توجه در NAPs و همچنین هزینه‌های انرژی بوده درحالی‌که قابلیت اطمینان نشتی و فشار را به طور قابل توجهی به ویژه در ایستگاه‌های پمپاژ بزرگ با چندین پمپ بهبود می‌بخشد.

Dini و Asadi (۲۰۱۹) یک روش جدید برای بهینه‌سازی مکان و تنظیم شیرهای کاهش فشار (PRV) برای تنظیم فشار گره در ساعات مختلف روز با حداکثر کردن قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب ارائه دادند. این روش مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) است که با پیوند به یک مدل هیدرولیکی شبکه توزیع که در EPANET اجرا شده و در نرم‌افزار MATLAB نوشته شده است. برای تأیید روش پیشنهادی، یک شبکه نمونه و یک شبکه بزرگ مقیاس واقعی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد تعیین مکان و تنظیم بهینه PRV در شبکه در تنظیم فشار گره‌ها و کاهش نرخ نشتی موثر است. مقایسه نتایج برای موارد با PRV بهینه و بدون PRV در یک شبکه واقعی نشان داد نرخ متوسط نشتی حدود ۱۵ ٪ کاهش و شاخص قابلیت اطمینان متوسط حدود ۲۴/۸ ٪ افزایش یافته است.

نصیریان و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش خود یک روش بهینه‌یابی جدید به نام روش تحلیل حساسیت را به‌منظور واسنجی زبری لوله‌ها معرفی کردند. در این روش ابتدا لوله‌ها بر اساس جنس و قطر گروه‌بندی شده سپس با تحلیل حساسیت، تأثیر تغییر زبری گروه‌های مختلف بر روی فشارهای گره‌ای بررسی شده است. در ادامه، واسنجی زبری به ترتیب اهمیت گروه‌ها انجام و این روش بر روی یک شبکه واقعی با مقدار زبری فرضی بررسی شد. ایشان نتایج به‌دست آمده را با نتایج به‌دست آمده از واسنجی نرم‌افزار WaterGEMS مقایسه کردند. نتایج نشان دادند در واسنجی زبری، این نرم‌افزار توانست با ۲۰۰۰ تکرار فشارها را به مقدار مشاهداتی نزدیک کند و زبری لوله را با دقت خوبی تعیین کند. روش پیشنهادی در ۱۱۰ تکرار توانست مقدار دقیق زبری را در تمامی گروه‌ها شناسایی کند.

در این پژوهش مطالعات و تحقیقات انجام شده پیرامون مدل‌سازی هیدرولیکی سامانه‌های انتقال و توزیع آب جهت بهره‌برداری از آنها به‌منظور رفع چالش‌های بهره‌برداری و همچنین پژوهش‌های ارائه شده با رویکرد پدافند غیرعامل جهت ارائه راهکارهای مناسب برای تأسیسات در دست بهره‌برداری پرداخته شد که نتایج آنها بر اهمیت مدل‌سازی هیدرولیکی سامانه‌های انتقال و توزیع آب جهت بهره‌برداری و به‌خصوص توانایی و دقت نرم‌افزار WaterGEMS در این راستا و همچنین اجرای راهکارهای پدافند غیرعامل در راستای ساماندهی مناسب برای پایداری بیشتر تاکید می‌کند. بر این اساس، در این پژوهش بهره‌برداری از سامانه آبرسانی غدیر خوزستان که آب مورد نیاز ۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا را تأمین می‌کند و اثر بسزایی در تداوم زندگی مردم شهرهای مرکزی، غرب و جنوب غرب این استان به‌وجود می‌آورد مورد توجه قرار گرفته است، به‌خصوص در شرایط بروز حوادثی مانند خرابی، تعمیرات، سرویس و نگهداری برنامه‌ریزی شده تجهیزات و شکستگی در لوله‌های درون ایستگاه اصلی به‌عنوان عمده‌ترین منبع تأمین آب این سامانه که منجر به خاموشی این ایستگاه و توقف در امر آبرسانی می‌شود. به‌این‌منظور، مدل‌سازی هیدرولیکی بهره‌برداری این سامانه انتقال مشتمل بر ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال و مخازن متعادل‌کننده در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شد که این نرم‌افزار بر برنامه‌های بهره‌برداری استوار می‌باشد تا بتوان با ارائه و بررسی یک راهکار عملی و قابل اجرا از بروز بحران یا اختلال در پایداری انتقال آب جلوگیری نموده و یا آن را به حداقل رساند.

مواد و روش‌ها

- سامانه آبرسانی مورد مطالعه

طرح آبرسانی غدیر از سال ۱۳۸۷ با هدف آبرسانی جهت رفع نیاز شهرهای مرکزی، جنوب غرب و غرب استان خوزستان (شامل ۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا) و هدف نهایی تأمین حداکثر ۲۴ متر مکعب در ثانیه و سالانه ۷۵۷ میلیون مترمکعب آغاز شد. شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان در سال ۱۳۹۴ تأسیس و پس از تکمیل فاز اول و دوم طرح، عهده‌دار بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات خطوط و تأسیسات طرح شد و در حال حاضر به طور متوسط ۱۲ متر مکعب در ثانیه و سالانه ۳۷۸ میلیون متر مکعب آب شرب ۱۶ شهر و ۴۹۵ روستا تأمین

می‌شود. تأسیسات در حال بهره‌برداری شرکت آب غدیر شامل غدیر شمالی، فتح‌المبین (ام‌الدبس)، ایستگاه شهدای هویزه (قیصریه)، تصفیه‌خانه دارخوین و ایستگاه چمران می‌باشند که وظیفه تأمین و انتقال آب خام به شهرهای اهواز، آبادان، خرمشهر، دشت آزادگان (شامل: سوسنگرد، هویزه، بستان، رفیع، حمیدیه و چذابه) دارخوین، شادگان و روستاهای حومه شهرهای مذکور و برخی مراکز صنعتی را به عهده دارند. در سامانه انتقال آب غدیر، تا قبل از نیمه دوم سال ۱۴۰۱، ۸۰ درصد از حجم کل آب مورد نیاز شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی توسط تأسیسات فتح‌المبین و از کانال پای‌پل کرخه تأمین می‌شد و به طور هم‌زمان ۱۵ درصد از حجم کل آب مورد نیاز نیز از از کانال MC1 کرخه برداشت و به شهرهای آبادان، خرمشهر و تصفیه‌خانه دارخوین ارسال می‌شد. باقیمانده حجم آب مورد نیاز (به میزان ۵ درصد) توسط تصفیه‌خانه دارخوین پس از برداشت از رودخانه کارون و انجام عملیات تصفیه به همراه آب دریافتی از فتح‌المبین به دارخوین و شادگان و روستاهای آنها ارسال می‌شد. از نیمه دوم سال ۱۴۰۱، تلمبه‌خانه غدیر شمالی به منظور بهبود کیفیت آب تحویلی به شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی با هدف ارسال آب از کانال W2 (سد انحرافی دز) به تأسیسات فتح‌المبین تأسیس شد و ایستگاه پمپاژ شهدای هویزه از مدار آبرسانی خارج شد. بنابراین در حال حاضر ۹۰ درصد از حجم کل آب موردنیاز شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی توسط تأسیسات فتح‌المبین و از کانال W2 (سد انحرافی دز)، ۵ درصد از حجم باقیمانده مانند قبل توسط تصفیه‌خانه دارخوین و باقیمانده حجم مورد نیاز نیز از کانال چمران توسط تلمبه‌خانه چمران به تصفیه‌خانه اهواز ارسال می‌شود. بنابراین ابتدا لازم است به شرح مشخصات ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال و عملیات آبرسانی در سامانه انتقال آب غدیر خوزستان پرداخته شود.

- در این سامانه آبرسانی، آب از کانال W2 (سد انحرافی دز) توسط ۱۲ دستگاه الکتروپمپ (پمپ ایران مدل ۸۳۵-۵۰۰) با توان ۱۲۵۰ کیلووات مستقر در تأسیسات غدیر شمالی و از طریق خط انتقال فولادی با سایز ۲۴۰۰ میلی‌متر و به طول ۷۳ کیلومتر به سمت لاگون‌های تأسیسات فتح‌المبین ارسال می‌شود.

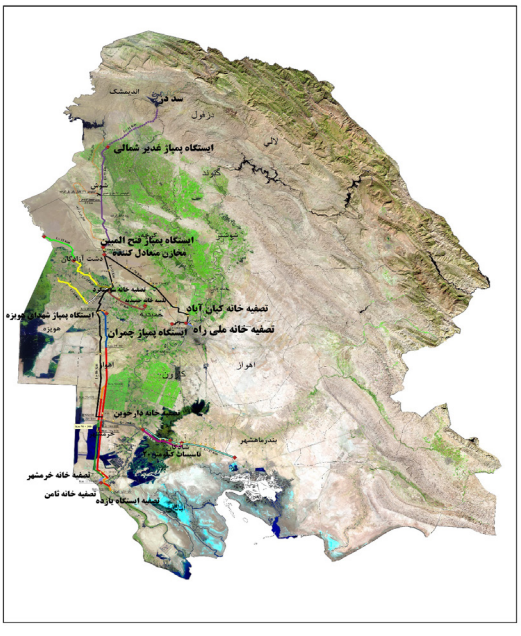
- تأسیسات فتح‌المبین در دشت آزادگان، و در نزدیکی روستای ام‌الدبس واقع شده که در آن آب دریافتی از ایستگاه بالادست (غدیرشمالی) توسط ۸ دستگاه الکتروپمپ (۵ عدد پمپ پتکو و ۳ عدد پمپ صنعتی) با توان ۲۵۰۰ کیلووات از طریق دو خط انتقال فولادی با سایز ۲۰۰۰ میلی‌متر و به طول ۵ کیلومتر به سمت دو مخزن متعادل‌کننده به حجم هر کدام ۴۲۰۰۰ متر مکعب پمپاژ می‌شود. سپس از این مخازن به‌صورت ثقلی به تصفیه‌خانه‌های شماره ۱ و ۲ اهواز (ملی راه و کیان آباد)، دشت آزادگان، آبادان، خرمشهر و دارخوین و روستاها انتقال می‌یابد.

- آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین علاوه‌بر خط آبرسانی غدیر، به‌طور مستقیم از رودخانه کارون توسط ۲ دستگاه الکتروپمپ (مدل پمپ ایران) با توان ۱۳۲ کیلووات و ۳ دستگاه الکتروپمپ فشار ضعیف (لولیفت) با توان ۱۳۲ تا ۱۶۰ کیلووات مستقر در اسکله آبگیر تأمین و بعد از عبور آب از حوضچه اختلاط و اضافه شدن مواد شیمیایی جهت تهنشین شدن ذرات معلق، آب خروجی از حوضچه، بین چهار دستگاه کلاریفایر با ظرفیت ۱۱۰۰ متر مکعب در ساعت (در مجموع ۴۴۰۰ مترمکعب) تقسیم شده و سپس با یک لوله ۱۴۰۰ میلی‌متر به حوضچه مقسم تصفیه‌خانه منتقل می‌شود. سپس از طریق دو کانال بتنی به ۱۲ عدد فیلتر شنی با ظرفیت تصفیه هر فیلتر برابر ۱۱۲۵۰ متر مکعب در شبانه روز ارسال می‌شود که هر فیلتر مجهز به دریچه کشویی پنوماتیک و لاین هوادهی و عملگر برقی جهت فرمان دادن برای ورود و خروج هوا و همچنین میز کنترل جهت ارسال فرمان و انجام فرآیند انتقال آب به مخزن پاک و عملیات بک واش می‌باشند. جریان‌به صورت ثقلی از شن‌های موجود در فیلترها با ضخامت ۱ متر به یک باکس بتنی مربوط به آن فیلتر هدایت می‌شود و در نهایت جریان تمامی اسلب‌ها وارد یک کانال بتنی تعبیه شده در زیر تصفیه‌خانه و از آنجا به مخزن آب پاک با حداکثر ظرفیت ۵۰۰۰ متر مکعب، منتقل می‌شود. آب هدایت شده به مخزن پاک توسط ۷ دستگاه پمپ مستغرق نوید سهند با توان ۲۰۰ کیلووات و حداکثر ظرفیت ۱۱۰۰ متر مکعب در ساعت توسط یک لوله با سایز ۱۲۰۰ میلی‌متر هدایت می‌شود. مجموع دبی ارسالی از تأسیسات دارخوین به شادگان و روستاهای منطقه ارسال می‌شود.

- از طرفی در ایستگاه پمپاژ چمران آب از کانال چمران برداشت و توسط ۷ دستگاه الکتروپمپ (مدل پمپ ایران ۳۵-۳۰۰) با توان ۱۳۲ کیلووات به تصفیه‌خانه کیان آباد اهواز ارسال می‌شود.

- از دیگر تأسیسات این سامانه آبرسانی غدیر، می‌توان به ایستگاه پمپاژ شهدای هویزه اشاره نمود که از نیمه دوم سال ۱۴۰۱ با در مدار قرار گرفتن تلمبه‌خانه غدیرشمالی با هدف ارسال آب با کیفیت از سد انحرافی دز، این ایستگاه از مدار آبرسانی خارج و به‌عنوان ایستگاه پدافندی سامانه انقال آب غدیر در نظر گرفته شده است. این تلمبه‌خانه قابلیت انتقال آب از کانال MC1 کرخه توسط ۸ دستگاه الکتروپمپ (پمپ ایران ۵۰۰-۳۰۰) با توان ۳۵۵ کیلووات از طریق خطوط انتقال GRP با سایزهای ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰ به تصفیه‌خانه‌های آبادان، خرمشهر و دارخوین را خواهد داشت.

- به‌طورکلی مجموع طول خطوط انتقال در حال بهره‌برداری ۷۰۲ کیلومتر دارای قطرهای مختلف در سایزهای ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در دو جنس فولادی (۴۴۶ کیلومتر) و GRP (۲۵۶ کیلومتر) می‌باشد. در شکل (۱) مناطق تحت پوشش سامانه آبرسانی آب غدیر در استان خوزستان نشان داده شده است.



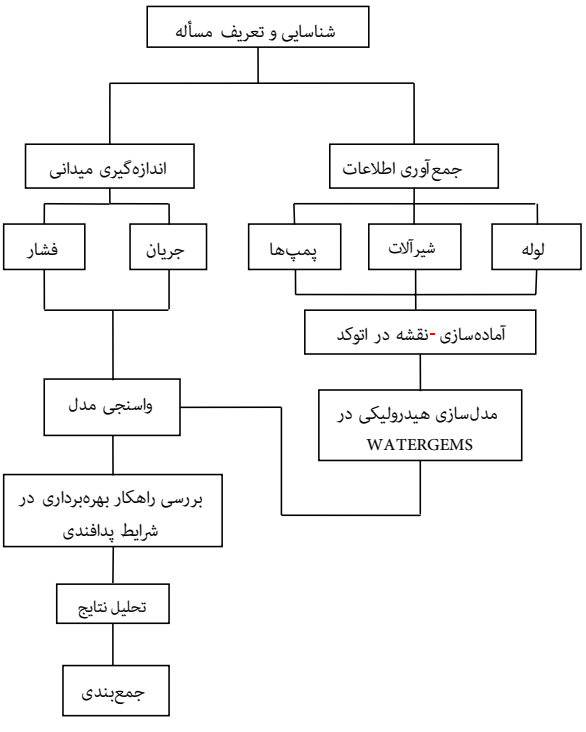
شکل ۱- مناطق تحت پوشش سامانه آبرسانی آب غدیر در استان خوزستان اخذ شده از واحد GIS شرکت آب غدیر خوزستان

- تحلیل هیدرولیکی

در این پژوهش برای مدل‌سازی از نرم‌افزار WaterGEMS استفاده شده است. این محصول با قابلیت ArcGIS توانایی انجام و انتقال نتایج حاصل از محاسبات جغرافیایی را دارد. تمام کارایی برنامه WaterCad در برنامه WaterGEMS موجود می‌باشد و علاوه‌بر آن فناوری، محاسبه و گزارش مقدار هزینه‌های اجرایی و هزینه مصرف انرژی در آن موجود می‌باشد. همچنین در فضای این نرم‌افزار، کاربر قادر به شبیه‌سازی کیفیت آب است. به‌طوری‌که می‌تواند آلاینده و غلظت آن را در شبکه توزیع‌کننده مدل‌سازی کند. امکان مدل‌سازی و مدیریت خطوط انتقال آب، ایستگاه پمپاژ و سامانه آبیاری تحت فشار در محیط این نرم‌افزار وجود دارد. محاسبه پارامترهای هیدرولیکی، طراحی بهینه شبکه توزیع و تشخیص نشت آب در شبکه ازجمله قابلیت‌های WaterGEMS است. از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار می‌توان به تحلیل سامانه لوله‌کشی، ساخت مدل‌های هیدرولیکی و مدل‌سازی دقیق پمپ‌های آب اشاره کرد. نرم‌افزار مذکور را می‌توان پیش از اجرای شبکه آبرسانی، برای طراحی و پس از اجرای آن نیز برای رفع نواقص و بهینه کردن عملکرد هیدرولیکی آن به کار برد (نظری، ۱۳۹۰).

به‌طورکلی مراحل انجام پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است که در ادامه پژوهش به شرح هر یک از مرحله‌ها پرداخته خواهد شد.

برای انجام مدل‌سازی خطوط انتقال، ابتدا در محیط نرم‌افزار AutoCAD، گره‌ها، لوله‌های مسیر انتقال آب و شیرآلات هوا و پروانه‌ای موجود بر روی خطوط (از قطر ۳۰۰ تا ۲۴۰۰ میلی‌متر) ترسیم شده و پس از انجام اصلاحات نهایی، وارد نرم‌افزار WaterGEMS شده است. مشخصات لوله‌های سامانه شامل طول، قطر و جنس در جدول (۱) ذکر شده است.

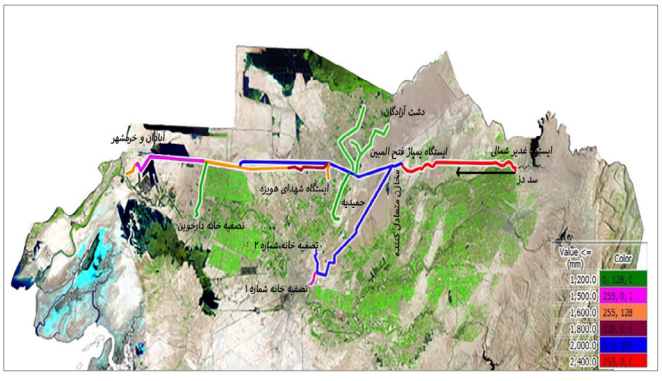


شکل ۲- فرآیندپژوهش و نحوه بررسی راهکار پیشنهادی

جدول ۱- مشخصات لوله‌ها در سامانه انتقال آب غدیر

ردیف	قطر (mm)	طول (Km)	جنس
۱	۳۰۰-۲۴۰۰	۴۴۶	STEEL
۲	۴۰۰-۱۸۰۰	۲۵۶	GRP

پس از وارد کردن خطوط انتقال و شیرها و مشخصات آنها، به ترسیم ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن متعادل‌کننده و وارد کردن اطلاعات ارتفاعی نقاط و شیرها توسط ابزارهای نرم‌افزار پرداخته شده است. در ابتدا اطلاعات طرح اولیه اجرا شده را وارد کرده و پس از واسنجی که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد، راهکار موثر برای بهره‌برداری از این سامانه در شرایط بحرانی و خاموشی موقت ایستگاه اصلی بررسی قرار شده است. برای ورود اطلاعات پمپ‌ها به نرم‌افزار، برای هر مدل پمپ، نمودار دبی-ارتفاع و برای شیرهای پروانه‌ای بسته به سایز،جنس شیر و PN آنها نمودار دبی- افت اعمال شده است. در شکل (۳) تصویری از شبیه‌سازی سامانه انتقال آب غدیر در محیط نرم‌افزار WaterGEMS آمده است.



شکل ۳- تصویر شبیه‌سازی سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در نرم‌افزار WaterGEMS

- اندازه‌گیری‌های میدانی و واسنجی

در مرحله اول، مدل هیدرولیکی بهره‌برداری سامانه موجود آبرسانی غدیر در نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی تهیه شده است. پس از وارد کردن مشخصات کامل و مورد نیاز سامانه آبرسانی و ساخت مدل، می‌بایست با استفاده از اطلاعات میدانی، مدل بازبینی شود. این فرآیند واسنجی است و اولین گام، جمع‌آوری اطلاعات میدانی می‌باشد. مهمترین اطلاعات جمع‌آوری‌شده میدانی معمولاً اندازه‌گیری‌های فشار و جریان می‌باشند. به‌این‌منظور جهت واسنجی نقاطی که در مسیر انتقال، اندازه‌گیری فشار در آنها امکان‌پذیر می‌باشد با بررسی نقشه‌های موجود و بازدیدهای محلی شناسایی شده و اندازه‌گیری فشار قبل و بعد از آنها انجام و همچنین بروز نشتی‌های احتمالی در مسیر انتقال مورد بررسی و ثبت شده است. همچنین فشار در خروجی ایستگاه‌های پمپاژ غدیر شمالی، فتح‌المبین، چمران و دارخوین نیز توسط اپراتورها به صورت ساعتی قرائت و ثبت شده است. بدیهی است هرچه تعداد نقاط (گره‌های) آزمون در یک سامانه بیشتر باشد، مطالعات صورت گرفته در این سامانه دقت عمل و قابلیت اطمینان بیشتری خواهند داشت. به‌طور هم‌زمان دبی‌سنج‌های نصب شده در ایستگاه‌های پمپاژ مذکور و کنتورهای مشترکین و تصفیه‌خانه‌ها به‌طور ساعتی توسط اپراتورها قرائت و ثبت شده است. کالیبراسیون، فرآیند مقایسه نتایج مدل با نتایج میدانی برداشت شده و در صورت نیاز تنظیم پارامترهای سامانه انتقال تا رسیدگی به هماهنگی مناسب بین نتایج مدل با نتایج میدانی در بازه گسترده‌ای از شرایط مختلف عملکردی سامانه می‌باشد (Ormsbee، ۱۹۸۹).

پس از واسنجی مدل، در مرحله دوم عملکرد این سامانه انتقال از نظر کیفی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

- بررسی کیفیت آب سامانه انتقال آب غدیر

به دلیل انتقال و تحویل آب خام از طرح غدیر به تصفیه‌خانه‌های شهرهای مورد نظر، پارامتر EC یا شوری آب اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا سایر پارامترهای کیفی آب پس از تحویل آب خام غدیر، در تصفیه‌خانه‌ها کنترل و اقدامات لازم جهت بهبود کیفیت آن انجام می‌شود. تا سال ۱۴۰۱ برداشت آب و انتقال آن از کانال پای‌پل کرخه با مقادیر EC حدود ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰میکرو زیمنس بر سانتی‌متر انجام می‌شد که مطابق استاندارد کیفیت آب‌های ایران نبود (استاندارد کیفیت منابع آب برای کاربری شرب کمتر از ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد). بنابراین از نیمه دوم سال ۱۴۰۱ به‌منظور بهبود کیفیت آب تحویلی به تصفیه‌خانه شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی، تلمبه‌خانه غدیرشمالی با هدف ارسال آب از کانال W2 (سد انحرافی دز) به تأسیسات فتح المبین تأسیس شد و ایستگاه پمپاژ شهدای هویزه که با برداشت ۱۵ درصد از حجم کل آب موردنیاز از کانال MC1 کرخه عملیات آبرسانی به آبادان، خرمشهر و تصفیه‌خانه دارخوین را انجام می‌داد از مدار آبرسانی خارج شد و در نتیجه ۹۰ درصد آب ارسالی از کانال W2 سد انحرافی دز انجام می‌شود. در ادامه به بررسی روند تغییرات کیفیت آب ارسالی تحت تأثیر این امر پرداخته شده است.

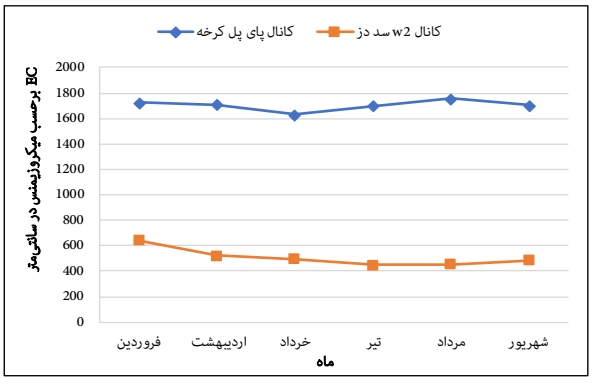
- حفظ پایداری عملیات آبرسانی در شرایط خاموشی ایستگاه اصلی سامانه انتقال آب غدیر

باتوجه‌به اهمیت سامانه انتقال آب غدیر خوزستان، یکی از موثرترین تأمین‌کنندگان آب مورد نیاز شهرهای مرکزی، غرب و جنوب‌غرب این استان، و بروز حوادثی مانند خرابی، تعمیرات، سرویس و نگهداری برنامه‌ریزی شده تجهیزات و شکستگی در لوله‌های درون ایستگاه اصلی به‌عنوان تأمین‌کننده ۹۰ درصد از کل حجم آب ارسالی این سامانه، موجب اختلال و توقف در امر آبرسانی می‌شود بنابراین بررسی راه‌حل مناسب برای تداوم بهره‌برداری و پایداری آبرسانی امری ضروری است. به‌این‌منظور یک راهکار جهت انتقال موقت آب از تلمبه‌خانه غدیر شمالی (به‌عنوان ایستگاه پمپاژ بالادست) به‌صورت مستقیم به مخازن متعادل کننده فتح‌المبین بررسی شده است. در مدل هیدرولیکی ساخته‌شده توسط نرم‌افزار WaterGEMS، از خط لوله انتقال خروجی این ایستگاه که با سایز ۲۴۰۰ میلی‌متر و به طول ۷۳ کیلومتر تا لاگون‌های فتح‌المبین امتداد دارد، قبل از ورودی به لاگون‌ها یک خط لوله با سایز ۲۰۰۰ میلی‌متر و به طول ۷۰۰ متر برای دور زدن مسیر خط انتقال اصلی در نظر گرفته و به‌صورت مستقیم به خط انتقال خروجی از تأسیسات فتح‌المبین متصل و تلمبه‌خانه فتح‌المبین را خاموش کرده و میزان حجم آب انتقالی از ایستگاه بالادست به مخازن متعادل کننده در شرایط هیدرولیکی مختلف، بررسی شده است.

نتایج و بحث

در این پژوهش، به‌منظوربررسی و ارائه راهکاری مناسب برای تداوم بهره‌برداری و آبرسانی سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط پدافندی، شبیه‌سازی این سامانه در محیط نرم افزار WaterGEMS انجام شد و عملکرد این سامانه از نظر کیفی نیز بررسی شد.

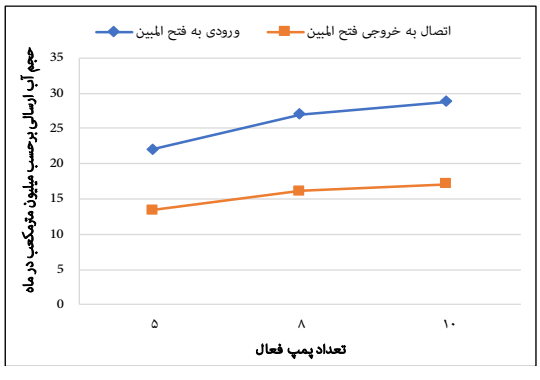
برای بررسی تغییرات کیفی آب ارسالی در سامانه انتقال تحت تأثیر تغییر منبع تأمین آب آن از کانال پای‌پل کرخه به کانال w۲ سد انحرافی دز، متوسط مقادیر ماهیانه EC این دو منبع تأمین آب برای یک دوره شش ماهه (فروردین تا شهریور) بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی، در شکل (۴) مقایسه شده است.



شکل ۴- مقایسه مقادیر ماهیانه EC منابع تأمین آب سامانه آبرسانی غدیر (شرایط قبل و فعلی)

مقایسه نتایج شکل (۴) نشان می‌دهد در صورت برداشت آب از کانال W2 سد انحرافی دز میزان EC حدود ۶۸ درصد کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که برای کانال پای‌پل کرخه میزان این پارامتر در بازه ۱۶۳۳ تا ۱۷۲۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مشاهده شده است اما برای کانال W2، بازه تغییرات آن ۴۴۸ تا ۶۴۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده است. مطابق استاندارد کیفیت آب‌های ایران میزان EC منابع آب برای کاربری شرب می‌بایست کمتر از ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد و نتایج ارائه شده دلالت بر کیفیت مطلوب آب کانال W2 به‌عنوان منبع تأمین آب دارد. بنابراین با جایگزین کردن کانال W2 (سد انحرافی دز) به‌عنوان منبع برداشت آب به جای کانال پای‌پل کرخه، آب خام تحویلی به شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی از کیفیت بسیار مطلوبتری برخوردار خواهد بود که این امر تأثیر مهمی در رسالت آبرسانی شهری خواهد داشت.

در راهکار ارائه شده به‌منظور حفظ پایداری امر آبرسانی در شرایط اضطراری و خاموشی موقت ایستگاه پمپاژ فتح‌المبین، در نرم‌افزار یک خط لوله از خط انتقال خروجی ایستگاه غدیر شمالی و قبل از ورودی به تأسیسات فتح‌المبین به‌صورت مستقیم به خروجی فتح‌المبین برای دور زدن مسیر انتقال در نظر گرفته شده است تا در این شرایط آب از ایستگاه بالادست به مخازن فتح‌المبین انتقال یابد. در شکل (۵) میزان حجم آب پمپاژ شده بر اساس تعداد پمپ‌های فعال در مدار آبرسانی ایستگاه بالادست در شرایط ارسال مستقیم از این ایستگاه به الف) ورودی تلمبه‌خانه فتح‌المبین، ب) خروجی فتح‌المبین توسط خط لوله پیشنهادی و ارسال آن به مخازن متعادل‌کننده مقایسه شده است.



شکل ۵- مقایسه مقادیر حجم آب ارسالی از تلمبه‌خانه غدیر شمالی در شرایط ارسال به الف) فتح‌المبین و ب) مخازن متعادل‌کننده

بر اساس نتایج شکل (۵)، میزان حجم آب ارسالی از تلمبه‌خانه غدیر شمالی به لاگون‌های فتح‌المبین در شرایط بهره‌برداری فعلی، بر اساس تعداد ۵، ۸ و ۱۰ پمپ فعال در مدار آبرسانی به ترتیب ۲۲/۱، ۲۷ و ۲۸/۸ میلیون متر مکعب در ماه می‌باشد که در شرایط اضطراری و خاموشی موقت ایستگاه اصلی (فتح‌المبین)، می‌توان از طریق یک خط لوله و اتصال مستقیم آن از خط خروجی ایستگاه غدیر شمالی به خروجی این ایستگاه برای دور زدن مسیر انتقال بر اساس تعداد ۵، ۸ و ۱۰ پمپ فعال در مدار آبرسانی، به ترتیب ۱۳/۴، ۱۶/۱ و ۱۷/۱ میلیون مترمکعب در ماه یعنی ۶۰ درصد از حجم آب موردنیاز را به‌صورت مستقیم به مخازن متعادل‌کننده فتح‌المبین جهت حفظ پایداری عملیات آبرسانی انتقال داد.

در ادامه به بررسی روند تغییرات فشار در طول مسیر خط انتقال از تلمبه‌خانه غدیر شمالی تا مخازن متعادل کننده نیز تحت راهکار پیشنهادی، پرداخته شده است. بر روی خط انتقال مذکور که ۷۳ کیلومتر می‌باشد تعداد ۷۰ عدد شیرهوا با سایز ۲۰۰ میلی‌متر جهت تخلیه هوای درون خط در هنگام پر کردن از آب و تخلیه لوله‌ها در هنگام بهره‌برداری و تخلیه هوای محبوس شده در نقاط مرتفع خط انتقال که موجب مشکلات زیادی از نقطه نظر هیدرولیکی خواهد شد (مانند کاهش

جریان سیال عبوری از مقطع) نصب شده و همچنین ۴۵ عدد شیر پروانه‌ای در راستای ایزوله کردن و تخلیه مقطعی آب در زمان بروز خرابی و انجام عملیات تعمیرات تعبیه شده است. بنابراین برای بررسی روند تغییرات فشار در طول این مسیر، به دلیل کثرت تعداد شیرهای تعبیه شده بر روی خط، در شکل (۶) به‌عنوان نمونه، مقادیر فشار در خروجی تلمبه‌خانه (ابتدای مسیر)، مخازن متعادل کننده (انتهای مسیر) و همچنین حداقل و حداکثر فشار در طول این مسیر جهت تمهیدات لازم برای بهره‌برداری آورده شده و بر اساس تعداد پمپ فعال در مدار آبرسانی مقایسه شده است.

Base - Pressure - Pumpstation (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km22 (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km70 (bars)	Base - Pressure - Reservior (bars)
7.38	5.76	10.27	1.01

الف) در شرایط ۵ پمپ فعال

Base - Pressure - Pumpstation (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km22 (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km70 (bars)	Base - Pressure - Reservior (bars)
8.61	6.67	10.55	1.02

ب) در شرایط ۸ پمپ فعال

Base - Pressure - Pumpstation (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km22 (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km70 (bars)	Base - Pressure - Reservior (bars)
9.07	7.01	10.66	1.02

ج) در شرایط ۱۰ پمپ فعال

شکل ۶- روند تغییرات فشار از تلمبه‌خانه غدیر شمالی تا مخازن متعادل‌کننده بر اساس تعداد پمپ فعال با وجود خط لوله پیشنهادی در شرایط ارسال مستقیم به مخازن متعادل‌کننده

بر اساس نتایج شکل (۶)، حداقل فشار در کیلومتر ۲۲ که بالاترین نقطه ارتفاعی مسیر و حداکثر فشار در کیلومتر ۷۰ که در پایین‌ترین نقطه ارتفاعی مسیر واقع شده، مشاهده شده است. به‌طوری‌که در شکل (۶-الف)، برای تعداد ۵ پمپ فعال در مدار آبرسانی، جریان تحت فشار ۷/۳۸ بار از تلمبه‌خانه غدیرشمالی از طریق خط لوله پیشنهادی برای دور زدن مسیر انتقال به سمت مخازن متعادل کننده انتقال می‌یابد و در محل مخازن فشار به ۱ بار تقلیل یافته است و بازه تغییرات فشار در طول مسیر از ۵/۷۶ تا ۱۰/۲۷ بار مشاهده شده است. تغییرات فشار برای تعداد ۸ و ۱۰ پمپ فعال در مدار آبرسانی نیز در شکل (۶-ب و ج) قابل مشاهده است که در صورت اجرای خط لوله پیشنهادی برای دور زدن مسیر انتقال می‌بایست تمهیدات لازم جهت بهره‌برداری درنظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با استفاده از روش شبیه‌سازی در نرم‌افزار WaterGEMS، به مطالعه و بررسی راهکار مناسب برای استمرار آبرسانی در سامانه انتقال آب غدیر در خوزستان پرداخته، همچنین میزان تغییرات آب ارسالی از نظر کیفی با جایگزین کردن منبع تأمین آب دیگری در این سامانه بررسی شده است. بر اساس نتایج، تأسیس تلمبه‌خانه غدیر شمالی در بالادست ایستگاه اصلی سامانه انتقال آب غدیر (تأسیسات فتح‌المبین) به منظور برداشت آب از کانال w۲ (سد انحرافی دز) به‌عنوان منبع تأمین آب جدید بجای برداشت آب از کانال پای‌پل کرخه و ارسال ۹۰ درصد از کل آب موردنیاز شهرهای مورد نظر از این منبع جدید توسط تلمبه‌خانه فتح‌المبین، این امر تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت آب انتقالی داشته است به‌طوری‌که برداشت آب از کانال w۲ دز در مقایسه با کانال پای‌پل کرخه میزان EC را حدود ۶۸ درصد کاهش داده و به حدود ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌رساند که مطابق استاندارد کیفیت آب‌های ایران، کیفیت این منبع آب برای کاربری شرب که می‌بایست کمتر از ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد، مورد تأیید می‌باشد. از طرفی، از دیگر مزیت‌های تلمبه‌خانه غدیر شمالی، حفظ پایداری امر آبرسانی در شرایط اضطراری و خاموش شدن موقت ایستگاه فتح‌المبین می‌باشد به‌طوری‌که می‌توان از خط انتقال خروجی از آن و قبل از ورودی به تاسیسات فتح‌المبین یک خط لوله برای دور زدن مسیر انتقال، به خروجی فتح‌المبین متصل و ارسال آب به‌طور موقت از این ایستگاه به مخازن متعادل‌کننده فتح المبین انجام شود که در این حالت بر اساس نتایج شبیه‌سازی، ۶۰ درصد از کل حجم آبی که توسط فتح‌المبین ارسال می‌شد را می‌تواند تأمین و پمپاژ نماید که این امر از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. بر اساس نتایج پژوهش‌ها مبنی بر لزوم مدل‌سازی سیستم‌های آبرسانی برای رفع چالش‌های بهره‌برداری و اهمیت پدافند غیرعامل این سامانه‌ها، این پژوهش نیز با ساخت مدل هیدرولیکی بهره‌برداری توانست راهکاری مناسب برای تداوم آبرسانی سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط بحرانی را بیان کند که می‌توان در راستای هرچه بهتر مدیریت کردن بهره‌برداری در این شرایط آن را پیشنهاد کرد و با توجه به مدل هیدرولیکی موجود توصیه می‌گردد که با توجه به افزایش تقاضای آب در دراز مدت، راهکارهای موثر برای بهینه‌سازی و بهینه‌کردن بهره‌برداری و رفع چالش‌هایی که این سامانه انتقال در آینده ممکن است مواجه شود مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

منابع

احسانی‌فر، محمد، همتا، نیما، و عبدالهیان، مهرانگیز. (۱۳۹۷). مدیریت بحران آب شهر اراک با استفاده از رویکرد پویایی‌های سامانه. فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، ۷(۱)، ۵-۱۲. doi: 20.1001.1.23453915.1397.7.1.1.0

پورطبری، محمود، و پورطبری، محسن. (۱۳۹۶). حفاظت سامانه‌های آبرسانی با رویکرد پدافند غیرعامل. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. انجمن هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

توکلی امینیان، ثمانه. (۱۳۹۲). توانمندسازی پدافند غیرعامل در افزایش امنیت آبرسانی به ساکنین منطقه ۹ شهر مشهد. اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار. دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

جعفری دهکاء، علی، و نوربخش، نوید. (۱۳۹۷). ارزیابی اجرای پدافند غیرعامل در مجتمع‌های بزرگ آبرسانی مطالعه موردی تأسیسات شهید خوشسیرت آستانه اشرفیه. دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. انجمن آب و فاضلاب ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

جویلی، پرهام، و حیدرنژاد، محمد. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر کاهش قطر لوله بر سرعت جریان و بر افت فشار در خط انتقال آب دارخوین با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، ۲(۲)، ۲۳-۳۲. doi: https://doi.org/10.22034/nawee.2023.394572.1040

روان قلاتی، اکبر، و احمدی، سید حمید. (۱۳۹۷). مدل‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شرب شهرک بزین شهر شیراز. مجله پژوهش آب ایران، ۱۲(۳)، ۹۹-۱۰۸.

ریاحی پور، مجید، کلانتری، محسن، و پیری، عیسی. (۱۳۹۹). مدیریت و برنامه‌ریزی بحران در تأسیسات آب شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی شهر یاسوج). آب و فاضلاب، ۳۱(۲)، ۱۳۰-۱۳۶. doi: 10.22093/wwj.2019.91349.2445

مودی، صادق، محتشمی، علی، و قادری، عباسعلی. (۱۳۹۴). پدافند غیرعامل تأسیسات آبی در شرایط بحران و تأثیر بر کیفیت منابع آب. اولین همایش ملی کیفیت منابع آب و توسعه پایدار. شرکت سهامی آب منطقه‌ای مرکزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

نصیریان، علی، ملازاده، مهدی، و ولوی، علی. (۱۴۰۰). معرفی روشی جدید برای کالیبراسیون زبری لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب. مجله آب و فاضلاب، ۳۲(۲)، ۸۰-۹۰. doi: 10.22093/wwj.2020.233434.3029

نظری، علی. (۱۳۹۰). طراحی شبکه‌های آبرسانی با WaterGEMS، انتشارات الیاس. چاپ اول. تهران، ایران.

Awe, O.M., Okolie, S.T.A., & Fayomi, O.S.I. (2020). Analysis and optimization of water distribution systems: a case study of Kurudu post service housing estate. Abuja, Nigeria. Reaults in Engineering, 5, 100100, 13-26. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100100

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. Hellyion, 8(11), e11257, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11257

Dini, M., & Asadi, A. (2019). Pressure Management of Large-Scale Water Distribution Network Using Optimal Location and Valve Setting. Water Resources Management, 33(1), 1-13. doi: 10.1007/s11269-019-02381-x

Dini, M., Hemmati, M., & Hashemi, S. (2022). Optimal operational scheduling of pumps to improve the performance of water distribution networks. European Water Resources Association (EWRA), 36(1), 417-432. doi: 10.1007/s11269-021-03034-8

Kettler, A.J., & Goulter, I.C. (1985). An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks. Canadian Journal of Civil Engineering, 12, 286-293. https://doi.org/10.1139/l85-030

Mohammadi, K. (2023). Improved strategy management for WDNs: Integrated prioritization SWOT QSPM (IPSQ) method-Application to passive defense. Socio-Economic Planning Sciences, 88, 15-28. doi.org/10.1016/j.seps.2023.101663

Ormsbee, L.E. (1989). Implicit Network Calibration. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 115(2), 243-257. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1989)115:2(243)