

Document Type

Case Study

مطالعه موردی

نوع مقاله

## Hydraulic Modeling and Executive Proposal for Quality Management of Inflow Water to the Darkhovayn Water Treatment Plant

## مدل سازی هیدرولیکی و ارائه اجرایی به منظور مدیریت کیفی آب ورودی به تصفیه خانه آب دارخوین

D. Horri<sup>1</sup>, J. Ahadiyan<sup>2\*</sup>, M. Shafai Bejestan<sup>2</sup>, S.M. Sajjadi<sup>3</sup>

داود حری<sup>۱</sup>، جواد احدیان<sup>۲\*</sup>، محمود شفاعی بجهستان<sup>۲</sup> و سید محسن سجادی<sup>۳</sup>

1, 2, 3- Ph.D. Student, Professor, and Associate Professor of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار سازه های آبی، دانشکده آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

\* Corresponding Author Email: j.ahadiyan@scu.ac.ir

\* رایانامه نویسنده مسئول: j.ahadiyan@scu.ac.ir

Received 20-03-2025  
Revised 16-07-2025  
Accepted 23-07-2025  
Available online 16-12-2025

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۲/۳۰  
تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۴/۲۵  
تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۵/۰۱  
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

### Abstract

### چکیده

The Darkhovayn water treatment plant supplies drinking water to the cities of Darkhovayn, Shadegan, and surrounding villages. Its inflow is provided both gravitationally from the Dez diversion dam via the Ghadir Khuzestan water transmission system and simultaneously by pumping from the Karun River. After being combined in a mixing basin, the water enters clarifiers and is then transferred to the treatment plant. This study, using simulation in WaterGEMS software, conducts a hydraulic analysis and investigates a practical and feasible solution to separate and directly transfer the Ghadir water during incidents such as rainfall, river flooding, and seasonal turbidity events. To achieve this, a direct branch was connected from the Ghadir water transmission pipeline at the entry point of the Darkhovayn facilities to the inlet of the treatment plant, and its optimal size was determined to maintain the pre-branch hydraulic conditions. The results from hourly measured turbidity values showed that after implementing the new branch, due to a 50% reduction in the volume of water entering the clarifiers and an increase in the retention time, the turbidity of the water exiting the clarifiers decreased by 25%. This is of great significance for the operation and maintenance of the clarifiers. Furthermore, based on the results, the turbidity of the water entering the treatment plant was reduced by 50%, and under conditions where no water is drawn from the river, 52% of the required water for the cities and surrounding villages can be supplied through the proposed solution using the Ghadir water transmission system.

تصفیه خانه دارخوین، تأمین کننده آب شرب شهرهای دارخوین، شادگان و روستاهای حومه آن می باشد. آب ورودی به آن، به صورت ثقلی از سد انحرافی دز توسط سامانه انتقال آب غدیر خوزستان و به طور هم زمان توسط پمپاژ از رودخانه کارون تأمین می شود که پس از ترکیب در حوضچه اختلاط، وارد کلاریفایرها و به تصفیه خانه منتقل می شود. پژوهش حاضر با استفاده از روش شبیه سازی در نرم افزار WaterGEMS، به مطالعه هیدرولیکی و بررسی راهکار عملی و قابل اجرا به منظور تفکیک و انتقال مستقیم آب غدیر که کدورت مطلوب تری در مقایسه با آب کارون در شرایط بروز حوادثی مانند بارندگی، طغیان رودخانه و مواجهه با کدورت های فصلی دارد، پرداخته است. به این منظور، از سامانه انتقال آب غدیر در محل ورودی به تأسیسات دارخوین، یک انشعاب به صورت مستقیم به ورودی تصفیه خانه متصل شده و سایز بهینه آن با هدف حفظ شرایط هیدرولیکی قبل از انشعاب، تعیین شده است. نتایج حاصل از مقادیر کدورت ساعتی اندازه گیری شده نشان داد پس از اجرای انشعاب جدید به دلیل کاهش ۵۰ درصدی حجم آب ورودی به کلاریفایرها و افزایش دو برابری زمان ماند، کدورت آب خروجی از آنها ۲۵ درصد کاهش یافته است که این امر در انجام عملیات سرویس و نگهداری کلاریفایرها اهمیت زیادی دارد. همچنین بر اساس نتایج، کدورت آب ورودی به تصفیه خانه به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته و در شرایط عدم آبیگری از رودخانه نیز می توان توسط راهکار پیشنهادی، ۵۲ درصد از آب مورد نیاز شهرها و روستاهای حومه آن ها را توسط سامانه انتقال آب غدیر تأمین کرد.

**Keywords:** Ghadir Khuzestan Water Transmission System, Darkhovayn Water Treatment Plant, Hydraulic Model and Water Turbidity.

**واژه های کلیدی:** سامانه انتقال آب غدیر خوزستان، تصفیه خانه دارخوین، مدل هیدرولیکی و کدورت آب.

### How to cite this article:

How to cite this article: Horri, D., Ahadiyan, J., Shafai Bejestan, M., & Sajjadi S.M. (2025). Hydraulic Modeling and Executive Proposal for Quality Management of Inflow Water to the Darkhovayn Water Treatment Plant. Journal of Water and Sustainable Development, 12(3), 32-44. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v12i3.2503-1413>

این محصول با قابلیت ArcGIS توانایی انجام و انتقال نتایج حاصل از محاسبات جغرافیایی را دارد و تمام کارایی برنامه WaterCad در برنامه WaterGEMS موجود می‌باشد. این نرم‌افزار دارای سه برنامه اساسی است (Darwin Scheduler و Darwin Calibrator, Darwin Designer) که دو مورد آن مربوط به بهره‌برداری و یکی از آن‌ها مربوط به طراحی است و بر این اساس، برای حل مشکلات طراحان و بهره‌برداران موثر می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار می‌توان به تحلیل سیستم لوله‌کشی، ساخت مدل‌های هیدرولیکی و مدل‌سازی دقیق پمپ‌های آب، مدیریت خطوط انتقال آب، ایستگاه پمپاژ و سیستم آبیاری تحت فشار اشاره کرد. محاسبه پارامترهای هیدرولیکی، طراحی بهینه شبکه توزیع و تشخیص نشت آب در شبکه نیز از جمله قابلیت‌های WaterGEMS است. 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).

در طی سالیان اخیر، مطالعات زیادی در زمینه اهمیت مدیریت کیفی منابع تأمین آب و آب ورودی به تصفیه‌خانه انجام شده است که در ادامه راهکارهای مدیریتی ارائه شده توسط پژوهشگران بررسی شده است.

فریدی‌راد و قلی‌نژاد (۱۴۰۰) به بررسی ویژگی‌های کیفیت شیمیایی و تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر پردیس پرداخته‌اند و به‌همین منظور طی یک سال، از پنج چاه فلمن اطراف رودخانه جاجرود و مخزن مربوط به آبگیر سد لتیان نمونه‌برداری انجام داد و بر اساس مقادیر پارامترهای کیفی نمونه‌های آب شامل PH، کل جامدهای محلول، سختی‌های دائم، موقت و کل، کلیایی و آنیون‌های آب و پتانسیل خوردگی آب با محاسبه شاخص‌های لانژی، لایزرن، خوردگی، پورکورپوس و لارسون مشخص شد. طبق نتایج به‌دست آمده، در کل، کیفیت آب ورودی متمایل به خوردگی بوده و توصیه شده که خطوط انتقال و توزیع آب از جنس مقاوم انتخاب شود یا اقداماتی همچون پوشش دیواره داخلی لوله یا اصلاح کیفیت آب انجام گیرد.

معصومی و همکاران (۱۳۹۸) چگونگی تأثیرگذاری کیفیت آب ورودی به تصفیه‌خانه در تغییر رنگ آب و همچنین ایجاد کف در واحدهای مختلف فرآیندی تصفیه آب را بررسی کردند. این پژوهش به صورت مطالعه موردی و در مقیاس واقعی بر روی آب خام ورودی به تصفیه‌خانه آب کوه سبز انجام شده است. پژوهش در طول ۶ ماه در فاصله زمانی بهمن ماه سال ۹۵ تا تیر ماه سال ۹۶ انجام گرفته است. در مرحله اول کیفیت آب خام بر اساس روش‌های استاندارد ارزیابی شد. در مرحله بعد تأثیر هر یک از پارامترها از قبیل دما، کدورت، رنگ، PH، TOC و DOC در ایجاد رنگ و کف در واحدهای فرآیندی تصفیه آب و مکانیسم تأثیرات بررسی شد. نتایج نشان داد

سامانه‌های آبرسانی از جمله زیرساخت‌های اساسی محسوب می‌شوند که نقش اصلی را در تأمین آب با کمیت و کیفیت مناسب بر عهده دارند. هرگونه اختلال در عملکرد آنها می‌تواند موجب عدم دسترس بخش زیادی از جامعه به آب سالم شود. از اجزای اصلی سامانه‌های آبرسانی تصفیه‌خانه‌های آب هستند. تهدیدات یک تصفیه‌خانه آب شامل منشأ انسانی، منشأ طبیعی از قبیل زلزله، سیل و خشکسالی و یا حتی دارای منشأ عملکردی مانند خطای مدیریتی، عدم وجود طراحی صحیح و کنترل منظم اجزای یک تصفیه‌خانه آب است. عدم توجه کافی به این موارد و همچنین بی‌توجهی به شناخت نقاط آسیب‌پذیر، می‌تواند سلامت افراد جامعه را تهدید کرده و هزینه‌های درمانی را بالا ببرد. باتوجه به این عوامل، بررسی وضعیت فعلی تصفیه‌خانه‌ها و نیز پیشبینی و بررسی شرایط اضطراری و بحرانی محتمل در این سیستمها اهمیت زیادی دارد و بررسی وضعیت سیستم تصفیه‌خانه آب برای مواجهه با شرایط اضطراری و بحرانی ضروری است (تابش و همکاران، ۱۳۹۷).

طرح آبرسانی غدیر از سال ۱۳۸۷ با هدف آبرسانی جهت رفع نیاز شهرهای مرکزی، جنوب 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 (پوستی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۳).

تصفیه‌خانه دارخوین به عنوان بخشی از طرح جامع آبرسانی غدیر، آب شرب شهرهای شادگان، خنافره و دارخوین و ۱۶۰ روستای تابعه آن با جمعیتی بالغ بر ۲۲۱ هزار نفر را تأمین می‌کند. منابع تأمین آب این تصفیه‌خانه، سامانه انتقال آب غدیر (آب کانال W2 سد انحرافی دز) و رودخانه کارون می‌باشد که پس از ورود به حوضچه اختلاط و تزریق پلی آلومینیوم کلراید به عنوان ماده منعقد کننده، 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 در ورودی به تصفیه‌خانه منتقل می‌شود. از آنجایی که در سال‌های اخیر در فصل بارندگی میزان کدورت آب رودخانه کارون در محل ورودی به تأسیسات دارخوین ۱۲۱۰۰ NTU نیز مشاهده شده است، این مسأله، بهره‌برداری و نگهداری را با مشکلات فراوانی مواجه کرده است.

از جمله نرم‌افزارهایی که برای مدل‌سازی هیدرولیکی در بازار موجود می‌باشد می‌توان به نرم‌افزار WaterGEMS اشاره نمود.

پارامترهای کیفی آب ورودی به تصفیه‌خانه در ایجاد رنگ و کف در واحدهای فرآیندی تصفیه آب موثر هستند. حریف و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود شبکه توزیع شماره ۲ آب شرب شهر زاهدان را به عنوان منطقه مطالعاتی مدنظر قرار دادند و نقاط مستعد با غلظت بالای آلاینده در شبکه را شناسایی کردند. شبیه‌سازی شبکه در اثر وقوع دو ساعته آلودگی، با استفاده از مدل عددی EPANET مدل‌سازی شد. جهت مدیریت کیفی آب در شبکه دو ابزار تخلیه آب با غلظت غیر مجاز و جریان رقیق‌ساز به کار گرفته شده و نتایج آنها در مدیریت بحران مذکور مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی حرکت آلاینده در خاک، غلظت غیرمجاز نیترات در مجاورت لوله با مقدار بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر را نشان داد. نتایج به‌کارگیری ابزار مدیریت کیفی تخلیه آب با غلظت غیرمجاز نشان داد که با قطع نمودن جریان به مدت ۱/۱ تا ۳/۱ بازه زمانی تزریق آلودگی به شبکه و همچنین خروج آب به میزان ۵ تا ۸ درصد دبی پایه لوله، می‌توان از ورود آلودگی به نقاط دیگر شبکه جلوگیری نمود. علاوه‌براین برای اولین بار تأثیر مثبت و کارآمد جریان رقیق‌ساز در مدیریت کیفی شبکه آب به اثبات رسید؛ به‌گونه‌ای که مقدار جریان رقیق‌ساز لازم به‌منظور بهبود وضعیت کیفی شبکه، حدود ۱۶ درصد دبی پایه لوله محاسبه شد.

حریف و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی دیگر، سناریو شبیه‌سازی ۲۴ ساعته شبکه توزیع آب شرب شهر زاهدان پس از وقوع دو ساعته آلودگی، با استفاده از نرم‌افزارهای EPANET، EPANET-BAM و WaterGEMS را مدل‌سازی کردند. دو ابزار کارآمد و مقرون به صرفه زمان ماند و جریان رقیق‌ساز به منظور مدیریت کیفی شبکه استفاده شدند. برای شبیه‌سازی ابزار زمان ماند، شبکه به چهار منطقه نزدیک، میانه، دور و خیلی دور تقسیم شد. نتایج تحلیل کیفی شبکه بیانگر این بود که زمان ماند مورد نیاز گره‌های ناحیه میانه، دور و خیلی دور نسبت به حالت نزدیک به ترتیب بین ۳۳ تا ۵۰، ۵۸ تا ۶۲/۵ و ۷۵ درصد کاهش می‌یابد. در ادامه تأثیر مثبت و کارآمد جریان رقیق‌ساز به‌عنوان یک راهکار مدیریت و کنترل کیفی شبکه توزیع به اثبات رسید. مقدار جریان رقیق‌ساز لازم به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب شبکه، بین ۱۰/۶ تا ۱۵/۹ درصد دبی پایه لوله محاسبه شد.

تابش و همکاران (۱۳۹۷) روش تحلیل ریسک مشهور درخت خطا با دو رویکرد ساده و فازی را برای ارزیابی ریسک تصفیه‌خانه استفاده کردند. مدل آنها در قالب یک مطالعه موردی در تصفیه‌خانه جلالیه تهران ارائه شده است. رویداد نامطلوب در این ساختار، کمیت و کیفیت نامناسب آب بوده است. نتایج پژوهش آنها نشان داد که عملکرد تصفیه‌خانه در رویکرد فازی با احتمال ۱۹ درصد و در حالت غیر فازی حدود ۱۰ درصد با شکست مواجه می‌شود که این مقدار ریسک در بازه کم تا متوسط به‌وجود می‌آید. با رتبه‌بندی رویدادهای پایه مشخص شد تهدیداتی از جمله طراحی نامناسب مخزن، خرابی تجهیزات برق‌رسانی، شکست لوله انتقال و تعمیر و

نگهداری نامناسب پمپ‌ها، بیشترین سهم را در رویکرد و عملکرد تصفیه‌خانه دارند.

Platikanov و همکاران (2019) امکان استفاده از روش‌های شیمی‌سنجی مانند آنالیز اجزای اصلی (PCA) برای تجزیه و تحلیل هم‌زمان چند پارامتر کیفیت آب با هدف اتخاذ استراتژی‌های نظارت جامع‌تر و کنترل کیفیت آب، کاهش زمان و تلاش‌های صرف شده در فرآیند پایش را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد در آینده نزدیک، تشخیص و تجزیه و تحلیل رویدادهای/الگوها را می‌توان با جمع‌آوری داده‌ها از چندین حسگر متصل برای ارزیابی کیفیت آب که منابع اینترنتی را در مدیریت کیفیت آب رودخانه در ورودی آب تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی به همراه روش‌های پیشنهادی در این کار برای ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌های چند متغیره در بر می‌گیرد، تسهیل کرد. استفاده از PCA بر روی داده‌های حسگرها در ورودی آب در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی، امکانات جدیدی را برای تضمین کیفیت بهبود یافته و رویه‌های کنترل برای مدیریت آنها و استراتژی آن ارائه می‌دهد.

Koley و همکاران (2024) کیفیت آب را قبل و بعد از فرآیند تصفیه آب آشامیدنی معمولی ارزیابی کردند. به‌این‌منظور کیفیت آب هر ماه از سه تصفیه‌خانه آب آشامیدنی اصلی در گواهاٹی، آسام، هند به مدت یک سال تجزیه و تحلیل شد. این مطالعه تنوع قابل توجهی در کدورت آب رودخانه سطوح پاتوژن نشان داد. در فصل بارش، کدورت آب رودخانه تا  $20 \pm 470$  NTU رسید و افزایش غلظت پاتوژن در فصول خشک در شرایط جریان کم مشاهده شد. بارها، کدورت آب آشامیدنی و مقادیر MPN از مقدار دستورالعمل BIS در آب آشامیدنی فراتر رفت. کربن آلی کل (TOC)، یکی از پیش‌سازهای اصلی محصولات جانبی ضدعفونی مشاهده شده در آب آشامیدنی تصفیه شده، در محدوده بالاتری در آب قبل و بعد از درمان قرار دارد. پس از درمان، TOC ( $0.5 \pm$ ) ۳/۲۵ میلی‌گرم در لیتر پیدا شد. برای درک بهتر، کیفیت آب با استفاده از شاخص کیفیت آب با وزن آنتروپی اصلاح شده (MEWQI) ارزیابی شد که وضعیت بسیارضعیفی را در آب خام جمع‌آوری شده از رودخانه براهمپوترا نشان داد. درحالی‌که کیفیت آب پس از تصفیه در ماه‌های خاصی از سال در دسته‌بندی مناسب تا خیلی خوب متفاوت بود، اما در هیچ یک از تصفیه‌خانه‌های منتخب هرگز کیفیت عالی حاصل نشد. نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت نشان داد که کدورت و MPN بیشترین سهم را در WQI آب خام به دنبال TOC در آب آشامیدنی دارند. با ارائه داده‌های دقیق کیفیت آب، این مطالعه به نفع محققان، سیاست‌گذاران و دانشمندان آب است. همچنین اتخاذ روش‌های تولید پاک را برای کاهش آلودگی و افزایش کیفیت آب تسهیل می‌کند.

Paca و همکاران (2019) مطالعه خود را با هدف: (۱) ارزیابی کیفیت آب (پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی) سه رودخانه آنگولا (کوانزا، بنگو و دنده) در مکان‌هایی که آب

به عنوان آب آشامیدنی استفاده می‌شود یا برای مصارف انسانی انتزاع می‌شود، ۲) ایجاد یک شاخص کیفیت آب جدید که بتواند به طور کمی کیفیت آب را در آن سایت‌ها بیان کند و ۳) برای ارزیابی توزیع فضایی آلودگی آب از طریق تجزیه و تحلیل اجزای اصلی (PCA) انجام دادند. به این منظور، ارزیابی کیفیت آب با انجام چهار بررسی میدانی کمپین‌های I تا IV انجام شد. دو کمپین اول در فصل خشک و دو کمپین آخر در فصل بارانی انجام شد. در دو کمپین اول، کیفیت آب برای تصفیه برای تولید آب آشامیدنی مناسب بود، در حالی که در دو کمپین آخر، آب برای این منظور نامناسب بود (سطوح بالایی از کلیرم‌های مدفوعی تشخیص داده شد). گندزدایی ابتدایی که معمولاً توسط تأمین‌کنندگان آب انجام می‌شود ممکن است کیفیت آب را بهبود بخشد، اما برای دستیابی به مقادیر پارامتری مورد نیاز برای مصرف انسانی در فصل باران کمپین‌های III و IV به جز سایت‌های بنگو کافی نبود.

Singh و Kumar (۲۰۲۱) کیفیت و خورندگی رودخانه گانگا را برای سال ۲۰۱۹ در فصول قبل، پس و فصل موسمی تعیین کردند. به این منظور، کیفیت آب گانگا بر اساس شاخص کیفیت آب (WQI) و پتانسیل خوردگی تعیین شد و بیست و یک نمونه در فصول پیش، پس و فصل موسمی گرفته شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل کدورت، pH، کلسیم، سولفات، نیتрат، کل جامد محلول، منیزیم، کلرید، سختی، اکسیژن محلول، قلیابیت، نیاز بیوشیمیایی اکسیژن، دما، هدایت الکتریکی، مقایسه شد، همچنین PSI، AI، RSI، LSI و Ls بر اساس بیان ریاضی محاسبه شدند. نتیجه‌گیری شد که باتوجه به افزایش مقادیر BOD، کدورت و MPN/100 میلی‌لیتر در تمامی نمونه‌ها، آب رودخانه گانگا برای مصارف شرب بدون تصفیه و همچنین انجام اقدامات مدیریتی لازم قبل از تصفیه مناسب نیست.

در این پژوهش مطالعات و تحقیقات انجام شده پیرامون مدیریت کیفی منابع تأمین آب سامانه‌های انتقال و توزیع آب و همچنین آب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها به منظور بررسی راهکارهای ارائه شده پرداخته شد که نتایج آنها بر اهمیت کنترل کیفیت آب و اجرای راهکارهای مدیریتی در راستای ساماندهی مناسب برای بهره‌برداری بیشتر از آنها تأکید می‌کند. بر این اساس، در این پژوهش کدورت منابع تأمین آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین (سامانه آبرسانی غدیر خوزستان و رودخانه کارون)، تأمین کننده آب شرب شهرهای دارخوین، شادگان و روستاهای حومه آن بررسی شد و به ارائه راهکار مدیریتی لازم در شرایط بروز حوادثی مانند بارندگی، طغیان رودخانه و مواجهه با کدورت‌های فصلی رودخانه که موجب کاهش کارایی فیلترها می‌شود، پرداخته شد. به این منظور ساخت مدل هیدرولیکی بهره‌برداری این سامانه انتقال مشتمل بر ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال و مخازن متعادل‌کننده و همچنین تأسیسات دارخوین در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شد و سپس در مدل موجود از نظر هیدرولیکی، یک راهکار عملی و قابل اجرا به منظور تفکیک و

انتقال مستقیم آب غدیر (با کیفیت مطلوب‌تر در مقایسه با آب کارون) به تصفیه‌خانه دارخوین قبل از ارسال به حوضچه اختلاط (ترکیب آن با آب رودخانه کارون و ارسال به کلاریفایرها) بررسی شد و این امر با هدف حفظ شرایط بهره‌برداری قبل از اجرا انجام شد به طوری که پس از اجرای انشعاب، میزان کل حجم آب ورودی به تصفیه‌خانه (آب غدیر و کارون)، معادل با حجم آب ارسالی در شرایط بهره‌برداری قبل از اجرا باشد. پس از انجام عملیات اجرایی انشعاب پیشنهادی، تأثیر آن بر کدورت آب خروجی از کلاریفایرها و آب ورودی به تصفیه‌خانه با استفاده از مقادیر کدورت مربوط به سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ که به صورت ساعتی قرائت و ثبت شد، ارزیابی شد.

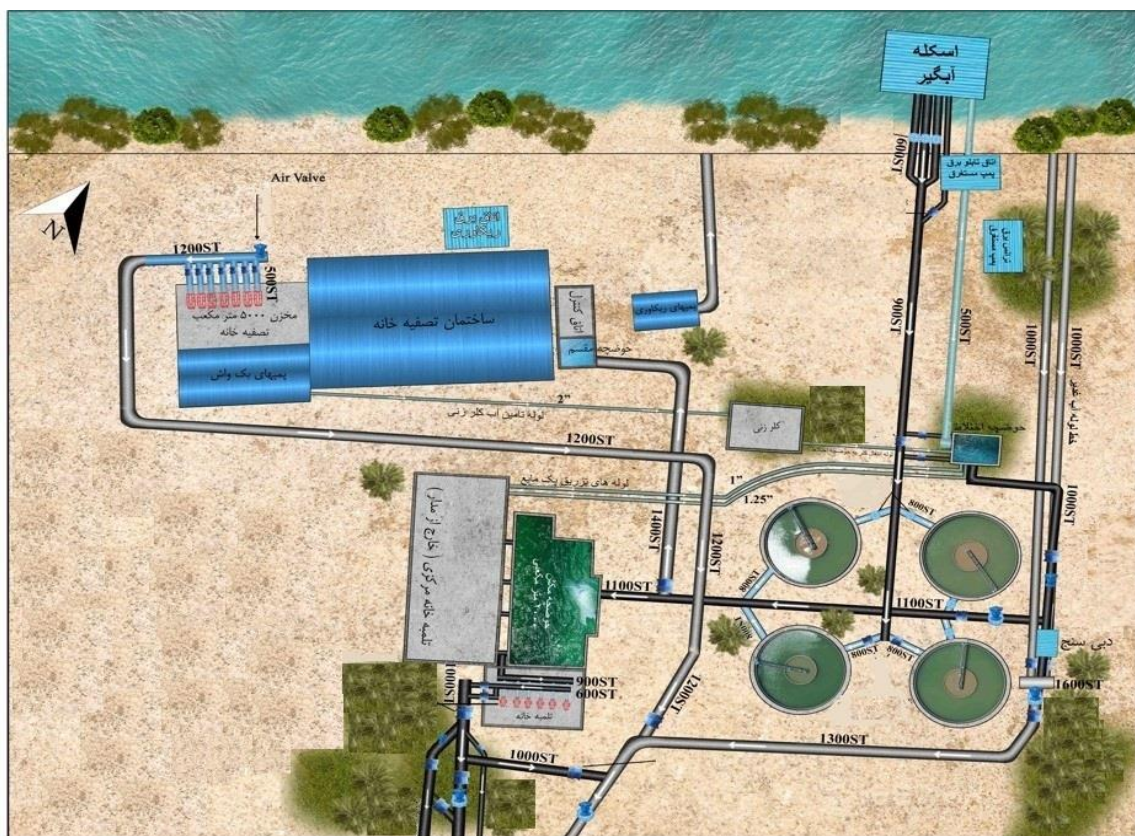
### مواد و روش‌ها

#### سامانه آبرسانی غدیر و تصفیه‌خانه مورد مطالعه

- در این سامانه آبرسانی، آب از کانال W2 (سد انحرافی دز) توسط ۱۲ دستگاه الکتروپمپ (پمپ ایران مدل ۵۰۰-۸۳۵) 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 (۶ عدد پمپ پتکو و ۲ 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 به صورت ثقلی به تصفیه‌خانه‌های شماره ۱ و ۲ اهواز (ملی راه و کیان آباد)، دشت آزادگان، آبادان، خرمشهر و دارخوین روستاها انتقال می‌یابد.
- آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین علاوه بر خط آبرسانی غدیر، به طور مستقیم از رودخانه کارون توسط ۲ دستگاه الکتروپمپ (مدل پمپ ایران) با توان ۱۳۲ کیلووات و ۳ دستگاه الکتروپمپ فشار ضعیف (لولیفیت) با توان ۱۳۲ تا ۱۶۰ کیلووات مستقر در اسکله آبگیر تأمین و بعد از عبور آب از حوضچه اختلاط و اضافه شدن پلی آلومینیوم کلراید جهت ته‌نشین شدن ذرات معلق، آب خروجی از حوضچه، بین چهار دستگاه کلاریفایر با ظرفیت ۱۱۰۰ متر مکعب در ساعت (در مجموع ۴۴۰۰ متر مکعب) 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

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. در کل، مجموع دبی ارسالی از تأسیسات دارخوین (معادل ۱۳۵۰۰۰ متر مکعب در شبانه روز)، آب مورد نیاز شادگان، خانفرو و دارخوین و روستاهای منطقه را تأمین می‌کند. در شکل (۱) بخش‌های مختلف تأسیسات دارخوین نشان داده شده است.

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 می‌باشد. جریان به صورت ثقلی از ماسه‌های 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،



شکل ۱- بخش‌های مختلف تأسیسات دارخوین، اخذ شده از واحد GIS شرکت آب غدیر خوزستان

پس از وارد کردن خطوط انتقال و شیرها و مشخصات آنها، به ترسیم ایستگاه‌های پمپاژ سامانه و مخازن متعادل‌کننده و اجزاء درون تأسیسات دارخوین از قبیل پمپ‌های مستغرق در اسکله آبگیر، تلمبه‌خانه اضطراری، حوضچه اختلاط و کلاریفایرها و وارد کردن اطلاعات ارتفاعی نقاط و شیرها توسط ابزارهای نرم‌افزار پرداخته شد. 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 شد. در مدل مورد نظر، جهت شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی کلاریفایرها، ۴ عدد کلاریفایر به صورت مخزن تعادلی استوانه‌ای روباز با قطر ۴۱ متر و ارتفاع آب معادل ۴/۵ متر مطابق با ابعاد واقعی آنها در نظر گرفته شد. در ابتدا اطلاعات طرح اولیه اجرا شده را وارد کرده و پس از واسنجی که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد، راهکار موثر

## تحلیل هیدرولیکی

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

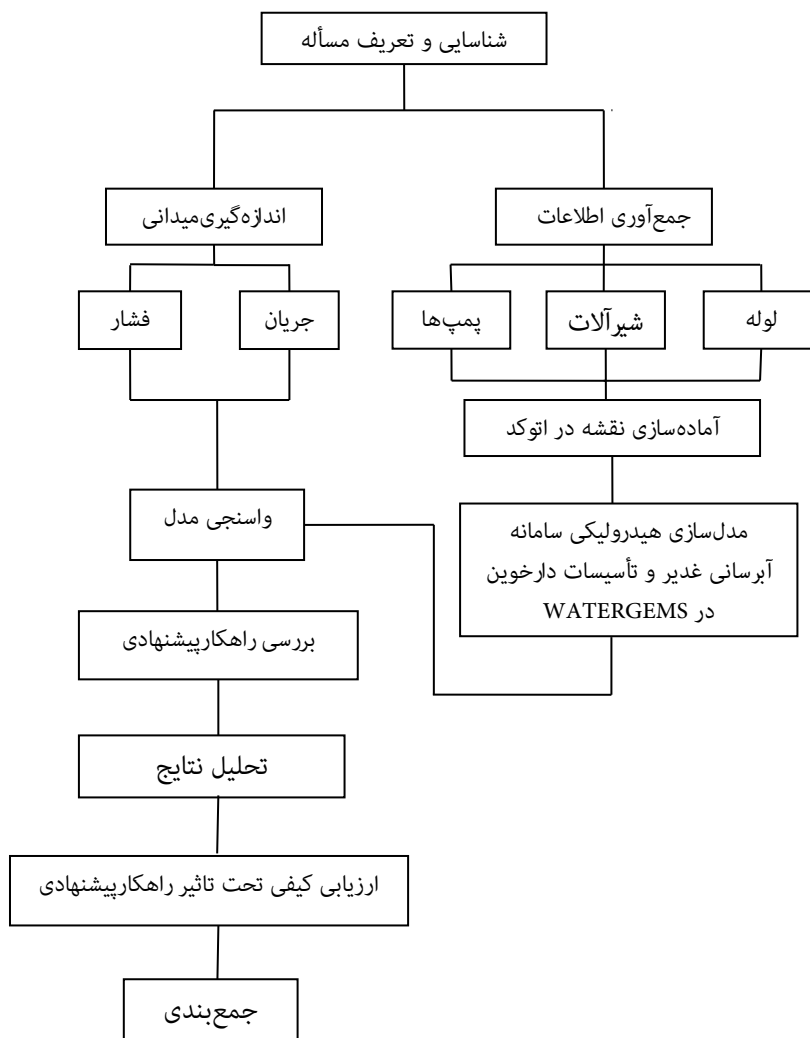
برای انجام مدل‌سازی هیدرولیکی، ابتدا در محیط نرم‌افزار AutoCAD، گره‌ها، لوله‌های مسیر انتقال آب و شیرآلات هوا و پروانه‌ای موجود بر روی خطوط (از قطر ۳۰۰ تا ۲۴۰۰ میلی‌متر) و درون تأسیسات دارخوین از آبگیر تا حوضچه اختلاط و سپس تا کلاریفایرها و ادامه مسیر تا تلمبه‌خانه اضطراری و تصفیه‌خانه ترسیم شده و پس از انجام اصلاحات نهایی، وارد نرم‌افزار WaterGEMS شده است. مشخصات لوله‌های سامانه انتقال آب غدیر شامل طول، قطر و جنس در جدول (۱) ذکر شده است.

شبه‌سازی سامانه انتقال آب غدیر و تأسیسات دارخوین در محیط نرم‌افزار WaterGEMS آمده است.

برای مدیریت کیفی از آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین بررسی شد. در شکل (۳) و (۴) به ترتیب تصویری از

جدول ۱- مشخصات لوله‌ها در سامانه انتقال آب غدیر

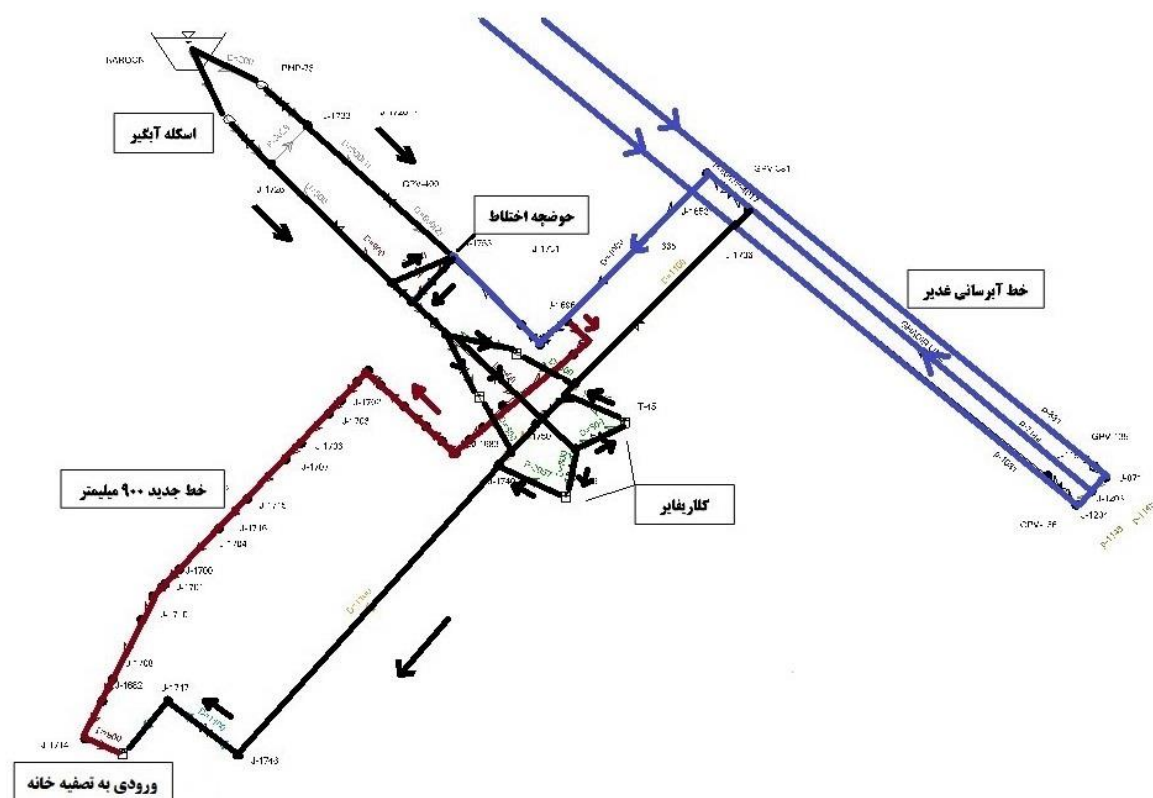
| ردیف | قطر (mm) | طول (Km) | جنس   |
|------|----------|----------|-------|
| ۱    | ۲۴۰۰-۳۰۰ | ۴۴۶      | STEEL |
| ۲    | ۱۸۰۰-۴۰۰ | ۲۵۶      | GRP   |



شکل ۲- فرآیند پژوهش و نحوه بررسی راهکار پیشنهادی



شکل ۳- تصویر شبیه سازی سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در نرم افزار WaterGEMS



شکل ۴- تصویر شبیه سازی تأسیسات دارخوین در نرم افزار WaterGEMS

## اندازه گیری های میدانی و واسنجی

در مرحله اول، مدل هیدرولیکی بهره برداری سامانه موجود آبرسانی غدیر و تأسیسات دارخوین در نرم افزار تحلیل هیدرولیکی تهیه شد. پس از وارد کردن مشخصات کامل و مورد نیاز سامانه آبرسانی و ساخت مدل، باید با استفاده از اطلاعات میدانی، مدل بازبینی شود که این فرآیند واسنجی است. فرآیند کالیبراسیون معمولاً شامل تنظیم مقدار زبری، مصرف و وضعیت باز و بسته بودن شیرها است. در این پژوهش، کالیبراسیون زبری سامانه انتقال توسط ابزار واسنجی گر داروین در نرم افزار WaterGEMS انجام شد. این ابزار بر اساس نوعی از الگوریتم ژنتیک در هم ریخته، واسنجی مقدار زبری و مصرف را انجام می دهد. اولین گام،

جمع آوری اطلاعات میدانی می باشد. مهمترین اطلاعات جمع آوری شده میدانی معمولاً اندازه گیری های فشار و جریان می باشند. به این منظور جهت واسنجی نقاطی که در مسیر انتقال، اندازه گیری فشار در آنها امکان پذیر می باشد با بررسی نقشه های موجود و بازدیدهای محلی شناسایی شده و همچنین بروز اندازه گیری فشار قبل و بعد از آنها انجام و همچنین بروز نشستی های احتمالی در مسیر انتقال بررسی و ثبت شد. همچنین فشار در خروجی ایستگاه های پمپاژ غدیر شمالی، فتح المبین، چمران و دارخوین نیز توسط اپراتورها به صورت ساعتی قرائت و ثبت شد. بدیهی است هرچه تعداد نقاط (گره های) آزمون در یک سامانه بیشتر باشد، مطالعات صورت گرفته در این سامانه دقت عمل و قابلیت اطمینان بیشتری

خواهند داشت. به‌طور هم‌زمان دبی تولیدی توسط دبی‌سنج‌های نصب شده در ایستگاه‌های پمپاژ مذکور و مصارف نیز بر اساس برداشت داده‌های کنتورهای مشترکین و تصفیه‌خانه‌ها تعیین شد. سپس مطابق شرایط بهره‌برداری موجود برای یک ساعت معین به عنوان زمان آزمون، تعداد پمپ‌های فعال در تلمبه‌خانه‌های سامانه آب غدیر، مقادیر واقعی سطح آب مخازن متعادل‌کننده، دبی و فشار در محل خروجی از ایستگاه‌های پمپاژ، ورودی به تصفیه‌خانه‌ها و دبی تعدادی از نقاط خط انتقال سامانه که به صورت هم‌زمان

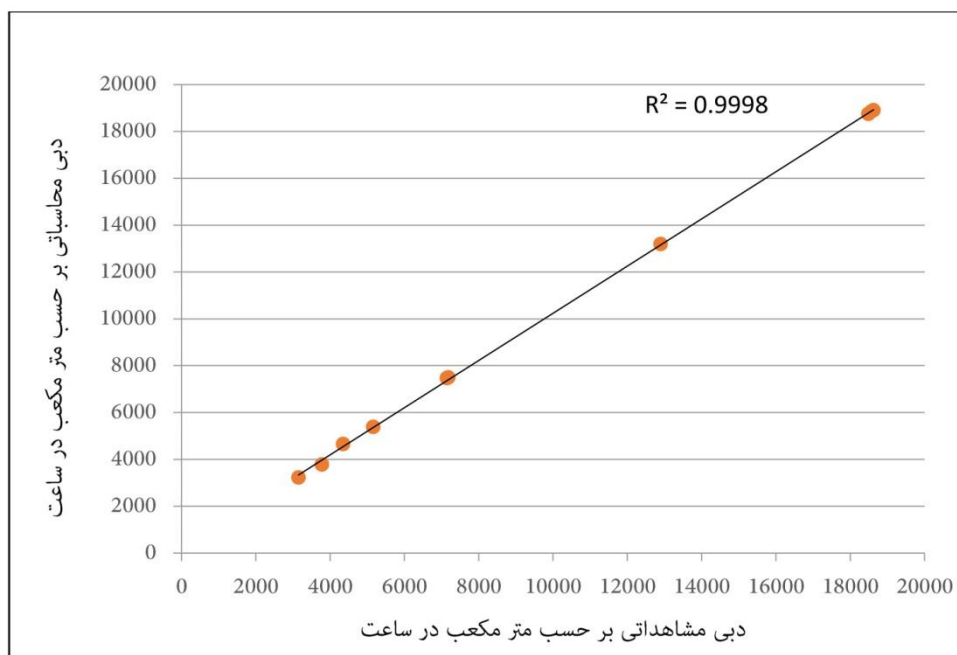
توسط دبی‌سنج پرتابل اندازه‌گیری و ثبت شد، کالیبراسیون زبری مدل انجام شد تا سامانه انتقال طراحی شده به واقعیت نزدیک شود. در این پژوهش ۱۰ گره به عنوان آزمون بررسی شد. دبی‌های اندازه‌گیری شده در گره‌های آزمون سامانه در جدول (۲) ارائه شد. کالیبراسیون، فرآیند مقایسه نتایج مدل با نتایج میدانی برداشت شده و 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).

جدول ۲- مقادیر دبی در گره‌های آزمون سامانه در ساعت آزمون (۹ صبح)

| شماره گره | محل گره (Km) | دبی (متر مکعب در ساعت) |
|-----------|--------------|------------------------|
| ۱         | ۰۰+۰۰۰       | ۱۸۶۲۸                  |
| ۲         | ۱۸+۶۳۸       | ۱۸۵۷۰                  |
| ۳         | ۲۰+۹۵۱       | ۱۸۴۹۰                  |
| ۴         | ۲۲+۰۰۰       | ۱۲۸۹۸                  |
| ۵         | ۴۳+۹۰۰       | ۷۱۸۰                   |
| ۶         | ۷۳+۰۰۰       | ۷۱۴۸                   |
| ۷         | ۱۵۲+۰۰۰      | ۴۳۵۲                   |
| ۸         | تصفیه خانه ۱ | ۳۷۸۰                   |
| ۹         | تصفیه خانه ۲ | ۵۱۶۰                   |
| ۱۰        | تصفیه خانه ۳ | ۳۱۵۰                   |

تعیین مقدار زبری لوله‌ها با روش‌هایی مانند اندازه‌گیری در آزمایشگاه، اندازه‌گیری مستقیم در داخل سامانه و کالیبراسیون امکان‌پذیر است. در یک سامانه، هر لوله یک زبری منحصر به فرد دارد ولی با توجه به سایر خطاهای موجود در مدل‌سازی و محدودیت‌های کالیبراسیون، معمولاً لوله‌های دارای زبری‌های نزدیک به یکدیگر، در دسته‌هایی گروه‌بندی می‌شوند. این دسته‌بندی‌ها می‌تواند بر اساس قطر، جنس و عمر لوله‌ها باشد. بر اساس جدول (۱)، جنس لوله‌های مورد استفاده در این سامانه شامل دو نوع فولادی و GRP است که قطر لوله‌های GRP در بازه ۴۰۰ تا ۱۸۰۰ میلی‌متر و لوله‌های فولادی در بازه ۳۰۰ تا ۲۴۰۰ میلی‌متر قرار دارند که بر اساس مشخصات مشابه گروه‌بندی شده‌اند، عمر لوله‌ها نیز در گروه‌بندی تا حدودی رعایت شده است. از آنجایی که در این پژوهش، لوله‌های با قطر بزرگ بخش زیادی از مسیر سامانه را تشکیل می‌دهند و زبری این لوله‌های اصلی با قطر زیاد تأثیر بیشتری بر فشارهای گره‌ای و به‌طور کلی مشخصات جریان در سامانه دارد عملیات کالیبراسیون از این دسته آغاز شده است و زبری سایر دسته‌ها همان مقدار اولیه فرضی در نظر گرفته شده است و سپس به ازای هریک از این مقادیر، دبی‌های گره‌ای سامانه به دست آمده و با مقادیر واقعی که در جدول (۲) در ساعت آزمون اندازه‌گیری شده‌اند مقایسه شد. در مرحله بعد، بهترین مقدار زبری برای گروه اول در مدل جایگزین و تحلیل برای دسته بعدی توسط داروین انجام شد.

در نهایت نرم‌افزار توسط ابزار داروین توانست با ۳۲ تکرار دبی‌ها را به مقدار مشاهداتی (جدول ۲) نزدیک کند و زبری لوله‌ها را با دقت خوبی تعیین کند. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از نرم‌افزار و مقایسه آن با مقادیر واقعی از شاخص‌های آماری  $R^2$  و ریشه دوم میانگین مربع خطاها RMSE استفاده شد. در حالت آرمانی، مقدار این شاخص‌ها به ترتیب  $R^2 = 1$  و  $RMSE=0$  خواهند بود. بر این اساس، نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی مدل با مقادیر واقعی در شکل (۵) مقایسه شد. با مقایسه دبی‌های حاصل از مدل هیدرولیکی و اندازه‌گیری شده با استفاده از مقادیر واقعی از شاخص‌های آماری  $R^2$  و RMSE که به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۷۸ می‌باشند، می‌توان به دقت بالای واسنجی مدل WaterGEMS اشاره نمود. پس از واسنجی مدل، در مدل موجود از نظر هیدرولیکی، یک راهکار عملی و قابل اجرا به منظور تفکیک و انتقال مستقیم آب غدیر به به تصفیه‌خانه دارخوین قبل از ارسال آن به حوضچه اختلاط، ترکیب آن با آب رودخانه کارون و ارسال به کلاریفایرها، بررسی شد. به طوری که مجموع دبی ورودی به تصفیه‌خانه (آب غدیر و کارون)، معادل با حجم آب ارسالی در شرایط بهره‌برداری فعلی باشد و در مرحله دوم، پس از انجام عملیات اجرایی انشعاب پیشنهادی، تأثیر آن بر کدورت آب خروجی از کلاریفایرها و آب ورودی به تصفیه‌خانه با استفاده از مقادیر کدورت مربوط به سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ که به صورت ساعتی قرائت و ثبت شده، ارزیابی شد.



شکل ۵- همبستگی بین مقدار دبی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده

#### ارائه راهکار عملی و بررسی هیدرولیکی

در شرایط بهره‌برداری قبل از اجرای انشعاب جدید، آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین به صورت ثقلی از سامانه انتقال آب غدیر (سد انحرافی دز) و هم‌زمان توسط پمپاژ از رودخانه کارون توسط پمپ‌های مستقر در اسکله آبگیر تأمین می‌شود که پس از ورود آنها به درون حوضچه اختلاط و اضافه شدن پلی آلومینیوم کلراید جهت ته‌نشین شدن ذرات معلق، آب خروجی از حوضچه، بین چهار دستگاه کلاریفایر تقسیم شده و سپس با یک لوله ۱۴۰۰ میلی‌متر به حوضچه مقسم تصفیه‌خانه منتقل می‌شود. در این پژوهش، به دلیل اینکه که آب غدیر، در مقایسه با آب کارون کدورت مطلوب‌تری دارد از نظر هیدرولیکی، یک راهکار عملی و قابل اجرا بررسی شد. به‌طوری‌که قبل از ارسال آب غدیر به حوضچه اختلاط و ترکیب آن با آب رودخانه کارون مستقیم به تصفیه‌خانه منتقل شود. بنابراین در محیط نرم‌افزار WaterGEMS، از خط لوله آبرسانی غدیر در تأسیسات دارخوین با سایز ۱۰۰۰ میلی‌متر که تا حوضچه اختلاط امتداد دارد، یک خط لوله فولادی به طول ۱۵۰ متر به صورت مستقیم به حوضچه مقسم در ورودی تصفیه‌خانه متصل شد و تعیین سایز بهینه برای انشعاب پیشنهادی با هدف حفظ شرایط هیدرولیکی قبل از اجرای آن بررسی شد. به‌طوری‌که حجم آب ورودی به تصفیه‌خانه (آب غدیر و کارون) در شرایط پیشنهادی نسبت به شرایط قبل از اجرای آن تغییری نداشته باشد. در ادامه در مدل هیدرولیکی، میزان حجم آب ارسال شده از کارون و سامانه انتقال غدیر و همچنین مجموع حجم

آب ورودی به تصفیه‌خانه به تفکیک تحت تاثیر راهکار پیشنهادی بررسی شد.

#### بررسی کیفی آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین بر اساس راهکار ارائه شده

باتوجه به اهمیت تصفیه‌خانه دارخوین، تأمین‌کنندگان آب شرب شهرهای دارخوین، شادگان و روستاهای حومه آن و بروز حوادثی مانند بارندگی، طغیان رودخانه و مواجهه با کدورت‌های فصلی در آب ورودی به تصفیه‌خانه، روند تغییرات کدورت آب خروجی از کلاریفایرها و آب ورودی به تصفیه‌خانه پس از انجام عملیات اجرایی در تأسیسات دارخوین، نسبت به شرایط قبل از اجرای انشعاب پیشنهادی بر اساس مقادیر کدورت که هر یک ساعت یکبار توسط کدورت‌سنج پرتابل اندازه‌گیری و ثبت شده، مقایسه شد.

#### نتایج و بحث

در این پژوهش، به منظور انتقال مستقیم آب سامانه غدیر به تصفیه‌خانه قبل از هدایت به حوضچه اختلاط و ترکیب آن با آب رودخانه کارون، در مدل هیدرولیکی تأسیسات دارخوین یک خط لوله فولادی از خط انتقال غدیر به ورودی تصفیه‌خانه در نظر گرفته شده و با حفظ شرایط بهره‌برداری قبل از اجرای انشعاب، آبگیری از رودخانه کارون توسط ۲ دستگاه الکتروپمپ (مدل پمپ ایران) و ۳ دستگاه الکتروپمپ فشار ضعیف (لولیفیت) انجام می‌شود و پس از تزریق مواد پلی آلومینیوم کلراید جهت ته‌نشینی به کلاریفایرها منتقل و سپس به سمت تصفیه‌خانه هدایت می‌شود و به طور

متر مکعب آب توسط انشعاب جدید به تصفیه‌خانه منتقل خواهد شد یعنی حدود ۵۲ درصد از آب مورد نیاز شهرها و روستاهای هدف را می‌توان تأمین کرد که این امر موجب جلوگیری از بروز بحران‌های سیاسی و اجتماعی در منطقه خواهد شد.

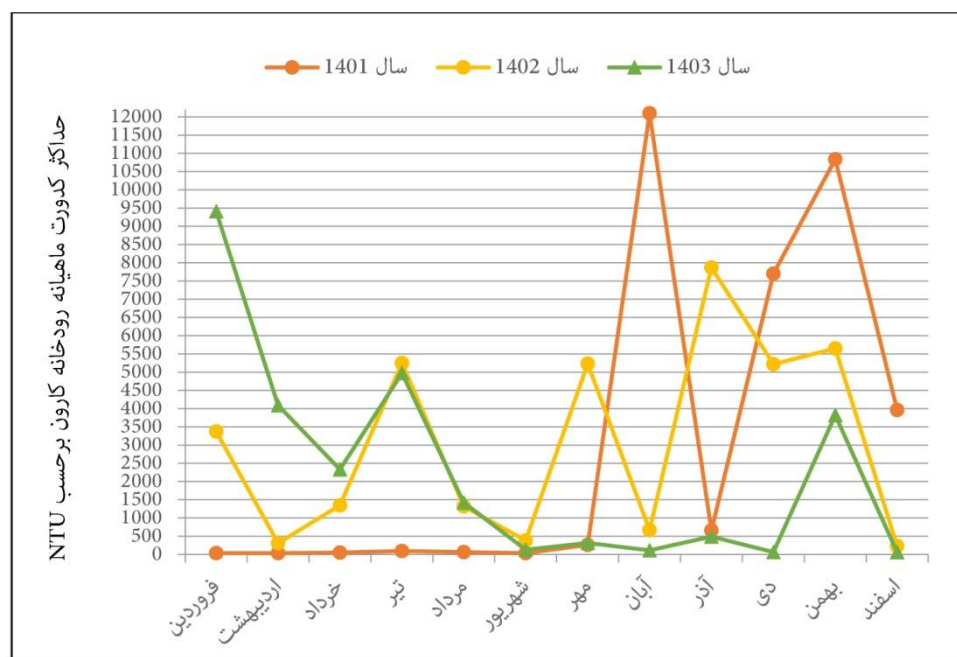
به منظور بررسی تغییرات کدورت آب انتقالی به تصفیه‌خانه تحت تأثیر راهکار پیشنهادی، در مرحله اول، تغییرات حداکثر کدورت ماهیانه آب رودخانه کارون و سامانه انتقال آب غدیر در محل ورودی به تأسیسات دارخوین، در شرایط قبل از اجرای انشعاب، بر اساس مقادیر کدورت که هر ساعت یک بار توسط کدورت‌سنج پرتابل اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند برای سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ به‌ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) مقایسه شده است.

هم‌زمان آب غدیر نیز توسط انشعاب پیشنهادی به صورت مستقیم به حوضچه ورودی تصفیه‌خانه منتقل می‌شود. در شبیه‌سازی انجام شده، با هدف حفظ شرایط بهره‌برداری به‌طوری‌که مجموع حجم آب ورودی به تصفیه‌خانه (آب غدیر و کارون) پس از اجرای انشعاب جدید تغییری نداشته باشد، سائز بهینه برای انشعاب پیشنهادی ۹۰۰ میلی‌متر تعیین شد (در شکل (۴) نشان داده شده است). بر اساس نتایج هیدرولیکی حاصل از نرم‌افزار که در جدول (۳) ارائه شده است، مجموع حجم دبی ورودی به تصفیه‌خانه بعد از ایجاد انشعاب پیشنهادی با سائز مذکور، معادل ۶۳۸۰ مترمکعب در ساعت می‌باشد که با میزان آن در شرایط قبل از اجرای انشعاب (۶۳۱۴ متر مکعب در ساعت) اختلاف کمی دارد.

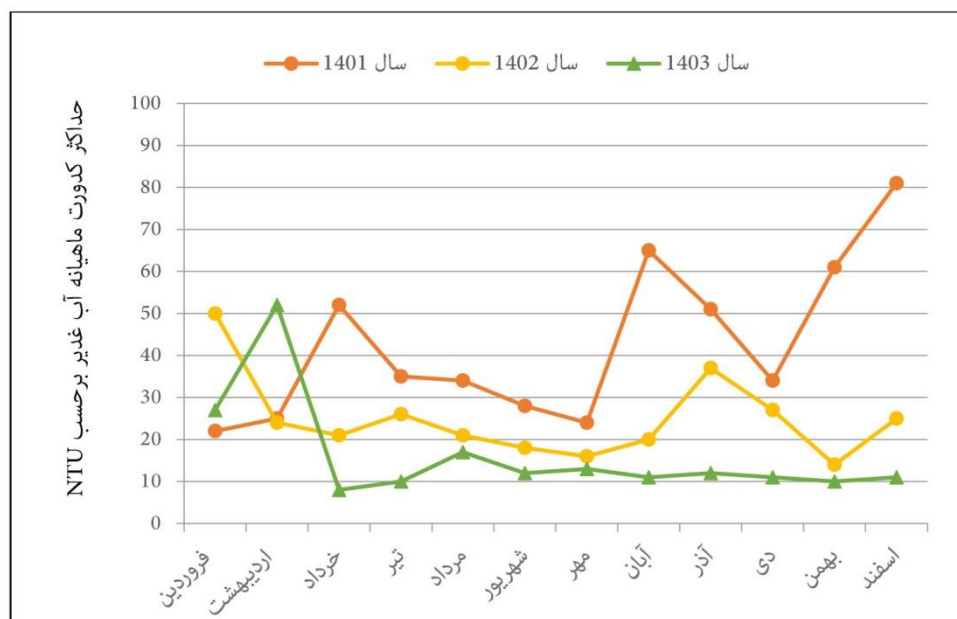
همچنین بر اساس نتایج جدول (۳) در شرایط تأمین آب از سامانه انتقال غدیر و عدم آبیگری از رودخانه کارون، ۳۳۰۸

جدول ۳- میزان حجم آب ارسال شده بر اساس انشعاب پیشنهادی

| حجم آب برداشت شده از منابع تأمین آب<br>(مترمکعب در ساعت) | حجم آب عبوری از خطوط درون تأسیسات<br>(مترمکعب در ساعت) | حجم آب ورودی به تصفیه‌خانه<br>(مترمکعب در ساعت) |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| آبگیر                                                    | انشعاب پیشنهادی                                        | مجموع حجم آب ورودی به تصفیه‌خانه                |
| ۳۰۴۰                                                     | بسته                                                   | ۶۳۱۴                                            |
| ۳۳۰۸                                                     | ۳۳۰۸                                                   | ۶۳۸۰                                            |



شکل ۶- مقایسه مقادیر حداکثر کدورت ماهیانه رودخانه کارون در محل اسکله آبیگری تأسیسات دارخوین



شکل ۷- مقایسه مقادیر حداکثر کدورت ماهیانه آب غدیر در محل تأسیسات دارخوین

حداکثر کدورت آب خروجی از آنها حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که در سال ۱۴۰۲ قبل از اجرای این انشعاب و تفکیک منابع تأمین آب، میزان حداکثر کدورت ماهیانه آب خروجی از کلاریفایرها در بازه ۳۰ تا ۱۷ مشاهده و ثبت شد اما در سال ۱۴۰۳ تحت راهکار پیشنهادی، بازه تغییرات آن به ۲۲ تا ۱۳ NTU تقلیل یافته است به دلیل اینکه مطابق نتایج جدول (۲)، در شرایط قبل از اجرای انشعاب پیشنهادی، مجموع آب ورودی به کلاریفایرها ۶۳۱۴ مترمکعب در ساعت (مشمول بر ۳۲۷۷ متر مکعب آب غدیر و ۳۰۴۰ متر مکعب آب رودخانه) بوده اما تحت شرایط جدید، این حجم به ۳۰۴۰ متر مکعب (فقط آب رودخانه) یعنی ۵۰ درصد کاهش یافته است، بنابراین با اینکه کدورت آب ورودی به کلاریفایرها افزایش یافته اما به دلیل افزایش دو برابری زمان ماند آب رودخانه، کدورت آب خروجی از کلاریفایرها کاهش یافته است.

همچنین بر اساس نتایج شکل (۹) تحت شرایط انشعاب پیشنهادی، کدورت آب ورودی به تصفیه‌خانه به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته است چون در سال ۱۴۰۲ قبل از اجرای این انشعاب، ترکیب آب رودخانه کارون و آب غدیر پس از تزریق مواد پلی آلومینیوم کلراید و انجام عملیات ته‌نشینی در کلاریفایرها به سمت تصفیه‌خانه منتقل می‌شد که میزان حداکثر کدورت ماهیانه آب ورودی به تصفیه‌خانه در بازه ۳۰ تا ۱۷ مشاهده و ثبت شده است اما در سال ۱۴۰۳ تحت راهکار پیشنهادی، از آنجایی که مطابق نتایج شکل (۸) کدورت آب رودخانه کارون پس از خروج از کلاریفایرها ۲۵ درصد کاهش یافته است و سپس به حوضچه تصفیه‌خانه منتقل می‌شود و همچنین به‌طور همزمان آب غدیر که کیفیت مطلوب‌تری دارد نیز به صورت مستقیم وارد این حوضچه شده بنابراین کدورت آب حوضچه در محل ورودی به

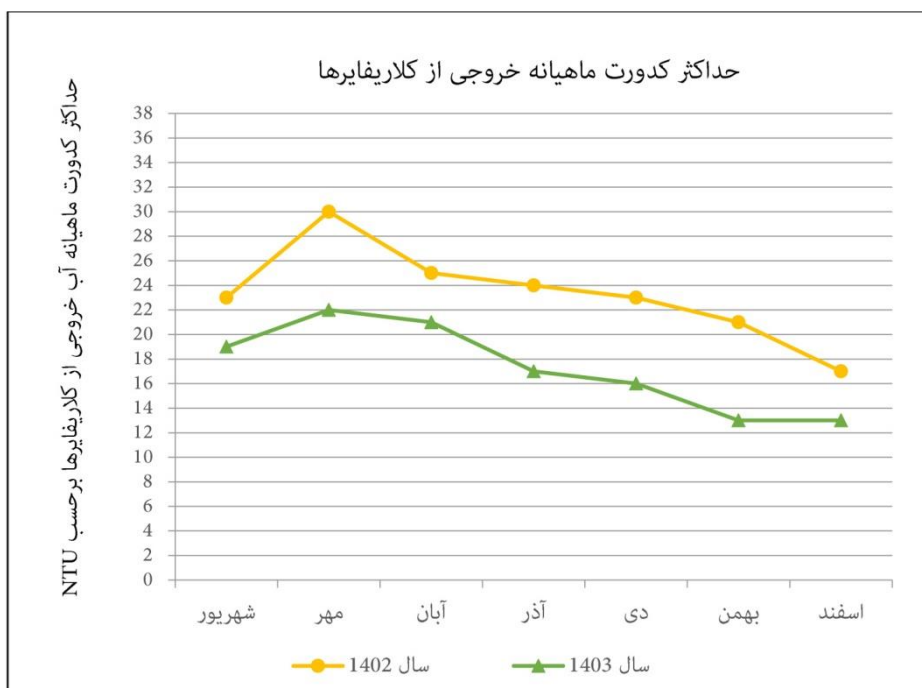
مقایسه نتایج شکل (۶) و (۷) نشان می‌دهد که حداکثر کدورت رودخانه کارون در مواقع سیلابی در سالهای ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ به ترتیب ۱۲۱۰۰، ۷۸۷۰ و ۴۹۷۰ NTU مشاهده شده که در مقایسه با حداکثر کدورت آب غدیر ۸۱، ۳۷ و ۱۳ اختلاف چشمگیری داشته است. بنابراین به دلیل اهمیت کنترل کدورت آب و هزینه بسیار بالای مربوط به انجام عملیات سرویس و نگهداری کلاریفایرها و همچنین جلوگیری از بروز بحران‌های احتمالی به دلیل وجود آلاینده‌های شیمیایی در شرایط خاص در رودخانه کارون (از قبیل مواد نفتی و غیره) که امکان برداشت و تأمین آب از رودخانه را غیر ممکن خواهد ساخت، انتقال مستقیم آب از طرح غدیر به ورودی تصفیه‌خانه در چنین شرایط بحرانی امری مهم می‌باشد.

در مرحله دوم، پس از اجرای انشعاب پیشنهادی در محل تأسیسات و ارسال مستقیم آب غدیر توسط آن به تصفیه‌خانه و به‌طور هم‌زمان هدایت آب رودخانه به کلاریفایرها و سپس به تصفیه‌خانه، تغییرات کدورت آب خروجی از کلاریفایرها و همچنین ورودی به تصفیه‌خانه تحت شرایط جدید بر اساس مقادیر کدورت که هر یک ساعت یک بار توسط کدورت‌سنج پرتابل اندازه‌گیری شده، بررسی و مقایسه شد. بر این اساس، تغییرات حداکثر کدورت ماهیانه آب خروجی از کلاریفایرها و آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین، برای یک دوره شش ماهه (شهریور تا اسفند) مربوط به سال‌های ۱۴۰۲ (در شرایط قبل از اجرای انشعاب جدید) و ۱۴۰۳ (پس از اجرای انشعاب جدید) به‌ترتیب در شکل‌های (۸) و (۹) مقایسه شده است.

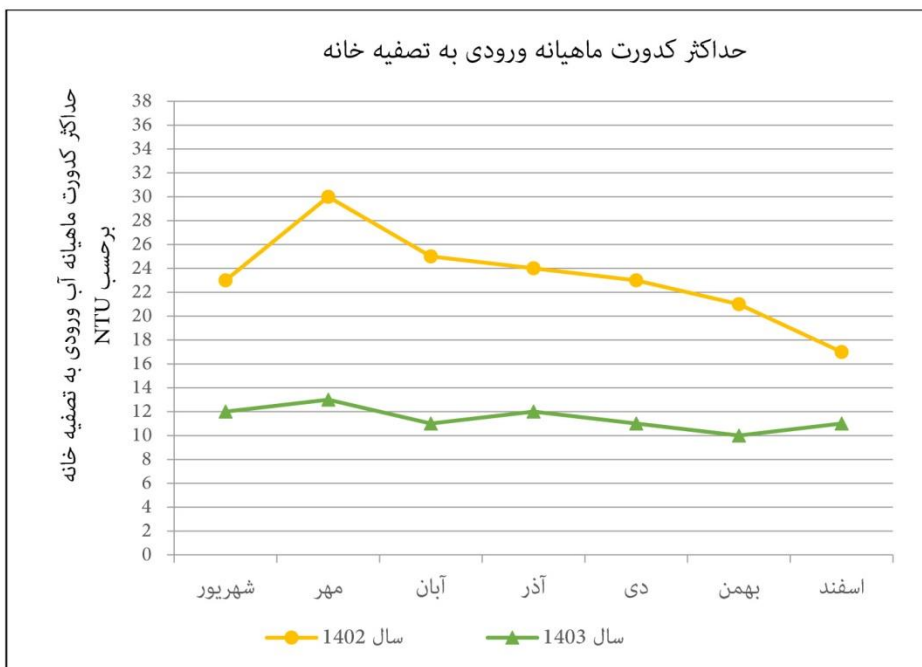
مقایسه نتایج شکل (۸) نشان می‌دهد در شرایط تفکیک و انتقال مستقیم آب غدیر به تصفیه‌خانه توسط انشعاب پیشنهادی و ارسال آب رودخانه کارون به کلاریفایرها، میزان

که این امر نیز در عملکرد و راندمان تصفیه‌خانه و هزینه‌های بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری آن اهمیت زیادی دارد.

تصفیه‌خانه نسبت به شرایط قبل مطلوب‌تر خواهد بود به گونه‌ای که بازه تغییرات آن به ۱۳ تا ۱۰ NTU تقلیل یافته است



شکل ۸- مقایسه مقادیر حداکثر کدورت ماهیانه آب خروجی از کلاریفایرها در شرایط قبل و بعد از راهکار پیشنهادی



شکل ۹- مقایسه مقادیر حداکثر کدورت ماهیانه آب ورودی به تصفیه‌خانه در شرایط قبل و بعد از راهکار پیشنهادی

مدیریت کیفی و بهره‌برداری بهتر از آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین، تأمین کننده آب شرب شهرهای دارخوین، شادگان و روستاهای حومه آن، در شرایط بروز حوادثی مانند بارندگی، طغیان رودخانه و مواجهه با کدورت‌های فصلی در آب ورودی

#### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با استفاده از روش شبیه‌سازی در نرم‌افزار WaterGEMS، به مطالعه و بررسی راهکار مناسب برای

به آن که موجب کاهش کارایی فیلترها می‌شود، پرداخته است. به این منظور، با حفظ شرایط هیدرولیکی موجود، می‌توان از خط لوله آبرسانی غدیر درون تأسیسات دارخوین با سایز ۱۰۰۰ میلی‌متر که تا حوضچه اختلاط امتداد دارد، قبل از ورودی به حوضچه یک خط لوله فولادی با سایز ۹۰۰ میلی‌متر و به طول ۱۵۰ متر به صورت مستقیم به حوضچه مقسم در ورودی تصفیه‌خانه متصل و ارسال آب غدیر به صورت مستقیم بدون مخلوط شدن با آب رودخانه به سمت تصفیه‌خانه هدایت شود. در این حالت بر اساس نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی، در شرایط کدورت بالای رودخانه و تأمین آب به طور همزمان از رودخانه و سامانه انتقال آب غدیر، می‌توان از کل حجم آب غدیر که به تأسیسات دارخوین انتقال می‌یابد و کیفیت مطلوبتری نسبت به آب رودخانه دارد قبل از ورود به حوضچه اختلاط و مخلوط آن با آب کارون، به طور مستقیم توسط خط لوله پیشنهادی به سمت حوضچه مقسم در محل ورودی به تصفیه‌خانه منتقل کرد و آب رودخانه نیز به سمت کلاریفایرها هدایت شده و پس از عملیات ته‌نشینی به تصفیه‌خانه منتقل شود که بر اساس نتایج حاصل از مقادیر کدورت اندازه‌گیری شده به صورت ساعتی، پس از اجرای انشعاب جدید در مقایسه با شرایط قبل آن، به دلیل افزایش دو برابری زمان ماند آب رودخانه، کاهش ۲۵ درصدی کدورت آب خروجی از آنها مشاهده شده است. همچنین بر اساس مقادیر کدورت اندازه‌گیری شده، کدورت آب ورودی به تصفیه‌خانه به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته و این امر در عملکرد و راندمان تصفیه‌خانه و هزینه‌های بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری آن و همچنین انجام عملیات سرویس و نگهداری کلاریفایرها اهمیت زیادی دارد. در شرایط عدم آبیگری از رودخانه نیز می‌توان توسط راهکار پیشنهادی، حدود ۵۲ درصد از آب مورد نیاز شهرها و روستاهای حومه آن‌ها را توسط سامانه انتقال آب غدیر تأمین کرد.

#### منابع

پوستی‌زاده، ندا، حری، داود، و رامشی، رامین. (۱۴۰۳). بهره‌برداری از سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط پدافندی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱۱(۳)، ۱۷-۲۶. Doi: 10.22067/jwsd.v11i3.2409-136

تابش، مسعود، روزبهرانی، عباس، و هادیگل، فرهاد. (۱۳۹۷). ارزیابی خطرپذیری و تصفیه‌خانه‌های آب با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه جلالیه تهران). مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۴)، ۱۳۲-۱۴۴. Doi: 10.22093/wwj.2017.67314.2273

حریف، سیروس، عزیزیان، غلامرضا، گیوه‌چی، محمد، و دهقانی درمیان، محسن. (۱۴۰۱). تحلیل و ارزیابی

مدیریت کیفی در شبکه‌های توزیع آب در مقابل ورود آلودگی در شبکه آب شرب شهر زاهدان. نشریه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۲(۳)، ۴۳۷-۴۵۰. Doi: 10.22125/iwe.2022.146421

حریف، سیروس، عزیزیان، غلامرضا، گیوه‌چی، محمد، و دهقانی درمیان، محسن. (۱۴۰۲). تحلیل و مدیریت کیفی شبکه‌های توزیع آب تحت نفوذ آلودگی در شرایط کاهش فشار آب (مطالعه موردی: بخشی از شبکه توزیع آب زاهدان). نشریه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۴(۵۳)، ۲۹۷-۳۰۸. Doi: 10.22125/iwe.2020.216105.1280

فریدی‌راد، فرزانه، و قلی‌نژاد، معصومه. (۱۴۰۰). بررسی شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب تصفیه‌خانه پردیس. نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۶(۳)، ۱۶-۲۴. Doi: 10.22112/JWWSE.2021.261859.1234

معصومی، بهمن، طباطبایی، طیب، جعفرزاده حقیقی‌فرد، نعمت‌اله، جرفی، سهند، و کوهگردی، اسماعیل. (۱۳۹۸). تأثیر کیفیت آب ورودی به تصفیه‌خانه در ایجاد رنگ و کف در واحدهای فرآیندی تصفیه آب (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه آب کوه سبز). مجله مهندسی بهداشت محیط، ۷(۲)، ۲۱۱-۲۲۸. Doi: 10.29252/jehe.7.2.211

نظری، علی. (۱۳۹۰). طراحی شبکه‌های آبرسانی با WaterGEMS. انتشارات الیاس. چاپ اول. تهران، ایران. Koley, S., Rao, K.B., Khwairakpam, M., & Kalamdhad, A.S. (2024). Identification and assessment of Critical parameters affecting drinking water quality: A case study of water treatment plants of India. Groundwater for Sustainable Development, 26, 101221, 1-12. Doi: 10.1016/j.gsd.2024.101221

Kumar, S., & Singh, S. (2021). Qualitative assessment and corrosiveness of the Ganga water: A comparative assessment. Groundwater for Sustainable Development, 45(6), 5695-5701. Doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.503

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

Paca, J.M., Santos, F.M., Pires, J.C.M., Leitão, A.A., & Boaventura, R.A.R. (2019). Quality assessment of water intended for human consumption from Kwanza, Dande and Bengo rivers (Angola). Environmental Pollution, 254, 113037, 452-462. Doi: 10.1016/j.envpol.2019.113037

Platikanov, P., Baquero, D., González, S., Alonso, J.M., Paraira, M., Cortina, J.L., & Tauler, R. (2019). Chemometric analysis for river water quality assessment at the intake of drinking water treatment plants. Science of The Total Environment, 667, 552-562. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.423