



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

انجمن آب و فاضلاب ایران

۲ پیشگفتار (حضور آلاینده‌های پایدار نوظهور ترکیبات دارویی در فاضلاب)
دکتر زهرا اکبری

مقالات علمی

۳ پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از روش مبتنی بر یادگیری عمیق
عباس نوری‌نژاد، فرهاد هوشیاری‌پور و مجید دهقانی

۱۷ شناسایی و اولویت‌بندی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس
(مطالعه موردی استان بوشهر)
مسعود حراقی، علی درویشی و مریم حراقی

۳۱ مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با جانمایی بهینه توامان شیر فشار شکن و پمپ معکوس
پرهام وظیفه‌دوست صالح، جعفریزدی و علی مریدی

۴۳ سنتز، مشخصه‌یابی و ارزیابی عملکرد غشاهای میکروفیلتراسیون کاتیونی پوشش داده‌شده با نانوکامپوزیت اکسید
روی/اکیتوسان/اکسید نقره در حذف باکتری استافیلوکوس اورئوس از آب
سیدپنهام غفاری و محمدحسین صرافزاده

۵۷ بررسی کارایی بلندمدت شبکه‌های آبرسانی در شرایط بحرانی با اعمال عدم‌قطعیت پارامترها و تغییرات نشت
مهدی دینی و پریسا احدپور

۷۱ چالش‌ها و موانع موفقیت در مدیریت آبرسانی روستایی
مجید قنادی

مطالب عمومی

۸۱ میزگرد (نشست تخصصی مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب)

۹۰ معرفی کتاب

۹۱ پایان‌نامه برتر

۹۴ ایده برتر

۹۶ اخبار انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

این نشریه دارای مجوز کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، به شماره ۳/۱۸/۲۹۰۱۲۹ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ و مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ۸۶۰۹۲ مورخ ۱۳۹۸/۱۰/۳۰ است.

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر علی حقیقی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه



دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر تیکو تانیمبو: دانشیار، دانشگاه ویت واتر سراند، ژوهانسبورگ، آفریقای جنوبی

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

دکتر افشین تکدستان: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

دکتر دراگان ساویچ: استاد، دانشگاه اگزتر، لندن

دکتر سید حسین سجادی فر: شرکت آب و فاضلاب تهران و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی

دکتر محمد حسین صراف زاده: استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران و رئیس کرسی یونسکو در

بازیافت آب

دکتر حمیدرضا صفوی: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر ناصر طالب بیدختی: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شیراز

دکتر راضیه فرمانی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان

دکتر اوراز یو گیوستولیس: استاد، دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر منوچهر وثوقی: استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف

دکتر هاشم امینی: مدیر عامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

دکتر احمد سلامت: مشاور مدیرعامل و مدیرکل دفتر انرژی و سامانه‌های کنترل

مهندس علی اصغر قانع: رئیس کانون هم‌هنگی دانش، صنعت، بازار آب و فاضلاب، معاونت علمی ریاست جمهوری

مهندس مجید قنادی: مدیر دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس حمیدرضا هنری: عضو هیئت علمی بازنشسته دانشگاه علوم پزشکی تهران

شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

ناهد اخترى

ناهد اخترى، دکتر سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

تهران، خیابان طالقانی، بین وصال و قدس، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

آدرس:

تلفن:

نمابر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

پیشگفتار (حضور آلاینده‌های پایدار نوظهور ترکیبات دارویی در فاضلاب)..... ۲
 دکتر زهرا اکبری

مقالات علمی

پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از روش مبتنی بر یادگیری عمیق ۳
 عباس نوری‌نژاد، فرهاد هوشیاری‌پور و مجید دهقانی

شناسایی و اولویت‌بندی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس ۱۷
 (مطالعه موردی استان بوشهر)
 مسعود حراقی، علی درویشی و مریم حراقی

مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با جانمایی بهینه توامان شیر فشار شکن و پمپ معکوس ۳۱
 پرهام وظیفه‌دوست صالح، جعفر یزدی و علی مریدی

سنتز، مشخصه‌یابی و ارزیابی عملکرد غشاهای میکروفیلتراسیون کاتیونی پوشش داده‌شده ۴۳
 با نانوکامپوزیت اکسید روی/اکسید نقره در حذف باکتری استافیلوکوس اورئوس از آب
 سیدبهنام غفاری و محمدحسین صراف‌زاده

بررسی کارایی بلندمدت شبکه‌های آبرسانی در شرایط بحرانی با اعمال عدم قطعیت پارامترها و تغییرات نشت ۵۷
 مهدی دینی و پریسا احدپور

چالش‌ها و موانع موفقیت در مدیریت آبرسانی روستایی ۷۱
 مجید قنادی

مطالب عمومی

میزگرد (نشست تخصصی مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب) ۸۱

معرفی کتاب ۹۰

پایان‌نامه برتر ۹۱

ایده برتر ۹۴

اخبار انجمن ۹۶



آنتی‌بیوتیکی موجب تولید محصولات جانبی ناخواسته می‌شوند و روش‌های بیولوژیکی نیز راندمان پایینی داشته‌اند. روش‌هایی مانند فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، جذب سطحی با انواع ترکیبات جاذب مانند بیوچار، نانوذرات آهن، نانو لوله‌های کربنی، فرایند فنتون، فرایند فتوکاتالیستی و نانوفیلتراسیون مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و هریک دارای مزایا و محدودیت‌های خاصی هستند. با توجه به این مطالب به نظر می‌رسد بهترین راه برای کاهش مخاطرات این آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست جلوگیری از ورود آن‌ها به محیط است. لذا فرهنگ‌سازی برای تهیه دارو به‌مقدار مورد نیاز، عدم دورریز داروهای مصرف نشده به درون فاضلاب و دفع ایمن پسماند دارویی امری بسیار ضروری است.

حضور آلاینده‌های پایدار نوظهور ترکیبات دارویی در فاضلاب



دکتر زهرا اکبری

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشکده‌گان فنی
دانشگاه تهران

یکی از انواع آلاینده‌های پایدار نوظهور ترکیبات دارویی هستند که حضور آن‌ها در فاضلاب توجه‌ها را به‌خود معطوف نموده است. از پرمصرف‌ترین داروها (تقریباً ۱۵ درصد) آنتی‌بیوتیک‌ها هستند که می‌توانند با عفونت‌های ناشی از ورود باکتری‌ها به بدن موجودات زنده مبارزه نمایند و موجب کاهش یا توقف رشد باکتری‌ها شوند. بخش عمده آنتی‌بیوتیک‌ها (بین ۴۰ تا ۹۰ درصد) پس از مصرف، بدون تغییر از بدن موجود زنده از طریق ادرار و مدفوع دفع می‌شود. علی‌رغم تاثیرات مثبت آنتی‌بیوتیک‌ها، مقاومت آنتی‌بیوتیکی به یکی از چالش‌های مهم قرن حاضر تبدیل شده است، زیرا این ترکیبات در فرایند تصفیه آب و فاضلاب حتی در غلظت‌های بسیار پایین به‌طور کامل حذف نمی‌شوند.

علاوه بر اثر منفی بر جمعیت میکروبی، حضور آلاینده‌های دارویی در محیط‌زیست اعم از خاک و منابع آبی موجب می‌شود تا میکرواورگانیزم‌ها شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها مقاوم شوند. حتی ممکن است دچار جهش ساختاری شده و منجر به ایجاد بیماری‌های خطرناک‌تر شوند. تحقیقات اثبات نموده است که آنتی‌بیوتیک‌ها تاثیرات منفی بر فتوسنتز، تکثیر سلولی و میتوکندری دارد. غلظت این داروها در آب و فاضلاب عمدتاً بسیار کمتر از ۱ میلی‌گرم بر لیتر بوده و موجب می‌شود اندازه‌گیری آن‌ها با دستگاه‌های کروماتوگرافی مایع - طیف‌سنجی جرمی در کنار سایر آلاینده‌های موجود در فاضلاب تا حدودی مشکل شود. بعضی از روش‌های مرسوم غیربیولوژیکی در حذف آلاینده‌های

Research Paper

مقاله پژوهشی

Short-Term Prediction of Hydrological Drought Using Deep Learning-Based Method

پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از روش مبتنی بر یادگیری عمیق

Abbas Noorinejad¹, Farhad Hooshyaripor^{2*} and Majid Dehghani³

عباس نوری‌نژاد^۱، فرهاد هوشیاری‌پور^{۲*} و مجید دهقانی^۳

1- M.Sc., Faculty of Civil Engineering, Architecture and Art, Sciences and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

2- Assistant professor, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Art, Sciences and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۲- استادیار، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

3- Associate Professor, Technical and Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

*Corresponding Author, Email: hooshyaripor@srbiau.ac.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: hooshyaripor@srbiau.ac.ir

Received: 21/01/2023

Revised: 31/08/2023

Accepted: 13/09/2023

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Hydrological drought affects water allocation and hydropower generation. Therefore, hydrological drought prediction can help for optimal water resources management. In this paper, short-term hydrological drought was predicted using deep learning. Doing so, Standardized Hydrological Drought Index (SHDI) was calculated in one-, three- and six-month periods. Then, 36 combinations and three different modes of input variables were considered to predict SHDI. In the next step, various optimization algorithms, including grasshopper optimization algorithm, salt swarm algorithm, biogeography-based optimization, and particle swarm optimization combined with ANN were used to predict SHDI. Here, 70% of the data were considered for training and the remaining 30% for test. Finally, the performance of deep learning (DNN) compared to the combined ANN-SSA, -BBO, -PSO and -GOA were discussed. The results of ANN compared to the combined models showed that the combined models performed better, but they were less compatible to DNN. The DNN on one hand, does not need to define the input combination, and on the other hand could reduce the value of RMSE to 0.32.

خشک‌سالی هیدرولوژیک بر تخصیص آب و تولید برق‌آبی تأثیر می‌گذارد. از این جهت پیش‌بینی خشک‌سالی می‌تواند به مدیریت بهینه منابع آب کمک نماید. در این مقاله، خشک‌سالی هیدرولوژیک کوتاه‌مدت بر اساس یادگیری عمیق پیش‌بینی شد. برای این منظور، شاخص استاندارد خشک‌سالی هیدرولوژیک (SHDI) در بازه‌های یک، سه و شش ماه محاسبه شد. سپس، سه حالت کلی برای پیش‌بینی SHDI و ۳۶ ترکیب ورودی-خروجی استخراج شدند. در مرحله بعد، الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی، از جمله الگوریتم بهینه‌سازی ملخ، الگوریتم ازدحام نمک، بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی و بهینه‌سازی ازدحام ذرات ترکیب‌شده با ANN برای پیش‌بینی SHDI مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق ۷۰٪ داده‌ها برای آموزش و ۳۰٪ برای آزمایش مدل‌ها در نظر گرفته شدند. در نهایت عملکرد شبکه عصبی عمیق (DNN) در مقایسه با نتایج مدل‌های ترکیبی و ANN نشان داد که مدل‌های ترکیبی عملکرد بهتری داشته‌اند ولی در مقایسه با یادگیری عمیق توانایی آن‌ها کم‌تر است. یادگیری عمیق بدون نیاز به تعریف ترکیب ورودی‌ها، توانست مقدار RMSE را به ۰/۳۲ کاهش دهد.

Keywords: Hydrologic Drought, Deep Learning, Prediction, Standardized Hydrologic Drought Index.

کلمات کلیدی: خشک‌سالی هیدرولوژیک، یادگیری عمیق، پیش‌بینی، شاخص استاندارد خشک‌سالی هیدرولوژیک

خشک‌سالی هیدرولوژیکی ارائه کردند.

کرمی و برهانی داریان (۱۳۹۳) روش‌های جیره‌بندی برای مدیریت مخازن در شرایط خشک‌سالی را ارزیابی کردند. اقتداری و همکاران (۱۳۹۵) خشک‌سالی هیدرولوژیکی حوضه آبریز کرخه را با استفاده از شاخص استاندارد شده دی‌بی^۲ (SDI) و زنجیره مارکف نا ایستا، پیش‌بینی کردند. در حالی که همبستگی بین دو شاخص SDI و SPI ضعیف بود، نتایج همبستگی و ارتباط بین مقادیر SDI در دوره‌های مرجع مختلف نشان داد که با اطمینان بسیار بالایی می‌توان در پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیک از شاخص SDI شش ماهه (مهر-اسفند) استفاده نمود. کواکبی و همکاران (۱۳۹۹) مدلی برای پیش‌بینی ریسک خشک‌سالی در زیر حوضه آبریز افین ارائه کردند. ایشان از شاخص‌های خشک‌سالی استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق^۳ (SPEI) و eRDI و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک SRI استفاده کرده و به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر این پدیده، دو سناریوی انتشار خوش‌بینانه و بدبینانه را تحلیل کردند. نتایج حاکی از کاهش نسبی دفعات وقوع خشک‌سالی در ۲۷ ساله آینده نزدیک بود. مشایخی و ذاکری نیری (۱۳۹۹) با هدف تعیین موجک مادر بهینه، اقدام به پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک در تهران کردند. بدین منظور به ترتیب از داده‌های بارش روزانه، دی‌روزانه و تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه سری زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی استفاده شد. نتایج نشان داد که موجک مادر haar برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک عملکرد قابل‌قبولی دارد.

یکی از روش‌های پیش‌بینی خشک‌سالی، استفاده از مدل جعبه سیاه مثل شبکه عصبی مصنوعی^۴ (ANN) است (Rivera et al., 2021). پردازش موازی، توانایی کار با اطلاعات ناقص، کار با داده‌های پرسروصدا و توانایی آن در یادگیری الگوها از عوامل اصلی محبوبیت ANN در مدل‌سازی منابع آب هستند.

با توجه به ماهیت غیرخطی، عدم قطعیت و عدم صراحت زیاد و ویژگی‌های متغیر زمانی و مکانی در خشک‌سالی، هیچ‌یک از مدل‌های آماری و مفهومی پیشنهادشده به‌منظور پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشک‌سالی نتوانسته‌اند به‌تنهایی مدل برتر و توانا شناخته شوند و این مسئله همواره از پیچیدگی‌های ویژه‌ای برخوردار است. در پیش‌بینی خشک‌سالی به‌دلیل چندلایه بودن، تعداد پارامترهای زیاد و لزوم پردازش این داده‌ها یکی از روش‌های مهم و کاربردی، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی بجای روش‌های ریاضی مرسوم در مرحله آموزش شبکه است. در چنین مدل ترکیبی، ANN به‌عنوان مدل اصلی شبیه‌سازی و GA

خشک‌سالی و سیلاب دو پدیده اقلیمی حدی هستند که پیامدهای ناگواری برای جامعه انسانی، اکوسیستم، کشاورزی و منابع آبی دارند (Hooshyaripor and Yazdi, 2017; Williams et al., 2020). پیش‌بینی می‌شود که وقوع خشک‌سالی شدید در سراسر جهان افزایش یابد (Vicente-Serrano et al., 2015). خشک‌سالی‌ها در دهه‌های اخیر به دلیل تأثیرات انسان بر تغییرات جوی، شدیدتر، مکرر و گسترده‌تر شده‌اند (Khan et al., 2020). خشک‌سالی براساس ماهیت کمبود به چهار دسته تقسیم می‌شود: هواشناسی، هیدرولوژیک کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی (Heim Jr., 2002). خشک‌سالی هیدرولوژیک به‌دلیل پیامدهای فاجعه باری که برای منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی دارد، بیشترین توجه دولت‌ها، سهامداران، محققان و عموم مردم را به خود جلب می‌کند. خشک‌سالی هیدرولوژیک از طریق کاهش میزان ذخیره آب دریاچه‌ها، پایین‌رفتن سطوح آب‌های زیرزمینی و کاهش دی‌جریان رودخانه‌ای تشخیص داده می‌شود و معمولاً بر منطقه وسیعی تأثیر می‌گذارد (Cui et al., 2021). بازندگی ناکافی یا تبخیر بیش از حد پایدار در یک دوره زمانی طولانی می‌تواند منجر به خشک‌سالی هواشناسی شود. خشک‌سالی هیدرولوژیکی با سطح ناکافی و منابع آب زیرسطحی تعریف می‌شود؛ به این ترتیب، رواناب ناکافی منجر به خشک‌سالی هیدرولوژیکی خواهد شد.

شواهد زیادی وجود دارد که خشک‌سالی می‌تواند به‌طور فزاینده‌ای بر جوامع انسانی و همچنین عملکرد اکوسیستم تأثیر بگذارد (Hooshyaripor et al., 2022). با این حال، پیش‌بینی دقیق خشک‌سالی هنوز یک چالش است و محققان به‌دنبال جنبه‌های مختلفی هستند که می‌تواند واقعیت زمین را منعکس کند. از آنجایی که تعریف خشک‌سالی مهم است، شاخص‌ها براساس متغیرهای خاص و وابستگی آن‌ها به‌نوع خشک‌سالی در حال تجزیه و تحلیل توسعه یافتند (Salimi et al., 2021). امروزه پیش‌بینی خشک‌سالی برای برنامه‌ریزی‌های آینده در زمینه‌های طبیعی و انسانی از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله می‌توان به پیش‌بینی خشک‌سالی و سیل و غیره اشاره کرد که در این صورت می‌توان با برنامه‌ریزی مدون از خسارات احتمالی کاست (Hooshyaripor et al., 2022).

علوی نیا و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری حوضه آبریز کارون یک و با بهره‌گیری از شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI) و شاخص خشک‌سالی آب‌های سطحی، یک مدل تجربی برای پیش‌بینی

هیدرولوژیک ندارد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- حوضه آبریز رودخانه دز

حوضه آبریز رودخانه دز به‌عنوان یک حوضه درجه ۳، زیرمجموعه‌ای از حوضه کارون بزرگ محسوب می‌شود و در تقسیم‌بندی بزرگ‌تر در زیرمجموعه حوضه خلیج فارس و دریای عمان قرار می‌گیرد. از شهرهای مهم موجود در این حوضه می‌توان به دزفول، اندیمشک و شوش اشاره کرد. در ارتفاعات دامنه‌های غربی و جنوب‌غربی زاگرس که جزء مناطق پرباران کشور به‌شمار می‌روند، بخش عمده بارش‌های جوی در فصل‌های پاییز و زمستان به‌صورت برف است و آب‌شدن آن‌ها از اواخر فصل زمستان تا اواخر بهار، بخش عمده آب سالانه رواناب‌های سطحی این حوضه را تأمین می‌کند (Dehghani et al., 2019).

سزار و بختیاری دوشاخه اصلی رودخانه دز هستند. رود سزار در شمالی‌ترین قسمت حوضه دز جریان دارد و از سه‌شاخه ماربره، تیره و سبزه تشکیل شده است. پیوستن آبراهه‌های متعدد و از جمله رودخانه ازنا در منطقه الیگودرز، رودخانه ماربره را پدید می‌آورند و این رودخانه در جهت غرب به‌طرف شهر درود در استان لرستان جریان می‌یابد. این رودخانه، حوضه آبریز مرتفع ولی با شیبی متوسط را زهکش می‌نماید. شاخه دیگر رودخانه سزار، رودخانه تیره نام دارد که از شاخه‌های فرعی کله‌رود، سیلاخور، آیسرد و بیاتون تشکیل می‌شود. سرچشمه رودخانه تیره از منطقه بروجرد است و سپس این رودخانه در جهت شرق به سمت درود جریان می‌یابد و در این محل، دو رودخانه تیره و ماربره به هم می‌پیوندند. از این نقطه به بعد، جهت جریان آب عموماً از شمال به جنوب و جنوب‌غربی است. در ۲۰ کیلومتری جنوب درود، رود سبزه که از دامنه‌های جنوبی و غربی اشترانکوه سرچشمه می‌گیرد، به این جریان متصل شده و رودخانه سزار تشکیل می‌شود. در حدود ۲۵ کیلومتری جنوب‌غربی این نقطه، رود واسک و به فاصله کمی رود از ساحل چپ به رود سزار پیوسته و جریان در جهت جنوب‌غربی ادامه می‌یابد. رودخانه کوچک سرخاب نیز از ساحل راست به رودخانه سزار متصل می‌شود (Felfelani et al., 2013).

رودخانه بختیاری دومین شاخه اصلی رودخانه دز است که در ۴۰ کیلومتری جنوب اتصال رود سرخاب، به رودخانه سزار می‌پیوندد. رود بختیاری از ارتفاعات جنوبی اشترانکوه سرچشمه گرفته و در ابتدا به نام رود دره‌دایی در جهت عمومی شمال‌غرب

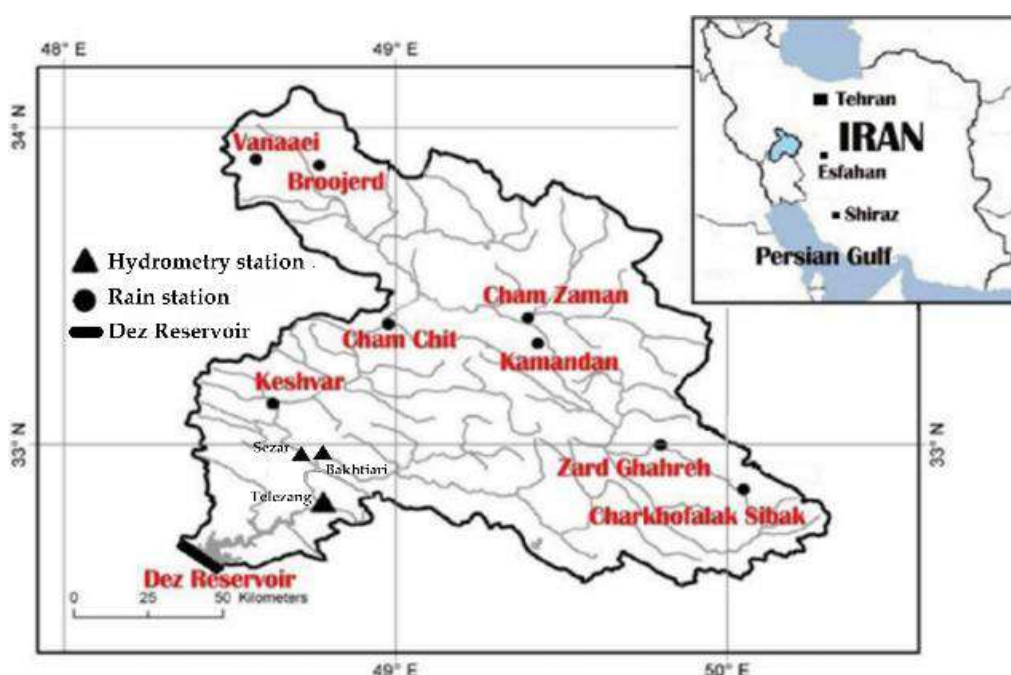
به‌عنوان ابزار بهینه‌سازی برای بهینه‌سازی بایاس و وزن ANN استفاده شده است. هدف از این روش حذف محدودیت‌های روش‌های مبتنی بر شیب نزولی و ایجاد الگوریتمی برای همگرایی دائمی در مدل است (Eghbali et al., 2017). از مدل‌های ترکیبی در زمینه‌های مختلف مدیریت منابع آب استفاده شده است. (Eghbali et al., 2017) برای پیش‌بینی دبی سیلاب ناشی از شکست سد از مدل ترکیبی شبکه عصبی-الگوریتم ژنتیک^۵ (ANN-GA) استفاده کردند. (Dehghani et al., 2019) از مدل ترکیبی شبکه عصبی نرو فازی-الگوریتم گرگ خاکستری برای پیش‌بینی تولید برقابی در سد مخزنی دز استفاده کردند. (Heidarpanah et al., 2023) مدل هیبرید ANN-GA برای پیش‌بینی قیمت برق روزانه در بازار برق ایران استفاده کردند. قیمت برق همانند خشک‌سالی، یک سری زمانی پیوسته است و براساس نتایج گزارش‌شده، مدل ترکیبی به‌خوبی توانست قیمت برق را پیش‌بینی نماید.

از آن طرف، یادگیری عمیق^۶ (DL) بخشی از روش‌های یادگیری ماشین است که بر روش‌هایی تمرکز دارد که مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند. یادگیری عمیق به رایانه‌ها می‌آموزد آن‌چه را که به‌طور طبیعی برای انسان انجام می‌شود، انجام دهند (Yu et al., 2021). این مدل‌ها برای توسعه راه‌هایی به‌منظور بازنمایی داده‌ها مفید هستند. یک داده می‌تواند یک کلمه، پیکسل، فرکانس و غیره باشد و ممکن است معنای کمی به‌خودی‌خود داشته باشد، اما ترکیب این داده‌ها می‌تواند چیز سودمندی را نمایش دهد. به‌خودی‌خود یادگیری عمیق برای سناریوهای خیلی خاص مفید بود است و نیازمند استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و فن‌های دیگر برای ایجاد نتایج معنی‌دار بیشتر است. در سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی عمیق (از جمله شبکه‌های بازگشتی) فاتح رقابت‌های متعددی در زمینه‌های تشخیص الگو و یادگیری ماشینی شده‌اند (Nabipour et al., 2020). با توجه به قابلیت‌های یادگیری عمیق در مطالعات گذشته و موفقیت این روش در زمینه‌های تحقیقاتی مختلف، در این مقاله از این روش برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک استفاده می‌شود. در این مقاله قابلیت روش یادگیری عمیق در مقایسه با چندین روش هیبرید جدید که اخیراً در کارهای تحقیقاتی معرفی شده اند مقایسه می‌شود. اگرچه روش‌های ترکیبی مشابه با روش‌های مورد استفاده در این تحقیق بعضاً در پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی استفاده شده است، لیکن روش‌های مورد استفاده و روش به‌کارگرفته شده در این تحقیق، هیچ سابقه قبلی در حوزه پیش‌بینی خشک‌سالی

متوسط ارتفاع حوضه حدود ۱۶۰۰ متر است. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز دز در بالادست سد دز است که مساحت آن حدود ۵ کیلومترمربع است. پوشش گیاهی در ارتفاعات پایین حوضه کم بوده و با افزایش ارتفاع، تراکم این پوشش زیادت می‌شود. متوسط بارش سالانه در نواحی شمال و شرق حوضه دز نسبت به سایر مناطق حوضه بیشتر است. از نظر توزیع زمانی بارش نیز ۴۸/۸ درصد از بارش سالانه در زمستان، ۳۰/۶ درصد در فصل پائیز، ۲۰/۴ درصد در بهار و تنها ۰/۲ درصد از بارش در فصل تابستان رخ می‌دهد (Malekmohammadi et al., 2011).

به جنوب شرق جریان یافته و پس از اتصال با رودخانه گلستان که از فلات مرتفع جنوب الیگودرز سرچشمه می‌گیرد، به جهت جنوب متمایل شده و با رود وهرگان که از جنوب شرق به شمال غرب جریان دارد، همگام می‌شود. سپس با دریافت آب شاخه‌های کوچک‌تر، رودخانه به سمت غرب تغییر جهت داده و در این بخش به نام زالکی شناخته می‌شود. سپس با شاخه نسبتاً بزرگی که از شمال به آن می‌پیوندد، جمع شده و به رود سزار متصل می‌شود. از این پس، این رودخانه دز است که جریان می‌یابد (Felfelani et al., 2013).

شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز دز را در کشور ایران نشان می‌دهد. مساحت کل حوضه بالغ بر ۲۱۷۲۰ کیلومترمربع و



شکل ۱- حوضه آبریز رودخانه دز و ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری (Felfelani et al., 2013)

۲-۲- داده‌های مطالعه

در این تحقیق از آمار بارندگی ایستگاه باران‌سنجی زرد قهره برای محاسبه شاخص SPI و ایستگاه هیدرومتری تله زنگ برای محاسبه شاخص استاندارد شده خشک‌سالی هیدرولوژیک^۷ (SHDI) طی سال‌های زراعی (۱۳۵۸-۱۳۹۹) استفاده شد. داده‌های مورد استفاده از شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان آب و برق خوزستان دریافت شد.

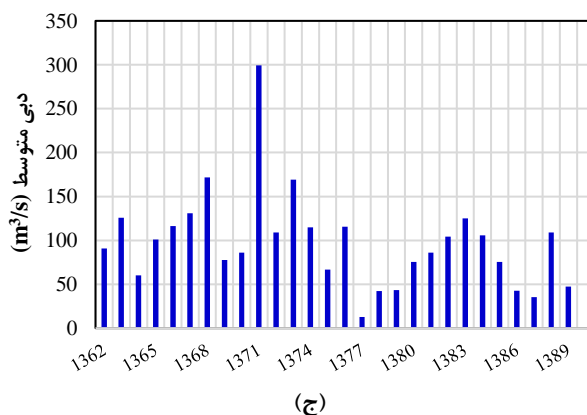
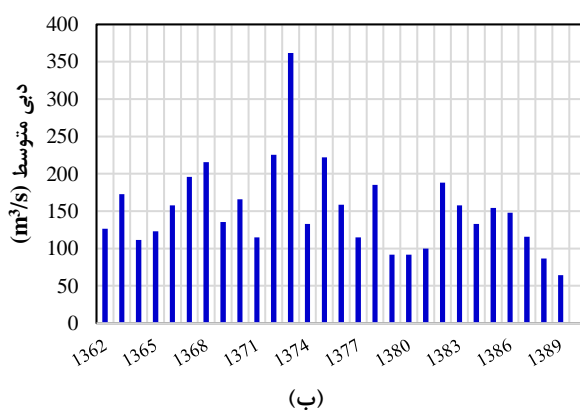
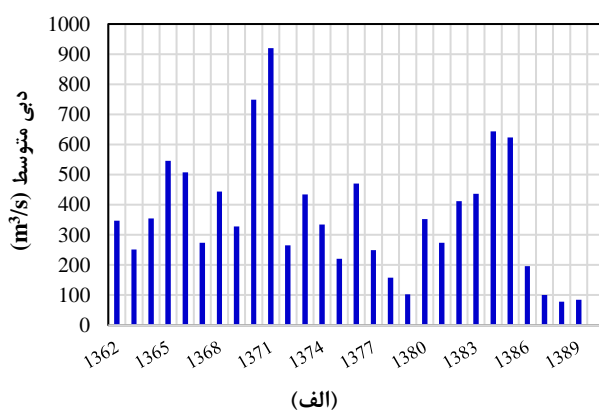
پس از حذف داده‌های پرت و پردازش و اصلاح و بازسازی داده‌ها، با اجرای آزمون‌های آماری دوره آماری ۳۰ ساله به‌عنوان دوره آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. آزمون‌های آماری با نرم‌افزار SPSS صورت‌پذیرفت.

در شکل ۲ دبی جریان سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آمده است.

سد دز و برای تولید برق، آبیاری، کنترل سیلاب و تأمین آب طراحی و ساخته شده است. حدود ۱۲۵۰۰۰ هکتار از سطح زیردست کشاورزی سد دز از آب خارج شده از سد آبیاری می‌شود. هم‌چنین ۵۲۰ مگاوات برق توسط نیروگاه‌های آبی نصب شده در پایین‌دست سد تولید می‌شود. جریان ورودی سد در ایستگاه تله زنگ واقع در بالادست سد اندازه‌گیری می‌شود. چهار ایستگاه هواشناسی در حوضه آبریز دز و ۱۰ ایستگاه در اطراف حوضه وجود دارد. داده‌های هیدرومتری و بارش از شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری می‌شود (Dehghani et al., 2019).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی واقع در محدوده مطالعاتی (عظیمی و همکاران، ۱۳۸۹)

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	تله زنگ	۴۴۰	۴۸/۷۷	۳۲/۸۱
۲	تنگ پنج سزار	۶۰۰	۴۸/۷۵	۳۲/۹۳
۳	تنگ پنج بختیاری	۶۰۰	۴۸/۷۷	۳۲/۹۳
۴	زردقهره	۲۰۰۰	۴۹/۸	۳۳
۵	چرخ فلک سبیک	۲۴۹۰	۵۰/۰۵	۳۲/۸۶
۶	بروجرد	۱۵۲۰	۴۸/۷۷	۳۳/۸۸
۷	ونائی (گله‌رود)	۲۰۰۰	۴۸/۵۸	۳۳/۹
۸	کمندان	۱۹۳۰	۴۹/۴۳	۳۳/۲۳
۹	چم‌زمان	۱۸۳۰	۴۹/۴	۳۳/۴
۱۰	چم‌چیت (آب‌سبزه)	۱۲۹۰	۴۸/۹۸	۳۳/۳۸
۱۱	کشور	۷۷۰	۴۸/۶۳	۳۳/۱۳



شکل ۲- دبی جریان سالانه در ایستگاه: (الف) تله زنگ؛ (ب) تنگ پنج بختیاری و (ج) تنگ پنج سزار

۳-۲- شاخص‌های خشکسالی SPI و SHDI

برای ارزیابی و تحلیل خشکسالی از دو شاخص خشکسالی SPI و SHDI استفاده شد. چندین شاخص خشکسالی هواشناسی توسط محققان در دهه‌های گذشته پیشنهاد شده است؛ که در بین همه آن‌ها، SPI مورد توجه زیادی قرار گرفته است و به‌طور گسترده‌ای برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی در کشورهای مختلف استفاده می‌شود (Dehghani et al., 2019). از آنجایی که SPI فقط براساس بارش محاسبه می‌شود، یک شاخص خشکسالی ساده است و به‌دلیل نرمال بودن، امکان استفاده از آن در مقایسه مکانی و زمانی وجود دارد. برای محاسبه SPI، ابتدا یک تابع توزیع احتمال مناسب (تابع پیش‌فرض گاما) به یک داده بلندمدت (حداقل ۳۰ ساله) برازش داده می‌شود.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{for } x > 0, \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

که $\Gamma(\alpha)$: تابع گاما و α و β : به‌ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس هستند (Dehghani et al., 2019).

سپس توزیع احتمال تجمعی آن از طریق تبدیل احتمال مساوی به توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف استاندارد واحد تبدیل می‌شود. مقادیر تبدیل‌شده، SPI هستند. این روش را می‌توان برای هر مقیاس زمانی انجام داد. مقادیر مثبت و منفی SPI به‌ترتیب مقدار بیشتر و کمتر از میانگین بارش را نشان می‌دهند. (Dehghani et al., 2014) با جایگزینی بارندگی با تخلیه SHDI را توسعه دادند.

شاخص SHDI، مشابه نمایه SPI است با این تفاوت که در آن به‌جای متغیر بارش از مقادیر جریان رودخانه استفاده شده است (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های SPI و SHDI (Dehghani et al., 2017)

کلاس	SHDI	کلاس	SPI
-	-	فوق‌العاده مرطوب	۲ به بالا
-	-	به‌شدت مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
فاقد خشکسالی	≥ 0 SHDI	نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
خشکسالی ملایم	۰ تا -۱	نرمال	۱ تا -۱
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۵	نسبتاً خشک	-۱ تا -۱/۵
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۲	به‌شدت خشک	-۱/۹۹ تا -۱/۵

۴-۲- متغیرهای موثر در پیش‌بینی خشکسالی

براساس مطالعات انجام شده در گذشته خشکسالی هیدرولوژیکی، بارش و خشکسالی هواشناسی در ماه‌های گذشته می‌تواند پیش‌بینی‌کننده مناسبی برای خشکسالی هیدرولوژیکی دوره‌های آبی باشد. بنابراین، در این مقاله، بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده از میان این پارامترهای مختلف توسط مدل انتخاب می‌شوند. در جدول ۳ حالت‌های مختلف پیش‌بینی‌کننده‌ها آمده است. مطابق جدول ۳، سه حالت کلی برای این کار در نظر گرفته شده است. در حالت I برای پیش‌بینی SHDI در بازه‌های زمانی یک ماهه (SHDI-1)، سه ماهه (SHDI-3) و شش ماهه (SHDI-6) در زمان t ، از مقادیر SHDI در زمان‌های گذشته ($t-1$ ، $t-3$ و $t-6$) استفاده می‌شود و حالت‌های مختلفی مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌همین ترتیب در حالت II، مقادیر بارش (P) در زمان‌های گذشته نیز به ورودی‌ها اضافه می‌شود. در حالت III نیز علاوه بر SHDI و P از شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در بازه‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه نیز استفاده می‌شود. همان‌طور که دیده می‌شود در هر حالت، ۱۲ مدل ورودی (M1..M12) و در مجموع ۳۶ نوع، مدل ورودی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۵-۲- مدل پیش‌بینی خشکسالی

۱-۵-۲- شبکه یادگیری عمیق

مانند یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق نیز طیف وسیعی از رویکردها را برای یادگیری از داده‌ها در بر می‌گیرد. معماری سلسله‌مراتبی شبکه‌های عصبی عمیق^۸ (DNN) را می‌توان به‌روش‌های مختلفی برای حل مسائل مختلف مورد استفاده قرار داد. در این مقاله از روش یادگیری نظارت شده یادگیری عمیق استفاده می‌شود. در این روش، هر لایه از تعدادی نورون تشکیل شده است؛ که یک سلسله‌مراتب را تشکیل می‌دهند. خروجی لایه قبلی به ورودی لایه بعدی و غیره تبدیل می‌شود. هر لایه بعدی الگوهای پیچیده‌تری را در داده‌های ورودی یاد می‌گیرد. لایه‌های پایین‌تر معمولاً ویژگی‌های سطح پایین را یاد می‌گیرند، در حالی که لایه‌های عمیق‌تر انتزاعات سطح بالا را یاد داده‌ها یاد می‌گیرند. یادگیری عمیق از نظر ساختار ساده‌ترین هستند؛ زیرا آن‌ها شبکه‌های عصبی پیشرو با لایه‌های زیادی هستند.

۲-۵-۲- مدل ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم‌های

بهینه‌سازی

در این مقاله، برای ارزیابی دقت روش یادگیری عمیق، نتایج به‌دست آمده با نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی مقایسه می‌شود.

(ب) بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی^{۱۰} (BBO) BBO براساس مفهوم جغرافیای زیستی توسط (Simon 2008) توسعه یافت.

(ج) بهینه‌سازی ازدحام نمک^{۱۱} (SSA) SSA یک الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری الهام‌گرفته از طبیعت است که توسط (Mirjalili et al. 2017) ارائه شده است

(د) الگوریتم بهینه‌سازی ملخ^{۱۲} (GOA) GOA یک الگوریتم فراابتکاری است که توسط (Mirjalili et al. 2017) ارائه شده است. GOA یک روش مبتنی بر جمعیت است که از رفتار دسته‌های ملخ و تعامل اجتماعی آن‌ها تقلید می‌کند.

۲-۵-۳- روند انجام مدل‌سازی

- برای پیش‌بینی خشک‌سالی، مراحل زیر طی می‌شوند:
۱. محاسبه SPI و SHDI در بازه زمانی‌های مختلف ۳ و ۶ ماهه.
 ۲. ایجاد معماری DNN ابتدایی
 ۳. آموزش شبکه و صحت‌سنجی نتایج پیش‌بینی
 ۴. اجرای مدل‌های ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی
 ۵. مقایسه نتایج روش DNN با نتایج سایر الگوریتم‌ها
- لازمه ذکر است که در روش DNN نیازی به بررسی تمام حالات و مدل‌های عنوان‌شده نیست و خود شبکه عصبی عمیق، ورودی مناسب را از بین تمام پارامترهای ورودی کشف می‌کند. در شکل ۳، روند نمای انجام تحقیق به طور خلاصه آمده است.

در این‌جا از الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا استفاده می‌شود. مسئله چالش‌برانگیز اصلی در مدل‌سازی ANN، اختصاص وزن‌ها (W) و بایاس‌های (b) مناسب است؛ که در طول فرآیند تکرار تعیین می‌شوند. تابع کلی شبکه عصبی مورد استفاده به صورت معادله (۲) است.

$$y' = \text{purelin} \left\{ \sum_{j=1}^M \left[\tan \text{sig} \left(\sum_{i=1}^{N_{in}} x_i \times W_{ij} + b_j \right) \times W_j' + b' \right] \right\} \quad (2)$$

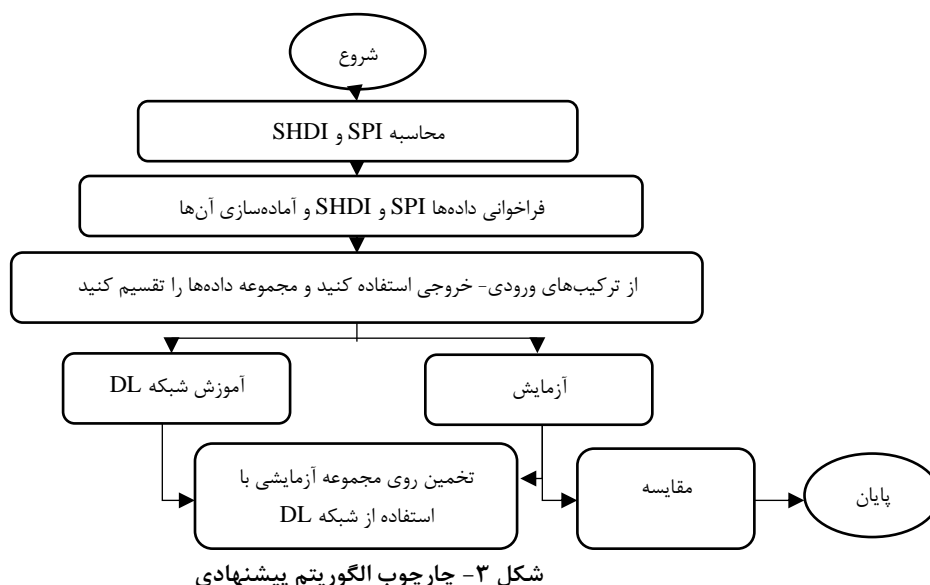
که purelin و tansig : تابع انتقال در لایه پنهان و لایه خروجی، y' و x_i : به ترتیب مقدار پیش‌بینی شده و متغیر پیش‌بینی کننده، M و N_{in} : به ترتیب تعداد متغیرهای پیش‌بینی کننده و تعداد نرون در لایه پنهان است. در این مقاله برای یافتن مقادیر بهینه وزن‌ها و بایاس‌ها از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده شده است. تابع هدف استفاده شده در این الگوریتم‌ها کمینه‌سازی مجموع مربع خطای پیش‌بینی (SE) است که به صورت معادله (۳) تعریف می‌شود.

$$\text{Min} : SE = \sum_{i=1}^n (y_i' - y_i) \quad (3)$$

که y : مقدار مشاهداتی و n : تعداد داده‌ها است. در این مقاله از ۴ الگوریتم فراابتکاری استفاده می‌شود:

الف) بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۹ (PSO)

PSO یک الگوریتم فراابتکاری است؛ که توسط (Eberhart and Kennedy 1995) برای بهینه‌سازی جهانی پیشنهاد شده است. این روش یک الهام از حیواناتی مانند پرندگان و ماهی‌ها است.



جدول ۳- ترکیب ورودی در پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی

متغیر پیش‌بینی شونده	مدل	پارامترهای ورودی (پیش‌بینی کننده‌ها)
حالت I	۱	SHDI-1(t-1)
	۲	SHDI-1(t-1), SHDI-1(t-2)
	۳	SHDI-1(t-1), SHDI-1(t-2), SHDI-1(t-3)
	۴	SHDI-3(t-3)
	۵	SHDI-3(t-3), SHDI-3(t-2)
	۶	SHDI-3(t-3), SHDI-3(t-2), SHDI-3(t-1)
	۷	SHDI-3(t-6)
	۸	SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5)
	۹	SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4)
	۱۰	SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3)
	۱۱	SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3), SHDI-3(t-2)
	۱۲	SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3), SHDI-3(t-2), SHDI-3(t-1)
حالت II	۱	P(t-1), SHDI-1(t-1)
	۲	P(t-1), P(t-2), SHDI-1(t-1), SHDI-1(t-2)
	۳	P(t-1), P(t-2), P(t-3), SHDI-1(t-1), SHDI-1(t-2), SHDI-1(t-3)
	۴	P3(t-1), SHDI-3(t-1)
	۵	P3(t-1), P3(t-2), SHDI3(t-1), SHDI3(t-2)
	۶	P3(t-1), P3(t-2), P3(t-3), SHDI3(t-1), SHDI3(t-2), SHDI3(t-3)
	۷	P6(t-6), SHDI-6(t-6)
	۸	P6(t-6), P6(t-5), SHDI-6(t-6), SHDI-3(t-5)
	۹	P3(t-6), P3(t-5), P3(t-4), SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4)
	۱۰	P3(t-6), P3(t-5), P3(t-4), P3(t-3), SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3)
	۱۱	P3(t-6), P3(t-5), P3(t-4), P3(t-3), P3(t-2), SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3), SHDI-3(t-2)
	۱۲	P3(t-6), P3(t-5), P3(t-4), P3(t-3), P3(t-2), P3(t-1), SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3), SHDI-3(t-2), SHDI-3(t-1)
حالت III	۱	SPI-1(t-1), SHDI-1(t-1)
	۲	SPI-1(t-1), SPI-1(t-2), SHDI-1(t-1), SHDI-1(t-2)
	۳	SPI-1(t-1), SPI-1(t-2), SPI-1(t-3), SHDI-1(t-1), SHDI-1(t-2), SHDI-1(t-3)
	۴	SPI-3(t-1), SHDI-3(t-1)
	۵	SPI-3(t-1), SPI-3(t-2), SHDI-3(t-1), SHDI-3(t-2)
	۶	SPI-3(t-1), SPI-3(t-2), SPI-3(t-3), SHDI-3(t-1), SHDI-3(t-2), SHDI-3(t-3)
	۷	SPI-6(t-6), SHDI-6(t-6)
	۸	SPI-6(t-6), SPI-6(t-5), SHDI-6(t-6), SHDI-3(t-5)
	۹	SPI-6(t-6), SPI-6(t-5), SPI-6(t-4), SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4)
	۱۰	SPI-6(t-6), SPI-6(t-5), SPI-6(t-4), SPI-6(t-3), SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3)
	۱۱	SPI-6(t-6), SPI-6(t-5), SPI-6(t-4), SPI-6(t-3), SPI-6(t-2), SHDI-3(t-6), SHDI-3(t-5), SHDI-3(t-4), SHDI-3(t-3), SHDI-3(t-2)
	۱۲	SPI-6(t-6), SPI-6(t-5), SPI-6(t-4), SPI-6(t-3), SPI-6(t-2), SPI-6(t-1), SHDI-6(t-6), SHDI-6(t-5), SHDI-6(t-4), SHDI-6(t-3), SHDI6(t-2), SHDI6(t-1)

خشک‌سالی هیدرولوژیکی، از شاخص‌های آماری ضریب تعیین^{۱۳} (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا^{۱۴} (RMSE)، استفاده شد.

۶-۲- معیارهای ارزیابی
برای ارزیابی قابلیت الگوریتم مورد استفاده در پیش‌بینی

شده است. این نمودارها به فهم دوره‌های خشک‌سالی و بزرگی آن کمک می‌کند. با توجه به جدول ۳، SPI بین ۱- تا ۱/۵- شرایط نسبتاً خشک و کم‌تر از ۱/۵- شرایط بسیار خشک را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به شکل ۴-ب، سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۸۶، ۱۳۷۳، ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ از جمله سال‌های با خشک‌سالی شدید و سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹، ۱۳۸۷، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶ از جمله سال‌های نسبتاً خشک قلمداد می‌شود. از آن طرف مطابق شکل ۴-الف، در سال‌های آبی ۱۳۶۸، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳ خشک‌سالی شدید هیدرولوژیک و سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۳، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۷ در زمره سال‌های با خشک‌سالی نسبتاً شدید هیدرولوژیک هستند. نتایج شکل ۴-الف نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷) یک خشک‌سالی طولانی مدت ۱۲ ساله رخ داده است. شدیدترین خشک‌سالی نیز در همین دوره در سال ۱۳۹۳ رخ داده است. روند مشابهی در دوره‌های زمانی ۶ ماهه (شکل ۵) و ۳ ماهه (شکل ۶) قابل مشاهده است.

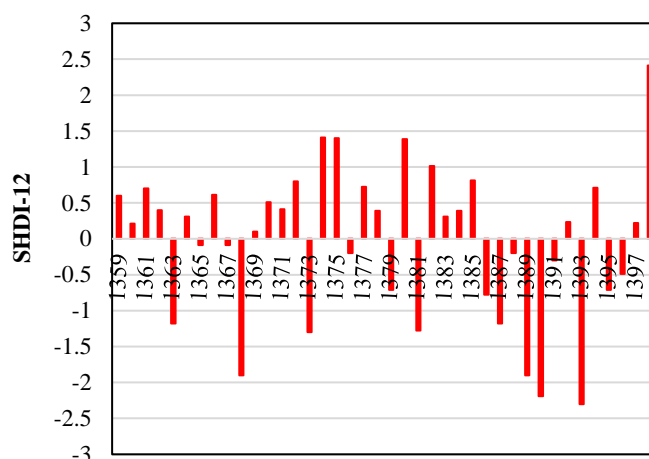
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

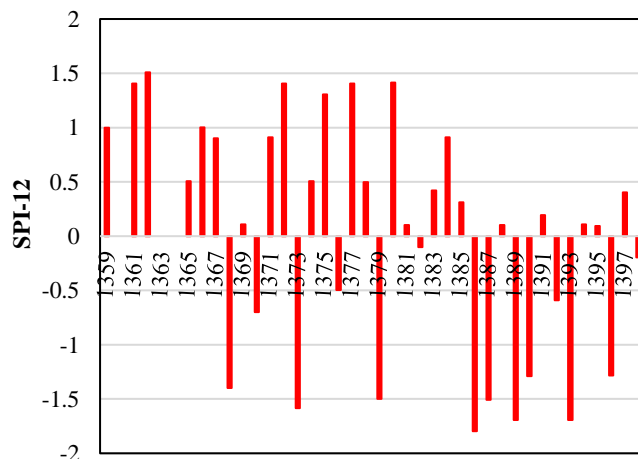
که y و \bar{y} : به ترتیب مقادیر مشاهداتی و متوسط آن‌ها، y' : مقادیر پیش‌بینی شده و n : تعداد داده‌ها هستند.

۳- نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نتایج محاسبه شاخص SPI و SHDI در دو ایستگاه مهم حوضه (هیدرومتری تله زنگ و باران سنجی زرد قهره) نشان داده می‌شود. بر این اساس مقادیر SPI و SHDI در بازه‌های ۱۲، ۶ و ۳ ماهه به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده

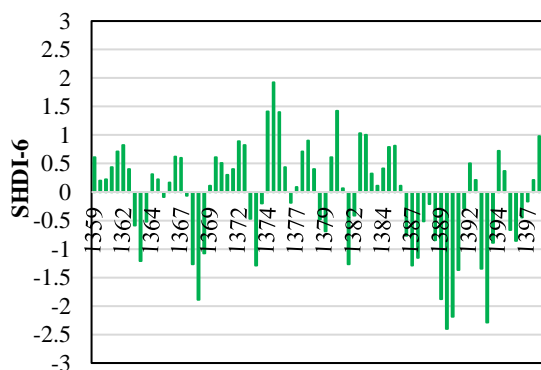


(الف)

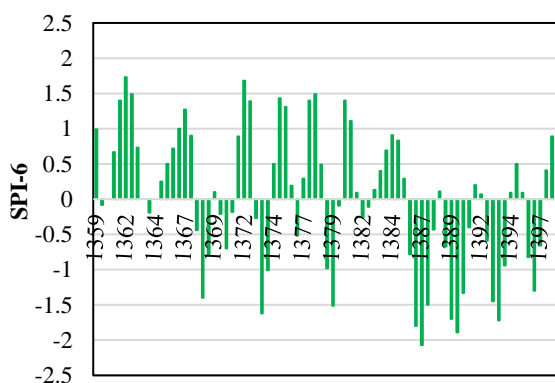


(ب)

شکل ۴- مقادیر شاخص ۱۲ ماهه: الف) SHDI-12 ایستگاه تله زنگ و ب) SPI-12 ایستگاه زردقهره

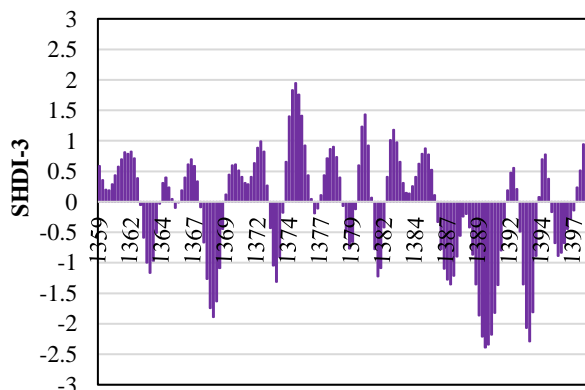


(الف)

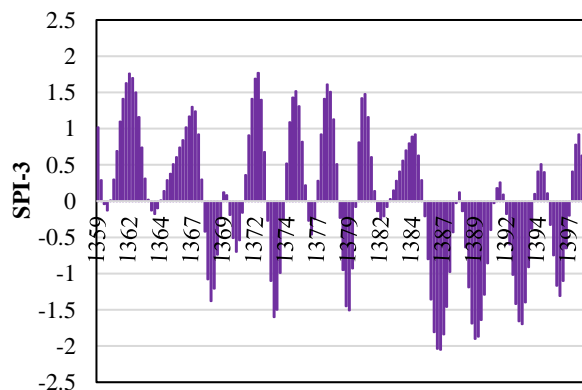


(ب)

شکل ۵- مقادیر شاخص ۶ ماهه: الف) SHDI ایستگاه تله زنگ و ب) SPI ایستگاه زردقهره



(الف)



(ب)

شکل ۶- مقادیر شاخص ۳ ماهه: الف) SHDI ایستگاه تله زنگ؛ و ب) SPI ایستگاه زردقهره

۲-۲- نتایج مدل پیش‌بینی SHDI

در این قسمت از تحقیق ۷۰٪ داده‌های سری زمانی برای آموزش و ۳۰٪ برای اعتبارسنجی مدل‌ها در نظر گرفته شد. داده‌ها در هر حالت که در جدول ۳-۳ نشان داده شده است حاکی از یک بازه خاص است؛ به‌عنوان مثال پیش‌بینی در مدل‌های یک تا سه، یک ماهه، چهار تا شش، سه ماهه و هفت تا ۱۲، شش ماهه است. در این بخش، عملکرد مدل یادگیری عمیق و مدل ترکیبی ANN با الگوریتم‌های بهینه‌سازی SSA، BBO، PSO و GOA مورد بحث قرار می‌گیرد. در ابتدا نتایج الگوریتم‌های رقیب در حالات مختلف جدول ۳ ارائه می‌شود.

نتایج را می‌توان از چند جنبه مقایسه کرد. براساس حالت‌ها، تنها یکی از بهترین مدل‌های ترکیبی در حالت I قرار دارد؛ درحالی که هفت و چهار بهترین مدل به ترتیب در حالت دو و حالت سه قرار دارند. برای ANN معمولی، پنج و هفت بهترین مدل به ترتیب در حالت دو و حالت سه قرار گرفتند. نشان می‌دهد که حالت یک برای مدل‌سازی مناسب نیست. این بدان معنی است که اگرچه SHDI همبستگی قوی با تأخیرهای قبلی خود دارد، اما تنها تابعی از مقادیر قبلی آن نیست. عوامل دیگری مانند بارندگی یا خشک‌سالی هواشناسی که قبل از اتصال خشک‌سالی هیدرولوژیک با SHDI در تأخیرهای قبلی اتفاق می‌افتد می‌تواند نتایج را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد. هم‌چنین، بارش همراه با مقادیر SHDI در ماه‌های گذشته، پیش‌بینی‌کننده بهتری برای پیش‌بینی SHDI نسبت به SPI مشترک با SHDI، به‌ویژه در مدل‌های هیبریدی است.

ارزیابی دقیق نشان می‌دهد که برای M1 تا M3 بهترین مدل‌ها بیشتر در حالت دو هستند. به این معنی که برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک در مقیاس زمانی ماهانه که به‌صورت SHDI1 نشان داده می‌شود، بارش و SHDI در ماه‌های گذشته بهترین ورودی‌ها هستند. برای M4 تا M6، دو تا از بهترین مدل‌ها در حالت سه هستند و یکی از آن‌ها در حالت یک است؛ بنابراین، می‌توان گفت که برای پیش‌بینی SHDI3، حالت سه که شامل SPI و SHDI در مراحل قبل به‌عنوان ورودی است بهترین به حساب می‌آید. برای M7 تا M12، پنج تا از بهترین مدل‌ها در حالت دو هستند که نشان می‌دهد همان M1 تا M3، بارش و SHDI در ماه‌های قبل بهترین ورودی هستند.

نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های هیبریدی نسبت به ANN معمولی در همه حالت‌های M1 تا M12 برتری دارند. RMSE و R^2 تقریباً در تمام ترکیبات ورودی-خروجی بین ۰/۱ و ۰/۲ بهبود یافته‌اند. این بدان معنی است که ANN ترکیبی با

الگوریتم‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت نتایج را به‌شدت بهبود می‌دهد. بر این اساس امکان مقایسه وجود دارد. الگوریتم بهینه‌سازی برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک الگوریتم‌های SSA، BBO، PSO و GOA در ترکیب با ANN بهترین نتایج را به ترتیب در مورد دو، سه، پنج و دو برای M1 تا M12 ایجاد کردند. با توجه به این واقعیت، PSO بر سایرین برتری دارد. SSA به‌عنوان بهترین الگوریتم در M10 و M11، BBO، بهترین نتایج را در M3، M7 و M9، PSO در M2، M5، M6، M8 و M12 و GOA در M1 و M4 تولید کرد؛ بنابراین، SSA برای پیش‌بینی SHDI6 بهترین است درحالی که BBO برای SHDI1 و SHDI6، GOA برای SHDI1 و SHDI3 و PSO برای همه آن‌ها. مجدداً می‌توان نتیجه گرفت که PSO بهترین الگوریتم برای ترکیب با ANN برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک است.

درنهایت، امکان ارزیابی ترکیب‌های ورودی در پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک وجود دارد. براساس نتایج، M1 تا M3 برای پیش‌بینی SHDI1 درحالی که M4 تا M6 و M7 تا M12 به ترتیب برای پیش‌بینی SHDI3 و SHDI6 استفاده شده‌اند.

براساس نتایج، M2 در حالت دو به‌عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی SHDI1 عمل کرد. این نشان می‌دهد که بارش و SHDI در یک و دو ماه گذشته بهترین پیش‌بینی‌شده برای پیش‌بینی SHDI1 است. M6 در حالت سه بهترین عملکرد را برای پیش‌بینی SHDI3 نشان می‌دهد؛ بنابراین، مقادیر SPI و SHDI در سه ماه گذشته بهترین پیش‌بینی‌شده برای پیش‌بینی SHDI3 هستند. باین‌حال، شایان‌ذکر است که نتایج M4 در حالت سه در برخی جنبه‌ها از نتایج M6 ارزشمندتر است.

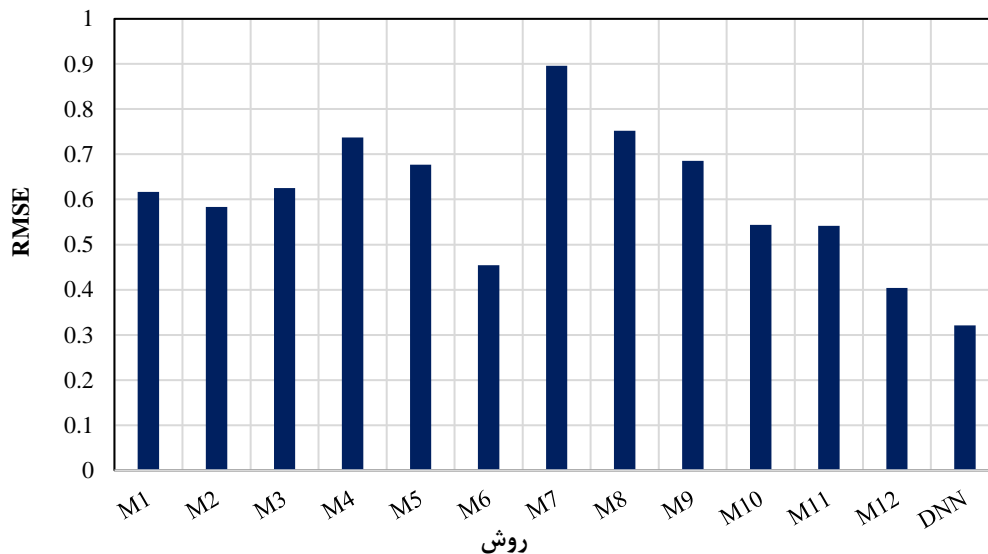
در حالت اول، مدل نیاز به دو پیش‌بینی کننده دارد؛ درحالی که در M6، مدل به شش پیش‌بینی کننده نیاز دارد. هم‌چنین در M4 مقادیر SPI و SHDI سه ماه قبل پیش‌بینی‌کننده هستند؛ به این معنی که مدل SHDI را برای یک‌فصل آینده پیش‌بینی می‌کند. با این حال، M6 از مقادیر SHDI3 در ماه گذشته به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده استفاده می‌کند، به این معنی که به‌طور کلی، دو سوم از اطلاعاتی که باید پیش‌بینی شود در پیش‌بینی‌ها موجود است. براساس این حقایق، نتایج M6 دقیق‌تر هستند؛ درحالی که نتایج M4 ارزشمندتر هستند. این واقعیتی است که برای M7 تا M12 صادق است. M12 در حالت سه دقیق‌ترین مدل است؛ درحالی که نتایج M7 ارزشمندتر است. پس از تحلیل الگوریتم‌های رقیب نوبت به بررسی توانایی الگوریتم DNN می‌رسد؛ بدین‌گونه که اطلاعات کامل در اختیار شبکه عصبی عمیق قرار می‌گیرد و وظایف تحلیل به خود الگوریتم

جدول ۴- نتایج حاصل از شبکه عصبی عمیق

تکرار	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰
لایه‌های پنهان	۳	۵	۷	۹	۱۱
گره‌ها	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰
RMSE	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۳۸

یادگیری واگذار می‌شود. مدل با مقادیر مختلف لایه‌ها و گره‌های پنهان برای هر لایه پنهان آموزش و اعتبارسنجی شدند. پیش‌بینی در روش یادگیری عمیق با استفاده از SPI در بازه شش‌ماهه انجام می‌شود. جدول ۴ نتایج حاصل از شبکه عصبی عمیق را در حالات مختلف نشان می‌دهد؛ که در ۱۲۰ تکرار با لایه‌های پنهان نه تایی و پنجاه گره کم‌ترین RMSE را تولید می‌کند و از همه مدل‌های قبلی بهتر است.

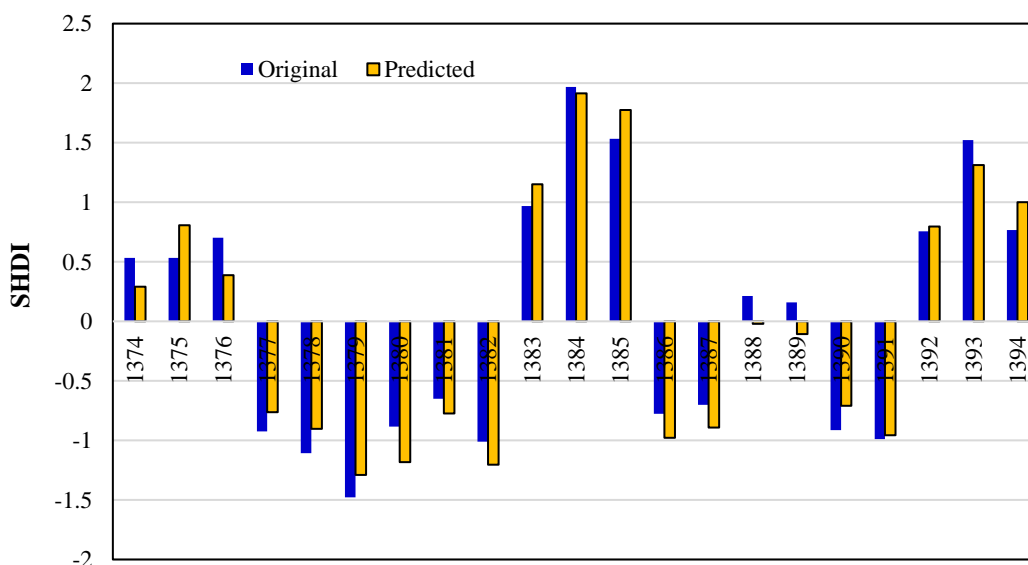
در شکل ۷ خطای پیش‌بینی مدل‌های مختلف شامل DNN و بهترین مدل ترکیبی به ازای بهترین ورودی‌ها ارائه شده است.



شکل ۷- مقایسه RMSE مدل‌های مختلف برای بهترین روش ترکیبی شبکه عصبی در مقایسه با یادگیری عمیق

مقایسه‌ای بین نتایج به‌دست آمده از روش DNN و مقادیر واقعی SHDI ۱۲ ماهه آمده است. در این شکل می‌توان خطای مدل را در هر سال برآورد کرد.

براساس نتایج شکل ۷، روش مبتنی بر شبکه عصبی عمیق خطای کم‌تری دارد و این به‌دلیل توان محاسباتی بالای این روش در پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی است. در شکل ۸



شکل ۸- مقایسه SHDI واقعی و SHDI-12 تخمینی توسط یادگیری عمیق در ایستگاه تله‌زنگ

اقتداری، م.، بذرافشان، ج.، شفیع، م.، و حجابی، س.، (۱۳۹۵)، "پیش‌بینی خشک‌سالی جریان رودخانه با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکف در حوزه آبریز کرخه"، *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۲)، ۱۱۵-۱۳۰، <https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3058>

عظیمی، م.، تجریشی، م.، و ابریشمچی، ا.، (۱۳۸۹)، "پیش‌بینی آورد فصلی سد دز با استفاده از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی"، *نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران*، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.

علوی‌نیا، س.، ساداتی‌نژاد، س.ج.، و عبدالمهدی، خ.، (۱۳۹۰)، "ارائه مدلی برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی در حوزه کارون یک"، *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱(۱)، ۴۵-۵۵.

علیجانی، ر.، و وفاخواه، م.، (۱۳۹۷)، "پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از سری‌های زمانی"، *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۷(۲۰)، ۴۵-۵۶.

کریمی، ف.، و برهانی داریان، ع.، (۱۳۹۳)، "مقایسه روش‌های جیره‌بندی در مدیریت مخازن در شرایط خشک‌سالی"، *آب و فاضلاب*، ۲۵(۳)، ۷۶-۸۵.

کواکبی، غ.، موسوی بایگی، م.، علیزاده، ا.، مساعدی، ا.، و جباری نوقایی، م.، (۱۳۹۹)، "ارائه مدل پیش‌بینی ریسک خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک با روش‌های آماری تحت تأثیر تغییرات اقلیمی (مطالعه موردی: زیرحوضه آبریز افین)". *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹(۱)، ۱۱۷-۱۳۷، <https://doi.org/10.22067/GEO.V9I1.84991>.

مشایخی، م.ح.، و ذاکری نیری، م.، (۱۳۹۹). "پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی مبتنی بر روش موجک در تهران"، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۶(۳)، ۱۳۲-۱۲۰.

مفیدی‌پور، ن.، بردی‌شیخ، و.، اونق، م.، و سعدالدین، ا.، (۱۳۹۱)، "بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک"، *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۳(۵)، ۲۶-۱۶.

Agana, N.A., and Homaifar, A., (2017), "A deep learning based approach for long-term drought prediction", *IEEE South East Conference*, Concord, NC, USA, pp. 1-8, <https://doi.org/10.1109/SECON.2017.7925314>.

Aghelpour, P., Bahrami-Pichaghchi, H., and Varshavian, V., (2021), "Hydrological drought forecasting using multi-scalar streamflow drought index, stochastic models and machine learning approaches, in northern Iran", *Stochastic Environmental Research and Risk*

در این مقاله، از الگوریتم یادگیری عمیق برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک کوتاه‌مدت در حوزه آبریز سد دز استفاده شد. برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی، از شاخص SHDI استفاده شد. متغیرهایی که به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شدند شامل بارش، شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI و مقادیر SHDI در دوره‌های زمانی گذشته بودند که با آنالیز حساسیت، بهترین ترکیب آن‌ها استخراج شد. علاوه بر DNN از مدل ترکیبی شبکه عصبی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی SSA، BBO، PSO و GOA برای مقایسه نتایج با روش DNN استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های ترکیبی عملکرد بالاتری نسبت به ANN دارند و این مدل‌ها قادر به پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف هستند. براساس نتایج، مقادیر SHDI در ماه‌های قبل، ورودی کافی برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک نیست و سایر پارامترها مانند SPI و بارش در ماه‌های قبل می‌توانند نتایج پیش‌بینی را به‌میزان قابل توجهی بهبود بخشند. هم‌چنین، در بین همه الگوریتم‌های بهینه‌سازی، PSO در ترکیب با ANN عملکرد بهتری داشت. شایان‌ذکر است که برای SHDI-6، پیش‌بینی دقیق SHDI، اطلاعات SHDI در دو ماه اخیر نقش به‌سزایی در پیش‌بینی SHDI6 ایفا می‌کند. براساس نتایج به‌دست آمده، شبکه عصبی عمیق نسبت به تمام روش‌های رقیب خطای کم‌تری داشته است. نتایج این تحقیق می‌تواند برای مدیریت بهینه منابع آبی و برنامه‌ریزی‌های عرضه و تقاضای آب مفید باشد و مدیران و برنامه‌ریزان و کارشناسان را قادر سازد تا به‌موقع تمهیدات لازم را تدارک دیده و راه کارهای عملی را ارائه دهند.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Standardized Preipitation Index
- 2- Standardized Discharge Index
- 3- Standardized Precipitation-Evaporation Index
- 4- Artificial Neural Networks
- 5- Genetic Algorithm
- 6- Deep Learning
- 7- Standardized Hydrologic Drought Index
- 8- Deep Neural Network
- 9- Particle Swarm Optimization
- 10- Biogeography-based optimization
- 11- Salt Swarm Algorithm
- 12- Grasshopper optimization algorithm
- 13- Determination coefficient
- 14- Root Mean Square Error

16711. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21181-9>. Khan, N., Sachindra, D., Shahid, S., Ahmed, K., Shiru, M.S., and Nawaz, N., (2020), "Prediction of droughts over Pakistan using machine learning algorithms", *Advances in Water Resources*, 139, 103562, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103562>.
- Malekmohammadi, B., Zahraie, B. and Kerachian, R., (2011), "Ranking solutions of multi-objective reservoir operation optimization models using multi-criteria decision analysis", *Expert Systems and Applications*, 38(6), 7851-7863, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.119>.
- Mirjalili, S., Gandomi, A.H., Mirjalili, S.Z., Saremi, S., Faris, H., and Mirjalili, S.M., (2017), "Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems", *Advances in Engineering Software*, 114, 163-191, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.07.002>.
- Nabipour, N., Dehghani, M., Mosavi, A., and Shamshirband, S., (2020), "Short-term hydrological drought forecasting based on different nature-inspired optimization algorithms hybridized with artificial neural networks", *IEEE Access*, 8, 15210-15222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964584>
- Rivera, J.A., Otta, S., Lauro, C., and Zazulie, N., (2021). "A decade of hydrological drought in Central-Western Argentina", *Frontiers in Water*, 3, 28, <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.640544>.
- Salimi, H., Asadi, E., and Darbandi, S., (2021), "Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices", *Applied Water Science*, 11(2), 1-10, <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01345-6>.
- Simon, D., (2008), "Biogeography-based optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(6), 702-713, <https://doi.org/10.1109/TEVC.2008.919004>
- Vicente-Serrano, S.M., Van der Schrier, G., Beguería, S., Azorin-Molina, C., and Lopez-Moreno, J.-I., (2015), "Contribution of precipitation and reference evapotranspiration to drought indices under different climates", *Journal of Hydrology*, 526, 42-54, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.025>.
- Williams, A.P., Cook, E.R., Smerdon, J.E., Cook, B. I., Abatzoglou, J.T., Bolles, K., Baek, S.H., Badger, A.M., and Livneh, B., (2020), "Large contribution from anthropogenic warming to an emerging North American megadrought", *Science*, 368(6488), 314-318, <https://doi.org/10.1126/science.aaz9>.
- Yu, Q., Wang, S., He, H., Yang, K., Ma, L., and Li, J., (2021). "Reconstructing GRACE-like TWS anomalies for the Canadian landmass using deep learning and land surface model", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102, 102404, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102404>.
- Assessment, 35(8), 1615-1635, <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01949-z>.
- Cui, A., Li, J., Zhou, Q., Zhu, R., Liu, H., Wu, G., and Li, Q., (2021), "Use of a multiscalar GRACE-based standardized terrestrial water storage index for assessing global hydrological droughts", *Journal of Hydrology*, 603, 126871, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126871>.
- Dehghani, M., Riahi-Madvar, H., Hooshyaripor, F., Mosavi, A., Shamshirband, S., Zavadskas, E.K., and Chau, K.-W., (2019), "Prediction of hydropower generation using grey wolf optimization adaptive neuro-fuzzy inference system", *Energies*, 12(2), 289, <https://doi.org/10.3390/en12020289>
- Dehghani, M., Saghafian, B., Nasiri Saleh, F., Farokhnia, A., and Noori, R., (2014), "Uncertainty analysis of streamflow drought forecast using artificial neural networks and Monte-Carlo simulation", *International Journal of Climatology*, 34(4), 1169-1180, <https://doi.org/10.1002/joc.3754>.
- Dehghani, M., Saghafian, B., Rivaz, F., and Khodadadi, A., (2017), "Evaluation of dynamic regression and artificial neural networks models for real-time hydrological drought forecasting", *Arabian Journal of Geosciences*, 10(12), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2990-4>.
- Eberhart, R., and Kennedy, J., (1995), "A new optimizer using particle swarm theory", *MHS'95. Proceedings of The Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan, <https://doi.org/10.1109/MHS.1995.494215>
- Eghbali, A.H., Behzadian, K., Hooshyaripor, F., Farmani, R., and Duncan, A.P., (2017), "Improving prediction of dam failure peak outflow using neuroevolution combined with K-means clustering", *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(6), 04017007, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.000150](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000150).
- Felfelani, F., Movahed, A.J., and Zarghami, M., (2013). "Simulating hedging rules for effective reservoir operation by using system dynamics: A case study of Dez Reservoir, Iran", *Lake and Reservoir Management*, 29(2), 126-140. <https://doi.org/10.1080/10402381.2013.801542>.
- Heidarpanah, M., Hooshyaripor, F. and Fazeli, M., (2023), "Daily electricity price forecasting using artificial intelligence models in the Iranian electricity market", *Energy*, 263, 126011. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126011>
- Heim Jr, R.R., (2002), "A review of twentieth-century drought indices used in the United States", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1149>.
- Hooshyaripor, F., and Yazdi, J., (2017), "A new methodology for surcharge risk management in urban areas (case study: Gonbad-e-Kavus city)", *Water Science and Technology*, 75(4), 823-832, <https://doi.org/10.2166/wst.2016.567>.
- Hooshyaripor, F., Sardari, J., Dehghani, M., and Noori, R. (2022). "A new concept of drought feeling against the meteorological drought", *Scientific Reports*, 12(1),



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Identifying and Prioritizing Strategies to Adapt to Dehydration Using Hierarchical Analysis and TOPSIS Approaches (Case Study of Bushehr Province)

شناسایی و اولویت‌بندی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس (مطالعه موردی استان بوشهر)

Masoud Haraghi^{1*}, Ali Darvishi² and Maryam Haraghi³

1- PhD Student in Industrial Management, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.

2- Member of the Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

3- MSc in Business Administration, Lorestan University, Lorestan, Iran.

*Corresponding Author, Email: Haraghy@yahoo.com

Received: 06/03/2023

Revised: 18/10/2023

Accepted: 08/11/2023

© IWWA

Abstract

One of the most important approaches of governance in water sector in recent years is the transition from policies to deal with drought to adaptation to water scarcity. Curbing the consequences of drought and adapting to water scarcity requires applying practical management and adopting correct policies in the field of demand and consumption. Choosing the right method to adapt to water scarcity is considered as one of the complex issues due to the existence of various parameters and influencing factors. In this research, while studying the status of water resources and uses in Bushehr province and identifying strategies to adapt to water scarcity in the province and effective criteria, a comprehensive decision-making method is also presented. First, the criteria effective on water scarcity adaptation strategies are identified and prioritized using hierarchical analysis. Then, using TOPSIS technique, the solutions are ranked. The statistical population of the research is the experts and the heads of departments of water and sewage and regional water companies, 40 of the relevant experts are randomly selected and examined. According to the findings of the research, the development of desalination systems and water softeners, management of water consumption and reduction of water wastage, and the implementation of emergency projects for the supply and management of water consumption in cities and villages are identified as three important solutions in adapting to Dehydration.

Keywords: Adaptation to water scarcity, Water consumption management, Hierarchical analysis, TOPSIS, Bushehr province.

مسعود حراقی^{۱*}، علی درویشی^۲ و مریم حراقی^۳

۱- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- عضو هیات علمی دانشکده کسب و کار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

۳- کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: Haraghy@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

یکی از مهم‌ترین رویکردهای سال‌های اخیر حکمرانی در حوزه آب، گذار از سیاست‌های مقابله با خشکسالی به سازگاری با کم‌آبی است. مهار عواقب ناشی از خشکسالی و سازگاری با کم‌آبی مستلزم اعمال مدیریت کاربردی و اتخاذ سیاست‌های صحیح در حوزه تقاضا و نحوه مصرف است. انتخاب روش مناسب برای سازگاری با کم‌آبی به علت وجود پارامترها و عوامل تأثیرگذار متنوع به عنوان یکی از مسائل پیچیده مطرح است. در این پژوهش ضمن مطالعه وضعیت منابع و مصارف آبی استان بوشهر و شناسایی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی در استان و معیارهای مؤثر بر آن، یک روش تصمیم‌گیری جامع نیز ارائه شد. نخست معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی شناسایی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شدند. سپس با استفاده از تکنیک تاپسیس، راه‌کارها رتبه‌بندی شدند. جامعه آماری پژوهش کارشناسان و روسای ادارات شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای هستند که ۴۰ نفر از کارشناسان مربوطه به صورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. مطابق با یافته‌های پژوهش، توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب و اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها به عنوان سه راه‌کار حائز اهمیت در سازگاری با کم‌آبی شناسایی شدند.

کلمات کلیدی: سازگاری با کم‌آبی، مدیریت مصرف آب، تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، استان بوشهر

تفاوت‌هایی در ظرفیت سازگاری در مناطق روستایی ایجاد کرده‌اند و وضعیت به‌گونه‌ای است که روستاهای واقع در پایین‌دست سرمایه طبیعی خود را به‌دلیل کاهش کیفیت آب ناشی از خشک شدن رودخانه‌ها و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی از دست داده‌اند.

Savari and Moradi (2022) با مطالعه خانوارهای مناطق روستایی، شش استراتژی سازگاری با خشکسالی را تعریف و آن‌ها را مبتنی بر اثربخشی، اولویت‌بندی نمودند. اولویت‌ها از مهم‌ترین به‌ترتیب شامل مدیریت مزرعه، مدیریت محصول، مدیریت مالی، مدیریت آبیاری و آب، فعالیت‌های اجتماعی و مدیریت زیرساخت‌های فیزیکی بودند.

Javadinejad and Jafary (2021) در پژوهشی که در کالیفرنیا صورت‌گرفت، واکنش‌های مختلف کشاورزان به خشکسالی و نیز میزان خسارات ناشی از آسیب‌های اجتماعی-اقتصادی، محیطی و میزان مقاومت کشاورزان در این خصوص را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها شاخص تاب‌آوری جمعیت و گروه‌های انسانی درگیر در برابر بحران تحت تغییرات اقلیمی را اولویت‌بندی نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تاب‌آوری آن‌ها در برابر خشکسالی و تغییرات اقلیمی توسعه بیمه کشاورزی، سپس استقرار سامانه‌های پایش خشکسالی، تغییر اقلیم و ارزیابی خسارت و در نهایت دانش است. زبیدی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی نشان دادند شناسایی و طبقه‌بندی روش‌های سازگاری مبتنی بر داده‌های تجربی می‌تواند به طراحی و اجرای مشوق‌ها، قوانین و یا اصلاحات نهادی کمک کند. نتایج پژوهش نشان داد که روش‌های سازگاری به چهار دسته کلی شامل تغییر در عملیات کشاورزی، مدیریت آبیاری، مدیریت مالی و اقتصادی و مدیریت اجتماعی تقسیم‌بندی می‌شود. روش‌های مدیریت عملیات کشاورزی به‌نوبه خود شامل دو دسته مدیریت محصول و مدیریت مزرعه است که مدیریت آب شامل صرفه‌جویی در آب و فناوری تأمین آب، روش‌های مدیریت اقتصادی شامل تنوع بخشی به درآمد یا شغل، بیمه کشاورزی، پس‌انداز کردن و صرفه‌جویی در هزینه‌ها و دریافت کمک مالی به‌صورت قرض و یا وام است. مدیریت اجتماعی نیز در زیر طبقه مهاجرت و شبکه‌سازی و گسترش دانش به‌منظور افزایش آگاهی در مورد روش‌های کاهش آسیب بوده است.

لطیفی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با استفاده از روش SWOT و تکنیک QSPM راهبردهای سازگاری با کم‌آبی و خشک‌سالی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را تدوین و اولویت‌بندی نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که از بین راهبردهای

بحران آب از نوع بحران‌های خزنده و تدریجی است. این شکل از بحران از نابسامانی‌های موجود در یک سیستم آغاز می‌شود و به‌دلیل بی‌توجهی و نادیده گرفتن، به‌تدریج دامنه، گستره و سطح آن افزایش می‌یابد. هم‌چنین امکان انتقال از یک حوزه تعریف‌شده مثل حوزه اقتصادی به حوزه‌های دیگر هم‌چون سیاسی و اجتماعی را دارد که این ویژگی مدیریت آن را با مشکل مواجه می‌نماید. این شکل از بحران‌ها معمولاً حالتی مزمن دارند و با تأثیر منفی در زیرساخت‌های اجتماعی در ترکیب با انواع دیگر بحران‌ها موجب وخامت و تشدید شرایط بحران می‌شوند. در این نوع بحران مدتی زمان می‌برد تا تغییرات کوچک پله‌پله به نتایج اساسی منتهی شود. (نصراللهی، ۱۳۹۴).

منابع آبی، به‌عنوان سرمایه‌های طبیعی هر سرزمین، نقش عمده‌ای در چرخش اقتصادی و محیطی دارند و از این‌رو همواره مورد توجه برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران هستند. نحوه ارزیابی و مدیریت این سرمایه‌های طبیعی برحسب نوع و الگوی آن‌ها در مناطق مختلف جغرافیایی متفاوت است (پاکزاد و همکاران، ۱۳۹۷). دسترسی به منابع آب با اطمینان و پایدار از محدودیت‌های اصلی توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع به‌شمار می‌رود (عطایی و ایزدی، ۱۳۹۳). از سوی دیگر با افزایش جمعیت انتظار می‌رود میزان مصرف آب در همه بخش‌ها افزوده شود که این امر همراه با توسعه صنایع و افزایش سریع جمعیت باعث ایجاد رقابت برای دستیابی به منابع آب خواهد شد (Hartley, 2015). لذا چالشی به‌منظور مدیریت مصرف و از سوی دیگر سازگاری با کم‌آبی پیش خواهد آمد. بهبود وضعیت منابع آب مستلزم اقدامات یکپارچه ترویجی، آموزشی، پژوهشی، عمرانی و زیرساختی است. این اقدامات در صورتی اثربخش خواهد بود که هم‌زمینه مشارکت متصدیان در مدیریت پایدار آب فراهم و هم‌راهبردهای مقتضی و سازوکارهای نهادی متناسب با شرایط اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی هر منطقه و حوزه آبریز تدوین شود. در ادامه برخی از پژوهش‌هایی که اخیراً در خصوص سازگاری با کم‌آبی انجام شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

Zarepour Moshizi et al. (2022) روشی یک‌پارچه برای ارزیابی مواجهه، حساسیت و ظرفیت تطبیقی ارائه و بحران آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در مناطق روستایی که کشاورزی اصلی‌ترین معیشت کشاورزان است را بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که علت اصلی کمبود آب، مدیریت ضعیف است و سرمایه‌های طبیعی مستقر در روستاها عمدتاً

با در نظر گرفتن نظرات کارشناسان، بهترین گزینه برای تصفیه صنایع آب‌کاری را انتخاب کردند.

مهار عواقب ناشی از خشک‌سالی و سازگاری با کم‌آبی علاوه بر مدیریت کاربردی در حوزه تقاضا و نحوه مصرف، مستلزم به‌کارگیری روش‌های نوین در نحوه تأمین منابع آبی است. مرور منابع مرتبط نشان می‌دهد تاکنون پژوهشی در خصوص ارزیابی روش‌های سازگاری با کم‌آبی در استان‌های کشور به‌خصوص استان بوشهر صورت نگرفته است و با توجه به این‌که نیازها و مشخصات محیط‌زیستی و اقلیمی هر منطقه منحصر به فرد است. لذا ارزش و اهمیت هر یک از راه‌کارهای شناسایی شده نیز متفاوت و وابسته به اقلیم است. استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند به شناسایی مؤثرترین روش سازگاری با کم‌آبی منطبق بر نظر کارشناسان منجر شود. لذا در این پژوهش ضمن بررسی وضعیت سیمای آب استان بوشهر به لحاظ عرضه و تقاضا و نوع مصرف، معیارهای تأثیرگذار بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی شناسایی و استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، معیارهای مذکور رتبه‌بندی و با در نظر گرفتن وزن معیارهای مذکور، راه‌کارهای عملی سازگاری با کم‌آبی با استفاده از تکنیک تاپسیس برحسب اهمیت رتبه‌بندی شد.

۲- سیمای آب استان بوشهر

در مطالعات و برنامه‌ریزی برای سازگاری با کم‌آبی، سنجش ظرفیت هر یک از منابع آبی ضرورت می‌یابد. در ادامه ظرفیت‌های منابع آبی در دسترس استان بوشهر به‌صورت اجمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- منابع آب استان بوشهر

۲-۱-۱- بارندگی در استان و حوزه‌های آبریز استان‌های

مجاور

الگوهای بارشی، زمان و مقدار بارش تقریباً به سامانه‌های جوی و موقعیت‌های جغرافیایی مناطق بستگی دارد؛ بر مبنای تصویرهای اقلیمی، در دهه‌های آینده با فرض آن‌که میزان بارش تغییر چندانی نکند، استان بوشهر به لحاظ منابع بارشی، با چالش عمده مواجه خواهد شد. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، متوسط بارندگی سالانه استان بوشهر در دوره بلندمدت سی سال اخیر، معادل با ۲۵۳/۷ میلی‌متر است که از توزیع زمانی و مکانی مناسبی در سطح استان برخوردار نیست.

تدوین شده، اعمال مدیریت یکپارچه با اصلاح ساختار تقسیمات کشوری براساس طراحی و استقرار سامانه تصمیم‌یار مدیریت جامع حوزه آبخیز و اعمال مدیریت اکوسیستم‌محور با استفاده از مطالعه و اجرای برنامه حفاظت اکولوژیک پارک ملی دارای بیشترین جذابیت هستند. هم‌چنین استقرار بازار آب از طریق ساماندهی چاه‌ها و نصب کنتورهای هوشمند حجمی، کمترین جذابیت را از نظر خبرگان داشت.

عبداله‌زاده و شریف‌زاده (۱۳۹۹) با استفاده از اظهارات متخصصان در قالب گروه کانونی و اسناد مرتبط با برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی استان گلستان، ذی‌نفعان را با دو معیار قدرت تأثیرگذاری و سطح نفوذ برنامه‌ها، در قالب چهار دسته شامل مصرف‌کنندگان/آب‌بران، مجریان/تنظیم‌کنندگان، تدبیرکنندگان/تصمیم‌گیرندگان و تسهیل‌گران/تأثیرگذاران (که هر یک دارای علاقه و قدرت متفاوتی بودند)، تقسیم نمودند و برای هر یک از ذی‌نفعان ۱۵ نیاز و انتظار شناسایی شده و در نهایت اقدامات مدیریتی مقتضی برای سازگاری با کم‌آبی ارائه کردند.

انصاری و همکاران (۱۳۹۹) امنیت آبی حوزه آبریز طشک بختگان را به‌عنوان نمونه مطالعاتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که به‌منظور افزایش بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی، هم‌زمان با افزایش راندمان آبیاری، فعالیت کشاورزی نیز کاهش یافته و به‌منظور جبران خسارت اقتصادی و اجتماعی، باید فعالیت در بخش خدمات و صنعت افزایش یابد. آستانه و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از متدولوژی تحلیل سلسله مراتبی، شرایط علی و استراتژی‌های رسانه‌ای مرتبط را وزن‌دهی کردند. مهم‌ترین استراتژی‌ها پس از وزن‌دهی ارتقای سرمایه اجتماعی از طریق رسانه، اعتمادآفرینی رسانه‌ای، برقراری ارتباطات اثربخش، رویکرد علم محور رسانه‌ای و استفاده از تاکتیک‌های رسانه‌ای تعیین شدند.

هرندی (۱۳۹۷) ضمن مرور محتوای مصوبه تشکیل کارگروه سازگاری با کم‌آبی، دلایل و عواملی را بررسی کرد که عدم توجه به آن‌ها احتمال موفقیت مصوبه را به حداقل رسانده است. سپس تغییر رویکرد دولت در برخورد با بحران کم‌آبی و حرکت از مقابله با خشک‌سالی به سازگاری با آن را نقد و بررسی نموده و نتیجه‌گیری کرد که اصلی‌ترین عنصر غایب در مصوبه سازگاری، حضور ذی‌مدخلان و تبیین روش جلب همکاری و مشارکت است. در پایان قواعدی علمی که باید بر قانون‌گذاری رژیم حکمرانی موفق آب حاکم باشد ارائه شد. دباغیان و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ضمن بررسی پارامترهای اقتصادی، فنی و کاربردی و محیط‌زیستی و اجتماعی،

جدول ۱- وضعیت بارندگی طی دو سال اخیر و بلندمدت (برحسب میلی‌متر) (اداره هواشناسی استان بوشهر، ۱۴۰۱)

مقدار بارندگی در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰	مقدار بارندگی در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰	مقدار بارندگی در بلندمدت (۳۰ ساله)	درصد تحقق بارندگی سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ نسبت به میانگین بارندگی دوره ۳۰ ساله
۲۱۲/۵	۲۰۰/۳	۲۵۳/۷	٪۸۴

استان بوشهر در پایاب دو حوزه بزرگ مند و حله قرار گرفته است. تقریباً مساحت ۱۸۰۰۰ هکتار از نخلستان‌های قدیمی شهرستان دشتستان که ۹۵ درصد مصرف آب سطحی بخش کشاورزی استان را به خود اختصاص می‌دهند در پایاب حوزه حله قرار داشته و وابستگی شدیدی به وقوع بارندگی در استان فارس دارند. نه تنها بخش غالب آب کشاورزی، بلکه ۸۵ درصد آب شرب استان بوشهر نیز متکی به منابع سطحی و زیرزمینی شهرستان کازرون در استان فارس و سد کوثر در استان کهگیلویه و بویراحمد است. بنابراین تغییرات بارندگی در حوزه آبریز حله و زهره بخش شرب و کشاورزی استان را تحت تأثیر قرار خواهد داد (نوروزی و همکاران، ۱۳۸۹).

شهرستان‌های دشتی و دیر نیز در پایاب رودخانه بزرگ مند

قرار گرفته‌اند و مشاغل اهالی مناطق هم‌جوار این رودخانه که کشاورزی و دیم‌کاری است، متکی به سیلاب رودخانه است. در سال‌های کم بارش که جریان سیلابی رودخانه نتواند اراضی را آبیاری نماید عملکرد محصولات کشاورزی این شهرستان‌ها کاهش یافته و به منابع آبی استان فشار مضاعف وارد می‌آورد. همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، میزان بارش در سال ۱۴۰۰ نسبت به بلندمدت در دو حوزه اصلی آبریز مجاور استان، شامل حوزه حله ۱۱۱ میلی‌لیتر و حوزه مند ۶۶ میلی‌لیتر کاهش یافته است. لذا با توجه به کاهش مذکور می‌توان عنوان نمود که میزان کاهش در حوزه‌ها آبریز مجاور در حدود ۲۴ درصد بوده است.

جدول ۲- وضعیت بارندگی در حوزه‌های آبخیز استان‌های مجاور (برحسب میلی‌متر) (اداره هواشناسی استان بوشهر، ۱۴۰۱)

حوزه آبریز	آمار بارش بلندمدت مشابه	از ابتدای سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰	مدت مشابه سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹	مقدار کاهش نسبت به بلندمدت	درصد کاهش نسبت به بلندمدت
حله	۴۷۰/۱	۳۵۹/۶	۳۲۹/۵	-۱۱۱	-۲۴
مند	۲۷۹/۸	۲۱۳/۵	۱۱۹/۶	-۶۶	-۲۴

۲-۱-۲- منابع آب سطحی

اولین منبع آبی که از کاهش یا افزایش بارندگی استان متأثر می‌شود، منابع سطحی است. خشک‌سالی‌های انباشته در دوره‌های ده‌ساله اخیر نه‌تنها جریان پایه رودخانه‌های اصلی استان را کاهش داده و حتی به خشکیدن برخی از رودخانه‌های مهم از جمله شاپور، باغان و اهرم منجر شده، بلکه کاهش آورد رودخانه‌ها

نیز درصدهای کاهش به‌مراتب بالاتری بیش از درصد کاهش بارندگی را تجربه می‌نماید، به قسمی که کاهش ۱۶ درصدی بارندگی در محدوده استان و کاهش ۲۴ درصدی در حوزه‌های بالادست باعث کاهش حدود ۴۸/۵ درصدی آورد رودخانه‌های اصلی استان شده است. جدول ۳، وضعیت جزئیات تغییرات منابع آب‌های سطحی در حوزه بوشهر را به تفکیک موقعیت نمایش می‌دهد.

جدول ۳- وضعیت تغییرات منابع آب‌های سطحی در حوزه بوشهر (برحسب میلی‌لیتر) (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

موقعیت	آمار سالانه بلندمدت	از ابتدای سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰	مدت مشابه سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹	درصد کاهش نسبت به بلندمدت
قنطره	۹۱۶/۹	۸۰۹/۹	۲۷۳/۸	-۱۱/۷
باغان	۲۹	۳۰/۳۵	۱۰/۶	+۴/۷
اهرم	۳۵/۱	۷/۲	۲/۴	-۷۹/۵
دالکی (سرقنات+نهر)	۵۱۸/۱	۱۶۷/۶	۲۸۲/۴	-۶۷/۷
شاهپور (سعدآباد+نهر)	۴۷۰	-	-	-
مجموع	۱۹۶۹/۱	۱۰۱۵/۱	۵۶۹/۲	-۴۸/۵

۲-۱-۳- منابع آب زیرزمینی

استان بوشهر از پتانسیل قابل توجهی در بخش آب زیرزمینی برخوردار نیست. طبق جدول ۴ که بررسی ۱۷ سفره آبخوان استان را نشان می‌دهد، تراز مخازن آب دشت‌های استان در مدت فروردین ۱۴۰۱ نسبت به ابتدای سال ۱۴۰۰ دارای کاهش ۴۹۳

سانتی‌متر است و تراز شهریور سال ۱۴۰۱، نسبت به تراز بلندمدت حدود ۱۱۶۰۶/۳۶ سانتی‌متر کاهش داشته است. این اتفاق باعث شده که متوسط کسری حجم مخازن سالانه معادل با ۲۴/۱۱ میلیون مترمکعب باشد.

جدول ۴- وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی در دشت‌های استان بوشهر (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

نام دشت	تغییر تراز شهریور ۱۴۰۱ نسبت به بلندمدت (سانتی‌متر)	تغییر تراز فروردین ۱۴۰۱ نسبت به ابتدای سال ۱۴۰۰ (سانتی‌متر)	تغییرات تراز سالانه (سانتی‌متر)	متوسط کسری حجم مخزن سالانه (م.م)
گناوه	-۰/۶۳	۱۵	-۰/۱	-۰/۰۱
پشت‌پر	-۳۱	-۵۴	-۳	-۰/۰۱
دشت‌گور	-۶۹۷	-۳۳	-۵۴	-۱/۷۸
سرقنات	-۱۷۲	-۴۵	-۱۳	-۰/۹۶
بrazجان	-۳۴۳	-۲۰	-۱۳	-۱/۴۲
طلحه-فاریاب	-۱۳۹۴	-۱۱۳	-۵۲	-۰/۵۴
بوشکان	-۲۳۶۷	-۹۳	-۱۰۳	-۴/۳۶
دهرود-تنگ‌ارم	-۱۶۱۸	-۱۰۰	-۱۲۰	-۳/۰۵
اهرم	-۴۱۱	-۱۶	-۲۴	-۱/۷۹
کاکي-بردخون	-۱۶۷	-۹	-۱۲	-۲/۰۰
خورموج	-۲۱۳	-۱۶	-۱۳	-۳/۳۷
چاهگاه	-۲۳۹	-۳۵	-۱۵	-۰/۹۵
دشت پلنگ	-۱۲۵۵	-۳۱۹	-۷۸	-۱/۸۶
باغان	-۶۳۷	-۲۴۳	-۴۵	-۰/۳۶
ریز	-۱۲۵۰	-۷۶	-۷۴	-۱/۵۴
جم	-۵۴۰	-۱۳۴	-۳۲	-۰/۵۲
آبدان-لمبدان	-۲۷۲	-۲۹	-۱۴	-۱/۵۹

علاوه بر فقر کمی، بیشتر آبخوان‌های استان نیز از منظر کیفی دارای شرایط مناسبی نیستند و تحت تأثیر برداشت‌های بی‌رویه و خشک‌سالی‌های اخیر، همین پتانسیل ضعیف نیز در مرحله نابودی و از دست‌رفتن قرار دارد. جدول ۵، وضعیت کیفی مخازن آب استان را نمایش می‌دهد. بررسی منابع آب‌های زیرزمینی استان موارد زیر را نشان می‌دهد:

برای مصارف بهداشتی هستند.

- ✓ چهل و شش درصد از مساحت آبخوان‌های استان از آبی برخوردارند که با اعمال محدودیت‌هایی امکان استفاده برای کشاورزی دارد.
- ✓ پنجاه درصد از آبخوان‌های استان نیز از چنان کیفیت پایینی برخوردارند که صرفاً برای فعالیتهای شورورزی و آبی‌پروری قابلیت استفاده داشته و استفاده از آنها در فعالیتهای کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت مستلزم شیرین‌سازی و بهبود و اصلاح کیفیت است.

- ✓ صرفاً یک درصد از مساحت آبخوان‌های استان بوشهر دارای آبی باکیفیت شرب و کاملاً مناسب برای کشاورزی هستند.
- ✓ سه درصد مساحت آبخوان‌های استان دارای آبی باکیفیت مناسب و فاقد محدودیت نسبی برای کشاورزی و قابل تحمل

جدول ۵- وضعیت کیفی محدوده‌های مطالعاتی استان (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

دامنه شوری	کاربری ممکن	نام دشت	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
کمتر از ۱۵۰۰	شرب و کشاورزی	پشت پر، ججم، طلحه فاریاب	۲۷	۱
۱۵۰۰-۳۰۰۰	شرب و کشاورزی	جم، ریز، باغان-سرچشمه، دشت پلنگ، طلحه فاریاب،	۱۶۰	۳
۳۰۰۰-۵۰۰۰	با اعمال محدودیت کشاورزی	دهرود تنگ ارم، طلحه فاریاب-خون، بوشکان، خورموج، چاهگاه-لاور، مند، سیراف-پردخون کهنه	۳۱۱	۶
۵۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	کشاورزی با گیاهان مقاوم به شوری	گلدشت-سرقنات-بrazجان، بوشهر، اهرم-طلحه- فاریاب، دهرود-تنگارم، بوشکان، خورموج، مند، دیر، کنگان، عسلویه	۲۰۳۲	۴۰
بیش از ۱۰۰۰۰۰	آبزی پروری و شوروزی	دیلیم، سرقنات-بrazجان، اهرم، خورموج، دلوار، گناوه، Brazجان-آپبخش، بوشهر، گناوه	۲۵۵۵	۵۰
		مجموع	۵۰۸۵	۱۰۰

۲-۱-۴- آبیگری سدهای مخزنی

سد مخزنی رئیسعلی دلواری، تنها سد در دست بهره‌داری استان بوشهر است. بهره‌برداری قانونی و اصلی این سد شامل حقایقه‌های محیط‌زیستی تالاب حله و رودخانه‌های شاپور و حله، ۶۵۰۰ هکتار نخیلات و ۳۵۰۰ هکتار زراعت شبکه آبیاری و

زهکشی آب‌پخش، ۷۸۰۰ هکتار شبکه آبیاری و زهکشی دشت شبانکاره و ۸۵۰۰ هکتار حقایقه بران سنتی حاشیه حله است. براساس جدول ۶ که وضعیت آبیگری سدهای استان را نشان می‌دهد، خالی ماندن به‌طور متوسط بیش از ۵۰ درصد از ظرفیت سد مذکور طی سنوات گذشته، بیانگر شرایط نچندان مناسب این سد در تأمین حقایقه مناطق تحت پوشش است.

جدول ۶- وضعیت آبیگری سدهای استان بوشهر (شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۱۳۹۷)

سد	حجم مخزن (م.م.م)	حجم ذخیره مخزن (م.م.م)		درصد پر بودن	
		۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱
سد مخزنی رئیسعلی دلواری	۶۹۴	۴۰۹	۵۲۹	۵۹	۷۶

۲-۲- مصارف آب استان

بنا به آمار منتشره شرکت آب منطقه‌ای استان، حجم کل برداشت از منابع سطحی، زیرزمینی (آبخوان‌های آبرفتی، سازند و چشمه و قنوت) برای مصارف کشاورزی، شرب و خدمات صنعت و معدن و فضای سبز شهری معادل با ۱۰۵۱ میلیون مترمکعب

در سال اعلام شده است که توزیع آن در کاربردهای مختلف به شرح جدول ۷ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مصرف در بخش کشاورزی (۷۷ درصد)، پس از آن شرب (۱۵ درصد) و صنعت (۷درصد) است.

جدول ۷- توزیع آب مصرفی استان بوشهر در کاربری‌های مختلف (برحسب میلیون مترمکعب) (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

ردیف	نوع مصرف آب	منابع آب سطحی	منابع آب زیرزمینی	نمک‌زدایی آب دریا	منابع خارج از استان	مجموع	درصد مصرف به تفکیک کاربری
۱	کشاورزی	۳۶۴	۴۵۰	۰	۰	۸۱۴	۷۷
۲	شرب	۰	۱۵	۲۶	۱۱۳	۱۵۴	۱۵
۳	فضای سبز شهری	ناچیز	۱۳	۰	۰	۱۳	۱
۴	صنعت و معدن	۱۲	۱۶	۴۲	۰	۷۰	۷
	مجموع	۳۷۶	۴۹۴	۶۸	۱۱۳	۱۰۵۱	۱۰۰
	درصد منابع تأمین آب	۳۶	۴۷	۶	۱۱	۱۰۰	

پژوهش و مصاحبه با خبرگان، راه‌کارهای عملی سازگاری با کم‌آبی و معیارهای اجرایی نمودن این راه‌کارها جمع‌آوری و تدوین شد. در گام بعدی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، وزن معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی تعیین شد. سپس از تکنیک تاپسیس یا روش اولویت‌بندی ترجیحی که اساس آن تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل است برای اولویت‌بندی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی استفاده شد.

جامعه آماری پژوهش، کارشناسان و روسای ادارات شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای هستند که ۴۰ نفر از کارشناسان مربوطه به‌صورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات جمعیت‌شناختی کارشناسان مشارکت‌کننده در پژوهش به شرح جدول ۸ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشتر افراد مشارکت‌کننده در پژوهش شاغل در شرکت مهندسی آب و فاضلاب (۶۵ درصد)، فوق‌لیسانس (۷۰ درصد)، دارای ۲۰ تا ۳۰ سال سابقه کاری مرتبط (۴۲/۵ درصد) هستند که در واحد طرح و توسعه (۳۵ درصد) مشغول به‌کار هستند.

جدول ۸- اطلاعات توصیفی و جمعیت‌شناختی کارشناسان خبره

محل استخدام		تحصیلات		سابقه کاری		حوزه تخصصی فعالیت	
۲۶	شرکت مهندسی آب و فاضلاب	۷	لیسانس و کمتر	۸	تا ۱۰ سال	۱۲	واحد برنامه‌ریزی و بودجه
۱۴	شرکت سهامی آب منطقه‌ای	۲۸	فوق‌لیسانس	۱۳	۱۰-۲۰ سال	۱۴	واحد طرح و توسعه
		۵	دکتری	۱۷	۲۰-۳۰ سال	۹	واحد حفاظت و بهره‌برداری
				۲	بیش از ۳۰ سال	۵	سایر واحدها

(et al., 2008). روش تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبات را آسان می‌کند. هم‌چنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد. پس از تعیین اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر، نباید نرخ سازگاری^۱ نتایج از ۰/۱ بیشتر باشد (نرخ سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر میانگین شاخص سازگاری محاسبه می‌شود) (قدسی‌پور، ۱۳۸۴). مراحل اجرای تحلیل سلسله مراتبی به شرح ذیل است:

گام نخست: ساخت و ایجاد سلسله‌مراتب هدف: در این مرحله هدف کلی، معیارها و گزینه‌ها به‌صورت یک ساختار سلسله مراتبی ارائه می‌شود. هرچه تعداد عناصر موجود در یک سطح بیشتر باشد، احتمال وجود ناسازگاری در فرایند مقایسه و مراحل بعدی بیشتر خواهد بود. تعداد عناصر در هر سطح ترجیحاً بین 2 ± 7 است (عادل‌آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۱). تعداد عناصر این مطالعه در سطوح دو و سه ساختار سلسله مراتبی، به تفکیک برابر با ۵ متغیر است.

گام دوم: تنظیم ماتریس مقایسات زوجی: در این مرحله،

از ۱۵۴ میلیون مترمکعب آب شرب مصرفی استان بوشهر در سال، ۱۱۳ میلیون مترمکعب از خارج از استان (شامل ۲۵ میلیون مترمکعب از استان فارس و ۸۸ میلیون مترمکعب از استان کهگیلویه و بویر احمد) وارد می‌شود. به عبارت دیگر، تقریباً ۷۳ درصد از آب شرب استان متکی به منابع آبی استان‌های هم‌جوار است. لذا با توجه به وضعیت دارای تنش منابع آبی استان، یافتن راه‌کاری برای تأمین پایدار این منابع ضروری است.

۳- روش شناسایی پژوهش

این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش، توصیفی-پیمایشی است. ابتدا از طریق مطالعات اسنادی و نشریات رسمی شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای شناخت اولیه در خصوص موضوع و ضرورت پژوهش و وضعیت عرضه و تقاضای آب در استان بوشهر به‌دست آمد. سپس با استفاده از مطالعه پیشینه

ابزار جمع‌آوری اطلاعات پژوهش پرسشنامه، با ساختار مقایسه زوجی عناصر موجود در یک خوشه است. برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از این پرسشنامه از محاسبه نرخ ناسازگاری استفاده می‌شود. ارزش‌گذاری پرسشنامه به‌شرح جدول ۹ است. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS22 و Expert Choice با درنظر گرفتن گام‌های ذیل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

۳-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ زیرا امکان درنظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد و گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد (قدسی‌پور، ۱۳۸۴). تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت گسترده‌ای برای ارزیابی تعدادی از معیارها و حل مسائل چند متغیره به‌کار می‌رود. این مدل به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا مسئله را در راستای رسیدن به هدف تعریف‌شده حل نمایند (Chang and

به جمع کل عناصر یک سطر به دست آمد. دامنه مقایسات زوجی به شرح جدول ۹ است.

اهمیت نسبی عناصر هر معیار نسبت به یکدیگر مقایسه و ماتریس مقایسات زوجی تشکیل شد، سپس ماتریس مذکور نرمال سازی و یا بی مقیاس شد. ماتریس نرمال شده از طریق تقسیم هر عنصر

جدول ۹- عدد ارجحیت پرسشنامه

ارزش	وضعیت	توضیح
۱	ترجیح یکسان	شاخص I و J اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	کمی مرجح	گزینه یا شاخص I نسبت به J کمی مهم تر است.
۵	خیلی مرجح	گزینه یا شاخص I نسبت به J مهم تر است
۷	خیلی زیاد مرجح	گزینه یا شاخص I دارای ارجحیت خیلی بیشتری از J است.
۹	کاملاً مرجح	گزینه یا شاخص I مطلقاً مهم تر است و قابل قیاس با J نیست.
۶-۴-۲	بینابین	ارزش بینابین را نمایش می دهد، مثلاً ۸ بیانگر اهمیتی بیشتر از ۷ و کمتر از ۹ است.

$$C.l = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$C.R = \frac{C.l}{R.l} \quad (2)$$

که پارامتر n : تعداد شاخص یا اندازه ماتریس و λ_{max} : بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی هستند. مقادیر شاخص تصادفی سازگاری ($R.l$) به نسبت تعداد عناصر در جدول ۱۰ ارائه شده است.

گام سوم: بررسی سازگاری مقایسه ها: از آن جا که مقایسه های زوجی، بر مبنای قضاوت افراد انجام می شود، امکان ناسازگاری میان قضاوت ها وجود خواهد داشت. در این راستا با استفاده از کمیت $C.R$ (شاخص سازش) برای هر ماتریس می توان کمیت $C.l$ (نرخ ناسازگاری قضاوت ها) را مشخص نمود. شاخص ناسازگاری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شود:

جدول ۱۰- مقادیر شاخص تصادفی سازگاری ($R.l$) به نسبت تعداد عناصر

N	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

که f_{ij} : درایه ماتریس تصمیم گیری و $\sum_{j=1}^n f_{ij}^2$: مجموع مربعات درایه های آن ستون معیار هستند.

گام چهارم: اولویت بندی معیارها: در صورت سازگار بودن مقایسات، اولویت بندی معیارها مشخص خواهد شد و تأثیرگذارترین معیارها در تحقق هدف ساختار سلسله مراتبی تعیین خواهد شد.

گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم گیری نرمال شده موزون

(V_{ij})؛ در این مرحله وزن هر یک از شاخص ها که در مرحله قبل با استفاده از روش AHP یا تحلیل سلسله مراتبی تعیین شد و درایه های قطر اصلی آن، وزن هر یک از شاخص ها است و بقیه درایه ها صفر است. در ادامه با ضرب ماتریس وزن ها در ماتریس تصمیم گیری نرمال شده، ماتریس تصمیم گیری نرمال شده موزون به دست می آید.

$$V_{ij} = W_j \times r_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

که r_{ij} : ماتریس تصمیم بی مقیاس شده و W_j : ماتریس وزنی اختصاص داده شده به هر یک از معیارها و V_{ij} : ماتریس بی مقیاس موزون شده هستند.

۲-۳- تکنیک اولویت بندی با شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS)

الگوریتم تاپسیس در ابتدا توسط Hwang and Yoon (1981) ارائه شد. اساس این روش بدین صورت است که گزینه ها باید کمترین فاصله را از راه حل ایده آل مثبت^۲ (PIS) و حداکثر فاصله را از راه حل ایده آل منفی^۳ (NIS) داشته باشند (Savari and Moradi, 2022) برای اجرای روش تاپسیس مراحل ذیل اجرا خواهد شد:

گام نخست: تشکیل ماتریس تصمیم گیری و سپس نرمال کردن ماتریس حاصله با استفاده از رابطه (۳).

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n f_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ and } j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

گام سوم: مشخص کردن گزینه ایده آل و گزینه ضد ایده آل با استفاده از روابط (۵) و (۶).

$$\left. \begin{aligned} & \text{گزینه ایده آل } (A_j^+) \\ & = \{V_j^+ | V \text{ مقدار هر شاخص در ماتریس } V_j^+ \} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

با کم‌آبی و ارزش‌گذاری اهمیت آن‌ها است. بدین‌منظور مجموعه عوامل مؤثر به پنج معیار شامل موارد ذیل تقسیم می‌شود:

- ✓ معیارهای اقتصادی (هزینه سرمایه‌ای، هزینه زمین، انرژی مصرفی، هزینه بهره‌برداری و نگهداری)؛
- ✓ معیارهای فنی-اجرایی (کارایی فرایند، سهولت اجرا، انعطاف‌پذیری، قابلیت اعتماد و بومی بودن تجهیزات)؛
- ✓ معیارهای اجتماعی (اثرات اجتماعی-فرهنگی و اشتغال‌زایی)؛ (دباغیان و همکاران، ۱۳۸۸)
- ✓ معیارهای محیط‌زیستی (درجه تصفیه مورد نیاز، ایمنی و توانایی تأمین استاندارد محیط‌زیستی پس‌آب خروجی)؛
- ✓ معیارهای مدیریتی (نیاز به پرسنل متخصص، سهولت بهره‌برداری و نگهداری، دسترسی به تجهیزات) (کریمی و همکاران، ۱۳۸۹).

۳-۴- راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی

پس از بررسی وضعیت منابع آب استان و تقاضای مصرف آب در بخش‌های مختلف، راه‌کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی در استان بوشهر بررسی می‌شود. راه‌کارهای شناسایی‌شده براساس سند ملی سازگاری با کم‌آبی (برش استان بوشهر) و نیز مطالعه برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی عبارتند از:

- ✓ توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی آب دریا و جبران کمبود آب شرب (R1)
- ✓ اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها (R2)
- ✓ احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح آبگیر روستایی (R3)
- ✓ مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب (R4)
- ✓ ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (R5) (سازمان آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

۳-۵- ساختار سلسله مراتبی در انتخاب مناسب‌ترین

راه‌کار شناسایی‌شده برای سازگاری با کم‌آبی

در ساختار سلسله مراتبی این پژوهش سه سطح در نظر گرفته شده است. در سطح اول یا سطح هدف، انتخاب مناسب‌ترین راه‌کار برای سازگاری با کم‌آبی مدنظر است. سطح دوم عوامل مؤثر بر انتخاب بهترین راه‌کار سازگاری با کم‌آبی هستند که در ادامه تحت‌عنوان معیارها، شامل پنج معیار معرفی شده است. در سطح سوم نیز پنج راه‌کار برای سازگاری با کم‌آبی شناسایی شده است. شکل ۱، ساختار سلسله مراتبی پژوهش را نمایش می‌دهد.

$$(A_j^-) \text{ ایده‌آل گزینه} \\ = \left\{ V_j^- \mid V \text{ ماتریس در شاخص هر شاخص در ماتریس} \right\} \quad (6)$$

که V_j^+ بهترین مقدار انتخاب شده در هر یک از ستون‌های ماتریس برای شاخص مثبت و V_j^- بهترین مقدار انتخاب شده در هر یک از ستون‌های ماتریس برای شاخص‌های منفی است که گزینه ایده‌آل مثبت (A_j^+) و گزینه ایده‌آل منفی (A_j^-) را ارائه خواهد نمود.

برای شاخص‌های مثبت، بهترین مقدار همان بیشترین مقدار است و بدترین مقدار، همان کمترین مقدار است. هم‌چنین برای شاخص‌های منفی، بهترین مقدار، کمترین مقدار و بدترین مقدار، بیشترین مقدار است.

گام چهارم: به‌دست آوردن فاصله هر گزینه از گزینه ایده‌آل (S_i^+) و گزینه ضدایده‌آل (S_i^-). فاصله گزینه i ام با ایده‌آل، با استفاده از روش اقلیدسی با استفاده از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^5 (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^5 (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (8)$$

که $(V_{ij} - V_j^+)^2$ مربع فاصله هر یک از دریاچه‌های ستون i و سطر j ام ماتریس از بهترین مقدار انتخاب شده در هر یک از ستون‌های ماتریس برای شاخص مثبت و $(V_{ij} - V_j^-)^2$ مربع فاصله هر یک از دریاچه‌های ستون i و سطر j ام از بهترین مقدار انتخاب شده در هر یک از ستون‌های ماتریس برای شاخص‌های منفی هستند.

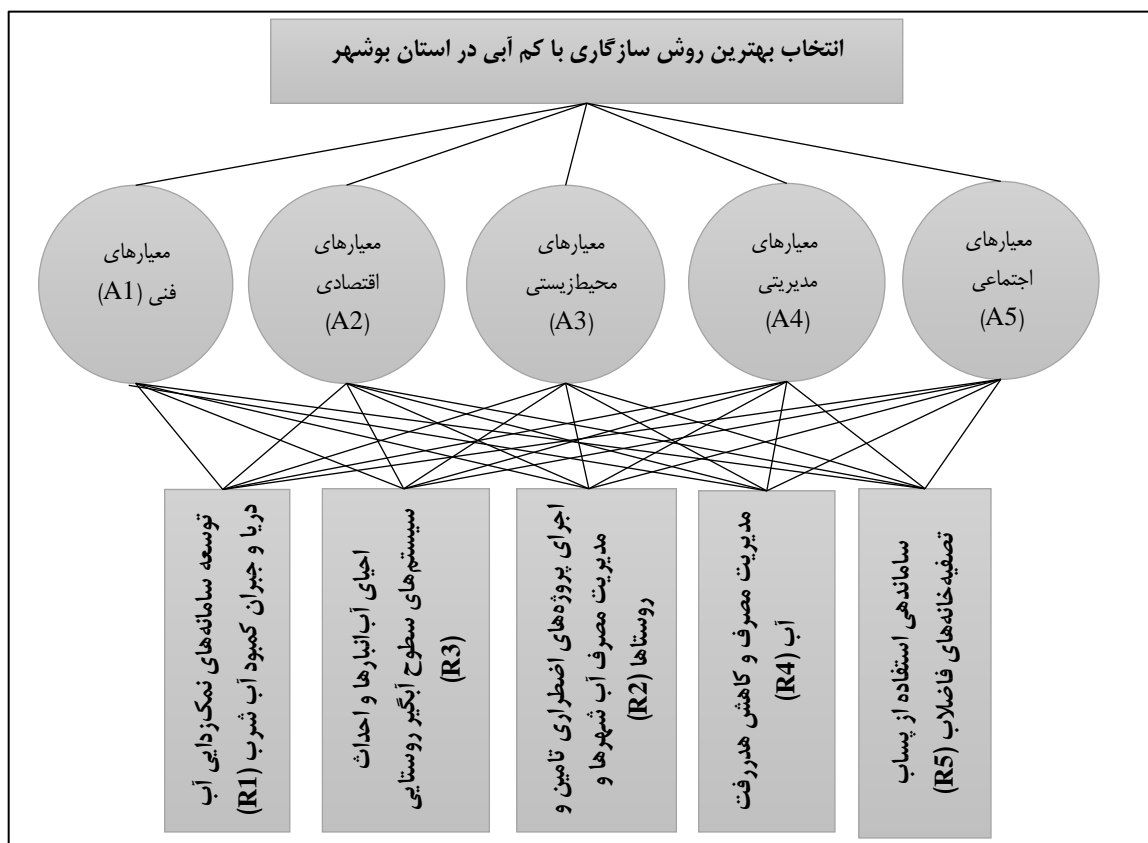
گام پنجم: محاسبه نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل. با استفاده از رابطه (۹)، شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه به‌دست می‌آید و در انتها براساس مقدار Cl_i^* رتبه‌بندی صورت می‌گیرد.

$$Cl_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)} \quad (9)$$

که S_i^+ گزینه ایده‌آل و S_i^- گزینه ضدایده‌آل و Cl_i^* نسبت نزدیکی به گزینه ایده‌آل هستند.

۳-۲- معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی

راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی با استفاده از معیارهایی باید قابل‌مقایسه شوند. درواقع هدف اصلی از زیرمدل اولیه پژوهش پیش‌رو، تعیین کلیدی‌ترین معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی

۴- یافته‌های پژوهش

کاربرگ‌های مقایسات زوجی تدوین و در اختیار کارشناسان حوزه آب و فاضلاب و منابع آب قرار گرفت. نتایج تحلیل مقایسات زوجی بین معیارها در جدول ۱۱ به نمایش درآمده است.

پس از شناسایی معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با

جدول ۱۱- نتایج نرمال شده اهمیت گذاری معیارها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

میانگین	معیارهای اجتماعی (A5)	معیارهای مدیریتی (A4)	معیارهای محیط‌زیستی (A3)	معیارهای اقتصادی (A2)	معیارهای فنی (A1)	معیار
۰/۳۳۴	۰/۲۹۲	۰/۲۲۶	۰/۲۸۹	۰/۴۸۵	۰/۳۷۸	معیارهای فنی (A1)
۰/۳۵۲	۰/۲۸۰	۰/۴۰۶	۰/۵۲۱	۰/۳۱۰	۰/۲۴۲	معیارهای اقتصادی (A2)
۰/۱۶۲	۰/۲۳۸	۰/۲۳۵	۰/۱۱۶	۰/۰۶۹	۰/۱۵۱	معیارهای محیط‌زیستی (A3)
۰/۰۹۷	۰/۱۲۹	۰/۰۹۰	۰/۰۴۵	۰/۰۶۹	۰/۱۵۱	معیارهای مدیریتی (A4)
۰/۰۵۶	۰/۰۶۱	۰/۰۴۳	۰/۰۳۰	۰/۰۶۷	۰/۰۷۹	معیارهای اجتماعی (A5)

مؤثر بر سازگاری با کم‌آبی هستند. لذا بردار وزن معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای شناسایی شده سازگاری با کم‌آبی به صورت (۰/۰۵۶)، (۰/۰۹۷)، (۰/۱۶۲)، (۰/۳۳۴)، (۰/۳۵۲) است. پس از به دست آمدن بردار وزن معیارها، برای اطمینان از صحت محاسبات، نسبت به

همان‌گونه که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود، به ترتیب معیارهای اقتصادی (۰/۳۵۲)، معیارهای فنی (۰/۳۳۴)، معیارهای محیط‌زیستی (۰/۱۶۲)، معیارهای مدیریتی (۰/۰۹۷) و معیارهای اجتماعی (۰/۰۵۶) دارای بیشترین اهمیت در تعیین راه‌کارهای

سازگاری با کم‌آبی، برای اجرای تکنیک تاپسیس، ماتریس تصمیم‌گیری معیار-راه‌کار تشکیل شد و کارشناسان راه‌کارها را با توجه به معیارها مقایسه کردند. جدول ۱۲ ماتریس نرمال شده موزون را نمایش می‌دهد.

محاسبه شاخص سازگاری با استفاده از رابطه (۲) اقدام شد و مقدار شاخص ناسازگاری معادل با ۰/۰۷۷ به دست آمد. با توجه به این که کمیت به دست آمده از ۰/۱ کوچک‌تر است، لذا ثبات ماتریس پذیرفته می‌شود. پس از به دست آمدن بردار وزن معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای

جدول ۱۲- ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده موزون

معیار	معیارهای فنی (A1)	معیارهای اقتصادی (A2)	معیارهای محیط‌زیستی (A3)	معیارهای مدیریتی (A4)	معیارهای اجتماعی (A5)
راه‌کار اول (R1)	۰/۱۰۷۱	۰/۱۰۶۷	۰/۲۱۵۰	۰/۰۴۹۹	۰/۰۸۸۹
راه‌کار دوم (R2)	۰/۱۸۷۰	۰/۱۸۶۳	۰/۲۰۴۷	۰/۱۱۰۵	۰/۲۷۰۰
راه‌کار سوم (R3)	۰/۱۷۰۴	۰/۳۱۱۳	۰/۳۴۲۲	۰/۵۴۵۸	۰/۲۷۰۰
راه‌کار چهارم (R4)	۰/۴۱۹۶	۰/۳۲۹۳	۰/۱۱۶۱	۰/۱۹۵۴	۰/۲۷۴۹
راه‌کار پنجم (R5)	۰/۱۱۵۹	۰/۰۶۶۴	۰/۱۲۲۰	۰/۰۶۸۴	۰/۰۹۶۳

در نهایت شاخص نزدیکی نسبی هر راه‌کار با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد که در جدول ۱۳ نمایش داده شده است.

پس از به دست آمدن ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده موزون، با استفاده از روابط (۵) و (۶) راه‌کارهای ایده‌آل و ضد ایده‌آل تعیین و فاصله هر گزینه از راه‌کارهای ایده‌آل محاسبه شد.

جدول ۱۳- شاخص نزدیکی و رتبه‌بندی معیارها

رتبه	ضریب	راه‌کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی
۱	۰/۹۵۰۷	توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها (R1)
۲	۰/۷۶۲۹	مدیریت مصرف و کاهش هدر رفت آب (R4)
۳	۰/۷۵۹۶	اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها (R2)
۴	۰/۷۵۶۸	احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح آبیگر روستایی (R3)
۵	۰/۶۸۴۴	ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (R5)

استراتژی‌های منطقه‌ای و ملی براساس راه‌کارهای مبتنی بر داده‌های علمی و اقتصادی تعیین شود. به کارگیری این راه‌کارها نه تنها باعث می‌شود که منابع آب کمیاب حفظ شوند، بلکه نقش مهمی در حفظ محیط‌زیست و پایداری اقتصادی منطقه نیز دارند. سازگاری با تنش‌های آبی برای حمایت از معیشت، تضمین تداوم فعالیت‌های اقتصادی و تأمین امنیت از اهمیت بسیاری برخوردار است. انتخاب روش مناسب برای سازگاری با کم‌آبی به علت وجود پارامترهای و عوامل تأثیرگذار متنوع به عنوان یکی از مسائل پیچیده مطرح است. با این حال، نوع و میزان تأثیر راهبردهای سازگاری با کم‌آبی در مناطق مختلف مبتنی بر بسترهای اجتماعی-اقتصادی آنان متفاوت است. شناسایی و طبقه‌بندی روش‌های سازگاری مبتنی بر داده‌های اجرایی می‌تواند به طراحی و اجرای مشوق‌ها، قوانین و یا اصلاحات نهادی کمک کند. از جمله راه‌کارهای عمده به منظور سازگاری با کم‌آبی می‌توان به مدیریت مصرف منابع آبی، کشاورزی پایدار، استفاده اقتصادی از آب،

جدول ۱۳ راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی را با استفاده از کمیت شاخص نزدیکی نمایش می‌دهد. از بین راه‌کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی، توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها در رتبه اول، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب در اولویت دوم و اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها در اولویت سوم، احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح آبیگر روستایی در اولویت چهارم و ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در اولویت آخر قرار می‌گیرد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سازگاری با کم‌آبی به عنوان چالشی اساسی در مواجهه با تغییرات آب و هوایی شناخته شده است. برای شناسایی و اولویت‌بندی راه‌کارهای مؤثر در این زمینه، ابتدا نیاز است تا سیاست‌ها و

منابع آب شرب مطرح هستند. در راستای تحقق این راه کار، هم‌اکنون دو سایت نمک‌زدایی آب دریا هر یک به ظرفیت تولید روزانه ۱۰ هزار مترمکعب در شهرهای کنگان و بوشهر برای جبران بخشی از کمبود آب شهری فعال است و سه واحد آب‌شیرین‌کن به ظرفیت روزانه ۷۰ هزار مترمکعب در دست‌ساخت و چندین طرح توسعه یا احداث به ظرفیت روزانه ۸۲ هزار مترمکعب در دست مطالعه و برنامه‌ریزی برای ساخت هستند.

راه کار دوم سازگاری با کم‌آبی، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب در شبکه توزیع است که در چهار محور عملیاتی شامل کاهش هدررفت واقعی (نشت شبکه توزیع)، کاهش هدررفت ظاهری (انشعابات غیرمجاز)، مدیریت مصرف مشترکین و اطلاع‌رسانی و آموزش همگانی دسته‌بندی می‌شود. فرسودگی شبکه ناشی از قدمت بالای این شبکه‌ها و تأسیسات مربوطه، عدم توزیع فشار در شبکه‌های توزیع، نبود یا خرابی کنتورها و تجهیزات اندازه‌گیری، سرریز شدن آب از مخازن ذخیره آب مشترکین و عدم استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف و علاوه بر آن بارانه‌ای بودن نرخ آب‌بها از جمله دلایل مصرف خارج از الگوی آب در استان بوشهر است. نوسازی شبکه توزیع، نشت‌یابی و رفع نشت، تعویض کنتورهای فرسوده و تبدیل انشعابات غیرمجاز به مجاز، کنترل مصرف مشترکین، توزیع و نصب شناورهای مخزن مشترکین، توزیع و نصب تجهیزات کاهنده مصرف و تدوین برنامه‌های رادیویی-تلویزیونی، برنامه‌های فرهنگی، جشنواره، مطالعات اجتماعی از جمله راه کارهای عملیاتی، برای تحقق مدیریت مصرف و کاهش هدررفت است.

راه کار سوم سازگاری با کم‌آبی، اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها است. خشکسالی‌های پیاپی، تغییر کیفیت برخی منابع آبی و افت سطح ایستابی و کاهش آبدهی منابع موجود مانع از برداشت و تأمین آب معادل ظرفیت اسمی هریک از منابع موجود شده است. به‌منظور تثبیت حجم برداشت فعلی و یا رساندن ظرفیت برداشت و استحصال آب به ظرفیت اسمی و هم‌چنین فراهم شدن استفاده از منابع محلی، به‌خصوص مهار رواناب‌های فصلی و استفاده به‌هنگام از آن‌ها با اصلاح برخی مشخصه‌های کیفی از طریق شیرین‌سازی و یا تصفیه فیزیکی، اجرای طرح‌های اضطراری آب شرب موردنیاز است. از جمله آن می‌توان به راه کارهای عملیاتی از جمله حفر و کف شکنی و تجهیز چاه‌ها، اجرای طرح نکاشت، احداث بندهای ذخیره‌ای، اجرای خطوط آبرسانی از چاه‌ها و سدها اشاره نمود.

راه کار چهارم، احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح

توسعه منابع آبی متنوع، آموزش و آگاهی بخشی عمومی اشاره نمود. اتخاذ راه کار مناسب نیازمند تدابیر جدی و هماهنگ از سوی دولت‌ها، جوامع محلی و صاحبان صنایع است.

در این پژوهش ضمن مطالعه وضعیت منابع و مصارف آبی استان بوشهر و شناسایی راه کارهای سازگاری با کم‌آبی در استان، یک روش تصمیم‌گیری جامع مبتنی بر تکنیک‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس نیز بررسی و ارائه شد. جامعه آماری پژوهش، کارشناسان و روسای ادارات شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای بودند که ۴۰ نفر از کارشناسان مربوطه به‌صورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات جمعیت شناختی کارشناسان مشارکت‌کننده در پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر افراد مشارکت‌کننده در پژوهش شاغل در شرکت مهندسی آب و فاضلاب (۶۵ درصد)، فوق لیسانس (۷۰ درصد)، دارای ۲۰ تا ۳۰ سال سابقه کاری مرتبط (۴۲/۵ درصد) هستند که در واحد طرح و توسعه (۳۵ درصد) مشغول به کار هستند. روند اجرای پژوهش بدین صورت بود که نخست معیارهای مؤثر بر راه کارهای سازگاری با کم‌آبی شناسایی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شدند. سپس با استفاده از تکنیک تاپسیس و در نظر گرفتن وزن معیارهای مؤثر بر راه کارهای سازگاری با کم‌آبی، کارشناسان مذکور اقدام به رتبه‌بندی راه کارهای شناسایی شده نمودند. با توجه به یافته‌های پژوهش به ترتیب معیارهای اقتصادی (۰/۳۵۲)، معیارهای فنی (۰/۳۳۴)، معیارهای محیط‌زیستی (۰/۱۶۲)، معیارهای مدیریتی (۰/۰۹۷) و معیارهای اجتماعی (۰/۰۵۶) دارای بیشترین اهمیت در تعیین راه کارهای مؤثر بر سازگاری با کم‌آبی هستند و به ترتیب توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها (با ضریب ۰/۹۵۰۷)، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب (با ضریب ۰/۷۶۲۹)، اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها (با ضریب ۰/۷۵۹۶)، سه راه کار با اولویت بالا در سازگاری با کم‌آبی هستند. پیشنهادها در خصوص راه کارهای سازگاری با کم‌آبی در استان بوشهر به شرح ذیل ارائه می‌شود:

با توجه به یافته‌های پژوهش، از بین راه کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی، توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها به لحاظ اهمیت در رتبه اول قرار دارد. اگرچه توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی هزینه‌بر و زمان‌بر است، اما با توجه به لزوم حذف تدریجی آب انتقالی از استان فارس، تخریب کیفیت منابع داخلی، افزایش جمعیت مناطق ساحلی و نیز موقعیت اقلیمی گرم و خشک این نواحی، به‌عنوان یکی از راه کارهای مطمئن برای استان‌های ساحلی به‌عنوان اصلی‌ترین گزینه تأمین

آب و فاضلاب، ۳۱(۳)، ۲۶-۴۲.

اداره کل هواشناسی استان بوشهر، (۱۴۰۱)، "آمارنامه‌های اداره پیش‌بینی و تحقیقات اقلیم و هواشناسی کاربردی استان بوشهر"، بوشهر.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، (۱۳۹۷)، "برنامه عملیاتی سازگاری با کم‌آبی استان بوشهر"، بوشهر.

پاکزاد، ز.، رامشت، م.، و گندم‌کار، ا.، (۱۳۹۷)، "سهم منابع آبی ایران از سامانه‌های جوی"، *فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۹(۶۹)، ۱۵۳-۱۶۴.

دباغیان، م.، هاشمی، س.، ح.، و عبادی، ت.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی فنی اقتصادی و زیست‌محیطی روش‌های تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری به روش AHP"، *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۱(۳)، ۱۱۵-۱۰۷.

زبیدی، ط.، یعقوبی، ج.، و یزدان‌پناه، م.، (۱۴۰۰)، "بررسی روش‌های سازگاری روستاییان با کم‌آبی در استان خوزستان: کاربرد نظریه بنیانی"، *پژوهش‌های روستائی*، ۱۲(۲)، ۲۴۶-۲۵۷ <https://doi.org/10.22059/jrur.2020.302235.1497>

عبداله‌زاده، غ.، و شریف‌زاده، م.، (۱۳۹۹)، "تحلیل انتظارهای ذی‌نفعان در برنامه سازگاری با کم‌آبی استان گلستان"، *فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت آموزش کشاورزی*، ۵۴(۳)، ۱۶۰-۱۷۵.

عطایی، پ.، و ایزدی، ن.، (۱۳۹۳)، "تحلیل مسئولیت‌های تشکلهای آب‌بران و زمینه‌یابی موانع ایجاد آن از دیدگاه بهره‌برداران"، *پژوهش آب در کشاورزی*، ۲۸(۴)، ۷۳۷-۷۴۸.

کریمی، ع.، مهرداد، ن.، هاشمیان، ج.، نبی بیدهندی، غ.، و توکلی‌مقدم، ر.، (۱۳۸۹)، "انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP"، *فصلنامه آب و فاضلاب*، ۲۱(۴)، ۱-۱۲.

لطیفی، م.، ملکیان، آ.، مقدم‌نیا، ع.، آذرنیوند، ح.، و رحیم صفوی، ی.، (۱۴۰۱)، "الگوی کاهش مخاطرات کم‌آبی حوضه هیدرولوژیک دریاچه ارومیه از طریق سازگاری و مدیریت راهبردی"، *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۹(۲)، ۱۸۹-۲۰۴ <https://doi.org/10.22059/jhsci.2022.347820.740>

نصراللهی، ا.، (۱۳۹۴)، *مدیریت پوشش خبری در بحران*، در *رسانه‌های حرفه‌ای، انتشارات همشهری*، تهران، ایران.

نوروزی، م.، و زلفی باوریانی، م.، (۱۳۸۹)، "تعیین آب مورد نیاز خرما در روش آبیاری قطره‌ای در استان بوشهر"، *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، ۲۴(۱)، ۲۱-۳۰.

هرندی، م.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی ساختاری مصوبه تشکیل کارگروه

آبگیر روستایی است. استفاده از آب باران نسبت به سایر منابع، دارای مزایایی از جمله رایگان بودن، عدم نیاز به خطوط انتقال و شبکه توزیع، کنترل جریان‌های سیلابی در مناطقی که بارش‌های رگباری و سیل‌آسا دارند، جلوگیری از انتقال و پخش آلودگی در معابر شهری و روستایی است. در راستای استفاده بهینه از این منبع آب و به‌عنوان راه‌کاری برای رفع مشکلات ناشی از کمبود آب در استان بوشهر، احیای آب‌انبارها پیشنهاد می‌شود. جمع‌آوری آب باران با استفاده از سطوح آبیگر در برخی از نقاط دنیا از جمله استرالیا و کشورهای شرق آسیا غالباً با هدف مصرف در بخش غیرشرب خانگی، آبیاری فضای سبز، آبیاری گیاهانی که نیاز آبی کمی دارند و در کشت‌های گلخانه‌ای انجام می‌شود. راه‌کار پنجم، ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است. سالانه قریب ۱۵ میلیون مترمکعب پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرهای بوشهر، گناوه و دیلم به محیط‌زیست پیرامون تخلیه و ضمن ایجاد محیطی نازیب و آلاینده و مزاحم برای ساکنین هم‌جوار از دسترس خارج می‌شود. استفاده از قابلیت‌های پساب مذکور در آبیاری فضای سبز شهری، باغ‌شهرها و خانه‌های پیرامون، تولید برخی محصولات کشاورزی، استفاده در واحدهای صنعتی مستقر در شهرک‌های صنعتی و منطقه ویژه اقتصادی و تصفیه تکمیلی و به‌کارگیری آن در شهرک شیلاتی دلووار و حتی توسعه زراعت چوب و کشت‌های مکانیزه و گلخانه‌ای در اراضی زراعی کم‌بازده و ملی به‌عنوان یکی از برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی پیشنهاد می‌شود.

۶- پی‌نوشت

- 1- Consistency Ratio (CR)
- 2- Positive Ideal Solution
- 3- Negative Ideal Solution

۷- مراجع

انصاری، ث.، مساح بوانی، ع.، و باقری، ع.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی راه‌کارهای سازگاری با تغییر اقلیم براساس نشانگرهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی امنیت آبی"، *تحقیقات منابع آب*، ۱۴(۵)، ۲۳۷-۲۵۳.

آذر، ع.، و رجب‌زاده، ع.، (۱۳۸۱)، *تصمیم‌گیری کاربردی*، چاپ اول، انتشارات نگاه دانش، تهران.

آستانه، م.، تقی‌پور، ف.، و دوازده‌امامی، ح.، (۱۳۹۹)، "ارائه مدل مبنی بر استراتژی رسانه به‌منظور سازگاری با کم‌آبی"، *مجله*

- سازگاری با کم‌آبی"، *تحقیقات منابع آب*، ۱۴(۴)، ۲۸۱-۳۳۸.
- Hartley, T.W., (2006), "Public perception and participation in water resource", *Desalination*, 187(1-3), 115-126, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.072>.
- Javadinejad, S., Dara, R., and Jafary, F., (2021), "Climate change simulation and impacts on extreme events of rainfall and storm water in the Zayandeh Rud Catchment", *Resources Environment and Information Engineering*, 3(1), 100-110, <https://doi.org/10.25082/REIE.2021.01.001>.
- Savari, M., Moradi, M., (2022), "The effectiveness of drought adaptation strategies in explaining the livability of Iranian rural households", *Habitat International*, 124, 102560, <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102560>.
- Zarepour Moshizi, M., Yousefi, A., and Amini, A.M., (2023), "Rural vulnerability to water scarcity in Iran: An integrative methodology for evaluating exposure, sensitivity and adaptive capacity", *GeoJournal*, 88, 2121-2136, <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10726-0>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Pressure Management in Water Distribution Networks with Optimal Placement of Pressure Relief Valve and Pump as Turbine

مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با جانمایی بهینه توامان شیر فشار شکن و پمپ معکوس

Parham Vazifedoust Saleh¹, Jafar Yazdi^{2*} and Ali Moridi³

پرهام وظیفه‌دوست صالح^۱، جعفر یزدی^{۲*} و علی مریدی^۳

1- Master Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Tehran, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

2- Associate Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

3- Assistant Professor, Department of Water and Wastewater Engineering, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*Corresponding Author, Email: j_yazdi@sbu.ac.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: j_yazdi@sbu.ac.ir

Received: 17/04/2023

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸

Revised: 08/10/2023

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶

Accepted: 23/10/2023

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

One of the problems in the field of water is its wastage in water supply networks due to water leakage due to high pressure. Therefore, keeping the pressure at a suitable range is necessary. The most effective equipment for this purpose is pressure relief valves and PAT². In this article, by linking the DE algorithm with the EPANET hydraulic solver, in the first step, by using the double-objective DE algorithm, the appropriate location of the pressure relief valves and its regulating pressure, as well as the optimal location of the reverse pump and the type of reverse pump, are determined at the same time. In the second step, by using the DE single objective algorithm, keeping the location of the pressure relief valves constant (resulting from the first step) and also keeping the location and type of PAT, the rotational speed of the pump and the regulating pressure of the pressure relief valve constant are optimized in 24 hours, to increase the production energy. The obtained results showed that it is possible to provide 160 kilowatt hours per day of salable energy to the city power grid from the network.

یکی از معضلات شبکه‌های توزیع آب، هدررفت آب در اثر نشت به دلیل فشار بالا در شبکه است. از این‌روی لازم است فشار شبکه را در یک بازه مناسب نگاهداشت. از موثرترین تجهیزات بدین‌منظور شیرهای فشارشکن و پمپ‌های معکوس هستند. در این مقاله با استفاده از مرتبط کردن الگوریتم DE^۱ با حل‌گر هیدرولیکی EPANET تلاش شده است در گام نخست با استفاده از الگوریتم DE دوهدفه، مکان مناسب شیرهای فشارشکن و نیز فشار تنظیمی آن‌ها و همچنین به صورت هم‌زمان مکان بهینه پمپ معکوس و نوع پمپ معکوس در شبکه مشخص شود. در گام دوم با استفاده از الگوریتم تک‌هدفه DE، با ثابت نگاهداشتن مکان شیرهای فشارشکن و همچنین ثابت نگاهداشتن مکان و نوع پمپ‌های معکوس (حاصله از گام نخست)، سرعت دورانی بهینه پمپ و فشار تنظیمی بهینه شیر فشارشکن در یک بازه ۲۴ ساعته، به منظور بهره‌برداری و افزایش انرژی تولیدی از شبکه مشخص می‌شود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که می‌توان از شبکه ۱۶۰ کیلو وات ساعت در ۲۴ ساعت شبانه‌روز، انرژی استحصال نمود.

Keywords: Pressure management, Leakage, Pressure reducing valve, Optimal location, Pump as turbine.

کلمات کلیدی: مدیریت فشار، نشت، شیر فشارشکن، مکان بهینه، پمپ معکوس، فشار تنظیمی.

مکانیکی موجود در شبکه آب را توسط چرخش به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. بنابراین، اگر یک پمپ سانتریفیوژ در حالت معکوس عمل کند، می‌تواند به جای توربین فرانسیس مورد استفاده قرار گیرد.

Derakhshan and Nourbakhsh (2008) یک مطالعه تجربی روی منحنی‌های مشخصه پمپ‌های سانتریفیوژی که به‌عنوان توربین در سرعت‌های مختلف کار می‌کنند انجام دادند. هم‌چنین دو معادله برای تخمین منحنی‌های مشخصه پمپ‌هایی که به‌عنوان توربین عمل می‌کنند براساس بهترین نقطه بازده ارائه کردند. (Motmani et al., 2013) هزینه پمپ معکوس برای مطالعه نیروگاه‌های برق آبی پیکو را تحلیل کردند. در این تحقیق یک پمپ معکوس با بازده ۶۰٪ و هم‌چنین یک توربین فرانسیس که بازده آن ۸۰٪ بود، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در نیروگاه آبی پیکو، هزینه توربین فرانسیس بین ۶ تا ۸ برابر هزینه پمپ معکوس است، اما هزینه برق تولید شده به‌ازای هر واحد توربین فرانسیس و پمپ معکوس به‌ترتیب ۶/۸ و ۵/۷ است که استفاده از پمپ معکوس با توجه به هزینه اولیه و هزینه نگهداری پایین‌تر و هم‌چنین در دسترس بودن آن نسبت به توربین فرانسیس را توجیه می‌کند.

De Marchi et al. (2015) هزینه بازیابی انرژی در شبکه توزیع آب با جایگزین کردن پمپ معکوس بجای PRV را تحلیل کردند. نتایج نشان داد چنان‌چه پمپ معکوس در محل مناسبی نصب شود، دوره بازگشت سرمایه بین ۱ تا ۳ سال بوده، حال اگر در محل نامناسب نصب شود، دوره بازگشت سرمایه به ۱۴ تا ۱۵ سال افزایش خواهد یافت. (Lima et al., 2017) جایگزینی پمپ معکوس به‌جای شیر فشارشکن را مطالعه کردند. در این پژوهش هدف، بهینه‌سازی انرژی تولیدی بود و قیدهای هیدرولیکی مسئله، محدود به فشار در هر گره شبکه بود. برای حل این مسئله، از روش بهینه‌سازی PSO استفاده شد. نتایج نشان داد که پمپ معکوس در زمانی که دبی در شبکه بالا باشد، توانایی تولید انرژی و کاهش فشار را دارد و در زمانی که دبی‌های شبکه کم باشد، پمپ‌های معکوس توانایی کنترل فشار و تولید انرژی را ندارند.

Ebrahimi et al. (2021) بهینه‌سازی انتخاب پمپ سرعت متغیر به‌عنوان توربین PAT برای بازیابی انرژی و مدیریت فشار در شبکه را مطالعه کردند. عملکرد پمپ با سرعت متغیر در حالت معکوس نشان‌داد مقدار انرژی تولید شده برابر با ۱۸۲/۱۵ کیلووات ساعت در روز است. (Kandi et al., 2021) عملکرد موازی پمپ‌های معکوس در سه سناریو را بررسی کردند. در سناریوی اول دو پمپ معکوس به‌صورت موازی در کنار یکدیگر استفاده شد

آبرسانی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جامعه امروزی است، که مسئولیت آن بر عهده شبکه‌های آبرسانی است. انتقال آب نیازمند وجود فشار مناسب در شبکه است (Karadirek et al., 2017). اما در مناطقی که دارای اختلاف ارتفاع زیادی در توپوگرافی شبکه هستند، این اختلاف ارتفاع باعث افزایش فشار در شبکه آب شده و در نتیجه منجر به نشت و فرسایش شبکه می‌شود که نیاز به مدیریت فشار شبکه لازم می‌شود (Lima et al., 2017). آب یک کالای استراتژیک است که باید از هدررفت آن در طول شبکه جلوگیری نمود. در کشور ایران حدود ۳۰ درصد از آب تصفیه شده در مسیر رسیدن به مصرف‌کننده از دست می‌رود (تابش و همکاران، ۱۳۸۵). راه‌حل متداول برای این معضل، استفاده از شیرهای فشارشکن PRV³ است. از ویژگی بارز شیرهای فشارشکن این است که صرفاً به پارامتر فشار شبکه وابسته هستند و به سایر پارامترهای دیگر شبکه نظیر دبی و غیره وابستگی ندارند و می‌توانند با هر دبی موجود در شبکه، فشار گره‌های وابسته به خود را به فشار دلخواه تبدیل نمایند. علاوه بر آن، اخیراً این شیرها به دستگاه‌های کنترلی برای تنظیم فشار متغیر در طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز مجهز شده‌اند تا عملکرد بهتری برای بهره‌برداری از شبکه حاصل شود. اگرچه این شیرها در کاهش فشار شبکه و جلوگیری از هدررفت آب نقش مفید و موثری دارند، اما خود آن‌ها هم دارای معایبی هستند. به‌عنوان مثال استفاده از این شیرهای کاهش فشار نیازمند هزینه اولیه برای تهیه و نصب هستند و این‌که این شیرها هیچ‌گونه بازگشت سرمایه مستقیم را به‌همراه ندارند (García Lima et al., 2017). در شرایط دنیای کنونی با توجه به آلودگی‌های محیط‌زیستی، به‌خصوص آلودگی‌های ناشی از تولید انرژی به‌علت مصرف سوخت فسیلی، بسیار مهم است که به منابع انرژی‌های پاک توجه ویژه‌ای داشت. یکی از راه‌کارهای موجود برای تولید انرژی پاک، استفاده از پتانسیل انرژی موجود در شبکه‌های انتقال و توزیع آب است (رئیس میرزا قلی و همکاران، ۱۳۹۳). لذا تفکر استفاده از پمپ معکوس PAT به‌همراه شیرهای فشار شکن یک پاسخ مناسب به این نیاز امروزی است. همان پمپ گریز از مرکزی است که به‌صورت معکوس در شبکه استفاده می‌شود. پره‌های چرخان داخل پمپ توسط انرژی جنبشی موجود در جریان شبکه به حرکت در می‌آیند و این چرخش پره‌ها، باعث تولید انرژی الکتریکی می‌شود. PAT در واقع یک پمپ سانتریفیوژ است که تقریباً شبیه به توربین فرانسیس بدون دستگاه کنترل جریان کار می‌کند. توربین فرانسیس انرژی

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی الگوریتم DE

الگوریتم مورد استفاده به منظور یافتن مکان‌های بهینه برای شیرها و پمپ‌ها و همچنین تنظیم آن‌ها الگوریتم تکامل تفاضلی است. الگوریتم تکاملی تفاضلی یا الگوریتم DE یک الگوریتم بهینه‌سازی است که اولین بار توسط (Storn and Price 1995) معرفی شد. این محققان نشان دادند که این الگوریتم توانایی خوبی در بهینه‌سازی توابع غیرخطی مشتق ناپذیر دارد که به‌عنوان روشی قدرتمند و سریع برای مسائل بهینه‌سازی در فضاهای پیوسته معرفی شده است.

الگوریتم DE برای غلبه بر عیب اصلی الگوریتم ژنتیک، یعنی نبود جستجوی محلی در این الگوریتم ارائه شده است. تفاوت اصلی بین الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم DE در عملگر انتخاب Selection Operators است. در عملگر انتخاب الگوریتم GA، شانس انتخاب یک جواب به‌عنوان یکی از والدین وابسته به مقدار شایستگی آن است، اما در الگوریتم DE همه جواب‌ها دارای شانس مساوی برای انتخاب شدن هستند. یعنی شانس انتخاب شدن، وابسته به مقدار شایستگی آن‌ها نیست، پس از این که یک جواب جدید با استفاده از یک عملگر جهش mutation و عملگر crossover تولید شد، جواب جدید با مقدار قبلی مقایسه می‌شود و در صورت بهتر بودن جایگزین می‌شود. در الگوریتم تکاملی تفاضلی برخلاف دیگر الگوریتم‌ها که اول عملگر crossover و سپس عملگر mutation انجام می‌شود، به‌گونه‌ای که ابتدا عملگر جهش اعمال شده و سپس عملگر crossover اعمال می‌شود تا بدینوسیله نسل جدید ایجاد شود. برای اعمال عملگر mutation از توزیع خاصی استفاده نمی‌شود، بلکه طول گام جهش برابر با مقدار از فاصله میان اعضای فعلی تعیین می‌شود.

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

شبکه مورد مطالعه مربوط به منطقه وردآورد، ناحیه ۳ شهرداری منطقه ۲۱ تهران است. به‌منظور طراحی شبکه، لایه اطلاعات مسیر لوله‌ها از شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس اخذ شد. نیازهای گرهی با توجه به جمعیت منطقه تا افق ۱۴۲۰ (Shahhoseini and Tavakoli, 2013) و به‌روش تیسسن در نرم‌افزار WATERGMS برآورد شد. پس از تعیین مسیر لوله‌ها و تخمین نیازهای گرهی، براساس دبی عبوری در زمان حداکثر الگوی مصرف شبکه قطر بهینه لوله‌ها (از طریق بهینه‌سازی با استفاده از

که برای هرکدام از پمپ‌های معکوس یک شیر تنظیم فشار در ورودی پمپ معکوس لحاظ شد. در سناریوی دوم از دو پمپ معکوس موازی استفاده شد و برای هر یک از پمپ‌های معکوس از اینورتور برای کنترل سرعت پمپ استفاده شد. در سناریوی سوم از دو پمپ معکوس موازی استفاده شد و برای هر یک از پمپ‌های معکوس اینورتور و یک شیر تنظیم فشار در ورودی دهانه تعبیه شد. نتایج نشان داد سناریو سوم از همه گران‌تر است ولی بالاترین مقدار انرژی را تولید می‌کند.

(Stefanizzi et al. (2023 جایگزینی پمپ معکوس به‌جای شیر فشار شکن در یک شبکه واقعی در جنوب ایتالیا را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که با جایگزینی پمپ معکوس در شبکه و تنظیم بهینه سرعت چرخش پمپ معکوس می‌توان ۶۰ درصد انرژی‌ای که توسط شیر فشار شکن در شبکه از بین می‌رفت را بازیابی کرد. این مقدار انرژی تولیدی حاصل از شبکه می‌تواند سالانه از انتشار ۳۳۲ تن گاز دی‌اکسیدکربن جلوگیری کند.

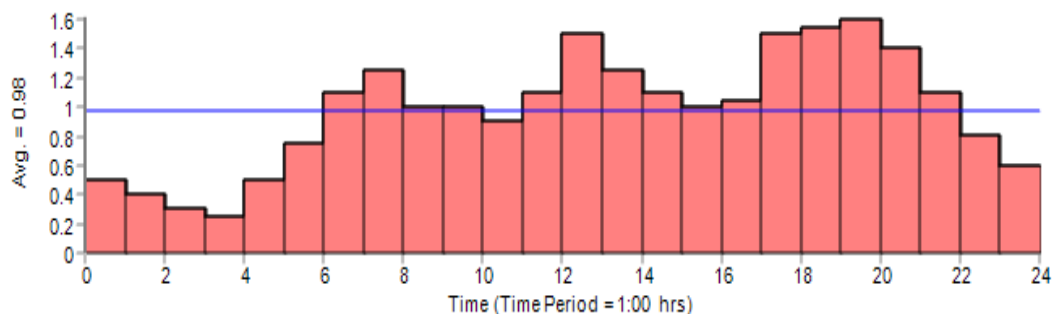
اگرچه استفاده از پمپ معکوس در شبکه به‌لحاظ تولید انرژی جذاب به‌نظر می‌رسد، لیکن در دبی‌های کم به‌دلیل عدم تولید انرژی و همچنین عدم توانایی کنترل فشار توسط پمپ معکوس، استفاده از شیرهای فشارشکن در کنار آن‌ها ضروری است. همچنین از دیگر موارد مهم به‌کارگیری این تجهیزات، جانمایی درست در شبکه است تا بهترین بازده از لحاظ کاهش فشار و تولید انرژی را داشته باشند. لیکن یافتن مکان بهینه برای استقرار این تجهیزات لازم است. نوآوری این مقاله، جانمایی و بهره‌برداری هم‌زمان تعداد و نوع پمپ‌های معکوس و شیرهای فشارشکن در شبکه با در نظرگیری نوسانات ساعتی مصرف آب در شبکه برای مدیریت فشار و تولید انرژی است. به‌طور هم‌زمان، تعداد شیرهای فشارشکن و پمپ‌های معکوس و فشار تنظیمی شیرهای فشارشکن و سرعت چرخش پمپ‌های معکوس و نوع پمپ‌های معکوس با لحاظ کردن نوسانات مصرف آب در نظر گرفته شده و مقادیر این متغیرها با هدف متعادل‌سازی فشار شبکه و افزایش انرژی بهینه‌سازی شده است. در مطالعات قبلی، به بخشی از این موارد پرداخته شده است. مثلاً تاثیر توامان شیر فشارشکن و پمپ معکوس بررسی نشده یا صرفاً مسئله بهره‌برداری مورد توجه بوده، ولی مسئله جانمایی و یا نوسانات مصرف در شبکه در نظر گرفته نشده است. در مقاله حاضر، تمامی فاکتورهای فوق برای مدیریت فشار و انرژی و سرمایه‌گذاری لحاظ شده است. هدف مقاله این است که به‌طور هم‌زمان روشی برای مدیریت فشار، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و افزایش بهره‌وری انرژی در شبکه ارائه شود.

الگوریتم تکامل تفاضلی) تعیین شد تا هزینه خرید لوله‌ها به حداقل خود برسد. مشخصات این شبکه پس از طراحی اولیه شامل ۹۳۴ لوله، با اقطار ۷۵ تا ۵۰۰ میلی‌متر، ۹۱۲ گره و یک مخزن در بالاترین نقطه شبکه با ارتفاع ۱۲۸۳/۴ متری از سطح دریا است و پایین‌ترین قسمت شبکه در ارتفاع ۱۲۰۲/۹۵ متری از سطح دریا قرار دارد که دارای اختلاف ارتفاع ۸۰/۴۵ متری است. این شبکه فاقد پمپاژ بوده و به صورت ثقلی کار می‌کند (شکل ۱). الگوی مصرف شبکه برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز با توجه به جمعیت این منطقه و بر اساس نشریه شماره ۱۱۷ انتخاب شده است. در (شکل ۲)، الگوی مصرف شبکه در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز به نمایش درآمده است. شایان ذکر است که فشار حداقل و حداکثر در زمان طراحی که براساس الگوی حداکثر مصرف بوده است رعایت شده است ولی در زمان‌هایی که الگوی مصرف تغییر می‌کند فشارهای گره‌ای شبکه از محدوده استاندارد خارج می‌شوند. به عنوان مثال فشارهای گره‌ای حداکثر در (شکل ۳) نشان داده شده است (شکل سه براساس تحلیل شبکه مورد مطالعه در نرم‌افزار EPANET در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز به دست آمده است). فشار حداکثر در این شبکه ۷۹/۷۸ متر بدون

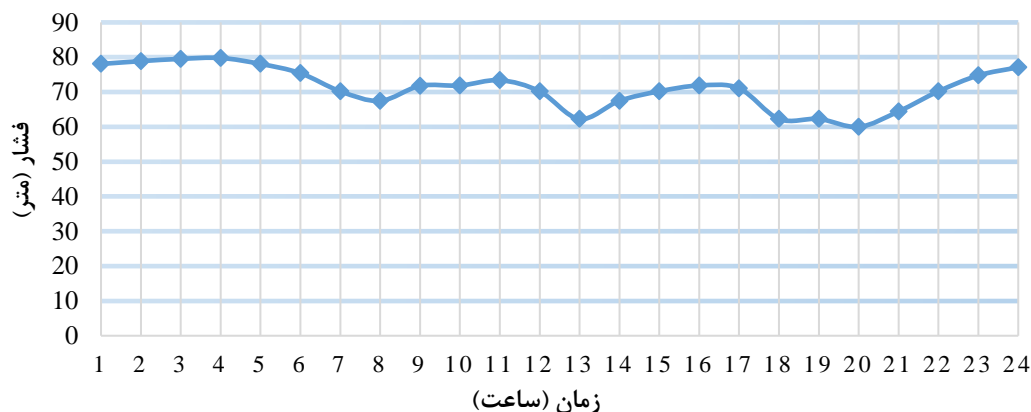
تجهیزات کنترل فشار است، که در ساعت ۴ بامداد مطابق شکل ۳ در کمترین مقدار تقاضای شبکه به وقوع می‌پیوندد. هدف مقاله، این است که به کمک الگوریتم جستجوی DE، تاثیر استفاده هم‌زمان شیرهای فشار شکن و پمپ‌های معکوس بر روی کاهش فشار شبکه و تولید انرژی مطالعه شود. هم‌چنین مکان، تعداد و نوع مناسب پمپ‌های معکوس و شیرهای فشار شکن تعیین می‌شود تا حداکثر فشار در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز به زیر فشار حداکثر ۶۰ متر برسد. هم‌چنین فشار حداقل شبکه، از حداقل فشار مجاز ۱۴ متر کمتر نشود و در عین حال بالاترین میزان تولید انرژی از شبکه حاصل شود. شایان ذکر است که فشار استاندارد حداقل و حداکثر در این مقاله بر اساس نشریه ۱۱۷ انتخاب شده است ولی در شهر تهران حداقل و حداکثر فشار به ترتیب ۲۶ و ۵۰ متر است که برای یک کار عملی می‌بایست این مقدار را در نظر گرفت، با این وجود متدولوژی ارائه شده در این مقاله یک راه‌کار جامع برای به‌کارگیری پمپ‌های معکوس و شیرهای فشار شکن ارائه شده که با هر مقدار استاندارد حداقل و حداکثر شبکه قابل استفاده خواهد بود. روند انجام کار در (شکل ۴) نشان داده شده است.



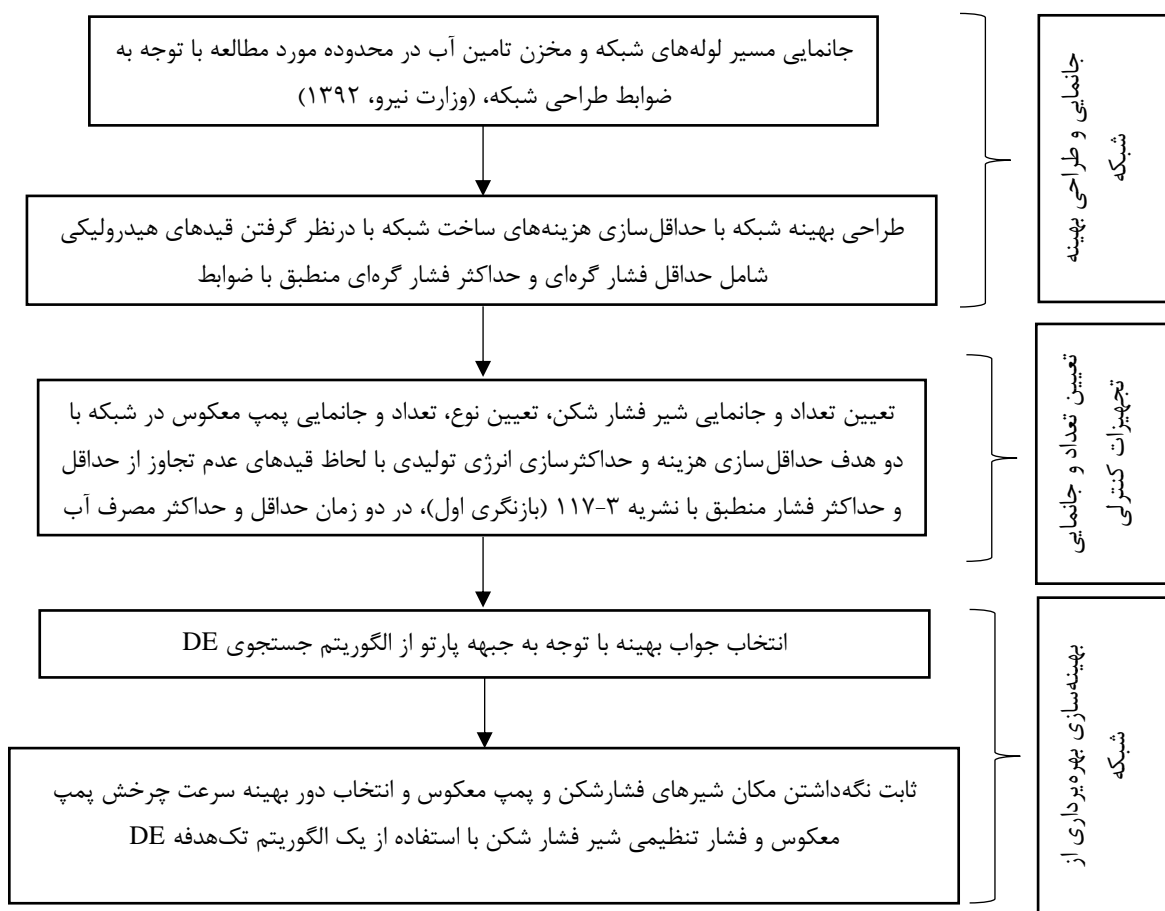
شکل ۱- نمای کلی از شبکه توزیع آب طراحی شده در محیط EPANET



شکل ۲- الگوی مصرف شبکه در طول ۲۴ ساعت (وزارت نیرو، ۱۳۹۲)



شکل ۳- حداکثر فشار شبکه بدون تجهیزات کنترل فشار



شکل ۴- بخش‌های اصلی پژوهش

۲-۳- مدل‌سازی پمپ معکوس

در خصوص پمپ‌های گریز از مرکز روابط تجربی (۱) و (۲)، قبلاً توسط محققان ارائه شده است که می‌توان انرژی قابل استحصال توسط پمپ معکوس را براساس دبی عبوری از پمپ معکوس را محاسبه نمود (Derakhshan and Nourbakhsh, 2008):

$$\frac{H_t}{H_{tb}} = 1.0283 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}} \right)^2 - 0.5468 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}} \right) + 0.5314 \quad (1)$$

$$\frac{P_t}{P_{tb}} = -0.3092 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}} \right)^3 + 2.1472 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}} \right)^2 - 0.8865 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}} \right) + 0.0452 \quad (2)$$

که Q_t : دبی عبوری از PAT، H_t : افت هد در PAT، P_t : توان تولید شده در PAT، Q_{tb} : دبی در بهترین نقطه عملکرد حالت توربینی پمپ، H_{tb} : میزان افت هد در بهترین نقطه عملکرد حالت توربینی پمپ و P_{tb} : توان تولیدی در بهترین نقطه عملکرد حالت توربینی پمپ هستند.

Cost در نظر نگرفته شده است. رابطه (۴) قید مسئله را نشان می دهد.

$$P_{min} < P_i < P_{max} \quad (4)$$

که P_{max} و P_{min} : به ترتیب حداقل و حداکثر فشار مجاز گره های شبکه هستند که براساس استاندارد نشریه ۳-۱۱۷ انتخاب شده است. P_{min} برای این شبکه برابر با ۱۴ متر و P_{max} برابر ۶۰ متر فرض شده است. P_i برابر است با فشار در گره i ام. قیدهای فوق از طریق ترم پنالتی $Penalty$ در مسئله ارضا می شود. علت استفاده از ترم پنالتی این است که در صورتی که جواب های به دست آمده در محدوده مجاز فشار قرار نداشته باشند، مقدار تابع هدف این جواب ها، مقدار بزرگی شود تا در تکرارهای بعدی جستجو، این جواب ها توسط الگوریتم مدنظر قرار نگیرند. تعریف پنالتی در تابع هدف به صورت روابط (۵) و (۶) است:

$$Penalty1i = (P_{min} - P_i) \times 10^6 \quad (5)$$

$$Penalty2i = (P_i - P_{max}) \times 10^6 \quad (6)$$

مقدار پنالتی کل به صورت رابطه (۷) تعریف می شود.

$$Penalty = \sum_{i=1}^n (Penalty1i + Penalty2i) \quad (7)$$

رشته بهینه سازی متغیرهای تصمیم مسئله فوق در شکل ۵ ارائه شده است. پس از مشخص شدن مکان شیرهای فشارشکن و پمپ های معکوس و نیز مشخص شدن نوع پمپ های معکوس در گام نخست، یک مسئله بهینه سازی تک هدفه در گام دوم به منظور حداکثرسازی انرژی تولیدی به صورت رابطه (۸) تعریف می شود.

در این مقاله ۱۲ مدل پمپ با توجه به دبی های شبکه، از شرکت پمپیران شامل پمپ های (۴۰-۱۲۵، ۵۰-۲۰۰، ۵۰-۱۶۰، ۵۰-۱۲۵، ۸۰-۲۰۰، ۶۵-۱۲۵، ۶۰-۲۰۰، ۶۵-۱۶۰، ۸۰-۲۵۰، ۱۰۰-۲۵۰ و ۱۰۰-۲۰۰) انتخاب شد و در حالت عملکرد معکوس مدل سازی و در نرم افزار شبیه سازی شد.

۴-۲- فرمول بندی مسأله بهینه سازی

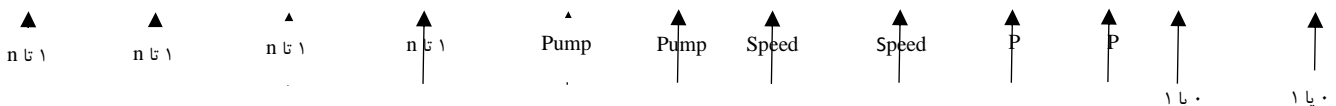
به منظور مدیریت فشار در شبکه، ابتدا شبکه طراحی شده با استفاده از EPANET-toolkit در محیط برنامه نویسی متلب اجرا شد. سپس دستورات لازم با استفاده از نرم افزار EPANET در محیط متلب اعمال شد. در گام نخست برای الگوریتم جستجوی DE دو هدفه، محدوده متغیرهای تصمیم تعریف شد. در این گام متغیرهای تصمیم شامل مکان شیرها، فشار تنظیمی آنها، نوع و مکان پمپ ها است. تابع هدف برای الگوریتم جستجوی دو هدفه به صورت رابطه (۳) تعریف می شود.

$$\begin{cases} f_1 = \max \sum_{i=1}^2 E_i \\ f_2 = \min cost \end{cases} \quad (3)$$

که f_1 و f_2 : مقادیر تابع دو هدفه، E_i : میزان انرژی تولیدی در ساعات بیشترین و کمترین دبی هستند. $Cost$: برابر است با هزینه های خرید تجهیزات کنترل فشار، شامل پمپ های معکوس و شیرهای فشار شکن.

معمولاً هزینه های نصب و بهره برداری ضریبی ثابت از هزینه های خرید تجهیزات کنترل فشار در نظر گرفته می شوند و این ضریب ثابت، تاثیری در جواب بهینه ندارد و در این مقاله جزء

محل پمپ معکوس ۱	..	محل پمپ معکوس ۶	..	محل شیر فشارشکن ۱	...	محل شیر فشارشکن ۶	...	نوع پمپ معکوس ۱	..	نوع پمپ معکوس ۶	..	سرعت پمپ معکوس ۱	..	سرعت پمپ معکوس ۱۲	..	فشار شیر ۱	..	فشار شیر ۱۲	..	تعیین تعداد تجهیزات ۱	...	تعیین تعداد تجهیزات ۱۲
-----------------	----	-----------------	----	-------------------	-----	-------------------	-----	-----------------	----	-----------------	----	------------------	----	-------------------	----	------------	----	-------------	----	-----------------------	-----	------------------------



شکل ۵- رشته متغیرهای تصمیم مسئله بهینه سازی دو هدفه

هستند و $Penalty$: قیدهای مسئله برای این که مقدار فشارهای گره های شبکه در طول بهره برداری از محدوده فشار مجاز مطابق با نشریه ۳-۱۱۷ بیشتر و یا کمتر نشود.

$$Min(F) = Max \sum_{t=1}^{24} E_t - Penalty \quad (8)$$

که E_t : مقدار انرژی تولیدی در زمان بهره برداری در شبکه و F : مقدار تابع تک هدفه برای حداکثر کردن انرژی تولیدی در شبکه

۳- نتایج و بحث

شیرهای فشارشکن (۶ متغیر در شرایط حداقل مصرف شبکه و ۶ متغیر برای حداکثر مصرف شبکه) و ۱۲ متغیر تصمیم برای سرعت چرخش پمپ معکوس (۶ متغیر در شرایط حداقل مصرف شبکه و ۶ متغیر برای حداکثر مصرف شبکه) تعریف شد. همچنین برای تعیین ترکیب تعداد شیرهای فشارشکن و پمپ معکوس نیز ۱۲ متغیر باینری در نظر گرفته شد که مجموعاً تعداد پمپ و شیرهای نصبی را از صفر تا ۱۲ عدد تعیین می‌کنند. در مجموع تعداد متغیرهای تصمیم در این مسئله بهینه‌سازی ۵۴ عدد است. تعداد تکرار الگوریتم دوهفته برای این که به همگرایی برسد برابر ۲۰۰ در نظر گرفته شد و تعداد جمعیت الگوریتم با توجه به تعداد متغیرهای تصمیم مسئله ۲۰۰ در نظر گرفته شد. بعد از اجرای مدل بهینه‌سازی کنترل شد که الگوریتم با تعداد تکرارهای در نظر گرفته شده به همگرایی رسیده باشد. همچنین بررسی شد تا در چندین نسل انتهایی تکرارهای آخر تغییری در مقدار تابع هدف اتفاق نیفتاده باشد تا اطمینان حاصل شود که الگوریتم به همگرایی رسیده باشد. شایان ذکر است به دلیل وجود ترم‌های پنالتی در تابع هدف اگر جواب‌های بدست آمده، قیدهای حداقل فشار و حداکثر فشار را تأمین نکند این جواب‌ها در تکرارهای بعدی از جمعیت حذف می‌شوند. برای حل این الگوریتم جستجو از سیستم کامپیوتری با یک پردازنده ۴ هسته‌ای و ۸ رشته پردازشی با ۱۶ گیگابایت رم استفاده شده است. زمان پردازش ۶۲۴ ساعت طول کشید.

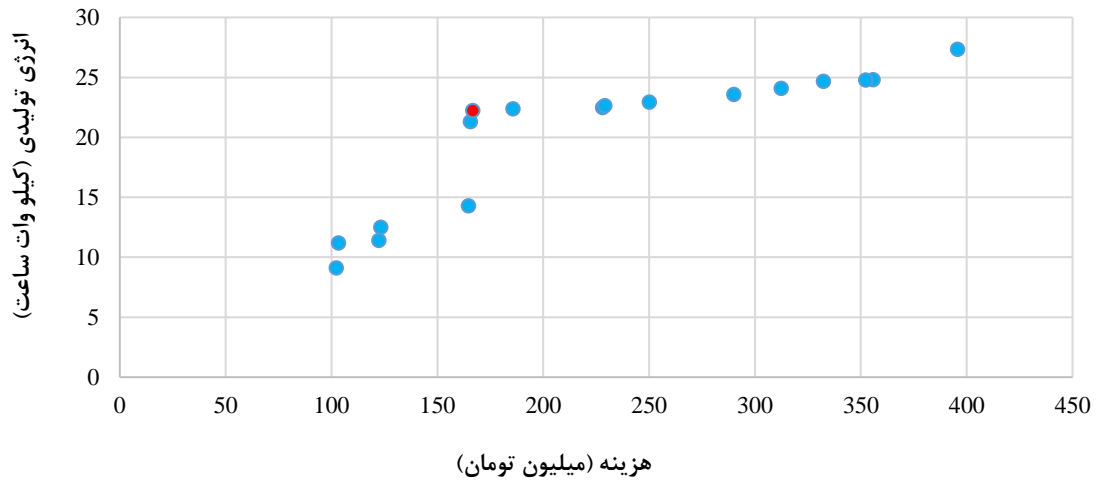
جبهه پارتوی به دست آمده از حل مسئله بهینه‌سازی در شکل ۶ نشان داده شده است. این جبهه پارتو نشانگر مصالحه بین مقدار انرژی تولیدی و هزینه خرید تجهیزات است. در این شکل موقعیت جواب بهینه منتخب نیز نشان داده شده است. علت انتخاب این جواب این است که پس از این نقطه یک شکست در روند جبهه پرتو وجود دارد. شکست در روند به این معنا است که با افزایش هزینه فقط مقدار جزئی به انرژی تولیدی اضافه می‌شود. همچنین روند قبل از این شکست نشان‌دهنده این است که با افزایش جزئی هزینه تجهیزات، انرژی شبکه به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. لذا نقطه منتخب دارای بالاترین مقدار انرژی تولیدی با افزایش جزئی هزینه است و بنابراین این جواب انتخاب شده است. در طی مسئله بهینه‌سازی برای یافتن تعداد و مکان تجهیزات در شبکه، الگوریتم جستجو جواب‌های مختلف در یک شبکه را شبیه‌سازی و به صورت تصادفی تجهیزات کنترل فشار را در بخش‌های مختلف شبکه جانمایی می‌کند. پس از حل هیدرولیکی شبکه، جواب‌ها براساس تابع هدف (معیارهای فشار و انرژی) ارزیابی می‌شوند.

در گام نخست برای مشخص شدن تعداد پمپ‌ها و شیرهای فشار شکن و همچنین مکان بهینه آن‌ها و مشخص کردن نوع مناسب پمپ معکوس، یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه DE که در بخش قبل توضیح داده شد، حل شد؛ با این هدف که با حل این مسئله، چیدمان تجهیزات کنترل فشار منجر به تولید بیشترین میزان انرژی با کمترین هزینه شوند. در این مسئله بهینه‌سازی برای کاهش بار محاسباتی، تحلیل هیدرولیکی شبکه در دو زمان حداقل میزان تقاضا و حداکثر میزان تقاضای آب انجام می‌شود، علت انتخاب این دو زمان، این است که در زمان حداقل تقاضای گره‌ای شبکه، فشار شبکه به حداکثر مقدار خود می‌رسد، لذا تجهیزات باید به گونه‌ای عمل کنند که فشار شبکه در این زمان را به زیر فشار حداکثر ۶۰ متر برسانند. همچنین در زمان حداکثر تقاضای گره‌ای، فشار شبکه به حداقل میزان خود می‌رسد. بنابراین تجهیزات باید به گونه‌ای عمل کنند که باعث کاهش فشار، از فشار حداقل شبکه یعنی ۱۴ متر نشوند.

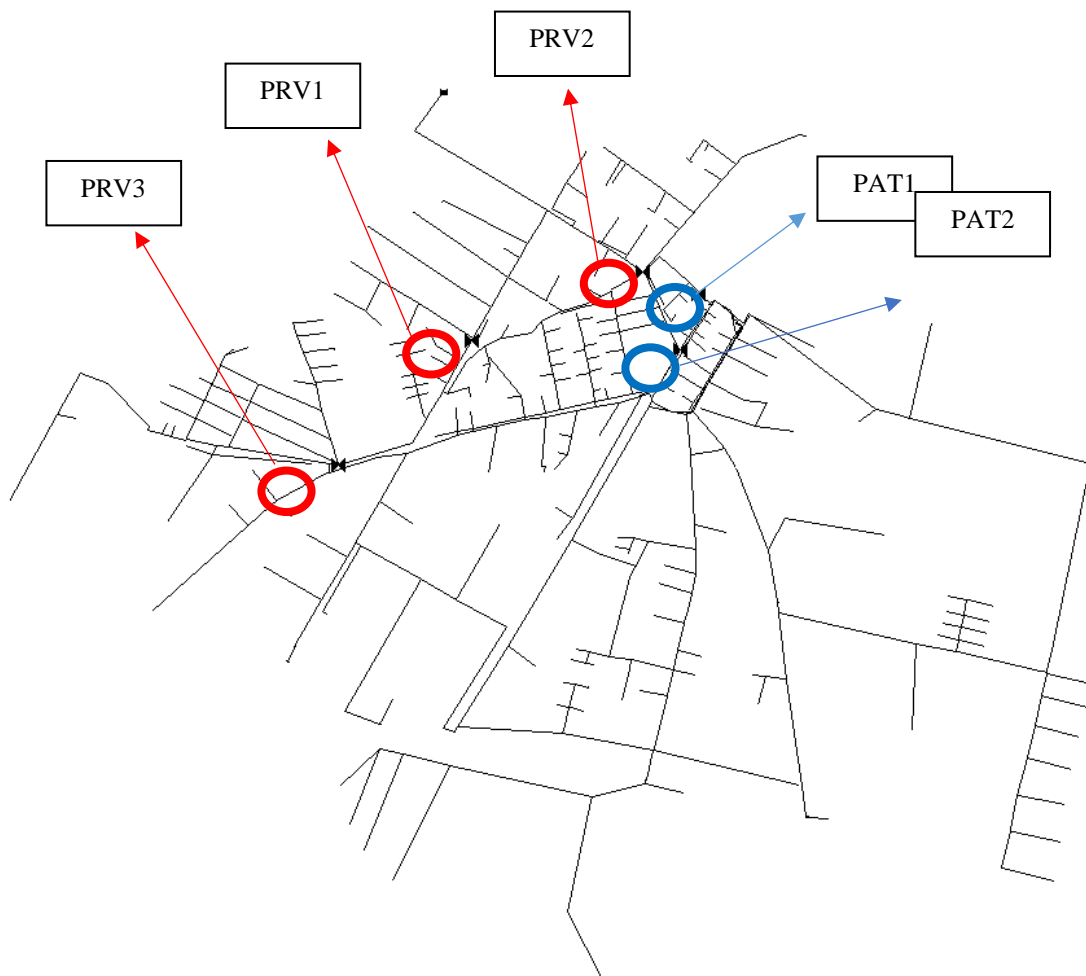
حداکثر تعداد تجهیزات کنترل برای هر کدام از شیرهای فشارشکن و پمپ‌های معکوس ۶ عدد در رشته متغیر تصمیم در نظر گرفته شد. این تعداد، با سعی و خطا براساس شبیه‌سازی هیدرولیکی و تحلیل حساسیت نتایج حاصله و در نظرگیری محدودیت‌های هزینه انتخاب شده است. با استفاده از حل‌گر هیدرولیکی EPANET و در طی چند اجرای آزمایشی مشخص شد که اگر تعداد هریک از این تجهیزات در شبکه بیشتر از ۶ عدد باشد، کاهش حداکثر فشار شبکه خیلی محسوس نیست، لذا این افزایش هزینه برای کاهش بسیار کم فشار توجیه اقتصادی ندارد. برای حل این مسئله بهینه‌سازی به الگوریتم اجازه داده شده است تا با یک رشته متغیر باینری و عدد صحیح تعداد و مکان بهینه پمپ‌ها و شیرها را انتخاب کند. متغیرهای باینری می‌تواند تعداد تجهیزات کنترل فشار را از صفر تا ۶ عدد برای هر یک از تجهیزات (پمپ معکوس و شیرفشارشکن) تغییر دهد تا بهینه‌ترین تعداد تجهیزات مشخص شود. همچنین، متناسب با متغیرهای باینری که مقدار ۱ را اخذ کرده‌اند، متغیرهای عدد صحیح محل بهینه تجهیزات را مشخص می‌کنند، به نحوی که بهترین حالت چیدمان تجهیزات کنترل فشار به دست آید. بنابراین تعداد متغیرهای تصمیم شامل ۶ متغیر تصمیم برای مکان پمپ‌های معکوس (مکان هریک از پمپ‌ها)، ۶ متغیر تصمیم برای مکان شیرهای فشارشکن (برای هر شیرفشارشکن)، ۶ متغیر تصمیم برای انتخاب نوع پمپ‌های معکوس، ۱۲ متغیر تصمیم برای فشار تنظیمی

در شکل ۷ نشان داده شده است. این شبکه دارای ۲ عدد پمپ معکوس که هر دو از نوع پمپ ۱۰۰-۲۰۰ کارخانه پمپیران است و ۳ عدد شیر فشارشکن که شیر شماره ۱ به قطر ۸ اینچ شیر، شماره ۲ به قطر ۱۲ اینچ و شیر شماره ۳ به قطر ۶ اینچ است.

جواب‌های برتر در نسل‌های بعدی الگوریتم، شانس بیشتری برای تولید جواب‌های جدید و بهتر دارند. در نهایت بهترین جواب‌ها براساس تابع هدف به صورت یک جبهه پارتو نشان داده شده است. با توجه به جواب منتخب جبهه پارتو، شبکه بهینه



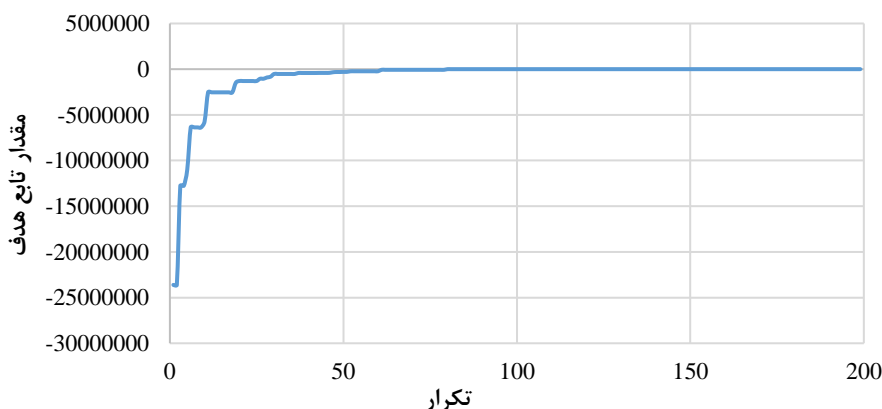
شکل ۶- جبهه پرتوی به دست آمده در ۲۰۰ تکرار برای شبکه مورد بررسی و موقعیت جواب منتخب در جبهه پارتو



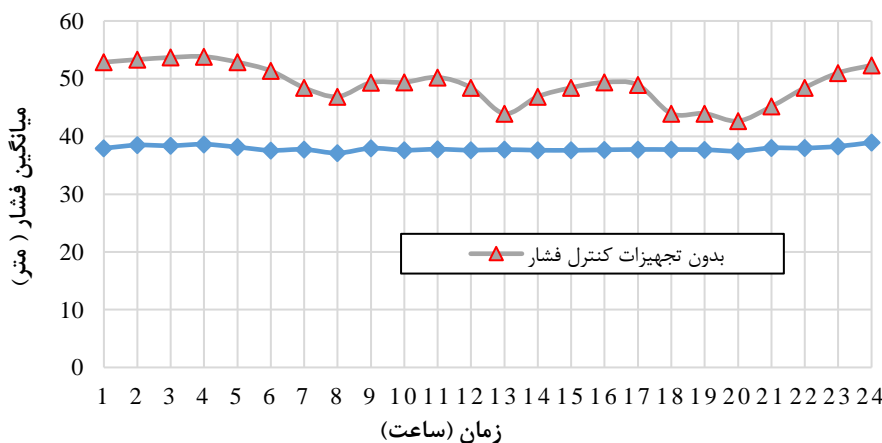
شکل ۷- مکان سه شیر فشارشکن و دو پمپ معکوس پیشنهاد شده توسط الگوریتم DE در محیط EPANET

روند همگرایی بهینه‌سازی تابع تک هدفه نشان داده شده است. محور عمودی شکل ۸ براساس رابطه (۸) محاسبه می‌شود. در زمان‌هایی که فشارهای گره‌ای در محدوده استاندارد قرار نگیرند یک ترم منفی پنالتی به تابع هدف وارد می‌شود که سبب می‌شود مقدار تابع هدف به صورت منفی به نمایش درآید. با جلو رفتن تکرارهای الگوریتم و پس از خارج شدن تابع هدف از ترم پنالتی، مقدار تابع هدف مثبت خواهد بود که نشان‌دهنده انرژی تولیدی شبکه است. این مقدار در شکل ۸ به ۱۶۰ کیلووات ساعت در روز می‌رسد که به علت بزرگ بودن مقدار منفی تابع پنالتی، این مقدار مثبت به خوبی نشان داده نشده است. یادآور می‌شود هدف نهایی در این گام، پیشینه‌سازی میزان تولید انرژی طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز است، ضمن حفظ قیدهای هیدرولیکی فشارهای گره‌ای که باید در محدوده مطلوب خود باشند. در شکل ۹ ماکزیمم فشار گره‌ای در دو حالت بدون تجهیزات و با تجهیزات کنترل فشار هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت بهینه، نوسانات فشار شبکه بسیار کمتر از حالت بدون تجهیزات کنترل فشار است که این نشان‌دهنده عملکرد مطلوب تجهیزات شبکه است.

در گام دوم برای این‌که بالاترین میزان انرژی از شبکه در طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز از شبکه به دست آید و در عین حال فشارهای گره‌ای در محدوده مطلوب خود قرار بگیرند، با ثابت نگه داشتن مکان پمپ‌های معکوس و شیرهای فشار شکن و همچنین ثابت نگه داشتن نوع پمپ‌های معکوس، بهینه‌سازی فشار تنظیمی شیر فشار شکن و سرعت بهینه دور موتور پمپ معکوس انجام شد. در این گام، یک الگوریتم تک هدفه DE گسترش داده شد تا با توجه به وجود ۲ عدد پمپ معکوس، ۴۸ متغیر تصمیم (۲×۲۴) برای بهینه کردن دور موتور ۲ پمپ معکوس در طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز اعمال شود. با توجه به وجود ۳ شیر فشار شکن، ۷۲ متغیر تصمیم (۳×۲۴) برای بهینه کردن فشار تنظیمی ۳ شیر فشار شکن در طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز در نظر گرفته شد. تعداد تکرار الگوریتم برابر ۲۰۰ تکرار در نظر گرفته شد تا اطمینان حاصل شود الگوریتم به همگرایی رسیده باشد و نیز تعداد جمعیت الگوریتم با توجه به تعداد متغیرهای تصمیم ۲۰۰ در نظر گرفته شد. برای حل این مسئله جستجو، از سیستم کامپیوتری با یک پردازنده ۴ هسته‌ای و ۸ رشته پردازشی با ۱۶ گیگابایت رم استفاده شد. زمان پردازش ۲۱۶ ساعت طول کشید. در شکل ۸



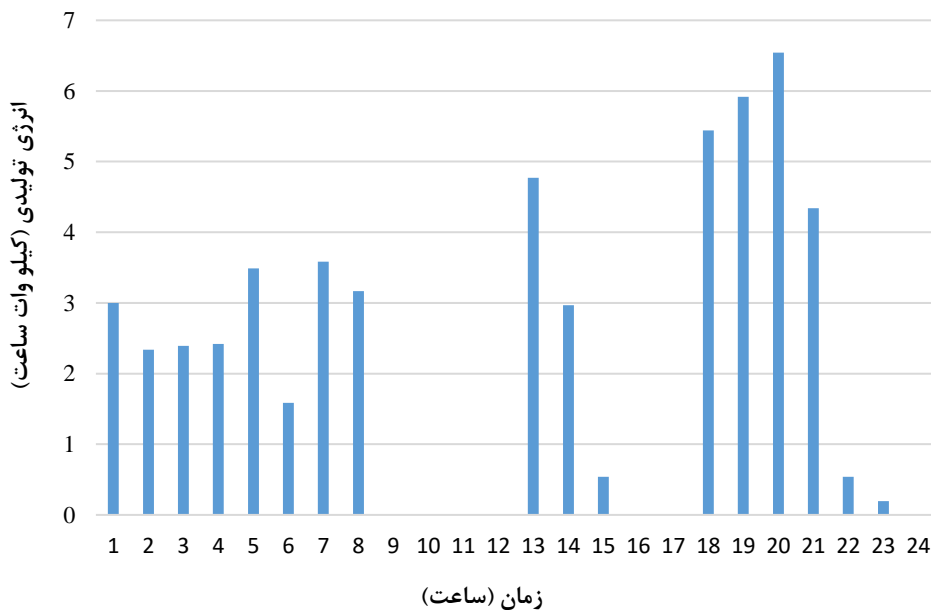
شکل ۸- مقدار تابع هدف در گام دوم



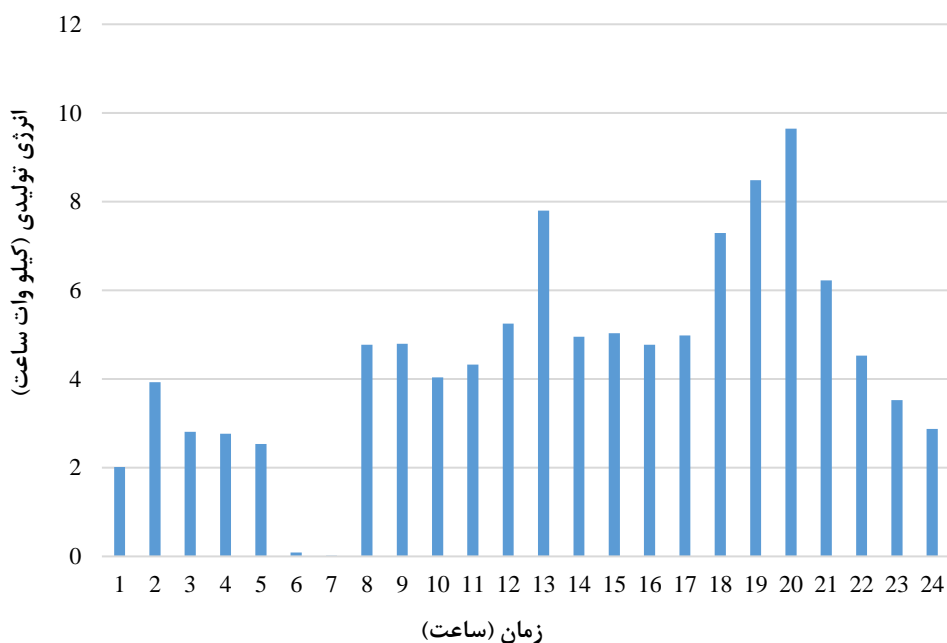
شکل ۹- میانگین فشار حداکثر شبکه با ترکیب ۳ شیر فشار شکن و ۲ پمپ معکوس

نشان‌دهنده انرژی تولیدی است و محور افقی نشان‌دهنده زمان است. به‌عنوان مثال در شکل ۱۰ برای پمپ معکوس اول در ساعت ۱ بامداد سه کیلو وات ساعت برق تولید شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشهود است ماکزیمم انرژی تولیدی در ساعت ۲۰ تولید شده است که در این ساعت بیشترین مقدار دبی در شبکه جریان دارد. هم‌چنین در بعضی از ساعات شبانه‌روز هیچ انرژی‌ای تولید نشده است و دلیل آن این است که در این ساعات، دبی جریان در شبکه کم است.

نتایج حاصله در این گام نشان داد که ۱۶۰ کیلو وات ساعت در روز می‌توان از شبکه انرژی استحصال نمود. این میزان انرژی از رابطه (۲) به‌دست آمده است. این مقدار تولید انرژی در این رابطه وابسته به دبی گذرا از پمپ معکوس است و با توجه به این‌که دبی گذرا در طول ۲۴ ساعت متغیر است انرژی تولیدی در طول ۲۴ ساعت متغیر است، که مجموع دو پمپ در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز این مقدار انرژی را تولید می‌کند. میزان انرژی تولیدی در پمپ اول و دوم به‌ترتیب در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ برای ساعت شبانه‌روز نشان‌داده شده است که محور عمودی



شکل ۱۰- نمودار میله‌ای انرژی تولیدی در پمپ معکوس اول



شکل ۱۱- نمودار میله‌ای انرژی تولیدی در پمپ معکوس دوم

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تاثیر جانمایی و نحوه بهره‌برداری از تجهیزات کنترلی هوشمند شبکه آب شامل شیرهای فشار شکن و پمپ‌های معکوس به‌طور هم‌زمان بررسی شد. نتایج نشان داد با به‌کارگیری بهینه ۳ عدد شیر فشارشکن، مجهز به دستگاه‌های کنترل تنظیم هوشمند در کنار ۲ پمپ معکوس با سرعت متغیر (با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱) در مجموع، ۱۶۰ کیلو وات ساعت انرژی در شبانه‌روز فراهم می‌شود که این انرژی تولیدی، قابلیت فروش به شبکه برق شهری را دارا است. درآمد حاصل از فروش انرژی تولیدی منجر به بازگشت سرمایه هزینه‌های تجهیزات مدیریت فشار در این شبکه خواهد شد. براساس نرخ تورم کشور و قیمت خرید برق توسط دولتریال بازگشت سرمایه در مدت ۴ سال طول خواهد کشید. این بازگشت سرمایه، برتری این مدیریت فشار نسبت به استفاده تنها از شیرهای فشار شکن است که هیچ‌گونه بازگشت سرمایه‌ای مستقیم را به‌همراه ندارند.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Differential Evolution (DE)
- 2- Pressure Reducing Valve (PRV)
- 3- Pump As Turbine (PAT)

۶- مراجع

- نوربخش، ا.، و درخشان، ش.، (۱۳۸۴)، "تحلیل رفتار پمپ و ارائه بهترین نقطه کارکرد آن در حالت چرخش به‌عنوان توربین"، نشریه دانشکده فنی، ۳۹(۶)، ۷۵۶-۷۷۱، <https://www.sid.ir/paper/14060/fa>
- وزارت نیرو دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، (۱۳۹۲)، "ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی"، نشریه شماره ۳-۱۱۷ (بازنگری اول)، https://waterstandard.wrm.ir/cs/WRMResearch/278/2_20
- Carravetta, A., Giudice, G., Fecarotta, O., Ramos, H., (2012), "Energy production in water distribution networks: A PAT design strategy", *Water Resources Management*, 26, 3947-3959, <https://doi.org/10.3390/en12152908>.
- Carravetta, A., Fecarotta, O., Del Giudice, G., Ramos, H., (2014), "Energy recovery in water systems by PATs: A comparisons among the different installation schemes", *Procedia Engineering*, 70, 275-284, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.031>.
- De Marchis, M., Fontanazza, C., Freni, G., (2014), "Energy recovery in water distribution networks, Implementation of pumps as turbine in a dynamic numerical model", *Procedia Engineering*, 70, 439-448, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.049>.
- De Marchis, M., Freni, G., (2015), "Pump as turbine implementation in a dynamic numerical model: Cost analysis for energy recovery in water distribution network", *Journal of Hydroinformatics*, 17 (3), 347-360, <https://dx.doi.org/10.2166/hydro.2015.018>.
- Derakhshan, S., Nourbakhsh, A., (2008), "Experimental study of characteristic curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32, 800-807, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2007.10.004>.
- Ebrahimi, S., Riasi, A., Kandi, A., (2021), "Selection optimization of variable speed pump as turbine (PAT) for energy recovery and pressure management", *Energy Conversion and Management*, 213, 113586, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001430](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001430).
- Jafari, R., Khanjani, M., Esmailian, H., (2015), "Pressure management and electric power production using pumps as turbines", *American Water Works Association*, 107, 7, 351-363, <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0083>.
- Kandi, A., Moghimi, M., Tahani, M., Derakhshan, S., (2021), "Efficiency increase in water transmission systems using optimized selection of parallel pumps running as turbines", *Water Resources Planning and Management*, 147(10), 04021065, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001430](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001430).
- Karadirek, I., Muhammetoglu, A., Ozen, O., Muhammetoglu, H., (2017), "Full-scale PAT application for energy production and pressure
- تابش، م.، (۱۳۸۵)، "مدیریت هدررفت در سیستم‌های توزیع آب ایران به روایت استاندارد ۳۰۸-الف"، اولین همایش سازگاری با کم‌آبی، تهران، <https://civilica.com/doc/39592>
- درخشان، ش.، امین‌نیا، ن.، و هاشمی، م.، (۱۳۹۴)، "تحلیل فنی اقتصادی کاربرد پمپ به‌عنوان توربین برای استحصال انرژی در شبکه‌های توزیع آب"، سومین همایش ملی هیدرودینامیک کاربردی، دانشگاه علم و صنعت، <https://civilica.com/doc/596809>
- رئیس‌میرزاقلی، م.، و زمانیان، ع.، (۱۳۹۳)، "نیروگاه برق آبی مقیاس کوچک بر روی خطوط انتقال آب"، ششمین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد، تهران، <https://civilica.com/doc/596809>
- شاه‌حسینی، پ.، و توکلی، ه.، (۱۳۹۲)، "تحلیل شاخص‌های کیفیت زندگی شهری مورد: محله وردآورد منطقه ۲۱ تهران"، فصل‌نامه آمایش تهران، ۲۴، ۱۲۷-۱۴۴، https://ebtp.malayer.iau.ir/article_526443.html

- reduction in a water distribution network", *Water Resources Planning and Management*, 43(8), 1-12, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000795](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000795).
- Lea García, I., Novara, D., Mc Nabola, A., (2019), "A model for selecting the most cost-effective pressure control device for more sustainable water supply networks", *Water*, 11(6), 1297-1316, <https://doi.org/10.3390/w11061297>.
- Lima, G., Junior, E., Brentan, B., (2017), "Selection of pumps as turbines substituting pressure reducing valves", *Procedia Engineering*, 186, 676-683, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.249>.
- Lima, G., Luvizotto, E., Brentan, B., Ramos, H., (2017), "Leakage control and energy recovery using variable speed pumps as turbines", *Water Resources Planning and Management*, 144(1), 1-14, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000852](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000852).
- Motwani, K., Jain, S., Patel, R., (2013), "Cost analysis of pump as turbine for pico hydropower plants, A case Study", *Procedia Engineering*, 51, 721-726, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.103>.
- Stefanizzi, M., Filannino, D., Capurso, T., Camporeale, S., Torresi, M., (2023), "Optimal hydraulic energy harvesting strategy for PAT installation in water distribution networks", *Applied Energy*, 344, 121246, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121246>.
- Tahani, M., Kandi, A., Moghimi, M., Derakhshan, S., (2020), "Rotational speed variation assessment of centrifugal pump-as-turbine as an energy utilization device under water distribution network condition", *Energy*, 213, 118502, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118502>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Synthesis, Characterization and Performance Evaluation of Cationic Microfiltration Membranes Coated with ZnO/CS/Ag₂O Nanoparticles for *S. aureus* Removal from Water

سنتز، مشخصه‌یابی و ارزیابی عملکرد غشاهای میکروفیلتراسیون کاتیونی پوشش داده شده با نانوکامپوزیت اکسید روی/کیتوسان/اکسید نقره در حذف باکتری استافیلوکوکس اورئوس از آب

Seyed-Behnam Ghaffari¹ and Mohammad-Hossein Sarrafzadeh^{2*}

1- Postdoctoral Researcher, UNESCO Chair on Water Reuse, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Professor, UNESCO Chair on Water Reuse, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding Author, Email: sarrafzdh@ut.ac.ir

Received: 19/06/2023

Revised: 22/10/2023

Accepted: 13/11/2023

© IWWA

Abstract

In the present study, the surface modification of Polymeric Microfiltration (MF) membranes was done to develop cheap water disinfection systems for areas that suffer from a lack of access to drinking water. Two strategies have been used to remove bacteria. Their capture occurs through the electrostatic interaction of bacteria with the cationic surface of the membrane and the antibacterial effects of zinc oxide/chitosan/silver oxide nanocomposite, which is much cheaper compared to silver nanoparticles used in previous reports. Polytetrafluoroethylene (PTFE) microfiltration, with an average pore size of 450 nm, was modified through the polymerization of Polydopamine (PDA) and polyethyleneimine (PEI), and the incorporation of ZnO/CS/Ag₂O nanoparticles. The nanoparticles and membranes were analyzed through various characterization methods such as XRD, FTIR, FE-SEM, EDAX, contact angle, zeta potential and antibacterial tests. The results showed that the surface modification of the membranes significantly enhanced their hydrophilicity. Moreover, no considerable reduction in water flux was detected (37% decrease in flux). The bacterial removal efficiency (*S. aureus*) after filtration with the modified membrane was estimated at about 99.98%, which met WHO standards for drinking water. Therefore, the modified MF membrane can be considered a platform for developing cheap gravity-driven technologies to supply safe water to people.

Keywords: ZnO-based nanocomposites, Chitosan, Antibacterial nanoparticles, Microfiltration membranes, Water disinfection.

سید بهنام غفاری^۱ و محمدحسین صرافزاده^{۲*}

۱- پژوهشگر پسادکتر، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- استاد، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: sarrafzdh@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در این پروژه اصلاح سطحی غشاهای میکروفیلتراسیون برای توسعه سیستم‌های گندزدایی آب ارزان برای مناطقی که از عدم دسترسی مناسب به آب آشامیدنی رنج می‌برند، انجام شد. از دو استراتژی برای حذف باکتری‌ها استفاده شده است. گیرانداختن آن‌ها از طریق برهمکنش الکترواستاتیکی باکتری‌ها با سطح کاتیونی غشا و اثرات ضدباکتریایی نانوکامپوزیت اکسید روی/کیتوسان/اکسید نقره که در مقایسه با نانوذرات نقره، به کار رفته در تحقیقات پیشین، بسیار ارزان تر است. پوشش کاتیونی حاوی نانوذرات بر روی سطح میکروفیلتراسیون پلی‌تترافلورواتیلن (PTFE)، از طریق پلیمریزاسیون پلی‌دوپامین و پلی‌اتیلن‌ایمین در حضور نانوذرات انجام شد. نانوذرات و غشاهای تولیدی از طریق روش‌های مشخصه‌یابی هم‌چون XRD، FTIR، FE-SEM، EDAX، آنالیز زاویه تماس و آزمون‌های آنتی‌باکتریال مطالعه شدند. نتایج مطالعات نشان داد که اصلاح سطحی غشاها منجر به بهبود آب‌دوستی آن‌ها (از زاویه تماس ۱۳۶ به ۷۶ درجه) و کاهش نه چندان شدید شار آب خروجی (۳۷ درصد کاهش شار) شده است. پتانسیل حذف عوامل بیماری‌زا از طریق حذف باکتری استافیلوکوکس اورئوس بررسی شد. نتایج نشان داد که اصلاح سطحی غشاها منجر به حذف نزدیک به ۹۹/۹۸٪ از باکتری فوق شده است و این غشاها می‌توانند به‌عنوان روشی برای توسعه سیستم‌های غشایی برای گندزدایی آب بدون نیاز به انرژی در نظر گرفته شوند.

کلمات کلیدی: نانوذرات آنتی‌باکتریال، گندزدایی آب، غشاهای میکروفیلتراسیون، نانوکامپوزیت‌های اکسید روی، کیتوسان.

رسیده و امکان استفاده از آن در کشورهای فقیر در حال مطالعه است، گندزدایی آب از طریق فعالیت لایه زیستی (biofilm) تشکیل شده بر روی فیلتراسیون‌های غشایی صورت می‌پذیرد (Peter, 2015).

در کنار اصلاح فیلترهای متشکل از نانوالیاف‌ها، اصلاح سطحی فیلترهای میکروفیلتراسیون سلولزی و غشاهای سرامیکی و پلیمری یکی از روش‌هایی است که اخیراً توجه محققین را برای توسعه سیستم‌های غشایی ارزان و بدون نیاز به انرژی به‌خود جلب کرده است. یک استراتژی، اصلاح سطحی غشاها با پلیمرهای کاتیونی به‌منظور تولید غشاهای کاتیونی است. برهمکنش الکترواستاتیکی سطح غشا با بار مثبت با غشا باکتری و ویروس‌ها با بار منفی منجر به گیرانداختن این عوامل بیماری‌زا و افزایش بازده حذف آن‌ها می‌شود (Ottenhall et al., 2018). با این حال به‌منظور رسیدن بازده حذف این عوامل به استانداردهای سخت‌گیرانه سازمان بهداشت جهانی (حذف بیش از ۹۹/۹۹ درصد)، توجه محققین در سال‌های اخیر به استفاده از نانوذرات با خاصیت ضد میکروبی جلب شده است. تلفیق این دو استراتژی نشان‌دهنده است که میزان حذف حتی ویروس‌ها را می‌توان به بیش از ۹۹/۹۹ درصد رساند. در حقیقت در هریک از این استراتژی‌ها، لایه فعال سطحی مسئول اصلی حذف عوامل بیماری‌زا است.

بیشترین استفاده محققین از نانوذرات نقره بوده است که به‌عنوان عامل ضد میکروبی قوی شناخته شده است و بیشتر از هر نانوساختاری خاصیت ضدباکتریایی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است (Menichetti et al., 2023). اتصال نانوذرات نقره به سطح غشای سرامیکی از طریق مولکول‌های 3-aminopropyltriethoxysilane منجر به افزایش راندمان حذف باکتری‌ها تا نزدیک به ۱۰۰ درصد شده است (Wafy et al., 2023). به‌منظور تولید فیلترهای ارزان قیمت، اصلاح سطحی کاغذهای فیلتری سلولزی از طریق پلیمرهای کاتیونی و نانوذرات نقره نیز انجام شده است. چنانچه پوشش این فیلترها با پلیمرهای پلی‌دوپامین و پلی‌اتیلن‌ایمین و نانوذرات نقره، راندمان حذف را تا ۹۹٪ افزایش داده است. هرچند استحکام مکانیکی فیلترهای کاغذی از فیلترهای پلیمری و سرامیکی ضعیف‌تر است (Chien et al., 2021).

Sinclair et al. (2019) نشان دادند که اصلاح غشای پلی‌سولفونی با نانوذرات نقره و نانوذرات مس، منجر به بهبود قابل توجه راندمان حذف ویروس‌ها می‌شود. استفاده از نانوذرات در کنار ایجاد بار مثبت سطحی از این نظر نیز با اهمیت است که سیستم‌های غشایی بر پایه پلیمرهای کاتیونی به‌دلیل جذب ذرات با بار منفی با مشکل انسداد شدید مواجه‌اند. هم‌چنین این پلیمرها

پاتوژن‌ها یا عوامل بیماری‌زای موجود در آب مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوئرها می‌توانند موجب بروز بیماری‌های گوناگون از بیماری‌های خفیف تا شدید در انسان‌ها و به‌خصوص کودکان شوند (Farhadkhani et al., 2021). اثربخشی و هزینه‌های روش‌های گندزدایی آب نیز مسئله مهمی است. هم‌چنین توسعه روش‌هایی ساده، کم‌هزینه و قابل‌استفاده عموم بدون نیاز به تجهیزات پیچیده می‌تواند در شرایط اضطرار به عنوان یک پدافند غیرعامل در نظر گرفته شود. روش‌های معمول تصفیه آب برای حذف عوامل بیماری‌زا مانند به‌کار بردن اشعه ماورای بنفش و استفاده از گندزداها و اکسیدان‌های شیمیایی هم‌چون کلر، برای حذف یا غیرفعال کردن باکتری و ویروس‌ها کاملاً موثر است. این روش‌ها نیاز به تجهیزات خاص داشته و نگرانی‌های مهمی درخصوص تولید محصولات جانبی سمی مانند کتون‌ها، آلدهیدها و یون‌های کلرات در مورد روش استفاده از گندزداها و اکسیدان‌ها وجود دارد (Linden et al., 2019). استفاده از فیلتراسیون غشایی برای حذف عوامل بیماری‌زا موثر است. حذف این میکروارگانیسم‌ها توسط سیستم‌های اولترافیلتراسیون (UF)، نانوفیلتراسیون (NF) و اسمز معکوس (RO) تقریباً به‌صورت کامل صورت می‌پذیرد. ولی سیستم‌های فیلتراسیون با اندازه حفرات بزرگ مانند میکروفیلتراسیون (MF) به‌طور کامل برای این منظور موثر نیستند (Nasir et al., 2022). در تحقیقات بیان شده است که عواملی هم‌چون باکتری‌های کروی یا میله‌ای شکل نیز می‌توانند از طریق تغییر شکل از حفرات کوچک‌تر از اندازه خود عبور کرده و وارد آب خروجی شوند (Gaveau et al., 2017). با این حال انرژی بالای موردنیاز روش‌های UF و NF چالشی اساسی است و از این منظر سیستم‌های میکروفیلتراسیون دارای مزیت بسیار مهمی هستند. سیستم‌های میکروفیلتراسیون با اندازه حفرات درشت به‌دلیل شار جریان بالا و عدم نیاز به فشار بالا و توانایی عملیاتی شدن در منازل با هزینه پایین می‌توانند به‌عنوان یک گزینه استراتژیک قلمداد شوند (Sinclair et al., 2018). چالش دیگر مربوط به نوع جریان فیلتراسیون است. غشاهای میکروفیلتراسیون به‌صورت جریان "انتهای بسته" به‌کار گرفته می‌شوند که فاقد آب دورریز در جریان‌های مماسی رایج برای غشاهای با اندازه حفرات کوچکتر از میکروفیلتراسیون هستند.

توسعه فیلترهای بدون نیاز به مصرف انرژی برای گندزدایی از آب موردتوجه محققین و سازمان‌های جهانی هم‌چون اتحادیه اروپا قرار گرفته است. در یکی از سیستم‌هایی که به تولید محصول

2023). در نتیجه برای اولین بار اصلاح سطحی میکروفیلتراسیون پلی‌تترافلورواتیلن (PTFE) با استفاده از پلی‌دوپامین (PDA) و پلی‌اتیلن‌ایمین (PEI) و در حضور نانوکامپوزیت اکسیدروی/کیتوسان/اکسید نقره صورت پذیرفت. در کنار حذف عوامل بیماری‌زا، بهبود آب دوستی غشای شدیداً آب‌گریز PFTE نیز از اهداف این تحقیق است. حذف باکتری‌ها باید در زمان بسیار کوتاه و در پی تماس با نانوساختار صورت بپذیرد که اصطلاحاً مکانیزم کشندگی تماسی خوانده می‌شود (Imani et al., 2020). برای افزایش خاصیت ضدباکتریایی و قدرت کشندگی تماسی باکتریایی نانوذرات اکسید روی، کامپوزیتی تشکیل شده از نانوذرات اکسید روی، کیتوسان و اکسید نقره تولید شد. کیتوسان نه تنها یک عامل ضدباکتریایی ارزان قیمت است (Ibrahim et al., 2023)، بلکه امکان اتصال نانوذرات به سطح غشاء‌ها را می‌تواند بهبود بخشد. درصد وزنی نقره در کامپوزیت فوق تنها ۷ درصد بوده است. نانوساختار کامپوزیتی سنتز شده و غشاهای اصلاح شده توسط روش‌های متعدد مشخصه‌یابی مطالعه و پتانسیل حذف عوامل بیماری‌زا از طریق حذف باکتری استافیلوکوکوس اورئوس که دارای شکلی کروی و با قطر حدود ۵۰۰ نانومتر است (Jahed et al., 2014)، بررسی شد. نتایج نشان داد که اصلاح سطحی غشاء‌ها منجر به بهبود قابل‌ملاحظه آب‌دوستی، عدم کاهش شدید شار آب خروجی و حذف باکتری‌ها تا میزان مورد نیاز بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی شده است و غشاهای تولیدی می‌توانند برای توسعه سیستم‌های تصفیه آب آشامیدنی در منازل و اماکنی که دسترسی به آب آشامیدنی سالم ندارند، مورد استفاده قرار گیرند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

کلرید روی، سود، نیترات نقره و اسید استیک ساخت شرکت مرک (Merck)، کیتوسان (low molecular wight)، دوپامین هیدروکلرید و پلی‌اتیلن‌ایمین (با وزن جرمی در حدود ۱۵۰۰۰) ساخت شرکت سیگما‌آلدریچ (Sigma-Aldrich) بوده است. غشاهای میکروفیلتر PTFE از شرکت filtraTECH فرانسه و با میانگین اندازه حفرات ۴۵۰ نانومتر خریداری شده است.

۲-۲- تولید نانو کامپوزیت اکسیدروی/کیتوسان/اکسید

نقره (ZnO/CS/Ag₂O)

تولید کامپوزیت اکسید روی و کیتوسان بر اساس فرآیند اصلاح‌شده بر پایه مطالعه Ghaffari et al. (2020) و در حضور

با گذشت زمان پایدار نبوده و کارایی خود را ازدست می‌دهند. در نتیجه در کنار توجه برای ارتقای پتانسیل حذف عوامل بیماری‌زا باید به رفع مشکلات معمول غشاهای پلیمری، هم‌چون آب‌دوستی پایین آن‌ها نیز توجه کرد. Jain et al. (2018) فیلترهای کاغذی را با انواع نانوذرات شامل نانوذرات اکسید نقره، اکسید روی و اکسید مس پوشش داده و نتیجه‌گیری کرده‌اند که فیلترهای پوشش داده شده با نانوذرات اکسید نقره بالاترین فعالیت ضدباکتریایی را داشته‌اند. با این حال مطالعه فوق تنها به مطالعه خواص ضدباکتریایی فیلترها با استفاده از روش انتشار دیسک محدود شده است.

یکی از نانومواد که امروزه برای بهبود خواص غشاها در تصفیه آب و فاضلاب مورد توجه محققین قرار گرفته است، نانوذرات اکسید روی (ZnO) است. بهبود آب‌دوستی، افزایش شار و کاهش گرفتگی غشاها از دلایل استفاده از نانوساختارهای اکسید روی است (Shen et al., 2020). هم‌چنین خواص فتوکاتالیستی، پایداری بالا، سمیت پایین، قابلیت تولید انواع اشکال و سطح ویژه بالای نانوساختارهای اکسید روی امتیاز ویژه‌ای برای کاربرد آن‌ها در اصلاح غشاها محسوب می‌شود (Sheikh et al., 2020). از سوی دیگر خواص ضد میکروبی، ضدسرطانی و سمیت شناسی نانوساختارهای اکسید روی سال‌ها است که در مطالعات گوناگون بررسی شده است (Mendes et al., 2022; Ghaffari et al., 2024; Ghaffari et al., 2019). هدف مطالعات گسترده‌ای نیز افزایش خواص ضد میکروبی آن‌ها بوده است. استراتژی‌های بررسی شده شامل استفاده از پلیمرها و عوامل فعال سطحی برای مهندسی سطح نانوساختارها و کنترل اندازه و تمایل آن‌ها برای آگلومره شدن، آلاینش نانوساختارهای اکسید روی و تولید کامپوزیت‌هایی بر پایه اکسید روی بوده است (Abede et al., 2020). در نتیجه نانوساختارهای اکسید روی کاندیدای مناسبی برای اصلاح سطحی غشاهای میکروفیلتراسیون برای حذف عوامل بیماری‌زا است.

در این تحقیق برای حذف باکتری‌ها از طریق میکروفیلتراسیون‌ها، از هر دو استراتژی جذب الکترواستاتیکی آن‌ها (از طریق تولید غشاهای کاتیونی) و فعالیت ضد میکروبی نانوساختارهای بر پایه اکسید روی استفاده شده است. استفاده از نانوذرات اکسید روی به‌جای نقره می‌تواند هزینه ساخت این فیلترها را کاهش دهد. چنان‌چه پیش‌ماده نیترات روی برای تولید نانوساختارهای اکسید روی در حدود بیست برابر ارزان‌تر از نیترات نقره (پیش‌ماده معمول تولید نانوذرات نقره) است. هم‌چنین سمیت نانوذرات اکسید روی کمتر از نقره است (Hidayat et al.,

(FTIR; Thermo Avatar) در ناحیه طول موج 400 cm^{-1} تا 4000 استفاده شد. مطالعه تعیین اندازه ذرات و بررسی سطح غشاها از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM; Tescan Mira3 and Zeiss Sigma 300) انجام شد. همچنین برای آنالیز شیمیایی ذرات و غشاءها از آنالیز طیفسنجی پراش انرژی پرتوی ایکس (EDAX) استفاده شد. پتانسیل زتا ذرات با استفاده از دستگاه ZetaPlush از شرکت Brookhaven Instrument انجام شد. پتانسیل زتا غشاها نیز از طریق دستگاه SurPASS, Anton Paar Ltd, Austria) استفاده شد. برای بررسی اثر اصلاح سطحی غشاءها بر شار خروجی نمونه‌های غشایی از یک ماژول جریان متقاطع با قابلیت تنظیم فشار استفاده شد. فشار اعمالی برابر ۴ بار بود. شار جریان خروجی برای مطالعه اثر اصلاح سطحی غشاها در زمان ۳۰ دقیقه محاسبه شده است. شار بر اساس رابطه (۱) به دست آمده است.

$$J = \frac{\Delta V}{\Delta t \times Am} \quad (1)$$

که A : سطح موثر غشاء بر حسب $\Delta V, \text{m}^2$; حجم آب تراوش یافته بر حسب $\Delta t, \text{L}$; زمان بر حسب ساعت و J : شار جریان تراوش یافته بر حسب (LMH) $\text{L/m}^2.\text{hr}$ است. برای اندازه‌گیری دقیق‌تر مقدار حجم آب تراوش یافته، اندازه‌گیری حجم از طریق اندازه‌گیری وزن آب تراوش یافته با استفاده از ترازوی دیجیتال و با دقت دو رقم اعشار اندازه‌گیری شد.

۲-۵- بررسی اثرات ضد باکتریایی و حذف باکتری‌ها

نانوذرات و غشاها

۲-۵-۱- آزمون تعیین حداقل غلظت بازدارندگی (MIC)

و حداقل غلظت کشندگی (MBC) نانوذرات

در ابتدا از باکتری‌های موردنظر (*S. aureus* و *E. coli*) در محیط کشت مولر هینتون برات، کشت تازه تهیه شد. سپس مقداری از هر باکتری در سرم فیزیولوژی استریل حل شد تا کدورتی برابر با ۰/۱ تهیه شود که برابر با نیم مک‌فارلند است. از طرف دیگر، غلظت‌های مختلفی از نمونه (از یک میلی‌گرم در میلی‌لیتر تا غلظت‌های کمتر) با استفاده از محیط کشت مولر هینتون برات در حجم یک میلی‌لیتر تهیه و استریل شد. در انتها به هریک از نمونه‌ها، حجمی از باکتری موجود در سرم فیزیولوژی اضافه شد که میزان باکتری‌ها برابر با صدهزار باکتری در میلی‌لیتر شود و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. همچنین یک گروه کنترل مثبت (محیط کشت به‌همراه باکتری) و یک گروه

پیش‌ماده نیترات نقره انجام شد. ابتدا یک گرم کلرید روی به همراه ۷ میلی‌لیتر نیترات نقره ۰/۱ مولار و ۰/۱ گرم کیتوسان (low molecular weight) در ۵۰ میلی‌لیتر محلول آبی اسید استیک ۱٪ حل شدند. سپس قطره قطره محلول ۲ مولار هیدروکسی سدیم (سود) به محلول اضافه شد تا pH محلول بر روی ۱۲ تنظیم شود. سپس ظرف واکنش برای مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق روی هم‌زن مغناطیسی قرار داده شد. پس از جداسازی با سانتریفیوژ (۷۰۰۰ دور بر دقیقه و برای ۱۵ دقیقه) و چندین مرتبه شست‌وشو با آب مقطر، نمونه به مدت ۲۰ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد. فرآیند یک مرتبه نیز بدون حضور کیتوسان و نیترات نقره انجام شد که محصول به نام ZnO نام‌گذاری شد.

۲-۳- اصلاح سطحی غشاهای PTFE

برای پلیمریزاسیون دوپامین (PD) و پلی‌اتیلن‌ایمین (PEI) و تشکیل لایه پلی‌دوپامین (PDA) و PEI و در نتیجه تولید غشاءهای کاتیونی از حلال تریس با pH=۸/۵ استفاده شد. شرایط بهینه ایجاد لایه کاتیونی براساس مطالعه Chien et al. (2021) انتخاب شده است. ۲۰ میلی‌گرم PA و ده میلی‌گرم PEI در ۱۰ میلی‌لیتر حلال تریس حل شد و سپس غشاها به‌صورت دایره‌ای شکل و با قطر ۴۵ میلی‌متر از طریق قیچی بریده‌شده و در بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی محلول ذکرشده قرار گرفت. سپس بشر در شیکرانکوباتور و در دمای محیط قرار داده شد. پس از دو ساعت غشاها از محلول خارج شده و با آب مقطر چندین مرتبه شست‌وشو و در نهایت در هوا خشک شدند.

برای تولید غشاهای کاتیونی اصلاح شده با نانوکامپوزیت ZnO/CS/Ag₂O، مقدار ۲۰ میلی‌گرم از نانوذرات به ۱۰ میلی‌لیتر حلال تریس حاوی دوپامین (۲۰ میلی‌گرم) اضافه شد. سپس محلول برای ۲۰ دقیقه تحت سونیکیشن (مدل حمامی) قرار گرفت. بعد از آن ۱۰ میلی‌گرم PEI به محلول حاوی نانوذرات اضافه شد. در نهایت غشاها به‌همان صورتی که در فرآیند بالا ذکر شد، در محلول قرار گرفته و پس از دو ساعت با آب شسته شده و در هوا خشک شدند.

۲-۴- مشخصه‌یابی محصولات و مطالعه اثر اصلاح سطحی

غشاها بر نرخ شار آب خروجی از غشاها

برای مطالعه ساختار بلوری نانوذرات از آزمون پراش اشعه ایکس (X-ray Diffraction (XRD); Philips PW1730) با تفنگ مس ($\lambda \text{ K}\alpha 1 = 1.54 \text{ \AA}$) استفاده شد. برای مطالعه پیوندهای شیمیایی نمونه‌ها از آزمون طیفسنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

نشان داده شده است. در نمونه ای که بدون حضور کیتوسان و نیترات نقره سنتز شده است (نمونه ZnO)، تمامی پیک‌ها متعلق به ساختار وورتزیت اکسید روی براساس داده‌های مرجع JCPDS به شماره ۱۴۵۱-۳۶ است (Moghaddam et al., 2014). صفحات کریستالوگرافیک متناظر با هر پیک نیز مشخص شده است. مکانیزم تشکیل اکسید روی در محلول‌های کلریدی در مطالعه غفاری و همکاران به صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته است (Ghaffari et al., 2012). تمامی پیک‌های مربوط به ساختار اکسید روی در نمونه ZnO/CS/Ag₂O با مقدار کمی جابجایی نیز مشاهده می‌شود. در کنار این پیک‌ها، پیک‌های دیگری مربوط به فاز اکسید نقره (Ag₂O) با کارت مرجع JCPDS با شماره ۱۳۹۳-۷۶ ظاهر شده است. عدم ظهور پیک‌هایی مربوط به کیتوسان نشان می‌دهد که کیتوسان به صورت فاز بی‌شکل یا آمورف در ساختار وجود دارد.

شکل ۲ نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR) نمونه ZnO/CS/Ag₂O کیتوسان و ZnO/CS/Ag₂O را نشان می‌دهد. FTIR تکنیک مناسبی برای بررسی پیوندهای شیمیایی و بررسی تغییرات شیمیایی سطحی ذرات بدست آمده پس از هر مرحله از فرآیند است. طیف مادون قرمز تمامی نمونه‌ها در تعدادی پیک مشترک است. ظهور پیک پهن در محدوده 3050 cm^{-1} تا 3600 cm^{-1} نشان‌دهنده حضور پیوند OH در تمامی نمونه‌ها است. به غیر از گروه‌های هیدروکسیل موجود بر روی سطح، این پیک مربوط به پیوندهای OH مولکول‌های آب باقی‌مانده در ساختار شیمیایی محصولات است. همچنین در تمامی محصولات سنتز شده یک پیک نسبتاً شدید و بلند در محدوده 420 cm^{-1} تا 500 cm^{-1} مشاهده می‌شود که مربوط به پیوند میان اکسیژن و روی و یا بین اکسیژن و نقره است. پیک مشترک ظهور کرده در 1398 cm^{-1} مربوط به پیوند C-OH است. برای تایید حضور کیتوسان در ساختار نانوکامپوزیت، طیف FTIR کیتوسان نیز نشان داده شده است. پیک بلند ظاهر شده در 3453 cm^{-1} مربوط به پیوندهای NH_2 و OH است. پیک ظاهر شده در 1656 cm^{-1} مربوط به پیوند دوگانه اکسیژن و کربن ($\text{C}=\text{O}$)، 1599 cm^{-1} مربوط به گروه‌های آمین ($-\text{NH}_2$)، 1382 cm^{-1} ناشی از پیوند COO و در حدود 1092 cm^{-1} مربوط به گروه C-O است. در طیف نمونه ZnO/CS/Ag₂O، پیک‌های بلند متعددی مربوط به ساختار شیمیایی کیتوسان با مقداری جابجایی ظاهر شده است. این پیک‌ها اتصال و وجود کیتوسان در کامپوزیت را تایید می‌کنند.

کنترل منفی (محیط کشت و ماده مورد تست) در نظر گرفته شده است. بعد از ۲۴ ساعت کدورت باکتری‌ها بررسی شد و نمونه‌هایی که در آن کدورت رشد باکتری مشاهده نشد، برای تعیین MIC در نظر گرفته شدند. همچنین برای تعیین MBC، نمونه‌هایی که کدورت مشاهده نشده بود در محیط کشت مولر هینتون آگار کشت داده شد و در صورت عدم رشد باکتری، آن غلظت MBC در نظر گرفته شد.

۲-۵-۲- آزمون دیسک دیفیوژن و اندازه‌گیری قطر هاله

عدم رشد از غشاها

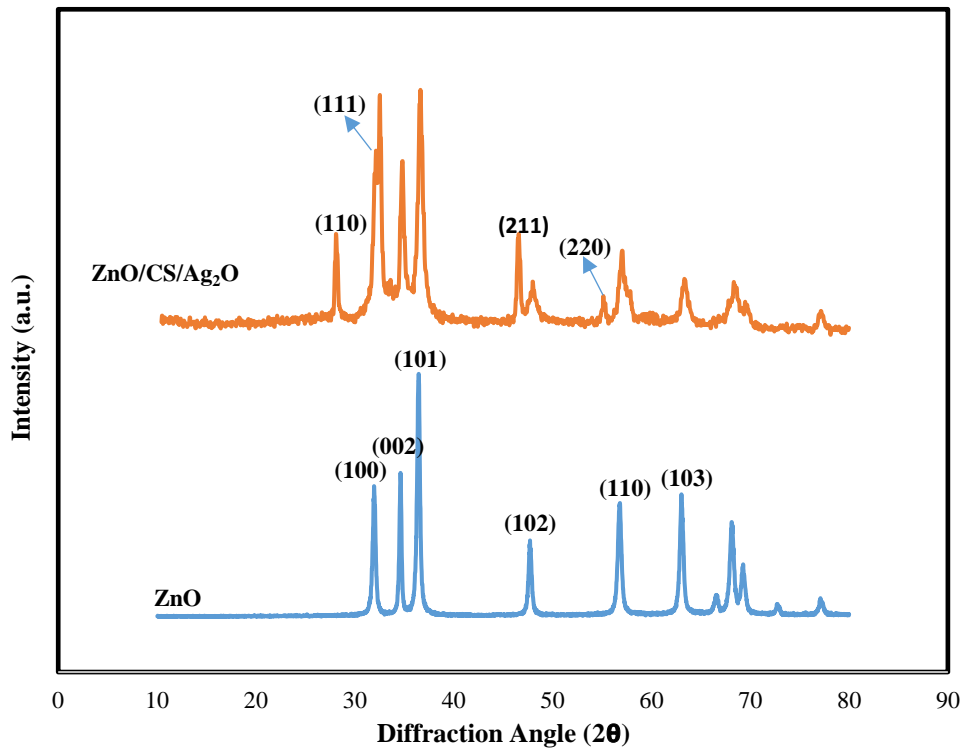
ابتدا از نمونه‌ها دیسکی با قطر ۵ میلی‌متر تهیه شد و سپس با استفاده از اشعه ماورای بنفش استریل شدند. سپس باکتری *S. aureus* تازه کشت داده‌شده (با کدورت $\text{OD}=0.1$) در سرم فیزیولوژی استریل) با استفاده از سوآپ استریل به صورت انبوه کشت داده شد (در محیط کشت مولر هینتون آگار). در مرحله بعد نمونه‌ها به همراه یک دیسک آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین (با غلظت ۳ میکروگرم در دیسک) به عنوان کنترل مثبت و یک دیسک خالی به عنوان کنترل منفی با فاصله‌های مناسب در محیط آگار قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. سپس قطر هاله عدم رشد توسط خط‌کش اندازه‌گیری شدند.

۲-۵-۳- مطالعه پتانسیل حذف باکتری‌ها از طریق غشاها

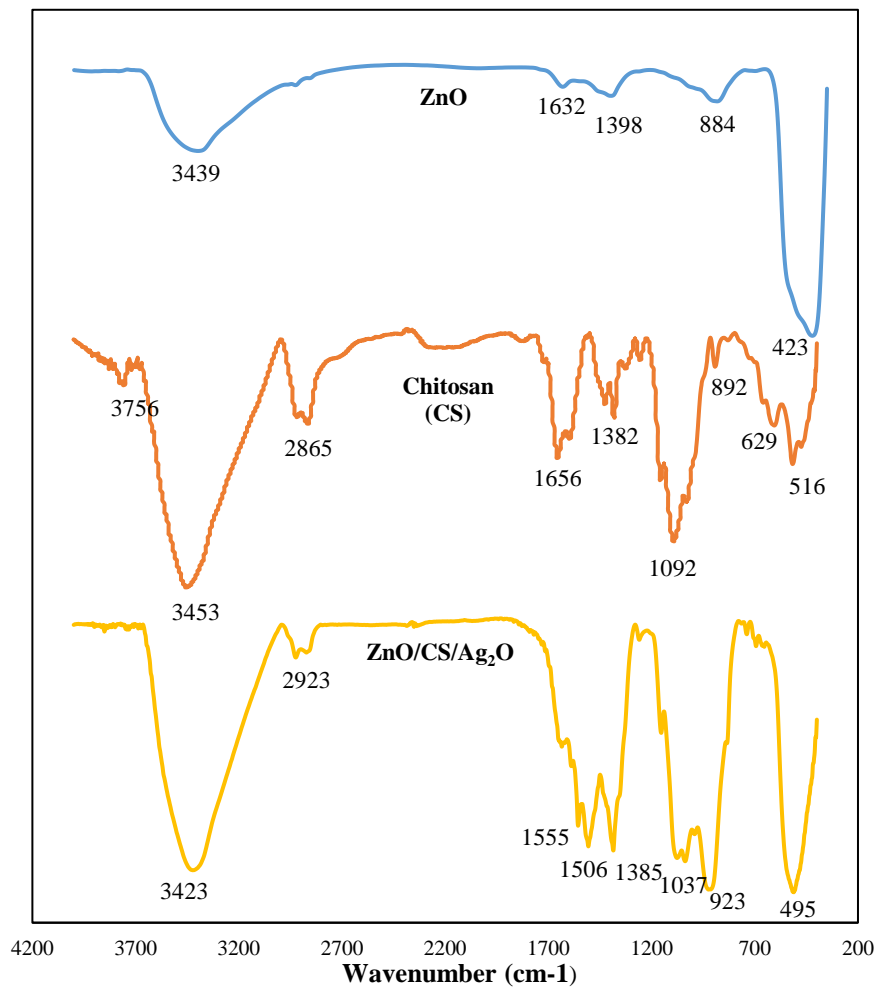
بازده حذف باکتری از طریق فیلترکردن یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون حاوی باکتری *S. aureus* با کدورت $\text{OD}=0.1$ و با غلظت صد و پنجاه هزار باکتری، محاسبه شده است. فیلتراسیون از طریق فیلترهای سرسرنگی متغیر انجام شده است. غشا به صورت دایره‌ای با قطر ۲۵ سانتی‌متر از طریق قیچی بریده شده و پس از استریل کردن از طریق اشعه ماورای بنفش در داخل سیستم فیلتراسیون سرسرنگی قرار داده شده و سپس محلول حاوی باکتری از فیلتر عبور داده می‌شود. از محلول فیلترشده نمونه‌برداری (پنج میکرولیتر)، در صورت لزوم رقیق‌سازی و در محیط کشت جامد (محیط کشت مولر هینتون آگار) کشت داده می‌شود. پس از ۲۴ ساعت انکوبه‌کردن در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، کلونی‌های تشکیل شده در هر میلی‌لیتر شمارش می‌شود.

۳- نتایج و بحث

نتایج آنالیز XRD برای مطالعه فازی این کامپوزیت در شکل ۱



شکل ۱- طیف‌های آزمون پراش اشعه ایکس برای نمونه‌های ZnO/CS/Ag₂O و ZnO

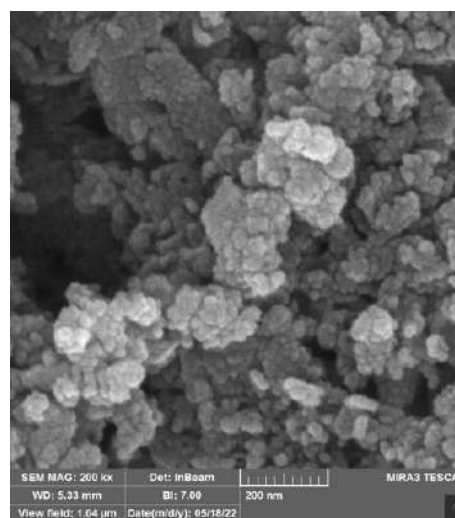
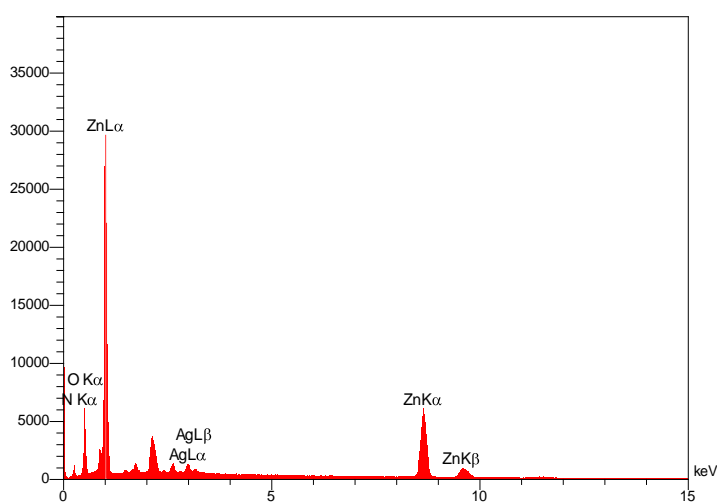


شکل ۲- طیف‌های آزمون FTIR از نمونه ZnO، کیتوسان و ZnO/CS/Ag₂O

ZnO/CS/Ag₂O است. در نتیجه اثرات ضد باکتریایی با کامپوزیت‌سازی تقویت شده است. MBC تنها برای این ذرات و در غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر مشاهده شد. همچنین اثرات ضدباکتریایی ذرات بر روی باکتری‌های گرم مثبت قوی‌تر بوده است. به دلیل غشای چند لایه و پیچیده باکتری‌های گرم منفی، آن‌ها در برابر نفوذ نانوذرات مقاوم تراند. اثرات ضدباکتریایی اکسید نقره شناخته شده است (Menichetti et al., 2023). با این‌حال درصد وزنی نقره به‌منظور کاهش هزینه تولید نانوکامپوزیت محدود شده که در این کامپوزیت براساس نتایج آزمون EDAX تنها هفت درصد وزنی بوده است. از آن‌سو، کیتوسان مولکولی زیست‌سازگار است که اثرات ضد میکروبی بر روی گستره وسیعی از میکروب‌ها را از خود نشان داده است و محققین برای تقویت اثرات ضدباکتریایی نانوساختارها، نانوکامپوزیت‌های کیتوسان/نانوذرات را توسعه داده‌اند (Kukushkina et al., 2021). براساس نتایج، در این مرحله برای پوشش‌دهی غشاها برای حذف باکتری‌ها، ذرات ZnO/CS/Ag₂O انتخاب شدند.

تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM و طیف آنالیز EDAX از نمونه ZnO/CS/Ag₂O در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در تصویر در بزرگنمایی ۲۰۰ هزار برابر مشاهده می‌شود، ذرات به‌صورت تقریباً کروی و با میانگین حدود ۳۰ نانومتر بوده‌اند که در کنار هم تشکیل کلوخه داده‌اند. در طیف EDAX پیک‌های مربوط به عناصر روی، اکسیژن، نقره، کربن و نیتروژن مشاهده می‌شود. میزان تقریبی عنصر روی در حدود ۴۸ درصد وزنی، اکسیژن ۳۱ درصد وزنی، کربن در حدود ۱۱ درصد وزنی، نقره ۷ درصد وزنی و نیتروژن ۳ درصد وزنی بوده است. حضور عناصر بخش‌های مختلف کامپوزیت مجدداً تولید موفقیت آمیز کامپوزیت را تایید می‌کند.

پتانسیل ضدباکتریایی نانوکامپوزیت به‌دست آمده از طریق آزمون تعیین حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) بر روی دو باکتری گرم منفی *E. coli* و گرم مثبت *S. aureus* مورد مطالعه قرار گرفتند و نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان MIC پس از کامپوزیت‌سازی با کیتوسان و یا کیتوسان و اکسید نقره کاهش یافته است. کمترین میزان MIC مربوط به کامپوزیت



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف EDAX از نمونه ZnO/CS/Ag₂O

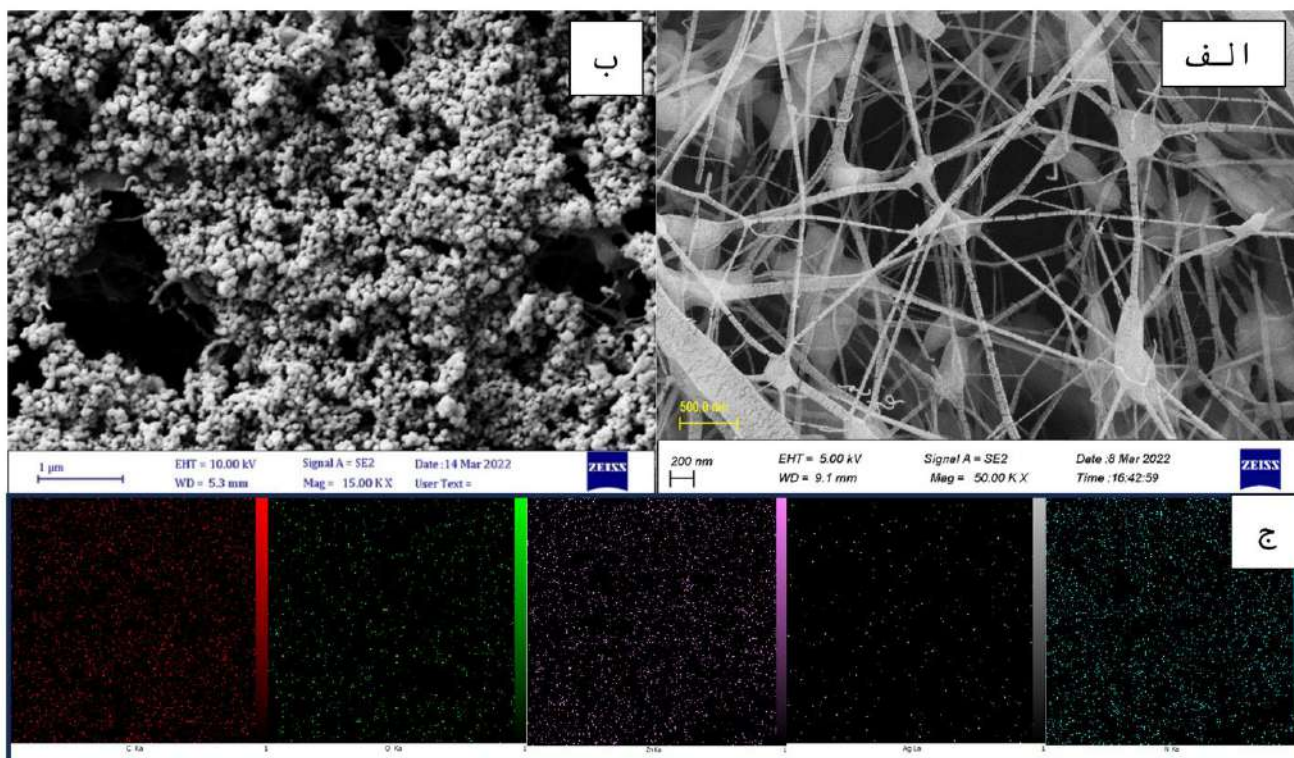
نانوذرات سطح غشا را پوشش داده‌اند. با این‌حال کماکان سطح غشاها متخلخل است و حفره‌های بزرگ میکرومتری بسته نشده‌اند. هرچند میزان تخلخل سطحی به دلیل اصلاح سطح کاتیونی و پوشش‌دهی با نانوذرات کاهش یافته است. تصاویر آنالیز عنصری مپینگ نشان می‌دهد که عناصر روی و نقره به‌صورت یکنواخت بر روی سطح غشاها پراکنده شده‌اند. همچنین حضور و پراکندگی نیتروژن، حضور گروه‌های کاتیونی آمین ناشی از پلیمریزاسیون دوپامین و پلی‌اتیلن ایمین را تایید می‌کند.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح غشاها، قبل و بعد از اصلاح کاتیونی و پوشش‌دهی با نانوذرات، در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین آنالیز عنصری مپینگ از سطح غشای اصلاح شده، پراکندگی عناصر روی، کربن، اکسیژن، نقره و نیتروژن روی سطح غشا را نشان می‌دهد. در تصویر سطح غشای اصلاح نشده، رشته‌های PTFE و حفره‌های سطحی نمایان هستند. میانگین اندازه حفره‌های غشاها ۴۵۰ نانومتر گزارش شده است. در تصویر غشای اصلاح شده، به‌خوبی مشاهده می‌شود که

جدول ۱- نتایج آزمون تعیین حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) نمونه‌های ZnO، ZnO/CS، ZnO/CS/Ag₂O

بر روی دو باکتری گرم منفی *E. coli* و گرم مثبت *S. aureus*

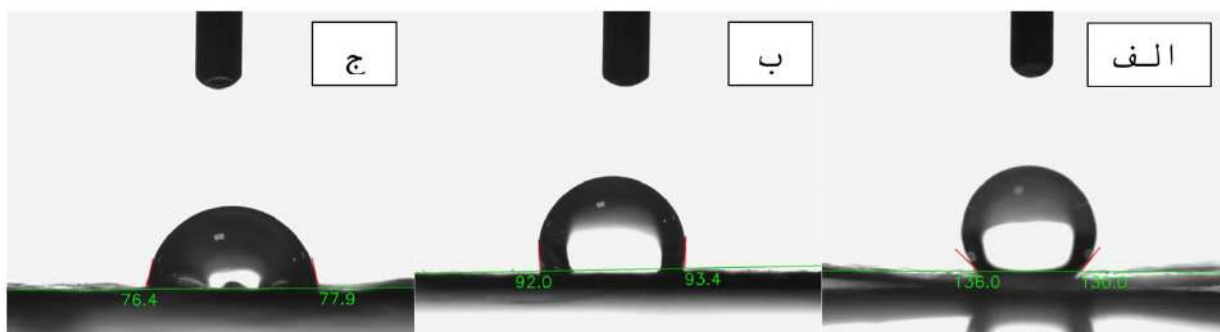
Strains				نمونه
<i>S. aureus</i> (ATCC 29213)		<i>E. coli</i> (ATCC 25922)		
MBC (µg/ml)	MIC (µg/ml)	MBC (µg/ml)	MIC (µg/ml)	
۱۰۰۰<	۱۰۰۰	۱۰۰۰<	۱۳۰۰	ZnO NPs
۱۰۰۰<	۵۰۰	۱۰۰۰<	۷۵۰	ZnO/CS
۱۰۰۰	۲۵۰	۱۰۰۰	۵۰۰	ZnO/CS/Ag ₂ O



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) از: الف) غشای اصلاح نشده؛ ب) غشاء اصلاح شده با PDA و PEI و نانوذرات ZnO/CS/Ag₂O و ج) تصاویر آنالیز عنصری مپینگ از غشای اصلاح شده (از راست به چپ: پراکندگی عناصر نیتروژن، نقره، روی، اکسیژن و کربن)

آب‌گریزی لایه سطحی غشا، بیشترین کاهش شار را ایجاد می‌کند. با اتصال نانوذرات ZnO/CS/Ag₂O آب‌دوستی سطح غشاهای PTFE نسبت به غشاهای کاتیونی بهبود بیشتری یافته است. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، زاویه تماس غشاهای ZnO/CS/Ag₂O برای نمونه پوشش داده شده با نانوذرات ZnO/CS/Ag₂O به صورت میانگین ۷۵ درجه بوده است. این امر می‌تواند منجر به افزایش شار و کاهش گرفتگی در غشاهای شود.

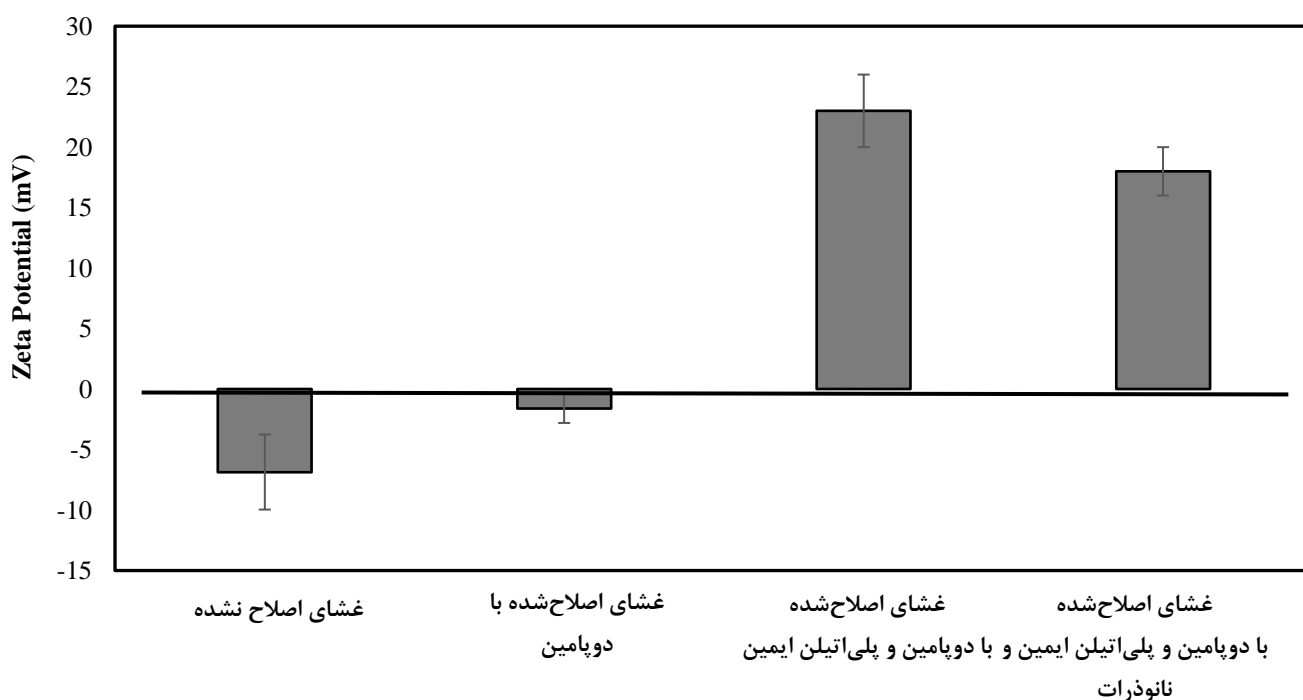
نتایج آنالیز تعیین زاویه تماس آب در شکل ۵ نشان داده شده است. غشاهای PTFE به شدت آب‌گریز هستند. چنانچه زاویه تماس آب در حدود ۱۳۵ درجه است. در نتیجه اصلاح سطحی آن با PDA و PEI می‌تواند آب‌دوستی آن را نیز بهبود ببخشد. زاویه تماس آب پس از اصلاح کاتیونی غشا در حدود ۹۳ درجه بوده است که کاهش قابل توجهی نسبت به غشای اصلاح نشده نشان داده است. در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است که اصلاح سطحی غشا با پلی‌دوپامین و پلی‌اتیلن‌ایمین باعث کاهش زاویه تماس و در نتیجه افزایش آب‌دوستی سطح غشاهای پوشش داده شده می‌شود (Yang et al., 2011). کاهش زاویه تماس تا حد زیادی به گروه‌های قطبی (گروه‌های هیدروکسیل و آمین) مرتبط است. زاویه تماس در شار عبوری از غشا تأثیرگذار است، زیرا



شکل ۵- تصاویر آزمون تعیین زاویه تماس آب: الف) غشای اصلاح نشده؛ ب) غشای اصلاح شده با PDA و PEI و ج) غشای اصلاح شده با PDA و PEI و نانوذرات ZnO/CS/Ag₂O

بار سطحی کمتر شده است. با این حال کماکان بار سطحی منفی $1/6$ mV است. در نتیجه اصلاح سطحی با دوپامین به تنهایی برای استفاده از استراتژی به‌دام افتادن میکروپها روی سطح غشا مناسب نبوده است. با اضافه‌شدن پلی‌اتیلن‌ایمین به محلول حاوی دوپامین به‌میزان قابل توجهی بار سطحی تغییر کرده و مثبت 23 mV شده است. در نتیجه استفاده از هر دو عامل کاتیونی پلی‌اتیلن‌ایمین و دوپامین، روش مناسبی برای ایجاد لایه سطحی کاتیونی بوده است. با اضافه شدن نانوذرات و به‌دلیل بار سطحی منفی آن‌ها، بار کل سطحی غشا اندکی تا میزان 18 mV کاهش یافته است.

هدف اصلی از اصلاح سطحی غشاها با PDA و PEI ایجاد لایه کاتیونی سطحی و اتصال بهتر نانوذرات به سطح غشا بوده است. در نتیجه از سطح غشاهای اصلاحی، آزمون تعیین پتانسیل زتا گرفته‌شد تا ایجاد لایه کاتیونی بهتر مطالعه شود. بار سطحی غشاها قبل و بعد از اصلاح سطحی مورد بررسی قرارگرفت تا حصول بار مثبت سطحی برای جذب میکروپها مورد تایید قرارگیرد. نتایج اندازه‌گیری پتانسیل زتا در شکل ۶ نشان داده شده است. این آزمون در $pH=7$ انجام شده است. همان‌گونه که نشان‌داده شده است، بار غشای اصلاح نشده در این pH در حدود منفی $6/8$ mV بوده است. پس از اصلاح سطحی با پلی‌دوپامین



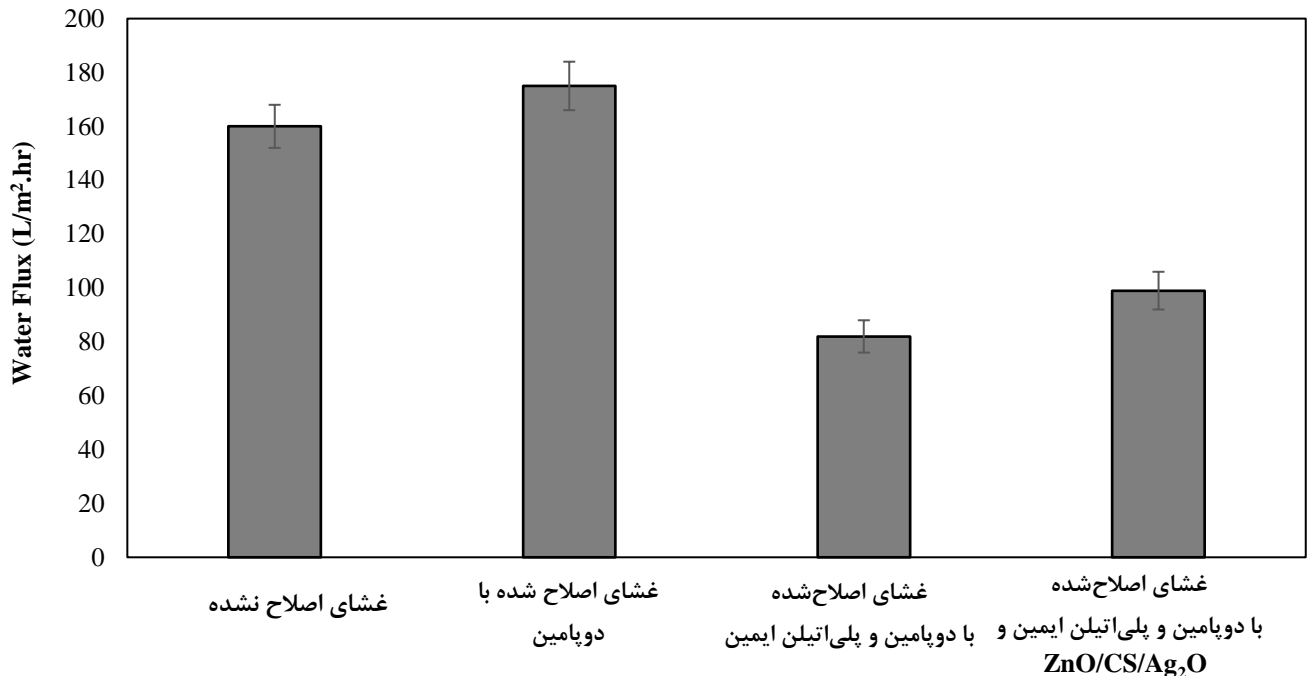
شکل ۶- پتانسیل زتا غشای اصلاح نشده و انواع غشاهای اصلاح شده

میزان شار در غشای اصلاح نشده و غشاهای اصلاح‌شده در شکل ۷ نشان داده شده است. با اصلاح غشاها با دوپامین میزان شار از

برای بررسی اثر اصلاح سطحی بر روی شار جریان خروجی غشاهای PTFE از یک ماژول جریان متقاطع استفاده شد. نتایج

نانوذرات ZnO/CS/Ag₂O شار مجدداً مقدار کمی افزایش یافته است (۹۹ L/m².hr). افزایش آب‌دوستی غشاها دلیل احتمالی این افزایش بوده است. در نتیجه میزان کاهش شار پس از اصلاح نسبت به غشای اصلاح نشده در حدود ۳۸ درصد بوده است.

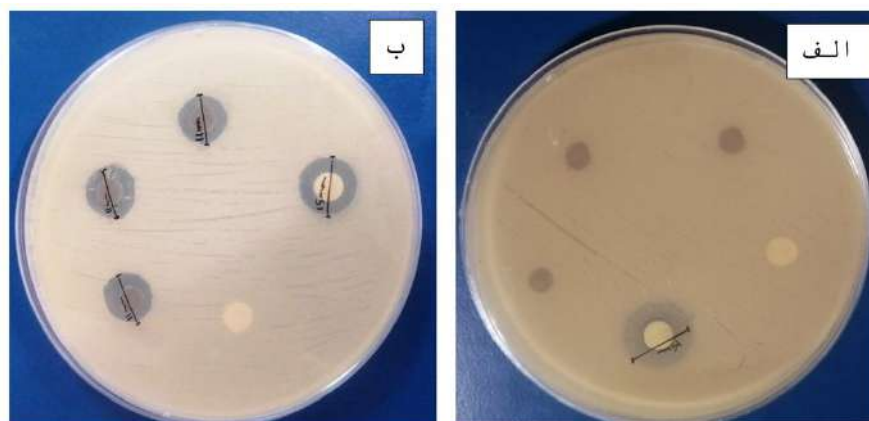
۱۶۰ تا ۱۷۵ L/m².hr افزایش یافته است. این امر به دلیل افزایش آب‌دوستی غشاها بوده است. با این حال با اضافه شدن PEI شار کاهش یافته است (۸۲ L/m².hr). این امر احتمالاً به دلیل کاهش حجم حفرات سطحی و اندازه آنها بوده است. با اضافه شدن



شکل ۷- شار جریان خروجی آب از غشای اصلاح نشده و انواع غشاهای اصلاح شده به دست آمده از طریق یک مازول جریان متقاطع با فشار اعمالی ۴ بار و در زمان ۳۰ دقیقه

PDA و PEI هاله عدم رشد قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نداده‌اند. با اضافه شدن نانو ذرات ZnO/CS/Ag₂O به لایه فعال سطحی، هاله عدم رشد به اندازه تقریبی ۱۱ میلی‌متر ایجاد شده است که در مقایسه با نمونه کنترل مثبت، پتانسیل ضد باکتریایی مناسبی از خود نشان داده است.

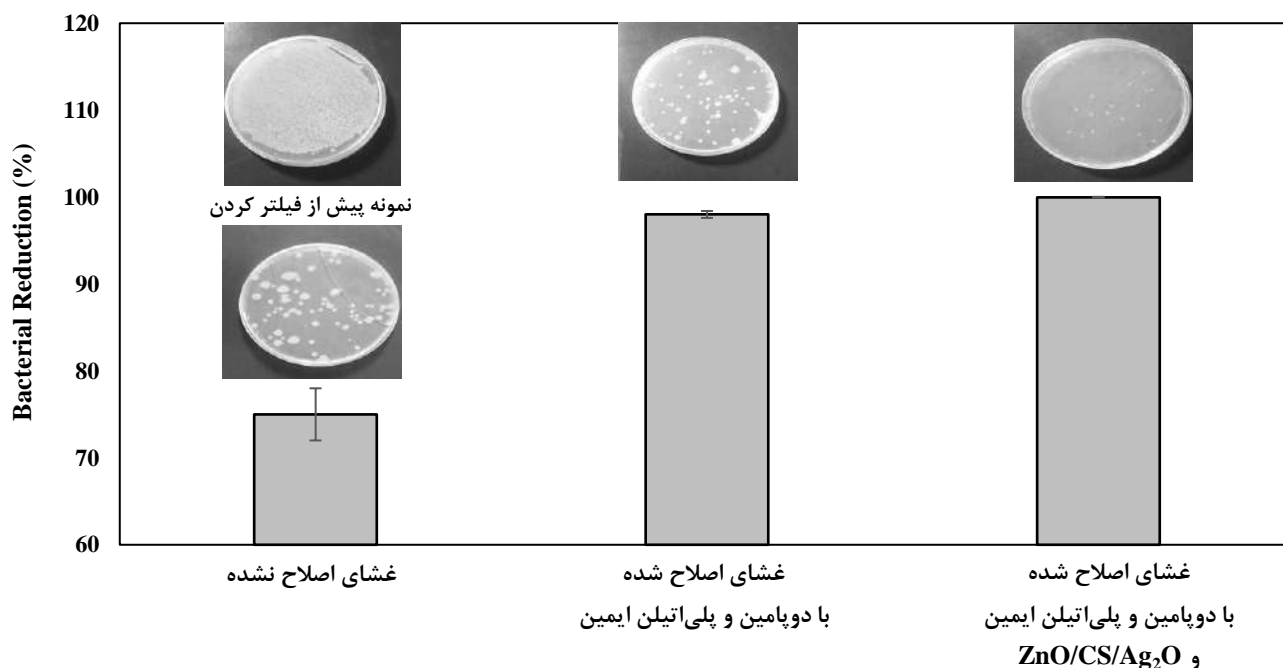
خواص ضد باکتریایی غشاءها ابتدا از طریق روش تعیین قطر هاله عدم رشد بر روی باکتری *S. aureus* بررسی شد. نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است. نمونه کنترل مثبت مربوط به آنتی بیوتیک آمپی‌سیلین است که هاله عدم رشدی در حدود ۱۵ میلی‌متر ایجاد کرده است. در هر دو پلیت هر نمونه سه بار تکرار شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، غشاهای اصلاح شده با



شکل ۸- نتایج آزمون دیسک دیفیوژن و اندازه‌گیری هاله عدم رشد بر روی باکتری *S. aureus*: الف) غشاهای اصلاح شده با PDA و PEI و ب) غشای اصلاح شده با PDA و PEI و نانوذرات ZnO/CS/Ag₂O

تصاویر کلونی‌های تشکیل‌شده در پلیت‌ها بدون رقیق‌سازی نیز در شکل مشاهده می‌شود. پس از عبور دادن محلول از غشای اصلاح نشده، میزان حذف باکتری‌ها در حدود ۷۵ درصد بود. با اصلاح کاتیونی غشاهای، میزان کاهش بار میکروبی به ۹۸ درصد رسیده است که نزدیک به پایین‌ترین حد موثر برای حذف باکتری‌ها است. پس از پوشش‌دهی غشاهای با نانوذرات، میزان حذف در حدود ۹۹/۹۸ درصد بود. این میزان برابر با استاندارد لازم برای حذف باکتری‌ها از منظر سازمان بهداشت جهانی است (Ottenhall et al., 2018).

بازده حذف باکتری‌ها از طریق فیلتر کردن یک میلی‌لیتر از محلول حاوی $1/5 \times 10^5$ CFU/mL باکتری *S. aureus* (که شکلی کروی با اندازه‌ای در حدود ۵۰۰ نانومتر دارند)، مطالعه شد. نتایج میزان کاهش در غلظت باکتری‌ها پس از فیلتر کردن با غشاهای در شکل ۹ نشان داده شده است. کلونی‌های تشکیل‌شده در پلیت‌ها پس از فیلتر کردن در شکل نشان داده شده است. هنگامی که میزان کلونی‌ها زیاد بوده یا هر کدام از کلونی‌ها از بیش از یک کلونی تشکیل شده باشد، ابتدا محلول فیلتر شده را رقیق کرده و سپس کشت باکتری و شمارش کلونی‌ها صورت گرفته است.



شکل ۹- نتایج آزمون بررسی میزان کاهش بار باکتریایی *S. aureus* پس از فیلتر کردن با غشاهای تولیدی.

سلولزی را با پلیمر پلی‌وینیل‌پیرولیدون برای ایجاد لایه کاتیونی اصلاح کرده‌اند. مطالعه آن‌ها نشان داد که برای حذف باکتری *E. coli* تا میزان ۹۹/۹ درصد حداقل باید ۱۰ لایه از فیلترها استفاده بشود. نرخ جریان آب در ۱۰ لایه از فیلتر اصلاح‌شده در حدود ۸۰ درصد پایین‌تر از فیلتر تک‌لایه اصلاح نشده بود. با این حال نرخ تصفیه آب کماکان در حدود ۵ میلی بر دقیقه بود که برای تولید آب آشامیدنی بدون نیاز به انرژی و برای مصارف خانگی و در محل مناسب است. در نتیجه در مقایسه با سیستم فیلتراسیون توسعه‌یافته در تحقیق حاضر، میزان افت نرخ آب خروجی بیشتر بوده است. در مطالعه (Chien et al., 2021)، هنگامی که فیلترهای کاغذی با پلیمرهای PEI/PDA و نانوذرات نقره پوشش داده شدند، تنها ۱۰ درصد افت نرخ شار تصفیه آب مشاهده شد. هرچند که میزان تصفیه آب در حدود ۹۹ درصد بود که کمتر از

تا به حال اکثر مطالعات صورت گرفته به منظور توسعه غشاهای میکروفیلتراسیون برای حذف عوامل بیماری‌زا برای تصفیه آب آشامیدنی، صنایع غذایی و پزشکی، مربوط به توسعه غشاهای سرامیکی میکروفیلتراسیون بوده است (Goswami et al., 2020). اگرچه در مطالعات تلاش شده است تا هزینه ساخت این غشاهای سرامیکی کاهش پیدا کند. با این حال غشاهای پلیمری و کاغذی بسیار ارزان‌تر از غشاهای سرامیکی‌اند (Shen et al., 2020).

مزیت استفاده از فیلترهای کاغذی سلولزی جدای از ارزان بودن، طبیعت زیستی آن‌ها است. اگرچه در مقایسه با غشاهای پلیمری استحکام مکانیکی پایینی دارند. در صورت استفاده از فیلترهایی کاغذی برای حذف مناسب باکتری‌ها، به دلیل اندازه حفره‌های بزرگ آن‌ها از چندین لایه فیلتر به صورت هم‌زمان استفاده می‌شود. (Ottenhall et al., 2018) فیلترهای کاغذی

شد. این لایه هم‌چنین باعث اتصال مناسب نانوذرات شد. کامپوزیت‌سازی نانوذرات اکسید روی با کیتوسان و اکسید نقره منجر به افزایش خاصیت ضدباکتریایی نانوذرات اکسید روی شد. چنان‌چه میزان MIC ذرات در برابر باکتری استافیلوکوس اورئوس به حدود یک چهارم کاهش یافت. نتایج مطالعات نشان از بهبود آب‌دوستی غشا (از زاویه تماس ۱۳۶ به ۷۶ درجه)، عدم افت شدید شار آب خروجی پس از اصلاح سطحی (۳۷ درصد کاهش شار) و حذف باکتری *S. aureus* تا میزان حدود ۹۹/۹۸٪ بود. این سیستم گندزدایی ساده با توانایی عملیاتی شدن در فشار اتمسفری می‌تواند به‌عنوان یک گزینه استراتژیک و پدافند غیرعامل نیز قلمداد شود. هم‌چنین می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب برای تصفیه آب برای جمعیتی که در مناطق محروم با مشکل تامین آب شرب مواجه هستند، تلقی شود. در مطالعات تکمیلی پتانسیل این سیستم غشایی برای حذف دیگر عوامل بیماری‌زا مانند ویروس‌ها بررسی خواهد شد.

۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (طرح شماره ۹۹۰۰۹۲۷۱) در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

۶- مراجع

- Abebe, B., Zereffa, E.A., Tadesse, A., and Murthy, H.C., (2020), "A review on enhancing the antibacterial activity of ZnO: Mechanisms and microscopic investigation", *Nanoscale Research Letters*, 15(1), 1-19, <https://doi.org/10.1186/s11671-020-03418-6>.
- Barzin, J., Safarpour, M., Kordkatooli, Z., and Vahedi, M., (2018), "Improved microfiltration and bacteria removal performance of polyethersulfone membranes prepared by modified vapor-induced phase separation", *Polymers for Advanced Technologies*, 29(9), 2420-2439, <https://doi.org/10.1002/pat.4352>.
- Chien, H.W., Tsai, M.Y., Kuo, C.J., and Lin, C.L., (2021), "Well-dispersed silver nanoparticles on cellulose filter paper for bacterial removal", *Nanomaterials*, 11(3), 595, <https://doi.org/10.3390/nano11030595>.
- Farhadkhani, M., Nikaeen, M. and Yadegarfar, G., (2021), "Application of secondary treated municipal wastewater for irrigation of agricultural lands: Quantitative microbial risk assessment of Legionella", *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 6(2), 58-65, <https://doi.org/https://doi.org/10.22112/jwwse.2021.261018.1231>.

بازده فیلتراسیون تحقیق انجام شده در این مقاله است. درخصوص استفاده از غشاهای پلیمری میکروفیلتراسیون مطالعات محدودتر بوده است. یکی از استراتژی‌ها برای حذف عوامل بیماری‌زا، بهینه‌سازی مشخصات فیزیکی غشاها همانند اندازه حفره‌ها از طریق تغییر در غلظت پلیمر پایه و دیگر مواد شیمیایی اضافه‌کننده مانند مواد حفره‌ساز در محلول قالب‌گیری است. (Barzin et al. (2018) با تغییر غلظت پلیمر پلی‌اتر سولوفن، تری‌اتیل‌گلیکول و پلی‌وینیل‌پیرولیدون موفق شدند تا غشاهای میکروفیلتراسیون با قابلیت حذف کامل باکتری‌ها را توسعه دهند. نتایج آن‌ها نشان داد که در غلظت‌های بالای تری‌اتیل‌گلیکول که منجر به تولید غشا با اندازه حفره‌های کوچک‌تر شده است، حذف باکتری‌ها کامل است. با این‌حال شار خروجی آب نسبت به غشاهایی که حفره‌های درشت‌تری دارند، شدیداً افت می‌کند. در این تحقیق میزان دقیق حذف آب محاسبه نشده و تنها به‌عبارت کامل و یا غیرکامل بسنده شده است. (Hosseini et al. (2021) نیز باکتری‌ها را از طریق تغییر در غلظت پلیمر و دیگر عوامل موثر در تولید غشای پلیمری پلی‌اکریل‌نیتریل تا میزان ۹۹/۹۹ درصد حذف کردند. با این‌حال استراتژی فوق منجر به کاهش اندازه حفره‌ها و افت شار خروجی آب از ۲۸ تا ۵۰ درصد و هم‌چنین نیاز به فشار عملیاتی بیش از فشار اتمسفری شد. استراتژی دیگری که در این تحقیق نیز از آن استفاده شد، اصلاح سطحی غشاهای پلیمری است. (Sinclair et al. (2019) پوشش‌های پلی‌الکترولیتی کاتیونی برای اصلاح سطحی غشاهای میکروفیلتراسیون پلی‌سولوفن با اندازه حفره‌های ۴۵۰ نانومتر برای گیرانداختن میکروب‌ها استفاده کردند. کاهش ۴۳ درصدی در نرخ شار جریان پس از پوشش‌دهی با PEI مشاهده شد. در نتیجه در این مطالعه نیز کاهش شار خروجی آب مشاهده شده است. با این‌حال استفاده از ترفتال‌آلدهید به‌عنوان پیونددهنده عرضی و اتصال PEI به‌صورت لایه به لایه، میزان کاهش نرخ شار را تا حدود ۲۲ درصد کاهش داده است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق غشاهای میکروفیلتراسیون کاتیونی پوشش داده‌شده با نانوذرات آنتی‌باکتریال اکسید روی/کیتوسان/اکسید نقره به‌منظور تولید سیستم‌های گندزدایی آب بدون نیاز به انرژی تولید شدند. پلیمریزاسیون پلی‌دوپامین (PDA) و پلی‌اتیلن‌ایمین (PEI) بر روی سطح غشا منجر به ایجاد لایه کاتیونی (با پتانسیل زتا در حدود ۱۸ mV) به‌منظور جذب الکترواستاتیکی باکتری‌ها

- spread of viruses including SARS-CoV-2", *ACS Nano*, 14(10), 12341-12369, <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c05937>.
- Jahed, Z., Lin, P., Seo, B.B., Verma, M.S., Gu, F.X., Tsui, T.Y., and Mofrad, M.R., (2014), "Responses of *Staphylococcus aureus* bacterial cells to nanocrystalline nickel nanostructures", *Biomaterials*, 35(14), 4249-4254, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.01.080>.
- Jain, S., Bhanjana, G., Heydarifard, S., Dilbaghi, N., Nazhad, M.M., Kumar, V., Kim, K.H., and Kumar, S., (2018), "Enhanced antibacterial profile of nanoparticle impregnated cellulose foam filter paper for drinking water filtration", *Carbohydrate Polymers*, 202, 219-226, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.130>.
- Kukushkina, E.A., Hossain, S.I., Sportelli, M.C., Ditaranto, N., Picca, R.A., and Cioffi, N., (2021), "Ag-based synergistic antimicrobial composites. A critical review". *Nanomaterials*, 11(7), 1687, <https://doi.org/10.3390/nano11071687>.
- Linden, K.G., Hull, N., and Speight, V., (2019), "Thinking outside the treatment plant: UV for water distribution system disinfection", *Accounts of Chemical Research*, 52(5), 1226-1233, <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00060>.
- Mendes, C.R., Dilarri, G., Forsan, C.F., Sapata, V.D.M.R., Lopes, P.R.M., de Moraes, P.B., Montagnoli, R.N., Ferreira, H., and Bidoia, E.D., (2022), "Antibacterial action and target mechanisms of zinc oxide nanoparticles against bacterial pathogens", *Scientific Reports*, 12(1), 2658, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06657-y>.
- Menichetti, A., Mavridi-Printezi, A., Mordini, D., and Montalti, M., (2023), "Effect of size, shape and surface functionalization on the antibacterial activity of silver Nanoparticles", *Journal of Functional Biomaterials*, 14(5), 244, <https://doi.org/10.3390/jfb14050244>.
- Moghaddam, J., Ghaffari, S.B., Sarraf-Mamoory, R., and Mollaesmail, S., (2014), "The study on the crystallization conditions of $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ and its effect on precipitation of ZnO nanoparticles from purified zinc ammoniacal solution", *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 44(6), 895-901, <https://doi.org/10.1080/15533174.2012.740738>.
- Nasir, A.M., Adam, M.R., Kamal, S.N.E.A.M., Jaafar, J., Othman, M.H.D., Ismail, A.F., Aziz, F., Yusof, N., Bilad, M.R., Mohamud, R., and Rahman, M.A., (2022), "A review of the potential of conventional and advanced membrane technology in the removal of pathogens from wastewater", *Separation and Purification Technology*, 286, 120454, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120454>.
- Ottenhall, A., Henschen, J., Illergård, J. and Ek, M., (2018), "Cellulose-based water purification using paper filters modified with polyelectrolyte multilayers to remove bacteria from water through electrostatic interactions", *Environmental Science: Water Research & Technology*, 4(12), 2070-2079, Gaveau, A., Coetsier, C., Roques, C., Bacchin, P., Dague, E., and Causserand, C., (2017), "Bacteria transfer by deformation through microfiltration membrane", *Journal of Membrane Science*, 523, 446-455, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.10.023>.
- Ghaffari, S.B., Sarrafzadeh, M.H., Fakhroueian, Z., and Khorramizadeh, M.R., (2019), "Flower-like curcumin-loaded folic acid-conjugated ZnO-MPA- β -cyclodextrin nanostructures enhanced anticancer activity and cellular uptake of curcumin in breast cancer cells", *Materials Science and Engineering: C*, 103, 109827, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109827>.
- Ghaffari, S.B. and Moghaddam, J., (2012), "Precipitation of various shapes of nanosized zinc oxide from zinc chloride solutions by neutralization with MgO and Ca(OH)₂ as non-transparent basic agents", *Journal of the Iranian Chemical Society*, 9, 687-692, <https://doi.org/10.1007/s13738-012-0095-2>.
- Ghaffari, S.B., Sarrafzadeh, M.H., Salami, M., and Alvandi, A., (2024), "A comparative study of the action mechanisms and development strategies of different ZnO-based nanostructures in antibacterial and anticancer applications", *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 91, 105221, <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2023.105221>.
- Ghaffari, S.B., Sarrafzadeh, M.H., Salami, M. and Khorramizadeh, M.R., (2020), "A pH-sensitive delivery system based on N-succinyl chitosan-ZnO nanoparticles for improving antibacterial and anticancer activities of curcumin", *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 428-440, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.141>.
- Goswami, K.P., and Pugazhenth, G., (2020), "Credibility of polymeric and ceramic membrane filtration in the removal of bacteria and virus from water: A review", *Journal of Environmental Management*, 268, 110583, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110583>.
- Hidayat, M.I., Adlim, M., Suhartono, S., Hayati, Z., and Bakar, N.H.H.A., (2023), "Comparison of antibacterial properties between chitosan stabilized silver and zinc oxide nanoparticles immobilized on white silica beads", *South African Journal of Chemical Engineering*, 45, 111-119, <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.05.001>.
- Hosseini, S.S., Khodadadi, H., and Bakhshi, B., (2021), "Fabrication, tuning and performance analysis of polyacrylonitrile (PAN)-derived microfiltration membranes for bacteria removal from drinking water", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 38, 32-45, <https://doi.org/10.1007/s11814-020-0666-3>.
- Ibrahim, N.A., Ameen, H.A., and Eid, B.M., (2023), "Green synthesized chitosan and ZnO nanoparticles for sustainable use in multifunctionalization of cellulosic fabrics", *Polymer Bulletin*, 1-20, <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04887-2>.
- Imani, S.M., Ladouceur, L., Marshall, T., Maclachlan, R., Soleymani, L., and Didar, T.F., (2020), "Antimicrobial nanomaterials and coatings: Current mechanisms and future perspectives to control the

- <https://doi.org/10.1039/C8EW00514A>.
- Peter, M., (2015), *Gravity-driven membrane disinfection for household water treatment*, Eawag: Dübendorf, Switzerland.
- Sheikh, M., Pazirotfeh, M., Dehghani, M., Asghari, M., Rezakazemi, M., Valderrama, C., and Cortina, J. L. (2020), "Application of ZnO nanostructures in ceramic and polymeric membranes for water and wastewater technologies: A review", *Chemical Engineering Journal*, 391, 123475, <https://doi.org/10.1016/j.ccej.2019.123475>.
- Shen, L., Huang, Z., Liu, Y., Li, R., Xu, Y., Jakaj, G., and Lin, H., (2020), "Polymeric membranes incorporated with ZnO nanoparticles for membrane fouling mitigation: A brief review", *Frontiers in Chemistry*, 8, 224, <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00224>.
- Sinclair, T.R., Robles, D., Raza, B., Van den Hengel, S., Rutjes, S.A., de Roda Husman, A.M., de Groot, J., de Vos, W.M., and Roesink, H.D.W. (2018), "Virus reduction through microfiltration membranes modified with a cationic polymer for drinking water applications", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 551, 33-41, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.04.056>.
- Sinclair, T.R., Patil, A., Raza, B.G., Reurink, D., van den Hengel, S.K., Rutjes, de Roda Husman, A.M., de Groot, J., and de Vos, W.M. (2019), "Cationically modified membranes using covalent layer-by-layer assembly for antiviral applications in drinking water", *Journal of Membrane Science*, 570, 494-503, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.10.081>.
- Wafy, K.R., El-Aswar, E.I., Mohamed, W.S.E.D., and El-Sabbagh, S.M., (2023), "Water disinfection using durable ceramic filter coated with silver nanoparticles synthesized using actinomycetes", *Applied Water Science*, 13(6), 140, <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01937-y>.
- Yang, F.K., and Zhao, B., (2011), "Adhesion properties of self-polymerized dopamine thin film", *The Open Surface Science Journal*, 3(1), 115-122, <https://doi.org/10.2174/1876531901103010115>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

Research Paper

مقاله پژوهشی

**Investigation of the Long-Term
Performance of Water Distribution
Networks in Peak Consumption Conditions
by Applying the Uncertainty of Model
Parameters and Leakage Variation**

**بررسی کارایی بلندمدت شبکه‌های آبرسانی در
شرایط بحرانی با اعمال عدم قطعیت پارامترها و
تغییرات نشت**

Mehdi Dini^{1*} and Parisa Ahadpour²

1- Associate Professor, Civil Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

2- MSc, Civil Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author, Email: m.dini@azaruniv.ac.ir

مهدي دینی^{۱*} و پریسا احدپور^۲

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۲- کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: m.dini@azaruniv.ac.ir

Received: 05/09/2023

Revised: 26/11/2023

Accepted: 02/12/2023

© IWVA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

In this article, the long-term hydraulic performance of water distribution networks in peak consumption conditions is investigated by applying the uncertainty of model parameters and leakage variation. Applying the uncertainty of the leakage parameter and defining network operation planning based on leakage variation are research innovations. For this purpose, first, the model parameters are estimated in deterministic conditions in the desired years. Then, their non-deterministic values are calculated using statistical distributions and Monte Carlo method and applied to the model. Finally, the network performance levels are determined probabilistically. The Nodal Pressure Reliability Index (NPRI) is used to calculate the hydraulic performance of the network by coding in MATLAB linked with the EPANET simulator. The proposed method has been applied to a sample and real network. The results showed that by implementing the operational planning, the network performance increased by 15.3% in the middle year of the operation period, compared to non-operational planning. In general, by applying operational planning, the network's life increases in peak consumption conditions in terms of hydraulic performance.

در این مقاله، کارایی هیدرولیکی بلندمدت شبکه‌های توزیع آب در شرایط بحرانی یا پیک مصرف با اعمال عدم قطعیت پارامترهای مدل و تغییرات نشت بررسی می‌شود که اعمال عدم قطعیت پارامتر نشت و تعریف برنامه‌ریزی بهره‌برداری شبکه مبتنی بر تغییرات نشت از نوآوری‌های تحقیق است. برای این منظور، ابتدا پارامترهای مدل در شرایط قطعی در سال‌های موردنظر تخمین زده می‌شود. سپس مقادیر غیرقطعی آن‌ها با استفاده از توزیع‌های آماری و به روش مونت کارلو محاسبه و به مدل شبیه‌ساز شبکه اعمال و سرانجام سطوح کارایی شبکه به صورت احتمالاتی تعیین می‌شود. کارایی هیدرولیکی شبکه با ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه NPRI و کدنویسی در محیط متلب با لینک شبیه‌ساز شبکه EPANET انجام شده است. روش پیشنهادی برای یک شبکه نمونه و یک شبکه واقعی به کار رفته است. نتایج نشان می‌دهد که با انجام برنامه‌ریزی بهره‌برداری ۱۵/۳ درصد در سال میانی دوره طرح نسبت به حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری کارایی شبکه افزایش داشته است. به‌طور کلی با اعمال برنامه‌ریزی بهره‌برداری، عمر شبکه از نظر کارایی هیدرولیکی در شرایط پیک مصرف افزایش می‌یابد.

Keywords: Hydraulic performance, Uncertainty, leakage, Reliability, Peak consumption.

کلمات کلیدی: کارایی هیدرولیکی، عدم قطعیت، نشت، قابلیت اطمینان، پیک مصرف.

نتایج نشان داد که در شرایط تغییرات هم‌زمان متغیرها در افق طراحی، به‌طور میانگین تقریباً تنها در یک سوم مواقع شبکه قادر به تامین کامل نیاز مصرف کنندگان با فشار موردنیاز بوده و کارایی مطلوب خواهد داشت. قاسمی و حسینی (۱۳۹۱) در یک تحقیق عدم‌قطعیت در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با منطق‌فازی را تحلیل کردند. آنان ابتدا تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت بر روی دبی‌های مختلف طراحی نظیر دبی حداقل، دبی حداکثر و دبی شستشو در سال‌های مختلف در طول اجرای طرح در یک شبکه طراحی شده را انجام داده و سپس تأثیر این عدم‌قطعیت‌ها بر روی متغیرهای وابسته نظیر سرعت و عمق جریان را بررسی کردند. در پایان به‌عنوان یک رویکرد کاربردی نشان دادند که چگونه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت می‌تواند در ارزیابی عملکرد هیدرولیکی مجاری و مقایسه نسبی آن‌ها در یک مقطع زمانی مشخص و یا متوسط‌گیری شده در طول دوره طرح به‌کار گرفته شود.

Seifollahi-Aghmiuni et al. (2013a) اثرات عدم‌قطعیت زبری لوله‌ها بر کارایی شبکه‌های توزیع آب را در طول دوره عملیاتی آن با روش مونت کارلو بررسی کردند و نشان دادند که افزایش عدم‌قطعیت زبری لوله باعث کاهش عملکرد شبکه در دوره عملیاتی می‌شود و شبکه تنها در ۱۰ سال اول کارایی مطلوبی دارد. Seifollahi-Aghmiuni et al. (2013b) در پژوهشی دیگر، آنالیز ریسک شبکه‌های توزیع آب با اعمال هم‌زمان عدم‌قطعیت مصرف گرهی و زبری لوله را انجام داده و نشان دادند که در طول دوره عملیاتی به‌طور متوسط کمبود تقاضا و فشار گرهی در شبکه به‌ترتیب در حدود ۴۵ و ۶۱ درصد است.

Moradi Sabzkouhi and Haghghi (2016) آنالیز عدم‌قطعیت هیدرولیک شبکه لوله با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه را مطالعه نموده و یک روش مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی را برای تجزیه و تحلیل هیدرولیک شبکه تحت عدم‌قطعیت معرفی کردند. آن‌ها یک مدل جدید بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MO-PSO) توسعه یافته و یک مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه را کوپل کرده و نتایج را با روش‌های قبلی از جمله مدل تک‌هدفه برنامه‌ریزی درجه دوم و مدل چندهدفه NSGA-II اصلاح شده مقایسه نمودند. نشان داد که MO-PSO فازی پیشنهادی از نظر محاسباتی کارآمد و قابل‌اعتماد است. از نظر سرعت بهینه‌سازی، (MO-PSO) به‌طور قابل‌توجهی بهتر از NSGA-II عمل کرده و می‌تواند تمام پاسخ‌های هیدرولیکی شبکه را تنها در یک اجرا انجام دهد. (MO-PSO) فقط بر یافتن مقادیر بی‌نهایت توابع هدف تمرکز می‌کند و

تامین تقاضای فزاینده آب در کلان شهرها، محدودیت منابع آبی موجود، هزینه‌های بالای ساخت، تعمیرات و نگهداری شبکه‌های توزیع آب و موارد مشابه دیگر، لزوم برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری صحیح از شبکه‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد، به‌طوری‌که با شناخت صحیح رفتار شبکه و برنامه‌ریزی بهره‌برداری صحیح از آن‌ها، امکان سرویس‌دهی مطلوب برای شبکه‌های توزیع آب را ایجاد نمود. از این‌رو بررسی کارایی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب، نقش مهمی در فرایند بازی می‌کند. تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب اولین قدم در طراحی و بهره‌برداری کارآمد و صحیح از سیستم‌های آبرسانی شهری است. طراحی اولیه شبکه‌های توزیع آب براساس مقادیر قطعی صورت می‌گیرد. این درحالی است که اکثر متغیرهای مؤثر در بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب به‌طور دقیق و قطعی قابل‌محاسبه و دستیابی نیستند. تغییر در مقادیر پارامترهای ورودی در طول دوره بهره‌برداری به‌دلیل عدم‌قطعیت‌های موجود، رفتار و عملکرد شبکه توزیع آب را در مقایسه با پارامترهای قطعی تغییر می‌دهد. لذا بحث عدم‌قطعیت به‌عنوان یک موضوع جدا نشدنی در زمینه بهره‌برداری از این شبکه‌ها باید مدنظر قرار گیرد. بنابراین، درک و گنجاندن الگوهای عدم‌قطعیت در مدل‌سازی برای پیشگیری و آمادگی برای حوادث غیرقابل پیش‌بینی، منطقی است. روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت وجود دارد که شامل روش مونت کارلو، شبه مونت کارلو، برش فازی، ممان دوم مرتبه اول و روش ابرمکعب هستند. با توجه به شرایط شبکه و عدم‌قطعیت در مقدار پارامترهای ورودی، تصمیم‌گیری در زمینه طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب با چالش‌هایی مواجه می‌شود. برای آگاهی از میزان اطمینان از عملکرد شبکه در شرایط مختلف بهره‌برداری، از شاخصی به‌نام شاخص قابلیت‌اطمینان هیدرولیکی یا کیفی استفاده می‌شود. در رابطه با بررسی کارایی شبکه‌های توزیع آب تحقیقات زیادی صورت گرفته است که در ادامه برخی از این موارد مرور خواهد شد.

سیفاللهی آغمیونی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر عدم‌قطعیت توأم نیاز گره‌ها و زبری لوله‌ها در کارایی هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی را بررسی کردند. برای این منظور، میزان انعطاف‌پذیری شبکه توزیع آب دو حلقه‌ای نسبت به تغییرات احتمالی هم‌زمان دو متغیر مذکور، توسط روش مونت کارلو و محاسبه یک شاخص کارایی قطعی ارزیابی شد. هم‌چنین محدوده تغییرات مجاز برای پیش‌بینی مقادیر این دو متغیر در شبکه دو حلقه‌ای بررسی شد.

زمان را برای تشکیل جبهه پارتو اهداف تلف نمی‌کند.

Hwang et al. (2018) دقت تقریب ممان دوم مرتبه اول برای تحلیل عدم قطعیت سیستم‌های توزیع آب را مورد بررسی قرار دادند. برای تعیین کمیت دقت FOSM، نتایج را با نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو (MCS) مقایسه نموده و به این نتیجه رسیدند که برآوردهای دقیق عدم قطعیت از FOSM حتی در شرایط اوج تقاضا به دست می‌آید. (Geranmehr et al. (2019) تحلیل عدم قطعیت شبکه‌های توزیع آب با استفاده از مجموعه‌های فازی نوع ۲ و الگوریتم ژنتیک موازی را بررسی نموده و یک رویکرد تحلیل عدم قطعیت فازی برای رسیدگی به عدم قطعیت هد مخزن و تقاضای گره در یک شبیه‌سازی طولانی‌مدت، براساس منطق فازی نوع ۲ توسعه دادند. هم‌چنین عدم قطعیت بلندمدت ضریب هیزن ویلیامز (HW) را نیز در نظر گرفتند. آن‌ها از یک الگوریتم ژنتیک موازی برای حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه برای تحلیل عدم قطعیت فازی استفاده کرده و به این مهم دست‌یافتند که سرعت شبکه به شدت تحت تاثیر عدم قطعیت‌ها قرار می‌گیرد و تجمع عدم قطعیت‌های مختلف ممکن است عملکرد شبکه را به‌طور قابل توجهی تغییر دهد.

Braun et al. (2020) رویکرد طیفی برای تعیین کمیت عدم قطعیت در شبکه‌های توزیع آب را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای اولین بار بسط چندجمله‌ای آشوب را در یک مدل هیدرولیکی اعمال کرده و نتایج آن‌را با روش‌های کلاسیک مانند روش ممان دوم مرتبه اول و شبیه‌سازی مونت کارلو مقایسه نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که دقت بسط چندجمله‌ای آشوب در همان سطح شبیه‌سازی مونت کارلو است، اما به دلیل کارایی محاسباتی، بسط چندجمله‌ای آشوب نسبت به شبیه‌سازی مونت کارلو برتری دارد. دینی و همکاران (۱۴۰۰) در یک پژوهش به پهنه‌بندی احتمالاتی کارایی هیدرولیکی شبکه توزیع آب با اعمال عدم قطعیت پارامترهای کلیدی پرداخته و نشان دادند که در هر دو حالت ضریب تغییرات ۱۰ و ۲۰ درصد، بالاترین سطوح عملکرد شبکه با احتمال وقوع زیاد در سال‌های اولیه دوره طرح در ساعت‌های حداکثر مصرف و در سال‌های انتهایی دوره طرح در ساعت‌های متوسط مصرف اتفاق می‌افتد.

Dini et al. (2022) قابلیت اطمینان طولانی‌مدت تصادفی شبکه‌های توزیع آب با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو را بررسی کرده و با مقایسه نتایج قطعی و تصادفی نشان دادند که روش تصادفی تمایل دارد تا ظرافت‌های نادیده گرفته شده توسط روش قطعی مانند احتمال شکست قابلیت اطمینان در مکان‌های مختلف را به‌طور هم‌زمان نشان دهد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در

واقع، هم در مطالعات نمونه و هم در مطالعات موردی واقعی، نتایج تصادفی تمایل به پیش‌بینی تغییرات قبل از تغییرات قطعی و با شدت بیشتر تغییرات دارند که توانایی غیرقابل انکار روش تصادفی در پیش‌بینی شرایط نامطلوب آینده را نشان می‌داد. احدپور و دینی (۱۴۰۱) مقایسه عملکرد شبکه‌های توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای مدل در حالت وجود یا عدم وجود نشت را مطالعه نموده و به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد نشت در شبکه، سطح عملکرد شبکه به سمت بدتر شدن پیش می‌رود.

احدپور و همکاران (۱۴۰۱) بررسی کارایی شبکه‌های توزیع آب را براساس عدم قطعیت‌های موجود با برنامه‌های بازسازی و نوسازی متفاوت انجام داده و دریافتند که اعمال برنامه اصلاح و بازسازی، سبب سوق یافتن کارایی شبکه به سطوح میانی به جای سطوح پایین در سال انتهایی دوره طرح و بهبود عملکرد شبکه می‌شود. دینی و همکاران (۱۴۰۲) کالیبراسیون شبکه‌های توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیر فشار در گره‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. ابتدا با معلوم فرض کردن ضرایب هیزن ویلیامز، مقادیر قطعی فشار گرهی شبکه را تعیین و سپس با تعریف مقادیر فشار، ضرایب هیزن-ویلیامز شبکه را تنظیم نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اعمال عدم قطعیت فشار گرهی، منجر به مجموعه جواب‌های متعدد برای ضرایب هیزن-ویلیامز با دامنه تغییرات و انحراف معیار متفاوت می‌شود که با توجه به متوسط خطای مطلق ۴ و ۳/۸ درصدی بین میانگین فشار گرهی در شبکه نمونه و شبکه واقعی در حالت غیرقطعی با حالت قطعی، روش پیشنهادی می‌تواند روش دقیق‌تری برای کالیبراسیون شبکه‌ها باشد. با این‌وجود چالش‌هایی در مدل‌سازی و زمان اجرای مدل‌های کالیبراسیون وجود دارد.

گوهری مقدم و همکاران (۱۴۰۱) طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب تحت عدم قطعیت‌های هیدرولیکی و استحکام‌بخشی را مطالعه نمودند. آن‌ها با در نظر گرفتن ارتباط بین تقاضاها و هد فشاری مورد نیاز گره‌ها و با استفاده از روش تاثیر، مدل بهینه‌سازی فازی را به مدل قطعی تبدیل کرده و از طریق الگوریتم ژنتیک، قطرلوله‌هایی که باید کارگذاری شوند را به دست آوردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهاد شده براساس الگوریتم ژنتیک در مقایسه با الگوریتم ژنتیک برپایه روش‌های احتمالاتی، کاملاً مناسب بوده و شبیه‌سازی کمتری داشته و جوابی را ایجاد می‌کند که فشارهای مورد نیاز در بدترین وضعیت ایجاد شده تامین شود. (Jafari et al. (2022) آنالیز عدم قطعیت دستورات عمل بهینه برای تعمیر و تعویض لوله‌های شبکه توزیع آب

پارامتر شامل قطر و ضرایب هیزن ویلیامز لوله‌ها، مصارف و ضرایب نشت گره‌ها به‌عنوان پارامترهای دارای عدم قطعیت در نظر گرفته‌شد. ضریب هیزن ویلیامز و قطر لوله‌ها براساس معادله هیزن ویلیامز به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$h_f = \frac{1.68LQ^n}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}} \quad (1)$$

که h_f : افت هد در یک لوله (متر)، L : طول یک لوله (متر)، Q : دبی جریان در یک لوله (مترمکعب بر ثانیه)، n : توان دبی است که برای رابطه هیزن ویلیامز برابر $1/1.852$ است، D : قطر لوله (متر)، C_{HW} : ضریب هیزن ویلیامز لوله هستند (تائبی و چمنی، ۱۳۹۱). مقدار مصارف در گره‌ها براساس رابطه پیوستگی جریان در گره‌ها و از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$\sum_{i=1}^{NP_j} (Q_i) + q_j = 0 \quad (2)$$

که Q_i : مصرف جریان در لوله i متصل به گره j ام (مترمکعب بر ثانیه)، NP_j : تعداد لوله‌های متصل به گره j ام و q_j : مقدار مصرف در گره j ام (مترمکعب بر ثانیه) هستند.

۲-۲- تخمین پارامترها در دوره طرح

در مدل‌سازی هیدرولیکی و کیفی شبکه‌های توزیع آب نیاز است برخی پارامترهای مدل تعیین شوند. برای این منظور، برخی پارامترهای مدل مانند طول لوله‌ها یا ارتفاع گره‌های شبکه از طریق نقشه‌برداری تعیین می‌شوند. برخی پارامترهای دیگر مانند قطر و جنس لوله‌ها در مرحله طراحی و براساس دبی طرح و ضوابط طراحی و بهره‌برداری تعیین می‌شوند. برخی پارامترهای دیگر مانند ضرایب زبری لوله‌ها، مصارف در گره‌ها، ضرایب الگوی مصرف ساعتی، ضرایب نشت از طریق داده‌های میدانی موجود یا مدل‌های کالیبراسیون و یا تخمین از روی روابط موجود به‌دست می‌آیند. در این تحقیق از ترکیبی از حالت‌های فوق برای تخمین ضرایب و پارامترهای شبکه‌های مورد مطالعه استفاده شده است. به‌طور مثال ضرایب زبری و ضرایب الگوی مصرف و ضرایب نشت مدل شبکه توزیع آب اهر در سال پایه از طریق کالیبراسیون به‌دست آمده است (Dini and Tabesh, 2014; Dini and Asadi, 2019) و یا مصارف در گره‌های شبکه در سال پایه از طریق داده‌های میدانی موجود محاسبه شده است. در ارتباط با تغییرات

با استفاده از برش فازی - رویکرد شبیه‌سازی هیدرولیک را بررسی کردند. از ترکیبی از مدل شبیه‌سازی (EPANET) و رویکرد برش فازی α استفاده شد. سناریوی دوم که ترکیبی از حداقل ضریب زبری لوله و حداکثر تقاضا بود، به‌عنوان سناریوی بحرانی شناخته‌شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در سناریوی بحرانی، در بالاترین سطح عدم قطعیت، شاخص قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب به‌دلیل عدم وجود فشار موردنیاز اکثر گره‌ها، بسیار پایین و حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است. در سطوح پایین‌تر عدم قطعیت، شاخص قابلیت اطمینان به بالای ۷۵ درصد می‌رسد که نسبتاً قابل قبول است. گوهری مقدم و همکاران (۱۴۰۲) آنالیز فازی شبکه‌های توزیع آب تحت شرایط کمبود فشار را مطالعه کردند. در این تحقیق با توسعه یک مدل مبتنی بر آنالیز فازی، حل معادلات حاکم بر شبکه به‌صورت مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شد که شبیه‌سازی براساس فراخوانی نرم‌افزار شبیه‌ساز هیدرولیکی EPANET در محیط متلب و بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در شرایط کمبود فشار، اختلاف نتایج حاصل از تحلیل مبتنی بر فشار و تحلیل مبتنی بر تقاضا، قابل توجه است.

در مجموع، تحقیقات کمی در رابطه با بررسی کارایی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب با اعمال عدم قطعیت پارامترهای مدل وجود دارد. از طرفی در تحقیقات موجود به موضوع تغییرات نشت و برنامه‌ریزی بهره‌برداری شبکه مبتنی بر تغییرات نشت پرداخته نشده است. در این تحقیق کارایی هیدرولیکی بلندمدت شبکه‌های توزیع آب در شرایط بحرانی یا پیک مصرف با اعمال عدم قطعیت پارامترهای مدل بررسی شده است، به‌طوری‌که بررسی تغییرات پارامتر نشت و عدم قطعیت آن در قالب برنامه‌ریزی بهره‌برداری یا عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری برای اولین بار در این تحقیق مطرح شده است که به‌عنوان نوآوری تحقیق محسوب می‌شود. مدل‌سازی در محیط متلب و با لینک با شبیه‌ساز هیدرولیکی EPANET انجام شده و روش پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه دو حلقه‌ای و یک شبکه توزیع آب واقعی به‌کار رفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل هیدرولیکی

در این مقاله، از نرم افزار EPANET برای تحلیل هیدرولیکی شبکه استفاده شده است. برای بررسی عدم قطعیت پارامترهای مدل بر عملکرد هیدرولیکی شبکه، عدم قطعیت هم‌زمان چهار

(متر)، r_D : نسبتی از قطر داخلی لوله که در طول دوره بهره‌برداری ممکن است مسدود شود.

هم‌چنین برای محاسبه نشت شبکه توزیع آب از روابط (۷) و (۸) استفاده شده است (Araujo et al, 2006).

$$q_j = k_f p_j^\beta \quad (7)$$

$$k_f = c \times \sum_{j=1}^M 0.5 \times L_{ij} \quad (8)$$

که q_j : میزان نشت از گره j ، p_j : فشار سرویس گره j و k_f : ضریب ثابت نشت برای گره موردنظر است که در سال پایه مبتنی بر مدل کالیبراسیون برای نشت‌های مختلف تنظیم می‌شود، به طوری که اگر نشت از شبکه ۲۰ درصد باشد، مقادیر k_f در گره‌ها به شکلی تنظیم می‌شود که مقدار نشت از شبکه در مجموع برابر ۲۰ درصد شود، L_{ij} : مجموع طول تمام لوله‌های متصل به گره j ، c : ضریب تخلیه از روزنه‌های موجود در اتصالات و لوله‌ها است و به شکل و قطر آن بستگی دارد و β : به‌عنوان ضریب توان رابطه نشت مطابق مطالعات قبلی برابر ۱/۱۸ است (Araujo et al., 2006; Dini and Asadi, 2019). ضرایب نشت در سال‌های مختلف دوره طرح، متناسب با شرایط برنامه‌ریزی بهره‌برداری از شبکه، وضعیت موجود و عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری با درصد تغییرات ۲/۵-، صفر و ۲/۵+ درصد برای هر سال در طول دوره بهره‌برداری تغییر می‌کند.

۲-۳- کارایی هیدرولیکی شبکه

برای ارزیابی کارایی هیدرولیکی شبکه از شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه به صورت روابط (۹) و (۱۰) استفاده شده است. این روابط برای اولین بار توسط (دینی و تابش، ۱۳۹۷) ارائه شده است که در آن قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه در همسایگی فشار ۳۱ متر بیشترین مقدار و در فشارهای کمتر یا بیشتر از آن قابلیت اطمینان شبکه کاهش می‌یابد. به طوری که تا فشار گرهی برابر ۱۰ متر، شبکه در حالت عدم سرویس‌دهی، با افزایش فشار تا ۳۱ متر شبکه به حالت سرویس‌دهی مطلوب می‌رسد. هم‌چنین برای فشارهای بیشتر از ۳۱ متر تعداد حوادث، تلفات آب و نشت در شبکه افزایش می‌یابد. مجدداً قابلیت سرویس‌دهی شبکه کاهش پیدا می‌کند و برای فشارهای بالاتر از فشار حداکثر مجاز (۶۰ متر)، شبکه در حالت سرویس‌دهی غیر قابل قبول است (دینی و تابش، ۱۳۹۷).

این ضرایب در طول دوره بهره‌برداری از روابط توسعه یافته در تحقیقات قبلی بهره گرفته شده است. برای مدل‌سازی تغییرات ضریب هیزن ویلیامز در طول سال‌های دوره طرح از رابطه (۳) استفاده شده که در تحقیقات قبلی به صورت گسترده به کار برده شده است (Sharp and Walski, 1998; Seifollahi-Aghmiuni et al., 2013b; Dini et al., 2022).

$$C_{HW}(i, t) = 18 - 37.2 \log \left(\frac{(e_{0i} + a_i(t + g_i))}{D_i} \right) \quad (3)$$

که $C_{HW}(i, t)$: ضریب هیزن ویلیامز لوله i در سال t ، e_{0i} : زبری اولیه در لوله i در زمان نصب لوله وقتی که تازه بود، a_i : درجه رشد زبری در لوله i ، g_i : سن لوله i در سال پایه، t : زمان سپری شده سالانه، D_i : قطر لوله i (متر) است. هم‌چنین برای تخمین تغییرات تقاضا در شبکه توزیع آب در طول سال‌های دوره طرح از رابطه رشد هندسی به صورت رابطه (۴) استفاده شده است (تائبی و چمنی، ۱۳۹۱).

$$q(j, t) = q(j, 0) \text{Exp}(k_g t) \quad (4)$$

که $q(j, t)$: تقاضای گرهی در گره j در سال t ، $q(j, 0)$: تقاضای گرهی در گره j در سال صفر (لیتر بر ثانیه)، k_g : میزان رشد هندسی تقاضا در هر سال (یک بر سال) است که در این تحقیق متناسب با نرخ رشد جمعیت در شهر اهر ۲ درصد در نظر گرفته شده است. هم‌چنین برای محاسبه عدم قطعیت مربوط به گرفتگی قطر لوله‌ها که به علت رسوب‌گذاری، تغییرات سرعت جریان در لوله، کیفیت آب و سایر عوامل مرتبط در طول دوره بهره‌برداری اتفاق می‌افتد، ریسک گرفتگی در دوره طرح T سال با استفاده از معادله (۵) محاسبه می‌شود (Salas and Obeysekera, 2014).

$$R(t) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t \quad (5)$$

که $R(t)$: خطر گرفتگی لوله در طول دوره طرح T سال و عمر طرح t سال است. احتمال این که واقعه مذکور حداقل یک‌بار در عمر پروژه رخ دهد، احتمال خطر گرفتگی یا ریسک گرفتگی نامیده می‌شود. به طور کلی قسمت باز قطر داخلی لوله از معادله (۶) به دست می‌آید.

$$D(i, t) = D(i, 0) - r_D D(i, 0) R(t) \quad (6)$$

که $D(i, t)$: قطر لوله i در سال t ، $D(i, 0)$: قطر لوله i در سال صفر

$$NPRI(j, t) = \begin{cases} 0 & P_{jt} < 10 \\ \frac{1}{32} (P_{jt} - 10) & 10 < P_{jt} < 26 \\ \frac{1}{10} (P_{jt} - 26) + 0.5 & 26 < P_{jt} < 31 \\ 1 & P_{jt} = 31 \\ -\frac{1}{38} (P_{jt} - 31) + 1 & 31 < P_{jt} < 50 \\ -\frac{1}{40} (P_{jt} - 50) + 0.5 & 50 < P_{jt} < 60 \\ 0.25 & 60 < P_{jt} \end{cases} \quad (9)$$

(Aghmiuni et al., 2013a)

$$NPRI = \frac{\sum_{j=1}^{NN} Q_{j,t}^{req} (NPRI(j, t))}{\sum_{j=1}^{NN} Q_{j,t}^{req}} \quad (10)$$

$$F_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right] \quad (11)$$

که $F_x(x)$: تابع چگالی احتمال متغیر x ، μ_x : میانگین متغیر x و σ_x : انحراف معیار استاندارد متغیر x است. تعداد نمونه‌های تولید شده به روش مونت کارلو برای هر پارامتر برابر ۱۰۰۰۰ به دست آمده است که مبتنی بر روش سعی و خطا و از تحقیقات قبلی گرفته شده است. در مجموع از منحنی تغییرات خطا در مقابل تعداد تکرارها، در کمترین تعداد تکراری که خطا کمترین و ثابت است، تعداد تکرار مناسب تعیین شده است (Dini et al., 2022).

که $NPRI(j, t)$: مقدار شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی در گره زام در زمان t و P_{jt} : فشار گرهی در گره زام در زمان t (متر) و $NPRI$: شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه، NN : تعداد گره‌های شبکه، $Q_{j,t}^{req}$: تقاضای مورد نیاز گره زام در زمان t (لیتر بر ثانیه) و $NPRI$: شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه هستند.

۲-۴- عدم قطعیت پارامترها

برای ایجاد عدم قطعیت در پارامترهای مدل از روش شبیه‌سازی مونت کارلو و برای تولید تصادفی پارامترها از توزیع نرمال به صورت رابطه (۱۱) استفاده شده است (Seifollahi-

۲-۵- ساختار روش

ساختار و روندنمای روش تحقیق در شکل ۱ ارائه شده است.

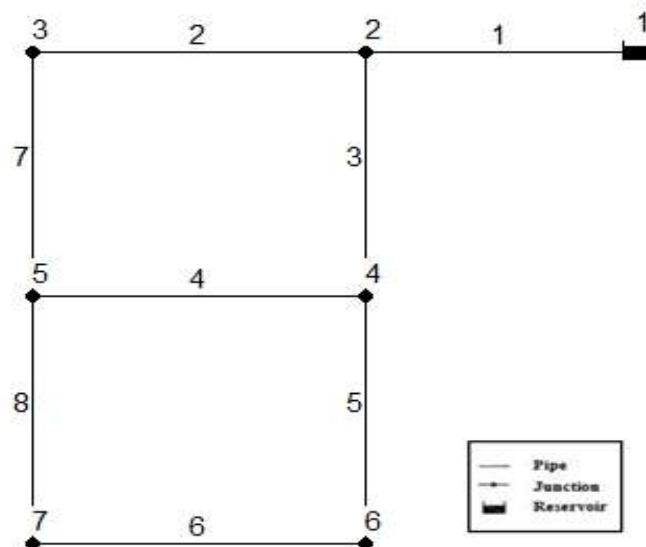


شکل ۱- روندنمای روش تحقیق

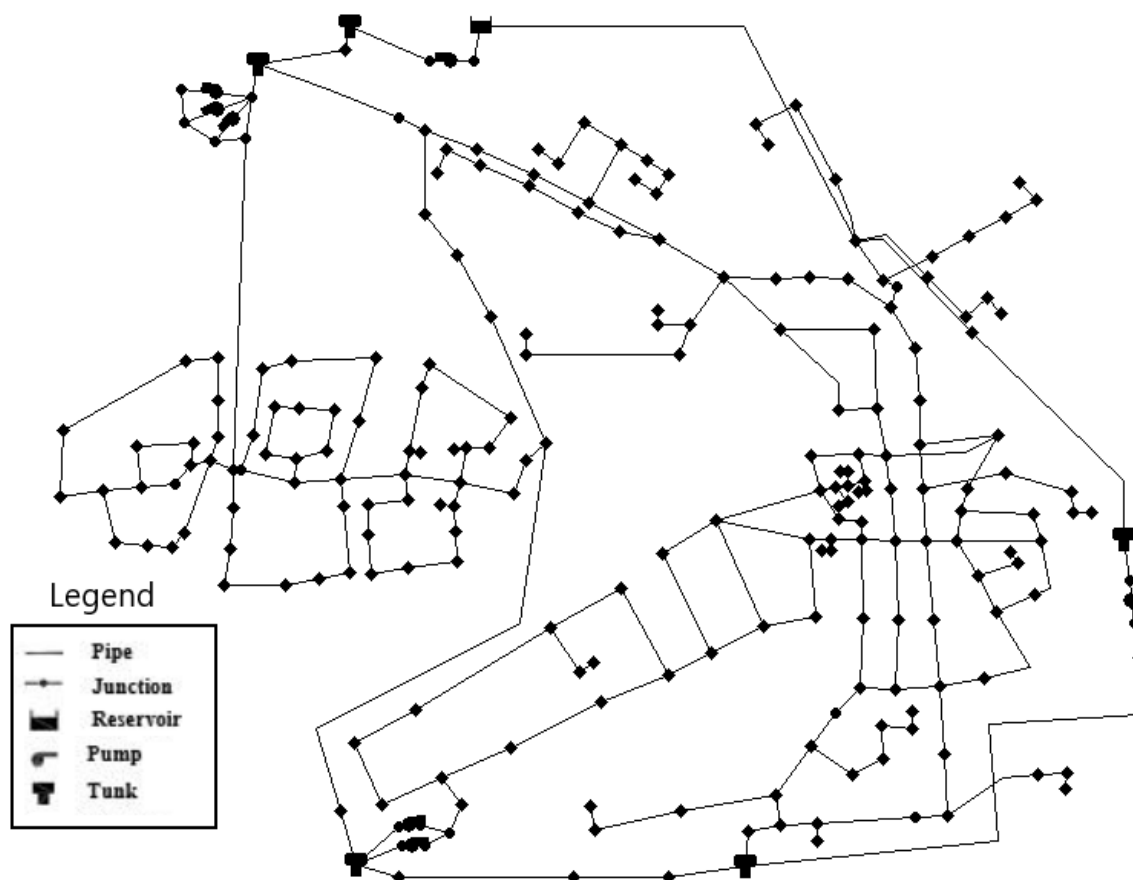
۳- مطالعه موردی

بررسی شده است (Alperovits and Shamir, 1977). این شبکه دارای ۸ لوله، ۶ گره و یک مخزن است. همچنین شبکه توزیع آب شهر اهر (Dini et al., 2022) دارای ۲۵۴ لوله، ۲۲۳ گره، یک مخزن و ۵ تانک است. طرح کلی شبکه‌های مذکور در شکل‌های ۲ و ۳ و ضرایب الگوی مصرف گره‌ها در شکل ۴ ارائه شده است.

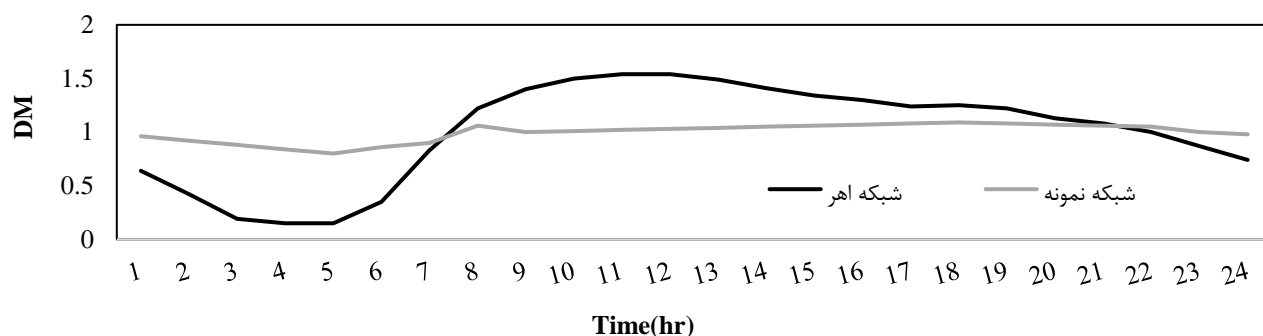
در بخش مطالعه موردی، به منظور تشریح روش پیشنهادی از شبکه دو حلقه‌ای و شبکه توزیع آب اهر استفاده شده است که شبکه دو حلقه‌ای در مقالات مختلف به‌عنوان یک مثال تحقیقاتی



شکل ۲- شبکه نمونه دو حلقه‌ای



شکل ۳- ساختار ساده شده شبکه توزیع آب اهر



شکل ۴- تغییرات ساعتی الگوی مصرف در شبکه‌های مورد مطالعه

۴- بحث و نتایج

نشت ۲۰ درصد در ساعت پیک مصرف انجام شده است. مقادیر ارزیابی شده شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه محاسبه و در قالب سطوح سرویس شبکه در ۱۰ دسته مجزا براساس شاخص قابلیت اطمینان با بازه‌های نامساوی دسته‌بندی شدند. در جدول ۱ سطوح سرویس شبکه از ۱ تا ۱۰ و بازه تغییرات قابلیت اطمینان شبکه برای آن‌ها نشان داده شده است.

بررسی کارایی هیدرولیکی شبکه نمونه و شبکه توزیع آب شهر اهر، با اعمال عدم قطعیت هم‌زمان چهار پارامتر ضریب هیزن ویلیامز و قطر لوله‌ها، مصارف در گره‌ها و ضرایب نشت با تغییرات ۲/۵+، صفر و ۲/۵- درصد برای حالت‌های عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود و برنامه‌ریزی بهره‌برداری در حالت

جدول ۱- سطوح سرویس و بازه تغییرات قابلیت اطمینان شبکه‌ها

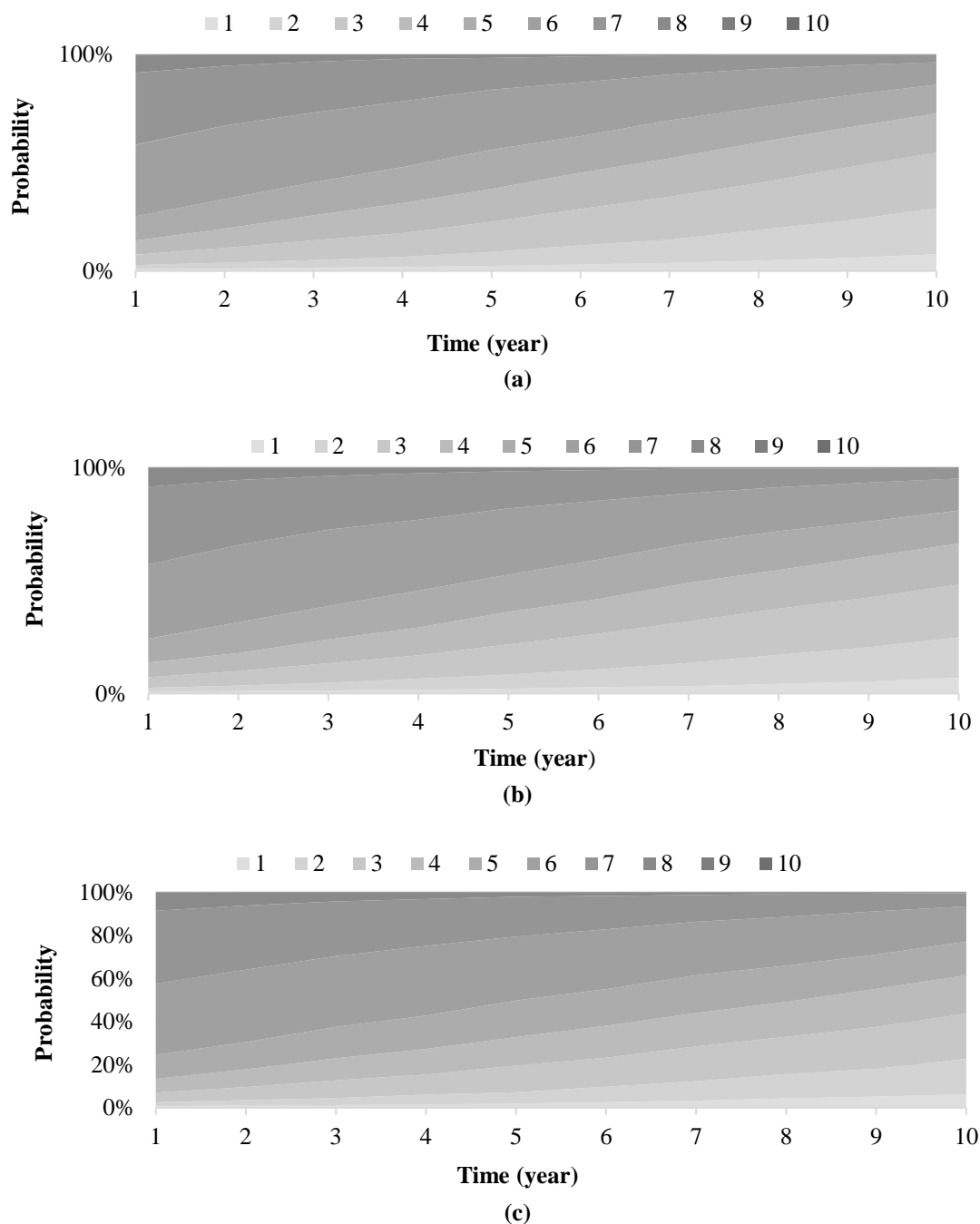
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	سطح سرویس
۰/۹-۱	۰/۸-۰/۹	۰/۷-۰/۸	۰/۶-۰/۷	۰/۵-۰/۶	۰/۴-۰/۵	۰/۳-۰/۴	۰/۲-۰/۳	۰/۱-۰/۲	۰-۰/۱	بازه تغییرات NPRI شبکه دو حلقه
۰/۷۵-۱	-۰/۷۵ ۰/۷	-۰/۷ ۰/۶۵	-۰/۶۵ ۰/۶	-۰/۶ ۰/۵۵	-۰/۵۵ ۰/۵	-۰/۵ ۰/۴۵	-۰/۴۵ ۰/۴	-۰/۴ ۰/۳۵	۰-۰/۳۵	بازه تغییرات NPRI شبکه توزیع آب اهر

قابلیت اطمینان ۰/۶ تا ۰/۷ و با احتمال ۳۳/۱۲، ۳۲/۸۵ و ۳۳/۱۳ درصد در سطح سرویس ۶ با قابلیت اطمینان ۰/۵ تا ۰/۶ است. هم‌چنین در سال میانی بالاترین احتمالات قابل قبول با مقادیر ۲۷/۷۶، ۲۹/۳۷ و ۲۹/۶۷ درصد متعلق به سطح سرویس ۶ و با احتمال ۱۴/۶۹، ۱۶/۳۷ و ۱۸/۳۹ درصد متعلق به سطح سرویس ۷ است. در سال انتهای دوره طرح در حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری بیشترین عملکرد غیرقابل قبول با احتمال ۲۵/۷۱، ۲۳/۳۹ و ۲۱/۰۳ درصد متعلق به سطح سرویس ۳ و کل عملکرد غیرقابل قبول به ترتیب با احتمالات ۸۶/۰۹، ۸۰/۹۴ و ۷۷/۱۱ درصد هستند. هم‌چنین بیشترین عملکرد قابل قبول هم با احتمال ۱۰/۳۸، ۱۴/۲۲ و ۱۶/۳۱ درصد در سطح سرویس ۶ قرار دارند. حال اگر مبنا ۵۰ درصد عملکرد شبکه باشد، در حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری شبکه به ترتیب در سال‌های ۵، ۵ و ۶ ام ۵۰ درصد کارایی خود را از دست می‌دهد. که این خود نشان‌دهنده آن است که برنامه‌ریزی بهره‌برداری سبب می‌شود شبکه دیرتر کارایی خود را از دست بدهد.

مطابق الگوی مصرف، ساعت ۵، ساعت حداقل مصرف، ساعت ۹، ساعت متوسط مصرف و ساعت ۱۸، ساعت حداکثر مصرف در شبکه دو حلقه‌ای و ساعت ۴، ساعت حداقل مصرف، ساعت ۲۲، ساعت متوسط مصرف و ساعت ۱۲، ساعت حداکثر مصرف، در شبکه اهر است. با توجه به جدول ۳، سطوح سرویس ۶ و بالاتر در شبکه نمونه، سطح سرویس قابل قبول و سطوح سرویس ۱ تا ۵ در شبکه مذکور، سطح سرویس غیرقابل قبول است. هم‌چنین سطوح سرویس ۵ و بالاتر در شبکه اهر، سطح سرویس قابل قبول و سطوح سرویس ۱ تا ۴، سطح سرویس غیرقابل قبول هستند.

۴-۱- نتایج شبکه نمونه دو حلقه‌ای

نتایج شبکه نمونه دو حلقه‌ای در شکل ۵ قابل مشاهده است. در این شکل، پهنه‌های با رنگ تیره عملکرد بهتری نسبت به پهنه‌های با رنگ روشن دارند. مشاهده می‌شود که در سال اول بیشترین عملکرد قابل قبول به ترتیب در حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری با احتمال ۳۳/۲۳، ۳۴/۳۹ و ۳۳/۷۳ درصد متعلق به سطح سرویس ۷ با



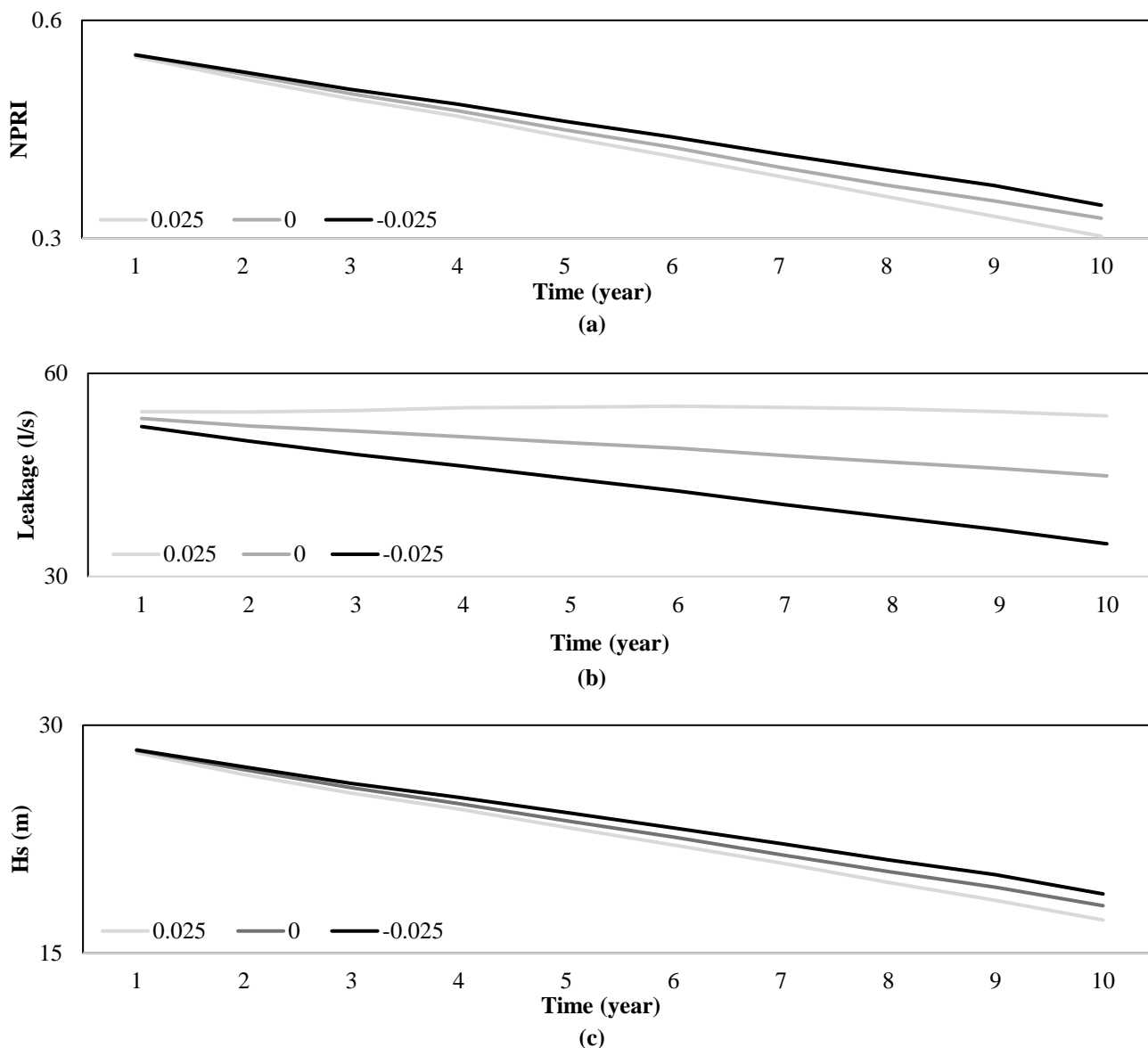
شکل ۵- پهنه‌بندی احتمالاتی کارایی هیدرولیکی شبکه نمونه در طول دوره بهره‌برداری: (a) عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری؛ (b) وضعیت موجود و (c) برنامه‌ریزی بهره‌برداری

عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری از $54/36$ لیتر در ثانیه به $53/72$ لیتر در ثانیه و برای سناریوی برنامه‌ریزی بهره‌برداری از $52/15$ لیتر در ثانیه به $34/83$ لیتر در ثانیه، هم‌چنین برای وضعیت موجود از $53/34$ لیتر در ثانیه به $44/86$ لیتر در ثانیه کاهش پیدا کرده است. می‌توان بیان کرد در حالت برنامه‌ریزی نسبت به حالت عدم برنامه‌ریزی نشت در طی زمان بیشتر کاهش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به شکل ۶c، فشار در هر سه سناریو از سال اول تا سال آخر نزولی است. به‌طوری‌که از $28/34$ ، $28/18$ و $28/37$

شکل ۶a نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان به‌طور کلی حالت کاهش‌ی دارد. از طرفی شدت این کاهش در حالت برنامه‌ریزی بهره‌برداری کمتر از وضعیت موجود و آن هم کمتر از حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری است. اگر ۵۰ درصد کارایی شبکه مبنا باشد، برای حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری به‌ترتیب در سال‌های ۳، ۳ و ۴ شبکه کارایی خود را از دست می‌دهد. هم‌چنین مطابق شکل ۶b، مقدار نشت در حالت‌های مختلف از سال اول تا سال آخر برای سناریوی

بهره‌برداری به‌ترتیب از سال ۳، ۳ و ۴ شبکه کارایی خود را از دست می‌دهد که مشابه نتایجی است که در نمودار مقایسه‌ای قابلیت اطمینان به‌دست آمده است.

به‌ترتیب برای سناریوهای عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری به ۱۷/۱۶، ۱۸/۱۱ و ۱۸/۸۸ کاهش یافته است. اگر متوسط فشار ۲۶ متر مینا باشد، برای حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی



شکل ۶- روند تغییرات قابلیت اطمینان، نشت و فشار شبکه نمونه در طول دوره بهره‌برداری: (a) قابلیت اطمینان؛ (b) نشت و (c) فشار

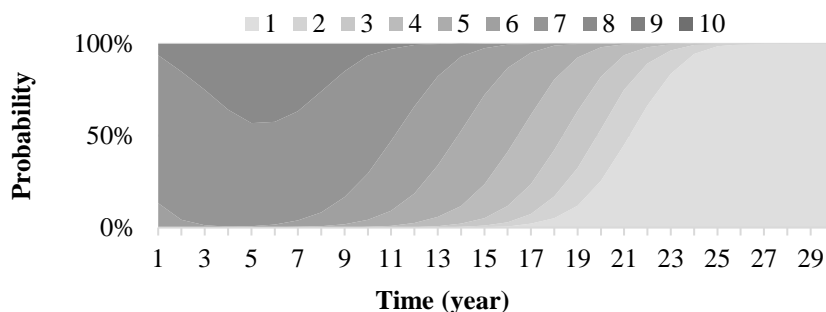
احتمال ۱۳/۲۶، ۱۴/۶۷ و ۱۵/۸۷ درصد متعلق به سطح سرویس ۶ با قابلیت اطمینان ۰/۵۵ تا ۰/۶ است. هم‌چنین در سال میانی بالاترین احتمالات با مقادیر ۴۸/۶۶، ۴۳/۴۱ و ۴۳/۳۱ درصد متعلق به سطوح سرویس ۵ و ۶ است. در سال انتهایی دوره طرح در هر دو حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری و وضعیت موجود ۱۰۰ درصد عملکرد غیر قابل قبول متعلق به سطح سرویس ۱ با قابلیت اطمینان ۰ تا ۰/۳۵ و در حالت برنامه‌ریزی بهره‌برداری بیشترین عملکرد غیر قابل قبول با احتمال ۹۹/۹۷ درصد متعلق

۲-۴- نتایج شبکه توزیع آب اهر

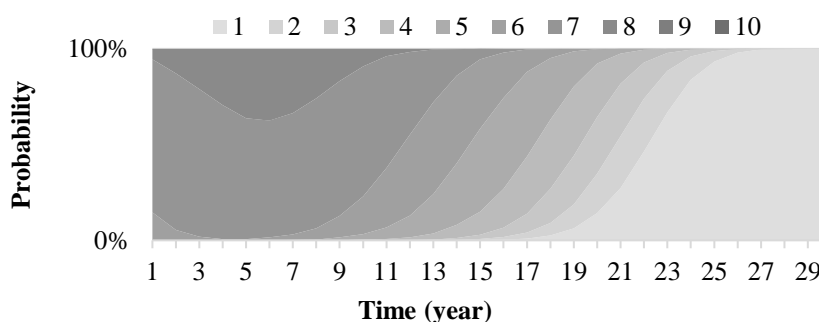
بررسی کارایی بلندمدت شبکه توزیع آب اهر نشان می‌دهد که مطابق شکل ۷ در هر سه سناریو در سال اول دوره طرح، شبکه کاملاً عملکرد قابل قبول و در سال آخر دوره طرح کاملاً عملکرد غیر قابل قبول دارند که در سال اول بیشترین عملکرد قابل قبول به‌ترتیب در حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری با احتمال ۸۰/۵۵، ۷۹/۸ و ۷۹/۰۹ درصد متعلق به سطح سرویس ۷، با قابلیت اطمینان ۰/۶ تا ۰/۶۵ و با

۵۰ درصد کارایی خود را از دست می‌دهد. این خود نشان دهنده آن است که برنامه‌ریزی بهره‌برداری سبب می‌شود شبکه دیرتر کارایی خود را از دست بدهد.

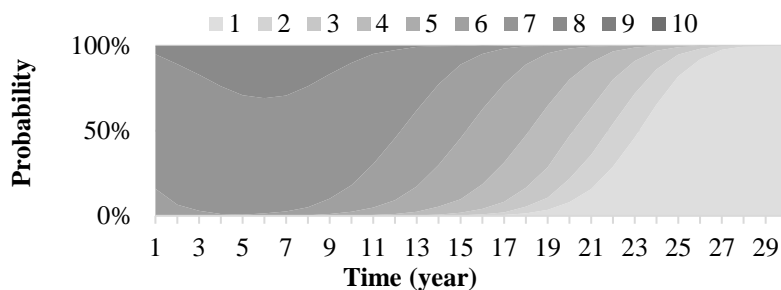
به سطح سرویس ۱ است. اگر مبنا ۵۰ درصد عملکرد شبکه باشد در حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود و برنامه‌ریزی بهره‌برداری شبکه به ترتیب در سال ۱۷، ۱۸ و ۱۹ ام



(a)



(b)



(c)

شکل ۷- پهنه‌بندی احتمالاتی کارایی هیدرولیکی شبکه توزیع آب اهر در طول دوره بهره‌برداری: (a) عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری؛ (b) وضعیت موجود و (c) برنامه‌ریزی بهره‌برداری

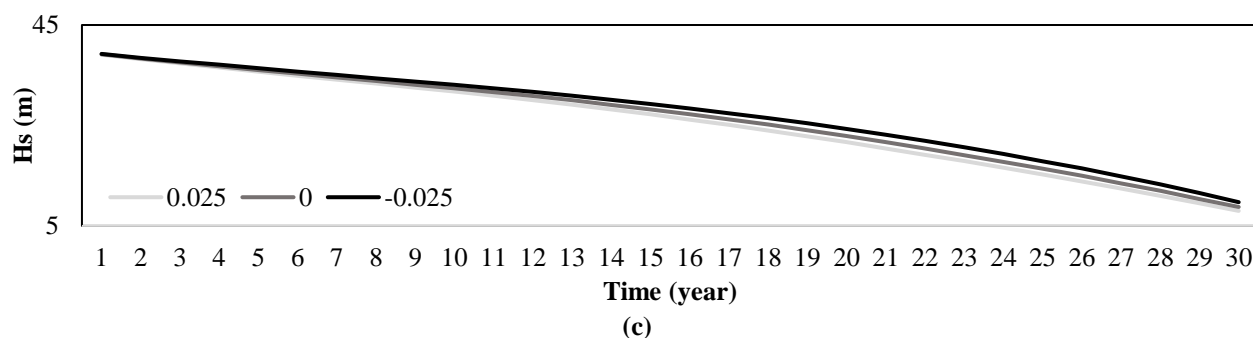
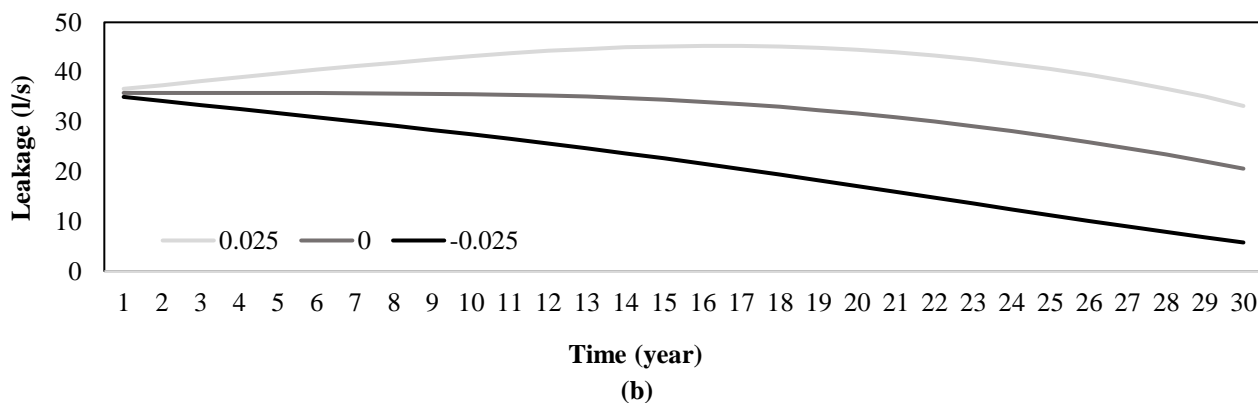
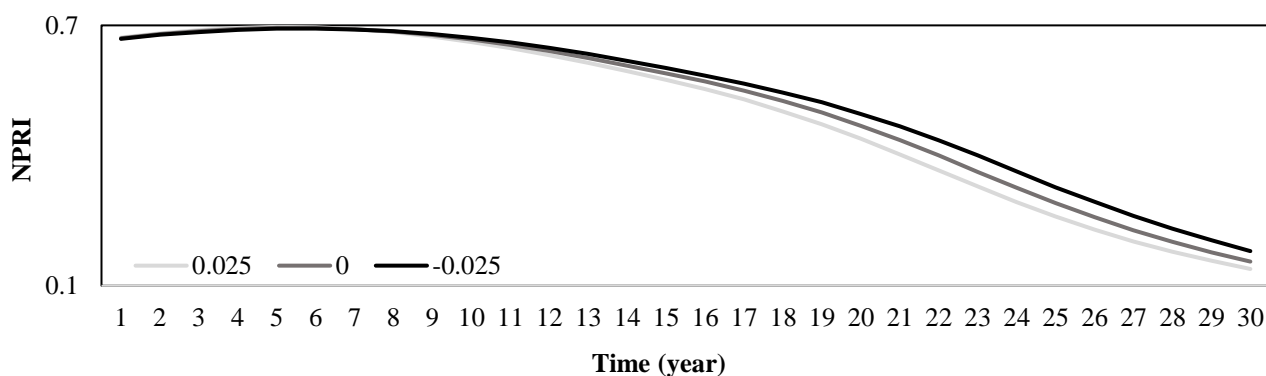
نسبتاً کندتر است و از سالی که شبکه ۵۰ درصد عملکرد خود را از دست می‌دهد شدت بیشتری می‌یابد و تا انتها با شیب تند ادامه پیدا می‌کند. اگر ۵۰ درصد کارایی هیدرولیکی شبکه مبنای عملکرد قابل قبول یا غیرقابل قبول باشد. برای حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری به ترتیب در سال‌های ۱۹، ۱۹ و ۲۰ شبکه کارایی خود را از دست می‌دهد.

مطابق شکل ۸b، مقدار نشت برای سناریوی عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری از ۳۶/۶۲ لیتر در ثانیه در سال اول به ۴۵/۲۶ لیتر در ثانیه تا سال ۱۶ دوره طرح افزایش یافته است، سپس تا سال آخر

مطابق شکل ۸a، قابلیت اطمینان برای دو سناریوی عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری و وضعیت موجود تا سال ۵ افزایش یافته، از سال ۵ به بعد تا سال آخر دوره طرح حالت کاهشی به خود گرفته است. این درحالی است که در سناریوی برنامه‌ریزی بهره‌برداری تا سال ۶ دوره طرح قابلیت اطمینان افزایش داشته و بعد از آن تا سال آخر دوره طرح روند نزولی به خود گرفته است. از طرفی شدت این کاهش در حالت برنامه‌ریزی بهره‌برداری کمتر از وضعیت موجود و آن هم کمتر از حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری است. در هر حالت قابلیت اطمینان شبکه کاهش پیدا می‌کند. سرعت این کاهش زمانی که عملکرد شبکه خوب باشد،

۸c، فشار در هر سه سناریو حالت نزولی داشته است، به طوری که برای سناریوهای عدم برنامه ریزی بهره برداری، وضعیت موجود، برنامه ریزی بهره برداری به ترتیب ۳۹/۰۷، ۳۹/۱۷ و ۳۹/۲۴ در سال اول به ۷/۹۸، ۸/۷۶ و ۹/۷۱ در سال آخر دوره طرح کاهش یافته است که در بین حالت های فوق، شدت نزول حالت برنامه ریزی بهره برداری کمتر است. اگر متوسط فشار ۲۶ متر مبنای تامین کامل تقاضا در گرہها باشد، برای حالت عدم برنامه ریزی بهره برداری، وضعیت موجود، برنامه ریزی بهره برداری به ترتیب از سال ۱۷، ۱۸ و ۱۹ شبکه کارایی خود را از دست می دهد و بیانگر این است که در حالت برنامه ریزی بهره برداری، شبکه توزیع آب اهر دیرتر از سایر حالت ها کارایی هیدرولیکی خود را از دست داده است.

دوره طرح حالت کاهشی به خود گرفته است که در سال ۳۰ به ۳۳/۱۹ لیتر در ثانیه کاهش می یابد. این در حالی است که در سناریو برنامه ریزی بهره برداری در سال اول، از ۳۵/۰۱ لیتر در ثانیه به ۵/۷۶ لیتر در ثانیه در سال آخر کاهش پیدا کرده است. در وضعیت موجود ۴ سال اول حالت نوسانی داشته، سپس از سال ۵ تا سال ۳۰ دوره طرح به ۲۰/۶ لیتر در ثانیه کاهش می یابد. به طور کلی می توان استدلال کرد که در حالت برنامه ریزی نسبت به حالت عدم برنامه ریزی، عملکرد نشت در طول دوره بهره برداری بیشتر تغییر یافته و بیشتر نزول پیدا می کند. در مجموع، طی سال هایی که شبکه عملکرد خود را از دست می دهد، به دلیل افت بیش از حد فشار، در برخی گرہ های شبکه تامین تقاضا و به دنبال آن نشت اتفاق نمی افتد که این عامل، علت افت زیاد نشت در سال های پایانی دوره طرح است. همچنین براساس نتایج شکل



شکل ۸- روند تغییرات قابلیت اطمینان، نشت و فشار شبکه توزیع آب اهر در طول دوره بهره برداری؛ (a) قابلیت اطمینان؛ (b) نشت و (c) فشار

۵- نتیجه گیری

حالت وجود یا عدم وجود نشت، ششمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران، دانشگاه هنر اسلامی، ۲۵-۲۷ مرداد، تبریز، ایران. احدپور، پ.، دینی، م.، و هاشمی، س.، (۱۴۰۱)، "بررسی کارایی شبکه‌های توزیع آب بر اساس عدم قطعیت‌های موجود با برنامه‌های بازسازی و نوسازی متفاوت"، چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه قم، ۱-۳ آذرماه، قم، ایران.

تائبی، ا.، و چمنی، م.ر.، (۱۳۹۱)، شبکه‌های توزیع آب شهری، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

دینی، م.، و تابش، م.، (۱۳۹۷)، "ارائه شاخص قابلیت اطمینان جدید برای ارزیابی عملکرد شبکه توزیع آب"، مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۳)، ۱-۱۶.

<https://doi.org/10.22093/wwj.2017.51035.2154>

دینی، م.، محمدی، ا.، نورانی، و.، و هاشمی، س.، (۱۴۰۰)، "پهنه‌بندی احتمالاتی کارایی هیدرولیکی شبکه توزیع آب با اعمال عدم قطعیت پارامترهای کلیدی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۲-۱۴،

<https://doi.org/10.22034/jcee.2021.44669.2007>

دینی، م.، عباس‌پور، غ.ر.، و ثاقبیان، س.ع.، (۱۴۰۲)، "کالیبراسیون شبکه‌های توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیر فشار در گره‌ها"، نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب،

<https://doi.org/10.22112/JWWSE.2023.350090.1320>

سیف‌اللهی آغمیونی، س.، بزرگ حداد، ا.، و امید، م.ح.، (۱۳۹۰)، "بررسی تأثیر عدم قطعیت توأم نیاز گره‌ها و زبری لوله‌ها در کارایی شبکه‌های آبرسانی"، تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۲(۱)، ۳۵-۴۳.

قاسمی، ع.، حسینی، م.، (۱۳۹۱)، "تحلیل عدم قطعیت در شبکه های جمع‌آوری فاضلاب با منطق فازی (مطالعه موردی: بخشی از شبکه فاضلاب شهر مشهد)"، مجله آب و فاضلاب، ۲۳(۲)، ۱۰۷-۹۴.

گوهری مقدم، س.، رحیم پور، م.، قادری، ک.، و احمدی، م.م.، (۱۴۰۱)، "طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب تحت عدم قطعیت‌های هیدرولیکی و استحکام بخشی"، نشریه علمی پژوهش‌های نوین در مهندسی آب پایدار، ۱(۲)، ۸۷-۱۰۱.

<https://doi.org/10.22103/mrswe.2023.20470.1018>

گوهری مقدم، س.، قادری، ک.، رحیم پور، م.، و احمدی، م.م.، (۱۴۰۲)، "آنالیز فازی شبکه‌های توزیع آب تحت شرایط کمبود فشار"، مجله پژوهش آب ایران، ۱۷(۲)، ۴۷-۵۸.

در این مقاله، کارایی هیدرولیکی بلندمدت شبکه‌های توزیع آب در شرایط بحرانی یا پیک مصرف با اعمال عدم قطعیت پارامترهای مدل و تغییرات نشت بررسی شده است که در آن برای محاسبه عدم قطعیت ضریب هیزن ویلیامز لوله‌ها، مصارف و ضرایب نشت گره‌ها از توزیع نرمال و قطر لوله‌ها از تابع ریسک گرفتگی لوله‌ها در طول دوره طرح و روش مونت کارلو استفاده شده است. در مجموع منابع عدم قطعیت در یک مدل شامل عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها، عدم قطعیت در پارامترها و عدم قطعیت در مدل‌سازی است که در این تحقیق تنها عدم قطعیت موجود در تعدادی از پارامترهای مدل مدنظر قرار گرفته و به سایر جنبه‌های منابع عدم قطعیت در مدل‌ها توجه نشده است. از طرفی مدل‌سازی عدم قطعیت پارامترهای مدل با روش مونت کارلو انجام و سایر روش‌ها در نظر گرفته نشده است که می‌تواند در مطالعات مشابه دیگر مورد توجه قرار گیرد. مدل‌سازی در محیط متلب و با لینک نرم‌افزار EPANET به‌عنوان شبیه‌ساز شبکه انجام شده که مدت زمان اجرای مدل از محدودیت‌های تحقیق است. هم‌چنین برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه از شاخص NPRI استفاده شده است که در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی سالانه در طول دوره طرح شبکه ارائه شده است و حاوی اطلاعات مربوط به سطوح عملکرد شبکه به‌همراه احتمال وقوع آن‌ها در سال‌های مختلف بهره‌برداری است. بررسی کارایی شبکه‌ها با اعمال عدم قطعیت ضرایب نشت و تعریف حالت‌های عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری، وضعیت موجود و برنامه‌ریزی بهره‌برداری مبتنی بر تغییرات ضرایب نشت برای اولین بار در این مقاله بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با انجام برنامه‌ریزی بهره‌برداری ۱۵/۳ درصد در سال میانی دوره طرح نسبت به حالت عدم برنامه‌ریزی بهره‌برداری کارایی شبکه افزایش داشته است. در نتیجه، با اعمال برنامه‌ریزی بهره‌برداری، شبکه در طول دوره طرح، دیرتر کارایی هیدرولیکی خود را از دست می‌دهد. در مجموع، توسعه روش‌هایی که بتواند عدم قطعیت‌های موجود در مدل‌سازی شبکه‌های توزیع آب را در نظر بگیرد، گامی مهم در بهبود شرایط بهره‌برداری شبکه‌ها در حوزه مدیریت آب شهری محسوب می‌شود.

۶- مراجع

احدپور، پ.، و دینی، م.، (۱۴۰۱)، "مقایسه عملکرد شبکه‌های توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای مدل در

Engineering, 19, 554-568,
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000820](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000820).

Seifollahi-Aghmiuni, S., Bozorg Haddad, O., Omid, M.H., and Mariño, M.A., (2013a), "Effects of pipe roughness uncertainty on water distribution network performance during its operational period", *Journal of Water Resource Management*, 27(5), 1581-1599, <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0259-6>.

Seifollahi-Aghmiuni, S., Bozorg Haddad, O., and Mariño M.A., (2013b), "Water distribution network risk analysis under simultaneous consumption and roughness uncertainties", *Journal of Water Resource Management*, 27(7), 2595-2610, <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0305-4>.

Sharp, W.W., and Walski, T.M., (1998), "Predicting internal roughness in water mains", *American Water Works Association*, 80(11), 34-40, <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1988.tb03132.x>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

<https://doi.org/10.22034/IWRJ.2023.13998.2435>

Alperovits, E., and Shamir, U., (1977), "Design of optimal water distribution systems", *Water Resources Research*, 13(6), 885-900, <https://doi.org/10.1029/WR013i006p00885>.

Araujo, L.S., Ramos, H., and Coelho, S.T., (2006), "Pressure control for leakage minimisation in water distribution system management", *Journal of Water Resource Management*, 20 (1), 133-149, <https://doi.org/10.1007/s11269-006-4635-3>.

Braun, M., Piller, O., Iollo, A., and Mortazavi, I., (2020), "A spectral approach to uncertainty quantification in water distribution networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(3), 1-14, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001138](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001138).

Dini, M., and Tabesh, M., (2014), "A new method for simultaneous calibration of demand pattern and hazen-williams coefficients in water distribution systems", *Journal of Water Resource Management*, 28(7), 2021-2034, <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0592-4>.

Dini, M., and Asadi, A., (2019), "Pressure management of large-scale water distribution network using optimal location and valve setting", *Journal of Water Resource Management*, 33(1), 1-13, <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02381-x>.

Dini, M., Mohammadikaleibar, A., Hashemi, S., and Nourani, V., (2022), "Stochastic long-term reliability of water distribution networks using Monte Carlo simulation", *Journal of Urban Water*, 19(2), 151-160, <https://doi.org/10.1080/1573062X.2021.1971264>.

Geranmehr, M.A., Asghari, K., and Chamani, M.R., (2019), "Uncertainty analysis of water distribution networks using type-2 fuzzy sets and parallel genetic algorithm", *Journal of Urban Water*, 16(3), 193-204, <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1648527>.

Hwang, H., Lansley, K., and Jung, D., (2018), "Accuracy of first-order second-moment approximation for uncertainty analysis of water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(2), 1-18, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000864](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000864).

Jafari, S.M., Zahiri, A.R., Bozorg Hadad, O., and Mohammad Rezapour Tabari, M., (2022), "Uncertainty analysis of optimal instruction for WDN pipes repair and replacement using fuzzy cut-hydraulic simulation approach", *Research Square*, Under review, 1-29, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1341370/v1>.

Moradi Sabzkouhi, A., and Haghghi, A., (2016), "Uncertainty analysis of pipe-network hydraulics using a many-objective particle swarm optimization", *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(9), 1-12, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001148](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001148).

Salas, J.D., and Obeysekera, J., (2014) "Revisiting the concepts of return period and risk for non stationary hydrologic extreme events", *Journal of Hydrologic*

Technical Note

مقاله ترویجی (یادداشت فنی)

The Challenges and Obstacles of Success Rural Water Supply Management

چالش‌ها و موانع موفقیت در مدیریت آب‌رسانی روستایی

Majid Ghannadi^{1*}

1- Director General of the Office of Research, Development and Industry Relations, National Water and Wastewater Engineering Company, Tehran, Iran.

مجید قنادی^{۱*}

۱- مدیردفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

*Corresponding Author, Email:
Ghannadi48@gmail.com

*نویسنده مسئول، ایمیل: Ghannadi48@gmail.com

Received: 26/06/2023
Revised: 07/10/2023
Accepted: 18/10/2023
© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶
© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

Looking at the ups and downs and the experience of more than six decades of implementing the water supply plan to the country's villages, the creation and proper development of rural water supply services with the characteristics of quantity, quality and sustainability, just like other construction projects, strongly requires commitment and adherence to the disciplines engineering (the definition of planning, development and implementation) and its management and through the four stages of recognition and evaluation, design and engineering, execution and exploitation. Identifying the obstacles ahead and the ways out of the obstacles ahead, with special attention to the course of development, the rural population of the country and the experiences gained from the management of the rural water supply projects, in three headings, special and professional trustees, avoiding haste, simplicity and comprehensiveness in the implementation of projects, with an emphasis on predicting the appropriate organizational structure and financial management for the maintenance and management of rural water supply facilities is summarized, success in implementation will ensure its sustainability and relative efficiency.

Keywords: Rural water supply, Organizational structure, Financial management, Maintenance and operation.

چکیده

با نگاه به فراز و فرودها و تجربه بیش از شش دهه اجرای طرح آب‌رسانی به روستاهای کشور، ایجاد و توسعه مناسب خدمات آب‌رسانی روستایی با ویژگی‌های کمی، کیفی و پایداری، هم‌چون سایر طرح‌های عمرانی، به‌شدت نیازمند التزام و پای‌بندی به رعایت انضباط‌های مهندسی (تعریف طرح، توسعه و پیاده سازی و راهبری آن) و طی مراحل چهارگانه شناخت و ارزیابی، طراحی و مهندسی، اجرایی و بهره‌برداری است. شناسایی موانع پیش‌روی و راه‌های برون‌رفت از موانع پیش‌روی، که با توجه ویژه به سیر تطوّر جمعیت روستایی کشور و تجربه‌های برآمده از مدیریت طرح‌های آب‌رسانی روستایی، در سه سرفصل متولی ویژه و حرفه‌ای، پرهیز از شتابزدگی، ساده‌انگاری و جامع‌نگری در اجرای طرح‌ها، با تأکید بر پیش‌بینی ساختار مناسب سازمانی و مدیریت مالی برای نگهداری و راهبری تأسیسات آب‌رسانی روستایی خلاصه شده است، موفقیت در اجرا، پایداری و کارآمدی نسبی آن را تضمین خواهد کرد.

کلمات کلیدی: آب‌رسانی روستایی، ساختار سازمانی، مدیریت مالی، نگهداری و راهبری.

ملاک جمعیت روستا، در فرانسه ۲۰۰۰ نفر، در بلژیک ۵۰۰۰ نفر، در هلند ۲۰ هزار نفر و در ژاپن ۳۰ هزار نفر است. در آمریکا، روستا به مناطق با چگالی جمعیت کم اطلاق می‌شود و بیش‌تر بر مفهوم «مناطق روستایی» تاکید می‌شود (قنادی، ۱۳۸۹).

۳- جمعیت روستایی و روند تغییرات آن

براساس آمار رسمی سال ۱۳۹۵، جمعیتی بالغ بر ۲۰/۷۶۷ میلیون نفر در ۵۹۶۱۵ روستاهای کشور ساکن بوده‌اند. در این سال، نسبت جمعیت روستایی به کل جمعیت کشور، ۲۵/۹۸ درصد بوده است. مقایسه این نسبت، با سال‌های گذشته، به وضوح می‌نماید که روند مهاجرت از روستاها به شهرها، که از دهه‌های پیش آغاز شده، همچنان شتابان، ادامه دارد و سهم جمعیت روستایی از کل جمعیت کشور، از ۷۵ درصد در سال ۱۳۳۵، به ۵۰ درصد در سال ۱۳۵۵ و ۴۵/۲ درصد در سال ۱۳۶۵ و ۳۸/۳۴ در سال ۱۳۷۵ و ۳۲/۴ درصد در سال ۱۳۸۵ و سرانجام، ۲۵/۹۸ درصد در سال ۱۳۹۵ تقلیل یافته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷) (شکل ۱). ادامه این روند نزولی و تقلیل نسبت جمعیت روستایی کشور، همراه با تغییر چهره برخی روستاها، به مکان‌های گردشگری، در سال‌های پایانی دهه ۹۰ و آغازین سال‌های قرن جدید، متصور و دور انتظار نیست.

۴- سیر تَطَوُّر مدیریت خدمات آبرسانی روستایی

یکی از لوازم برقراری عدالت اجتماعی، بهره‌مندی آحاد جامعه از خدمات پایه برای همگان و همه مناطق کشور است و دولت‌های پیش و پس از انقلاب اسلامی، همگی در تلاش بوده و هستند تا با ایجاد و توسعه زیرساخت‌های خدمات روستایی و از جمله تأسیسات آبرسانی مناسب و پایدار، شاخص‌های توسعه روستایی کشور را بهبود و ارتقا بخشند. با رعایت کمال اختصار و برپایه اسناد در اختیار، تا سال ۱۳۵۰ شمسی، اداره کل آبیاری و زهکشی، وابسته به وزارت کشاورزی، نخستین دستگاه متولی آبرسانی روستایی کشور بوده است. این سازمان با احداث آب‌انبارهای عمومی، هدایت و بهسازی چشمه‌ها و حفر چاه و قنات، آبرسانی به روستاها را به‌شیوه شیرهای برداشت همگانی، دنبال می‌کرد (ادیانی و قنادی، ۱۳۸۹). پس از آن وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان و سپس وزارت جهاد سازندگی، متولیان بعدی آبرسانی روستایی شدند. در سال ۱۳۷۴ بنا به پیشنهاد وزارت جهاد سازندگی، مجلس شورای اسلامی قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی را تصویب کرد و

در خبرهای پیامکی اردیبهشت ماه ۱۴۰۲ آمده بود که ۱۷۴ پروژه آبرسانی در دور دوم سفر رییس‌جمهور به استان خوزستان افتتاح شد. این خبرها و خبرهایی مانند آن، که گاه‌گاه شنیده و خوانده می‌شود، این پرسش را در ذهن متبادر می‌سازد که چرا به‌رغم تلاش‌های پیشینیان و دولتمردان گذشته و حال، هنوز شمار زیادی از روستاهای کشور، از تأسیسات آبرسانی برخوردار نیستند؟ و چرا هر دولتی در آغاز کار، با طمطراق و داعیه رفع مشکل آبرسانی به روستاها، طرح‌هایی را تعریف و روزگاری را با فراز و نشیب، در این وادی بی‌انتهای می‌گذراند و بدون آن‌که کار به سرانجام رسد، آن را به دولت پس از خود وا می‌نهد؟ چرا دوره آبرسانی به روستاها، پس از گذشت شش دهه، هنوز به سر نیامده است؟ و تا کی باید در انتظار ماند تا این طرح، به سرانجام رسد؟ حلقه مفقوده و گمشده آبرسانی روستایی چیست؟ و به‌کدام دلیل، این طرح بزرگ ملی که یکی از جلوه‌های شعار آبادانی، محرومیت‌زدایی، برقراری عدالت اجتماعی و برخورداری همگانی از خدمات پایه زندگی است، لااقل در شمار قابل‌توجهی از روستاهای کشور، هنوز محقق نشده است؟ و چرا این طرح، چنین به‌درازا کشیده و به یک آرزو بدل شده است؟

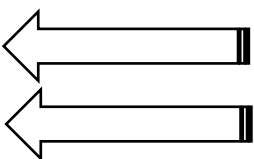
در جست و جوی پاسخ این پرسش‌ها، ابتدا لازم است تعریفی از روستا، که موضوع سخن و مقصد آبرسانی است، پیش روی قرارگیرد و سپس به اجمال و اختصار، نیم‌نگاهی به جمعیت روستایی و سیر تَطَوُّر مدیریت خدمات آبرسانی روستایی کشور در گذر زمان، افکنده شود، تا در واکاوی و تحلیل علت‌های متصور عقب ماندگی در حوزه آبرسانی روستایی، مبنا و درک مشترکی بنا شود.

۲- تعریف روستا

روستا، محدوده‌ای از فضای جغرافیایی و واحد اجتماعی کوچکی مرکب از تعدادی خانواده است که نسبت به هم نوعی احساس دلبستگی، عواطف و علائق مشترک دارند، در آن زندگی می‌کنند و بیش‌تر فعالیت‌هایی که در آن برای امرار معاش انجام می‌شود، از طریق بهره‌گیری از زمین و در درون محیط مسکونی صورت می‌گیرد. به چنین واحد اجتماعی که اکثر افراد آن به کشاورزی اشتغال دارند، "ده" یا "روستا" اطلاق می‌شود. تعریف و محدوده جمعیتی روستا در کشورهای مختلف، متفاوت است. در ایران، اجتماعات با جمعیت کم‌تر از ۵۰۰۰ نفر، روستا نامیده می‌شوند.

شماره ۱۸۷۹۶/ت/۲۵۶۳۸۰ هیأت وزیران، به وزارت نیرو محلق شدند.

تمامی وظایف آب و فاضلاب روستایی در ایجاد، توسعه، نگهداری و راهبری تأسیسات آبرسانی و خدمات فاضلاب روستایی به آن‌ها واگذار شد. این شرکت‌ها در تاریخ ۱۳۸۱/۴/۲۵ و حسب مصوبه

روستاهای بدون مشکل تامین و توزیع آب (۲۳.۳۷۱ قصبه (۶۴/۱۵) درصد) با جمعیت ۱۰.۱۷۴.۶۴۶ نفر (۵۹/۰۶ درصد)	روستاهای بالای ۲۰ خانوار تحت پوشش خدمات آبرسانی (۲۹.۶۰۵ قصبه (۸۱/۲۶) درصد) با جمعیت ۱۶.۵۵۷.۵۰۰ نفر (۹۶/۱۱) درصد)	روستاهای تحت پوشش خدمات آبرسانی (۳۶.۴۳۱ قصبه (۶۱/۱) درصد) با جمعیت ۱۷.۲۲۷.۰۰۰ نفر (۸۲/۹۵) درصد)	تعداد کل روستاهای کشور ۵۹۶۱۵ قصبه با جمعیت ۲۰.۷۶۷.۰۰۰ نفر (۲۵/۹۸) درصد جمعیت (کشور)
روستاهای مواجه با مشکل تامین و توزیع آب (۱۳.۰۶۰ قصبه (۳۵/۸۵) درصد) با جمعیت ۷.۰۵۲.۳۵۴ نفر (۴۰/۹۴) درصد)	روستاهای کم‌تر از ۲۰ خانوار تحت پوشش خدمات آبرسانی (۶.۸۲۶ قصبه (۱۸/۷۴) درصد) با جمعیت ۶۶۹.۵۰۰ نفر (۳/۸۹) درصد)	روستاهای غیر تحت پوشش خدمات آبرسانی (۲۳.۱۸۴ قصبه (۳۸/۹) درصد) با جمعیت ۳.۵۴۰.۰۰۰ نفر (۱۷/۰۵) درصد)	
روستاهای بدون مشکل تامین و توزیع آب (خودگردان) (۷.۴۲۸ قصبه (۲۲) درصد) با جمعیت ۲.۰۵۲.۱۰۳ نفر (۵۸) درصد)			
روستاهای مواجه با مشکل تامین و توزیع آب (۱۵.۷۵۶ قصبه (۶۸) درصد) با جمعیت ۱.۴۸۷.۸۹۷ نفر (۴۲) درصد)			

شکل ۱- سیمای کلی جمعیت روستایی (بر اساس آمار رسمی سال ۱۳۹۵) و وضعیت خدمات آبرسانی روستایی کشور در پایان شهریور ماه ۱۴۰۰ (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷؛ معاونت برنامه‌ریزی و بودجه‌ی آبفای کشور، ۱۴۰۲)

برای رفع مشکلات گفته‌شده، از اوایل دهه ۷۰ شمسی، سیاست تجمیع کردن روستاهای هم‌جوار در قالب مجتمع‌های آبرسانی، با هدف صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری‌های پراکنده و انسجام بخشی در مدیریت طرح‌ها، ترویج داده شد. مجتمع‌های آبرسانی روستایی، ابتدا در استان‌های مازندران (شهرستان خزر آباد)، بوشهر (نوار ساحلی)، گلستان (بنادر)، کهگیلویه و بویراحمد (شهرستان لنده)، فارس و خوزستان مطالعه و اجرا شد. تجربه‌های به‌دست آمده از اجرای موفق مجتمع‌های نمونه، که برخلاف تأسیسات آبرسانی تک روستایی، در اجرای آن‌ها موافقتنامه، مبادله و براساس نظام فنی و اجرایی، طراحی، اجرا و نظارت می‌شد و ضمن انسجام بخشیدن به مدیریت طرح‌ها، صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری را به‌دنبال داشت، سبب رونق در سیاست مجتمع‌سازی طرح‌های آبرسانی روستایی کشور شد و به‌تقریب تمامی طرح‌های آبرسانی تک‌روستایی، به‌تدریج به مجتمع‌های حداقل دو روستایی تبدیل شد. در دهه ۷۰ این سیاست، مقبولیت همگانی یافت. اعتبارات ملی به اعتبارات استانی تبدیل و برنامه‌ریزی نیز در هر استان انجام شد. ثمره این سیاست، با تغییراتی، هم‌چنان در شرکت‌های آب و فاضلاب جاری است (جدول ۲) (ادیانی و قنادی، ۱۳۸۹).

در تداوم طرح ملی آبرسانی به روستاهای کشور که از سال ۱۳۹۳ با عنوان «طرح ملی آبرسانی روستایی کشور» و با دستور

نکته قابل‌تامل این است که طی سال‌های ۱۳۵۰-۱۳۹۰، به تقریب در هر دهه، متولی آب روستایی کشور، بین وزارتخانه‌ها جا به‌جا شد و هر وزارتخانه، حسب رویکرد ذاتی خود و یا همگام با شرایط اجتماعی منبعث از حال و هوای عمومی کشور، راهبردها و سیاست‌های ویژه‌ای را در پیشبرد و توسعه‌ی آبرسانی روستایی دنبال کرده است که خلاصه آن در جدول ۱ آمده است.

مروری بر مستندهای اندک به‌جا مانده از متولیان حوزه آبرسانی روستایی که هر یک با رویکردها و سیاست‌های برآمده از مأموریت اصلی خود، عهده‌دار مسؤلیت خدمات آبرسانی روستایی بوده‌اند، از شش عامل زیر به‌عنوان موانع توسعه خدمات آبرسانی یاد شده است (قانع و قنادی، ۱۳۹۸).

- پراکندگی، فاصله زیاد و در مواردی صعب‌العبور بودن برخی روستاها
- قیمت تمام شده بالای آب
- عدم دسترسی به منابع آب با کمیت و کیفیت مناسب در برخی روستاها
- محدودیت نیروی کار آزموده در مناطق روستایی برای نگهداری و راهبری تأسیسات
- عدم امکان کنترل و نظارت مستمر بر عملکرد تأسیسات به‌دلیل تعداد زیاد روستاها و پراکندگی آن‌ها
- کشمکش‌های محلی و قومی برای تصاحب منابع آب روستایی

روستا، در دو مجموعه هدف گذاری شده است. در مجموعه نخست، آب رسانی به ۷ هزار روستا، در قالب طرح محرومیت زدایی از چهره روستاهای کشور، با مشارکت قرارگاه امام حسن مجتبی (ع) انجام می شود و در مجموعه دوم، با استفاده از اعتبارات ملی، به ۳ هزار روستا، آب رسانی می شود. همراه با این طرح بزرگ ملی، آب رسانی به ۵ هزار روستا نیز، با بهره گیری از مشارکت خیران آب رسان، برنامه ریزی شده است. این برنامه در سال های اجرای برنامه ی هفتم توسعه ی کشور نیز ادامه دارد (آقازاده، ۱۴۰۱).

کار تکمیل تأسیسات ۹۲۴ مجتمع آب رسانی روستایی اولویت دار و اجرای پروژه های آب رسانی تک روستایی آغاز شد (معاونت مهندسی و توسعه آبفا، ۱۴۰۱)، در سال ۱۴۰۰، با هدف سرعت بخشیدن به روند آب رسانی به روستاها و استفاده از تمامی ظرفیت های کشور در قالب جهاد آب رسانی و با مشارکت و هم افزایی دولت، شرکت های آب و فاضلاب استانی، گروه های جهادی، نهادها، سازمان ها، نیروهای مسلح و خیران تعریف و تفاهم نامه آن در تاریخ ۱۴۰۰/۸/۱۷ با قرارگاه امام حسن مجتبی (ع) منعقد و استمرار یافت. در این طرح، آب رسانی به ۱۰ هزار

جدول ۱ - سیر تَطَوُّر در متولیان و سیاست های آب رسانی روستایی ایران طی سال های ۱۳۴۰-۱۴۰۶ (با تکمیل و افزودن: قانع و قنادی، ۱۳۹۸)

دوره های آب رسانی	مدت دوره	دستگاه سیاستگذار	راهبردها	سیاست اجرایی	متولی اجرا
اول	قبل از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۵۰	وزارت کشاورزی	تأمین آب به صورت عمومی	حفر و احداث قنوات هدایت آب چشمه ها احداث آب انبارهای عمومی	اداره آبیاری و زهکشی
دوم	بخش اول	وزارت بهداشت	دسترسی به آب در روستاهای بزرگ و پرجمعیت	استفاده از چاه های کشاورزی نصب شیرهای برداشت عمومی	اداره کل بهداشت محیط
	بخش دوم	نهاد جهاد سازندگی و وزارت بهداشت	آب رسانی سیار به روستاهای دور افتاده و تأمین آب روستاهای کوچک	ذخیره آب در آب انبارهای خانگی اجرای سامانه های انتقال و شبکه کوچک	واحد آب رسانی و اداره کل بهداشت محیط
	بخش سوم	وزارت جهاد سازندگی و وزارت بهداشت	برنامه ریزی جامع تأمین آب به خانوارهای روستایی	مطالعه و طراحی پروژه ها توسط مشاور اجرای مجتمع های آب رسانی به روستاها	اداره کل مهندسی بهداشت و اداره کل بهداشت محیط
		انحلال اداره کل بهداشت محیط	اهمیت بیش تر به کیفیت آب	توزیع پرکلرین و نظارت بر گندزدایی آب	اداره کل مهندسی بهداشت
سوم	بخش اول	وزارت جهاد سازندگی	برنامه اول و دوم توسعه	اولویت آب رسانی به روستاهای بالای ۲۰ خانوار در قالب مجتمع های روستایی	اداره کل مهندسی بهداشت
	بخش دوم	تشکیل شرکت های آبفا	اهمیت پاسخگویی به مردم و مسؤولان	خدمات فنی و مهندسی - پشتیبانی	شرکت های آب و فاضلاب روستایی
	بخش سوم	وزارت جهاد کشاورزی	برنامه سوم توسعه	تأمین، توزیع و تصفیه آب کلیه ی روستاها	شرکت های آب و فاضلاب روستایی
چهارم	بخش اول	انحلال وزارت جهاد سازندگی	الحاق شرکت های آب و فاضلاب روستایی به وزارت نیرو		شرکت های آب و فاضلاب روستایی
	بخش دوم	وزارت نیرو	برنامه چهارم توسعه	تأمین، انتقال و توزیع آب در کلیه ی روستاها	شرکت های آب و فاضلاب روستایی
	بخش سوم	وزارت نیرو	برنامه های پنجم و ششم توسعه	تکمیل مجتمع های آب رسانی روستایی اولویت دار	شرکت های آب و فاضلاب روستایی
	بخش سوم	وزارت نیرو	یکپارچه سازی شرکت های آب و فاضلاب شهری و روستایی (ابلاغ واگذاری کلیه اموال، امور و فعالیت شرکت های آب و فاضلاب روستایی به شرکت های آب و فاضلاب شهری)		شرکت های آب و فاضلاب استانی
	بخش چهارم	وزارت نیرو	برنامه های ششم و هفتم توسعه	طرح جهاد آب رسانی با مشارکت دولت، شرکت های آب و فاضلاب استانی، گروه های جهادی و نیروهای مسلح ادامه تکمیل مجتمع های آب رسانی روستایی اولویت دار استفاده از ظرفیت خیران آب رسان	شرکت های آب و فاضلاب استانی قرارگاه امام حسن مجتبی (ع) انجمن خیران آب رسان

جدول ۲- گسترش پوشش بر خورداری از خدمات آبرسانی روستایی در ایران طی سال‌های ۱۳۵۸-۱۴۰۲ (شرکت مهندسی آبیای کشور، ۱۳۸۹ و معاونت برنامه‌ریزی و بودجه آبیای کشور، ۱۴۰۲، ۱۴۰۳)

عامل	واحد	۱۳۵۸	۱۳۸۸	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲
جمعیت روستایی کشور	میلیون نفر	۱۸	۲۱/۹	۲۰/۵۸	۲۰/۵۱	۲۰/۵۷	۲۰/۵۷	۲۱/۱۲
جمعیت روستایی تحت پوشش	میلیون نفر	۲/۱۶	۱۶/۳۸	۱۶/۹	۱۷/۲	۱۷/۴۴	۱۷/۸۶	۱۸/۳۶
روستاهای تحت پوشش	درصد	۱۲	۷۴/۸	۷۲/۶۸	۸۲/۹۵	۸۴/۷۹	۸۶/۸۱	۸۶/۹۳
	تعداد	-*	۳۰,۰۰۰	۳۶۵۱۲	۳۶۴۳۱	۳۹۹۳۱	**۳۷۷۱۷	۳۸۰۷۸

* اطلاعات تایید شده در دسترس نیست.

** کاهش تعداد روستاهای تحت پوشش، به دلیل اصلاح و به‌روز رسانی آمار و در مواردی، تبدیل شدن شماری از روستاها به شهر و یا خالی از سکنه شدن تعدادی از روستاها است.

۵- موانع کُندی در تکمیل طرح آبرسانی روستایی

آن بوده است، نتواند متناسب با نیازها و اقتضاعات طرح‌های آبرسانی روستایی، متمرکز و مجهز شود و با گذشت اندک زمانی و با ایجاد فضایی در مدیریت کشور، به سرعت آن را به دستگاه دیگری واگذار کند.

تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی که با الگوبرداری ناقص و بدون مطالعه از شرکت‌های آب و فاضلاب شهری در ساختار وزارت جهاد سازندگی ایجاد و سپس در وزارت جهاد کشاورزی، استمرار یافت؛ تدبیری برای تمرکز یک ساختار نظام‌مند بر موضوع آبرسانی روستایی، ارزیابی می‌شود. نکته قابل تأمل این است که در الگوبرداری تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی از هم‌تایان شهری خود، به ماهیت کاملاً دولتی شرکت‌های روستایی و ساختار نیمه‌دولتی و یا غیردولتی شرکت‌های شهری از یک‌سو و از دیگر سو، تفاوت‌های کار در محیط‌های شهری و روستایی که سیر تکوین، راهبردها و سیاست‌های متفاوتی را اقتضا دارد، کم‌تر و شاید توجه نشده و نشانی از آن در مستندهای به‌جا مانده، مشاهده نمی‌شود.

با الحاق این شرکت‌ها به وزارت نیرو، تفاوت‌های شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی و شهری، که فقط در نام و نشان شبیه بودند، بیش‌تر آشکار شد و نه تنها تحول و گشایش‌چندانی در راهبردها و سیاستگذاری‌های آبرسانی روستایی کشور ایجاد نشد و همان روند گذشته در اجرای طرح‌های آبرسانی روستایی، این‌بار در ذیل نام وزارت نیرو، دنبال و تکرار شد؛ بلکه به مانند ترمزی برای کاهش شتاب توسعه مدیریت آب و فاضلاب شهری و فرسودگی زود هنگام مدیران و بدنه سازمان نمایان گشت و سرانجام پس از حدود دو دهه از الحاق شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی به وزارت نیرو، متولیان آب کشور چاره کار را در ادغام و یک‌پارچه‌سازی شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی و شهری دیدند. در این رویکرد که بدون پشتوانه مطالعاتی قوی و مستند و بدون طرح آن در محافل علمی و اخذ نظر صاحب‌نظران، انجام شد، فرض بر این بود که با تجمیع امکانات هر دو شرکت‌های آب

هم چنان که اشاره شد، قدمت اجرای طرح‌های آبرسانی به روستاها، از شش دهه فراتر است و با این پیشینه به نسبت طولانی و صرف هزینه‌های سنگین، هنوز به سرانجام مطلوب نرسیده است. در واکاوی علت‌های متصور در طولانی‌شدن این طرح ملی، سه نکته زیر متصور و برجسته می‌نماید، هرچند که صاحب‌نظران و تحلیل‌گران مدیریت خدمات آب و فاضلاب روستایی، نکته‌های دیگری بر آن خواهند افزود.

- ضعف در متولی ویژه و حرفه‌ای آبرسانی روستایی
- شتاب‌زدگی، ساده‌نگاری و فقدان جامعیت در اجرای طرح‌های آبرسانی روستایی
- ساختار نامناسب سازمانی و مدیریت مالی برای نگهداری و راهبری تأسیسات آبرسانی روستایی

۵-۱- ضعف در متولی ویژه و حرفه‌ای آبرسانی روستایی

با نگاهی به متولیان آبرسانی روستایی کشور در دهه‌های گذشته (جدول ۱)، به‌خوبی می‌نماید که هر دستگاه، در کنار وظایف ذاتی و اصلی خود، عهده‌دار مسئولیت آبرسانی روستایی نیز بوده است. در حاشیه قرارداد داشتن وظیفه آبرسانی روستایی، سبب شده است تا خود به‌خود و در یک قانون نانوشته و به تعبیر بهتر، در برابر وظایف اصلی و ذاتی دستگاه متولی، آبرسانی روستایی، در درجه دوم و یا چندم اهمیت قرارگیرد. حتی در نهاد انقلابی جهاد سازندگی و سپس وزارت جهاد سازندگی نیز که با هدف آبادانی و رفع محرومیت از چهره روستاهای کشور تأسیس شد، موضوع آبرسانی روستایی، در کنار سایر وظایفی هم‌چون برق‌رسانی، راه‌سازی، مدرسه‌سازی، بهداشت روستایی و مانند آن قرارداد شد. این وضعیت، بستری را فراهم ساخت تا در هر دوره، متولی آبرسانی روستایی کشور، که مأموریت اصلی آن، چیزی غیر از آبرسانی روستایی و یا دست‌کم، یکی از محورهای کاری

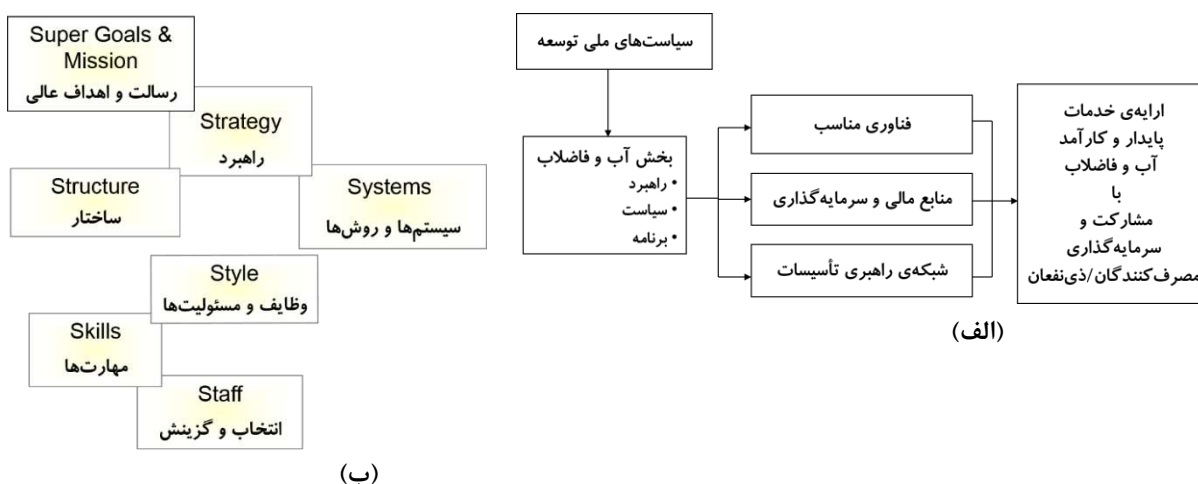
توجه شود که در بررسی‌های فرا ملی پیرامون شناسایی علت‌های عدم کارآمدی مورد انتظار سازمان‌های متولی خدمات آبرسانی، به سه نکته کلیدی زیر اشاره شده است (IHE, 1991):

- محدودیت در ظرفیت‌های مالی
- عدم کفایت دانش و تجربه (مهارت)
- محدودیت در سرمایه (بازیابی ضعیف هزینه‌ها و کمبود کارکنان متخصص و حرفه‌ای)

در بازنگری و تدوین ساختار مناسب سازمان آب و فاضلاب روستایی، افزون بر شناسایی راه‌کارهای برون‌رفت از آن‌ها، توجه به نیازمندی‌ها و اجزای مدیریتی لازم برای عرضه پایدار و کارآمد خدمات آب و فاضلاب روستایی، مطابق آنچه در شکل ۲ آمده است؛ توصیه و تأکید می‌شود. هم‌چنان که تحلیلگران مدیریت کلان حوزه خدمات آب و فاضلاب گفته‌اند: «شرایط همیشه یکسان نیست و بهترین راه‌حل‌های امروز، به الزام مناسب‌ترین گزینه برای دشواری‌های فردا نخواهد بود» (Maksimovic and Tejada-Guibert, 2001).

و فاضلاب شهری و روستایی در قالب یک شرکت استانی، امکان استفاده بیش‌تر و بهتر از توان مدیریتی و کارشناسی و امکانات و تأسیسات موجود فراهم و بار قابل‌توجهی از دوش دولت برداشته می‌شود.

واقعیت این است که در جهان امروز، شهرها، موتور رشد و توسعه و کانون توجه و منشأ قدرت در تحولات سیاسی و حاکمیت کشورها هستند (Catley-Carlson, 2012) و در ورای همه این‌گنش‌ها و گفته‌ها، توجه و تمرکز بر شهرها، به دلیل قدرت وثیق اثرگذاری آن‌ها بر تحولات اجتماعی و سیاسی، به مراتب بیش‌تر از روستاها است و به‌رغم تغییرهای مدیریتی، هم‌چنان شهرها، در اولویت نخست و کانون توجه قرار داشته و خواهند داشت و تا زمانی که در چارچوب یک مطالعه جامع و کافی که در آن با بهره‌گیری از برون‌دادهای تدابیر گذشته، تجربه سایر کشورها و نیازها و اقتضاعات ملی، سناریوهای کارآمدی برای مدیریت خدمات آب و فاضلاب روستایی ارایه نشود، چرخه نه‌چندان مطلوب و شاید معیوب این مدیریت، هم‌چنان ادامه خواهد داشت.



شکل ۲- الف) نیازمندی‌ها و ب) اجزای مدیریتی عرضه پایدار و کارآمد خدمات آبرسانی روستایی (IHE, 1991; IHE DELFT, UNDP, 1999)

بسته‌های مطالعاتی و تمهیدهای مالی، محیط‌زیستی، اجرایی و ... جداگانه‌ای است که به اختصار در شکل ۳ نشان داده شده است (معاونت مهندسی و توسعه آبفای کشور، ۱۴۰۱).

با مروری بر طرح‌های آبرسانی روستایی اجرا شده در دهه‌های گذشته، متأثر از عقب ماندگی‌های پیشین در خدمت‌رسانی و درخواست‌ها و فشارهای محلی از یک سو و از دیگر سو در حاشیه قرارداشتن وظیفه آبرسانی روستایی، در برابر وظایف و مأموریت‌های ذاتی دستگاه متولی آن، کم‌تر اثری از تمرکز و الزام به اجرای مراحل چهار گانه گفته شده، دیده می‌شود

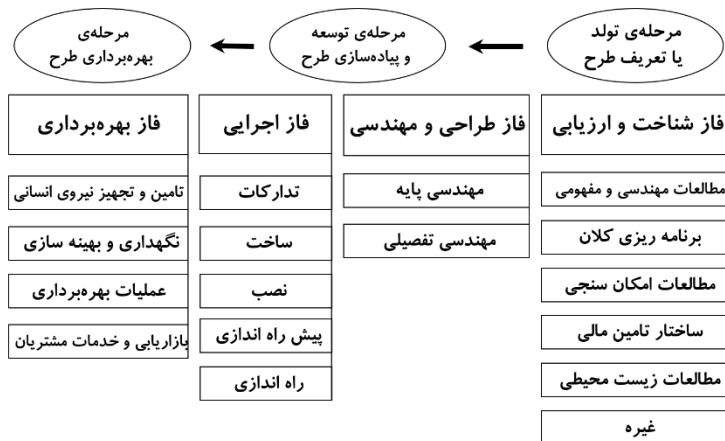
۵-۲- شتاب‌زدگی، ساده‌انگاری و فقدان جامعیت در

اجرای طرح‌های آبرسانی روستایی

در نگاه عمومی، طرح‌های آبرسانی روستایی، هم‌چون سایر طرح‌های عمرانی، از سه مرحله تولد (تعریف طرح)، توسعه و پیاده سازی (اجرا و احداث طرح) و راهبری (نگهداری و بهره‌برداری از طرح) تشکیل می‌شود. در نگاه مهندسی، همه طرح‌های آب و فاضلاب و از جمله طرح‌های آبرسانی روستایی، در چهار مرحله شناخت و ارزیابی، طراحی و مهندسی، اجرایی و بهره‌برداری تعریف می‌شوند. هریک از مراحل گفته شده، نیازمند انضباط‌ها و تهیه

منازعات محلی، پس از اجرای تأسیسات را به عدم تمرکز و الزام به طی مؤلفه‌های طرح‌های عمرانی در طرح‌های آبرسانی روستایی، باید جست و جو کرد.

و در کنار سایر عامل‌های اثرگذار بر مدیریت طرح‌های آبرسانی روستایی، بخشی از عمر کوتاه‌تر تأسیسات آبرسانی روستایی در مقایسه با طرح‌های مشابه شهری، تقلیل و یا غیرقابل استفاده‌شدن زود هنگام منبع تأمین آب و در مواردی، بروز



شکل ۳- مراحل تولد تا راهبری طرح‌های عمرانی (آبرسانی روستایی)

ویژگی زیر را برآورده سازد (IHE, 1991):

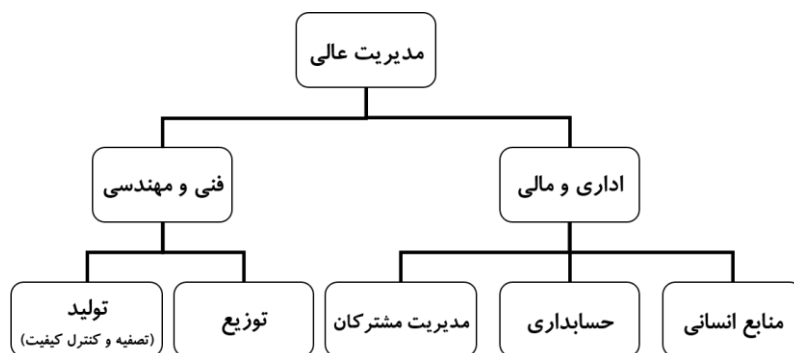
- کمیت، که در آن موضوع‌های منابع تأمین، طرح‌ها و پروژه‌ها، شیوه‌های مدیریت و انضباط‌های مهندسی قرار دارد.
- کیفیت، که در آن سرفصل‌های حفاظت، تصفیه، کنترل، توزیع، نگهداری و قابلیت اطمینان مطرح و دنبال می‌شود.
- پایداری، با مفهوم استمرار کمیت و کیفیت و باز استفاده از آب شرکت‌های متولی خدمات آبرسانی، برای برآورده ساختن انتظارات یاد شده، از ساختار حداقلی زیر باید برخوردار باشند (شکل ۴).

۵-۳- ساختار نامناسب سازمانی و مدیریت مالی برای

نگهداری و راهبری تأسیسات آبرسانی روستایی

بر پایه تعریف نهادهای بین‌المللی، «بهره‌برداری و نگهداری»، بهبود بخشیدن به عملکرد، کارآمدی و پایداری خدمات آب و فاضلاب است. «بهره‌برداری و نگهداری»، تنها یک موضوع فنی و مهندسی نیست، بلکه علاوه بر آن، رویکردهای اجتماعی، مدیریتی، اقتصادی، بنگاهداری، سیاسی و محیط‌زیستی را نیز شامل می‌شود (WHO, 2000).

خدمات آبرسانی، هنگامی مناسب خواهد بود که حداقل سه



شکل ۴- ساختار حداقلی شرکت‌های متولی خدمات آبرسانی (IHE, 1991)

اجتماعی، بلکه در کسوت صنعتی واجد سیاست‌ها و دیدگاه‌های قوی تجاری انگاشته می‌شود که در آن بهای آب، از رابطه (۱) تعیین می‌شود (IHE, 1991).

برخلاف تصور رایج در ایران، در محافل بین‌المللی و در کشورهای توسعه‌یافته، تأمین و توزیع مناسب و پایدار آب آشامیدنی، با ویژگی‌های گفته شده، نه به‌عنوان یک خدمت

- (۱) + هزینه‌های راهبری = بهای تمام شده آب
 + هزینه‌های نگهداری (استهلاک و جایگزینی)
 + هزینه‌های ثابت (دستمزد، مواد و سربار)

در سطح اقتصاد خرد، بهای آب، براساس متغیرهایی مانند میزان سهولت و یا صعوبت دسترسی به منابع تأمین، سطح تصفیه، سن تأسیسات، بهای برق و مواد شیمیایی، نیروی انسانی و نظایر آن، تعیین می‌شود. در واکاوی هزینه‌های تولید و توزیع آب، مشخص است که هزینه‌های مرتبط با راهبری و نگهداری، از چهار جزء تشکیل می‌شود (Maksimovic and Tejada-Guibert, 2001).

الف) هزینه‌های نیروی انسانی، مدیریت و تعمیرات

ب) هزینه‌های تأمین (برق و مواد شیمیایی)

ج) هزینه‌های مستقیم نگهداری (جایگزینی تأسیسات)

د) هزینه‌های عمومی (خرید و یا اجاره‌ی زمین و ساختمان، خودرو و وسایل کار)

هزینه‌های یاد شده، به دو دسته ثابت (الف و ب) و متغیر (ج و د) تقسیم می‌شوند و کاهش و یا افزایش هر دوی آن‌ها، رابطه وثیقی با مهارت‌ها و قابلیت‌های بالا و رو به افزایش، برتری‌طلبی و تعالی‌جویی، در کنار تعصب حرفه‌ای، انگیزه و روحیه برآمده از تعلق خاطر سازمانی، یادگیری، کار و هم اندیشی و تلاش راهبران دارد.

بهای آب در کشورهای مختلف، افزون بر هزینه‌های تمام شده، تابعی از ملاحظات سیاسی و اجتماعی است و دامنه‌ی آن، بسیار گسترده است. شاهد مثال آن‌که، در حالی که در انگلستان، بهای آب، ۹۰ درصد هزینه‌های تمام شده را پوشش می‌دهد، این میزان در اسپانیا و یونان، از ۲۵ و ۳۳ درصد فراتر نیست (Maksimovic and Tejada-Guibert, 2001).

انجمن بین‌المللی آب (IWA)، در کتاب «مرزهای مدیریت آب شهری»، اصول سه‌گانه در تعیین بهای آب را چنین برشمرده است: (Maksimovic and Tejada-Guibert, 2001).

- خدمات آب، به‌عنوان «خدمت تجاری» و نه فقط به‌عنوان «خدمت اجتماعی» باید شناخته شود.
- منابع مالی لازم برای عرضه خدمات آب در هر منطقه، توسط مصرف‌کنندگان آب در همان منطقه، و نه از طریق افزایش

مالیات عمومی، باید تأمین شود.

- خدمات آب، پایدار، منظم و با کیفیت خوب و با حداقل هزینه ممکن، باید ارایه شود.

برای مدیریت مالی و بازیابی پایدار هزینه‌های خدمات آب‌رسانی روستایی، سازمان جهانی بهداشت، هفت اصل کلیدی زیر را برشمرده است (WHO, 2000):

۱. شناسایی ویژگی‌ها و پیامدهای محیطی هزینه‌های پروژه
۲. به حداکثر رساندن تمایل به پرداخت بهای خدمات
۳. شفاف‌سازی مسئولیت‌های مالی
۴. بهینه‌سازی هزینه‌های عملیات و نگهداری
۵. تعیین تعرفه مناسب و عادلانه ساختار آن
۶. ایجاد نظام مدیریت مالی کارآمد
۷. سازماندهی دسترسی به منابع مالی جایگزین

با نگاهی با قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب، به‌وضوح نمایان است که هرچند اصول سه‌گانه یاد شده، در بنیان شرکت‌های آب و فاضلاب، مدنظر قرار داشته است، اما متأسفانه، با گذشت زمان و به‌دلیل عدم پای‌بندی به اجرای مواد ۳، ۹ و ۱۰ این قانون، نه تنها فاصله زیادی میان هزینه‌های تمام شده تولید و توزیع آب آشامیدنی وجود دارد^۱ و آن‌ها را به شرکت‌هایی زیان‌ده و همواره بدهکار بدل ساخته است (قانع و قنادی، ۱۳۹۸)، بلکه با غلبه فشارهای بیرونی، که نماد آن در تورم نیروی انسانی ناکارآمد و ضعف‌های جدی در تأمین‌ینگارش مثبت «انگیزشی»، برای نگاه‌داشت و تقویت روحیه مهارت‌افزایی و تعصب حرفه‌ای کارکنان، فارغ از راه‌کارهای شبیه ناک اداری و نظارتی و به تعبیر دیگر، «ضعف مفرط در ظرفیت‌سازی» در حوزه نیروی انسانی، نمایان است. در کنار این متغیرهای نامیمون، با افزایش صعوبت در تأمین آب، متأثر از تغییر اقلیم و تداوم پدیده خشک‌سالی و عدم توازن منابع در اختیار با تقاضاهای جدید، فاصله میان هزینه‌های تمام شده تولید و توزیع آب آشامیدنی و بهای آب، شرکت‌های آب و فاضلاب را چنان ساخته است که حتی در ادای پرداخت‌های جاری خود نیز با مشکل مواجه‌اند و از سازمانی که سال‌ها است در آن، از موضوع مهم ظرفیت‌سازی، استقلال مالی

۱ آب و فاضلاب استانی، ۳۳۳۴۰ ریال بوده است. در شهرها، میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی، ۹۷۸۴ ریال، میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب غیرخانگی ۸۴۸۷۱ ریال و میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی و غیرخانگی ۲۲۴۲۴ ریال و در روستاها، میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی، ۸۸۳ ریال، میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب غیرخانگی ۷۳۵۲۹ ریال و میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی و غیرخانگی ۱۲۷۷۱ ریال بوده است (معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی آبفای کشور، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲).

^۱ به استناد صورت‌های مالی حسابرسی شده‌ی پایان سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ شرکت‌های آب و فاضلاب، در سال ۱۴۰۰، میانگین بهای تمام شده یک مترمکعب آب در شرکت‌های یکپارچه آب و فاضلاب استانی، ۲۲۸۵۷ ریال بوده است. در شهرها، میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی، ۷۴۹۸ ریال و میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی و غیرخانگی ۱۵۱۹۶ ریال و در روستاها، میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی، ۵۹۸۷ ریال و میانگین بهای فروش یک مترمکعب آب خانگی و غیرخانگی ۸۸۵۹ ریال بوده است. در سال ۱۴۰۱، میانگین بهای تمام شده یک مترمکعب آب در شرکت‌های یکپارچه

مهم‌تری هم‌چون درمان، مدیریت خدمات کشاورزی و تولید محصول‌های زراعی، مدیریت مهار و تأمین آب قرارداد شده است. به‌نظر می‌رسد در بازنگری ساختار سازمانی این بخش، با حذف نهادهای موازی و هم‌عرض، پی‌ریزی ساختار ویژه‌ای که صرفاً مسؤولیت عمران و توسعه روستایی را در همه ابعاد آن و از جمله خدمات آب و فاضلاب روستایی دارا باشد، رویکردی شایسته تأمل است. این سازمان، در شکل یک معاونت مستقل در نهاد ریاست جمهوری، متناسب با هر وظیفه تعریف شده (مانند راه‌سازی، مسکن، برق‌رسانی، آبرسانی و...)، یک معاونت خواهد داشت و با پرهیز از شتابزدگی، ساده‌انگاری و با نگاه جامع و رعایت انضباط‌های لازم در مرحله‌های تعریف، احداث و راهبری، نگهداری و بهره‌برداری (شکل ۳)، مدیریت کارآمد آبرسانی روستایی را پیگیری و محقق می‌سازد. در این مسیر، ارتباط تنگاتنگ و تعامل مستقیم با سایر سازمان‌های مرتبط، لازمه سرعت و موفقیت در تحقق برنامه‌ها است. تأمین منابع مالی لازم برای اجرای طرح‌ها و پروژه‌های توسعه‌ای این معاونت، از سه محل زیر متصور است:

- پیش‌بینی اعتبار لازم در پیوست قانون بودجه سنواتی کشور، مانند سایر طرح‌های عمرانی
- پیش‌بینی و اخذ درصدی از بهای خدمات متناظر در تعرفه‌های بخش شهری
- اخذ بهای تمام شده خدمات در مناطق روستایی با جاذبه گردشگری و ویلاسازی

۶- پی‌نوشت‌ها

1- International Water Association (IWA)

۷- مراجع

آقازاده، م.، (۱۴۰۱)، "گفت و گو با نشریه شهراب"، نشریه شهراب، ۶۷۸، ۲۵.

ادیانی، ه. و قنادی، م.، (۱۳۸۹)، "نگاهی بر روند استقرار و توسعه مجتمع‌های آبرسانی روستایی"، نشریه آب و محیط زیست، ۷۸، ۱۷-۲۷.

پاکروح، ش. و قنادی، م.، (۱۳۹۷)، "رویکرد اجتماعی و درون سازمانی، نیاز و ضرورت مدیریت آب کشور"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، (۴)۳، ۶۵-۷۲.

<https://10.22112/jwwse.2019.151721.1113>

و مدیریت و راهبری، براساس قانون تجارت، غفلت‌شده و با تورم نیروی انسانی مازاد و ناکارآمد، دخالت‌ها و انتظارات گسترده و عدم توازن درآمدها و هزینه‌ها رو به‌رو است، نمی‌توان و نباید انتظار خدمات خوب را داشت.

در کنار این عامل‌ها که در حوزه شهری و روستایی مشترک است و با رعایت اختصار گفته‌شد، در حوزه خدمات آبرسانی روستایی، در پی‌ریزی و ایجاد تأسیسات، به مرحله اجرایی و بهره‌برداری و اجزای آن (پیش‌بینی ساختار سازمانی، راهبری، نگهداری و بهینه‌سازی طرح) که لازمه هر طرح عمرانی است، توجه نشده و نمی‌شود. به‌گونه‌ای که پس از تکمیل عملیات اجرایی و افتتاح رسمی پروژه‌های آبرسانی روستایی، به‌دلیل عدم پیش‌بینی نیازمندی‌های فاز اجرایی و بهره‌برداری، که به آن‌ها اشاره شد، بار مضاعفی به شرکت‌های آب و فاضلاب استانی تحمیل می‌شود و متأثر از فقدان توانمندی لازم در آن‌ها، در میان‌مدت و پس از گذشت چندسال، طرح‌های افتتاح شده، به‌شدت فرسوده و مُمرق شده و به‌تدریج توانایی خدمت‌رسانی را از دست می‌دهند و بار دیگر در فهرست اجرای طرح‌های آبرسانی قرار می‌گیرند. پُر واضح است که چُنین دور باطلی، نه تنها اتلاف سرمایه‌های ملی و شتاب‌زدگی و فقدان جامع‌نگری در مدیریت طرح‌های آبرسانی روستایی را هویدا می‌سازد، بلکه سبب می‌شود تا دوره اجرای «طرح ملی آبرسانی روستایی» که در گذر زمان، با نام‌های متفاوت، رنگ و لعاب تازه می‌یابد، به درازا کشیده و شاید هیچ‌گاه به پایان نرسد.

جان کلام آن‌که، در ایران، خدمات آبرسانی روستایی، پیشینه‌ای به بلندای بیش از شصت سال دارد. درس آموخته‌ها و تجربه‌های برآمده از فراز و فرودهای این راه طولانی، سرمایه مهمی برای هدفگذاری‌ها و ترسیم دورنمای آینده آن است. مروری بر پیشینه این بخش، به ما می‌آموزد که پایداری در خدمات آبرسانی روستایی، با درنظر داشت ویژگی‌های فرهنگی و اجتماعی زندگی روستایی و تفاوت‌های آن با شهرها (پاکروح و قنادی، ۱۳۹۷)، پیش از هر چیز، نیازمند سازمانی مستقل، حرفه‌ای و وظیفه‌مند در حوزه خدمات روستایی است. زیرا هم‌چنان که اشاره شد، یکی از موانع موفقیت در خدمات آبرسانی روستایی، تعدد و جا به‌جایی سازمان‌ها و نهادهای متولی آبرسانی روستایی بوده و در هر دستگاه متولی نیز، مسئولیت آبرسانی روستایی، در حاشیه وظیفه ذاتی و اصلی آن بوده است. حتی در چهار دهه اخیر نیز که آبرسانی روستایی، در زمره وظایف وزارتخانه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، جهاد سازندگی، جهاد کشاورزی و نیرو قرارداد شده، باز هم این مسئولیت، به‌تبع اهمیت وظایف ذاتی و

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۸۹)، "شرکت‌های آب و فاضلاب در گام چهارم و پنجم توسعه"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، چاپ اول.

مرکز آمار ایران، (۱۳۹۷)، "نتایج کلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵ کل کشور"، دفتر ریاست، روابط عمومی و همکاری‌های بین‌الملل، چاپ اول.

معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، (۱۴۰۱)، "صورت‌های مالی حسابرسی شده پایان سال ۱۴۰۰"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، (۱۴۰۲)، "صورت‌های مالی حسابرسی شده پایان سال ۱۴۰۱"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، (۱۴۰۲) "سالنامه آماری ۱۴۰۱"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، (۱۴۰۳)، "سالنامه آماری ۱۴۰۲"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

معاونت مهندسی و توسعه، (۱۴۰۱)، "پویایی و تلاش در یک دهه اجرا و ثمردهی طرح‌های آب و فاضلاب"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، چاپ اول.

قانع، ع. ا.، و قنادی، م.، (۱۳۹۸)، *مدارا و مدیریت شرکت‌های آب و فاضلاب*، شرکت آب و فاضلاب استان قزوین (ناشر)، ISBN: 978-964-193-0.

قنادی، م.، (۱۳۸۹)، "سرمقاله"، نشریه آب و محیط‌زیست، ۷۸، ۲.

Catley-Carlson, M., (2012), "Why water management starts at the local level", <http://www.un.org:80/wcm/content/site/chronicle/home/archive/issues2012/thefuturewewant/watermanagementstartsatthelocallevel>.

International Institute for Hydraulic and Environment Engineering, United Nations Development Program, (1991), "A strategy for water sector capacity building", *Proceeding of the UNDP Symposium*, Delft, 3-5 June, IHE DELFT, UNDP.

Maksimovic, C., and Tejada-Guibert, J., (2001), *Frontiers in urban water management*, IWA Publishing.

Malano, H., and Hafwegean, P.F., (1999), "Management of irrigation systems, A service approach", IHE DELFT, UNDP.

World Health Organization, (2000), "Operation and maintenance of rural water supply and sanitation systems, A training package for managers and planners", 5 December, Document No. WHO/SDE/WSH/00.2 ,

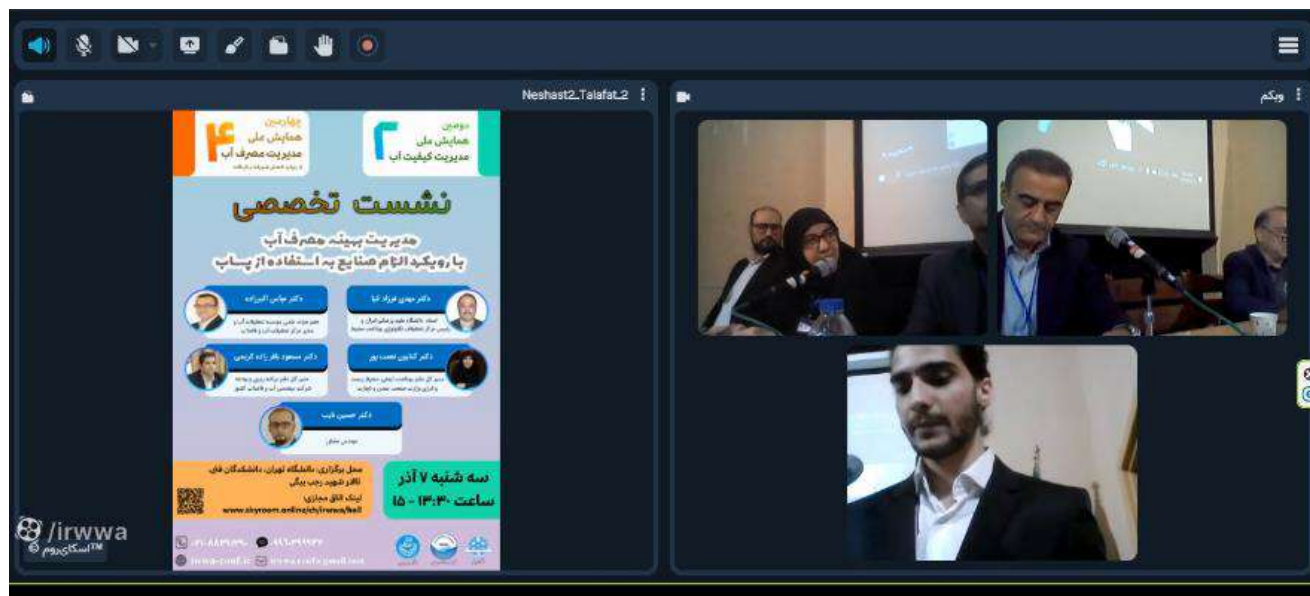
<https://iris.who.int/handle/10665/66716>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the

نشست تخصصی مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب
(دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت،
۷ تا ۹ آذرماه ۱۴۰۲، دانشگاه تهران)

لینک فیلم نشست: <https://www.aparat.com/v/eotT5>



اعضای نشست:

- دکتر عباس اکبرزاده (عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات آب و مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، مدیر نشست)
دکتر مسعود باقرزاده کریمی (مدیرکل دفتر برنامه ریزی و بودجه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)
دکتر مهدی فرزادکیا (استاد دانشگاه علوم پزشکی ایران و رئیس مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط)
دکتر حسین نایب (مهندس مشاور)
دکتر کتابون نعمت پور (مدیرکل دفتر بهداشت، ایمنی، محیط زیست و انرژی وزارت صنعت، معدن و تجارت)

من چند نکته را خدمت شما عرض می‌کنم و سپس فرمایشات دوستان و افرادی که در جلسه حضور دارند را می‌شنویم. نکته‌ای که می‌خواستم خدمت شما عرض بکنم همان‌طور که مستحضری هستید وزارت نیرو به لحاظ قانونی وظیفه تامین آب را برای بخش صنعت و کشاورزی و شرب برعهده دارد و طبیعتاً وقتی آب به اندازه کافی باشد و محدودیت نداشته باشد تصمیماتی که گرفته می‌شود توسط تصمیم‌گیران، ممکن است رنگ و بوی دیگری داشته باشد. ولی تصمیماتی که اخیراً در شهرها و مناطق دیگر گرفته می‌شود همه به دنبال راه‌کارهایی هستند که بتوانند کمبود آب و کاهش باران را به‌نوعی مدیریت کنند. از سال ۱۳۹۳ وزارت نیرو تصمیم گرفت که یک‌سری نقشه راه برای مدیریت این فضای خالی که بین تولید و مصرف آب وجود دارد داشته باشد که تا همین امروز ادامه پیدا کرده است. دو مورد از آن‌ها یکی نقشه راه تصفیه فاضلاب است و دیگری نقشه راه نم‌زدایی کشور که



دکتر عباس اکبرزاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام دارم خدمت همه عزیزانی که در جلسه شرف حضور دارند. تشکر می‌کنم از اعضای محترم پنل که دعوت ما را در انجمن آب و فاضلاب ایران پذیرفتند و تشریف آوردند تا به یکی از مهمترین موضوعاتی که به‌خصوص در سال ۱۴۰۲ مطرح شده است تحت‌عنوان استفاده از پساب در صنایع انشالله یک هم‌اندیشی داشته باشیم و به نتایجی برسیم که برای دوستانی که در تصمیم‌گیری هستند، اگر لازم هست کاری انجام بدهند خروجی خوبی داشته باشیم و به دوستانی که تصمیم‌گیر هستند، منتقل شود.

مستحضر هستید هر دو جزء اصلی آب‌های غیر متعارف است. پس باید قبول کنیم وقتی که آب‌های متعارف دارای محدودیت هستند باید برویم به سمت آب‌های غیرمتعارف. بخش نمک‌زدایی که در واقع سر جای خودش مباحث خودش را دارد. امروز همان‌طور که از اسم همایش مشخص هست بحث مدیریت مصرف هست و روی بخش مدیریت مصرف تمرکز می‌کنیم. یکی از راه‌ها پس می‌شود گفت افزایش تولید هست و یک قسمت دیگر هم مدیریت مصرف هست. در قسمت مدیریت مصرف باز بخش‌های مختلف وظایف مختلفی دارند. بخش کشاورزی یک کار را انجام می‌دهد، بخش شرب و بخش صنعت هم همین‌طور.

نکته دیگری که لازم می‌دانم قبل از فرمایشات سایر دوستان عرض کنم این است که هرکدام از این‌ها ویژگی‌های خاص خود را دارد. بعضی از دوستان در پنل صبح به این نکته اشاره کردند که شاید ما نتوانیم در حوزه شرب کاری انجام بدهیم، اما کار دیگری را می‌توانیم در بهینه‌کردن مصرف در کشاورزی یا صنعت انجام بدهیم. بنابراین باید تصمیم بگیریم بین المان‌هایی که در اختیار ما هست کدام‌یک را به‌عنوان ابزار مدیریتی برای مقابله با چالشی که در پیش روی ما هست استفاده کنیم.

یکی از این ابزارهایی که به‌هر حال دولت به آن رسیده است که باید استفاده شود و اتفاقاً جزو خروجی‌های نقشه راه تصفیه فاضلاب بود این است که ما از پساب‌ها استفاده بهینه کنیم. دوستان در گزارشاتمی که صبح خدمت شما ارائه کردند، به‌ویژه خانم دکتر زهرایی و آقای دکتر تجریشی، به این موضوع پرداختند که در کدام استان‌ها فاضلاب تصفیه می‌شود و پساب تصفیه شده‌اش رهاسازی می‌شود و مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

اما نکته‌ای که اختصاصاً این جلسه برای آن تشکیل شده است یعنی استفاده از پساب‌های شهری به‌عنوان منابعی که برای صنایع آب‌بر بزرگ مورد استفاده قرار بگیرد که در ۱۴۰۱ تحت‌عنوان یک دستورالعمل مشترک از طرف شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و شرکت مدیریت منابع آب ابلاغ شد و در سال ۱۴۰۲ در قانون بودجه آورده شد. خواهش می‌کنم آقای دکتر باقرزاده کریمی به‌عنوان اولین سخنران فرمایشاتشان را بفرمایند.



دکتر مسعود باقرزاده کریمی:

به‌نام خدا من هم سلام و وقت بخیر عرض می‌کنم خدمت حضار محترم. فرصت محترمی است برای من که بتوانم گزارشم را ارائه

بدهم. دانشگاه حرمتی دارد که ما وظیفه خودمان می‌دانیم که در جلسه‌های دانشگاه همراهی کنیم که هم تجارب خود را منتقل کنیم و هم از فرمایشات شما بهره‌مند شویم. همین بحثی که در آن قرار گرفتیم بسیار موضوع جدی و مهمی هست. چرا رویکرد وزارت نیرو این است که سیاست بازچرخانی را استفاده کند؟

زمانی که ما دانشجو بودیم سرانه آب کشور قبلاً ۲۶۰۰ مترمکعب بود و حال آن سرانه به ۱۲۰۰ مترمکعب در سال رسیده است و سیر نزولی شدید دارد که دارد ما را به وحشت می‌اندازد و ما نمی‌توانیم سیاست‌های قدیم خود را ادامه دهیم. شاید خیلی از گرفتاری‌هایی که در موضوع آب و منابع آب و مصارف آب مواجه شدیم سیاست‌هایی بوده است که در چند دهه گذشته به غلط در پیش گرفتیم، چه در آمایش سرزمین چه در جانمایی توسعه و چه در محوریت قرار دادن کشاورزی. مطلع هستید که ما با چه بهره‌وری و با چه وضعیتی به تولیدات کشاورزی و صنعت اهمیت دادیم. این‌ها ما را به این‌جا رسانده است که اگر بخواهیم خودمان را از روند نامتعارف و ناپایدار تغییر بدهیم و جهت‌گیری بیاید به سمت این‌که سیاستگذاری‌ها و تصمیم‌سازی‌ها باید از کجا شروع بشود.

اگر ما بخواهیم منابع آب کافی در اختیار داشته باشیم اتفاقاً مدیریت پساب مدیریت مصرف نیست بلکه مدیریت تولید آب است. چون آبی که ما در اختیار داریم ۱۰۰ میلیارد مترمکعب است که در داخل کشور توزیع آن اتفاق می‌افتد درباره توزیع این ۱۰۰ میلیارد مترمکعب در داخل کشور جالب هست بدانید که اطلاعات تازه‌ای است. برای شرب در سال ۱۴۲۰، ۱۳/۵ میلیارد مترمکعب که حدود ۱۲/۱ از منابع سرزمین و ۱/۴ از منابع نامتعارف خواهد بود. صنعت ۷/۶ میلیارد هست. ۳/۳ از منابع آب زیرزمینی و ۴/۴ از همین پساب که بحث امروز ما هست خواهد بود. برای کشاورزی هم ۵۱/۵ هست. اگر بپذیریم بالای ۷۵ میلیارد مصرف کشاورزی هست که این اتفاق خوبی است. حتی اگر در ۲۰ سال هم اتفاق بیفتد باز هم اتفاق خوبی است و جالب این است که برای کل فرایندهای محیط‌زیست هم ۳۴ میلیارد مترمکعب برای کل محیط‌زیست (گرد و غبار، تامین آب تالاب‌ها و غیره) در نظر گرفته شد که عدد قابل‌توجهی است. در سال‌های قبل ما ۱۱ میلیارد مترمکعب را از منابع تنظیم شده آب سدها برای محیط‌زیست در نظر می‌گرفتیم و این از کل منابع آب تجدیدپذیر است. این کل آب ما هست ولی اگر بخواهیم با این فرض و با این مصرف به جلو برویم این مقدار آب هم کفایت نخواهد کرد. استفاده چندباره و مجدد از آب یعنی به نوعی منابع آبی را افزایش می‌دهیم، پس مدیریت مصرف نیست.

میزان مصارف را باید در نظر بگیریم. حتماً روی مصارف تاکید کنیم در واقع مصارف درست نیست و باید درست در نظر گرفته شود و تخصیص‌ها درست باشد. ما بیشتر بر روی این‌که منابع را چطور کنترل کنیم تمرکز کردیم و اصلاً روی مصرف تمرکز نکردیم که مصرف را چه‌طور کنترل کنیم. در بخش کشاورزی عملاً اتفاقی که افتاده است این است که کشاورزی از منابع آب سطحی $38/2$ و از منابع آب زیرزمینی $43/8$ را استفاده می‌کند. بنابراین رویکردی که در روش شناسی استفاده می‌کنیم صرفاً این نباشد که موارد را دسته بندی کنیم. باید حتماً روی مصارف تاکید کنیم. ما کشوری داریم که کم‌کم به سوی کم آبی می‌رود نه این‌که خیلی کم آب باشیم، اما مصارفمان درست نیست.

ما به‌عنوان بخش صنعت روزی که گفته شد از پساب استفاده بکنید همین الان هم داریم درصدی از پساب را در صنایع‌مان استفاده می‌کنیم. اما موضوع مهم این است که اگر در نقشه راه از پساب بخواهیم استفاده بکنیم چون در همین ابتدا هم این کار را انجام می‌دهیم در چند سال اول ممکن است این درصد بالا برود. اما اگر یک پروسه ۲۰ ساله را ببینیم در انتهای ۱۴۲۰ بیشتر از ۵۰ درصد نمی‌شود روی صنعت در استفاده از پساب حساب کرد. اتفاقی هم که می‌افتد این است که ما در همه صنایع هم نمی‌توانیم از پساب استفاده کنیم. یعنی اگر آب صنعت را به دو قسمت آب فرایندی و غیر فرایندی تقسیم بکنیم در آب غیر فرایندی که اصلاً نمی‌توانیم استفاده بکنیم. در قسمت فرایند نیز خیلی از صنایع امکان استفاده از پساب را ندارند و این مورد باید مدنظر قرار گیرد. اتفاق دیگری که در بخش صنعت افتاده است به این صورت است که شرایط کشور نه تنها در مورد آب بلکه برق و گاز هم همین اتفاق افتاده است. یعنی صنعت طوری شده که همه را می‌گویند خودت تامین کن. هرطور که می‌توانی خودت تامین کن. الان ما چهار خط انتقال آب داریم که از جنوب از خلیج فارس و دریای عمان به سمت بالا می‌آوریم. همین خود هزینه گزافی دارد که صنعت در چهار مسیر آب خود را تامین می‌کند و شرکت‌های مختلف این کار را انجام می‌دهند.

به‌عنوان جمع بندی می‌خواهم بگویم که بخش صنعت تمام زیرساخت‌ها را تکلیف شده که خودش تهیه و فراهم بکند از آب گرفته تا مسائل دیگر خیلی متشکرم.



دکتر مهدی فرزادکیا:

مدیریت مصرف خیلی از پارامترها هست که از سطح سیاست‌گذاری تا سطح فردی باید روی آن کار شود. حداقل حسن مدیریت پساب این است که ما یک منبع آبی مطمئن را به‌ویژه برای صنعت تامین می‌کنیم. هم با مدیریت کیفی می‌توانیم معضلات محیط‌زیستی آن را کاهش بدهیم و هم بخشی از نیازهای صنعت را تامین کنیم.

خوشبختانه در تکالیف قانون می‌شود چه در برنامه سالانه بودجه و چه در برنامه هفتم، حتی در سیاست‌های وزارت نیرو و بخشنامه سال ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که نگرش دولت و حتی مجلس به‌صورت قانونی دارد جلو می‌رود که از این به بعد باید تامین آب صنعت را از طریق پساب داشته باشیم. این ظرفیت مناسبی است ولی هر چند منبع عظیمی نیست اما برای صنعت در ۱۴۲۱ بیش از ۵۰ درصد نیاز را تامین خواهد کرد.

دکتر عباس اکبرزاده:

تشکر می‌کنم آقای دکتر. درخواست می‌کنم از خانم دکتر نعمت‌پور مدیرکل محترم بهداشت ایمنی و محیط وزارت صمت چون آن قسمتی که باید بخش اجرایی این موضوع را انجام دهد وزارت صمت هست و طبیعتاً شاید ممکن است که چالش‌های جدیدی برای صنعت داشته باشد که در این خصوص موضوعاتی را لطف بفرمایند و بقیه دوستان هم لطف کنند نظر خودشان در این مورد را بیان کنند.



دکتر کتایون نعمت‌پور:

بسم الله الرحمن الرحيم سلام عرض می‌کنم خدمت همه دوستان و عزیزان محترم. همان‌طور که اشاره شد کل منابع آب تجدید شونده ما ۱۰۳ میلیارد هست. از منابع آب سطحی از ۵۹ میلیارد مترمکعب چیزی حدود $1/6$ میلیارد برای صنعت هست. از منابع آب زیرزمینی که ۴۴ میلیارد است چیزی حدود $1/4$ میلیارد برای صنعت هست. حال به این نکته توجه داشته باشیم که صنعتی که کلاً ۲ تا ۳ درصد از آب کل کشور را مصرف می‌کند با توجه به آمارهای متفاوتی که وجود دارد و از طرفی باید نگاه کنیم که چه ارزش افزوده‌ای را صنعت برای کشور می‌تواند داشته باشد و چه اتفاقاتی می‌افتد. این‌که حالا بیاییم صنعت را محدود کنیم به‌نظر من باید راه کارهای متناسب‌تری را در نظر بگیریم. باید همه موارد را کنار هم بگذاریم. از کشاورزی تا شرب و بهداشت و تا صنعت

بسم الله الرحمن الرحيم. خیلی خوشحالم که در جمع دوستان هستم. اجازه می‌خواهم که یک نگاه دیگری به این مسئله داشته باشم. فرمایشات خانم دکتر و آقای دکتر را شنیدیم. ببینید ما یک مسئله‌ای داریم به اسم محدودیت. محدودیت منابع آب و چالش منابع آب و چالش مدیریت آب که همه با آن روبرو هستیم و یکی از راه‌کارهایی هم که ارائه شده است استفاده از پساب در صنایع است که می‌تواند اثرات سوء هم داشته باشد و باید همه این‌ها را در نظر بگیریم. وقتی که ما مهندسی مشکل می‌خواهیم بکنیم و حلش بکنیم، اولین کار این است که در واقع باید وضعیت موجود را بررسی کنیم و تشخیص بدهیم با چالشی به نام محدودیت منابع آب روبرو هستیم. الان این چالش را اگر کالبد شکافی بکنید آیا ما آمار و اطلاعات کمی و کیفی از منابع آب داریم؟ اگر داریم این آمار در دست متخصصین مان هست یا خیر؟ من می‌دانم که آمار داریم اما در دسترس نیست. مثلاً در مورد کارهای دانشجویی قطعاً این آمار در اختیار شما قرار نخواهد گرفت که می‌تواند کمک‌کننده باشد که بفهمیم مشکل چیست و راه‌کارهای جدیدتر بدهیم. همه قفل‌ها با یک کلید باز نمی‌شود. ما این آمارها و بانک اطلاعاتی را نداریم. اگر هم داشته باشیم آن را در اختیار دانشگاهیان، متخصصین و دانشجویان قرار نمی‌دهیم تا بتوانند استفاده کنند و در حل مشکل کمک کنند.

مشکل بعدی این هست که اگر داده‌های گذشته را داشته باشید می‌توانید روندیابی از گذشته را به حال و از حال به آینده داشته باشید و مدل‌سازی و برنامه‌ریزی بکنید. نقص در این اطلاعات باعث می‌شود که ما با یک مشکل از یک منظر روبرو شویم و یک کلید هم برای حل آن ارائه دهیم. باعث می‌شود که بتوانیم بگوییم. اما الان می‌گویید بروید و این مشکل را با بازچرخش حل کنید. با بازچرخش هم می‌شود انجام شود که بخشی را می‌تواند حل کند. پس اولین بحث این است که ما مشکل را کالبد شکافی بکنیم مبتنی بر آمار و اطلاعات و دیتا تا بتوانیم برنامه‌ریزی بکنیم. برنامه‌ریزی منطقه‌ای و محلی هست و کشوری نیست. مشکلی که در اراک هست مشکل آلودگی که داخل اراک هست با مشکل صنعت و آلودگی در اصفهان متفاوت است و یا با شیراز یا مشهد متفاوت است و باید منطقه‌ای و محلی فکر کنیم و راه حل بدهیم و یک کلید برای همه این منطقه‌ها نمی‌تواند جوابگو باشد. من یادمه یک کاری انجام شده بود در دانشگاه شریف در بحث اقلیم. هفت اقلیم را تقسیم‌بندی کرده بودند. ما براساس الگوی صنعتی، منابع آن، کیفیت آب، کمیت آب می‌توانیم تقسیم‌بندی کنیم و یکی از کارهایی که می‌توانیم براساس همین آمار و اطلاعات انجام بدهیم این است که اصلاً کجا

صنعت برود و کجا صنعت نرود؟ توزیع صنایع ما خیلی جاها نامتوازن هست. در جاهایی صنعت رفته است که شاید در آنجا منابع آب جوابگو نبوده است. ما صنعت را در یزد ایجاد کردیم. از اصفهان آب می‌بریم. خیلی از مشکلات به این صورت است چون شناخت منطقه‌ای و محلی و برنامه‌ریزی وجود نداشته است. ببخشید شاید من به صورت مستقیم خیلی درباره مسئله پساب صحبت نمی‌کنم. اما می‌خواهم یک بحث چالشی را مطرح کنم که در واقع می‌شود این‌ها را جایگزین کرد.

بحث بعدی بعد از شناسایی و آمار و اطلاعات بحث سرویس‌های موجود است که سرویس‌های آبرسانی به صنعت درست هستند یا خیر. براساس این اطلاعات و این سرویس‌ها می‌توانیم نقشه نیازسنجی را بکشیم و براساس آن می‌توانیم طرح‌های پایلوت را ایجاد بکنیم که آن هم محلی و منطقه‌ای است و در کشوری با هم متفاوت هست و در اشل محلی باید برای زیست‌بوم و اقلیم و نوع صنعت برنامه‌ریزی بکنیم. متأسفانه ما با مشکل مواجه شدیم چون براساس منابع آب طراحی صنعت نکردیم صنعتمان را بردیم در منطقه و می‌خواهیم برای آن آب ببریم. مثل شهرنشینی که اول شهرها را درست می‌کنیم و بعد می‌گوییم آب نداریم. برق نداریم. گاز نداریم. اول باید این‌ها را درست می‌کردیم و بعد شهرها را ایجاد می‌کردیم. نکته آخر هم بهینه‌سازی و در واقع چرخه مدیریت هست. اگر فرصت باقی باشد صحبت‌هایی هم در این رابطه انجام می‌دهم. خیلی ممنون و متشکر.



دکتر حسین نایب:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و وقت بخیر دارم خدمت همه حضار محترم من سعی می‌کنم هر دو بخش را تکمیل کنم اگر اجازه بدهید در ده دقیقه عرایض را داشته باشم. موضوعی که در خدمتان هستم بازتخصیص آب مصرفی صنایع، چالش‌ها و ابهامات هست. در سال‌های گذشته موضوع بازتخصیص آب در بخش صنعت و بازتخصیص آب‌های غیرمتعارف به بخش صنعت در قوانین مختلف ما وجود داشته است. هم‌چنین که بحث بهره‌وری هم در قوانین مختلف وجود داشته است. اسناد بالادستی و قوانین موضوعه و سایر دستورالعمل‌ها و بخشنامه‌های موجود در کشور بحث بازتخصیص آب از منابع غیر متعارف و ارتقا و بهره‌وری وجود داشته است. در سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ دو قانون ما

داشتیم یکی بحث قانون برنامه هفتم توسعه و همچنین قانون بودجه ۱۴۰۲.

در بند (ج) ماده ۳۹ برنامه هفتم توسعه بحث بازتخصیص آب مصرفی صنعت از منابع غیرمتعارف درج شده است و یک عبارتی آن‌جا با عنوان کاهش آب مصرفی بخش صنعت و معدن و نه افزایش بهره‌وری این آب و کاهش شدت مصرف درج شده است. در قانون برنامه هفتم و در بند ۸ این تبصره قانون بودجه ۱۴۰۲ بحث این بوده است که این بازتخصیص با هماهنگی وزارت صنعت برای صنایع در نظر گرفته شود. همان‌طور که بنده عرض کردم علی‌رغم وجود قوانین و رهنمودهای مختلف تا الان فراگیری استفاده از پساب در بخش صنعت در کشور همه‌گیر و فراگیر نبوده است. این موضوع به نمونه‌های محدودی در صنایع آبر در مناطق خاصی محدود شده است. اگر بخواهیم براساس الزامات قانونی صنایع را مجبور کنیم به استفاده از منابع آب غیرمتعارف از جمله پساب، یک بارگذاری بر بخش صنعت داریم که پیامدهای متعددی را در پی خواهد داشت.

در سال‌های گذشته یک سری دستورالعمل‌ها برای تخصیص منابع آب غیرمتعارف از جمله پساب هم وجود داشته است که قوانین اخیر تقریباً با آن‌ها هم راستا نیست. به‌عنوان مثال بخشنامه‌ای که سال ۱۳۹۳ برای تخصیص پساب در دشت‌های مختلف کشور داشتیم و ارتباطی ایجاد شده بود در این بخش‌نامه بین برداشت آب برای شغل در دشت‌های مختلف و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها ملاحظه می‌کنید که با تخصیص کامل آن بخش پساب به صنایع یک مقدار غیر هم‌راستا هست. لازم است برای پیاده‌سازی و اجرایی سازی قوانینی که بنده اخیراً عرض کردم یک‌سری مطالعات صورت بگیرد که اثرات محیط‌زیستی و همچنین مباحث مربوط به افزایش تقاضا و کاهش بهره‌وری در آن در نظر گرفته شود.

یک گریزی به بحث کارکرد بخش صنعت در اقتصاد بزنم. در خصوص بهره‌وری مصرف آب اگر بخواهیم اشاره‌ای داشته باشیم ما در بخش کشاورزی که به ازای هر مترمکعب ارزش افزوده‌ای که در بخش کشاورزی داریم در ابتدای دهه ۹۰ چیزی بین ۱۳ هزار تا ۱۵ هزار ریال به‌ازای هر مترمکعب در بخش کشاورزی ما بهره‌وری اقتصادی آب داشتیم. این عدد در بخش صنعت چیزی در حدود یک میلیون و ۸۱۹ هزار ریال بوده است که این یک نسبت تقریباً صد برابری بین ارزش افزوده و بهره‌وری اقتصادی در بخش صنعت و در بخش کشاورزی است. عدد کل کشور در بحث بهره‌وری اقتصادی آب چیزی در حدود ۱۲۰ هزار ریال است. سیمای استان‌های ما هم از بخش بحث ارزش افزوده تقریباً

اغلب استان‌هایی که ارزش افزوده آن‌ها بالا است میزان بخش صنعتشان غالب است. این همان بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی است که امیدوارم من در ذکر اعداد اشتباه نکرده باشم. من فقط یک‌سری گزاره را عرض می‌کنم. نسبت‌های تامین آب در بخش‌های مختلف را هم من یک اشاره‌ای داشته باشم. صنعت تنها بخشی در کشور هست که بارگذاری نسبی کمتری به نسبت آب‌های سطحی بر آب‌های زیرزمینی دارد. ما بحث فرونشست را اگر بخواهیم در نظر بگیریم، صنعت سهم کمتری به نسبت سایر بخش‌ها در مصرف آب داشته است.

شاخص‌های اقتصادی کشور حاکی از تاثیرگذاری بی‌بدیل صنعت در اقتصاد این کشور است. اگر کشور می‌خواهد GDP را افزایش دهد و توسعه اقتصادی داشته باشد باید این‌جا بین این دوراهی یکی از این راه‌ها را انتخاب کند. آیا توسعه اراضی تحت کشت کشاورزی را داشته باشیم؟ یا نه برویم آب را سرمایه‌گذاری کنیم در بخش صنعت و GDP و ارزش افزوده بالاتری را در نظر بگیریم؟ حاصل رویکرد توسعه منابع توسعه هم‌عرض تقاضای منابع شرایط کنونی است. یعنی ما هر مقدار تقاضا وجود داشته باشد منابع را از متعارف و غیرمتعارف افزایش بدهیم. یک مرزی باید برای آن در نظر بگیریم. راه کار برون‌رفت از شرایط حاضر مدیریت تقاضا و افزایش بهره‌وری چیزی که ما در بخش صنعت با آن مواجه هستیم گرچه بخش صنعت هم باید بهبود مستمر بهره‌وری داشته باشد.

در نهایت یک‌سری چالش‌ها وجود دارد و من صرفاً به بخش پساب بسنده می‌کنم. استفاده از پساب شهری در بخش صنعت محتمل تامین آب‌های نامتعارف در بخش صنعت بازچرخانی پساب صنعتی است. منابع شور درون سرزمین هست، آب دریا هست، استفاده از پساب شهری هست. استفاده از پساب شهری اگر بخواهیم چالش‌ها را با توجه به موضوع نشست مطرح بکنم مشخصات کیفی هست. خروجی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یک آنالیز کیفی نیاز دارد. نیازمندی آب بخش صنعت یک نیازمندی کیفی دارد. یک خلا این‌جا وجود دارد. برعهده چه ارگان و چه دستگاهی خواهد بود این خلا را پوشش دادن؟ یعنی مثلاً ما BOD زیر ۵ برای بخش صنعت احتیاج داریم. BOD خروجی تصفیه‌خانه‌ها چیزی حدود ۱۰۰ یا چیزی حدود ۶۰ هست. این اختلاف را چه کسی باید در نظر بگیرد؟ محدودیت‌های کمی که خانم دکتر به‌درستی اشاره فرمودند محدودیت‌های مهمی هست در بحث پساب شهری. فاصله نقاط مصرف و تولید خطوط انتقال حتماً لازم است به این دو توجه شود. به ملاحظات اقتصادی تعرفه‌گذاری بخش پساب لازم است اشاره شود. در نهایت زمانی

که ما پساب را داریم یک اولویت داریم به اسم صنعت و یک اولویت داریم به اسم آب‌های زیرزمینی. کدام را باید انتخاب کنیم؟ در دشت‌های بحرانی آیا صنعت باید برداشت کند یا آن آبخوانی که وضعیتش بحرانی هست؟ در نهایت در اغلب قانون‌گذاری‌ها عدم شفافیت‌هایی وجود دارد که ناشی از تعارض منافع و هم‌چنین عدم شفافیت‌ها مطالعات بنیادینی که ممکن است وجود داشته باشد و این ممکن است تاثیرگذار بوده باشد. در تدوین قوانین حاضر من فکر می‌کنم حتماً ابرشرکت‌های نمک‌زدایی و انتقال آب به فلات مرکزی ایران تاثیرگذار بوده‌اند. من سعی می‌کنم عرایض را به اتمام برسانم. امیدوارم در جلسات دیگری بتوانیم به‌صورت عمیق‌تر و با وقت بیشتری موارد را ارائه بدهیم.

دکتر عباس اکبرزاده:

ممنون از ارائه خوب شما. قبل از این که در این قسمت میکروفون را در اختیار حضار گرامی قرار بدهم یک نکته‌ای را با استفاده از فرمایشات خانم دکتر عرض می‌کنم که به‌درستی اشاره کردند که آن موقعی که در بحث‌های آکادمیک آدم یک بحث‌هایی را به نظرش می‌رسد که چرا مثلاً دولت به این فکر نرسیده است؟ خیلی موضوع واضحی است ولی هنگام اجرا با مواردی مواجه می‌شود که قبلاً ندیده و در اجرا محدودیت‌های بیشتری است.

سوال چالشی را به این‌صورت مطرح می‌کنم شاید به دوستان کمک بکند برای مشارکت. ما محدودیت داریم و دنبال راه‌کار هستیم. فرض کنید که شما دولت هستید و شما دارید تصمیم می‌گیرید و منابع محدودی دارید و می‌خواهید مدیریت بکنید. یک قسمتی هست به‌نام کشاورزی و زمان آن هم مشخص است. اولاً که هیچ‌کدام از ما اعتقاد به داستان مرغ و تخم مرغ نداریم که چرا صنعت؟ چرا کشاورزی نه؟ یا چرا کشاورزی؟ چرا صنعت نه؟ بالاخره یک‌جا باید شروع شود. بحث ما سخت بودن برای اجرا است. شما فرض کنید که دولت باشید. آیا از جایی که کم آسیب‌ترین نقطه است وارد می‌شوید یا از جایی که آسیب بیشتری دارید؟ منظور از این حرف چیست؟ یعنی یک المان آب را شما دارید تا در جایگاه حاکمیت آن را مدیریت بکنید و محدود هم هست. می‌توانید بدهید به کشاورزی یا به صنعت. این‌جا چقدر ارزش افزوده تولید می‌کند؟ آن‌جا چقدر ارزش افزوده تولید می‌کند؟ اما نکته دوم این است که سهم هزینه‌های تولید محصول در محصولات پر آب‌بر مثل فولاد، مثل سایر موارد، این‌ها چند درصد است؟ دوستان در جلسه قبل گفتند زیر یک درصد. به این نکته هم دقت کنید همه نکاتی که دوستان اشاره کردند درست بود. اما وقتی که قیمت تمام‌شده یک شمش مس A تومان است

و یک درصدش پول آب است حقیقتاً عقل سلیم حکم می‌کند که اگر ما می‌خواهیم یک مقداری ریاضت بکشیم ریاضت را در کدام قسمت بکشیم؟ این به این معنا نیست که کشاورزی را رها کنیم یا محیط‌زیست را فدا کنیم. در کجا باید ریاضت بکشیم؟ موضوع این است که فکر کنید در یک خانواده‌ای پدر خانواده هست که در یک قسمت ضعیف است و در قسمت دیگر بهتر است. طبیعتاً اگر یک رویدادی هست که می‌خواهند در آن هزینه بکنند از بچه پولدارتر بیشتر کمک می‌گیرند. یک مثال من خدمت شما عرض بکنم. وقتی استانداردهایی را در کالاهای آب‌بر منازل تدوین کردیم برای ماشین لباسشویی و فلاش‌تانک و غیره یکی از افراد گفت که من اگر بخواهم استانداردها را تغییر بدهم طبق استاندارد شما، ضرر می‌کنم و ما نمی‌خواستیم که صنعت ضرر بکند. در این‌جا ما آمدیم و در اجرا یک بالانسی را انجام دادیم و گفتیم شما یک سال دو سال صبر بکنید و بعد ببینید. یک نمونه واقعی در صنعت مثال بزنم. در فاصله ۵ کیلومتری آذربایجان یک نیروگاه داریم، یک پتروشیمی و یک پالایشگاه که طبق قانون وزارت نیرو از آب زرینه‌رود و سیمینه‌رود استفاده می‌کردند و اعداد خیلی پایین و ناچیز که ما پیشنهاد دادیم از پساب تصفیه‌خانه‌ها استفاده بکنند. فرمایشات دوستان صبح هم بود. یک جمله خیلی واضحی را یک بزرگواری که آن‌جا بودند به ما گفتند. گفتند این کاری که شما می‌خواهید ما انجام بدهیم الان از پساب استفاده بکنیم، این هشت برابر مثلاً قیمتی است که من از آن آب قبلی استفاده می‌کنم. بنابراین ما اینجا چالش داریم و حتماً باید تصمیم درست بگیریم. در این قسمت خواهش می‌کنم دوستان اگر نظر یا سوالی دارید بفرمایید.

سوال اول: عرض سلام دارم من موسوی هستم دکترای تاسیسات آبی. یک سوالی داشتم که آقای دکتر باقرزاده فکر کنم اگر لطف کنند جواب بدهند. روزی یکی از مهندسين مشاور به من گفت که ما رفتیم تانزانیا کار کنیم اصلاً تفکر حوزه‌ای در مردم تانزانیا به‌صورت خودجوش است. یعنی وقتی می‌خواهند یک خانه بسازند می‌گویند که آیا حوزه آبی این اجازه را می‌دهد یا خیر. ما باید تفکر حوزه‌ای داشته باشیم. اصلاً بحث این نیست که صنعت چه چیزی باشد و کجا باشد. ما می‌گوییم اصفهان در حوزه زاینده‌رود یک میلیارد آب دارد، ۳۰۰ میلیون آن برای محیط‌زیست است که در واقع برای گاوخونی هست تا برسد به گاو خونی ۱۷۰ میلیون آن می‌رود و ۱۳۰ میلیون می‌ماند و آن را هم تقسیم می‌کنیم. اگر به صنعت رسید رسید، اگر نرسید صنعت باید جمع کند برود. یا در جاده مخصوص کرج آن‌جا هم حوزه آبریز هست. آیا این

و در واقع داریم مملکت داری می‌کنیم. بنابراین باید به تدریج این گرایش‌ها را داشته باشیم، هرچند که کارشناسانی مثل شما و بنده سالیان سال این را می‌گوییم. اما اگر نیاز باشد که یک جریانی اینرسی‌اش تغییر بکند بسیار سنگین است. ما محوریت را بر کشاورزی گذاشتیم. دوستان هم اشاره کردند. البته ما تاکنون بحثمان روی کشت فراسرزمینی بوده است نه صنعت فراسرزمینی.

یک نکته‌ای هم که داشته باشیم این است که در سیاست پساب دو موضوع و دو نکته را داریم دنبال می‌کنیم، یکی حکمرانی درست آب برای تامین آب بیشتر، که ما آب بیشتری را ذخیره می‌کنیم. حالا یا در محیط‌زیست که دوستان می‌گویند مثلاً آب پساب هدر می‌رود ما هیچ هدر رفتی نداریم. حتی آبی که در دریا می‌رود نباید همکاران بگویند که هدر رفت. آن هدر رفت نیست و به همان صورت کارکرد خودش را انجام می‌دهد. بنابراین وقتی می‌گوییم پساب استفاده می‌کنیم به هر حال کارکرد خودش را انجام می‌دهد، چه در رودخانه، چه در صنعت، چه در کشاورزی. سیاست دوم ما هم اقتصاد آب است. صنعت باید خودش را با آبی که قیمت درست و واقعی دارد تطبیق بدهد. کشاورزی هم باید این واقعیت را بپذیرد که دیگر دوران یارانه‌ها تمام شده است و زمان آن گذشته است. من همیشه در همه‌جا تکرار کردم اشتباه استراتژیک ما یارانه دادن به آب و برق و انرژی است و این، منابع سرزمینی ما را نابود کرده است. چه طور می‌شود که ما در ارومیه ۴۰۰ هزار هکتار دریاچه را خشک می‌کنیم و در همان ارومیه سیب را یک میلیون و ۲۷۰ هزار تن تولید می‌کنیم در سال ۱۴۰۰ که ۴ هزار تن آن پای درختی است و آن را ۴۵۰۰ تومان می‌فروشیم که برای کشاورز ۵۵۰۰ در آمده است. این معادله را هیچ‌گونه نمی‌توان حل کرد مگر با یارانه دولت. ما از جیب مردم این پول را در می‌آوریم و در جیب کشاورز همین را نمی‌ریزیم. در جیب مصرف کننده هم نمی‌ریزیم و این در جیب بنکدار ریخته می‌شود. آن از کشاورزی ۱۵ تومان سیب را می‌خرد و به من مصرف کننده ۴۵ تومان می‌فروشد و این اختلاف را در واقع استفاده می‌کند. یارانه آب و برق را او می‌برد نه من و کشاورز. بنابراین دوران این سیاست‌ها تمام شده است. حالا دولت متوجه این کار شده و سریع خود را بازسازی می‌کند. یکی از موارد صنعت است که باید در خصوص قیمت تمام شده یک عددی را نمی‌شود دلبخواهی گذاشت. در اقتصاد پساب درست است که پساب آب متعارف درست است که قیمتش را می‌گوییم مفت است. اما ارزش خاص خودش را دارد. ما برای همین پساب‌ها جا هزینه برای تصفیه و انتقال و ... داریم. جایی که شما آب ندارید و نمی‌توانید

حوزه که آب زیرزمینی و تجدیدپذیر هست جواب می‌دهد برای صنعت یا کشاورزی؟ وقتی که جواب نمی‌دهد باید جمع کند و برود.

در حوزه زاینده‌رود هم همین بود. در حوزه زاینده‌رود اول آمدند مصرف تعریف کردند. بعد می‌گویند برویم آب از سرشاخه‌های کجا بیاوریم. حق محیط‌زیست مشخص است. اگر محیط‌زیست یعنی زندگی، وقتی تالاب از بین برود یعنی زندگی از بین رفته است. شما تالاب را می‌خواهید، ۳۳ پل که آثار یونسکو است را می‌خواهید یا می‌خواهید چند کیلو فولاد تولید کنید؟ بحث این جا است که اول باید حقایق محیط‌زیست داده شود و بعد سراغ صنعت و کشاورزی برویم. قطعاً هم صنعت در یک کشور خشک ارجحیت دارد.

سوال دوم: سوالی که هست این است که ما نیاز به کشاورزی در کل داریم. اگر کشاورزی نباشد ما هر چیزی را بخواهیم وارد کنیم باید دو برابر هزینه کنیم. به نظر من ما می‌توانیم از کشورهای دیگر زمین بگیریم، صنعت در آن جا درآمدزایی کند و داخل ایران ما بتوانیم کار کشاورزی خودمان را انجام دهیم. این پیشنهاد بنده است.

دکتر باقرزاده کریمی:

بسم الله الرحمن الرحيم. آقای دکتر موسوی از دلسوزان و کارشناسان زنده حوزه آب در کشور هستند و نگاه ایشان و دیدگاه ایشان در کشور اتفاق افتاده است. بسیار درست است، رویکرد حوزه‌ای در آمایش سرزمین واقعا جایگاه بسیار ویژه‌ای دارد. هرچند ما باید فرق بگذاریم بین این که در یک حوزه ما می‌خواهیم فی‌البداهه جانمایی کنیم یا حوزه‌ای را به ما تحویل می‌دهند که برای مثال ۴ میلیون انسان در اصفهان ساکن شدند. یعنی شرایط موجود و شرایطی که در آینده می‌خواهیم ترسیم بکنیم باید تفاوت قائل شویم. اتفاقاً وزارت نیرو این نگاه حوزه‌ای را به طور جدی دنبال می‌کند؟ در واقع سازماندهی مجدد مدیریت منابع آب براساس حوزه‌ها در دستور کار قرار گرفته است. هرچند از اراده وزارت نیرو تا اجرا شدن آن بسیار فاصله هست، چون همه باید به این تمکین بکنند و فقط یک دستگاه نمی‌تواند به تنهایی پاسخگو باشد. ولی اگر امروز قرار بود تصمیم بگیریم که یک صنعتی را در منابع مناطق کم آب مستقر کنیم این اجازه داده نمی‌شود و متأسفانه ما این را خیلی دیر شروع کردیم. مثلاً در دامنه جنوبی البرز ۳۰ درصد اقتصاد، ۲۵ درصد صنعت و ۴۰ درصد جمعیت در دامنه جنوبی البرز هست و بارندگی در آن جا زیر ۲۰۰ میلی‌متر است. اصلاً این عقلانی نیست ولی باید با شرایط فعلی جلو برویم

تأمین کنید، من پساب دارم اما این مقدار هزینه دارد. هزینه آن را نمی‌خواهم از مردم بگیرم، از ارزش افزوده خودتان بدهید. این تمام ماجرای پساب است.

دکتر عباس اکبرزاده:

قبل از این که خانم دکتر شروع بفرمایند من یک نکته‌ای را بگویم جسارتاً در ارتباط با فرمایشات آقای دکتر موسوی که از دلسوزان صنعت آب کشور هستند. مطمئناً این را از سر دلسوزی گفتند و مطمئناً شاید نیتشان این نباشد. ببینید ما از این دست جملات در اجتماع داریم متأسفانه که هرکسی نمی‌تواند جمع کند و برود. صنعت جمع کند برود. کشاورزی جمع کند برود. ببینید ما هیچ چیز را نمی‌خواهیم جمع بکنیم. اگر کسی براساس چارچوب‌های اجرایی کشور می‌خواهد حاکمیت خوب را اجرا بکند ما نمی‌گوییم قبلاً هر کار کردیم درست بوده است. هر کاری قبلاً انجام شده است درست است. اما ما وارث همین‌ها هستیم. مدیریت بکنیم بستن یک صنعت کاری نیست که با آن همه ارزش افزوده‌ای که دارد تولید می‌کند، آن همه نیرویی که آن‌جا کار می‌کنند. بنابراین همان‌طور که خانم دکتر گفتند اجرا سخت است. یعنی باید کاری کنیم که علی‌رغم این که این محدودیت‌ها را بپذیریم و با توجه به آن‌ها کاری بکنیم و با توجه به محدودیت‌ها شاید یک مقداری بخواهیم انقباضی عمل بکنیم. اما در عین حال به هیچ یک از قسمت‌ها آسیبی وارد نشود.

دکتر کتابون نعمت‌پور:

متشکرم از شما و آقای موسوی. ببینید الان در نقشه راه آب کشور که امیدوار هستیم انجام شود مسئله اصلی محیط‌زیست است و دغدغه همه ما این موضوع هست. قرار شده است که ۸۲ میلیارد آبی که در حال حاضر در بخش کشاورزی مصرف می‌شود تا ۵۱ میلیارد مترمکعب کاهش پیدا کند. این مقدار کاهش قرار است در سایر قسمت‌ها استفاده شود. مسئله این است که ما حتماً باید طبق فرمایش دوستان کشاورزی را داشته باشیم. اصلاً مگر می‌شود کسی کشاورزی نداشته باشد؟ اما موضوع این است که ما با راه‌های بسیار ساده و بسیار ارزان همان‌طور که جناب آقای دکتر فرزادنی هم اشاره کردند با بهینه‌سازی و مدیریت می‌توانیم مصرف را کاهش دهیم و در جاهایی که ارزش افزوده بهتری دارد استفاده کنیم. اما در حال حاضر ما با مسئله‌ای در کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست روبرو هستیم و شرایطی پیش آمده است که خوشایند مسائل تئوریک و آن چیزی که همه ما به آن اعتقاد داریم نیست. بنابراین باید مسیر را به‌گونه‌ای درست کنیم که

حداقل از الان به بعد درست حرکت کنیم. مقوله‌ای که من می‌خواستم خدمت شما عرض کنم مسئله آمایش سرزمین است. ما یک کاری را در وزارت صمت تحت‌عنوان آمایش سرزمین در دست انجام داریم و امیدوارم هستیم که بیرون بیاید و این موضوع هم که حالا همه بروند در سواحل مستقر شوند آن موضوع هم مشکلات خاص خودش را خواهد داشت. بنابراین ما باید واقعا متوازن کار کنیم. سوال دیگری که مطرح شد و من باید جواب بدهم در رابطه با قیمت واقعی آب در بخش صنعت که یک درصد هست ما به این اعتقاد نداریم. به دلیل این که اگر بخواهد این قانون تبصره ۸ انجام شود در واقع یک متوسطی از قیمت آب غیرمتعارف در آن منطقه خاص براساس میانگین قیمت پساب و آب دریا قیمت آب صنعتی در می‌آید.

ما یک نوع صنعت نداریم و همه صنایع ما هم پولدار نیستند مثل صنایع فولاد که همه مثال می‌زنند. در هر صورت ما صنایع متفاوتی را داریم که قیمت بر همان اساس تنظیم می‌شود. براساس آورده‌شان و ارزش افزوده‌شان. بنابراین برای صنایع مختلف و در مناطق مختلف این درصد قطعاً متفاوت خواهد بود.

مثلاً موضوع خط انتقال آبی که ما داریم آن چیزی که در حال حاضر برآورد می‌شود چیزی حدود ۴ یا ۵ یورو قیمت آبی است که به استان‌های خراسان می‌رسد. یعنی ببینید قیمت آبی که در حال حاضر صنعت استفاده می‌کند چقدر است و به چه میزانی افزایش پیدا خواهد کرد؟ اما من می‌خواستم بیشتر روی بعد اجرا و قانون صحبت کنم. ببینید قانون چند مورد داخلش هست که به نظر می‌رسد باید روی آن بیشتر فکر کرد. ما هنوز تعریف صنایع آب‌بر را در کشورمان نداریم. یعنی یکی از معضلات ما در تهیه دستورالعمل است. من خودم از همکاران وزارت نیرو پرسیدم گفتم صنعت آب‌بر را برای من تعریف کنید. صنعت آب‌بر چیست؟ من خواهش می‌کنم روی این موضوع تحقیق کنید. واقعا تحقیقات دانشگاهی خیلی می‌تواند در این زمینه به ما کمک کند. چون در این‌جا هم صحبت شده است که صنایع آب‌بر بیابند و از این پساب استفاده بکنند. لذا خواهش منم روی این موضوع تحقیق کنید و برای ما مشخص کنید که صنایع آب‌بر چیست؟

ما آن قدر تفاوت روی صحبت‌ها داشتیم که از ۱ لیتر در ثانیه را تا ۱۰ لیتر و بعضاً تا ۳۰ لیتر را آب‌بر برایمان در نظر گرفتند. این‌ها همه مقادیر مختلف صنعت را در بر می‌گیرد. صنعتی که وجود دارد و در حال حاضر با چالش‌های متعددی روبرو است. ما مواردی را برای آن در نظر می‌گیریم که موازی و همراه شدن با این موارد برای آن سخت است.

پیشنهاد خود من برای این مسئله به این صورت است که یک

آن مدیریت بوده مهندسی درستی نبوده است. خیلی از قوانینی که ما در حال حاضر داریم قوانین جامع نیستند و سطحی هستند. یا خیلی کلی نگر هستند. این نشان می‌دهد که این قوانین، مهندسی ضعیفی داشتند. بعد از ارائه این راه کار مهندسی برای نگهداری منابع آب که استفاده از پساب برای صنایع است ما با دو موضوع مواجه هستیم. موضوع اول این که پساب خروجی از تصفیه‌خانه از نظر استاندارد برای استفاده در صنایع مناسب است؟ ما استاندارد استفاده از پساب در آب سطحی، زیرزمینی و کشاورزی را داریم. اما استاندارد برای استفاده آن در صنایع تعریف نکردیم. بنابراین این یک موضوع مهندسی است که باید حل شود. این استاندارد برای کدام صنعت مناسب است؟ صنعت غذایی؟ قند؟ کشتارگاه‌ها؟ همه این‌ها باید مشخص شود. استانداردهایی که ما داریم استانداردهای مرده است. ما دو مدل استاندارد داریم. استاندارد زنده و پویا. استاندارد برنامه‌ای که پذیرنده را نگاه می‌کند. استاندارد خروجی که فقط خروجی را نگاه می‌کند. استانداردهای ما استاندارد خروجی هستند. به عنوان مثال استاندارد آب‌های سطحی ما مطابق با رودخانه پاریس و لندن است و شما می‌خواهید آن آب را برای صنعت نیشکر استفاده کنید. چالش‌های بسیار زیادی در این مسیر به وجود می‌آید. یعنی این کار حتی باید نمونه به نمونه انجام شود. یعنی پساب خروجی از کدام تصفیه‌خانه برای کدام صنعت استفاده شود بهتر است؟ در اینجا ما با چهار سناریوی کلی مواجه می‌شویم. وقتی که کمیت و کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب با کمیت و کیفیت صنعتی بخواند. کمیت بخواند کیفیت بخواند. کیفیت بخواند کمیت بخواند. هر دو باهم بخواند. این‌ها سوالاتی است که باید در جامعه مهندسی ما مطرح شود.

قانون در نظر گرفته شده است و بهتر است که بهترین دستورالعمل را برای آن بنویسیم که در کشور با شرایط موجود عملی شود. اما مسئله بهینه‌سازی به نظر می‌رسد که مسئله بسیار مهمی است که در بخش صنعت و سایر بخش‌ها مانند کشاورزی حتما باید مدنظر قرار بگیرد. ما نه تنها در مساله آب بلکه در مسائل زیرساختی دیگر هم باید بهینه‌سازی را به عنوان یک روش اصلی مدنظر قرار دهیم. در این صورت می‌توانیم مصرف بسیاری از بخش‌ها را با استفاده از بخشی که توسط بهینه‌سازی کاهش یافته تامین کنیم. من صحبت‌م در این قسمت را تمام می‌کنم. باز هم اگر سوالی هست بفرمایید.

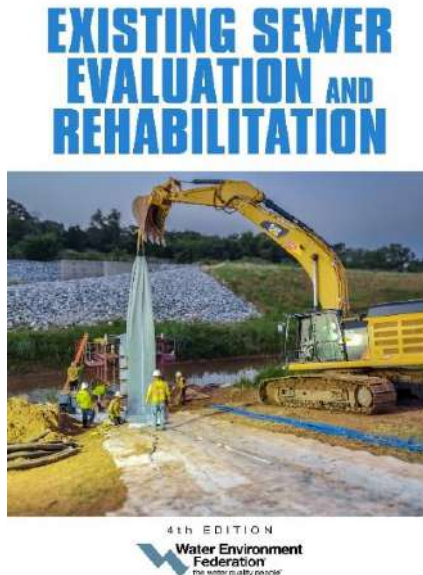
دکتر عباس اکبرزاده:

خیلی ممنون و متشکر. من یک نکته‌ای را بگویم و بعد فرمایشات آقای دکتر فرزادکیا را در بخش دوم بشنویم. ما در جامعه‌ای که فرهیختگان حضور دارند، همین افرادی که در حال حاضر در اینجا هستید. قاعدتا حرف منطقی را باید بپذیریم. الان حرف این نیست که آیا شرایطی که قبلا داشتیم درست بوده یا خیر؟ این که صنایع آب سطحی یا زیرزمینی را به قیمت بسیار ناچیز استفاده می‌کرده است. کسی الان در جمع حاضر هست که بگوید این کار درست بوده است؟ قطعاً نه! پس باید یک تغییری می‌کردیم. این تغییر انجام شده است و تبدیل به قانون شده است و الان نظرات پیرامون نحوه اجرایی کردن این قانون است. خانم دکتر به درستی اشاره کردند، باید دستورالعملی باشد که کمترین آسیب را بزند. اما حتما افراد حاضر اذعان دارید که یک کشور با این جمعیت و توسعه‌ای که برایش در نظر گرفته شده نمی‌تواند با شرایطی که از قبل داشت و هرچقدر آب می‌خواست از سفره آب زیرزمینی یا سطحی استفاده می‌کرد، حالا آن را به مقدار صفر برساند. بنابراین این قانون در نظر گرفته شد و باید کاری انجام دهیم و اقداماتی بکنیم که تقلیل اثرات سو داشته باشد. بنابراین راه‌حلی که استفاده می‌شود هم قطعاً اثر سوء دارد اما باید کاری کنیم که آن را به حداقل ممکن برسانیم.

دکتر فرزادکیا:

خیلی ممنونم بحث‌های خوبی صورت گرفت. همان طور که قبل تر گفتم از نظر من باید در قسمت مدیریت تصمیمات درستی گرفته شود و بعد از آن به مهندسی قضیه برسیم. اگر همین تصمیم مدیریتی درست گرفته شود یعنی ما بدنه مهندسی قوی داشتیم که برای این راه کار و ابزار آن توانسته مشورت‌های خوبی دهد. اگر تصمیم مدیریتی نادرستی گرفته شود یعنی مهندسی‌ای که پشت

عنوان: ارزیابی و بازسازی شبکه‌های فاضلاب موجود، MOP FD-6، ویرایش چهارم
 ناشر: فدراسیون محیط‌زیست آب (WEF)
 زمان انتشار: سال ۲۰۲۴



ویرایش جدید این کتاب، روش‌هایی را در مورد به‌کارگیری فرآیندها و فناوری‌های جدید ارزیابی و بازسازی فاضلاب‌روها و همچنین شیوه استفاده از نتایج در طراحی و بهره‌برداری از تأسیسات فاضلاب موجود را در اختیار خوانندگان قرار می‌دهد. این سند که به‌طور کامل اصلاح و به‌روز شده است، جامع‌ترین اطلاعات را در مورد بهره‌برداری، تعمیرات، بازسازی و جایگزینی شبکه‌های فاضلاب موجود ارائه می‌نماید. این راهنما، ارزیابی و پایش شبکه‌های فاضلاب و روش‌های بازسازی، مصالح و تضمین کیفیت آن‌ها را نیز پوشش می‌دهد. نسخه چهارم این سند، حاوی مطالب جدیدی در مورد ابزارها و روش‌های ارزیابی لوله‌ها، مشکلات و تشخیص نشتاب و آب‌های نفوذی، مصالح و روش‌های بازسازی و تکنیک‌های موثر تعمیر است. این راهنما به‌عنوان یک منبع جدید و ارزشمند تلقی شده و حاوی اطلاعات کاربردی برای تمام متخصصین سامانه‌های فاضلاب است.

ویژگی‌های کلیدی:

مقررات و راهنماهای فعلی، مشکلات مربوط به ظرفیت، ساختار و بهره‌برداری، بازرسی و تست در محل، روش‌های ارزیابی ساختاری شامل استفاده از دوربین مداربسته، سونار و اسکن لیزری، پایش جریان فاضلاب و هیدرولیک سامانه‌های فاضلاب، تشخیص منابع نشتاب و آب‌های نفوذی، انتخاب مصالح و روش‌های بازسازی شبکه‌های فاضلاب، ارزیابی مستندات اثربخشی بازسازی شبکه‌های فاضلاب، تضمین کیفیت و بازگشت سرمایه، از ویژگی‌های این کتاب است.

فهرست مطالب:

(۱) مقدمه؛ (۲) رویکرد قانونمند ارزیابی و بازسازی؛ (۳) روش‌های ارزیابی ساختاری؛ (۴) روش‌های ارزیابی هیدرولیکی؛ (۵) تشخیص منابع نشتاب و آب‌های نفوذی؛ (۶) انتخاب مصالح و روش‌های بازسازی شبکه‌های فاضلاب؛ (۷) اثربخشی بازسازی شبکه‌های فاضلاب

اطلاعات بیشتری از این راهنما در لینک زیر موجود است:

https://www.wef.org/publications/publications/books/existing-sewer-evaluation-and-rehabilitation-mop-fd-6-4th-edition/?utm_campaign=Existing+Sewer+-+Email&utm_source=email&utm_medium=email&utm_term=&utm_content=&cpn_id=663913346fef09b0dcd6234d&e_id=663912d76fef09b0dcd62347

رتبه اول مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۲ در مقطع دکتری (بخش شبکه‌های آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده کشاورزی

عنوان: ریسک سیال و طغیان در سیستم‌های زهکش رواناب سطحی در حوضه‌های کوچک با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های

هیدرولیکی و هیدرولوژیکی

نگارش: سیامک رضازاده بقال

استاد راهنما: دکتر سعیدرضا خدانشناس

تاریخ: شهریور ماه ۱۴۰۲

چکیده

در لوله هدایت رواناب شهری، در یک دریاچه ذخیره رواناب سطحی در ناحیه معدنی و در طراحی یک سرریز اوجی (در چهار حوضه مجزا) به کار گرفته شد. اساس طراحی‌ها بر مبنای ریسک در این رساله بر اساس تئوری بار-مقاومت استوار است، که بار می‌تواند میزان پیک رواناب ناشی از رگبار باشد و مقاومت همان ظرفیت سازه آبی برای ذخیره و یا عبور بار وارد شده بر آن است. در خصوص حوضه مصلی شهر مشهد که در آن آمار ثبت شده رواناب وجود نداشت، برای انجام روش ریسک فازی و نیز مقایسه با نتایج روش شبیه‌سازی مونت کارلو در خصوص لوله هدایت سیلاب، آمار هفت رخداد بارش در حوضه ثبت شد. در ارتباط با حوضه معدن گل‌گهر نیز به منظور شبیه‌سازی رواناب ابتدا مدل بارش-رواناب SWMM به کمک ۱۰ بارش به وقوع پیوسته در حوضه و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل کالیبره شد. سپس هایتوگراف‌های بارش مصنوعی بر اساس IDF به مدل کالیبره شده وارد شد تا بتواند ریسک طغیان دریاچه ذخیره آب سطحی موجود و یا شکست بند خاکی موجود را به کمک آن محاسبه نمود. نتایج این رساله نشان می‌دهد که تکنیک فازی می‌تواند در زمانی که امکان استفاده از روش‌های احتمالاتی وجود ندارد، مورد استفاده طراحان سازه‌های هیدرولیکی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ریسک سیل، روش فازی، تئوری بار-مقاومت، سازه‌های آبی، روش‌های احتمالاتی.

یکی از چالش‌های همیشگی در تمامی پروژه‌های آبی در کشور ایران، کمبود و یا نبود آمار هواشناسی و یا هیدرولوژی است. به عبارتی به تعداد کافی ایستگاه برای اندازه‌گیری مشخصات بارش و رواناب ناشی از آن وجود ندارد و یا در صورت وجود، تعداد سال‌های آماری برداشت شده به قدر کافی برای به‌کارگیری روش‌های احتمالاتی موجود نیست. به عبارتی عمده محاسبات هیدرولیکی بر پایه تخمین دبی طراحی بر اساس روش‌های تجربی است. عمده این روش‌ها یا بر اساس تشابه حوضه مورد مطالعه با سایر حوضه‌ها که آمار کافی (دبی حداکثر لحظه‌ای) دارند و یا بر اساس روابط موجودی که اساس آن بر پایه مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز است، به تخمین دبی طراحی می‌پردازند. اما یقیناً دو حوضه آبریز کاملاً متشابه که در آن‌ها تمامی مشخصات ظاهری و زمین‌شناسی و ... یکسان باشد وجود ندارد و یا رابطه‌ای را نمی‌توان یافت که در آن تمامی پارامترهای دخیل در ایجاد رواناب حوضه در آن وجود داشته باشد. حتی می‌توان گفت این روابط تجربی در حوضه‌هایی استخراج شده‌اند که ممکن است از تمامی لحاظ از قبیل زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و ... که در رابطه تخمین رواناب لحاظ نشده است، با حوضه مورد مطالعه متفاوت باشد. لذا در این رساله برای رفع مشکل کمبود آمار، روش ریسک فازی برای تخمین دبی طراحی پیشنهاد قرار شد و کاربرد محاسبات فازی در تمامی سازه‌های آبی متداول بررسی شد. برای این منظور مبحث ریسک فازی در طراحی یک کانال هدایت سیلاب،

رتبه دوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۲ در مقطع دکتری (بخش شبکه‌های آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده فنی و مهندسی

عنوان: توسعه الگوریتمی برای جانمایی بهینه حسگرها به منظور کمینه کردن اثرات ناشی از ورود آرسنیک در شبکه توزیع آب

نگارش: حمیده جعفری

استاد راهنما: دکتر طاهر رجایی

استاد مشاور: دکتر سارا نظیف

تاریخ: شهریورماه ۱۴۰۰

چکیده

چندین سناریوی محتمل در نظر گرفته می‌شود. شاخص اهمیت در مسئله جانمایی حسگر، برای اولین بار در این رساله مدنظر قرار گرفت. لذا در الگوریتم اول، شاخص اهمیت به صورت یک وزن در گره‌ها در نظر گرفته شد. در الگوریتم دوم، اهمیت به صورت یک تابع هدف مستقل در کنار سایر اهداف توسعه داده شد. در الگوریتم اول یک مدل NSGA-II دو هدفه بر روی یک شبکه فرضی توسعه داده شد. در نظر گرفتن ضرایب اهمیت برای گره‌های شبکه می‌تواند احتمال آلودگی گره‌های مهم را کاهش دهد که مقدار آن وابسته به ضرایب اهمیت و تعداد حسگر است. لذا برای اطمینان از تحت پوشش قرار گرفتن گره‌های با اهمیت خیلی زیاد، باید ضرایب اهمیت آن‌ها در مقایسه با گره‌های با جمعیت خیلی زیاد، به اندازه کافی بزرگ باشد. در الگوریتم دوم یک مدل NSGA-II پنج هدفه بر روی یک شبکه فرضی و دو شبکه مرجع توسعه داده شد. در نظر گرفتن ۵ تابع هدف در مسئله جانمایی حسگر منجر به در نظر گرفتن ابعاد بیشتری از این مسئله خواهد شد. کمینه کردن احتمال آلودگی گره‌های مهم یک دیدگاه جدید در رابطه با بحث جانمایی حسگر است که برای اولین بار در این رساله توسعه داده شده است. الگوریتم سوم، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی دو سطحی (NSGA-II و PSO) بر روی یک شبکه

تشخیص آلودگی‌های عمدی یا تصادفی در سیستم‌های توزیع آب برای حفاظت از سلامت مصرف‌کنندگان ضروری است. هدف از مطالعه حاضر، جانمایی بهینه حسگرهایی از نوع ثابت با هدف اصلی کاهش اثرات ناشی از ورود آرسنیک به آب در قالب مسائل تک‌هدفه و چندهدفه است. لذا در این تحقیق سه الگوریتم با رویکرد بهینه‌سازی استوار، با قابلیت لحاظ کردن برخی عدم قطعیت‌های رخداد آلودگی توسعه یافته است. علاوه بر این، یک متدولوژی نو بر پایه استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در جانمایی بهینه حسگرهای پایش کیفیت آب در شبکه توزیع آب به کار گرفته شده است. در این راستا مدل‌هایی به منظور ارتقای حفاظت از شبکه توزیع آب با تعریف تابع هدف جدید و لحاظ کردن برخی عدم قطعیت‌های موجود ارائه می‌شود. توابع هدفی که در این رساله در نظر گرفته شدند عبارتند از: ۱- کاهش مصرف حجم آب آلوده، ۲- کاهش زمان تشخیص آلودگی، ۳- کاهش احتمال تشخیص‌های ناموفق، ۴- کاهش هزینه تهیه، نصب و نگهداری حسگر، ۵- کاهش جمعیت متأثر از آب آلوده شده، ۶- کاهش احتمال آلودگی گره‌های با اهمیت بیشتر. در هر سه الگوریتم فرض می‌شود که ورود آرسنیک در زمان و محل نامشخصی اتفاق می‌افتد. غلظت و تداوم تزریق آرسنیک به صورت

فرضی و دو شبکه مرجع توسعه یافته است. در این الگوریتم، برخلاف دو الگوریتم دیگر، به علت در نظر گرفتن عدم قطعیت دبی برداشت آب، ماتریس خسارت قابل محاسبه نبوده و برای محاسبه بدترین خسارت محتمل ناشی از مصرف آب آلوده از الگوریتم تک‌هدفه PSO استفاده شده است. همچنین، با در نظر گرفتن شرایط کمبود فشار ناشی از عدم قطعیت، یک مدل تحلیل مبتنی بر فشار در حالت دوره گسترده (براساس گام‌های زمانی در طول شبانه‌روز) توسعه داده شده است. نتایج نشان می‌دهد این الگوریتم، در مقایسه با سایر مدل‌های مبتنی بر تکرار، همگرایی و پایداری بهتری دارد. در ادامه جانمایی حسگر در دو حالت تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار و تحلیل مبتنی بر تقاضا بر روی شبکه مرجع BWSN مقایسه شده است. با در نظر گرفتن عدم قطعیت دبی برداشت آب، مسئله جانمایی حسگر در شرایط واقعی‌تری مدل‌سازی می‌شود. در هر یک از جبهه‌های پارتو به دست آمده از هر الگوریتم، در نهایت یک جواب با مصالحه بین اهداف در تعارض انتخاب شده است. این جواب دارای کمترین فاصله تا نقطه ایده‌آل است. براساس نتایج حاصل، توسعه تابع هدف مبتنی بر اهمیت گره‌ها رویکردی جدید در مسئله جانمایی حسگرها است که می‌تواند مفهومی نو در کنار جانمایی حسگر براساس چگالی جمعیت و حجم آب آلوده مصرفی بیان کند. این تحقیق نشان داد که جانمایی تنها یک حسگر می‌تواند خسارت ناشی از مصرف آب آلوده را بیش از ۵۰ درصد کاهش دهد. نتایج این رساله مجموعه‌ای از راه‌های بهینه را برای تصمیم‌سازان فراهم می‌کند. شکل‌گیری مناسب جبهه‌های پارتو در هر سه الگوریتم نشان داد که رویکرد این تحقیق، با در نظر گرفتن بدترین خسارت محتمل، به ازای تمام پارامترهای دارای عدم قطعیت جواب‌های موثری تولید می‌کند.

واژگان کلیدی: حسگر، EPANET، NSGAI، PSO، اهمیت گره‌ها، مصرف آب آلوده، زمان تشخیص، درست‌نمایی تشخیص.

برگزیده پنجمین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۲)



عنوان: استفاده از طیف فرابنفش در تشخیص آب شرب از غیرشرب (انشعابات غیرمجاز)

نگارنده: سیدعلی قاسمی

کاندیدای دکتری مهندسی عمران - آب، دانشگاه فردوسی مشهد، شرکت آب و فاضلاب مشهد

چکیده

مقدمه

تشخیص ورود آب غیرشرب به شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی یک از چالش‌هایی است که شرکت‌های آب و فاضلاب با آن مواجه هستند. خصوصاً در مواردی که سایر مشخصات این منابع نظیر هدایت الکتریکی با یکدیگر مشابه باشد، این مسئله با پیچیدگی‌های زیادی همراه است. در هنگام نمونه‌برداری از نقاطی که مشکوک به اخذ انشعاب غیرمجاز از شبکه توزیع و خطوط انتقال آب آشامیدنی هستند، اثبات غیرمجاز بودن انشعاب از طریق اثبات مشابهت کیفیت آب شبکه توزیع با آب موجود در ملک موردنظر انجام می‌شود. در این شرایط معمولاً از انطباق میزان کلر باقی مانده و هدایت الکتریکی برای اثبات این موضوع استفاده می‌شود. اما در بسیاری از موارد به دلیل انباشت آب در محل ذخیره‌سازی مشخصات مذکور دستخوش تغییراتی می‌شود و امکان تشخیص دقیق مشابهت از بین می‌رود. در این حالت می‌توان از یک اثر انگشت کیفی برای منبع آب استفاده کرد که مشخصه‌ای منحصر به فرد بوده و با تکیه بر آن می‌توان با اطمینان کامل میزان مشابهت منابع آب را به اثبات رسانید. در ایده پیشنهادی از طیف جذب نور فرابنفش آب به‌عنوان یک ویژگی ثابت و منحصر به فرد برای تشخیص نوع آب (انشعاب غیرمجاز) و تعیین نسبت اختلاط چندین منبع استفاده می‌شود.

ایده پیشنهادی

در این روش به‌منظور تعیین میزان مشابهت یک آب با منشأ نامشخص با آب موجود در شبکه توزیع از طیف جذب نور فرابنفش استفاده می‌شود. در این حالت می‌توان با دقت بسیاری بالایی

مشابهت یا عدم مشابهت دو نوع آب را معین نمود و ورود آب غیرشرب به شبکه توزیع یا وجود انشعاب غیرمجاز را از طریق این مقایسه تشخیص داد. علاوه بر این در مواردی که تعیین نسبت اختلاط چندین منبع آب مورد نیاز است می‌توان از ترکیب طیف‌های منابع به این مهم دست یافت. با این روش حتی اگر آب موجود در یک ملک مشکوک به اخذ انشعاب، با چندین آب دیگر مخلوط شده باشد، امکان تشخیص وجود آب شبکه توزیع در آن وجود خواهد داشت. علاوه بر این، در صورت برگشت آب از منابع غیرشرب به شبکه توزیع و ایجاد آلودگی در زمانی اندک می‌توان آن را تشخیص داد.

روش پیشنهادی

طیف‌سنجی فرابنفش به جذب طول موج‌های مختلف نور توسط نمونه آب اشاره دارد. جذب یا بازتابش نور در محدوده فرابنفش مستقیماً با کیفیت آب ارتباط دارد. به‌عنوان نمونه میزان جذب نور در طول موج ۲۵۴ نانومتر نشان دهنده میزان مواد آلی موجود در آب است و میزان جذب نور در طول موج ۲۱۰ نانومتر ارتباط مستقیمی با غلظت نیترات موجود در آب دارد. به‌همین ترتیب مجموعه جذب نور توسط آب در طول موج‌های مختلف، دایره‌المعارف کیفی آن نمونه را نشان می‌دهد و به‌عبارت بهتر، اثر انگشتی کیفی برای هر منبع آب به‌شمار می‌رود. از این‌رو در شرایطی که نیاز به تشخیص نوع منبع آب و میزان انطباق آن با یک آب مشخص مورد نیاز باشد می‌توان از این تکنیک استفاده کرد. علاوه بر این، در صورت ترکیب چندین منبع آب مختلف و با در دست داشتن طیف فرابنفش آن‌ها می‌توان نسبت اختلاط این

و پسماند تولیدی در طی مراحل انجام آن نیز صفر است. از نظر اقتصادی نیز با توجه به وجود دستگاه‌های اسپکتروفتومتر در آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب کشور، انجام آن تقریباً بدون هزینه خواهد بود. لازم به توضیح است که ایده پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های موجود، از دقت بسیار بالاتری برخوردار بوده و احتمال بروز خطای ناشی از وجود یا عدم وجود کلر باقی مانده و یا مشابهت هدایت الکتریکی نمونه‌ها در آن به چشم نمی‌خورد.

لازم به توضیح است که از همین ایده برای اندازه‌گیری خلوص هیپوکلریت سدیم (آب ژاول) نیز استفاده شده و این امر مواجهه پرسنل با مخاطرات ناشی از کلر را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است.

مراجع

Evans, K., (2021), *Quantification of sodium hypochlorite in disinfectants*, PerkinElmer, Inc, 2020.

López-Roldán, R., Platikanov, S., Martín-Alonso, J., Tauler, R., González, S., and Cortina, J.L. (2016), Integration of ultraviolet-visible spectral and physicochemical data in chemometrics analysis for improved discrimination of water sources and blends for application to the complex drinking water distribution network of Barcelona”, *Journal of Cleaner Production*, 112, 4789-4798.

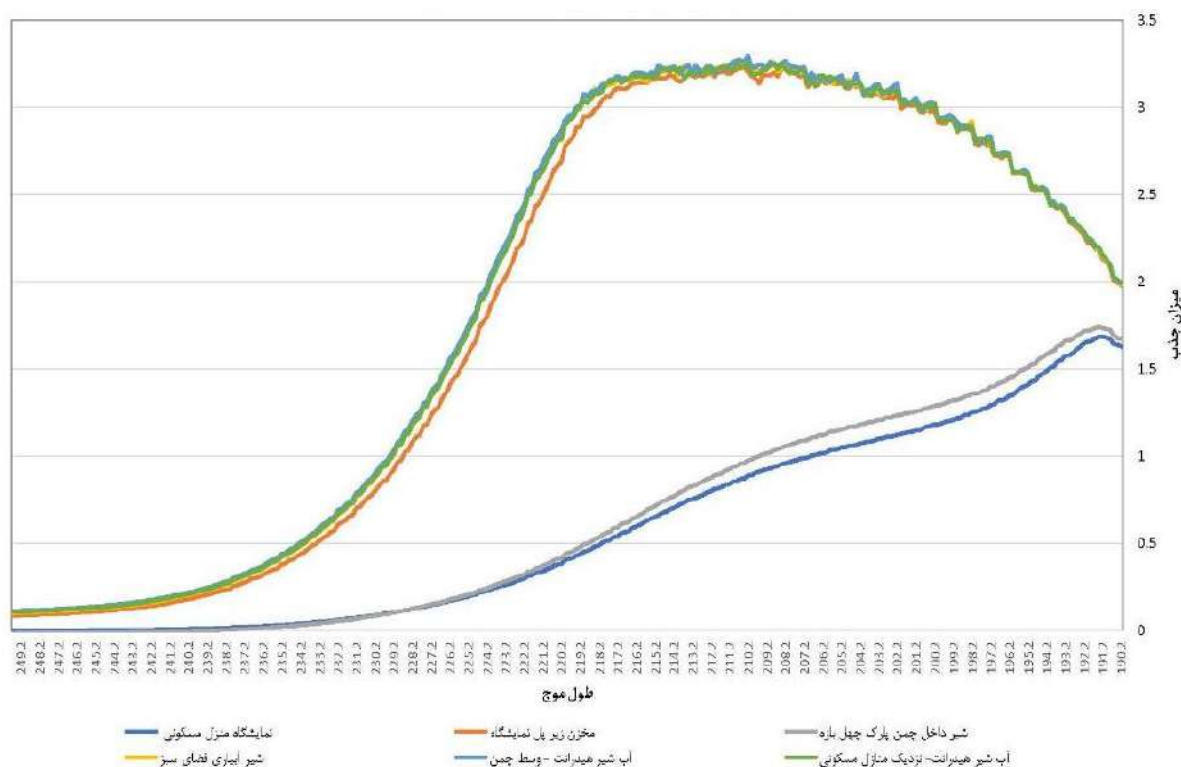
Thomas, O., and Burgess C., (2017). *UV-visible spectrophotometry of water and wastewater*, Elsevier, Second Edition.

منابع را تعیین کرد. در شکل زیر نمونه واقعی کاربرد این ایده در شناسایی انشعابات غیرمجاز در محدوده شهر مشهد نشان داده شده است. در این نمودار طیف جذب نور نمونه‌های آب در محدوده ۱۹۰ تا ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری و رسم شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین نمونه‌های مورد بررسی دو نمونه که یکی مربوط به شبکه و دیگری مربوط به انشعاب مشکوک است از انطباق کامل برخوردار هستند. بر این اساس می‌توان با اطمینان کامل یکسان بودن منشأ آب در این دو انشعاب را به اثبات رساند. لازم به توضیح است که طیف جذب ۴ نمونه برداشت شده دیگر نیز مشابه بوده و لذا از کیفیت یکسانی برخوردار هستند. لازم به توضیح است که اندازه‌گیری طیف فرابنفش در زمانی کمتر از یک دقیقه قابل انجام بوده و در صورت وجود دستگاه طیف سنج، نیاز به استفاده از هیچ‌گونه ماده مصرفی و معرفی وجود ندارد.

سخن آخر

ایده مطرح شده، برای اولین بار در سطح کشور و در شرکت آب و فاضلاب مشهد پیاده‌سازی گردید و با استفاده از آن تعداد قابل توجهی انشعاب غیرمجاز کشف شد. از نظر فنی اندازه‌گیری طیف فرابنفش به سهولت قابل انجام بوده و نیاز به تخصص ویژه‌ای ندارد. از طرف دیگر به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی و معرف‌های مختلف، این روش کاملاً سازگار با محیط زیست بوده



اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه دوم سال ۱۴۰۳ به شرح زیر است:

- معرفی اعضای کمیته اجرایی کمیته ملی آب و فاضلاب ایران (تیرماه)
- انتخاب عضو هیئت مدیره انجمن در کمیته ملی سدهای بزرگ ایران
- انجام دومین مصاحبه پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب (۱۰ تیرماه)
- برگزاری جلسه هفتم شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۲۰ تیرماه)
- برگزاری جلسه چهارم کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۲۰ تیرماه)
- برگزاری جلسه پنجم شورای سیاست‌گذاری کنگره ۱۴۰۳ (۲۰ تیرماه)
- برگزاری وبینار تخصصی ۴۴ (۲۰ تیرماه)
- برگزاری مصاحبه‌های دوم و سوم تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران (تیرماه)
- برگزاری اولین جلسه کمیته ملی آب و فاضلاب در دوره جدید (۱ مردادماه)
- برگزاری جلسه ۶ ائتاق فکر پروژه تاریخ شفاهی (۲ مردادماه)
- برگزاری جلسه نودم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲ مردادماه)
- برگزاری جلسه ۱۲ هیئت تحریریه نشریه انجمن (۱۸ مردادماه)
- برگزاری وبینار تخصصی ۴۵ (۲۴ مردادماه)
- برگزاری جلسه ششم شورای سیاست‌گذاری کنگره ۱۴۰۳ (۲۴ مردادماه)
- برگزاری جلسه هشتم شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۲۴ مردادماه)
- برگزاری جلسه پنجم کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۲۴ مردادماه)
- برگزاری جلسه ۲۴ کمیته تخصصی تلفات آب انجمن (۳۰ مردادماه)
- برگزاری جلسه نود و یکم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۳۱ مردادماه)
- برگزاری جلسه ۷ پروژه تاریخ شفاهی (۳۱ مردادماه)
- برگزاری مصاحبه چهارم تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران (مردادماه)
- برگزاری جلسه ۱۳ کمیته تخصصی کیفیت آب انجمن (۷ شهریورماه)
- برگزاری جلسه ۱۶ کمیته تخصصی بازیافت آب انجمن (۷ شهریورماه)
- برگزاری جلسه هفتم شورای سیاست‌گذاری کنگره ۱۴۰۳ (۲۱ شهریورماه)
- برگزاری جلسه نهم شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۲۱ شهریورماه)
- جلسه با مدیرکل مدیریت بحران استانداری اصفهان (۲۴ شهریورماه)
- برگزاری جلسه نود و دوم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۸ شهریورماه)
- برگزاری وبینار تخصصی ۴۶ (۲۸ شهریورماه)
- انتشار شماره دوم، دوره نهم نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (شهریورماه)
- برگزاری مصاحبه پنجم تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران (شهریورماه)

لینک آپارات	موضوع (ارائه دهنده)	رویداد	ردیف
https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845	ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب (دکتر عبدالله رشیدی)	وبینارهای تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	۱
https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=28327448	راه‌کارهای بهبود کیفیت پساب برکه‌های تثبیت فاضلاب (دکتر حسین ساسانی)		
https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530	مروری بر ظرفیت‌های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه آب کشور (دکتر مجتبی شفيعی)		
https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237	نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)		
https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968	مدیریت شورابه‌های ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی با تاکید بر فناوری‌های ZLD (دکتر عباس اکبرزاده)		
https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673	چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب (دکتر مسعود یونسیان، مهندس سلیمه رضایی‌نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)		
https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803	ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری قابلیت‌ها و محدودیت‌ها (دکتر کوروش بهزادیان)		
https://www.aparat.com/v/FPtCY?playlist=34242002	سواد آبی در جوامع شهری (دکتر شروین جمشیدی)		
https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047	تأثیرات شرایط اقلیمی بر روی ظرفیت شبکه‌ها و شکست (دکتر احسان روشنی)		
https://www.aparat.com/v/W8P7J?playlist=35547113	ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA) (مهندس هانیه صفرپور)		
https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652	کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب (دکتر سیدحسین سجادی‌فر)		
https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753	توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با رویکرد تمرکززدایی (دکتر علی حقیقی)		
https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090	نقشه‌راه برای ارتقای شبکه‌های آبرسانی موجود به هوشمند (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)		
https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690	مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب (دکتر مسعود تابش)		
https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474	آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط‌زیست و بهداشت محیط (دکتر رحیم عالی)		
https://www.aparat.com/v/hwC9l?playlist=39248099	بررسی ۲۵,۰۰۰ مقاله محیط‌زیست برای یافتن داغترین موضوعات تحقیقاتی (دکتر علیرضا بازارگان)		
https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537	توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور لحاظ دریاچه‌ها و مخازن (دکتر شروان قراری)		
https://www.aparat.com/v/epxDt	مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در ژاپن (دکتر یحیی محزون)		
https://www.aparat.com/v/EaeTg	سیستم‌های آبی پایدار و تاب‌آور (دکتر راضیه فرمانی)		
https://www.aparat.com/v/3sxtT?playlist=737673	ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های توزیع آب (دکتر سعید هاشمی)		
https://www.aparat.com/v/Fcvyw?playlist=737673	بازچرخانی و مدیریت کیفی زهاب‌های کشاورزی (دکتر بهمن یارقلی)		

https://www.aparat.com/v/IFHhK?playlist=737673	بازچرخانی آب‌های خاکستری در ساختمان‌های بلندمرتبه و مجتمع‌های مسکونی جدید در قالب مباحث الزامی جهت ساخت مسکن (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)		
https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673	مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب شهری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)		
https://www.aparat.com/v/D7BvT	طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر امین ابراهیم بخشی پور)		
https://www.aparat.com/v/rKPvH/	چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع آب (دکتر مهدی دینی)		
https://www.aparat.com/v/jTbgx/	مدلسازی سیلاب و زهکشی شهری - اهمیت و رویکردها و مقدمه‌ای بر مدل TU-FLOW و کاربردهای آن (دکتر حامد توکلی‌فر، دکتر دانکن کیتس)		
https://www.aparat.com/v/Nig5q/	کاربرد متدولوژی ارزش برای بهبود پروژه‌های بزرگ آب و آبفا (دکتر کامران امامی)		
https://www.aparat.com/v/AxQw3	آلودگی منابع آب و خاک به آرسنیک و روش‌های پالایش آن (دکتر بهمن یارقلی)		
https://www.aparat.com/v/kdcZC	مدل‌های داده‌محور و برخط پیش‌بینی سیلاب در سیستم‌های جمع‌آوری آب باران شهری (مهندس فرزاد پیاده)		
https://www.aparat.com/v/cQevG	پیل سوختی میکروبی به‌عنوان یک راه‌حل پایدار برای تصفیه فاضلاب: از تحقیق تا کاربرد (دکتر علیرضا ولی پور مرندی)		
https://www.aparat.com/v/zNPCU	بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب: وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو (دکتر مسعود طاهریون)		
https://www.aparat.com/v/AOrNB	اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب‌های شهری: از مدل‌سازی تا رویکردهای مدیریتی مبتنی بر توسعه پایدار (دکتر یاسر طهماسبی بیرگانی)		
https://www.aparat.com/v/5SVaJ	نبرد شبکه‌های متمرکز و غیرمتمرکز جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی (مهندس سینا حصارکرازی)		
https://www.aparat.com/v/Q3SCK	مدیریت ناترازی تولید و مصرف آب با تکیه بر مدیریت مصرف آب (دکتر عباس اکبرزاده)		
https://www.aparat.com/v/Onls2	واکاوی تجربه کشور چین در حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت مصرف آب (دکتر بنفشه زهرایی)		
https://www.aparat.com/v/TilmP	ضربه آبی، چرا و چگونه؟ از مفاهیم تا اجرا (مهندس ابوالفضل رضایی راد)		
https://www.aparat.com/v/ieWtp	پکیج‌های تصفیه فاضلاب؛ معیارهای طراحی و روش ساخت (مهندس حمیدرضا خسروچردی)		
https://www.aparat.com/v/DcoFP	سپتاژ، یک معضل محیط‌زیستی کشور، چالش‌ها،		

	راه‌حل‌ها (دکتر ذبیح اله یوسفی)		
https://aparat.com/v/Fvb7q	قدرت تحول آفرین سنجش از دور و هوش مصنوعی (دکتر احد نظریور)		
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/185Cp	مطالعه ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs) در رودخانه کارون و تصفیه‌خانه فاضلاب (دکتر علی اکبر بابائی)		
https://aparat.com/v/n5B73	بررسی انواع میکرو پلاستیک‌ها و استر فتالات‌ها در فاضلاب و نقش واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب در حذف آن‌ها (مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب اهواز) (دکتر افشین تکدستان)		
https://www.aparat.com/v/JL0OZ	معرفی نسل جدید مواد اولیه PE100-RD مناسب جهت لوله و اتصالات پلی‌اتیلنی مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری انتقال آب با گذرآداهای پایه کلر (دکتر غلامرضا پیرچراغی، مهندس حمیدرضا شمسی و مهندس علیرضا صحاف امین)		
https://www.aparat.com/v/XIujP	چرخه معیوب آب بدون درآمد و مکانیسم نشت آب شناخت و راهکار (مهندس محمدرضا عزیزی)		
https://www.aparat.com/v/yas7w5j	مدل یادگیری ماشین ارتقا یافته توسط فیزیک مسئله برای مدل‌سازی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب (دکتر علی حقیقی)		
https://www.aparat.com/v/vrwl09a	ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به کمک ابزار مدل‌سازی و استراتژی‌های کنترل هوشمند (مهندس علی خواجهیان)		
https://www.aparat.com/v/qxu7o4r	نحوه طراحی، نگهداری و تعمیرات و تعویض شیرآلات شبکه‌های توزیع آبرسانی شهری (مهندس روح الله توکلی)		
https://www.aparat.com/v/rbq717e	چالش‌های مدل‌سازی شبکه توزیع آب در شرکتهای آب و فاضلاب (مهندس محمدمامین غیبی)		
https://aparat.com/v/ckv6314	کاربرد مدل پویایی سیستم در مدیریت و برنامه‌ریزی آب شهری (مهندس صادق دانش پژوه)		
https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035	سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	۲
https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320	تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526	هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788	بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111	چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646	تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246	استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054	چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آتی نیرو در حوزه آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw?playlist=879646	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/s3lWQ?playlist=879646	کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/nBNj5?playlist=879646	تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/PO35T?playlist=879646	مدیریت مصرف آب		

https://www.aparat.com/v/xyr2O?playlist=879646	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/dVKvu?playlist=879646	مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.aparat.com/v/hEXdv?playlist=879646	مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG?playlist=879646	دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		
https://www.aparat.com/v/xyr2O	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	رویکردهای برنامه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی		
https://www.aparat.com/v/B5Lle	تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.aparat.com/v/41JAS	چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://www.aparat.com/v/jBUwJ	بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/eotT5	مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب		
https://www.aparat.com/v/qOUfQ	راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی		
https://www.aparat.com/v/hcuQk?playlist=5771644	مراسم افتتاحیه	اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۵)	۳
https://www.aparat.com/v/j2lAK?playlist=5771644	نشست تخصصی اول؛ سیاست‌های تأمین آب شرب در ایران		
https://www.aparat.com/v/LajYD?playlist=5771644	نشست تخصصی دوم؛ سیاست‌های صنعت جمع‌آوری فاضلاب و بازیافت پساب		
https://www.aparat.com/v/6LBfm?playlist=5771644	نشست تخصصی سوم؛ تأثیر مسائل اجتماعی، فرهنگی و مشارکت جامعه در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/hr4Un?playlist=5771644	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/AmjKX	مراسم افتتاحیه	اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	۴
https://www.aparat.com/v/PO35T	نشست تخصصی اول؛ پنل مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/nBNj5	نشست تخصصی دوم؛ پنل تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/s3lwQ	نشست تخصصی سوم؛ پنل کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/wmjDk	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/SAOxw	مراسم افتتاحیه	دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی (۱۳۹۷)	۵
https://www.aparat.com/v/hEXdv	نشست تخصصی اول- مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود		
https://www.aparat.com/v/dVKvu	نشست تخصصی دوم- مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم‌آبی		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG	نشست تخصصی سوم- دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		
https://www.aparat.com/v/pYO7g	مراسم اختتامیه		

https://www.aparat.com/v/SHiuG	مراسم افتتاحیه	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۳۹۸)	۶
https://www.aparat.com/v/tn4E9	نشست تخصصی اول؛ چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/DZzYX	نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ	نشست تخصصی سوم؛ استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.aparat.com/v/nQ2Ez	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/V7BNT	مراسم افتتاحیه	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	۷
https://www.aparat.com/v/6OHW	نشست تخصصی اول؛ سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور		
https://www.aparat.com/v/IXWfd	نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU	نشست تخصصی سوم؛ هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/ISgM7	نشست تخصصی چهارم؛ بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/cGUnl	کلینیک صنعت اول؛ شبکه‌های توزیع آب		
https://www.aparat.com/v/ntsvY	کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/Fz5wu	کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه فاضلاب و بازیافت آب		
https://www.aparat.com/v/IKLRc	کلینیک صنعت چهارم؛ شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/yLp7u	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/FWHLm	مراسم افتتاحیه	اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۴۰۰)	۸
https://www.aparat.com/v/xvr2O	نشست تخصصی اول: نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی دوم: رویکردهای برنامه‌ایمی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نشست تخصصی سوم: نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/5c82a	کلینیک صنعت اول: محور شبکه‌های توزیع آب و کاهش هدررفت		
https://www.aparat.com/v/KnEdF	کلینیک صنعت دوم: محور بازیافت آب		
https://www.aparat.com/v/A5wkz	کلینیک صنعت سوم: محور کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/OgGXj	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/OB57I	مراسم افتتاحیه	چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱)	۹
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی		
https://www.aparat.com/v/B5Lle	نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.aparat.com/v/41JAS	نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://www.aparat.com/v/16VTE	کلینیک صنعت- محور کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/PupUv	کلینیک صنعت- محور شبکه‌های توزیع و هدررفت آب		
https://www.aparat.com/v/hr8Os	کلینیک صنعت- محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/nRdX3	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/kIHYq	پیام آقای مهندس محمودیان		
https://www.aparat.com/v/Uaun9	کارگاه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/UwoCu	مراسم افتتاحیه	دومین همایش ملی	۱۰
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/YHG3	سخنرانی جناب آقای دکتر مهدی قاسمی		

https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Q5jre	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تابش	کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۴۰۲)
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Ovg0e	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تجریشی	
https://www.aparat.com/v/Zz6aS	سخنرانی سرکار خانم دکتر سمیه رفیعی	
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Gs89r	مراسم تجلیل از پیشکسوتان برگزیده	
https://www.aparat.com/v/jBUwJ	نشست تخصصی اول؛ بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب	
https://www.aparat.com/v/eotT5	نشست تخصصی دوم؛ مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب	
https://www.aparat.com/v/qOUfQ	نشست تخصصی سوم؛ راه کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی	
https://www.aparat.com/v/GDMw7	کلینیک صنعت اول: طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب و مدیریت مصرف	
https://www.aparat.com/v/HuZRi	کلینیک صنعت دوم: کیفیت آب و پساب	
https://www.aparat.com/v/nCJ0p	کلینیک صنعت سوم: تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی	
https://www.aparat.com/v/j90wr	مراسم اختتامیه	

کنفرانس‌های داخلی

سایت کنفرانس	تاریخ برگزاری	محل برگزاری	برگزارکنندگان	عنوان کنفرانس
https://conf.iha.ir/	۹ تا ۱۰ آبان ۱۴۰۳	کرمانشاه	انجمن هیدرولیک ایران - دانشگاه رازی کرمانشاه	بیست و سومین کنفرانس هیدرولیک ایران
https://iwwa-conf.ir/	۶ الی ۸ آذرماه ۱۴۰۳	اصفهان	انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشگاه اصفهان	پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
https://irhwr.scu.ac.ir/fa/	۲۳ تا ۲۴ بهمن‌ماه ۱۴۰۳	خوزستان	دانشگاه شهید چمران اهواز	اولین همایش ملی هیدرولوژی و منابع آب ایران

کنفرانس‌های خارجی

سایت کنفرانس	تاریخ برگزاری	محل برگزاری	عنوان کنفرانس
https://www.iwa-win.org/	23 – 27 September 2024	Nanjing, China	Water in Industry 2024
https://iwa-network.org/events/4th-international-conference-on-disinfection-and-dbps/	7 – 10 October 2024	Almeria, Spain	4th International Conference on Disinfection and DBPs
https://www.swwsrosconference2024.org/	7 – 10 November 2024	Curitiba, Brazil	17th Small Water and Wastewater Systems and 9th Resource Oriented Sanitation
https://uqevents.eventsair.com/nrr24/	17 – 21 November 2024	Brisbane, Australia	Nutrient Removal and Recovery Conference 2024
https://iwareuse2025.com/	16 – 20 March 2025	Cape Town, South Africa	14th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse
https://iwa-aop.org/	8 – 10 April 2025	Frankfurt am Main, Germany	7th IWA Specialist Group Conference Advanced Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment and Recycling
https://iwacyprus2025.com/index.php	28 – 30 April 2025	Pafos, Cyprus	Joint Conference: 6th International Conference on Economics, Statistics and Finance and 10th Leading Edge Conference for Strategic Asset Management (LESAM)
https://www.wetsus.nl/iwa-rr-2025/	19 – 23 May 2025	Leeuwarden, Netherlands	IWA Resource Recovery Cluster Conference – Supported
https://watermicro2025.nl/	15 – 20 June 2025	Amersfoort, Netherlands	22nd Health-Related Water Microbiology Conference
https://www.ecostp2025.org/	23 – 26 June 2025	Stockholm, Sweden	7th IWA International Conference on eco- Technologies for Wastewater Treatment
http://www.udm2025.org/	15 – 19 September 2025	Innsbruck, Austria	13th Urban Drainage Modelling Conference



کمیته ملی آب و فاضلاب ایران

وزارت نیرو
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
(مادر تخصصی)



شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان



دانشگاه اصفهان
University of Isfahan



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
Iranian Water & Wastewater Association

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

5th IRAN WATER & Wastewater Science Engineering Congress

26-28 November 2024 Isfahan-Iran



دانشگاه اصفهان

۶ الی ۸ آذرماه ۱۴۰۳

مهلت ارسال مقاله کامل: ۵ مهرماه ۱۴۰۳

۱۵ مهرماه ۱۴۰۳

www.iwwa-conf.ir

irwwa.conf@gmail.com

[Instagram.com/irwwa.ir](https://www.instagram.com/irwwa.ir)

t.me/iwwa_conf

۰۳۱-۳۷۹۳۲۶۷۷

۰۳۱-۳۷۹۳۲۶۷۷



محورهای کنگره:

محور ویژه: فرونشست زمین و چالشهای آن

- تامین، تصفیه، انتقال، توزیع و بازچرخانی آب
- جمع آوری و تصفیه فاضلاب و رواناب
- بهره‌برداری از تاسیسات آب و فاضلاب و خدمات مشترکین
- چالش‌های کمی و کیفی نمک‌زدایی و انتقال آب دریا
- فناوری‌های نوین در صنعت آب و فاضلاب
- هوشمندسازی، مدیریت هدررفت، مصرف آب و انرژی و سازگاری با کم‌آبی
- مدیریت منابع آب و استفاده از آب‌های نامتعارف
- تاب‌آوری تاسیسات آب و فاضلاب و پدافند غیرعامل
- بهره‌وری، مهندسی ارزش و مدیریت منابع انسانی و مالی
- آموزش و رویکردهای اجتماعی و فرهنگی در مدیریت آب شهری
- تدوین استانداردها، ضوابط و تجارب بومی در صنعت آب و فاضلاب
- اقتصاد آب و پساب، بازار و تجارت آلودگی

دبیرخانه: اصفهان، بلوار هزار جریب، دانشگاه اصفهان، ساختمان شماره ۳ دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل



irwwa.ir



iwwa-conf.ir



فراخوان نهمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

۹

ویژه دانش آموختگان سال های ۱۴۰۰ به بعد



انجمن آب و فاضلاب ایران در نظر دارد در نهمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در حوزه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، پایان نامه های برتر در "مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری" را با اهدای **لوح تقدیر و جوایز نفیس** مورد تشویق قرار دهد.

از علاقه مندان دعوت می شود تا برای شرکت در مسابقه، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۳** با مراجعه به سایت انجمن به نشانی **IRWWA.IR**، اقدام به دریافت فرم شرکت در مسابقه نموده و پس از تکمیل، فرم مربوطه را همراه با فایل پایان نامه و مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود، به آدرس ایمیل مسابقات انجمن به نشانی "**irwwa.competitions@gmail.com**" ارسال نمایند.

جوایز نفرات اول تا سوم در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، همزمان با برگزاری

"پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران"

که از ۶ تا ۸ آذرماه ۱۴۰۳ در دانشگاه اصفهان برگزار می شود، اعطا می شود.



irwwa.ir
info@irwwa.ir





پنجمین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۳



یادواره

پروفسور ناصر رازقی

آخرین مهلت ثبت نام: **۲۰ بهمن ماه ۱۴۰۳**

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۳

مرحله دوم: به صورت تشریحی

(متعاقباً اعلام می شود)

داوطلبان می توانند در **یک یا هر دو بخش** زیر، به انتخاب خود در المپیاد شرکت کنند:

- ❖ گزینه اول: طراحی و بهره برداری شبکه های آب، فاضلاب و آب سطحی
- ❖ گزینه دوم: فرآیندهای تصفیه، طراحی و بهره برداری تصفیه خانه های آب و فاضلاب

➡ به نفر اول هر گزینه جایزه نفیسی اهدا خواهد شد.

➡ برای اطلاع از آخرین تغییرات آیین نامه برگزاری المپیاد به سایت انجمن مراجعه فرمایید.

➡ شرکت در المپیاد، برای عموم دانشجویان در تمامی مقاطع و متخصصین صنعت آب و فاضلاب مجاز است.

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۱۰۰ هزار تومان

سایرین: ۱۵۰ هزار تومان



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

علاقه مندان می توانند برای کسب اطلاعات بیشتر به وبسایت **انجمن آب و فاضلاب ایران** مراجعه کنند و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند.



مهلت ارسال ایده
۳۰ دی ماه ۱۴۰۳

ششمین دوره مسابقه ایده برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب

در محورهای هدررفت آب، بازیافت آب، کیفیت آب و سایر موضوعات مرتبط

همراه با جوایز نقدی، لوح تقدیر و چاپ ایده در مجله علمی "علوم و مهندسی آب و فاضلاب" برای رتبه‌های برتر

لطفاً برای دریافت فایل فرمت و فرم اصالت ایده به سایت انجمن به نشانی irwwa.ir مراجعه کرده و پس از تکمیل، فایل‌ها را به ایمیل iwwa.competitions@gmail.com

ارسال فرمایید.

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به وبسایت انجمن آب و فاضلاب ایران مراجعه کنید و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایید.



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

لوگو	سطح عضویت	نام شرکت
 <p>آبسان مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir</p>	الماسی	مهندسين مشاور آبسان
 <p>شرکت فناور ایمن لوتوس</p>	طلایی	فناور ایمن لوتوس
 <p>طوس آب شرکت مهندسی مشاور</p>	طلایی	مهندسی مشاور طوس آب
 <p>TAVANA</p>	طلایی	شرکت مهندسی خطوط لوله توانا
	برنزی	مهندسين مشاور یکم
 <p>ABRAM ETTESAL</p>	برنزی	آبان بسپار پارسیان
 <p>MGET فراگیر انرژی و پالایش مادیار Madjar Global Energy And Water Treatment Co</p>	برنزی	فراگیر انرژی و پالایش مادیار
 <p>هپیکو Hapico</p>	برنزی	خط لوله هامون (هپیکو)
	برنزی	مهندسين مشاور طرح و تحقیقات اصفهان
 <p>S.A.A Sanjesh Afzar Asia Co. Ltd.</p>	برنزی	سنجش افزار آسیا

 <p>مهندسين مشاور آبران</p>	برنزی	مهندسين مشاور آبران
 <p>شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی</p>	برنزی	آب و فاضلاب آذربایجان شرقی
 <p>مهندسين مشاور آینده میترا</p>	برنزی	مهندسين مشاور آینده میترا
 <p>Persia Optimized Designing شرکت بهینه طراحی پرشیا</p>	برنزی	بهینه طراحی پرشیا
 <p>گوه‌مینا شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا</p>	برنزی	شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا
 <p>آبزور شرکت مهندسين مشاور آب سو</p>	برنزی	شرکت مهندسين مشاور آب سو
 <p>FANAVARAN KHERAD RAD Industrial company شرکت مهندسی فن آوران خرد راد</p>	برنزی	شرکت مهندسی فن آوران خرد راد

از علاقه‌مندان به حوزه‌های مرتبط با علوم و صنعت آب و فاضلاب دعوت می‌شود تا برای شروع فرآیند عضویت خود در انجمن آب و فاضلاب ایران، از طریق لینک <http://irwwa.ir>، به سایت انجمن مراجعه و با ایجاد حساب کاربری در سایت، اقدام به دریافت نام کاربری و رمز ورود اقدام کنند. سپس وارد حساب کاربری خود شده و پنجره عضویت را از نوار بالای صفحه انتخاب نموده و ضمن تکمیل فرم عضویت حقیقی، مدارک درخواستی را بارگزاری نمایند. مراحل پرداخت حق عضویت و اعطای شماره عضویت پس از ارسال ایمیل تأییدیه از سوی انجمن، شروع خواهد شد.

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۲ (به‌ازای هر سال)	۹۰۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۴۰۳ - ۱۴۰۴)	۲۷۵۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۳ - ۱۴۰۶)	۴۵۰۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۳ - ۱۴۰۴)	۱۸۰۰۰۰۰
عضویت دائمی	۱۶۰۰۰۰۰۰

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۵۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۳۰۰۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۶۰۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۹۰۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبدا: IR930180000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

بانک تجارت شعبه دانشگاه (کد ۱۸۶) به‌نام انجمن آب و فاضلاب ایران

لطفاً اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن (info@irwwa.ir) ارسال فرمایید.

جدول مزایای اعضای حقوقی طرح جدید

مزایای عضویت	سطح عضویت (مبلغ پرداختی)	برنزی (سالانه ۶ میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۹ میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۱۲ میلیون تومان)	الماسی (سالانه ۱۵ میلیون تومان)
دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در ذیل جدول شرح داده می‌شود)		۳ سالانه ۳ میلیون تومان	۶ سالانه ۶ میلیون تومان	۹ سالانه ۹ میلیون تومان	۱۲ سالانه ۱۲ میلیون تومان
درج لوگوی شرکت در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و خبرنامه و سایت انجمن (با مشخص بودن سطح عضویت) در مدت زمان عضویت		*	*	*	*
دریافت اشتراک یک ساله نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به صورت رایگان (۴ شماره) در مدت زمان عضویت		*	*	*	*
درج رایگان آگهی نیم صفحه (با متن دلخواه) در یک شماره نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب در مدت زمان عضویت		*	*	*	*
ارائه ۵۰٪ تخفیف در اجاره غرفه نمایشگاهی همزمان با کنفرانس‌های سالانه انجمن در مدت زمان عضویت (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)		*	*	*	*
امکان انتقال نیمی از اعتبار باقیمانده به سال آینده (در صورت تمدید عضویت)		*	*	*	*
امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس پروژه‌ها و عملکرد محصولات و ...) مشترک با انجمن (پس از ارائه پروپوزال و انجام هماهنگی‌های لازم) در مدت زمان عضویت		*	*	*	*
دریافت گواهی عضویت دوزبانه		*	*	*	*
دریافت پرچم رومی‌زی انجمن آب و فاضلاب ایران		*	*	*	*

اعضای محترم حقوقی / حامیان انجمن، می‌توانند از **اعتبار خود** در یک یا چند مورد از موارد زیر استفاده کنند:

- درج آگهی در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (تمام صفحه، معادل ۲ میلیون تومان اعتبار و نیم صفحه معادل ۱ میلیون تومان اعتبار)؛
 - استفاده از کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی (متناسب با هزینه کارگاه و تعداد شرکت‌کنندگان معرفی شده از سوی شرکت از اعتبار کسر می‌شود)؛
 - شرکت در همایش‌های انجمن (متناسب با هزینه شرکت در همایش و تعداد شرکت‌کنندگان معرفی شده از سوی شرکت از اعتبار کسر می‌شود)؛
 - امکان اجاره غرفه نمایشگاهی که هم‌زمان با همایش‌های انجمن برگزار می‌شوند (متناسب با متراژ غرفه از اعتبار کسر می‌شود)؛
 - صدور گواهی شرکت در وبینار (صدور هر گواهی برای شرکت‌کنندگان معرفی شده از سوی شرکت معادل ۵۰ هزار تومان اعتبار است)؛
- * لازم به ذکر است که پس از اتمام اعتبار، اعضای محترم حقوقی کماکان می‌توانند مطابق با روال گذشته، از تخفیفات و مزایای عضویت به شرح زیر بهره‌مند شوند.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

سطح عضویت حقوقی				عضو حقیقی	مزایای عضویت
الماسی	طلایی	نقره‌ای	برنزی		
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در همایش‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	-	تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	-	تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن
٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	-	تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

نویسنده مسئول مقاله به‌هنگام ثبت مقاله، فایل‌های زیر را برای دفتر مجله از طریق سامانه ارسال می‌نماید:

- فایل word مقاله بدون نام نویسندگان، که شامل کلیه اجزا و محتویات مقاله است و شکل‌ها و جدول‌ها در جای خود جانمایی شده‌اند.

- فایل pdf مقاله بدون نام نویسندگان که شامل کلیه اجزا و محتویات مقاله است و شکل‌ها و جدول‌ها در جای خود جانمایی شده‌اند.

- فایل مشخصات نویسندگان.

- فایل حق چاپ (Copy Right): نامه‌ای است که نویسندگان با مضمون تعهد ارسال مقاله فقط برای مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب تهیه می‌کنند و با امضای کلیه مولفین با ترتیبی که قرار است چاپ شود، ارسال می‌نمایند (نمونه این نامه در زمان ثبت مقاله در قسمت نامه به سردبیر قابل رویت است).

- فایل تعارض منافع (Conflict of Interests): نامه‌ای است که نویسندگان با مضمون تعهد به رعایت کلیه اصول اخلاق نشر ارسال می‌نمایند (نمونه این نامه در زمان ثبت مقاله در قسمت نامه به سردبیر قابل رویت است).

❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013 یا بالاتر

❖ عنوان: کوتاه اما معرف محتوای مقاله است و از ۱۵ واژه تجاوز نمی‌کند.

❖ نام نویسنده(گان):

به‌همان ترتیبی که در مقاله چاپ می‌شود، در یک فایل جداگانه به‌طور کامل آورده می‌شود. عناوین دانشگاهی نویسنده(گان) به‌ترتیب نویسنده: مرتبه علمی، گروه، دانشکده، دانشگاه، شهر، کشور نشان داده می‌شود. عناوین غیر دانشگاهی نیز به‌ترتیب عنوان آخرین مدرک دانشگاهی، سمت، محل کار، شهر و کشور نشان داده شود. ثبت اسامی تمامی نویسندگان به‌همراه پست الکترونیکی و اطلاعات تماس ایشان در سامانه الزامی است. با توجه به سیستم الکترونیک مجله برای پیشبرد وضعیت مقالات، مقاله مستقیماً برای داور ارسال می‌شود، لذا تاکید می‌شود که فایل‌های ارسالی به مجله فاقد نام نویسنده(گان) باشد. در غیر این‌صورت تا اصلاح شدن فایل، ارسال مقاله برای داوران متوقف می‌شود.

❖ نام مؤسسه:

نام مؤسسه در بخش فارسی و انگلیسی منطبق بر نام مصوب و

نویسندگان محترم پس از آماده‌سازی مقاله مطابق راهنمای تدوین مقالات، از طریق ثبت‌نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب به آدرس jwwse.ir می‌توانند وارد صفحه شخصی خود شده و با تکمیل بخش‌های مربوطه، مقاله خود را ارسال نمایند.

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

- ارسال مقاله منحصراً از طریق ثبت‌نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب انجام می‌شود.

- نویسنده‌ای که برای بار چندم اقدام به ارسال مقاله می‌نماید، حتماً باید از طریق صفحه شخصی قبلی خود نسبت به ارسال مقاله اقدام نموده و به‌هیچ‌عنوان دوباره در سامانه ثبت نام نکند.

- وارد کردن اسامی و اطلاعات کامل تمامی نویسندگان در سامانه و در محل مربوط به مشخصات نویسندگان مقاله، الزامی است.

- نویسندگان در طی مراحل ارسال مقاله، در قسمت نامه به سردبیر، متعهد می‌شوند که مقاله صرفاً برای مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب تهیه شده و برای چاپ یا ارزیابی به مجله دیگری ارائه نشده است.

- نویسندگان در قسمت ارسال فایل‌ها با ارسال یک فایل word که به امضای همه نویسندگان رسیده است، حق چاپ مقاله را به مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب واگذار می‌نمایند. در غیر این‌صورت مقاله در روند داوری قرار نخواهد گرفت.

- فایل‌هایی که نویسنده در مرحله اولیه ارسال می‌کنند شامل فایل word مقاله بدون نام نویسندگان، فایل pdf بدون نام نویسندگان، فایل مشخصات کامل نویسندگان و فایل اصلی شکل‌ها در محیط نرم‌افزاری مربوطه است.

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

مجله علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب به زبان فارسی و با چکیده انگلیسی چاپ می‌شود. تعداد صفحات مقاله کامل و نیز مروری حداکثر ۱۲ صفحه و یادداشت فنی بین ۴ تا ۶ صفحه قابل چاپ است. لازم به ذکر است که مقاله ارسالی نباید هم‌زمان در مجله دیگری چاپ شده یا تحت داوری باشد.

با توجه به آیین‌نامه جدید نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، از این پس امکان چاپ مقالات پژوهشی نیز وجود دارد و نوع هر مقاله در بالای آن درج خواهد شد.

❖ انواع مقالات:

این نشریه مقالات مروری، پژوهشی، یادداشت فنی (ترویجی) و یادداشت کوتاه را به چاپ می‌رساند. بنابراین نویسنده محترم باید در هنگام ارسال مقاله، نوع مقاله را از بین چهار گروه فوق انتخاب

رایج مؤسسه است (نام رسمی مندرج در سربرگ رسمی مؤسسات، دانشگاه‌ها، سازمان‌ها و ...).

❖ چکیده فارسی:

شامل مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث و نتیجه‌گیری است. حداقل تعداد کلمات در چکیده ۱۵۰ و حداکثر ۲۵۰ کلمه باشد.

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

باید یکسان و شامل حداقل چهار و حداکثر شش واژه مجزا باشد که موضوع تحقیق، بیشتر پیرامون آن‌ها است.

❖ متن مقاله:

متن کامل مقاله در دو فایل جداگانه شامل یک فایل ورد با قلم نازک B Nazanin با اندازه ۱۲ برای زبان فارسی و قلم Times New Roman با اندازه ۱۰ برای زبان انگلیسی و با فاصله بین خطوط ۱/۵ سانتیمتر به صورت تک‌ستونی و یک فایل با فرمت pdf ارائه می‌شود. فایل word مقاله، یک مقاله کامل و شامل تمامی اجزای ضروری است و با جانمایی درست شکل‌ها و جدول‌ها ارائه می‌شود. در فایل pdf، مقاله به صورت کامل و با جانمایی درست شکل‌ها و جدول‌ها ارائه می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، در هر دو فایل word و pdf اسامی و مشخصات نویسندگان به طور کامل حذف می‌شوند.

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و هم‌چنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش‌های قدرانی در انتهای مقاله و قبل از بخش مراجع نوشته می‌شود. بخش‌های مختلف متن و همه صفحات و همین‌طور تمام سطرها به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند.

- معادل انگلیسی کلمات فارسی که نیاز به توضیح به زبان اصلی دارد، وقتی برای اولین بار در مقاله به کار می‌روند، به صورت پی‌نوشت در انتهای مقاله و قبل از فهرست مراجع درج می‌شوند. پی‌ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص می‌شود.

❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

جدول‌ها و شکل‌ها در محل مناسب بعد از معرفی آن‌ها در متن مقاله در فایل word مقاله با کیفیت مناسب چاپ، ارائه می‌شوند. همه جدول‌ها و شکل‌ها شماره‌گذاری شده و عنوان جدول در بالای آن و عنوان شکل در زیر آن نوشته می‌شود. در عنوان جدول‌ها و نمودارها باید سه ویژگی «چه، کجا و کی» برای محتوای آن مشخص شود. مثلاً نوشته شود: نوسان‌های دبی آب خام در تصفیه خانه بابا شیخ علی شهر اصفهان در سال ۱۳۹۵. در ضمن اگر شکل یا جدولی از مرجع دیگری اخذ شده است، به

مرجع موردنظر در آخر عنوان جدول یا شکل اشاره می‌شود و مشخصات مأخذ در بخش مراجع درج می‌شود. هم‌چنین ارسال فایل اصلی شکل‌ها در محیط نرم‌افزاری به همراه کاربرگ داده‌های نمودار نیز ضروری است. در فایل pdf مقاله، تمامی شکل‌ها و جدول‌ها در محل خودشان در متن مقاله جانمایی می‌شوند. - در صورتی که در مقاله از عکس استفاده شده باشد، ارسال فایل اصلی آن الزامی است.

- در مورد نمودارهایی که با نرم‌افزارهای تخصصی تهیه شده‌اند، ارسال کاربرگ داده‌های رسم نمودار نیز ضروری است.

❖ معادلات:

معادلات به صورت خوانا با حروف و علائم مناسب با استفاده از Microsoft Equation تهیه می‌شوند. واحدها برحسب واحد بین‌المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند. تمام پارامترهای هر معادله باید بلافاصله در زیر آن معرفی شوند.

❖ مراجع:

در داخل متن: نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت (نویسنده، سال) عمل می‌شود. ارجاع در داخل متن به بیش از یک مرجع در کنار هم، به این صورت است که مراجع با نقطه ویرگول (;) از هم جدا می‌شوند. فقط مراجعی که در متن مقاله به آن‌ها اشاره شده است، در بخش مراجع آورده می‌شوند. در متن مقاله نام نویسندگان مراجع فارسی (به صورت فارسی) و مراجع انگلیسی (به صورت انگلیسی) نوشته می‌شود. در صورتی که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی که بیش از دو نفر باشند، از عبارت (و همکاران) یا (et al.) در متن مقاله استفاده می‌شود.

در فهرست مراجع: نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع نویسی هاروارد است. در انتهای مقاله مرجع نویسی به صورت الفبایی است. تاکید می‌شود که در بخش فهرست مراجع، نام مجله، انتشارات، موسسه، کنفرانس و غیره به صورت کامل درج می‌شود و از به کار بردن نام اختصاری آن‌ها (Abbreviation) خودداری شود.

تذکر: لازم است در انتهای اطلاعات هر مرجع در لیست مراجع، doi مقاله در صورت وجود درج شود.

در نگارش انواع مراجع از فرمت زیر استفاده شود:

• مقاله فارسی:

تابش، م.، بهبودیان، ص.، و بیگی، س.، (۱۳۹۳)، "پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب شرب (مطالعه موردی: شهر نیشابور)"، *تحقیقات منابع آب/ایران*، ۱۰(۳): ۱۴-۲۵.

غبری، م.، (۱۳۹۲)، "تحلیل ریسک سیستم‌های فاضلاب با استفاده از شبکه‌های بی‌زین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد

فیش آن را به همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

مهندسی عمران-آب، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

• مقاله غیر فارسی:

Tabesh, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Rasi Faghihi, N., and Heydarzadeh, R., (2018), "Risk assessment of factors influencing Non-Revenue Water using Bayesian Networks and Fuzzy Logic", *Water Resources Management*, 31(9), 2561-2578, <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2011-8>.

• مقاله منتشر نشده:

Foladori, P., Tamburini, S. and Bruni, L., (2017), "Bacteria permeabilisation and disruption caused by sludge reduction technologies evaluated by flow cytometry", *Journal of Water Research*, in press.

• کتاب:

Briere, F.G., (2014), *Drinking-water distribution, sewage, and rainfall collection*, Presses Internationales Polytechnique, Paris.

• بخشی از کتاب:

Meltzer, P.S., Kallioniemi, A., and Trent, J.M., (2002), "Chromosome alterations in human solid tumors", In: B. Vogelstein and K.W. Kinzler (eds.), *The genetic basis of human cancer*, McGraw-Hill, New York, pp. 93-113.

• موسسه به جای نویسنده:

WHO, (2011), *Nitrate and nitrite in drinking-water-background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality*, World Health Organization, Geneva.

• مقالات کنفرانسی:

Murphy, L.J., Dandy, G.C. and Simpson, A.R., (1994), "Optimum design and operation of pumped water distribution systems", *Proceeding Conference on Hydraulics in Civil Engineering, Institution of Engineers*, Brisbane, Australia, pp. 149-155.

• پایان نامه:

de Schaetzen, W., (2000), "Optimal calibration and sampling design for hydraulic network models", Doctoral Dissertation, University of Exeter, Exeter, UK.

• سایت اینترنتی:

Burka, L.P., (2003), "A hypertext history of multiuser dimensions", Viewed 5 Dec. 2015, <http://www.ccs.neu.edu/>

❖ تذکر مهم:

بر اساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۳ به مجله ارسال می شود باید مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال هزینه پردازش اولیه و مبلغ چهار میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۳۱۰۱-۰۹۹۰-۸۳۷۰-۵۸۵۹ به نام انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه دانشگاه (کد ۱۸۶) واریز و

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 9, No. 2, Summer 2024

License from Ministry of Science, Research and Technology of
Iran: No. 3/18/290129 on 6 March 2017.

License from Ministry of Culture and Islamic Guidance: No.
86092 on 20 January 2020.

Concessionaire: Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
Director-in-Charge: Tabesh, M. (Ph.D.)
Editor-in-Chief: Haghghi, A. (Ph.D.)

Editorial Board:

Farmani, R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Exeter (UK)
Giustolisi, O. (Ph.D.): Professor, University of Bari (Italy)
Jalili Ghazizadeh, M.R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Nazif, S. (Ph.D.): Associate Professor, University of Tehran
Rashidi Mehrabadi, A. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Safavi, H.R. (Ph.D.): Professor, Isfahan University of Technology
Sajadifar, S.H. (Ph.D.): Tehran Water and Wastewater Engineering Company and Assistant
Professor, Islamic Azad University
Sarrafzadeh, M.H. (Ph.D.): Professor, University of Tehran and Chairholder of UNESCO Chair
on Water Reuse
Savic, D. (Ph.D.): Professor, University of Exeter (UK)
Tabesh, M. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Takdastan, A. (Ph.D.): Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Science
Talebeydokhti, N. (Ph.D.): Professor, Shiraz University
Tanyimboh, T. (Ph.D.): Associate Professor, University of the Witwatersrand, Johannesburg,
South Africa
Torabian, A. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Vosoghi, M. (Ph.D.): Professor, Sharif University of Technology



Industrial Water and Wastewater Policy Council:

Amini, H. (Ph.D.): Managing Director, National Water and Wastewater Engineering Company (NWWEC)
Ghane, A.A. (M.Sc.): The head of the Coordination Center of Water and Wastewater Knowledge, Industry,
Market, Scientific Vice Presidency
Ghannadi, M. (M.Sc.): Director General of the Office of Research, Development and Industry
Relations, NWWEC
Honari, H. (M.Sc.): Retired Faculty Member, Tehran University of Medical Science
Salamat, A. (Ph.D.): Director General of the Office of Energy and Control System, NWWEC

Editorial Staff:
Graphic Designer:
Page Setting:
Publisher:
Address:
Tel:
Fax:
Print ISSN:
Online ISSM:
E-Mail:

Akhtari, N.
Shahangian, S.A. (Ph.D.)
Akhtari, N.
Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran
+98 21 88956097
+98 21 88391390
2588-3941
2588-396X
info@jwwse.ir



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 9, No. 2, Summer 2024

Preface (The Presence of Emerging Persistent Pollutants of Pharmaceutical Compounds in Wastewater) Dr. Zahra Akbari	2
<u>Papers</u>	
Short-Term Prediction of Hydrological Drought Using Deep Learning-Based Method Abbas Noorinejad, Farhad Hooshyaripor and Majid Dehghani	3
Identifying and Prioritizing Strategies to Adapt to Dehydration Using Hierarchical Analysis and TOPSIS Approaches (Case Study of Bushehr Province) Masoud Haraghi, Ali Darvishi and Maryam Haraghi	17
Pressure Management in Water Distribution Networks with Optimal Placement of Pressure Relief Valve and Pump as Turbine Parham Vazifedoust Saleh, Jafar Yazdi and Ali Moridi	31
Synthesis, Characterization and Performance Evaluation of Cationic Microfiltration Membranes Coated with ZnO/CS/Ag₂O Nanoparticles for S. aureus Removal from Water Seyed-Behnam Ghaffari and Mohammad-Hossein Sarrafzadeh	43
Investigation of the Long-Term Performance of Water Distribution Networks in Peak Consumption Conditions by Applying the Uncertainty of Model Parameters and Leakage Variation Mehdi Dini and Parisa Ahadpour	57
The Challenges and Obstacles of Success Rural Water Supply Management Majid Ghannadi	71
<u>General Section</u>	
Round-Table (Expert Meeting on Optimal Management of Water Consumption with the Approach of Industries Commitment to Use Wastewater)	81
Book Presentation	90
Best Thesis	91
Best Idea	94
IWWA News	96