



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

مقالات علمی

- ۲ استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب موقعیت مناسب تصفیه‌خانه فاضلاب،
مطالعه موردی: تصفیه‌خانه شهر فاروج
سید امیر سعیدی، فرهاد خام‌چین مقدم و سیدناصر باشی ازغدی
- ۱۶ بررسی اثرات سناریوهای مدیریتی در برابر تغییرات اقلیمی بر اندرکنش رودخانه و آبخوان،
مطالعه موردی: زیرحوضه لنجانان
محمد علیزاده، محمدحسین گل‌محمدی و حمیدرضا صفوی
- ۲۸ ارائه مدل برآورد نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)
سیدعظیم حسینی و حسین ملکی طولابی
- ۴۴ بررسی پارامترهای موثر در سیستم تلفیقی میکرواسترینر و ازن‌زنی در حذف جلبک از آب خام
محسن ستاری و داریوش یوسفی کبریا
- ۵۳ بررسی عددی ورودی مخازن ته‌نشست ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دایره‌ای شکل با Flow-3D
رامتین صبح‌خیز فومنی، علیرضا مردوخ پور و صادق حسینی
- ۷۲ بررسی عملکرد بیورآکتور مستغرق غشایی (SMBR) در تصفیه فاضلاب‌های شهری و نساجی شاهین‌شهر اصفهان
فرزاد هاشم‌زاده و عباس اکبرزاده

مطالب عمومی

- ۸۵ مصاحبه
- ۹۰ میزگرد
- ۱۰۶ پایان‌نامه برتر
- ۱۰۸ معرفی کتاب
- ۱۱۰ گزارش کنگره
- ۱۲۲ اخبار انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

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

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

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: دانشیار 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 گیوستولیسی: استاد، دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

مهندس علیرضا طباطبایی: مدیرکل دفتر نظارت بر بهره برداری آب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس علی اصغر قانع: مشاور مدیر عامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس مجید قنادی: مشاور معاونت مهندسی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

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

شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

چاپ:

ناهید اختری

ناهید اختری، مهندس سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

فرشیوه

پیشگفتار..... ۲

مقالات علمی

استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب موقعیت مناسب تصفیه‌خانه فاضلاب، مطالعه موردی: تصفیه‌خانه شهر فاروج..... ۵

سید امیر سعیدی، فرهاد خام‌چین مقدم و سیدناصر باشی ازغدی

بررسی اثرات سناریوهای مدیریتی در برابر تغییرات اقلیمی بر اندرکنش رودخانه و آبخوان، مطالعه موردی: زیرحوضه لنجان..... ۱۶

محمد علیزاده، محمدحسین گل محمدی و حمیدرضا صفوی

ارائه مدل برآورد نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)..... ۲۸

سیدعظیم حسینی و حسین ملکی طولابی

بررسی پارامترهای موثر در سیستم تلفیقی میکرواسترینر و ازن‌زنی در حذف جلبک از آب خام..... ۴۴

محسن ستاری و داریوش یوسفی کبریا

بررسی عددی ورودی مخازن ته‌نشست ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دایره‌ای شکل با Flow-3D..... ۵۳

رامتین صبح‌خیز فومنی، علیرضا مردوخ پور و صادق حسینی

بررسی عملکرد بیورآکتور مستغرق غشایی (SMBR) در تصفیه فاضلاب‌های شهری و نساجی شاهین‌شهر اصفهان..... ۷۲

فرزاد هاشم‌زاده و عباس اکبرزاده

مطالب عمومی

مصاحبه..... ۸۵

میزگرد..... ۹۰

پایان‌نامه برتر..... ۱۰۶

معرفی کتاب..... ۱۰۸

گزارش کنگره..... ۱۱۰

اخبار انجمن..... ۱۲۲



مدل‌ها و فناوری‌های داده‌محور برای سیستم‌های آب شهری



دکتر علی حقیقی

استاد دانشکده مهندسی عمران و معماری

دانشگاه شهید چمران اهواز و

عضو هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران

مدت زیادی نیست که برای تاکید بر اهمیت آب و حفظ آن گفته می‌شود جنگ آینده ملت‌ها بر سر آب خواهد بود. از سوی دیگر می‌شنویم که سهم اقتصادهای بزرگ قدیمی هم‌چون نفت و فولاد و کشاورزی در مقابل اقتصادهای جدید مبتنی بر فناوری‌های نوظهور در حوزه فناوری اطلاعات، IT (Information Technology) و هوش مصنوعی، AI (Artificial Intelligence) روز به روز در حال کاهش است تا جایی‌که امروزه برخی داده‌های عظیم (Big data) را از طلا با ارزش‌تر می‌شمارند. حوزه مهندسی آب نیز در سال‌های اخیر از این ترند جهانی بی‌تاثیر نبوده و به‌طور فزاینده‌ای بر ایده‌ها، تحقیقات و فناوری‌های داده‌محور برای مدیریت هوشمند سامانه‌های آب شهری افزوده شده است.

سامانه‌های آب شهری از جمله سیستم‌های انتقال و شبکه‌های توزیع آب شرب، شبکه‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب و آب‌های سطحی و تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب از زمان طراحی تا بهره‌برداری با انواع داده‌های برون‌زا و درون‌زا به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در ارتباط هستند. آگاهی مهندسان طراح و بهره‌بردار از الگوها و رازهای نهفته در این داده‌ها امکان پیش‌بینی‌های دقیقی را از آینده محیط و سیستم‌های آب شهری در تعامل با یکدیگر فراهم می‌سازد که نتیجه آن برای سیستم دستیابی به راندمان بالاتر، هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری کمتر، مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیستی کمتر و به‌طور کل شاخص‌های

عملکردی (اعتمادپذیری، بازگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری) بهتر در مدیریت یکپارچه شهری خواهد بود. جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مختلف کمی و کیفی از سیستم‌های آب شهری و استفاده از آن‌ها در قالب مدل‌ها و فناوری‌های داده‌محور در چارچوب علم داده (Data science) تعریف می‌شود که خود شامل پروتکل‌ها و زیر واحدهای متنوعی است.

مطابق با تعریف، علم داده یک حوزه مطالعاتی است که با حجم وسیعی از داده سر و کار دارد و با استفاده از ابزارها و تکنیک‌های متنوع، از روش‌های کلاسیک آمار و احتمالات گرفته تا روش‌های مدرن هوش مصنوعی، برای داده‌کاوی، یافتن الگوهای نادیده، استخراج اطلاعات معنادار و تصمیم‌گیری‌های تجاری، فنی و علمی به‌کار گرفته می‌شود. علم داده در نهایت از الگوریتم‌های پیچیده یادگیری ماشین، ML (Machine learning) که خود زیرمجموعه هوش مصنوعی محسوب می‌شود برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی و تصمیم‌گیری استفاده می‌نماید. در حقیقت به کمک علم داده می‌توان از داده‌های خام (Raw data) به اطلاعات (Information) و از اطلاعات به دانش و آگاهی (Knowledge and wisdom) نسبت به یک مسئله رسید. انتخاب نوع روش یادگیری و نحوه پردازش داده‌ها تابعی از مشخصات خود داده، مسئله و اهداف پیش روی دانشمند داده (Data scientist) است. علم داده و تکنیک‌های زیرمجموعه آن پایه و اساس مدل‌ها و فناوری‌های مرتبط با هوشمندسازی سامانه‌های آب شهری هستند و بدون تردید دسترسی به داده‌های وسیع و با کیفیت از سیستم مورد بررسی، مهم‌ترین بخش و گلوگاه اصلی توسعه مدل‌ها و گرفتن نتیجه مطلوب از آن‌ها محسوب می‌شود. در حقیقت تعریف مسئله، تکنیک حل و پیاده‌سازی مدل‌های یادگیری در درجات اهمیت پایین‌تری نسبت استحصال داده قرار می‌گیرند. لذا بی‌راه نیست اگر بگوییم که بیش از ۸۰ درصد وقت و انرژی یک دانشمند داده صرف تهیه، پاک‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها می‌شود که اصطلاحاً به آن پیش‌پردازش داده می‌گویند.

داده‌های مهم کمی و کیفی در سامانه‌های آب شهری عبارتند از فشار و تغییرات آن در نقاط مختلف سیستم، اندازه و نرخ تغییرات دبی به‌ویژه در نقاط تولید و تزریق آب به شبکه، جریان فاضلاب و تغییرات آن در جمع‌کننده‌های

اصلی، آمار بارش در سطح حوزه و اندازه‌گیری روان‌آب بارش‌های مختلف، اطلاعات جوی از جمله دما و رطوبت، میزان آلاینده‌ها از جمله TDS، کدورت، کلر باقیمانده، فلزات سنگین و سایر شاخص‌های کیفی در نقاط مختلف شبکه، میزان تغییرات سطح آب و حجم مخازن، مصرف انرژی و ساعات عملکرد پمپ‌ها، آمار مشترکین و بسیار پارامترهای دیگر که معرف پاسخ یک سیستم آب شهری در مقابل یک وضعیت مشخص از بهره‌برداری هستند. این داده‌ها عموماً به‌صورت سری‌های زمانی و با یک توزیع زمانی و مکانی مناسب در شهر جمع‌آوری می‌شوند.

پس از مرحله پیش‌پردازش داده‌ها، ساده‌ترین روش تحلیل داده‌ها استفاده از تکنیک‌های بصری (Visualization) است به‌گونه‌ای که روندهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت در تاریخچه داده‌ها شناسایی و توسط فرد خبره قضاوت می‌شوند. برای مثال، با استفاده از تکنیک‌های بصری می‌توان چند سری زمانی را کنار هم گذاشت و یا روی یک نمودار نشان داد و الگوها و اتفاقات عجیبی را شناسایی کرد و یا میزان وابستگی (Correlation) رخدادها را ارزیابی نمود. مثلاً مقایسه بصری هم‌زمان تغییرات فشار در یک نقطه از شبکه با نقطه‌ای دیگر یا با تغییرات دبی ورودی به شبکه می‌تواند ما را از وقوع نشت در سیستم آگاه کند. در یک سطح بالاتر، روش‌های علم داده از تکنیک‌ها و آزمون‌های آماری استفاده می‌کنند و می‌توانند تحلیل‌های دقیق‌تری از گذشته، حال و آینده سیستم ارائه نمایند. هم‌چنین تکنیک‌های کلاسیکی مانند ARIMA و VARMA برای پیش‌بینی سری‌های زمانی مصرف آب شهری که ویژگی‌های دوره‌ای (Seasonality and Periodicity) قابل‌ملاحظه‌ای دارند هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرند و نتایج قابل‌قبولی ارائه کرده‌اند. مثال دیگر از روش‌های کلاسیک احتمالاتی شبکه بیزین (Bayesian Network) است که استفاده‌های فراوانی در توسعه مدل‌های تحلیل ریسک خرابی و شکست در خطوط لوله و پیش‌بینی آسیب‌های کیفی و کمی به سیستم‌های آبرسانی و فاضلاب داشته است. هم‌چنین از تحلیل‌های آمار و احتمالاتی و بصری داده‌های جمع‌آوری شده از سیستم‌های آب شهری برای شناسایی نشت و سایر خطاها در خطوط لوله استفاده زیادی شده است.

البته که صدها مطالعه و تحقیق مرتبط با جنبه‌های کاربردی علم آمار و احتمالات در مهندسی آب شهری می‌توان نام برد. با این حال با توسعه علم داده در یک دهه اخیر و رشد روش‌های مدرن مبتنی بر هوش مصنوعی از یک سو و توسعه سخت‌افزارهای پیشرفته مقرون به‌صرفه برای اندازه‌گیری وسیع، انتقال و پایش و ذخیره‌سازی داده‌ها و هم‌چنین افزایش توان محاسباتی کامپیوترها از سوی دیگر، دانشمندان علم داده را به‌سوی به‌کارگیری روش‌های کاراتری برای تحلیل داده‌های خام و کشف الگوها سوق داده است. به این منظور از مدل‌های یادگیری ماشین به‌طور مستقیم مبتنی بر داده (Data-informed ML) یا به‌صورت کوپل با مدل‌های ریاضی حاکم بر مسئله (Physics-informed ML) برای استنتاج و پیش‌بینی داده‌ها استفاده می‌شود. انواع مدل‌های یادگیری ماشین در علم داده عبارتند از: ۱- روش‌های یادگیری بدون نظارت (Unsupervised learning) که در آن‌ها هیچ هدفی برای داده‌ها تعریف نمی‌شود و هدف از مدل، شناخت یک الگوی مشخص برای خوشه‌بندی (Clustering) داده‌ها است. به‌عنوان مثال به مسئله خوشه‌بندی مصرف‌کنندگان خوش‌حساب و بدحساب و یا حل مسئله زون‌بندی یک شبکه آبرسانی می‌توان اشاره کرد؛ ۲- روش‌های یادگیری با نظارت (Supervised learning) که برای حل مسائل طبقه‌بندی (Classification)، برازش (Regression) و پیش‌بینی (Forecasting) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش‌ها از پیش برای داده‌های جمع‌آوری شده یک برچسب مشخص می‌شود و مدل به‌گونه‌ای آموزش داده می‌شود که در آینده بتواند در صورت مشاهده شرایط مشابه برچسب درست را بازگرداند. این مدل‌ها در حوزه مهندسی آب شهری بسیار پر کاربرد هستند و از مسائلی مانند پیش‌بینی روان‌آب ناشی از بارش، کیفیت و اندازه دبی سرریز، CSO (Combined Sewer Overflow) در شبکه‌های فاضلاب مرکب، پیش‌بینی مصرف آب شبکه آبرسانی، شناسایی منشاء آلاینده‌ها، تعیین نشت و آب به‌حساب نیامده و سایر خطاها در شبکه مورد استفاده قرار گرفته اند؛ ۳- روش‌های یادگیری تقویتی (Reinforcement learning) که در آن مدل‌ها به‌صورت زنده و براساس یک نظام پاداش و جریمه در زمان بهره‌برداری واقعی (Real-Life) آموزش می‌بینند.

به عنوان مثال یک ایستگاه تزریق کلر را تصور کنید که از سنسورهایی در شبکه بازخورد می گیرد و به مرور زمان یاد می گیرد با چه دوزی کلر تزریق کند، یا یک ایستگاه پمپاژ آب را فرض کنید که به مرور زمان برنامه زمان بندی بهینه پمپ ها را فرا می گیرد به نحوی که مصرف انرژی و هزینه های تعمیر و نگهداری پمپ ها کمینه و رضایتمندی مشترکین از شبکه بیشینه شود.

خوشبختانه تمامی روش ها و تکنیک های پیشرفته ای که در علم داده و یادگیری ماشین مورد استفاده قرار می گیرند به صورت کتابخانه های آماده در زبان های برنامه نویسی شی گرا و متن بازی مانند پایتون (Python) و R و تا حد زیادی در متلب (MATLAB) فراهم است و به سادگی قابل استفاده برای همه افراد هستند. از سوی دیگر نرم افزارهای علم داده پیشرفته و کاربرپسندی توسعه داده شده اند که بدون نیاز به کد نویسی های پیچیده امکان توسعه مدل های داده محور را فراهم می سازند که از آن جمله می توان به KNIME و SPSS و Power BI اشاره کرد. برای یادگیری تکنیک های علم داده و یادگیری ماشین منابع بسیار زیادی از جمله کتاب، فیلم های آموزشی و دوره های مجازی از طریق کتابخانه های دانشگاه های جهان، پلتفرم های آموزش مجازی و شبکه های اجتماعی هم چون GitHub در دسترس است که عمدتاً به لحاظ اقتصادی به صرفه بوده و گاهی به صورت رایگان در اختیار افراد قرار دارند. آن چه مسلم است امروزه یادگیری علم داده، تعریف و حل مسائل کاربردی مختلف در حوزه آب شهری بسیار تسهیل شده و توسعه مدل های هوشمندسازی سیستم ها بیش از پیش در دسترس است. اما مسئله اصلی در حال حاضر جمع آوری و دریافت داده مناسب است و همان طور که گفته شد این مهم، گلوگاه و چالش بزرگی برای بسیاری از پیشرفت های این حوزه محسوب می شود. این مهم به ویژه در کشور ما یک محدودیت بزرگ است و تا امروز با استانداردهای جهانی فاصله بسیاری داریم. لذا، چنان چه واقعاً اراده ای برای هوشمندسازی سامانه های آب شهری در کشور باشد، لازم است پیش از (یا دست کم به موازات) تحقیق و توسعه ای که در دانشگاه ها و پارک های علم و فناوری در حال انجام است که البته نیاز به تقویت، ساماندهی و جهت دهی بهتری دارد، شرکت های آب و فاضلاب و شهرداری ها نیز

زیرساخت های اندازه گیری، پایش و ذخیره داده های کمی و کیفی تاسیسات آبی را تجهیز و پیاده سازی نمایند. توسعه زیرساخت های تله متری و دیسپاچینگ و البته واحدهای GIS یک پیش نیاز حیاتی و گام نخست برای مدیریت هوشمند سامانه های آب شهری است. در صورت وجود داده مناسب و عزم و اراده کافی در شرکت های آب و فاضلاب، توان علمی کشور برای توسعه مدل ها و فناوری های داده محور برای هوشمندسازی سیستم های آب شهری می تواند به طور شایسته ای پاسخگوی نیازهای کشور باشد.

در انتها باید اضافه کرد که حرکت به سوی هوشمندسازی سامانه های آب شهری به کمک مدل های داده محور و اینترنت اشیا (Internet of Things) IoT و سایر فناوری های نوظهور به صورت مجزا و بدون یک برنامه جامع برای نیل به شهری هوشمند و پایدار ممکن نیست. این مهم نیازمند یک حکمرانی علمی و آگاه در مدیریت شهری است که کلیه زیرساخت ها و سامانه های شهری را به صورت به هم پیوسته و سیستماتیک در نظر بگیرد. از سوی دیگر آموزش و ارتقای علمی افراد در دانشگاه ها، شرکت های آب و فاضلاب، مهندسين مشاور و بهره برداران برای به کارگیری صحیح و اصولی از داده ها و فناوری های مبتنی بر آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. هم چنین وضعیت زیرساخت های ICT در شهر، هزینه استفاده، امنیت و میزان دسترسی به آن ها نیز می توانند ظرفیت ها و محدودیت های قابل توجهی برای توسعه شهرهای هوشمند ایجاد کنند. پرداختن به موضوعات فوق در مجال این پیشگفتار نمی گنجد و این نکات صرفاً برای اشاره ای گذرا به حساسیت، تنوع و وسعت موضوعات جانبی مربوط به هوشمندسازی سامانه های آب شهری بیان شد. آن چه مسلم است، ما در عصر اطلاعات و داده های عظیم زندگی می کنیم. هر جامعه ای که بتواند از داده های گوناگونی که هم چون سیل در جریان هستند استفاده نماید، آینده را در اختیار خواهد گرفت و به طور موثرتری می تواند منابع آب و انرژی و اقتصاد خود را مدیریت کند. در همین راستا، هوشمندسازی سامانه های آب شهری به عنوان یک جزء از کل شهرهای هوشمند شایسته است که در اولویت مدیران و تصمیم گیران مرتبط قرار گیرد.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Using Multi-Criteria Decision Making Methods
in Selecting the Appropriate Location of a
Wastewater Treatment Plant, Case Study:
Farouj City Wastewater Treatment Plant

استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب
موقعیت مناسب تصفیه‌خانه فاضلاب، مطالعه موردی:
تصفیه‌خانه شهر فاروج

Seyyed Amir Saeedi^{1*}, Farhad Khamchin Moghaddam² and Seyyed Naser Bashi Azghadi³

سید امیر سعیدی^{۱*}، فرهاد خام‌چین مقدم^۲ و سید ناصر باشی ازغدی^۳

1- M.Sc. Student, Water and Hydraulic Structures Engineering, Islamic Azad University of Mashhad, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

3- Assistant Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، موسسه آموزش عالی آزاد خاوران، مشهد، ایران.

*Corresponding Author, Email: Amir.saeedi.515@gmail.com

*نویسنده مسئول، ایمیل: Amir.saeedi.515@gmail.com

Received: 25/05/2021

Revised: 01/12/2021

Accepted: 30/12/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

One of the important issues along with water shortage and demand in cities is the issue of wastewater disposal and treatment. When it comes to wastewater and its treatment, the first thing that comes to mind is the discussion of the environment and its protection from pollution because wastewater is always a major polluting parameter in human and natural environment. The construction of a wastewater treatment plant is a civil-environmental activity whose main purpose is the proper and hygienic disposal of wastewater, which, if neglected, will have irreparable consequences. The first effective step for the construction of these facilities is to identify their suitable location, which is done by considering various factors and criteria. For this purpose, multi-criteria decision making (MCDM) methods have been used. Here, according to the existing conditions, hierarchical decision making (AHP) and Delphi (delphi) decision methods have been selected to solve the problem. In this research, Farooj city, which is one of the cities of North Khorasan province, was studied for the construction of a wastewater treatment plant.

یکی از مسائل مهم در کنار کمبود و تقاضای آب در شهرها، مسئله دفع فاضلاب و تصفیه آن است. زمانی که از فاضلاب و تصفیه آن سخن به میان می‌آید، اولین موضوعی که در ذهن تداعی می‌کند بحث محیط‌زیست و حفظ آن از آلوده شدن است؛ چراکه فاضلاب خام همواره به‌عنوان یک آلاینده اصلی در محیط‌های انسانی و طبیعی مطرح بوده است. احداث تصفیه‌خانه فاضلاب یک فعالیت عمرانی-محیط‌زیستی است که هدف اصلی آن دفع صحیح و بهداشتی فاضلاب‌های تولیدی است و در صورت بی‌توجهی، عواقب جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت. اولین گام مؤثر برای احداث این تأسیسات، شناسایی مکان مناسب احداث آن‌ها است که معمولاً با در نظر گرفتن عوامل و معیارهای مختلفی صورت می‌گیرد. اهمیت و دامنه اثر این معیارها در تعیین مکان نهایی تصفیه‌خانه فاضلاب تأثیرگذار است. برای این منظور می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) استفاده کرد. در تحقیق حاضر معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌یابی تصفیه‌خانه فاضلاب در شهرستان فاروج استان خراسان شمالی براساس روش دلفی تعیین می‌شود. مطابق با نظر خبرگان معیارهای اقتصادی-اجتماعی، محیط‌زیستی، زمین‌شناسی و فنی و تکنولوژی و زیرمعیارهای آن‌ها با روش AHP وزن‌دهی شده است. در تحلیل آماری این بررسی‌ها از نرم‌افزار SPSS و Expert Choice استفاده شده است. در نهایت بهترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب با در نظر گرفتن معیارهای مذکور در این شهرستان انتخاب شد.

Keywords: Delphi, Hierarchical Analysis, Location, Wastewater Treatment Plant.

کلمات کلیدی: مکان‌یابی، تصفیه‌خانه فاضلاب، تحلیل سلسله مراتبی، دلفی.

شده است. Sener et al. (2006) در تحقیقی محل دفن پسماند در حومه یکی از شهرهای آمریکا را تعیین کردند. Dursun (2015) تحقیق جامعی بر مبنای پیدا کردن معیارهای دخیل در مکان‌یابی تصفیه‌خانه فاضلاب با استفاده از روش‌های چند متغیره (MCDM) انجام داد. Macuada (2016) از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای توسعه یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره جدید بر مبنای قضاوت‌های کارشناسانه برای ارزیابی معیارهای دخیل در سیستم تصفیه‌خانه آب و تصفیه‌خانه فاضلاب یک منطقه شهری در کشور شیلی ارائه داد. Abdalla and El Khidir (2017) بهترین مکان تصفیه‌خانه فاضلاب را با استفاده از نرم‌افزار RS و GIS و تحلیل چندمعیاره MCA در کشور سودان پیشنهاد داد.

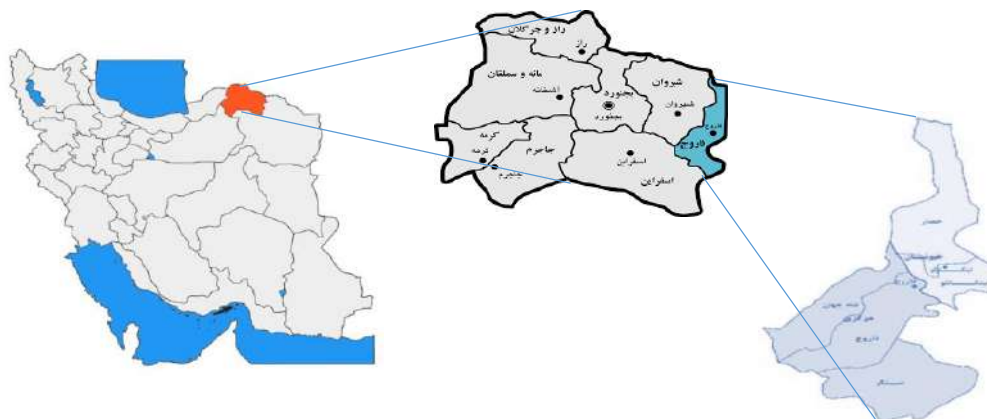
در ایران، بحث مکان‌یابی از طریق تلفیق سامانه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با کمک GIS توسط پرهیزکار (۱۳۷۶) تحت عنوان مکان‌گزینی مراکز خدمات شهری مطرح شد. شریفی و همکاران (۱۳۸۶) یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری بر مبنای مدل‌های ارزیابی مکانی چند متغیره برای مکان‌یابی محل دفن پسماندها ارائه نمودند. ناصری و همکاران (۱۳۸۶) در قالب یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی و براساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی، مکان مناسب دفن پسماندهای ویژه را در بین شهرهای فامنین و قهاوند مکان‌یابی نمودند. هم‌چنین در تحقیق حافظی و همکاران (۱۳۸۶) مکان‌یابی دفن پسماندهای ویژه در استان خراسان رضوی با استفاده از معیارهای مناسب در طی دو مرحله با استفاده از GIS و روش وزن‌دهی ساده انجام‌شده و نهایتاً مکان‌های مستعد معرفی‌شده‌اند. نشاسته‌گر و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از تلفیق GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی مناسب‌ترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب غیرمتمرکز را انتخاب کردند. Shahmoradi and Isalou (2013) با استفاده از منطق فازی و روش چندمعیاره (MCDM) توانستند بهترین مکان احداث تصفیه‌خانه فاضلاب را در شهر سنجندج مشخص کنند. Moghaddas et al. (2013) در منطقه فلاورجان استان اصفهان با استفاده از تلفیق نرم‌افزار GIS و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) توانستند به یک چهارچوب امتیازبندی معیارها و زیرمعیارها برای احداث سایت تصفیه‌خانه فاضلاب برسند که درنهایت نتایج آن با روش‌های TOPSIS و EIA مقایسه شد. Hadipour et al. (2016) از یک مدل MCDM مبتنی بر AHP به‌منظور یافتن بهترین گزینه برای استفاده از فاضلاب در ایران به کار گرفته‌شده است.

در این تحقیق با استفاده از روش دلفی با نظر خبرگان

افزایش جمعیت شهرها و در نتیجه بالا رفتن میزان مصرف آب، سبب تولید روزافزون فاضلاب شده است که خود موجب بروز اشکالات و نارسایی‌هایی فزاینده در جوامع شهری و حتی روستایی کشورمان شده است. این اشکالات عموماً شامل مسائل بهداشتی و آلودگی محیط، به‌هم خوردن رابطه طبیعی بیلان آب و بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و آلودگی منابع مختلف پذیرنده است. با توجه به این که هر مترمکعب فاضلاب حدود ۴۰ مترمکعب آب را به‌شدت آلوده می‌نماید، لذا در صورتی که فاضلاب‌های تولیدی جمع‌آوری و تصفیه نشوند، منبع آلودگی عظیمی خواهد بود (حافظی و همکاران، ۱۳۸۶). امروزه پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یک منبع جدید و دائمی برای برخی مصارف موردتوجه کارشناسان قرار گرفته است. درمجموع می‌توان گفت که تصفیه فاضلاب در مناطق شهری و صنعتی ضمن حفظ پاکیزگی محیط‌زیست، باعث بهره‌برداری مؤثر از پساب تصفیه‌شده، می‌شود. در همین راستا، یکی از ملزومات بازیافت اصولی، مکان‌یابی محل مناسب برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب است. با توجه به مباحث مطرح‌شده، شهر فاروج که در این تحقیق موردبررسی قرار می‌گیرد از این امر مستثنا نبوده و با توجه به روند افزایشی تلفات آب، محدودیت‌های توپوگرافی منطقه‌ای و محدودیت‌های سرزمینی اعم از کمبود زمین برای تخصیص به تصفیه‌خانه فاضلاب، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، افزایش جمعیت، لزوم اجرای یک طرح مقرون‌به‌صرفه و نیز مکان‌یابی درست ایستگاه‌های تصفیه‌خانه را در آن حائز اهمیت کرده است. علاوه بر آن به‌دلیل شرایط اقلیمی، کمبود بارندگی و کمبود منابع آبی در شهرستان فاروج، لزوم استفاده از پساب تصفیه‌شده دوچندان است. در همین راستا، اولین گام مؤثر برای ایجاد تصفیه‌خانه فاضلاب، شناسایی مناطق مناسب برای احداث آن است که ضرورت این تحقیق را مشخص می‌نماید.

مطالعه مکان‌یابی به‌صورت رسمی، با مطالعه (Weber et al. 1929) با عنوان بررسی مکان‌یابی صنعتی بر روی چگونگی تعیین مکان یک منبع برای کمینه‌سازی فاصله بین آن و تعداد متقاضی، در دانشگاه شیکاگو شروع شد. مطالعات Hakimi (1964) به‌صورت رسمی‌تر با تلاش برای مکان‌یابی مراکز انتخاب راه مناسب در شبکه ارتباطی و ایستگاه‌های پلیس در جاده‌ها ادامه یافت. از اواسط سال ۱۹۶۰ مسئله مکان‌یابی به‌صورت مطالعاتی رشد کرد. Owen et al. (1998) اشاره کردند که تا این زمان اکثر مسائل اساسی مکان‌یابی منابع و مراکز قالب ایستا و پویا، فرمول‌سازی

یکصد و هفتادوپنج کیلومتر است. رودخانه‌های اترک، اسفجیر، دربند و رود استاد از این شهر می‌گذرند. این شهر در تراز ارتفاعی ۱۱۸۱ تا ۱۱۹۹ متر بوده و جهت کلی شیب شهر از شرق به غرب و از جنوب به شمال است. جمعیت شهر فاروج تا سال ۱۴۲۰ حدود ۱۷۱۵۴ نفر پیش‌بینی شده است. شهر فاروج در حاشیه جاده اصلی مشهد-بجنورد قرار داشته و همه‌ساله گردشگران و زائران زیادی از این مسیر عبور می‌کنند؛ لذا عدم اثرگذاری محل تصفیه‌خانه بر موقعیت توریستی این شهر باید موردتوجه واقع شود (حافظی و همکاران، ۱۳۸۶). شکل ۱ موقعیت جغرافیای شهر فاروج را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

نموده است.

آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره در برابر مسائلی که تصمیم‌گیرنده با مقدار زیادی از اطلاعات و داده‌های پیچیده مکانی روبه‌رو است می‌تواند مورداستفاده واقع شود. اساس این روش بر مبنای تقسیم مسائل تصمیم‌گیری به دیگر اجزای قابل‌فهم خردتر و سپس آنالیز هر بخش به‌طور جداگانه خواهد بود. در پایان نیز با تلفیق همه بخش‌ها در یک حالت منطقی گزینه برتر به‌عنوان جواب تصمیم‌گیری شناسایی می‌شود. با توجه به گوناگونی فاکتورهای مکانی ذکرشده در امر تصمیم‌گیری، در این مطالعه از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سامانه تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی استفاده شده است.

۲-۱-۲- مرحله اول، پایش معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در

مکان‌یابی تصفیه‌خانه بر اساس روش دلفی

در گام نخست از مطالعات حاضر، برای دستیابی و اجماع نظرات اندیشمندان و مطالعات پیشین در خصوص فاکتورها و عوامل مؤثر در مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه با استفاده از تکنیک دلفی استفاده شده است. روش دلفی در تحلیل و استفاده از داده‌ها برای پاسخگویی به سؤال تحقیق از هر دو روش کمی و کیفی

معیارهای اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، زمین‌شناسی و فنی-تکنولوژی بررسی شده و زیرمعیارهای مربوط به آن با روش AHP وزن‌دهی می‌شود. در نهایت با فزار SPSS و Expert Choice بهترین مکان تصفیه‌خانه فاضلاب انتخاب می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

شهرستان فاروج یکی از شهرستان‌های استان خراسان شمالی است که فاصله این شهر تا بجنورد یکصد کیلومتر و تا مشهد

۲-۲- روش تحقیق

مکان‌یابی فرایندی است که به ارزیابی محیط فیزیکی تأمین‌کننده شرایط و پشتیبانی از فعالیت‌های انسانی می‌پردازد. مکان‌یابی بهینه سعی دارد با قانونمند کردن شاخص‌ها و عوامل تأثیرگذار در تصمیم‌گیری و یافتن راه‌کارهای منطقی، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان را در انتخاب مکان‌های مناسب برای انجام فعالیت‌ها یاری رساند. این عملیات بدون در نظر گرفتن روابط مکانی و ژئومتریک فضا نتایج نامناسبی به دنبال خواهد داشت (Shahmoradi and Isalou, 2013).

تحقیق حاضر در دو مرحله سازمان‌یافته است. در مرحله اول عوامل تعیین‌کننده بر تصمیم‌گیری مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاضلاب با استفاده از تکنیک دلفی شناسایی و مورد پایش قرار گرفتند و در مرحله دوم با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن این عوامل محاسبه و برخی عوامل مؤثر در مکان‌یابی بهترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب انتخاب شدند. سپس با استفاده از سیستم جغرافیایی GIS، ترکیب اوزان هریک از معیارها به‌صورت کمی و مکانی و با روی هم‌اندازی لایه‌ها انجام پذیرفت. مجموع این دو فرآیند یک چارچوب برای انتخاب مناسب‌ترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه در شهر فاروج را ایجاد

می‌آید. این خاصیت مشکل تصادفی بودن سؤال‌های هر نیمه را حل می‌کند. ضریب آلفا، ضریب دقیق همسانی تمام‌مقیاس یا تست را در اختیار می‌گذارد. فرمول محاسبه‌ی آلفای کرونباخ به شرح رابطه (۱) است.

$$\alpha = \left(\frac{n}{n-1} \right) \times \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right) \quad (1)$$

که s_i^2 : واریانس نمرات هر زیرمجموعه و s_t^2 : واریانس کل هستند. معمولاً آلفای کمتر از ۰/۶ پایایی ضعیف، ۰/۶ تا ۰/۸ قابل قبول و بالاتر از ۰/۸ نشان‌دهنده پایایی بالا است. بدیهی است که هرچه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است. در این تحقیق پس از جمع‌آوری داده‌ها از نمونه اولیه، داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS شد و ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد. در پرسش‌نامه دور نهایی دلفی، مقدار آلفا برابر ۰/۸۹۲ است که از مقدار ۰/۸ بزرگ‌تر است. معیارها و زیر معیارهای شناسایی شده برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه بر پایه روش دلفی شناسایی شد که به شرح جدول ۱ قابل دسته‌بندی است.

جدول ۱- عوامل با پایایی قابل قبول در ارزیابی آزمون آلفای کرونباخ

معیار	زیر معیار	تعداد نمونه	تعداد سؤال‌ها	مقدار آلفای کرونباخ
ارزیابی فنی	طول خط انتقال	۲۰	۱	۰/۸۵۴
	وجود مسیل	۲۰	۱	۰/۹۰
	سیل گیر بودن محل پیشنهادی	۲۰	۱	۰/۹۳
	وجود موانع طبیعی و انسان ساخت	۲۰	۱	۰/۹۰
عوامل اقتصادی-اجتماعی	وجود راه‌های دسترسی و امکانات زیر بنایی	۲۰	۱	۰/۹۳
	تملك زمین	۲۰	۱	۰/۹۰
	هزینه اجرا و بهره‌برداری	۷	۱	۰/۹۵
	توجه به مسائل میراث فرهنگی	۲۰	۱	۰/۹۳
عوامل زمین‌شناسی (جغرافیایی)	شیب زمین و جنس خاک	۲۰	۱	۰/۹۰
	جهت باد	۲۰	۱	۰/۹۳
	زلزله‌خیزی منطقه	۲۰	۱	۰/۹۰
	عمق آب‌های زیرزمینی	۲۰	۱	۰/۹۳
عوامل محیط‌زیستی	پوشش گیاهی و جانوری	۲۰	۱	۰/۸۹
	فاضلاب خروجی تصفیه نشده	۷	۱	۰/۹۵
	زیبایی منظر	۲۰	۱	۰/۹۳

نیاز به یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره، کاملاً احساس می‌شود. هم‌چنین باید توجه داشت که بعضی از معیارها کاملاً متعارض هستند و تنها با استفاده از یک روش مناسب می‌توان این تعارض‌ها را کنترل کرد. لذا ارائه یک شیوه موفق که بتواند تمام معیارهای مؤثر در مکان‌یابی را در نظر بگیرد ضروری است. این عوامل شامل دودسته عوامل ملموس از جمله ارزیابی فنی، عوامل محیط‌زیستی و عوامل زمین‌شناسی و جغرافیایی و عوامل ناملموس از جمله عوامل اقتصادی و اجتماعی است. فرآیند

استفاده می‌نماید. علاوه بر این به منظور جمع‌بندی و توصیف نظرات اعضای پانل و تعیین پارامترهای مرکزی و پراکندگی داده‌ها از روش‌های آمار توصیفی به کار گرفته شد، سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و به کمک آلفای کرونباخ، پایایی پرسش‌نامه‌های دلفی موردسنجش و ارزیابی قرار گرفته است. برای افزایش پایایی روش دلفی و افزایش کیفیت پژوهش به رهنمودهایی دقت و توجه کافی شده که عبارت‌اند از: کاربرد روش برای موضوع یا مشکلی خاص، انتخاب پاسخگویان و تخصص‌هایشان، طراحی پرسشنامه و اجرای آن، بازخورد از پاسخگویان و ایجاد سطحی از اجماع. مشهورترین ضریب اعتبار از طریق یک‌بار اجرای آزمون توسط کرونباخ ارائه شده است که به ضریب آلفای کرونباخ معروف است. این روش برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه‌گیری از جمله پرسشنامه به کار می‌رود. در این ابزار پاسخ هر سؤال می‌تواند مقادیر عددی مختلف را اختیار کند. از جمله خصوصیات این ضریب، معدل همه ضرایب همبستگی است که با دونیمه کردن تست به طرق مختلف به دست

۲-۲-۲- مرحله دوم: طراحی چارچوب تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب فاروج

فرآیند تصمیم‌گیری، انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های موجود برای حل یک مسئله مشخص است. برای پاسخ به مسئله پیچیده‌ای نظیر انتخاب بهترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب نیاز به یک روش تصمیم‌گیری با ویژگی‌های خاصی است. با توجه به معیارهای مختلفی که در فرآیند مکان‌یابی بیان شد

مشخص شد که شامل هدف، معیارها و زیر معیارهایی است که برای رسیدن به هدف تأثیرگذار هستند. این مرحله، مهم‌ترین مرحله از تحلیل سلسله مراتبی AHP است و بدون در نظر گرفتن ضرایب اهمیت و امتیاز گزینه‌ها نشان داده می‌شود. هر یک از معیارها به چند زیرمعیار برحسب ماهیت معیارها تقسیم شده‌اند و بدین ترتیب ۳ سطر (به جز سطر گزینه‌ها) شامل هدف، معیارها، زیر معیارها در سلسله‌مراتب تحلیلی به شرح شکل ۲ جای گرفته‌اند.

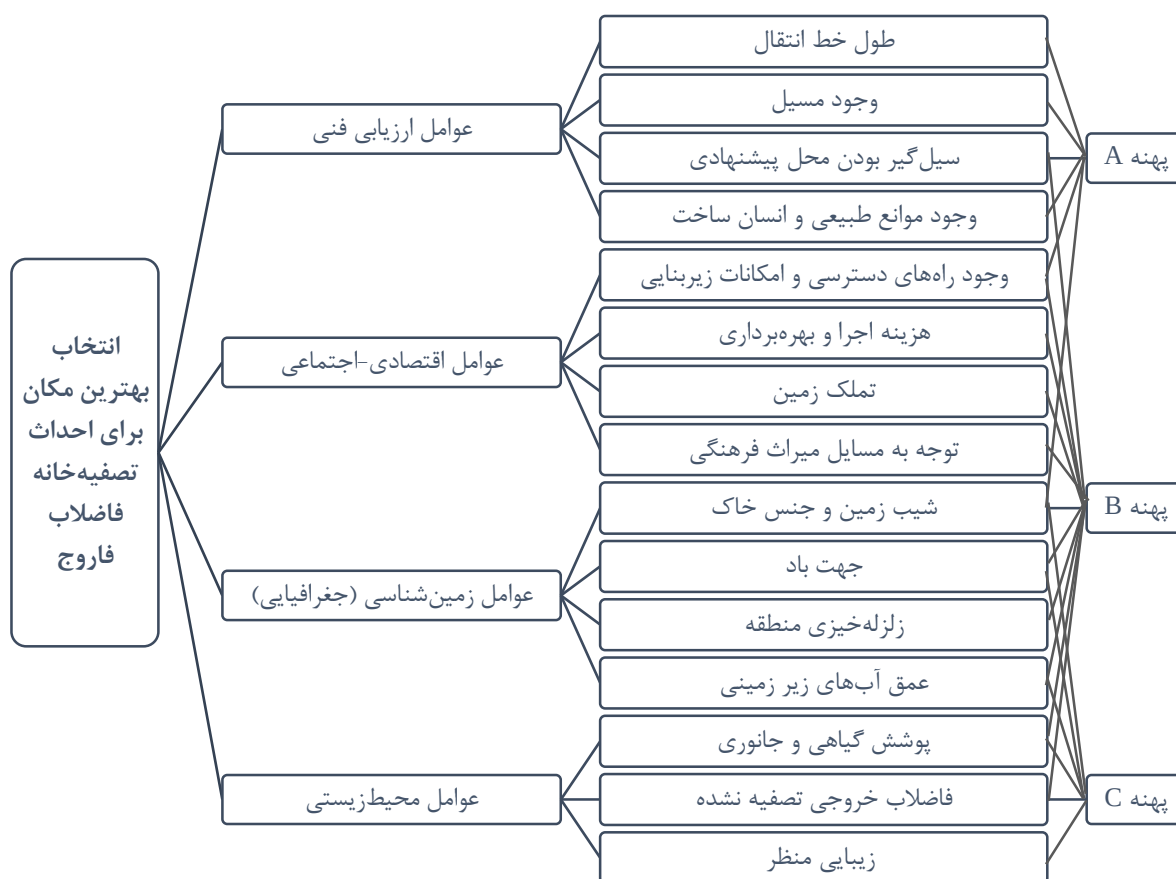
تصمیم‌گیری باید واضح، دارای گام‌های پیوسته متوالی و دربرگیرنده نتایج کلی باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پیاده‌سازی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در

پارامترهای مکان‌یابی تصفیه‌خانه

در اولین گام، ساختار سلسله مراتبی مربوط به موضوع



شکل ۲- درخت تصمیم در ارزیابی نهایی گزینه‌ها در ساختار سلسله‌مراتب مدل AHP در فرآیند مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج

جدول مقایسات زوجی از موارد مشابه در سایر تحقیقات و نظرات اساتید استفاده شده است. بعد از طراحی نمونه اولیه جداول مقایسات زوجی و ارائه آن به گروه تحقیق و جمع‌آوری نظرات اصلاحی آن‌ها، مشکلات موجود برای تکمیل این جدول‌ها برطرف شد. در نهایت به دلیل ساختار خاص این جدول‌ها و منطق حاکم بر آن، نیاز بود که محقق هنگام تکمیل جدول مقایسات زوجی، در کنار کارشناسان حضورداشته و ضمن تشریح آن، کلیه موارد برای تکمیل آن را آموزش داده و هرگونه سؤال و ابهام را رفع کند. در پایان با ورود امتیازات جمع‌بندی شده در نرم‌افزار Expert

۳-۲- طراحی جداول مقایسات زوجی

هدف از انجام مرحله دوم، تعیین اوزان معیارهای نهایی مرحله اول و انتخاب اوزان عوامل مؤثر (اولویت‌بندی آن‌ها) و تأثیر آن‌ها در انتخاب بهترین گزینه برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه است. بدین منظور با استفاده از درخت تصمیم نهایی تحقیق جداول مقایسات زوجی تهیه شد. با توجه به تعداد زیاد معیارها و زیرمعیارها (۴ معیار کلی و ۱۵ زیر معیار) و در نظر گرفتن حداقل تعداد مقایسات زوجی موردنیاز، به جای پرسش‌های معمولی از جداول ماتریس، برای مقایسات زوجی استفاده شد. در طراحی

کمی و مکانی در نرم افزار GIS و به عنوان وزن لایه ها وارد شد و سپس تحلیل مکانی و کمی زیر معیارها در GIS انجام شد.

Choice محاسبات تحلیل سلسله مراتبی AHP انجام شد. شکل ۳ درخت تصمیم گیری در تحلیل را نشان می دهد. در ادامه امتیازات به دست آمده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، به صورت

ارزیابی فنی	L:0.398	
طول خط انتقال	L: 0.111	
وجود مسیل	L: 0.210	
سیل گیر بودن محل	L: 0.451	
وجود موانع طبیعی و انسان ساخت	L: 0.228	
اقتصادی - اجتماعی	L:0.235	
راههای دسترسی و امکانات زیربنایی	L: 0.252	
امکان تملک زمین	L: 0.177	
توجه به مسایل میراث فرهنگی	L: 0.351	
هزینه اجرا و بهره برداری	L: 0.220	
زمین شناسی	L:0.200	
شیب زمین و جنس خاک	L: 0.210	
جهت باد	L: 0.217	
زلزله	L: 0.286	
عمق آب زیرزمینی	L: 0.286	
زیست محیطی	L:0.166	
پوشش گیاهی و جانوری	L: 0.540	
زیبایی منظر	L: 0.163	
فاضلاب تصفیه نشده	L: 0.297	

شکل ۳- نمودار درختی تحلیل سلسله مراتبی AHP در نرم افزار Expert Choice به همراه وزن های نهایی

۱۶/۶٪ به ترتیب در جایگاه سوم و چهارم قرار دارند. در ادامه ماتریس های مقایسات زوجی معیارهای اصلی و زیرمعیارهای آن به شرح زیر بررسی شده است:

بر اساس شکل ۴، معیار ارزیابی فنی با امتیاز ۳۹/۸٪ بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده و پس از آن مجموعه عوامل اقتصادی و اجتماعی با امتیاز ۲۳/۵٪ در جایگاه دوم قرار گرفته است. عوامل زمین شناسی ۲۰٪ و عوامل محیط زیستی با امتیاز

زیست محیطی	زمین شناسی	اقتصادی - اجتماعی	ارزیابی فنی
100	500	200	ارزیابی فنی
100	300		اقتصادی - اجتماعی
400			زمین شناسی
			زیست محیطی
			Incon 0.42

شکل ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی نسبت به هم با توجه به هدف مکان یابی تصفیه خانه فاضلاب

زیرمعیار وجود منابع طبیعی و انسانی با امتیاز ۲۲/۸٪ در درجه دوم ارجحیت مکان یابی قرار دارد.

مطابق شکل ۵، مقایسه زوجی زیرمعیارها در معیار اصلی ملاحظات فنی و تکنولوژی حاکی از برتری آیتم سیل گیر بودن محل با امتیاز ۴۵/۱٪ نسبت به بقیه زیرمعیارها است. همچنین

مکان یابی تصفیه خانه فاروج، ارزیابی فنی		
سیل گیر بودن	۰.۴۵۱	
وجود منابع طبیعی و انسان ساخت	۰.۲۲۸	
وجود مسیل	۰.۲۱	
طول خط انتقال	۰.۱۱۱	Incon 0.14

شکل ۵- نتیجه ارزیابی ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها در معیار اصلی ملاحظات فنی و تکنولوژی

با امتیاز ۲/۲۵٪ در مکان یابی سایت تصفیه خانه فاروج اهمیت دارد. زیرمعیار هزینه اجرا و بهره برداری نیز که یکی از مهم ترین معیارها برای کارفرمایان است با امتیاز ۲۲٪ در ملاحظات مکان یابی سایت تصفیه خانه فاضلاب فاروج منظور شده است.

براساس شکل ۶، مقایسه زوجی زیرمعیارها در معیار اصلی عوامل اقتصادی و اجتماعی نشان می دهد که زیر معیار توجه به مسائل میراث فرهنگی با امتیاز ۱/۳۵٪ در بالاترین درجه ارجحیت قرار داشته و پس از آن وجود راه های دسترسی و امکانات زیربنایی

مکان یابی تصفیه خانه فاروج، اقتصادی اجتماعی		
توجه به مسایل میراث فرهنگی	۰.۳۵۱	
وجود راه های دسترسی و امکانات زیربنایی	۰.۲۵۲	
هزینه اجرا و بهره برداری	۰.۲۲	
امکان تملک زمین	۰.۱۷۷	Incon 0.56

شکل ۶- نتیجه ارزیابی ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها در معیار اصلی عوامل اقتصادی و اجتماعی

ارجحیت بالایی در مکان یابی سایت تصفیه خانه دارد. همچنین عامل جهت باد و شیب زمین نیز با امتیازی حدود ۲۱ درصد در جایگاه دوم و سوم اهمیت قرار دارند.

نتیجه ارزیابی ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها در معیار اصلی عوامل زمین شناسی در شکل ۷ نشان می دهد که توجه به زیرمعیارهای زلزله و عمق آب های زیرزمینی با امتیاز ۶/۲۸٪

مکان یابی تصفیه خانه فاروج، زمین شناسی		
زلزله	۰.۲۸۶	
عمق آب های زیرزمینی	۰.۲۸۶	
جهت باد	۰.۲۱۷	
شیب زمین - جنس خاک	۰.۲۱	Incon 0.09

شکل ۷- نتیجه ارزیابی ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها در معیار اصلی عوامل زمین شناسی

رها سازی آن در طبیعت با امتیاز ۷/۲۹٪ در جایگاه دوم ارجحیت معیارهای زیست محیطی جای دارد.

شکل ۸ نشان دهنده اهمیت بالای توجه به پوشش گیاهی و جانوری با امتیاز ۴۵٪ در مکان یابی سایت تصفیه خانه فاضلاب فاروج است. همچنین آیتم فاضلاب خروجی تصفیه نشده و یا

مکان یابی تصفیه خانه فاروج، زیست محیطی		
پوشش گیاهی و جانوری	۰.۲۸۶	
فاضلاب تصفیه نشده	۰.۲۸۶	
زیبایی منظر	۰.۲۱	Incon 0.00877

شکل ۸- نتیجه ارزیابی ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها در معیار اصلی ملاحظات محیط زیستی

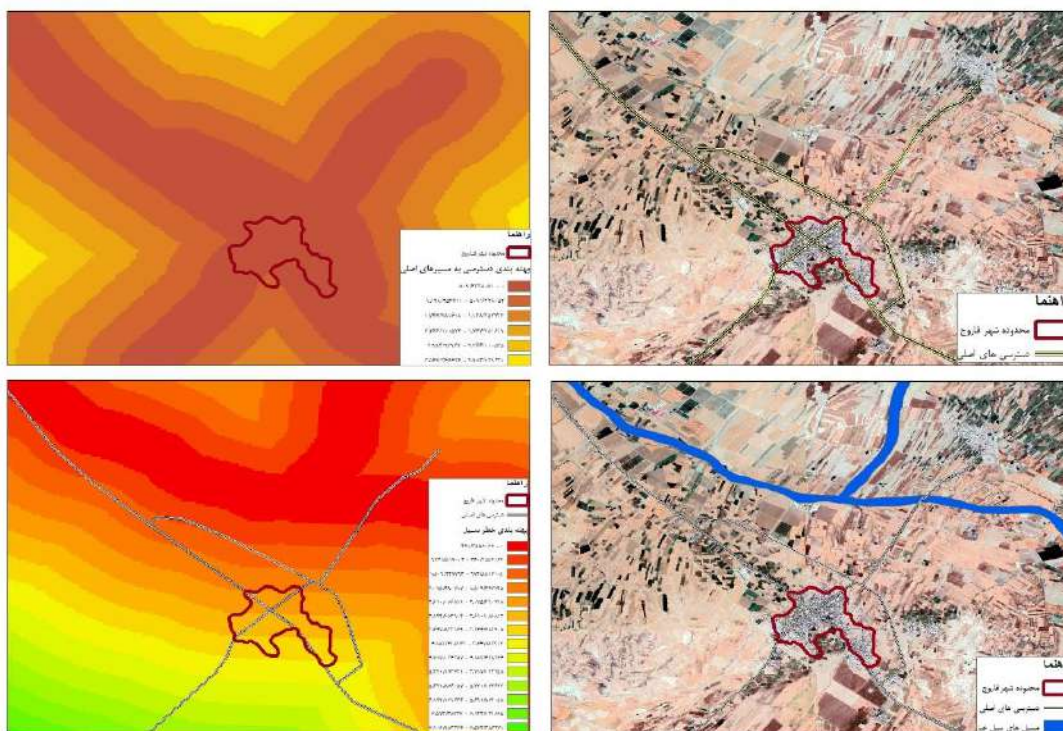
براساس ارزش خود و میزان تأثیرگذاری بر پهنه های پرخطر دارد وزن داده می شود. این مدل به دلیل وزن دهی به واحدهای هر نقشه انعطاف پذیری و دقت بیشتری نسبت به دیگر مدل ها دارد. ضمن این که قادر به تفکیک به ترتیب اولویت ها براساس ضریب نهایی

۳-۳- هم پوشانی لایه ها در محیط GIS و اولویت بندی اراضی

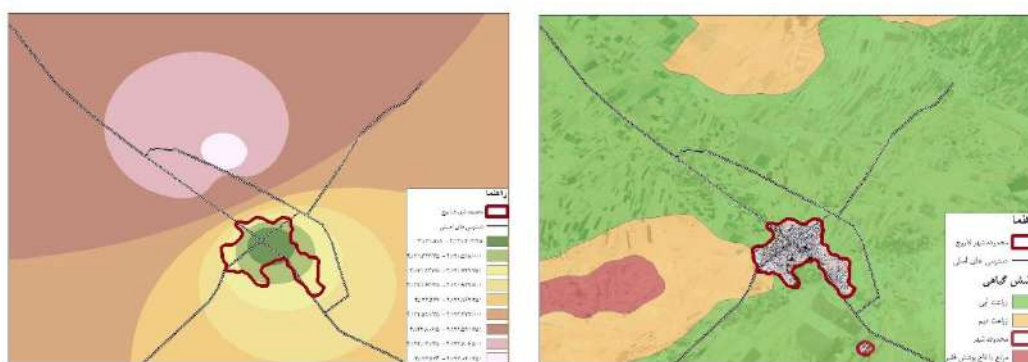
در پایان فرآیند مکان یابی در مدل GIS هم پوشانی نقشه علاوه بر وزن دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی، به هر لایه

نمونه‌هایی از اطلاعات مکانی با قابلیت کمی‌سازی در GIS براساس آن‌چه گفته شد آمده است. پس از به‌دست آوردن امتیاز نهایی هر زیرمعیار، هم‌پوشانی لایه‌های موردنظر توسط تابع Overlay در منوی Analyst tools Spatial در محیط GIS صورت می‌پذیرد.

به‌دست‌آمده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی AHP نیز هست. تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بدون درنظر گرفتن اهمیت هر لایه در آنالیز مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج نمی‌تواند ارزش واقعی لایه‌های اطلاعاتی را در تلفیق دخالت دهد و واحدهای با ارزش متفاوت در یک کلاس قرار می‌گیرند. در ادامه در شکل‌های ۹ و ۱۰



شکل ۹- نمونه‌ای از اطلاعات مکانی کمی‌سازی شده در GIS (فرآیند مدل‌سازی مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج)



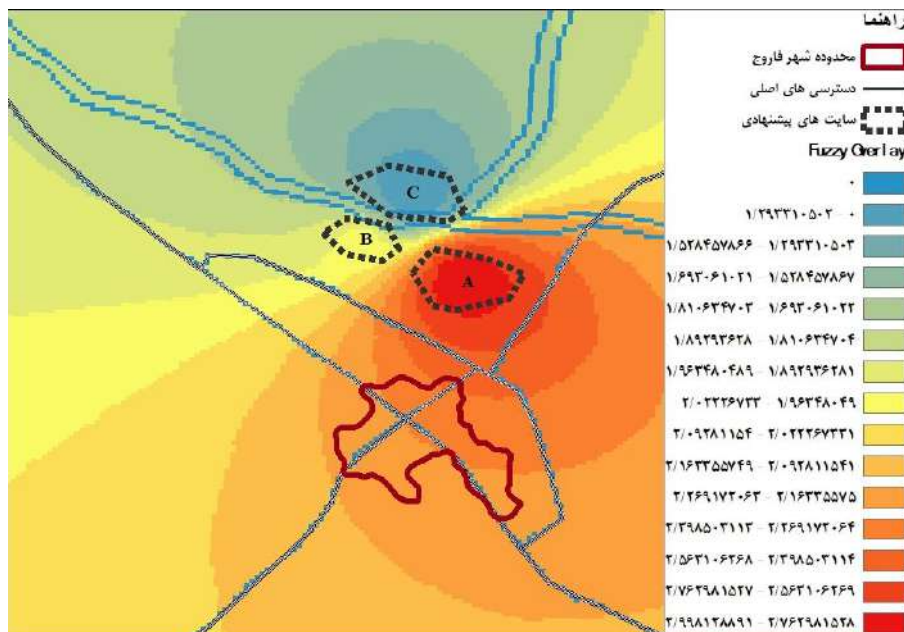
شکل ۱۰- نمونه‌ای از اطلاعات مکانی کمی‌سازی شده در GIS (فرآیند مدل‌سازی مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج)

نقشه‌های خروجی به‌صورت رنگی به نقاط مختلف درجه‌ای از مناسبت (Degree of Suitability) را نسبت داده است که مقدار آن بین صفر و یک از نقطه‌ای به نقطه دیگر، تغییر می‌نماید. نقاط با درجه مناسبت مکانی ۱ (Spatial Suitability) مناسب‌ترین پهنه‌ها برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج است. بدین ترتیب با هم‌پوشانی لایه‌ها بهترین پهنه‌ها برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج اولویت‌گذاری می‌شود. خروجی

آن‌چه در انجام آنالیزهای به‌کار رفته در این پروژه برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج قابل‌ذکر است؛ آن است که در نتایج حاصل از این آنالیزها، از عملگرهای منطقی دو دویی که محدوده مورد مطالعه را به مناطقی با ارزش (۱) و بدون ارزش (۰) برای استقرار سایت تصفیه‌خانه استفاده نشده است. بلکه در این پروژه از پردازش‌های ریاضیات فازی که درجه‌های مطلوبیت محدوده‌ها را در لایه‌های مختلف درنظر می‌گیرند استفاده شده و

POLYGON هایی که حوزه‌های همگن و مناسب‌ترین سایت‌ها برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج تبدیل می‌شود.

به‌دست‌آمده در تابع OVERLAY در ابتدا به‌صورت Overlay_Union است که درنهایت در سیمبولوژی به شکل

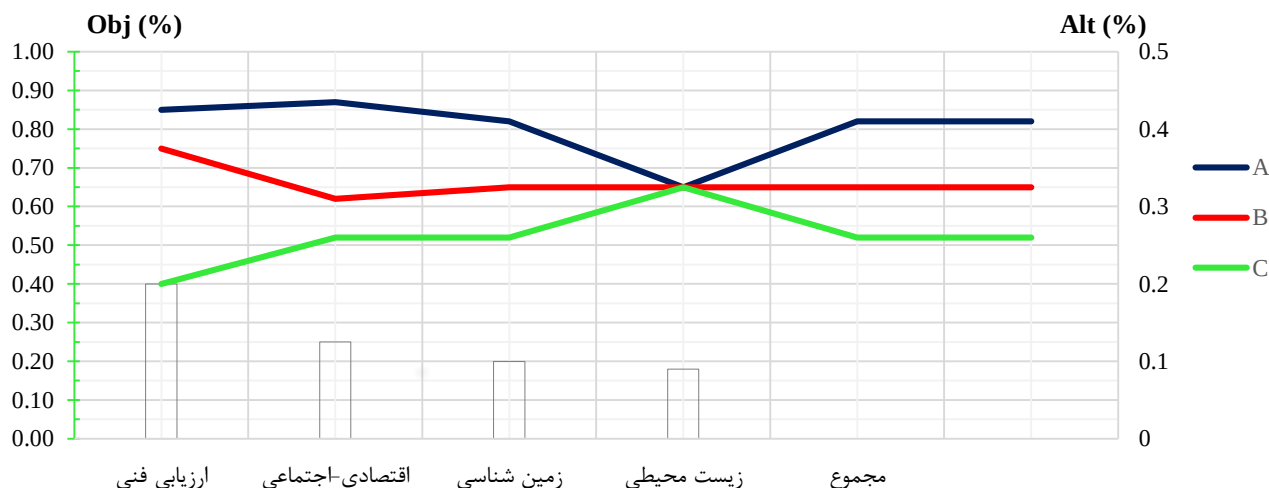


شکل ۱۱- اعمال توابع OVERLAY در هم‌پوشانی داده‌ها و اجرای گام نهایی مدل‌سازی مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج

۴- نتیجه‌گیری

گزینه مشخص شده است. سایت A در کلیه معیارهای اصلی نسبت به دو سناریوی پیشنهادی دیگر دارای برتری است. در عوامل محیط‌زیستی هر سه سایت تقریباً مشابه یکدیگر ارزیابی شده‌اند. پس از سایت A، سایت B نیز در ارزیابی‌ها رتبه بالایی را به‌خود اختصاص داده است. در ادامه با کمک تحلیل مکانی سازی شده معیارها سناریوی برتر انتخاب خواهد شد.

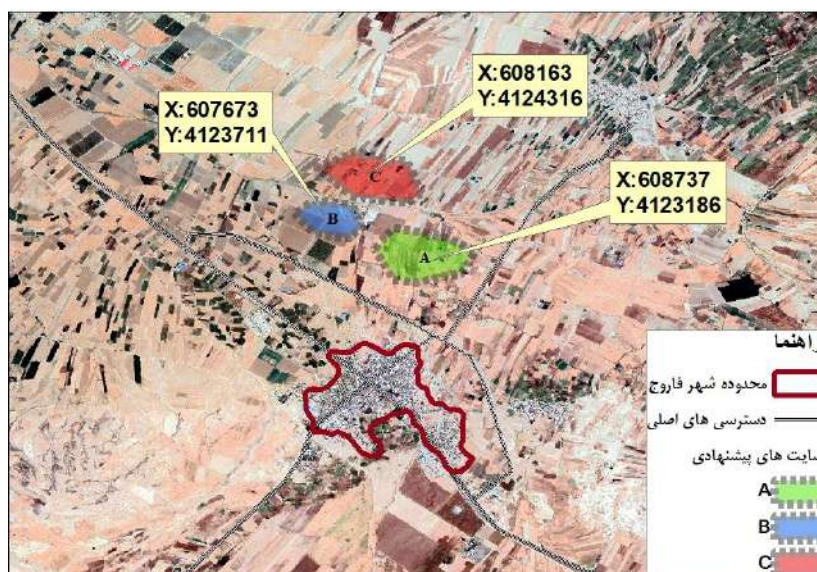
همان‌طور که در شکل ۱۲ مشهود است، هریک از گزینه‌های پیشنهادی برای احداث سایت تصفیه‌خانه فاضلاب در تمام معیارها و زیر معیارهای موردبحث، موردسنجش و پایش قرارگرفته و براساس برآیند نهایی این سنجش‌ها امتیاز نهایی هر



شکل ۱۲- تجزیه و تحلیل حساسیت عملکرد معیارهای اصلی در ارتباط یا گزینه‌ها

و عوامل در GIS در شکل ۱۱ نسبت به سایر پهنه‌ها از امتیاز بالاتری برخوردار بود. لذا به‌عنوان موقعیت مناسب برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاروج پیشنهاد می‌شود.

موقعیت و مختصات جغرافیایی سایت‌های پیشنهادی در شکل ۱۳ قابل‌مشاهده است. سایت انتخابی A به لحاظ خصوصیات و فاکتورهای کمی و کیفی نسبت به گزینه پیشنهادی دیگر دارای برتری بوده و هم‌چنین در برآیند مکانی‌سازی معیارها



شکل ۱۳- مشخص کردن موقعیت پهنه‌های ارزیابی شده در مدل سازی مکان یابی سایت تصفیه خانه فاروج

نهایی؛

- ایجاد یک مجموعه پایگاه داده‌ای مرتبط با فرآیندهای مکان‌یابی و عوامل مؤثر در این امر و ارائه گزارش‌ها و تحلیل‌های مناسب برای سطوح مختلف مدیریتی سازمان؛
- استفاده از شیوه‌ها و فناوری‌های جدید متناسب با فرآیندها در هنگام تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی برای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه با موفقیت و بهره‌وری بیشتر؛
- ایجاد یک پایگاه دانش مناسب و کارآمد برای بهره‌گیری از نظارت خبرگان حوزه؛
- بررسی و شناسایی دقیق و هدفمند شرکت‌های صلاحیت‌دار برای عقد قرارداد مکان‌یابی؛
- استفاده از دانش و تجربیات سازمان‌های مشابه در زمینه مکان‌یابی کاربری‌های عمده و کلان‌شهری و منطقه‌ای برای کارایی و صرفه‌جویی هزینه‌ای بیشتر؛
- ایجاد یک سیستم نظام پیشنهادی ذی‌نفعان و ذی‌نفوذان در زمینه مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه برای بهره‌مندی از نظرات مؤثر و مفید کلیه نیروهای باتجربه و فعال در این زمینه؛
- توجه به مسائل اقتصادی مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه؛
- به‌کارگیری توانمندی شرکت‌های مشاور برای نظارت بر فعالیت‌های مکان‌یابی؛
- تلاش برای ارتقای سطح تفکر استراتژیک مدیران و کارشناسان درگیر در امر مکان‌یابی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در راستای ترسیم درست استراتژی‌های فعلی و همچنین دورنمای جانمایی کاربری‌های شهری و منطقه هم‌سو با جهات رشد و توسعه شهر و منطقه.

پیشنهادهای پژوهش حاضر براساس تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله از جامعه آماری (خبرگان) و به‌کارگیری مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP در انتخاب بهترین مکان برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب فاروج صورت گرفته است. برای تغییر وضعیت موجود از یک وضعیت انفعالی به وضعیت مطلوب و تقویت نظام تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی در حوزه مکان‌یابی تصفیه‌خانه فاضلاب، در چارچوب اهداف و انتظارات می‌توان راهکارهای مطرح شده زیر را پیشنهاد داد که اهم این راهکارها عبارت‌اند از:

- استفاده از دانش، تجربیات و توانمندی‌های افراد متخصص مانند اساتید دانشگاهی و همچنین افراد شاغل در مجموعه ارگان‌هایی نظیر شرکت آب و فاضلاب، دفتر فنی و عمرانی فرمانداری، اداره میراث فرهنگی، سازمان حفاظت از محیط‌زیست، شهرداری و ... برای شناسایی دقیق و هدفمند عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و عوامل خارجی (تهدیدها و فرصت‌ها)؛

- تدوین نظام جامع و راهبردی برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در فرآیندهای مختلف سازمانی؛

- احصا و تدوین افق و چشم‌انداز مقوله مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای شرکت‌های آب و فاضلاب و دفاتر فنی و عمرانی فرمانداری و شهرداری‌ها؛

- تدوین و ارائه برنامه عملیاتی برای اجرای برنامه مکان‌یابی تا احداث سایت تصفیه‌خانه فاضلاب آینده در مدت‌زمان مشخص و معین؛

- ایجاد فرآیند پایش مستمر فرآیندهای مکان‌یابی سایت تصفیه‌خانه فاضلاب از پیشنهاد اولیه مطرح‌شده تا اجرای

- information systems", *Environmental Geology*, 49(3), 376-388.
- Shahmoradi, B., and Isalou, A.A., (2013), "Site selection for wastewater treatment plant using integrated fuzzy logic and multicriteria decision model: A case study in Kahak", *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 1(1), 51-61.
- Owen, S., H., and Daskin, M.S., (1998), "Strategic facility location: A review", *European Journal of Operational Research*, 111(3), 423-447.
- Weber, V., and Friedrich, C.J., (1929), *Alfred Weber's theory of the location of industries*, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.



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

- آزادی، ن.، و میرحسینی، س.م.ع.، (۱۳۹۹)، "تحلیل وضعیت اماکن ورزشی جهت مکان‌یابی و استقرار نظام سلسله مراتبی صنفی ورزش در شهرها (نمونه موردی: شهر شیراز)"، *برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۰(۳۷)، ۱۷۹-۱۹۲.
- پرهیزگار، ا.، (۱۳۷۶)، "ارائه الگوی مناسب مکان‌گزینی مراکز خدمات شهری با تحقیق در مدل‌ها و GIS شهری"، پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- حافظی، ن.، حاجی‌زاده، ه.، شهریاری، ر.، و امانیان، م.، (۱۳۸۶)، "مکان‌یابی دفن پسماندهای ویژه استان خراسان رضوی"، *مجموعه مقالات پنجمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران*، تهران، ایران.
- ناصری، خ.، زرکش، م.، و عزیزخانی، م.ج.، (۱۳۸۶)، "تلفیق MCDM و GIS در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ویژه با تأکید بر منابع آب"، *بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین*، تهران، ایران.
- نشاسته‌گر، م.، تجریشی، م.، و ابریشم‌چی، ا.، (۱۳۸۸)، "جانمایی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کلان‌شهرها به کمک تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS (مطالعه موردی: شهر تهران)"، *سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف*، تهران، ایران.
- Abdalla, O.O., and El Khidir, S.O., (2017), "Site selection of wastewater treatment plant using RS/GIS data and Multi-Criteria Analysis (MCA): Case study Omdurman City, Khartoum State, Sudan", *Journal of Geosciences*, 1, 94-107.
- Dursun, M., (2015), "An integrated approach for the evaluation of wastewater treatment alternatives", *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer science (WCECS)*. San Francisco, USA.
- Hadipour, A., Rajaei, A., Hadipour, V., and Seidirad, S., (2016). "Multi-criteria decision-making model for wastewater reuse application: a case study from Iran", *Desalination and Water Treatment*, 57(30) 13857-13864.
- Macuada, C., Alarcón, R., and Oddershede, A., (2015), "Multi-criteria assessment to automate water treatment plants using the analytical hierarchy process", *Journal for Global Business Advancement*, 8(2), 236-246.
- Mansouri, Z., Moghaddas, N.H., and Dahrazma, B., (2013), "Wastewater treatment plant site selection using AHP and GIS: A case study in Falavarjan, Esfahan", *Geopersia*, 3(2), 63-72.
- Şener, B., Süzen, M.L., and Doyuran, V., (2006), "Landfill site selection by using geographic

Research Paper

مقاله پژوهشی

Investigating the Effects of Management Scenarios Against Climate Change on River-Aquifer Interaction, Case Study: Lenjanat Sub-Basin

Mohammad Alizadeh¹, Mohammad Hossein Gol Mohammadi² and Hamid Reza Safavi^{3*}

1- M.Sc. of Water Resources Management, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

3- Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author, Email: hasafavi@iut.ac.ir

Received: 25/05/2021

Revised: 01/12/2021

Accepted: 30/12/2021

© IWWA

بررسی اثرات سناریوهای مدیریتی در برابر تغییرات اقلیمی بر
اندرکنش رودخانه و آبخوان، مطالعه موردی: زیرحوضه لنجان

محمد علیزاده^۱، محمدحسین گل محمدی^۲ و حمیدرضا صفوی^{۳*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: hasafavi@iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Nowadays with regard to the climate change issue and also the scarcity of available and usable water, the conjunctive use of surface and groundwater resources is regarded as one of the critical approaches in water resources management. In this respect, the surface water-groundwater interaction is one of the prominent and fundamental components in conducting appropriate analysis of water resources balance and finally their management. In this paper, the Lenjanat sub-basin considered as a study area that is located in the Ghavkhouni Basin in Iran. The weighting method of GCM models under the fifth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was employed to investigate the precipitation and temperature changes due to climate change and the LARS-WG model was hired to provide the microscale output of GCM models. Investigating the surface water-groundwater interaction was carried out through the connection of WEAP and MODFLOW models. Thereafter, through the usage of climate results from the climate change scenarios of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 and also implementing the management policies in the form of management scenarios in the future, along with the reduction of 20% and 40% in the area under cultivation, the system performance is assessed for the near future. The findings reveal increasing in temperature and precipitation in the future. The rate of surface water-groundwater interaction will be increased in the future under disparate management and climate change scenarios. Moreover, the maximum rate of the surface water-groundwater interaction is observed for the scenario following the current trend and also the scenario of climate change RCP4.5. Based on the outcomes, the higher the river flow and the groundwater abstraction, the more the aquifer drains the river and consequently increases the interaction of surface and groundwater. Therefore, the results indicated that the recharge effect of the river on the aquifer in the study area and on the other hand uncontrolled pumping of groundwater resources, conjunctive management of water resources can reduce the negative effects of groundwater scarcity, but it is necessary to reduce of cultivated areas and cultivation pattern prevented uncontrolled abstraction of groundwater in this sub-basin.

Keywords: Climate change, Management scenarios, Surface and groundwater interaction, WEAP-MODFLOW model.

امروزه با توجه به اهمیت مسئله تغییرات اقلیم و کمبود منابع آب در دسترس و قابل استفاده، یکی از رویکردهای اساسی در مدیریت منابع آب، بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی است. در این راستا اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی یکی از مؤلفه‌های مهم و اساسی در تحلیل درست بیلان منابع آب و در نهایت مدیریت تلفیقی آن‌ها است. در این مقاله زیرحوضه لنجان از حوضه آبریز گاوخونی که در آن اندرکنش بین رودخانه زاینده‌رود با آبخوان آن زیاد است انتخاب و برای بررسی تغییرات بارش و دما ناشی از پدیده تغییرات اقلیم از روش وزن‌دهی مدل‌های GCM تحت گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیم و برای ریزمقیاس‌سازی خروجی مدل‌های GCM از مدل LARS-WG استفاده شد. برای بررسی اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی از اتصال مدل‌های WEAP و MODFLOW استفاده شد و در ادامه با استفاده از نتایج اقلیمی حاصل از سناریوهای تغییرات اقلیم RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و اعمال سیاست‌های مدیریتی در آینده نزدیک در قالب ۳ سناریوی مدیریتی ادامه روند موجود (پایه)، کاهش ۲۰ درصدی و ۴۰ درصدی سطح زیرکشت، عملکرد سیستم تلفیقی منابع آب در آینده نزدیک بررسی شد. نتایج نشان داد که در دوره آینده نزدیک، افزایش دما و بارش اتفاق خواهد افتاد. میزان اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی در آینده تحت سناریوهای مدیریتی و تغییرات اقلیم مختلف افزایش می‌یابد که تحت سناریوی ادامه روند موجود (پایه) و سناریوی تغییرات اقلیم RCP4.5، تبدلات بیشتر آب‌های سطحی و زیرزمینی اتفاق خواهد افتاد. با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌دلیل اثرات تغذیه‌ای زیاد رودخانه بر آبخوان در محدوده مورد مطالعه و از طرف دیگر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، مدیریت تلفیقی منابع آب می‌تواند اثرات منفی کمبود منابع آب زیرزمینی را کاهش دهد. ولی نیاز است با کاهش سطوح زیرکشت و الگوی کشت مناسب، مانع از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی این محدوده شود.

کلمات کلیدی: تغییرات اقلیم، مدل WEAP-MODFLOW، اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی، سناریوهای مدیریتی، زیرحوضه لنجان.

هرکدام از اجزا می‌تواند بر دیگری تاثیر بگذارد (Saha et al., 2017). درک فعل و انفعال آب‌های سطحی و زیرزمینی برای اهدافی مانند استفاده و مدیریت منابع آب، ارزیابی کیفیت آب و بررسی و تحلیل اکولوژی بسیار مهم است (Zhang et al., 2020). در طول چند دهه گذشته با توجه به نیازهای روزافزون به منابع آب و افزایش عدم اطمینان در تامین آب، نیاز به مدیریت آب سطحی و زیرزمینی به‌عنوان یک منبع واحد به‌طور پیوسته افزایش یافته است. از این‌رو، یک برنامه‌ریزی دقیق در زمینه مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی مستلزم آگاهی از نحوه و مقدار اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

بررسی اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی توسط Hubbert (1940) آغاز شد. تحقیقات اخیر صورت‌گرفته نشان‌دهنده این موضوع است که تغییرات اقلیم الگوهای زمانی و مکانی اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Guevara et al., 2020). در چند دهه اخیر به‌دلیل وقوع پدیده تغییرات اقلیم و اثرات نامطلوب آن بر منابع آب، بیش از پیش به اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی توجه شده است. در جدول ۱ به‌طور خلاصه تعدادی از مطالعات اخیر انجام شده در زمینه اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی و تغییرات اقلیم ارائه شده است.

در این مقاله برخلاف تحقیقات گذشته که برای ارزیابی اثرات تغییرات اقلیم بر اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی از مدل‌های GCM¹ به‌صورت تکی استفاده شده است بود، از ترکیب مدل‌های GCM و وزن‌دهی آن‌ها که عدم قطعیت کمتری دارد استفاده شد. همچنین برای بررسی اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی از اتصال مدل‌های MODFLOW و WEAP² استفاده شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

براساس تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی ایران، حوضه آبریز درجه دو گاوخونی با مساحت ۴۱۵۵۲ کیلومتر مربع در حوضه آبریز درجه یک فلات مرکزی که بزرگترین حوضه آبریز درجه یک ایران است، واقع شده است. حوضه آبریز گاوخونی دارای اقلیم خشک است که ۳۶ درصد سطح آنرا مناطق کوهستانی، ۶۳ درصد سطح آنرا دشت و کوهپایه و حدود ۱ درصد سطح حوضه گاوخونی را تالاب گاوخونی تشکیل می‌دهد. حوضه گاوخونی خود به ۲۱ زیرحوضه تقسیم می‌شود که منطقه مورد مطالعه در این تحقیق زیرحوضه لنجانان با مساحت ۳۳۶۵ کیلومتر مربع است.

شواهد نشان می‌دهد بشر در دوره‌ای از تغییرات آب و هوایی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو قرار گرفته است و ادامه این وضعیت ممکن است شرایط آب و هوا را در مناطق مختلف به‌طور قابل توجهی تغییر دهد (Xu, 2000). تغییرات اقلیم، منابع آب سطحی و زیرزمینی را در سطح منطقه‌ای و جهانی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. مطابق گزارشات متعدد هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیم، (IPCC³) تغییرات اقلیم باعث افزایش دما، ذوب گسترده یخچال‌های طبیعی، بالا آمدن سطح آب دریاها و ایجاد خشکسالی و سیلاب با تواتر کمتر و شدت بیشتر می‌شود. تغییرات اقلیم غالباً به‌طور چشمگیری باعث کاهش آب در دسترس می‌شود. به‌همین دلیل نیاز است که روش‌های مدیریتی موثر برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیم بر منابع آب تدوین شود. امروزه استفاده تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی برای مدیریت یکپارچه منابع آب امری ضروری است. روش بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تأمین نیاز مصرف‌کنندگان آب و مقابله با کمبود آب روشی موثر است (Zhang, 2015). در این رویکرد از هر دو منبع آب سطحی و زیرزمینی می‌توان به‌صورت هم‌زمان استفاده بهینه کرد. منابع آب سطحی و زیرزمینی در بخش‌های کمی و کیفی دچار کمترین تلفات می‌شوند و تقاضای آب را با این رویکرد می‌توان به‌صورت پایدار برآورده کرد (Harmancioglu et al., 2013).

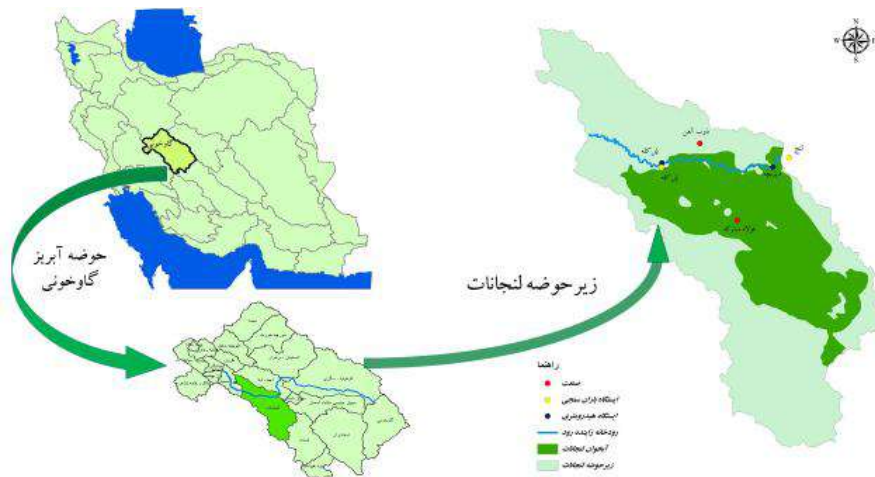
از سوی دیگر آب‌های سطحی و زیرزمینی، دو جزء مجزا از یک منبع واحد هستند و تأثیرات بر هر یک از این دو مولفه بر میزان یا کیفیت دیگری تاثیر می‌گذارد (Abdelhalim et al., 2020). در طول چند دهه گذشته با توجه به نیازهای روزافزون به منابع آب و افزایش عدم اطمینان در تامین آب با توجه به تغییرات اقلیمی، نیاز به مدیریت آب سطحی و زیرزمینی به‌عنوان یک منبع واحد به‌طور پیوسته افزایش یافته است (Fleckenstein et al., 2010). آب‌های سطحی و زیرزمینی در پاسخ به عوامل توپوگرافی، خاک، زمین‌شناسی و اقلیم تعامل دارند (Sulis et al., 2010). تبادلات آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین مدیریت پایدار منابع آب نقش حیاتی در اکوسیستم رودخانه‌ای دارد. تعامل آب سطحی و زیرزمینی یک پدیده قابل مشاهده در طبیعت است. در طول فصل سیلاب، جریان سطحی باعث تغذیه آب‌های زیرزمینی شده و در فصل خشک آب‌های زیرزمینی باعث تغذیه جریان سطحی می‌شود. در نتیجه آب سطحی و آب زیرزمینی اجزای مرتبط با هم در سیستم هیدرولوژیکی هستند. در این تعامل

جدول ۱- مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی

نویسنده	موضوع	نتیجه
Saha et al. (2017)	اثر تغییر اقلیم بر اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی تحت گزارش چهارم تغییر اقلیم با استفاده از مدل GSSHA	در دوره آینده نسبت به دوره پایه تغذیه رودخانه توسط آبخوان تحت سناریوی تغییر اقلیم کاهش می‌یابد.
Yang et al. (2017)	شبیه‌سازی اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل TopNet	در قسمت بالای دشت رودخانه باعث تغذیه آبخوان و در قسمت پائین دشت آبخوان باعث تغذیه رودخانه می‌شود.
Chunn et al. (2019)	اثر تغییر اقلیم و برداشت آب زیرزمینی بر اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی تحت گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و سناریوی تغییر اقلیم RCP8.5 با استفاده از مدل لینک شده SWAT-MODFLOW	در ماه‌های مرطوب و خشک تبادل رودخانه و آبخوان بیشترین مقدار خود را دارد و فعالیت‌های انسانی مانند برداشت بیش از حد از آبخوان، نسبت به تغییر اقلیم اثرات شدیدتری بر تبادل رودخانه و آبخوان دارد.
Guevara et al. (2020)	تأثیر تغییر اقلیم بر الگوهای زمانی و مکانی اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی تحت گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از مدل لینک شده SWAT-MODFLOW	تغییر اقلیم باعث تغییر الگوهای زمانی و مکانی اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و در آینده تحت هر دو سناریوی تغییر اقلیم میانگین تخلیه سالانه از آبخوان به رودخانه افزایش می‌یابد.

زیرحوضه لنجان در پایین‌دست سد زاینده‌رود واقع شده است. این محدوده زیر نظر شرکت آب منطقه‌ای اصفهان قرار دارد و شهرهای مهمی هم‌چون زرین‌شهر، مبارکه، سده لنجان، زاینده‌رود، باغ بهادران و طالقونچه را دربرمی‌گیرد. میانگین بارش سالانه محدوده لنجان تقریباً ۱۷۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه این محدوده ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد است. این زیرحوضه از شمال شرقی به زیرحوضه نجف آباد، از شرق به زیرحوضه مهیار شمالی و مهیار جنوبی، از شمال غربی به زیرحوضه بن-سامان و از جنوب به قمشه متصل است. زیرحوضه لنجان به دلیل تبادل آبخوان و رودخانه و وجود صنایع مهمی هم‌چون ذوب آهن اصفهان و فولاد مبارکه اصفهان و هم‌چنین وجود فعالیت‌های کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. مهم‌ترین رودخانه محدوده لنجان رودخانه زاینده‌رود است، این رودخانه از جهت شمال غربی وارد محدوده لنجان می‌شود و پس از طی مسافتی حدود ۲۴ کیلومتری از مرز شرقی خارج و وارد زیرحوضه نجف‌آباد می‌شود. آبخوان لنجان با مساحتی حدود ۱۱۹۸ کیلومتر مربع

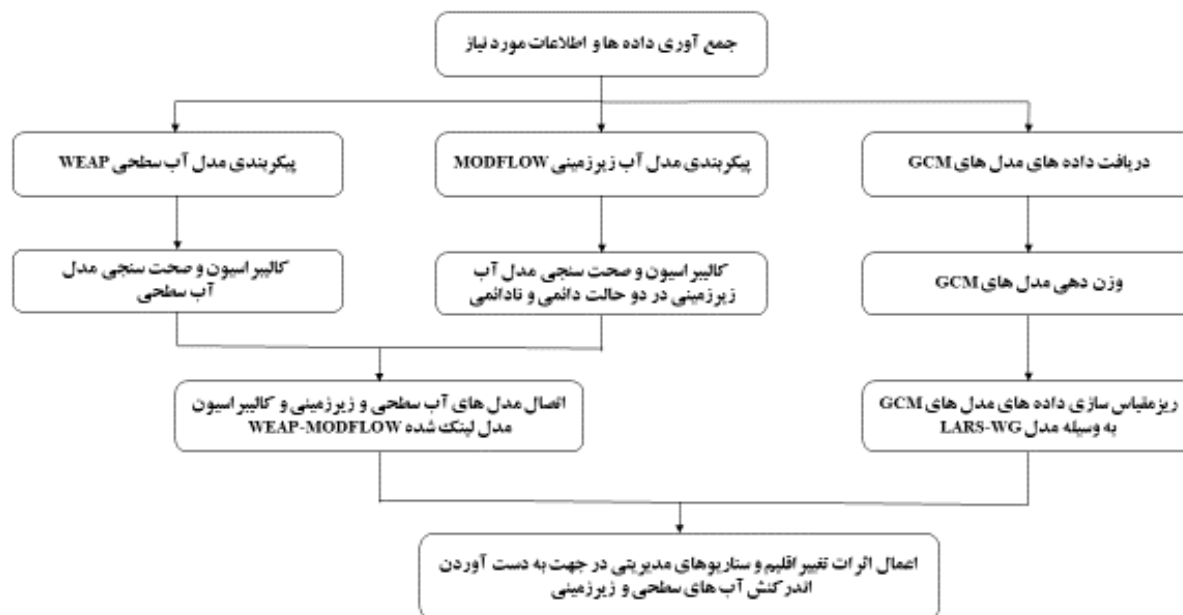
به دلیل استفاده در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به آزمایش‌های پمپاژی که در آبخوان لنجان صورت گرفته، ضرایب هیدرودینامیک این لایه آبدار آزاد، شامل قابلیت انتقال از ۲۵۰ تا ۲۰۰۰ مترمربع در روز و میانگین آبدهی ویژه حدود ۶ درصد است. آبخوان لنجان به‌طور عمده از ارتفاعات غرب، جنوب‌غربی و جنوب محدوده تغذیه و به آبخوان نجف‌آباد تخلیه می‌شود. در زیرحوضه لنجان عمده مصارف با توجه به گستردگی سطح زیر کشت و روش‌های سنتی آبیاری مربوط به بخش کشاورزی است که حدود ۸۱ درصد از کل مصارف زیرحوضه را شامل می‌شود. پس از بخش کشاورزی، بیشترین مصرف مربوط به بخش صنعت است که حدود ۱۲ درصد از کل مصارف منطقه را شامل می‌شود. کمترین مصرف مربوط به بخش شرب است که در حدود ۷ درصد از کل مصارف را شامل می‌شود. در زیرحوضه لنجان ۸۲ درصد از مساحت کشت منطقه به محصولات زراعی و مابقی آن به محصولات باغی اختصاص دارد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در کشور نشان می‌دهد.



۳- مواد و روش‌ها

اثرات تغییر اقلیم بر اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی از ابتدای سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تا پایان سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ است. شکل ۲ روند کلی تحقیق را نشان می‌دهد.

دوره شبیه‌سازی در این تحقیق از ابتدای سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ تا پایان سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ است و دوره پیش‌بینی



شکل ۲- روند انجام تحقیق

۳-۱- تغییر اقلیم

(حد بالا) استفاده شد. همچنین با توجه به این‌که سناریوی RCP4.5 (حد وسط) اقلیم منطقه خاورمیانه را بیشتر پوشش می‌دهد (Fooladi et al., 2021) از این سناریو نیز استفاده شد. خروجی مدل‌های GCM مورد استفاده در این تحقیق برای دوره زمانی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) به‌عنوان دوره پایه و برای دوره زمانی (۲۰۲۰-۲۰۴۹) به‌عنوان دوره آینده دریافت شد. به‌دلیل عدم قطعیت‌های زیاد در مدل‌سازی و مدیریت آب‌های زیرزمینی نمی‌توان اقدام به ارایه سناریوهای با دوره زمانی زیاد نمود و حداکثر برای دوره زمانی ۵ ساله آتی می‌توان برنامه‌ریزی کرد. البته هرچند این دوره برای بررسی اثرات تغییر اقلیم کوتاه به‌نظر می‌رسد ولی در مجموع اثرات خود را در میزان اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی و نیز سناریوهای مدیریتی بهره‌برداری از منابع آب نشان خواهد داد.

اکثر کارشناسان آب و هوا معتقد هستند که خروجی همه مدل‌های شناخته شده توسط IPCC محتمل هستند و هرکدام از این مدل‌ها دارای نقاط ضعف و قوتی هستند. عملکرد مدل‌های GCM از نظر مکانی متفاوت بوده و عملکرد این مدل‌ها دارای عدم قطعیت هستند (Chen et al., 2017). به‌همین دلیل برای کاهش تأثیر مدل‌هایی که عملکرد ضعیفی دارند و کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی تغییرات اقلیم در آینده از روش وزن‌دهی مدل‌های GCM استفاده می‌شود (Murphy et al., 2004). در این مطالعه از ۹ مدل GCM مربوط به گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (AR5) استفاده شد که در جدول ۲ جزئیات مدل‌های مورد استفاده ارائه شده است. برای به‌دست آوردن خروجی این مدل‌ها یعنی بارش و دما در ایستگاه‌های پل کله و لنج، با توجه به اقلیم منطقه از سناریوهای حدی RCP2.6 (حد پایین) و RCP8.5

جدول ۲- مدل‌های اقلیمی مورد استفاده

نام مدل	قدرت تفکیک (درجه)	نام مدل	قدرت تفکیک (درجه)
CanESM2	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$	IPSL-CM5A-MR	$2.5^{\circ} \times 1.25^{\circ}$
CCSM4	$1.25^{\circ} \times 0.94^{\circ}$	MPI-ESM-MR	$1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
CSIRO-Mk3.6.0	$1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$	MRI-CGCM3	$1.1^{\circ} \times 1.1^{\circ}$
GISS-E2-R	$2^{\circ} \times 2.5^{\circ}$	NorESM1-M	$2.5^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
HadGEM2-ES	$1.25^{\circ} \times 1.875^{\circ}$		

میانگین دمای خروجی هریک از مدل‌های GCM در آینده هستند. همچنین ΔP : تغییرات بارش در آینده، ΔP_G : میانگین ۳۰ ساله تغییرات بارش پیش‌بینی شده به‌وسیله هرکدام از مدل‌های GCM و P_{FG} : میانگین بارش خروجی هر یک از مدل‌های GCM در آینده هستند. مقادیر ΔP و ΔT محاسبه شده به‌دلیل استفاده از تمامی مدل‌ها دارای بالاترین دقت در پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم هستند.

یکی از ویژگی‌های مدل‌های GCM خاصیت بزرگ مقیاس بودن آن‌ها است، از این‌رو نتایج به‌دست آمده از خروجی آن‌ها فقط تغییرات دما و بارش را نشان می‌دهد (Semenov, 2007). بنابراین برای استفاده از خروجی GCM در تحقیقات منابع آب، باید با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌سازی به سری‌های زمانی روزانه یا ماهانه تبدیل شوند (Hashmi et al., 2011). در این تحقیق برای ریزمقیاس‌سازی از مولد آب و هوایی LARS-WG استفاده شد. مدل LARS-WG یک مولد آب و هوایی تصادفی است که برای شبیه‌سازی سری زمانی آب و هوایی توسعه داده شده است (Semenov et al., 1997)، این مدل داده‌های مشاهداتی دوره پایه و همچنین الگوهای تغییر اقلیم را به‌عنوان ورودی دریافت کرده و سری زمانی داده‌های هواشناسی شامل بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش خورشید را به‌صورت روزانه تولید می‌کند. این مدل برای پیش‌بینی دوره‌های خشک و مرطوب در آینده از یک‌سری توزیع‌های نیمه تجربی استفاده می‌کند (Semenov, 2008). در این تحقیق برای بررسی کارایی مدل LARS-WG مطابق رابطه‌های (۹) و (۱۰) از ضرایب کارایی، ضریب تبیین (R^2) و ضریب ناش-ساتکلیف (E) مربوط به پارامترهای دما و بارش بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل، در هر دو ایستگاه پل کله و لنج استفاده شد.

$$R^2 = \left(\frac{\text{cov}(O, P)}{\sigma_O \sigma_P} \right)^2 \quad (9)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|O_i - \bar{O}|)^2} \quad (10)$$

که $\text{cov}(O, P)$: کواریانس داده‌های مشاهداتی نسبت به داده‌های محاسباتی، σ_O : انحراف معیار داده‌های مشاهداتی، σ_P : انحراف معیار داده‌های محاسباتی، O : داده مشاهداتی، P : داده محاسباتی و $\bar{O}$: میانگین داده‌های مشاهداتی هستند.

۳-۲- کالیبراسیون مدل آب زیرزمینی MODFLOW

برای کالیبراسیون مدل آب زیرزمینی به‌روش سعی و خطا ابتدا پارامترهای اولیه در مدل وارد شدند. پس از اجرای مدل، بین

برای تعیین دقت هرکدام از مدل‌های GCM در پیش‌بینی داده‌های دما و بارش از روابط (۱) و (۲) استفاده شد. این روابط نشان می‌دهند که بین خروجی مدل‌های GCM و داده‌های مشاهداتی در هر ایستگاه و در هر ماه خاص از سال چه‌قدر اختلاف وجود دارد (Zareian et al., 2017)

$$TE_G = |T_{BG} - T_{BO}| \quad (1)$$

$$PE_G = |P_{BG} - P_{BO}| \quad (2)$$

که TE_G و PE_G : مقدار خطای مطلق هر کدام از مدل‌های GCM در پیش‌بینی دما و بارش، T_{BG} و P_{BG} : مقدار خروجی دما و بارش هریک از مدل‌ها در دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) و T_{BO} و P_{BO} : مقادیر میانگین ۳۰ ساله دما و بارش هستند که از داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی منطقه استخراج شده‌اند.

با به‌دست آمدن خطای مدل‌های GCM و مقایسه آن‌ها، وزن این مدل‌ها از روابط (۳) و (۴) محاسبه شد.

$$WT_G = \frac{\frac{1}{TE_G}}{\sum_{i=1}^9 \frac{1}{TE_G}} \quad (3)$$

$$WP_G = \frac{\frac{1}{PE_G}}{\sum_{i=1}^9 \frac{1}{PE_G}} \quad (4)$$

که WT_G و WP_G : به‌ترتیب وزن مدل‌های GCM برای پیش‌بینی تغییرات دما و بارش هستند. وزن‌های محاسبه شده برای هر ماه به‌صورت جداگانه محاسبه شدند. به‌عبارت دیگر، به‌جای استفاده از یک وزن در طول سال، وزن‌ها به‌صورت ماهانه محاسبه شدند تا دقت پیش‌بینی‌ها افزایش یابد (Tao et al., 2010).

مقادیر کلی تغییرات دما و بارش در آینده تحت هرکدام از سناریوهای مورد استفاده و برای هر دو ایستگاه لنج و پل کله از روابط (۵) تا (۸) محاسبه شد.

$$\Delta T = \sum_{i=1}^9 (WT_G \times \Delta T_G) \quad (5)$$

$$\Delta T_G = T_{FG} - T_{BG} \quad (6)$$

$$\Delta P = \sum_{i=1}^9 (WP_G \times \Delta P_G) \quad (7)$$

$$\Delta P_G = \frac{P_{FG}}{P_{BG}} \quad (8)$$

که ΔT : تغییرات دما در آینده، ΔT_G : میانگین ۳۰ ساله تغییرات دما، پیش‌بینی شده به‌وسیله هریک از مدل‌های GCM و T_{FG} :

مشاهداتی هستند.

۳-۴- اتصال مدل های WEAP و MODFLOW

مدل WEAP آب زیرزمینی را به صورت یک مخزن در نظر می گیرد و سایر جزئیات آب زیرزمینی مانند تراز آب زیرزمینی در هر قسمت آبخوان، در مدل WEAP دیده نمی شوند. مدل WEAP نمی تواند بدون در نظر گرفتن یک مدل آب زیرزمینی جزئیات مربوط به آبخوان را مدل سازی کند. از سوی دیگر یکی از قابلیت های مدل WEAP امکان اتصال آن به مدل آب زیرزمینی MODFLOW است و با اتصال این مدل ها به هم می توان یک آبخوان را با تمام جزئیات در مدل آب سطحی WEAP مدل سازی نمود. هدف از اتصال این مدل ها این است زمانی که آب های سطحی و زیرزمینی به مصارف مختلف تخصیص داده می شوند بتوان اثر این تخصیص را بر روی اندرکنش آب های سطحی و زیرزمینی مشاهده نمود. پل ارتباطی که باعث لینک شدن دو مدل آب سطحی و زیرزمینی می شود یک Shape file است. برای این کار اقدام به تهیه یک Shape file در محیط GIS شد که در آن با هم پوشانی شبکه مدل آب زیرزمینی بر محدوده مطالعاتی هریک از لایه های تعریف شده در مدل WEAP به سلول متناظر که آن سطح را پوشش می دهد، متصل می شود. در این Shape file سلول متناظر با کاربری اراضی، سلول چاه ها، سلول نیازهای موجود، سلول های متناظر با محدوده آبخوان، سلول های رودخانه ای و ... همگی تعریف شدند. با اتصال صحیح دو مدل آب سطحی و زیرزمینی، داده ها و نتایج به صورت پویا بین دو مدل با هم گردش می کنند. شکل ۳ نحوه گردش داده ها و نتایج بین دو مدل را نشان می دهد (Sieber et al., 2011).

۳-۵- کالیبراسیون مدل WEAP-MODFLOW

پس از اتصال این دو مدل، مدل لینک شده در محل ایستگاه های هیدرومتری پل کله و دیزچه واقع در ابتدا و انتهای بازه رودخانه در این محدوده مطالعاتی در محیط WEAP از مهر ۱۳۸۶ تا شهریور سال ۱۳۹۲ مورد کالیبراسیون قرار گرفت. کالیبراسیون مدل لینک شده از این رو اهمیت دارد که که مقادیر رواناب، ارتباط متقابل آبخوان و رودخانه، مقادیر برگشت آب، تلفات و نفوذ به خوبی مدل می شوند. پس از لینک شدن مدل های آب سطحی و زیرزمینی برای ارزیابی نتایج کالیبراسیون و تطابق آنها با داده های مشاهداتی از ضرایب خطای ضریب تبیین (R^2)، ضریب تاثیر ناش-ساتکلیف (E) و شاخص تطابق (d) استفاده شد که روابط آنها در بخش ۳-۱ و ۳-۳ ارائه شد استفاده شد.

مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز آب مقایسه انجام می شود. در صورتی که اختلاف قابل ملاحظه ای بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی وجود داشته باشد پارامترها اصلاح شده و مدل مجدداً اجرا می شود. این روند تا جایی که مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز آب اختلاف قابل ملاحظه ای نداشته باشند ادامه پیدا می کند. مدل آب زیرزمینی در این تحقیق با استفاده از داده های ثبت شده پیرومتری مربوط به ۳۲ چاه مشاهداتی، برای پارامترهای اصلی مدل یعنی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه کالیبره شد. از ضرایب خطای؛ متوسط خطا ME^4 ، متوسط خطای مطلق MAE^5 و مجذور میانگین مربعات خطا $RMSE^6$ برای ارزیابی عملکرد مدل آب زیرزمینی استفاده شد.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)_i \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(h_m - h_s)_i| \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)_i^2} \quad (13)$$

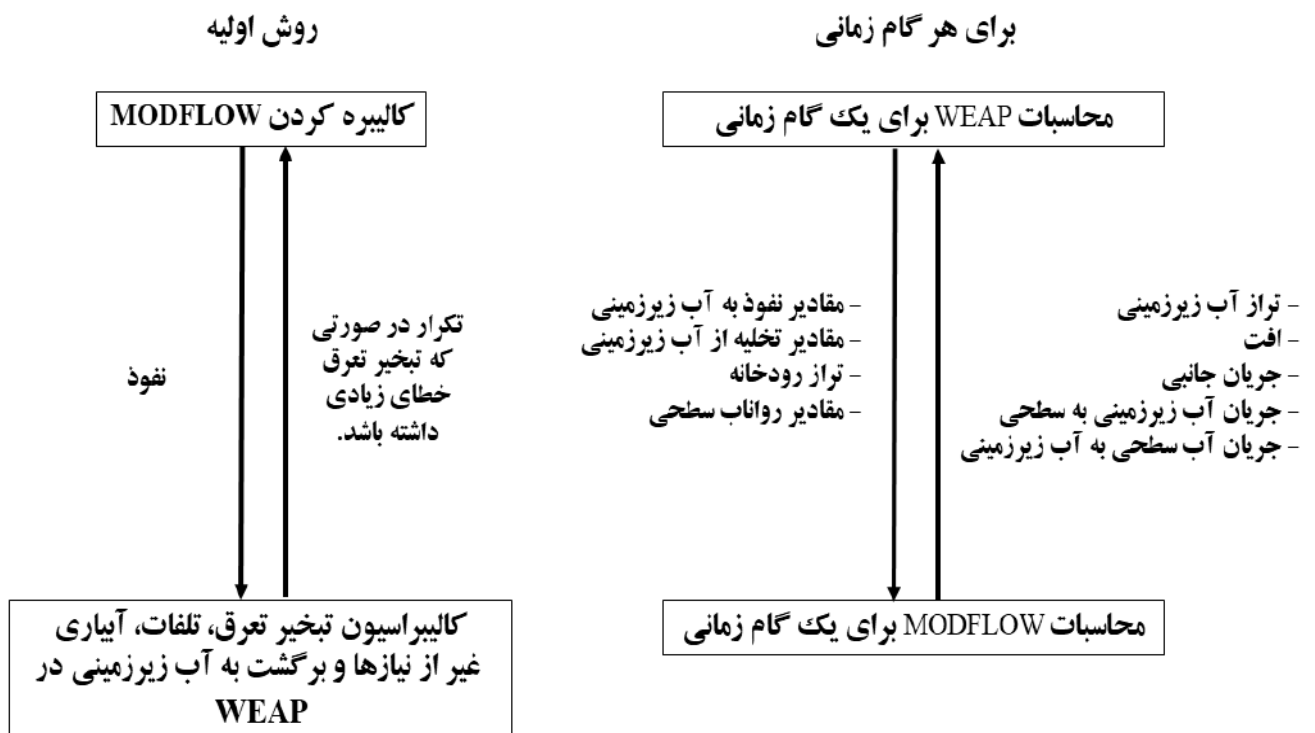
که h_m : بار هیدرولیکی مشاهداتی، h_s : بار هیدرولیکی محاسباتی و n : تعداد چاه های مشاهداتی است.

۳-۳- کالیبراسیون مدل آب سطحی WEAP

مدل WEAP به دو روش اتوماتیک و دستی قابل کالیبراسیون است. در روش اتوماتیک برای کالیبراسیون از ابزار تخمین پارامتر PEST در مدل WEAP مورد استفاده قرار می گیرد. این ابزار برای کاربر این امکان را فراهم می کند تا به طور اتوماتیک و ضمن تعریف پارامترها به دو صورت جداگانه و تجمعی کالیبراسیون مدل را انجام دهد (Sieber et al., 2011). کالیبراسیون مدل به روش دستی با استفاده از تخمین داده های ورودی و خروجی رودخانه ها بین ایستگاه های هیدرومتری مختلف پس از در نظر گرفتن مصارف، ورودی ها و خروجی های ثبت شده با استفاده از تعادل جرمی آب انجام می شود (Lane et al., 2015). برای ارزیابی نتایج کالیبراسیون و تطابق آنها با داده های مشاهداتی علاوه بر ضرایب خطای ضریب تبیین R^2 و ضریب تاثیر ناش-ساتکلیف E^8 از شاخص تطابق d^9 نیز استفاده شد.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (14)$$

که O : داده مشاهداتی، P : داده محاسباتی و $\bar{O}$: میانگین داده های



شکل ۳- چرخش داده‌ها در مدل لینک شده

۴- نتایج

۴-۱- نتایج تغییر اقلیم

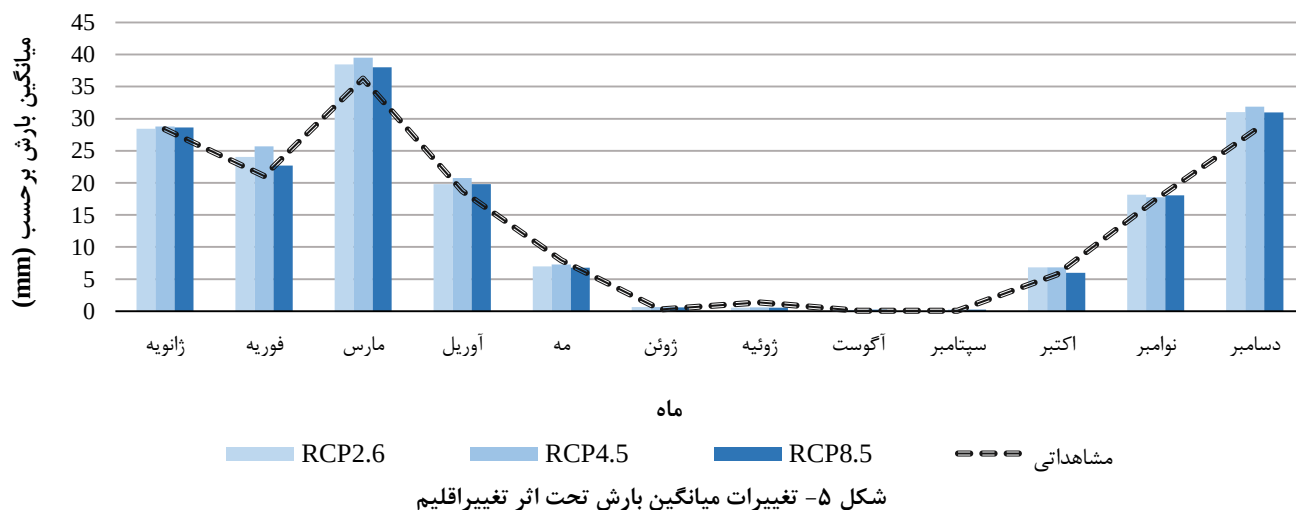
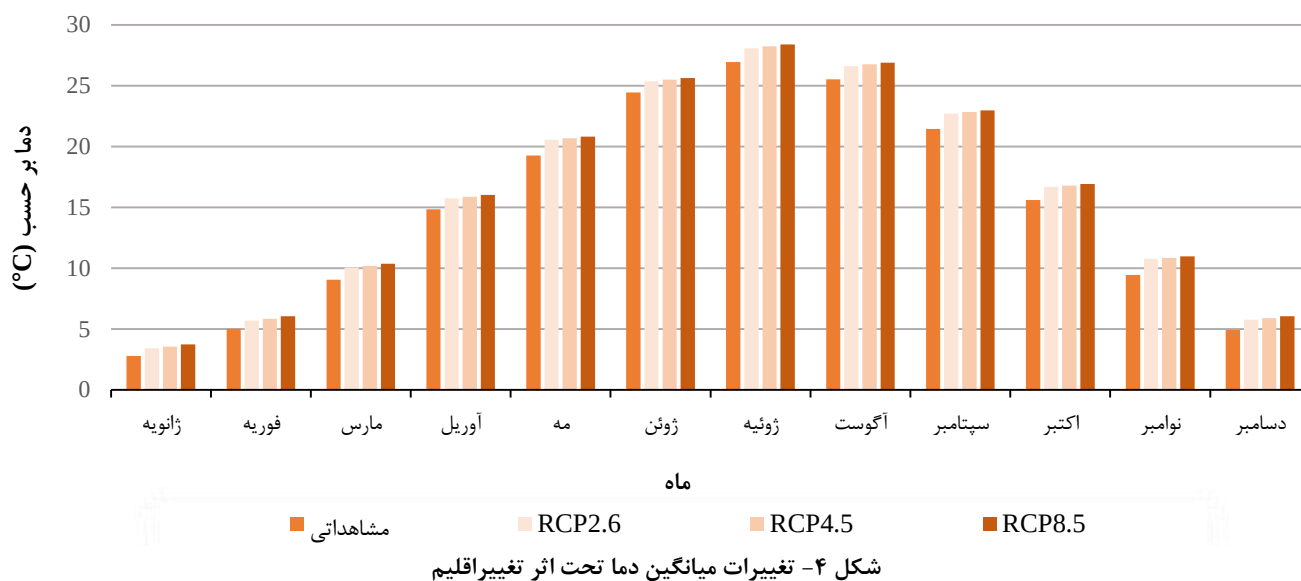
قبل از اعمال سناریوهای تغییر اقلیم برای آینده، عملکرد مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت که برای این کار از ضرایب تبیین (R^2) و ناش-ساتکلیف (E) استفاده شد. همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است، مقادیر به‌دست آمده برای ضرایب تبیین (Santhi et al., 2001) و تاثیر ناش-ساتکلیف (Moriassi et al., 2007) حاکی از این است که مدل عملکرد بسیار خوبی دارد.

جدول ۳ - نتایج ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG

نام ایستگاه	ضرایب خطا		پارامتر هواشناسی
	R^2	E	
پل کله	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸	دما
	۰/۹۸۶	۰/۹۸۸	بارش
لنج	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	دما
	۰/۹۸۵	۰/۹۸۷	بارش

پس از پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایستگاه‌های پل کله و لنج، به‌دلیل این که دو ایستگاه اختلاف مقادیر و نیز اختلاف ارتفاع اندکی نسبت به هم داشتند از روش میانگین‌گیری ریاضی استفاده شد. نتایج به‌دست آمده در بخش تغییر اقلیم حاکی از آن

است که در دوره آینده نسبت به دوره پایه، تحت سناریوهای اقلیمی مورد استفاده، افزایش دما و بارش اتفاق خواهد افتاد. روند تغییرات دمای میانگین در محدوده مورد مطالعه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و دوره آینده (۲۰۴۹-۲۰۲۰) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل مشخص است بیشترین افزایش دما تحت سناریو RCP8.5 و کمترین افزایش دما تحت سناریو RCP2.6 اتفاق می‌افتد. میانگین دمای دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به ترتیب حدود ۱/۳، ۱/۱۵ و ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش میانگین دمای ماهانه دوره آینده نسبت به دوره پایه در ماه مه تحت سناریو RCP8.5 رخ می‌دهد در این ماه میانگین دما حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. روند تغییرات بارش در دوره پایه نسبت به دوره آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم در شکل ۵ نشان داده شده است، همان‌طور که از شکل مشخص است تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب بیشترین و کمترین افزایش بارش مشاهده می‌شود. میانگین بارش دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 به ترتیب حدود ۵، ۱۰ و ۶ درصد افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش میانگین بارش ماهانه دوره آینده در ماه دسامبر تحت سناریو RCP4.5 رخ می‌دهد. در این ماه بارش حدود ۳/۶ میلی‌متر افزایش می‌یابد.



۳-۴ نتایج کالیبراسیون مدل آب سطحی WEAP

در بخش ۳-۳ عملکرد مدل در مرحله کالیبراسیون براساس ضرایب خطای تبیین (R^2)، ضریب ناش-ساتکلیف (E) و شاخص تطابق (d) بررسی شد. کالیبراسیون مدل در محل ایستگاه‌های هیدرومتری پل کله و دیزیچه به صورت دستی انجام شد. مقادیر به دست آمده برای شاخص‌های R^2 ، E و d در جدول ۵ ارائه شده است. مقادیر به دست آمده برای ضرایب خطای ضریب تبیین (Santhi et al., 2001)، ضریب تاثیر ناش-ساتکلیف (Moriassi et al., 2007) و شاخص تطابق (Willmott, 1981)، حاکی از عملکرد بسیار خوب مدل در مرحله کالیبراسیون است.

جدول ۵- نتایج عملکرد مدل WEAP در مرحله کالیبراسیون

ضرایب خطا			نام ایستگاه
d	R^2	E	
۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۹۶	پل کله
۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۹۱	دیزیچه

۲-۴ نتایج کالیبراسیون مدل آب زیرزمینی MODFLOW

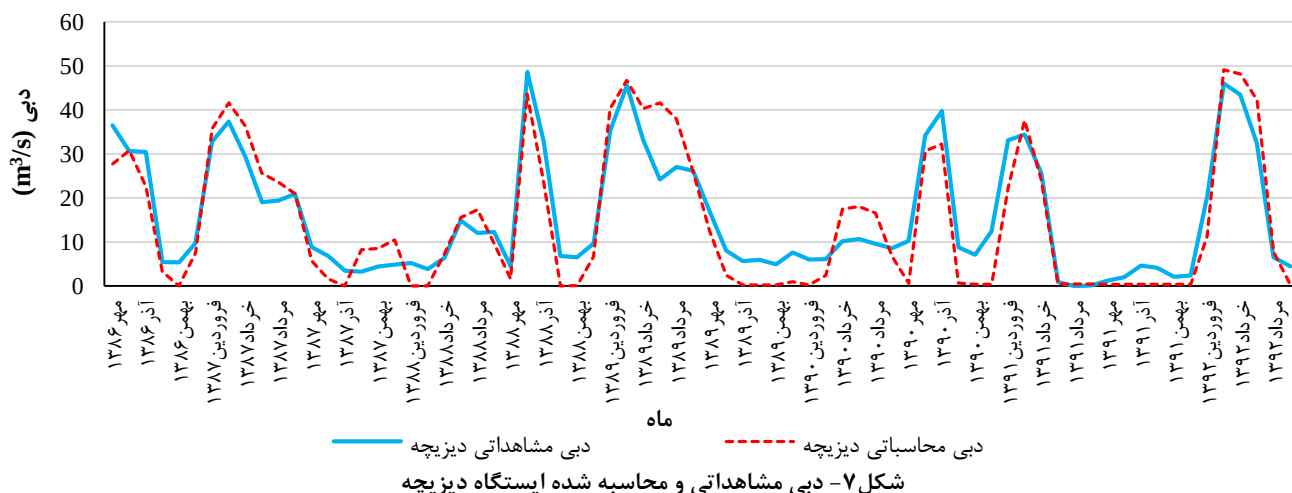
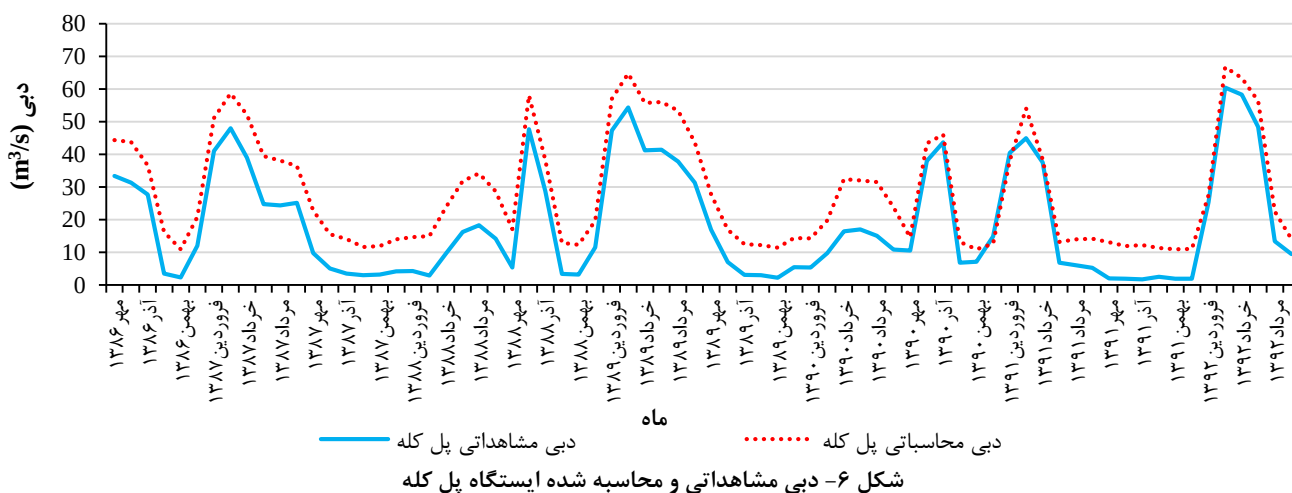
مدل آب زیرزمینی برای پارامترهای اصلی آن یعنی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه، کالیبره شد. برای نمایش دقت کالیبراسیون انجام شده و همچنین قابل قبول بودن کارکرد مدل آب زیرزمینی از ضرایب خطای متوسط خطا (ME)، متوسط خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. مقادیر این پارامترها در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده کالیبراسیون به درستی انجام شده است و نتایج به دست آمده از مدل آب زیرزمینی قابل قبول است.

جدول ۴- نتایج عملکرد مدل MODFLOW در مرحله کالیبراسیون

ضرایب خطا		
RMSE	MAE	ME
۲/۰۱	۱/۳۲	-۰/۳

۴-۴- نتایج کالیبراسیون مدل WEAP-MODFLOW

پس از اطمینان از عملکرد قابل قبول مدل‌های آب زیرزمینی و آب سطحی و اتصال مدل WEAP و MODFLOW، به منظور اطمینان از نتایج مدل WEAP-MODFLOW از مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های هیدرومتری پل کله و دیزچه با استفاده از ضرایب خطای ضریب تبیین (R^2)، ضریب تاثیر ناش-ساتکلیف (E) و شاخص تطابق (d) استفاده شد. نتایج



جدول ۶- نتایج عملکرد مدل WEAP-MODFLOW در مرحله

کالیبراسیون

نام ایستگاه	ضرایب خطا		
	d	R^2	E
پل کله	۰/۹۲	۰/۶۷	۰/۹۵
دیزچه	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۸۶

۴-۳- نتایج اندرکنش رودخانه و آبخوان

پس از اتصال مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی و اطمینان از کالیبره بودن مدل، بررسی و محاسبه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی انجام شد. اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به عوامل

این ضرایب در جدول ۶ ارائه شده است. در شکل‌های ۶ و ۷ مقدار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های پل کله و دیزچه مشخص شده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای ضرایب خطای، ضریب تبیین (Santhi et al., 2001)، ضریب تاثیر ناش-ساتکلیف (Moriassi et al., 2007) و شاخص تطابق (Willmott, 1981) عملکرد مدل مناسب و نتایج مدل قابل اعتماد است.

مختلفی مانند جریان رودخانه، سطح ایستابی آب زیرزمینی، الگوی کشت به‌ویژه در حاشیه رودخانه و نوع آبیاری زمین‌های کشاورزی بستگی زیادی دارد. آبخوان لنجان از طریق عواملی هم‌چون نفوذ از بارش، نفوذ از رودخانه زاینده‌رود و نفوذ از آب برگشتی ناشی از مصارف کشاورزی، صنعت و شرب تغذیه می‌شود. نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که بیشترین تبادل رودخانه زاینده‌رود و آبخوان لنجان در سال پنجم دوره شبیه‌سازی و کمترین تبادل رودخانه زاینده‌رود و آبخوان لنجان در سال اول دوره شبیه‌سازی اتفاق افتاده است. در بررسی میزان اندرکنش رودخانه و آبخوان به‌صورت ماهانه مشخص شد که در فصل بهار

رودخانه و آبخوان به صورت سالانه برحسب میلیون مترمکعب ارائه شده است.

که رودخانه بیشترین حجم از جریان را دارد مقدار اندرکنش نسبت به سایر فصول بیشتر است. در جدول ۷ مقدار اندرکنش

جدول ۷- میزان اندرکنش رودخانه و آبخوان در دوره شبیه سازی (میلیون مترمکعب)

سال آبی	۱۳۸۷-۱۳۸۶	۱۳۸۸-۱۳۸۷	۱۳۸۹-۱۳۸۸	۱۳۹۰-۱۳۸۹	۱۳۹۱-۱۳۹۰	۱۳۹۲-۱۳۹۱
حجم اندرکنش	۳۴/۹۹	۵۵/۰۶	۷۵/۴۵	۹۴/۷۳	۹۵/۸۳	۸۱/۳۳

کاهش یافتند. همان طور که در جدول ۸ مشخص است در آینده میزان اندرکنش آب های سطحی و زیرزمینی نسبت به دوره گذشته افزایش می یابد. عمده مصارف در زیرحوضه لنجان، در بخش کشاورزی هستند که بخش اعظم نیاز خود را از آب زیرزمینی دریافت می کنند. به همین دلیل تحت سناریوی ادامه روند موجود بیشترین افت آبخوان اتفاق خواهد افتاد. از طرفی هرچه افت آب زیرزمینی بیشتر باشد مقدار تخلیه رودخانه توسط آبخوان بیشتر خواهد بود. هم چنین با توجه به این که مقدار بارش در آینده تحت سناریوی RCP4.5 بیشترین افزایش را دارد، جریان رودخانه تحت این سناریو حداکثر مقدار خود را خواهد داشت. بنابراین تحت سناریوی مدیریتی ادامه روند موجود و سناریوی تغییر اقلیم RCP4.5 بیشترین حجم اندرکنش رودخانه و آبخوان رخ می دهد. با توجه به مطالب بیان شده حداکثر مقدار اندرکنش سالانه در سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ تحت سناریوی ادامه روند موجود و سناریوی RCP4.5 اتفاق می افتد که مقدار آن ۱۳۲ میلیون مترمکعب است. براساس نتایج مشخص شد که اندرکنش در فصل بهار که جریان رودخانه بیشترین مقدار خود را دارد، حداکثر مقدار خود را دارد.

۴-۴- پیش بینی وضعیت اندرکنش رودخانه و آبخوان در آینده

پس از تدوین مدل شبیه سازی، می توان از پیش بینی اندرکنش رودخانه و آبخوان و روند تغییرات آن در آینده تحت تاثیر تغییر اقلیم و نیز عوامل مؤثر دیگر هم چون مصارف مختلف، الگوی کشت و سیاست های محتمل در آینده و در نهایت برای اتخاذ تصمیم های مدیریتی بهتر برای استفاده تلفیقی مناسب از منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده کرد. در این تحقیق از سه سناریوی ادامه روند موجود، کاهش ۲۰ درصدی سطح زیرکشت و کاهش ۴۰ درصدی سطح زیرکشت در زیرحوضه لنجان استفاده شد. در سناریوی ادامه روند موجود فرض بر آن است که میزان برداشت مصارف و همچنین سطح زیر کشت و الگوی کشت منطقه بدون تغییر باقی می ماند و فقط ورودی های حوضه تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 تغییر می یابند. در سناریوهای بعدی که مورد بررسی قرار گرفتند سطح زیر کشت به ترتیب ۲۰ و ۴۰ درصد کاهش یافت. به تبع آن به طور میانگین مصارف نیازهای کشاورزی موجود در منطقه که بخش عمده آب موجود در منطقه را مصرف می کنند نیز ۲۰ و ۴۰ درصد

جدول ۸- مقادیر اندرکنش سالانه در دوره پیش بینی تحت سناریوهای مختلف (میلیون مترمکعب)

سناریوی مدیریتی					سال آبی	سناریوهای اقلیمی
۱- ادامه روند موجود						
۱۴۰۴-۱۴۰۳	۱۴۰۳-۱۴۰۲	۱۴۰۲-۱۴۰۱	۱۴۰۱-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۳۹۹		
۱۳۱/۵	۱۲۹/۸	۱۲۵/۹	۱۲۲/۲	۱۱۸/۸		RCP2.6
۱۳۲	۱۳۰/۴	۱۲۶/۴	۱۲۲/۵	۱۱۹/۲		RCP4.5
۱۳۱/۳	۱۲۹/۶	۱۲۵/۷	۱۲۲	۱۱۸/۷		RCP8.5
۲- کاهش ۲۰ درصدی سطح زیرکشت						
۱۲۸/۴	۱۲۶/۶	۱۲۳/۴	۱۱۶/۹	۱۱۶/۴		RCP2.6
۱۲۹/۴	۱۲۷/۸	۱۲۴/۱	۱۱۷/۴	۱۱۷/۱		RCP4.5
۱۲۸/۱	۱۲۶/۴	۱۲۳/۱	۱۱۶/۸	۱۱۶/۳		RCP8.5
۳- کاهش ۴۰ درصدی سطح زیرکشت						
۱۲۶/۸	۱۲۴/۳	۱۲۱/۷	۱۱۵	۱۱۴/۴		RCP2.6
۱۲۷/۲	۱۲۵/۸	۱۲۲/۷	۱۱۵/۸	۱۱۵/۲		RCP4.5
۱۲۶/۴	۱۲۴/۲	۱۲۱/۶	۱۱۴/۸	۱۱۴/۳		RCP8.5

۵- نتیجه‌گیری

۷- مراجع

- Abdelhalim, A., Sefelnasr, A., and Ismail, E., (2020), "Response of the interaction between surface water and groundwater to climate change and proposed megastructure", *Journal of African Earth Sciences*, 162(2), 103723.
- Chen, J., Brissette, F.P., Lucas-Picher, P., and Caya, D., (2017), "Impacts of weighting climate models for hydro-meteorological climate change studies", *Journal of Hydrology*, 549(6), 534-546.
- Chunn, D., Faramarzi, M., Smerdon, B., and Alessi, D. S., (2019), "Application of an integrated SWAT-MODFLOW model to evaluate potential impacts of climate change and water withdrawals on groundwater-surface water interactions in West-Central Alberta", *Water*, 11(1), 110.
- Fleckenstein, J.H., Krause, S., Hannah, D.M., and Boano, F., (2010), "Groundwater-surface water interactions: New methods and models to improve understanding of processes and dynamics", *Advances in Water Resources*, 33(11), 1291-1295.
- Fooladi, M., Golmohammadi, M.H., Safavi, H.R., and Singh, V.P., (2021), "Fusion-based framework for meteorological drought modeling using remotely sensed datasets under climate change scenarios: Resilience, vulnerability, and frequency analysis", *Journal of environmental management*, 297(21), 113283.
- Guevara-Ochoa, C., Medina-Sierra, A., and Vives, L., (2020), "Spatio-temporal effect of climate change on water balance and interactions between groundwater and surface water in plains", *Science of the Total Environment*, 722(24), 137886.
- Harmancioglu, N.B., Barbaros, F., and Cetinkaya, C.P., (2013), "Sustainability issues in water management", *Water Resources Management*, 27(6), 1867-1891.
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y., and Melville, B.W., (2011), "Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4), 475-484.
- Hubbert, M.K., (1940), "The theory of ground-water motion", *The Journal of Geology*, 48(8, Part 1), 785-944.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., and Veith, T.L., (2007), "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations", *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Murphy, J.M., Sexton, D.M., Barnett, D.N., Jones, G.S., Webb, M.J., Collins, M., and Stainforth, D.A., (2004), "Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations", *Nature*, 430(7001), 768-772.
- Saha, G.C., Li, J., Thring, R.W., Hirshfield, F., and Paul, S.S., (2017), "Temporal dynamics of groundwater-surface water interaction under the effects of climate

به‌دلیل عدم قطعیت‌های زیاد در زمینه شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی که منشأ آن عدم وجود داده‌های کافی در تعیین ضرایب هیدرودینامیکی و نیز میزان دقیق تغذیه و تخلیه از این منابع و همچنین عدم قطعیت‌های مدیریتی ناشی از برداشت‌های بدون مجوز و یا بیش از پروانه بهره‌برداری از چاه‌ها است، نمی‌توان در دوره‌های بلند مدت بیش از حداکثر ۵ سال اقدام به برنامه‌ریزی نحوه مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی نمود. لذا در این مقاله دوره ۵ ساله آبی را مبنای بررسی‌ها قرار داده، هرچند این دوره برای بررسی اثرات تغییر اقلیم کوتاه به نظر می‌رسد، ولی در مجموع اثرات خود را در میزان اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی و نیز سناریوهای مدیریتی بهره‌برداری از منابع آب نشان داده است. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که در آینده نزدیک در محدوده مطالعاتی افزایش تبادل رودخانه و آبخوان رخ می‌دهد و هرچه که تراز آب زیرزمینی به‌دلیل برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان بیشتر افت کند، میزان آبی که از رودخانه به آبخوان نشت پیدا می‌کند افزایش می‌یابد. کاهش جریان رودخانه به‌سمت پایین‌دست باعث به‌وجود آمدن مشکلاتی از جمله عدم تأمین نیازهای پایین‌دست، عدم تأمین نیاز محیط‌زیستی رودخانه و تالاب بین‌المللی گاوخونی و نیز فرونشست زمین در اراضی پایین دست این زیرحوضه خواهد شد. بنابراین، با توجه به افزایش حجم اندرکنش سالانه در آینده و همچنین برای جلوگیری از به‌وجود آمدن مشکلات ذکر شده و جلوگیری از افت بیش از حد تراز آبخوان، باید در زمینه کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی با تغییر الگوهای کشت و نیز سطوح زیر کشت برنامه‌ریزی و اقدام نمود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- General Circulation Model
- 2- Water Evaluation and Planning System
- 3- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 4- Mean Error
- 5- Mean Absolute Error
- 6- Root Mean Squared Error
- 7- Coefficient of Determination
- 8- Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)
- 9- Index of Agreement



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

- change: A case study in the Kiskatinaw River Watershed, Canada”, *Journal of Hydrology*, 551(24), 440-452.
- Santhi, C., Arnold, J.G., Williams, J.R., Dugas, W.A., Srinivasan, R., and Hauck, L.M., (2001), “Validation of the swat model on a large river basin with point and nonpoint sources 1”, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1169-1188.
- Semenov, M.A., (2007), “Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1-2), 127-138.
- Semenov, M.A., & Barrow, E.M., (1997), “Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios”, *Climatic change*, 35(4), 397-414.
- Semenov, M.A., (2008), “Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator”, *Climate Research*, 35(3), 203-212.
- Sieber, J., and Purkey, D., (2011), *Weap: Water evaluation and planning system*, User guide, Somerville, MA: Stockholm Environment Institute, US Center”, http://weap21.org/downloads/WEAP_User_Guide.pdf.
- Sulis, M., Meyerhoff, S.B., Paniconi, C., Maxwell, R.M., Putti, M., and Kollet, S.J., (2010), “A comparison of two physics-based numerical models for simulating surface water-groundwater interactions”, *Advances in Water Resources*, 33(4), 456-467.
- Tao, F., and Zhang, Z., (2010), “Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: quantify the relative contributions of adaptation options”, *European Journal of Agronomy*, 33(2), 103-116.
- Willmott, C.J., (1981), “On the validation of models”, *Physical Geography*, 2(2), 184-194.
- Xu, C. Y., (2000), “Modelling the effects of climate change on water resources in central Sweden”, *Water Resources Management*, 14(3), 177-189.
- Yang, J., McMillan, H., and Zammit, C., (2017), “Modeling surface water-groundwater interaction in New Zealand: model development and application”, *Hydrological Processes*, 31(4), 925-934.
- Zareian, M.J., Eslamian, S., and Safavi, H.R., (2015), “A modified regionalization weighting approach for climate change impact assessment at watershed scale”, *Theoretical and Applied Climatology*, 122(3-4), 497-516.
- Zhang, D., Han, D., and Song, X., (2020), “Impacts of the Sanmenxia dam on the interaction between surface water and groundwater in the lower Weihe River of Yellow River watershed”, *Water*, 12(6), 1671.
- Zhang, X., (2015), “Conjunctive surface water and groundwater management under climate change”, *Frontiers in Environmental Science*, 3(1), 59.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Developing a Model of Estimating the Failure Rate for Main Urban Water Pipes Using Gene Expression Programming

ارائه مدل برآورد نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

Seyed Azim Hosseini^{1*} and Hossein Maleki Toulabi²

سیدعظیم حسینی^{۱*} و حسین ملکی طولابی^۲

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Young Researchers and Elite Club, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.

۱- دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران.

*Corresponding Author, Email: azim_hosseini@azad.ac.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: azim_hosseini@azad.ac.ir

Received: 03/10/2021

Revised: 13/04/2022

Accepted: 13/05/2022

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

One of the major problems with urban water supply networks is the large volume of water wastage due to various incidents that cause damage. These damages are mainly irreversible and costly; thus, it is increasingly important to understand the causes of such incidents to prevent and reduce water wastage. This research aims to estimate the failure rate of main urban water supply pipes. In terms of nature, this research is applied, while in terms of administration, it is a combination of descriptive-analytical methods based on library sources. In addition to interviewing experts in the study area, the research uses findings of other research and data provided by Tehran's Water and Wastewater Organization, which pertain to District 1. The research identifies major criteria affecting failure rates of main pipes of various types. Then, it uses Gene Expression Programming (GEP) software to perform computations and provide the model. Findings conclude that as the working pressure, age, and length of the pipe and the number of service lines increase, the number of incidents increases also. On the other hand, with the increase in the diameter of the pipes and the depth at which they are installed, their failure rates decrease. The type of soil also buried directly impacts the gradual loss of the pipes. Because the proposed models in this research have no limited input parameters and take into account all the effective components, they are highly useful and reliable tools to predict failure rates of the main urban water supply pipes.

از مشکلات عمده در شبکه آب‌رسانی شهری، هدررفت حجم زیادی از آب در اثر وقوع حوادث مختلف است که وقوع این پدیده، در اکثر موارد باعث ایجاد خساراتی می‌شود که عمدتاً برگشت‌ناپذیر و پرهزینه‌اند. لذا شناخت علل حوادث و میزان اهمیت آن‌ها، می‌تواند در پیشگیری و کاهش حوادث و اتلاف آب، سهم بسیار مؤثری داشته باشد. از این رو، هدف از این پژوهش، ارائه مدل برآورد نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری است. پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت، از نوع کاربردی و به لحاظ اجرا، ترکیبی از روش‌های توصیفی-تحلیلی بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای محسوب می‌شود. در این پژوهش، علاوه بر مصاحبه با کارشناسان و خبرگان مربوطه در زمینه مورد مطالعه، از نتایج مطالعات صورت گرفته توسط سایر پژوهشگران و نیز استفاده از آمار و اطلاعات موجود در شرکت آب و فاضلاب استان تهران که مربوط به منطقه یک شهر تهران است، بهره گرفته و معیارهای مهم بر نرخ شکست لوله‌های اصلی با جنس‌های مختلف، شناسایی شد. سپس برای انجام محاسبات و ارائه مدل، از نرم‌افزار برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)، استفاده شد. یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر، نشان داد که با افزایش فشار کاری، سن، طول لوله و نیز افزایش تعداد انشعابات؛ میزان حوادث هم بیشتر خواهد شد. از طرفی، با افزایش قطر لوله‌ها و نیز افزایش عمق نصب آن‌ها، میزان نرخ شکست کاهش می‌یابد. نوع خاک مدفون شده، نیز تأثیر مستقیمی بر از بین رفتن تدریجی لوله خواهد داشت. مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش، به دلیل عدم محدودیت در پارامترهای ورودی و نیز توجه به کلیه مؤلفه‌های مؤثر، ابزاری بسیار مفید و قابل اعتماد برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری هستند.

Keywords: Failure rate, Urban water system, Gene expression programming, Events and happenings.

کلمات کلیدی: نرخ شکست، شبکه آب‌رسانی شهری، برنامه‌ریزی بیان ژن، حوادث و اتفاقات.

شبکه‌های توزیع آب و انشعابات مشترکین انجام شده است. طی پژوهش Farmani et al., (2017) مشخص شد که با توجه به هزینه‌های بالای اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی ناشی از ترکیدگی لوله در سیستم‌های توزیع آب، ارائه یک مدل با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، ضروری است.

Winkler et al. (2018) مدل‌سازی خرابی لوله شبکه توزیع آب بر مبنای شبکه‌های عصبی را ارائه کردند. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از شبکه‌های عصبی موجب برنامه‌ریزی دقیق برای بهبود عملکرد و مدیریت شبکه لوله‌های آب شهری خواهد شد. طی پژوهش Motiee and Ghasemnejad (2019) صورت گرفت، با استفاده از مدل‌های رگرسیون، به تجزیه و تحلیل متغیرهای آسیب‌پذیر لوله‌های آب شهری باهدف یافتن معادلات برای پیش‌بینی حوادث احتمالی لوله در آینده، پرداختند. Kerwin et al., (2019) به مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و بیان ژن در پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های آب‌رسانی پرداختند و اعلام نمودند که استفاده از این نوع شبکه‌ها، دارای نتایج رضایت‌بخشی است. Weeraddana et al. (2020) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل نرخ شکست خرابی لوله‌های آب‌رسانی استرالیا را ارائه دادند و مشخص شد که پیش‌بینی خرابی لوله، راه‌حلی مقرون‌به‌صرفه برای این مشکل خواهد بود.

Barton et al. (2020) اثرات مخرب بر لوله‌های شبکه‌های آب شهری را بررسی کردند و درنهایت با ارائه مدلی، اعلام نمودند که استفاده از مدل‌ها و توسعه آن‌ها، موجب کاهش نشت و برنامه‌ریزی بهتر در شبکه‌های توزیع آب شهری خواهد شد. Gonzalez et al. (2020) مدل‌های خرابی لوله در شبکه‌های توزیع آب را مقایسه کردند و مشخص شد که شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، عملکرد بهتری در پیش‌بینی وضعیت خرابی لوله‌ها از خود نشان می‌دهند. Dawood et al. (2020) یک مدل پیش‌بینی شکست خطوط لوله آب‌رسانی ارائه کردند. هدف این مقاله، توسعه یک سیستم مدل‌سازی؛ مبتنی بر هوش مصنوعی برپایه بیان ژن بوده که زیربنای تحلیلی را برای پیش‌بینی خرابی‌های لوله آب‌رسانی شهری را فراهم می‌کند. Kerwin et al. (2020) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و نظرات متخصصان که مبتنی بر بیان ژن صورت پذیرفت، مدل پیش‌بینی نرخ شکست در لوله‌های آب‌رسانی شهری را ارائه کردند و مشخص شد که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر بیان ژن، عملکرد پیش‌بینی قابل قبولی دارند. Amiri Ardakani and Najafzadeh (2021) طی پژوهشی با استفاده از

کشور ایران به‌عنوان یک منطقه خشک و نیمه‌خشک، دارای میانگین بارندگی درازمدت ۲۴۰ میلی‌متر در سال است که کمتر از یک‌سوم میانگین بارندگی ۸۶۰ میلی‌متری جهان است. ازاین‌رو بسیاری از شهرها در معرض بحران کمبود منابع آبی هستند (غیبی و شایق، ۱۳۹۶). شبکه آب‌رسانی، ازجمله مهم‌ترین شریان‌های حیاتی هر شهر است (فرخی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). لوله‌های شبکه توزیع آب در دوران بهره‌برداری به‌دلایل مختلفی نظیر مشخصات لوله‌ها، شرایط محیطی و بهره‌برداری دچار شکست فیزیکی می‌شوند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۹). بسیاری از شبکه‌های توزیع آب در معرض بحران کمبود منابع آبی، محدودیت‌های اقتصادی برای بهره‌برداری بهینه و کهنگی و فرسودگی اجزای خود قرار داشته و فرسودگی آن‌ها باعث ایجاد شکست در اجزای شبکه می‌شود (ساقی، ۱۳۹۶). لذا شناخت علل حوادث شبکه می‌تواند در پیشگیری و کاهش حوادث و اتلاف آب سهم مؤثری داشته باشد. یکی از دغدغه‌های متولیان شبکه آب آن است که عمر مفید لوله‌ها را تخمین بزنند تا در زمان مناسب و با بهترین استراتژی ممکن، به بازسازی و نوسازی شبکه بپردازند. برای دستیابی به این مطلوب، پیشگویی رفتار یک لوله در طی زمان و روند تغییرات نرخ شکست لوله‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. با استفاده از رابطه میان نرخ حوادث و پارامترهای شبکه می‌توان مدل‌های پیشگویی‌کننده وضعیت شبکه را برای سال‌های آتی ارائه نمود (جلیلی قاضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷).

یکی از اولین تلاش‌ها در پیشگویی رفتار لوله‌ها به سال ۱۹۷۹ میلادی، بازمی‌گردد (سلطانی و محمدرضاپورطبری، ۱۳۹۱). برخی از محققین با در نظر داشتن هر دو پارامتر نرخ واقعی شکست لوله‌ها و عوامل مؤثر بر شکست لوله‌ها، به ارائه مدل‌های تلفیقی پرداختند (Boxall et al., 2004). در نمونه دیگری از این مدل، محققین به کمک روش‌های نوین حل مسائل نظیر الگوریتم ژنتیک توانسته‌اند توابع مختلفی را برای توصیف تأثیر پارامترها ارائه کنند (Berardi et al., 2008). Berardi and Giustolisi (2021) رابطه‌ای را برای پیش‌بینی تعداد شکست لوله‌ها در شبکه توزیع مبتنی بر روش چندجمله‌ای تکاملی و داده‌کاوی ارائه نموده‌اند که در آن فقط متغیرهای سن، قطر و طول لوله انتخاب شده‌اند.

Creaco and Walski, (2017) آنالیز اقتصادی شکستگی‌ها در شبکه آب را انجام دادند. در این تحقیق، با توجه به نتایج قبلی و پارامترهای مؤثر در ایجاد و گسترش حوادث، تحلیل حوادث در

مدل‌های آماری، عوامل مؤثر بر نرخ شکست در لوله‌های آب شهری با جنس‌های مختلف را بررسی کرده و با ارائه مدل، مشخص شد که استفاده از آن، موجب کاهش نشت و بهبود سطح خدمات در شرکت‌های توزیع آب خواهد شد. (Jafari et al. (2021)

در پژوهشی بررسی و پیش‌بینی میزان خرابی لوله‌های شبکه توزیع آب با استفاده از شش مدل مبتنی بر شبکه عصبی را انجام دادند. یافته‌ها نشان داد که مدل پیشنهادی می‌تواند دقت پیش‌بینی میزان شکست لوله‌ها را در مقایسه با سایر مدل‌های موجود، به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد.

از تحقیق‌های مرجعی که در این زمینه در داخل کشور انجام شده است می‌توان به تابش و عابدینی (۱۳۸۴)، اشاره کرد. در این تحقیق به برخی روش‌های تحلیل اطلاعات حوادث و شکست لوله‌ها اشاره شده است. تابش و همکاران (۱۳۸۸) مدلی به‌منظور مدیریت حوادث شبکه‌های توزیع آب با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، توسعه دادند. تحلیل نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که استفاده از این مدل باعث افزایش کارایی سیستم و کاهش هزینه‌ها می‌شود. طی پژوهش امیدوار و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری، ارزیابی و ارائه مدلی برای پیش‌بینی نشت لوله انجام شد. تابش و عارف‌خانی (۱۳۸۸) مدل پیش‌بینی فشار شبکه‌های آب‌رسانی را ارائه کردند. هدف این مقاله، توسعه یک سیستم مدل‌سازی مبتنی بر نرم‌افزار کامپیوتری بوده که امکان پیش‌بینی میزان نشت لوله آب‌رسانی شهری را فراهم می‌کند. تابش و عطایی‌کیا (۱۳۸۸) طراحی بهینه شبکه‌های آب‌رسانی را انجام دادند و مشخص شد که در بررسی عملکرد شبکه‌های آب‌رسانی، هرچه تعداد قیود مربوط به قطر، فشار و سرعت در نظر گرفته شود، عملکرد شبکه پیش‌بینی شده دارای اطمینان بیشتری خواهد بود. تابش و عابدینی (۱۳۷۹) طی پژوهشی شکست لوله‌ها در شبکه‌های آب‌رسانی شهری را آنالیز کردند و مشخص شد که با افزایش قطر لوله، تعداد حوادث سالانه لوله‌ها کاهش می‌یابد. در مقابل با افزایش سن لوله‌ها، تعداد حوادث سالانه افزایش می‌یابد. گاوشانی و همکاران (۱۳۸۹) طی پژوهش خود به بررسی تأثیر قطر لوله‌ها در میزان حوادث شبکه توزیع آب شهری پرداختند که این تحلیل تأثیر عوامل دیگر در ایجاد حادثه را در نظر نگرفته است. سلطانی و پورطبری (۱۳۹۰) عوامل مؤثر بر نرخ شکست لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از تلفیق شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک را بررسی نمودند.

روش‌های مختلف بهینه‌سازی و ارائه مدل شامل الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی، توسط محققین مختلف، در

شبکه‌های توزیع آب، مورد استفاده قرار گرفته است. تابش و همکاران طی (۱۳۸۴) پژوهش خود با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی فشار در شبکه‌های آب‌رسانی را پیش‌بینی کردند. معین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از الگوریتم ژنتیک، قطر لوله‌های شبکه آب‌رسانی شهری را بهینه کرده و اعلام نمودند که به‌دلیل پیچیدگی غیرخطی و منحصر به فرد بودن طراحی شبکه‌های آب‌رسانی، در سال‌های اخیر استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، مهندسان طراح را مطمئن می‌سازد که بهترین گزینه بهینه‌یابی را بیابند. طی پژوهش سرکرمیان و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از شبیه‌سازی ریاضی شبکه خطوط لوله آب‌رسانی بررسی و اعلام شد که اعتمادپذیری این روش‌ها بالا بوده و می‌تواند برای طراحی و مدیریت عملکرد شبکه‌های آب‌رسانی، مورد استفاده قرار گیرد. جعفری و همکاران (۱۳۹۹) رویکرد جدیدی در پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های شبکه توزیع آب شهر گرگان با استفاده از مدل هوشمند ارائه نمودند که موجب پیش‌بینی دقیق‌تر نرخ شکست در این نوع لوله‌ها خواهد شد.

از آن‌جا که دسترسی به تمامی داده‌های مورد نیاز برای تعیین میزان نرخ شکست لوله‌ها در اکثر موارد در دسترس نبوده و یا به‌آسانی قابل استخراج نیستند، لذا بررسی اهمیت پارامترهای مؤثر بر نرخ شکست و تعیین تعداد آن‌ها به‌منظور ارائه رابطه‌ای که بتواند با داده‌های مؤثر قابل دسترس به پیش‌بینی صحیح نرخ شکست بپردازد، از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است (سلطانی و محمدرضاپورطبری، ۱۳۹۱). لذا پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت، از نوع کاربردی و به لحاظ اجراء، ترکیبی از روش‌های توصیفی-تحلیلی بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای محسوب می‌شود. در این پژوهش، علاوه بر مصاحبه با کارشناسان و خبرگان مربوطه در زمینه مورد مطالعه، برای انجام محاسبات و ارائه مدل پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری، از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP^۱) که براساس نرم‌افزار GeneXproTools 5.0 صورت می‌گیرد، استفاده خواهد شد. هم‌چنین فرضیات مورد بحث در پژوهش حاضر عبارت‌اند از:

- روش برنامه‌ریزی بیان ژن می‌تواند الگویی دقیقی از پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری ارائه کند؛
 - به‌روز کردن و بررسی همه عوامل تأثیرگذار، موجب کاهش آسیب‌پذیری شبکه آب‌رسانی شهری خواهد شد.
- در سال‌های اخیر، تحقیقات فراوانی توسط پژوهشگران در زمینه لوله‌های اصلی شبکه‌های آب‌رسانی انجام شده است که با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی،

پژوهشگران به این شیوه قدرتمند، توجه کافی ننموده‌اند و تنها در سال‌های اخیر این موضوع مورد توجه تعداد کمی از علاقه‌مندان و پژوهشگران حوزه آب و فاضلاب قرار گرفته است. به نظر می‌رسد این تحقیق که در ارتباط با ارائه مدل برآورد نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری است، می‌تواند کمک شایانی در بحث تعمیر و نگهداری لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری داشته باشد.

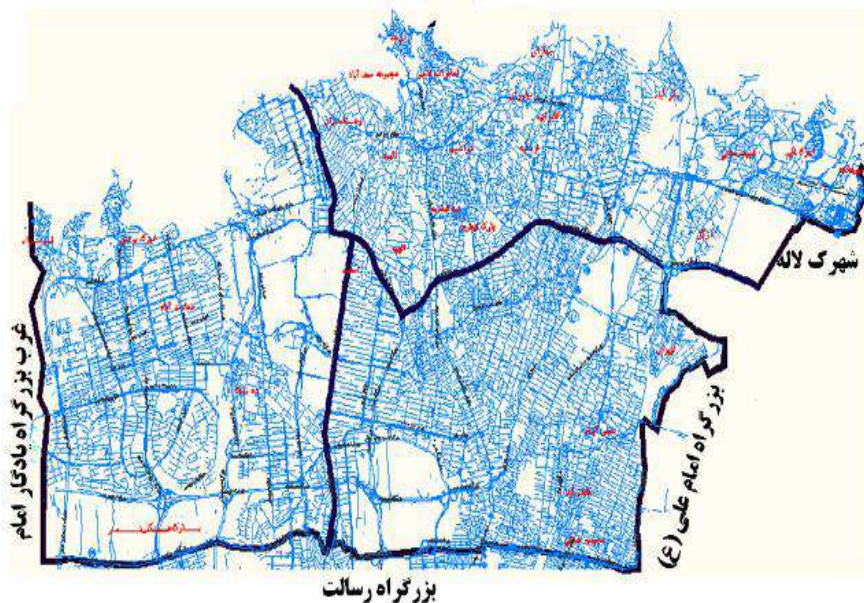
۲- مواد و روش‌ها

روش گردآوری اطلاعات در پژوهش حاضر، از نوع توصیفی-تحلیلی بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای است. اطلاعات لازم در این پژوهش، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین، ضمن تکمیل چک‌لیست به صورت کیفی جمع‌آوری شده و سپس برای تحلیل و تعیین پارامترهای ورودی نرم‌افزار، از نظرات کارشناسان خبره در زمینه سامانه‌های آب‌رسانی، استفاده شد. سپس با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) مدل نهایی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آب‌رسانی شهری، ارائه شده است.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه، منطقه یک شهر تهران است. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه است. مساحت منطقه مورد مطالعه، برابر ۱۱۸/۵ کیلومترمربع و جمعیت ساکن در این منطقه در حدود ۱/۶۵۹/۰۰۰ نفر است. تعداد انشعابات این منطقه بیش از ۱۱۲۰۰۰ فقره و طول کل شبکه توزیع آب آن در حدود ۱۶۶۵ کیلومتر است. میزان آب مصرفی منطقه در طول یک سال برابر ۱۴۰ میلیون مترمکعب و نیز دارای حوادث ثبت‌شده بالایی است. به عنوان مثال، تعداد حوادث در یک دوره زمانی از مردادماه ۱۳۹۳ تا بهمن‌ماه ۱۳۹۶ بیش از ۷۳۰۰ مورد بوده است. در منطقه مورد مطالعه، عمدتاً از لوله‌هایی با جنس‌های آریست، پلی‌اتیلن، گالوانیزه و چدن استفاده شده است و میانگین سن لوله‌ها حدود ۲۵ سال است (شرکت آب و فاضلاب استان تهران، ۱۴۰۰). محدوده زمانی مورد بررسی، مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ بوده است که داده‌ها بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و آمار و اطلاعات موجود در شرکت آب و فاضلاب استان تهران است.

فرایندهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، و روش‌های فراابتکاری صورت پذیرفته است. الگوریتم‌های موجود، قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی و طراحی‌های پیچیده، کارایی کافی نداشته و زمان اجرای آن‌ها متناسب با ابعاد مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به تبع آن، موجب می‌شود که مدل‌های ارائه شده، دارای خطای محاسباتی و محدودیت استفاده در شرایط مختلف محیطی را داشته باشند. از این رو، نیاز به ارائه مدل جدیدی است که بتواند ضمن سهولت استفاده و کاهش خطای محاسباتی، محدودیت‌های مدل‌های قبلی را نداشته باشد. اگرچه با پیشرفت فناوری‌های اطلاعاتی و کامپیوتری، امکانات گسترده‌تری برای بهینه‌سازی و طراحی شبکه‌های آب‌رسانی شهری به وجود آمده است، اما به علت حجم گسترده اطلاعات شبکه‌های آب‌رسانی، بهینه‌سازی و طراحی شبکه‌های آب‌رسانی شهری، همچنان بسیار وقت‌گیر و دشوار است، لذا شناسایی و استفاده از روش‌ها و نرم‌افزارهای جدید برای ارائه مدل، ضروری است. از جمله این سیستم‌های کامپیوتری، الگوریتم تکاملی است. الگوریتم‌های تکاملی، روش‌هایی بر مبنای جستجوی تصادفی‌اند که از مدل‌سازی بیولوژیکی طبیعی الگوبرداری شده‌اند. آن‌ها بر روی پاسخ‌های ممکن کار می‌کنند که از ویژگی برتری برخوردارند و بقای نسل بیشتری دارند، لذا تخمین نزدیک‌تری از پاسخ بهینه به دست می‌دهند. الگوریتم تکاملی، تفاوت اساسی با دیگر روش‌های بهینه‌سازی دارد چرا که تنها یک نقطه را جستجو نمی‌کند، بلکه جمعیتی از نقاط را به صورت موازی بررسی می‌نماید و نیاز به اطلاعات ضمنی و دیگر دانش‌های مکمل ندارد؛ فقط تابع هدف و شایستگی مربوطه در جهت‌های جستجو تأثیر گذارند. همچنین هیچ‌گونه محدودیتی برای تعریف تابع هدف وجود ندارد و از قوانین در حال تغییر احتمالی، بهره می‌برند؛ نه موارد مشخص و معین. از آنجایی که روش برنامه‌ریزی بیان ژن، جزء جدیدترین شیوه از میان روش‌های الگوریتم تکاملی است و همچنین به دلیل دارا بودن دقت کافی و انعطاف‌پذیری بالا، از کاربرد بیشتری برخوردار است، لذا در تحقیق حاضر، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این روش با استفاده از اطلاعات موجود در داده‌ها و بدون هیچ فرضیه‌ای در ساختار رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته، رابطه‌ای مناسب بین آن‌ها برقرار کرده و نمودار خروجی را پیش‌بینی می‌کند. بر همین اساس نوآوری اصلی این تحقیق، شامل استفاده از نرم‌افزار بیان ژن (GEP) برای شناسایی و ارائه مدل برآورد نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری است؛ چراکه علی‌رغم کامل و جامع بودن این نرم‌افزار، به دلیل جدید بودن آن، بسیاری از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (شرکت آب و فاضلاب استان تهران، ۱۴۰۰)

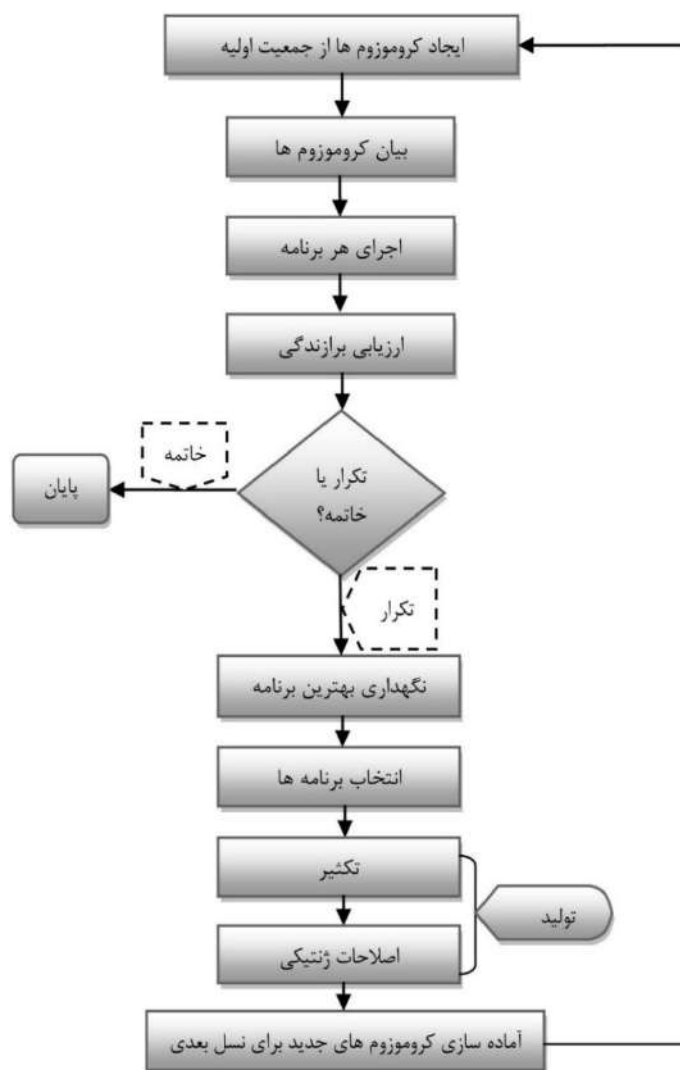
۲-۲- برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

برنامه‌نویسی بیان ژن، روشی برای توسعه برنامه‌های رایانه‌ای و مدل‌سازی ریاضی، مبتنی بر محاسبات تکاملی و الهام گرفته از تکامل طبیعی است (Hajihassani et al., 2019). این روش، با استفاده از یکسری مجموعه داده‌ها، یک مدل ریاضی به شکل ساختار درختی ارائه می‌دهد (Mansouri et al., 2016). این روش در سال ۱۹۹۹ توسط Ferria اختراع و به‌طور رسمی در سال ۲۰۰۱ معرفی شد (Ferria, 2001). برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) نیز همانند الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)، یک الگوریتم ژنتیکی است که از جمعیتی از افراد استفاده کرده و آن‌ها را مطابق برازندگی انتخاب می‌کند و تغییرات ژنتیکی را با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی، اعمال می‌نماید. اساس الگوریتم مورد استفاده در GEP، ادغام دو الگوریتم وراثتی پیش از خود (الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه‌ریزی ژنتیکی (GP) باهدف غلبه بر نقاط ضعف خود، است. برای این منظور، در الگوریتم GEP، کروموزوم‌ها به‌عنوان یک درخت بیان (ET) بیان می‌شوند (Hajihassani et al., 2019). ET، مشابه پروتئینی در یک سلول طبیعی است که تعیین می‌کند فنوتیپ چیست (Ferria, 2006). تفاوت اساسی بین این سه الگوریتم، مربوط به ماهیت افراد آن‌ها است. در GEP، افراد به‌صورت رشته‌های خطی با طول ثابت (کروموزوم) کدگذاری شده (مشابه با الگوریتم ژنتیک) و سپس به شکل نهادهای غیر خطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (یعنی نمایش دیاگرام ساده یا بیان درختی مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک) اظهار می‌شوند. Ferria برای بیان ژن‌ها و تولید ET، زبانی ساده و کارآمد به نام کاروا^۴ ابداع کرد که با

استفاده از آن یک معادله (برنامه) ریاضی متشکل از پایانه‌ها و عملکردهای تصادفی، ایجاد شده و از هر کروموزوم استخراج می‌شود (Mansouri et al., 2016).

پنج مرحله اساسی در طراحی الگوریتم GEP عبارت‌اند از (Hajihassani et al., 2019):

- تعریف تابع برازش؛
- تعریف پایانه‌ها و عملکردها؛
- تعیین ساختار کروموزوم‌ها (تعداد نسل‌ها، طول و تعداد ژن‌ها)؛
- تعیین تابع پیوند؛
- تعیین ویژگی‌های عملگرها و درنهایت پیاده‌سازی الگوریتم. اولین مرحله در الگوریتم GEP، تولید جمعیت اولیه از راه حل‌ها است. این موضوع می‌تواند به‌وسیله فرآیند تصادفی و یا با استفاده از مقداری اطلاعات درباره مسئله انجام شود. سپس کروموزوم‌ها به‌صورت بیان درختی (ETs) نشان داده شده، که این‌هم مطابق با یک تابع برازش ارزیابی می‌شود. اگر کیفیت رضایت‌بخش از یک راه حل پیدا شود و یا نسل‌ها به تعداد معینی برسند، تکامل متوقف می‌شود و بهترین راه‌حل گزارش داده می‌شود. در غیراین‌صورت، بهترین راه‌حل از نسل حاضر نگه داشته می‌شود و بقیه راه‌حل‌ها به فرآیند گزینشی واگذار می‌شوند. براساس گزینش، بهترین افراد شانس بیشتری برای تولید فرزندان دارند. کل این روند برای چندین نسل تکرار می‌شود و با پیش رفتن نسل به جلو، انتظار می‌رود که کیفیت جمعیت نیز به‌طور متوسط، بهبود یابد (Ferria, 2006). مراحل اصلی برنامه‌ریزی بیان ژن در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- فلوچارت برنامه ریزی بیان ژن (Ferria, 2006)

در این مقاله، با استفاده از نرم افزار GeneXproTools 5.0 دقت داده‌ها بررسی شد. به این منظور، برای بررسی دقت داده‌ها و ارزیابی مدل خروجی نرم افزار با مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، از شاخص‌های R^2 ، RMSE و NSE استفاده شد. سپس برای هر یک از لوله‌های با جنس پلی اتیلن، آزیست، گالوانیزه و چدن، یک مدل برای تخمین نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آب رسانی شهری ارائه شد. برای محاسبه نرخ شکست (مشاهداتی)، تعداد شکست در سال در واحد طول (کیلومتر) مدنظر قرار گرفته می‌شود. همچنین برای محاسبه مقدار نرخ شکست (پیش‌بینی‌شده) توسط نرم افزار، ابتدا داده‌های ورودی^۴، تعریف شده و سپس نرخ شکست (پیش‌بینی‌شده) به عنوان هدف^۵، به نرم افزار معرفی شد. در ادامه، نرم افزار نرخ شکست (پیش‌بینی‌شده) را برای هر لوله با جنس مختلف، محاسبه نمود که در شکل‌های ۳، ۵، ۷ و ۹ نشان داده شده است. از چهار عملیات اساسی حساب (+, -, ×, /) و چندین توابع ریاضی اولیه استفاده و محدودیت RMSE، به عنوان

محدوده متغیرهای مختلف مورد استفاده در این مطالعه برای لوله‌های با جنس پلی اتیلن، آزیست، گالوانیزه و چدن در جدول ۱ را نشان داده شده است.

جدول ۱- محدوده متغیرهای مختلف مورد استفاده در این مطالعه

نماد نام گذاری	متغیر	محدوده
d ₀	طول لوله	۲۸۹۷۰ - ۷۴۳۸۰ (متر)
d ₁	قطر لوله	۸۰ - ۳۰۰ (میلی متر)
d ₂	تعداد حوادث	۵ - ۱۶۴۴۴ (عدد)
d ₃	فشار کاری	۲/۷ - ۶/۸۹ (اتمسفر)
d ₄	سن لوله	۵ - ۲۶ (سال)
d ₅	نوع خاک لوله مدفون شده	I - IV
d ₆	تعداد انشعابات	۱۰۷۴۴۱ - ۱۱۲۲۹۴ (عدد)
d ₇	عمق نصب	۱/۲ - ۲ (متر)
d ₈	نرخ شکست	۰/۱۰ - ۲/۵ (تعداد شکست در سال در واحد طول (کیلومتر))

تابع برازش، تعیین شد.

توابع برازش باهدف بیشینه‌سازی برازش و کاهش خطای تخمین، به‌صورت شاخص ضریب تعیین R^2 و یا جذر میانگین مربعات خطا RMSE و نیز ضریب ناش-ساتکلیف NSE مطابق روابط (۱) تا (۳) استفاده شده است. این معیارها نتیجه‌بخش بودن و توانایی مدل برای ایجاد پیش‌بینی با ارزش را مشخص می‌کند.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_{m,i} - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)_i^2} \quad (3)$$

که x : مقادیر مشاهداتی، y : مقادیر محاسباتی، $\bar{x}$: میانگین مشاهداتی، $\bar{y}$: میانگین محاسباتی، i : شماره داده، n : کل داده‌ها، $Q_{m,i}$: مقادیر مشاهداتی، Q_s : مقادیر محاسباتی و $\bar{Q}_m$: میانگین مشاهداتی است.

نکته مهم این است که قابلیت تعمیم^۶ GEP، به مقدار بسیار

زیادی تحت تأثیر انتخاب پارامترها است (Azim et al., 2020). جدول ۲ پیکربندی GEP را نشان می‌دهد که برای شبیه‌سازی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری استفاده شده است. تنظیمات پیکربندی جدول ۲، براساس پیشنهاد شرکت سازنده نرم‌افزار، تعریف شده است (Gepsoft, 2020).

۲-۳- معیارهای ارزیابی لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری

در این مقاله، ابتدا کلیه مدل‌های آماری رگرسیونی از نظر تئوری مورد مطالعه قرار گرفت و سپس با جمع‌آوری آمار و اطلاعات لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری، مدل آماری فرمول‌بندی و رابطه‌ای تهیه شد که شامل کلیه معیارهای مهم مرتبط باشد. معیارهای مورد ارزیابی در لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری با توجه به جنس لوله، شامل: طول لوله، تعداد حوادث، قطر لوله، فشار کاری، سن لوله، نوع خاک لوله مدفون‌شده، تعداد انشعابات و عمق نصب لوله است (جدول ۱).

جدول ۲- تنظیمات پیکربندی برای الگوریتم GEP (Gepsoft, 2020)

تعریف	پارامتر	
RMSE	Fitness Function	کلیات
۳۰	Number of chromosomes	
Addition	Linking function	
۰/۰۰۵۴۶	IS Transposition rate	اپراتورهای ژنتیک
۰/۰۰۵۴۶	RIS Transposition rate	
۰/۰۰۵۴۶	Inversion rate	
۰/۰۰۲۷۷	Gene transposition	
۱۰	Constants per gene	ثابت‌های عددی
Floating-Point	Data type	
-۱۰	Lower bound	
+۱۰	Upper bound	

عملگرهای ریاضی، ثابت‌ها و متغیرها است را برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری (FRF)، را برای جنس‌های مختلف لوله، به‌دست آورد (معادله‌های (۴) تا (۷)).

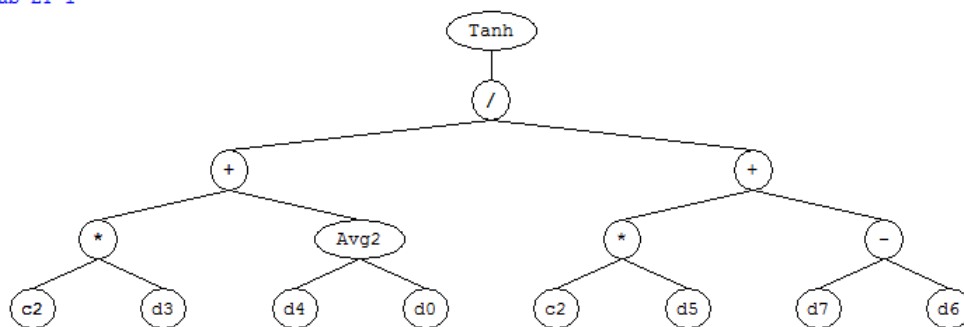
۳-۱- لوله با جنس پلی‌اتیلن

محاسبه نرخ شکست برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس پلی‌اتیلن (FRF_{PE}) در معادله (۳)، ارائه شده است.

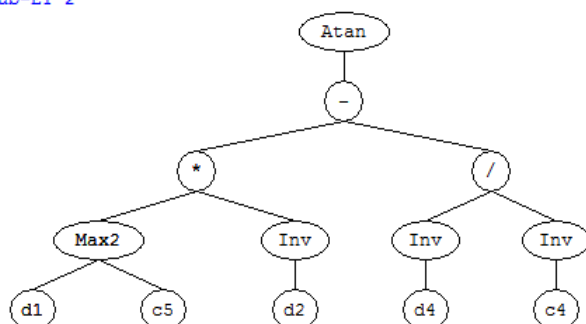
۳- نتایج و بحث

درخت بیان نهایی (ET) از مدل GEP در شکل‌های ۳، ۵، ۷ و ۹، نشان داده شده است که شامل زیر ET است که توسط عملکرد جمع (+) به هم متصل شده‌اند. درواقع، این شکل روابط استخراج‌شده بین داده‌های ورودی و خروجی را با استفاده از الگوریتم GEP نشان می‌دهد. با استفاده از شکل‌های ۳، ۵، ۷ و ۹، می‌توان معادله مبتنی بر GEP که یک ترکیب پیچیده از

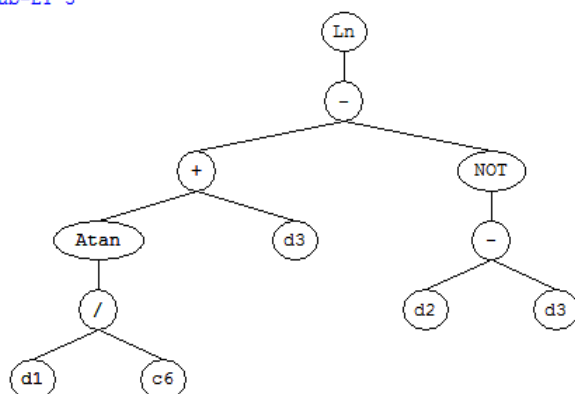
Sub-ET 1



Sub-ET 2



Sub-ET 3



شکل ۳- درخت بیان (ET) از مدل GEP برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس پلی اتیلن

جدول ۳- مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۳ و معادله (۴) برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس پلی اتیلن

مقدار	پارامتر
-۸/۵۰۲۱	C ₂
۷/۴۸۶۶	C ₄
۳/۹۸۲۷	C ₅
۳۰/۰۹۱۶	C ₆

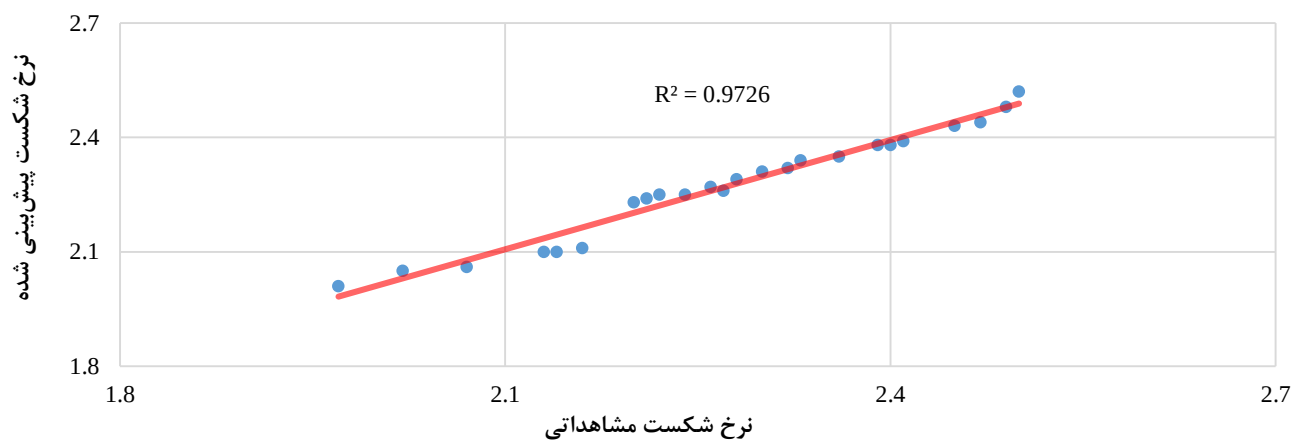
در شکل ۴، تحلیل عملکرد و اعتبار مدل GEP و مقایسه آن بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان زن، نشان داده شده است. مقدار R^2 برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری با جنس پلی اتیلن، برابر ۰/۹۷۲۶ است.

$$FRF_{PE} = \left(\tanh \left(\frac{((c_2 \times (d_3)) + (\frac{d_4 + d_0}{2}))}{((c_2 \times (d_5)) + (d_7 - d_6))} \right) \right) + \left(\operatorname{Atan} \left(\left(\max(d_1, C_5) \times \left(\frac{1}{d_2} \right) \right) - \left(\frac{1}{\frac{d_4}{C_4}} \right) \right) \right) + \left(\log \left(\left(\operatorname{Atan} \left(\frac{d_1}{C_6} \right) \right) + d_3 \right) - (1 - (d_2 - d_3)) \right) \quad (4)$$

که $\tanh$: تابع تانژانت هیپربولیک، Atan : تابع آرک تانژانت، $\max$: مقدار بیشینه بین دو پارامتر و $\log$: لگاریتم است. مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۳ و معادله (۴)، در جدول ۳ ذکر شده است.

(میانگین مربع خطا برحسب تعداد شکست در سال در واحد طول (کیلومتر)) و مقدار NSE نیز برابر ۰/۹۱۳۵ است.

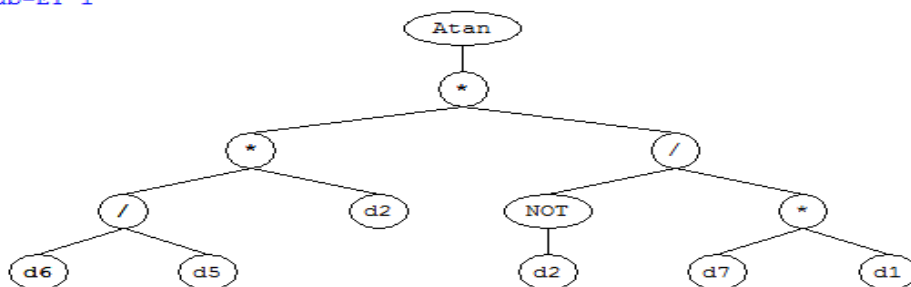
مشخص شد. با توجه به نزدیکی آن به عدد ۱، نشان‌دهنده همبستگی بسیار خوب بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی و نشان از دقت بالای مدل است. هم‌چنین مقدار RMSE برابر ۰/۰۴۶۱



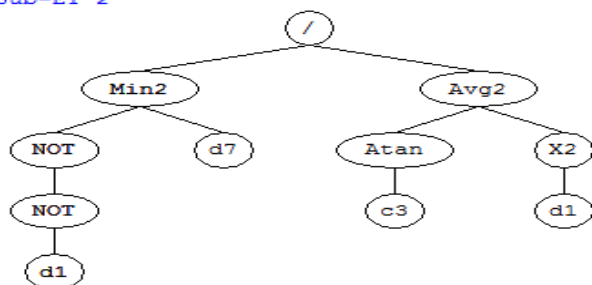
شکل ۴- مقایسه نتایج مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان ژن برای لوله با جنس پلی‌اتیلن

۳-۲- لوله با جنس آریست

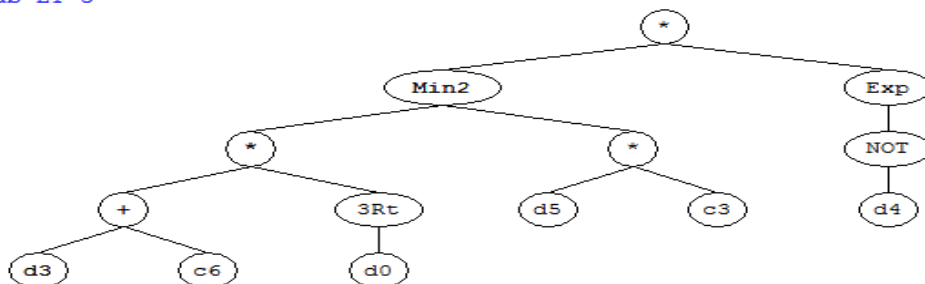
Sub-ET 1



Sub-ET 2



Sub-ET 3

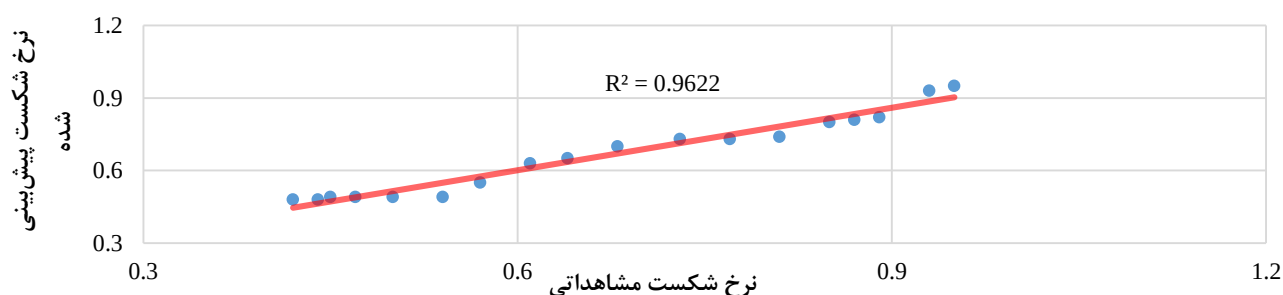


شکل ۵- درخت بیان (ET) از مدل GEP برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس آریست

جدول ۴- مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۵ و معادله (۵) برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس آزیست

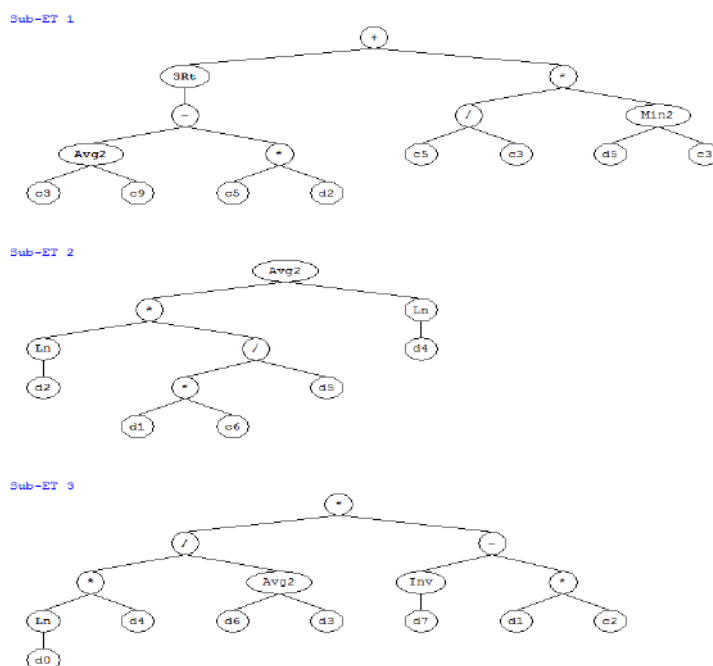
مقدار	پارامتر
-۱/۷۳۱۹	C ₃ (Gene II)
۹/۷۳۵۰	C ₃ (Gene III)
۴/۲۹۷۱	C ₆

در شکل ۶، تحلیل عملکرد و اعتبار مدل GEP و مقایسه آن بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان ژن، نشان داده شده است. مقدار R² برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری با جنس آزیست، برابر ۰/۹۶۲۲ مشخص شد و با توجه به نزدیکی آن به عدد ۱، نشان‌دهنده همبستگی بسیار خوب بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی و نشان از دقت بالای مدل است. هم‌چنین مقدار RMSE نیز برابر ۰/۰۳۳۴ (میانگین مربع خطا برحسب تعداد شکست در سال در واحد طول (کیلومتر)) و مقدار NSE نیز برابر ۰/۸۹۳۷ است.



شکل ۶- مقایسه نتایج مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان ژن برای لوله با جنس آزیست

۳-۳- لوله با جنس گالوانیزه



شکل ۷- درخت بیان (ET) از مدل GEP برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس گالوانیزه

محاسبه نرخ شکست برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس آزیست (FRF_{AS}) در معادله (۵)، ارائه شده است.

$$FRF_{AS} = \left(\text{Atan} \left(\left(\frac{d_6}{d_5} \times d_2 \right) \times \left(\frac{\left(\frac{1}{d_2} \right)}{(d_7 \times d_1)} \right) \right) + \left(\frac{\min((1-(1-d_1)) \cdot d_7)}{\left(\frac{\text{Atan } c_3(\text{GeneII}) + (d_1)^2}{2} \right)} + \min \left(\left((d_3 + c_6) \times \sqrt[3]{d_0} \right) \right) \cdot (d_5 \times c_3(\text{GeneIII})) \right) \times (\exp(1 - d_4)) \right) \quad (5)$$

که Atan : تابع آرک‌تانژانت، $\min$: مقدار کمینه بین دو پارامتر و $\exp$: تابع نمایی است. مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۵ و معادله (۵)، در جدول ۴ ذکر شده است.

داده شده است. مقدار R^2 برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری با جنس گالوانیزه، برابر 0.9742 مشخص شد و با توجه به نزدیکی آن به عدد ۱، نشان‌دهنده همبستگی بسیار خوب بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی و نشان از دقت بالای مدل است. همچنین مقدار RMSE نیز برابر 0.378 (میانگین مربع خطا برحسب تعداد شکست در سال در واحد طول (کیلومتر)) و مقدار NSE نیز برابر 0.9205 است.

جدول ۵- مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۷ و معادله (۶) برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس گالوانیزه

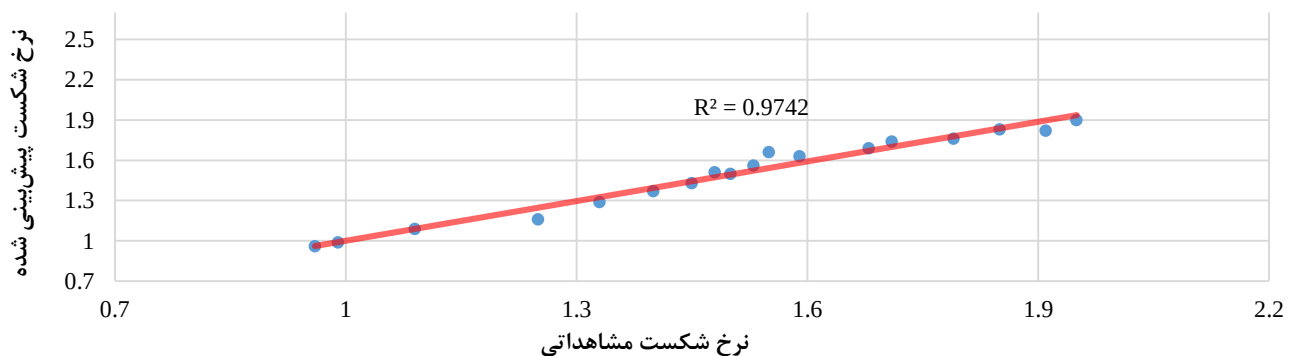
پارامتر	مقدار
C_2	-۷/۱۱۳۱
C_3	۴/۲۴۱۱
C_5	۰/۶۱۷۹
C_6	-۳/۵۶۷۰
C_9	-۸/۵۷۷۷

محاسبه نرخ شکست برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس گالوانیزه (FRF_{GA}) در معادله (۶)، ارائه شده است.

$$FRF_{GA} = \left(\sqrt[3]{\left(\frac{c_3 + c_9}{2} \right) - (c_5 \times d_2)} + \left(\frac{c_5}{c_3} \times \left(\min(d_5, c_3) \right) \right) \right) + \left(\log_2 \times \left(\frac{(d_1 \times c_6)}{d_5} \right) + \left(\log \left(\frac{d_4}{2} \right) \right) \right) + \left(\left(\frac{(\log(d_0) \times d_4)}{(d_6 + d_3)} \right) \times \left(\frac{1}{d_7} - (d_1 \times c_2) \right) \right)$$

که $\min$: مقدار کمینه بین دو پارامتر و $\log$: لگاریتم است. مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۷ و معادله (۶)، در جدول ۵ ذکر شده است.

در شکل ۸، تحلیل عملکرد و اعتبار مدل GEP و مقایسه آن بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان ژن، نشان



شکل ۸- مقایسه نتایج مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان ژن برای لوله با جنس گالوانیزه

که $Tanh$: تابع تانژانت هیپربولیک، exp : تابع نمایی و $\min$: مقدار کمینه بین دو پارامتر است. مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۹ و معادله (۷)، در جدول ۶ ذکر شده است.

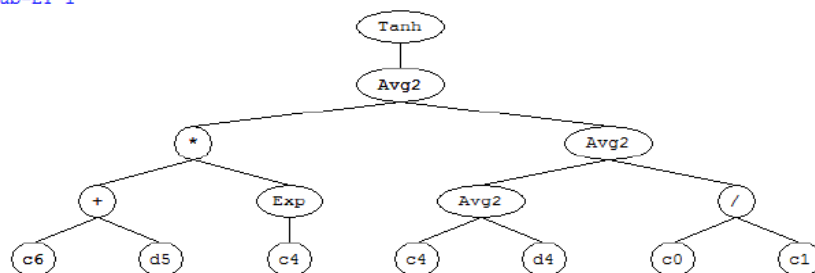
جدول ۶- مقادیر پارامترهای ثابت در شکل ۹ و معادله (۷) برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس چدن

پارامتر	مقدار
C_0	-۱/۱۰۴۴
C_1 (Gene I)	-۰/۸۴۹۳
C_1 (Gene III)	-۸/۸۰۹۷
C_3	-۴/۲۷۶۵
C_4	-۶/۶۰۵۱
C_6	-۶/۶۲۶۴

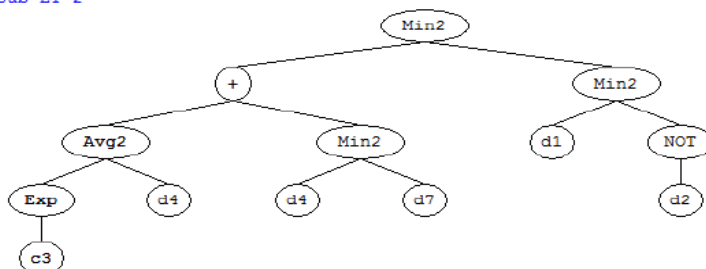
۳-۴- لوله با جنس چدن
محاسبه نرخ شکست برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس چدن (FRF_{CI}) در معادله (۷)، ارائه شده است.

$$FRF_{CI} = \left(\tanh \left(\frac{(c_6 + d_5) \times (\exp(c_4))}{2} \right) + \left(\frac{c_4 + d_4}{2} \right) + \left(\frac{c_0}{c_1(GeneI)} \right) \right) + \left(\min \left(\left(\frac{(\exp(c_3)) + (d_4)}{2} \right) + (\min(d_4, d_7)) \right) \right) + \left(\min(d_1, (1 - d_2)) + \left((d_0) + \left(\frac{(d_7 - (c_1(GeneIII) + d_3))}{(d_3 + d_6)} \right) \right) \right)$$

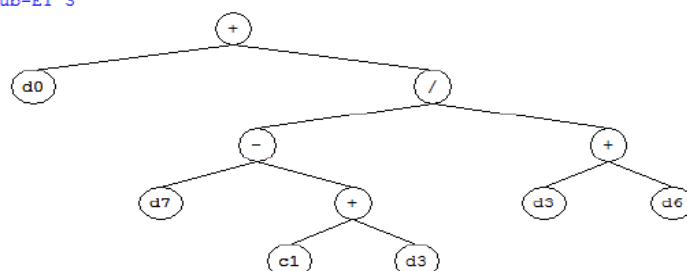
Sub-ET 1



Sub-ET 2



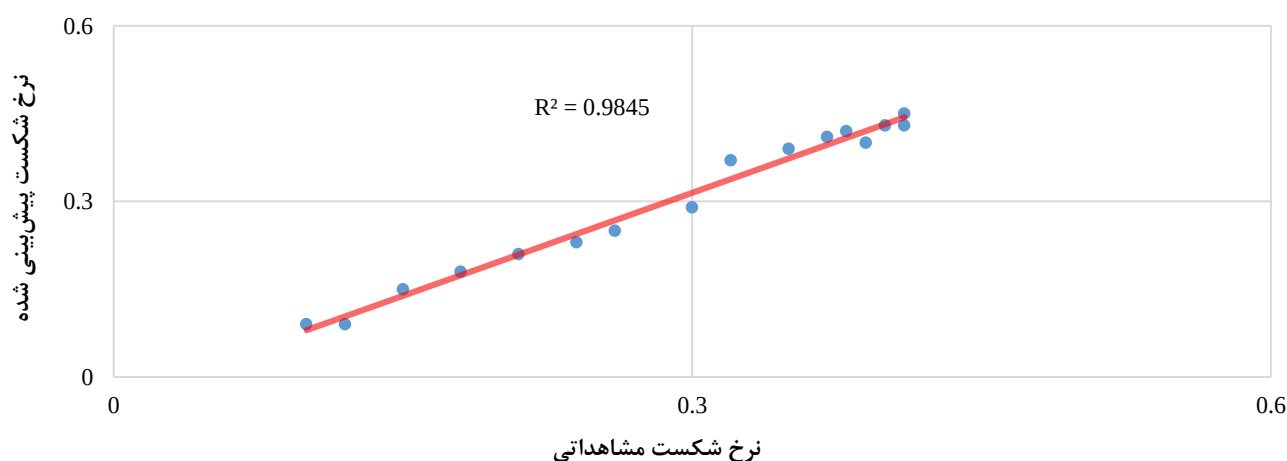
Sub-ET 3



شکل ۹- درخت بیان (ET) از مدل GEP برای لوله اصلی آبرسانی شهری با جنس چدن- منبع: یافته‌های تحقیق

همبستگی بسیار خوب بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی و نشان از دقت بالای مدل است. همچنین مقدار RMSE نیز برابر 0.0221 (میانگین مربع خطا برحسب تعداد شکست در سال در واحد طول (کیلومتر)) و مقدار NSE نیز برابر 0.9301 است.

در شکل ۱۰، تحلیل عملکرد و اعتبار مدل GEP و مقایسه آن بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان ژن، نشان داده شده است. مقدار R^2 برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری با جنس چدن، برابر 0.9845 مشخص شد و با توجه به نزدیکی آن به عدد ۱، نشان‌دهنده



شکل ۱۰- مقایسه نتایج مشاهداتی و محاسباتی برنامه‌ریزی بیان ژن برای لوله با جنس چدن

۴- آنالیز حساسیت

شاخص‌های حساسیت به صورت نسبت واریانس هر مرتبه به واریانس کلی به دست می‌آیند ($S_i = \frac{V_i}{V}$) شاخص حساسیت مرتبه اول، $S_{ij} = \frac{V_{ij}}{V}$ شاخص حساسیت مرتبه دوم و... شاخص حساسیت کلی (S_{Ti}) یا همان تأثیر کلی هر پارامتر به صورت مجموع همه مرتبه‌های شاخص حساسیت برای آن پارامتر به صورت معادله (۹) به دست می‌آید (قریشی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$S_{Ti} = S_i + \sum_{j \neq i} S_{ij} + \dots \quad (9)$$

نتایج آنالیز حساسیت لوله‌های آبرسانی شهری با جنس‌های مختلف، در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و مؤلفه‌های مهم در آن شناسایی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش در ذیل بیان شده است:

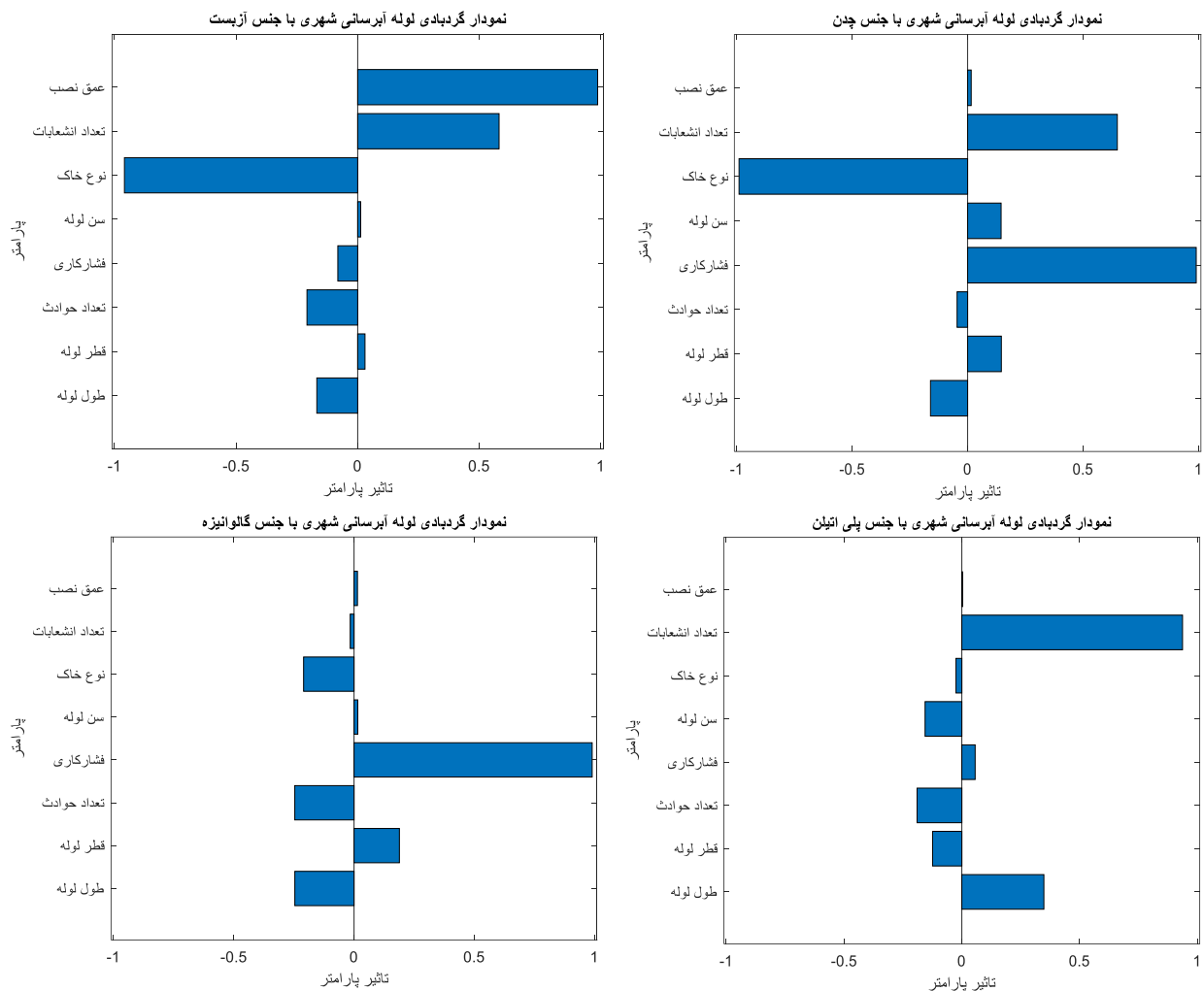
- در پژوهش حاضر، مؤلفه‌های مؤثر بر نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری معرفی شده است. با شناخت این مؤلفه‌ها و میزان اهمیت آن‌ها، امکان کنترل و کاهش حوادث در لوله‌های اصلی شبکه آبرسانی شهری وجود دارد که می‌توان گفت، با افزایش طول خط لوله، میزان حوادث نیز افزایش می‌یابد، ضمناً با افزایش فشار کاری لوله‌ها نیز امکان بروز حوادث افزایش خواهد یافت. بیشترین نرخ شکست باتوجه به جنس لوله، به ترتیب در پلی اتیلن، گالوانیزه، آزیست و چدن رخ می‌دهد. با افزایش قطر لوله‌ها، میزان نرخ شکست کاهش می‌یابد. بدیهی است با افزایش سن لوله‌ها، خطر شکست آن‌ها نیز افزایش خواهد یافت. افزایش تعداد انشعابات هم موجب افزایش شکست در لوله‌های اصلی آبرسانی شهری می‌شود. با افزایش عمق نصب، اگرچه هزینه و مدت زمان تعمیرات افزایش می‌یابد، ولی موجب کاهش خسارات به لوله‌ها خواهد شد. نوع خاک مدفون شده، نیز تأثیر مستقیمی بر از بین رفتن تدریجی لوله خواهد داشت و محیط‌های قلیایی و اسیدی، مستعد بروز حوادث خواهند شد. این نتایج، با نتایج پژوهش‌های صورت گرفته محققان قبلی (تابش و عابدینی، ۱۳۷۹. تابش و عابدینی، ۱۳۸۴. تابش و همکاران، ۱۳۸۴. تابش و عارف‌خانی، ۱۳۸۸. تابش و عطایی‌کیا، ۱۳۸۸. سلطانی و محمدرضاپورطبری، ۱۳۹۱. معین‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۵. Amiri Ardakani and Najafzadeh, 2021; Barton et al., 2020; Dawood et al., 2020; Farmani et al., 2017; Kerwin et al., 2020) دارای مطابقت است.

آنالیز حساسیت روشی است که در آن با استفاده از مدل‌سازی یک سیستم، روابط بین پارامترهای ورودی تعیین شده و سپس تأثیر هریک از این پارامترها بر نتیجه و خروجی مدل سنجیده می‌شود تا پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر نتیجه دارند به عنوان حساس‌ترین و مهم‌ترین متغیرهای ورودی شناسایی شوند. درواقع آنالیز حساسیت رابطه بین متغیرها و میزان تأثیر آن‌ها بر یکدیگر را مشخص نموده، پارامترهای مرتبط با متغیرهای خروجی را شناسایی و میزان تأثیر هریک از متغیرهای ورودی بر خروجی مدل را تعیین می‌کند و تأثیرگذارترین پارامترها را معرفی می‌کند. هدف از انجام آنالیز حساسیت را می‌توان بررسی میزان شباهت یک مدل با یک سیستم واقعی، یافتن پارامترهای ورودی مرتبط با متغیرهای خروجی، یافتن پارامترهایی کم‌اهمیت و حذف آن‌ها، یافتن رابطه بین متغیرها و میزان تأثیر آن‌ها بر یکدیگر و... دانست. در نمودار گردبادی^۷ نتایج تأثیر تغییر کلیه پارامترهای ورودی که برای آن‌ها دامنه تغییر تعریف شده بر روی خروجی مدل، هم‌زمان بر روی یک نمودار نشان داده می‌شود تا متغیرهایی که بیشتر تأثیر را بر روی خروجی دارند، به راحتی مشخص شوند. میزان تأثیر مقادیر خروجی مورد انتظار بر روی محور X و متغیرها بر روی محور Y نشان داده می‌شوند (بدیعی و همکاران، ۱۳۹۰). در این پژوهش، آنالیز حساسیت، با استفاده از روش سوبول^۸ و بهره‌گیری از نرم‌افزار MATLAB R2021b انجام شد.

آنالیز حساسیت به روش سوبول از این جهت که حساسیت پارامترها را با در نظر گرفتن اثرات متقابل آن‌ها می‌سنجد، در انتخاب پارامترهای حساس بسیار موفق عمل می‌کند. در نظر گرفتن اثرات متقابل پارامترها در آنالیز حساسیت مدل‌های بزرگ و با تعداد پارامتر زیاد، ضروری است (رضائیان و همکاران، ۱۳۹۹). در این روش برای مدل تعریف شده با تابع $Y = f(x)$ ، که Y خروجی مدل و $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ بردار پارامترهای ورودی است، و واریانس خروجی مدل (V) به صورت مجموع واریانس‌های هر جمله تجزیه شده به صورت معادله (۸) است (قریشی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$V(Y) = \sum_{i=1}^n V_i + \sum_{i \leq j \leq n} V_{ij} + \dots + V_{1, \dots, n} \quad (8)$$

که V_i : تأثیر مرتبه اول، V_{ij} : تأثیر مرتبه دوم برای هر تعداد فاکتور ورودی n : را نشان می‌دهد.



می‌شود که بازسازی و اصلاح تدریجی لوله‌ها بر اساس اولویت، انجام گیرد تا مشکلات اقتصادی و اجتماعی کمتری به‌بار آید. باید به این نکته نیز توجه داشت که ارزیابی این موضوع، نیاز به مهارت بالایی دارد. بنابراین، توصیه می‌شود از نظر کارشناسی با علم لازم و شناخت کافی از سیستم مورد مطالعه، استفاده شود. امید است که با انجام به‌موقع و مناسب مدل‌های ارائه‌شده در این پژوهش، نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری، مورد توجه بیشتر قرار گرفته و به کمترین میزان برسد.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Gene Expression Programming
- 2 - Winnipeg
- 3- Karva
- 4- Inputs
- 5- Target
- 6- Generalization Capability
- 7- Tornado
- 8- Sobol

از طرفی در پژوهش‌های قبلی، عوامل شکست لوله‌های آب‌رسانی شهری به‌صورت کامل مورد بررسی قرار نگرفته و هر پژوهشگر، به‌صورت پراکنده و با عدم در نظر گرفتن همه عوامل مؤثر، اقدام به ارائه مدل نموده است. این در حالی است که در این پژوهش، کلیه عوامل مؤثر به‌صورت کامل مورد بررسی قرار گرفت و برای هر نوع لوله با جنس مختلف، یک مدل جداگانه ارائه شد. استفاده از نرم‌افزار GEP و مدل‌های ارائه‌شده در این پژوهش، ضمن افزایش سهولت استفاده و کاهش خطای محاسباتی، هیچ‌گونه محدودیتی در پارامترهای ورودی را نیز ندارند.

- روابطی برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های اصلی شبکه آب‌رسانی شهری با جنس‌های مختلف، ارائه شد. از مزایای این مدل‌ها، عدم محدودیت در پارامترهای ورودی و نیز توجه به کلیه مؤلفه‌های مؤثر است که در مطالعات پژوهشگران قبلی، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به اهمیت موضوع شبکه آب‌رسانی شهری در هر کشور، برای کاهش و پیش‌بینی نرخ شکست این لوله‌ها، پیشنهاد

۷- قدرتدانی

(۱۳۹۹)، "رویکرد جدید پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های شبکه توزیع آب با استفاده از مدل هیبرید هوشمند (مطالعه موردی: شبکه توزیع آب شهر گرگان)"، *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۷(۵)، ۱۴۹-۱۶۶.

جلیلی قاضی‌زاده، م.، حنیفی یزدی، س.، و راستی اردکانی، ر.، (۱۳۸۷)، "ارائه روابط پیش‌بینی وقوع حوادث در شبکه‌های توزیع آب شهری"، *دومین همایش ملی آب و فاضلاب (باریکرد بهره‌بردار)*، تهران، ایران.

رضائیان، ج.، جهانخشی، س.، و جمشیدی، س.، (۱۳۹۹)، "آنالیز حساسیت پارامترهای تولیدی یکی از میادین نفتی ایران با استفاده از روش جامع سوپول"، *نشریه پژوهش نفت*، ۳۰(۴)-۹۹، ۳۷-۴۶.

ساقی، ح.، (۱۳۹۶)، "ارائه روشی نوین جهت تخمین میزان نشت در شبکه‌های آب‌رسانی با استفاده از تحلیل فشار گرهی"، *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۱(۱)، ۱۲۷-۱۴۳.

سرکمریان، س.، حقیقی، ع.، و ادیب، ا.، (۱۳۹۸)، "واسنجی چند شاخصه شبکه خطوط لوله آب‌رسانی تحت جریان غیرماندگار"، *مجله مهندسی منابع آب*، ۱۲(۴۰)، ۲۷-۳۷.

سلطانی، ج.، و محمدرضاپورطبری، م.، (۱۳۹۱)، "تعیین عوامل مؤثر بر نرخ شکست لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از تلفیق شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۳(۳)، ۲-۱۵.

شرکت آب و فاضلاب استان تهران، (۱۴۰۰)، "مشخصات فنی خطوط لوله آب‌رسانی منطقه یک شهر تهران"، واحد انفورماتیک شرکت آب و فاضلاب استان تهران، تهران، ایران. غیبی، م.، و شایق، س.، (۱۳۹۶)، "تحلیل حوادث شبکه توزیع و انشعابات آب شرکت آب و فاضلاب منطقه چهار شهر تهران و راه‌های کاهش آن"، *اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب*، تهران، ایران.

فرخی‌زاده، س.، باقری، م.، و ملکی طولابی، ح.، (۱۴۰۰)، "بررسی و ارزیابی شبکه آب‌رسانی شهری از منظر پدافند غیرعامل با استفاده از روش DEMATEL فازی"، *دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۱۱(۱)، ۶۷-۸۰.

قریشی، م.، ذوالفقاری، م.، و طهماسبی، و.، (۱۳۹۷)، "استفاده از روش تحلیل حساسیت سوبل، مدل‌سازی و بهینه‌سازی آماری پارامترهای مؤثر در رفتار نیرو در فرآیند سوراخ‌کاری استخوان"، *مجله مهندسی مکانیک*، ۴۸(۲)، ۲۲۹-۲۳۷.

گاوشانی، م.، فاضلی، م.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، و پزیرا بروجنی، م.،

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از شرکت محترم آب و فاضلاب استان تهران به‌خاطر همکاری در جمع‌آوری اطلاعات و آمار موردنیاز این مقاله، کمال تشکر و قدرتدانی را دارند.

۸- مراجع

امیدوار، ب.، اردستانی، م.، و نوروزی، پ.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی ریسک نشت آلودگی به آب زیرزمینی بر اثر شکست لرزه‌ای خطوط لوله"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.*

بدیعی، ح.، امامی، ا.، غلامی، ر.، و یوسفی، م.، (۱۳۹۰)، "استنتاج پارامترهای تاثیرگذار در شاخص سودآوری پروژه‌های سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر صنعتی و معدنی با استفاده از تحلیل"، *مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۸(۱)، ۱۵۵-۱۶۹.

تابش، م.، جعفری، ه.، و دلاور، م.، (۱۳۸۸)، "مدل مدیریت حوادث شبکه‌های توزیع آب با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۰(۲)، ۱-۱۵.

تابش، م.، و عابدینی، ا.، (۱۳۷۹)، "آنالیز شکست لوله‌ها در شبکه‌های آب‌رسانی شهری"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.*

تابش، م.، و عابدینی، ا.، (۱۳۸۴)، "تحلیل شکست لوله‌ها در شبکه‌های آب‌رسانی شهری"، *نشریه منابع آب ایران*، ۱(۱)، ۷۸-۸۹.

تابش، م.، و عارف‌خانی، و.، (۱۳۸۸)، "تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های آب‌رسانی با روش گرادیان"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.*

تابش، م.، و عطایی‌کیا، ب.، (۱۳۸۸)، "طراحی بهینه شبکه‌های آب قابل اطمینان با روش دسته مورچگان"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.*

تابش، م.، کارآموز، م.، نظیف، س.، و مریدی، ع.، (۱۳۸۴)، "پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آب‌رسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۱۶(۱)، ۳-۱۱.

جعفری، م.، ظهیری، ع.، بزرگ‌حداد، ا.، و محمدرضاپورطبری، م.،

- Gonzalez, M., and Rodríguez, J., (2020), "Comparison of statistical and machine learning models for pipe failure modeling in water distribution networks", *Water*, 12(4), 1-22.
- Hajihassani, M., Abdullah, S., Asteris, P.G., and Armaghani, D.J., (2019), "A Gene expression programming model for predicting tunnel convergence", *Applied Sciences*, 9(1), 1-22.
- Jafari, M., Zahiri, A., Bozorg Hadad, O., and Mohammad Rezapour Tabari, M., (2021), "A hybrid of six soft models based on ANFIS for pipe failure rate forecasting and uncertainty analysis: a case study of Gorgan city water distribution network", *Soft Computing*, 25(11), 7459-7478.
- Kerwin, S., Garcia de Soto, B., Adey, B., Sampatakaki, K., and Heller, H., (2020), "Combining recorded failures and expert opinion in the development of ANN pipe failure prediction models", *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 27(2), 1-23.
- Kerwin, S., Garcia de Soto, B., and Adey, B., (2019), *Performance comparison for pipe failure prediction using artificial neural networks*, CRC Press/Balkema: Belgium.
- Mansouri, I., JW. Hu., and Kisi, O., (2016), "Novel predictive model of the debonding strength for masonry members retrofitted with FRP", *Applied Sciences*, 6(11), 1-13.
- Motiee, H., and Ghasemnejad, S., (2019), "Prediction of pipe failure rate in Tehran water distribution networks by applying regression models", *Water Supply*, 19(3), 695-702.
- Winkler, D., Haltmeier, M., Kleidorfer, M., Rauch, W., and Tscheikner-Gratl, F., (2018), "Pipe failure modelling for water distribution networks using boosted decision trees", *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(10), 1-10.
- Weeraddana, D., Mallawaarachchi, S., Warnakula, T., Li, Z., and Wang, Y., (2020), "Long-term pipeline failure prediction using nonparametric survival analysis", *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: Applied Data Science Track*, 1(4), 139-156.
- (۱۳۸۹)، "تأثیر قطر لوله بر میزان حوادث لوله‌های شبکه آب شهری"، اولین همایش ملی یافته‌های نوین در مهندسی عمران، نجف‌آباد، ایران.
- معین‌الدینی، ا.، محمدرضاپور، ا.، و زینلی، م.، (۱۳۹۵)، "بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آب‌رسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و کرم شب‌تاب در مدل Relopt (مطالعه موردی: شهرک شهرداری کرمان)"، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۴)، ۴۵-۶۴.
- Amiri Ardakani, Y., and Najafzadeh, M., (2021), "Pipe break rate assessment while considering physical and operational factors: A methodology based on global positioning system and data driven techniques", *Water Resources Management*, 35(1), 1-28.
- Azim, I., Yang, J., Javed, M.F., Iqbal, M.F., Mahmood, Z., Wang, F., and Liu, Q.F., (2020), "Prediction model for compressive arch action capacity of RC frame structures under column removal scenario using gene expression programming", *Structures*, 25(1), 212-228.
- Barton, N., Farewell, T., and Hallet, S., (2020), "Using generalized additive models to investigate the environmental effects on pipe failure in clean water networks", *Clean Water*, 31(3), 1-12.
- Berardi, L., Kapelan, Z., Giustolisi, O., and Savic, D.A., (2008), "Development of pipe deterioration models for water distribution systems using EPR", *Journal of Hydroinformatics*, 10(2), 113-126.
- Berardi, L., and Giustolisi, O., (2021), "Calibration of design models for leakage management of water distribution networks", *Water Resources Management*, 35(2), 2537-2551.
- Boxall, J.B., Saul, A.J., and Skipworth, P.J., (2004), "Modelling the impact of reduced hydraulic capacity of pipes in distribution systems", *Journal of the American Water Works Association*, 96(4), 161-169.
- Creaco, E., and Walski, T., (2017), "Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(12), 1-10.
- Dawood, T., Elwakil, E., Novoa, H.M., and Gárate Delgado, J.F., (2020), "Pressure data-driven model for failure prediction of PVC pipelines", *Engineering Failure Analysis*, 116(8), 1-11.
- Farmani, R., Kakoudakis, K., Behzadian, K., and Butler, D., (2017), "Pipe failure prediction in water distribution systems considering static and dynamic factors", *Procedia Engineering*, 186(1), 117-126.
- Ferreira, C., (2001), "Gene expression programming: A new adaptive algorithm for solving problems", *Springer: Amsterdam, the Netherlands*, 13(2), 87-129.
- Ferreira C., (2006), *Gene expression programming: Mathematical modeling by an Artificial Intelligence*, Springer: Amsterdam, the Netherlands.
- Gepsoft., (2020), "Gene Expression Programming (GEP)", Viewed 1 Dec 2020, <http://www.gepsoft.com/>



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 Effective Parameters in the
Combined System of Microstrainer and
Ozonation in the Removal of Algae from
Raw Water

بررسی پارامترهای موثر در سیستم تلفیقی
میکرواسترینر و ازن زنی در حذف جلبک از آب خام

Mohsen Sattari¹ and Daryoush Yousefi Kebria^{2*}

محسن ستاری^۱ و داریوش یوسفی کبری^{۲*}

1- MSc. Student, Department of Civil-Environmental Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

2- Associate Professor, Department of Civil-Environmental Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

*Corresponding Author, Email: dy.kebria@nit.ac.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: dy.kebria@nit.ac.ir

Received: 19/10/2021

Revised: 03/06/2022

Accepted: 21/06/2022

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

The presence of algae in the water treatment process is problematic. The best way to control algae is to remove the algae cell intact without rupturing the cell, as most common methods cause disinfection by-products, which are often very dangerous. The aim of this study was to evaluate the efficiency of microstrainer and ozonation systems in combined removal of algae from raw water. For this purpose, Box-Behnken Design was used in the Response Surface Methodology by Design Expert software. Experimental variables included input turbidity (50-150 NTU), microstrainer surface load (10.8-18 m/h) and injectable ozone dose (1-3 mg/L). Based on the experimental conditions, the algae removal efficiency in the integrated microstrainer and ozonation system was 39.64-88.76%. The parameters of inlet water turbidity, injected ozone dose and micro-strainer surface load with effect coefficients of 15.37, 8.98 and 4.01, respectively, had the greatest effect on system efficiency in algae removal. Increasing the turbidity and surface load of the microstrainer decreased the algal removal efficiency and increased the injection ozone dose increased the efficiency. The final model based on the desired parameters was obtained as a quadratic equation with correlation coefficient, modified correlation coefficient and predicted correlation coefficient equal to 0.948, 0.928 and 0.868, respectively.

حضور جلبک‌ها در فرآیند تصفیه آب، مشکل آفرین است. بهترین روش برای کنترل جلبک‌ها، حذف سلول جلبک به صورت دست نخورده و بدون پارگی سلول است زیرا بیشتر روش‌های معمول، موجب تشکیل فرآورده‌های جانبی گندزدایی که غالباً بسیار خطرناک هستند، می‌شوند. هدف از این مطالعه بررسی کارایی سیستم‌های میکرواسترینر و ازن زنی به صورت تلفیقی در حذف جلبک از آب خام است. برای این منظور، از طراحی باکس-بنکن در روش سطح پاسخ به وسیله نرم افزار Design Expert استفاده شد. متغیرهای آزمایش، شامل کدورت ورودی (NTU) ۵۰-۱۵۰، بار سطحی میکرواسترینر (۱۰/۸-۱۸ متر بر ساعت) و دُز ازن تزریقی (۱-۳ میلی گرم بر لیتر) بودند. براساس شرایط آزمایش، راندمان حذف جلبکی در سیستم تلفیقی میکرواسترینر و ازن زنی از ۳۹/۶۴ تا ۸۸/۷۶ درصد، حاصل شد. پارامترهای کدورت آب ورودی، دُز ازن تزریقی و بار سطحی میکرواسترینر به ترتیب با ضرایب اثر ۱۵/۳۷، ۸/۹۸ و ۴/۰۱ بیشترین تأثیر را بر کارایی سیستم در حذف جلبک داشتند. افزایش کدورت و بار سطحی میکرواسترینر سبب کاهش راندمان حذف جلبک و افزایش دُز ازن تزریقی سبب افزایش راندمان شد. مدل نهایی براساس پارامترهای مورد نظر، به صورت یک معادله درجه دو با ضریب همبستگی، ضریب همبستگی اصلاح شده و ضریب همبستگی پیش‌بینی شده به ترتیب برابر با ۰/۹۴۸، ۰/۹۲۸ و ۰/۸۶۸ به دست آمد.

Keywords: Algae, Box-Behnken Design, Microstrainer, Ozonation, Raw water, Response Surface Methodology.

کلمات کلیدی: میکرواسترینر، ازن زنی، جلبک، آب خام، روش سطح پاسخ، طراحی باکس-بنکن.

این تحقیق، محققین اثر مقدار جریان الکتریکی آب را روی آب دریاچه Falls با روش آزمایشگاهی کشت جلبک سبز-آبی در غلظت تقریبی اولیه‌ای از ۱۰۰۰۰ سلول در هر میلی‌لیتر تا ۵۰۰۰۰ سلول در میلی‌لیتر ارزیابی کردند. میزان تزریق منعقدکننده سولفات آهن III مورد نیاز برای رسیدن به نقطه بار الکتریکی صفر در غلظت ۱۰۰۰۰ سلول جلبک در هر میلی‌لیتر، معادل ۸۵ mg/l سولفات آهن III و برای ۵۰۰۰۰ سلول در هر میلی‌لیتر، معادل ۹۵ mg/l بود. در نقطه بار صفر و با افزودن یک کمک منعقدکننده آنیونی، جلبک در هر دو غلظت اولیه، به‌طور کامل حذف شد. از پوشش برکه می‌توان برای کنترل رشد جلبک‌ها در منابع کوچک نظیر مخازن تهنشینی مقدماتی استفاده کرد. در این روش کنترل، پوشش به میزان زیادی مقدار نور مورد نیاز جلبک‌ها برای فتوسنتز را کاهش می‌دهد. معمولاً از پوشش پلاستیکی مصنوعی شناور استفاده می‌شود (تکدستان و همکاران، ۱۳۸۵).

میکرواسترینر که در بعضی از منابع غربال ریزچشمه (Fine Screen) و یا صافی ریز چشمه سیمی (Fine wire Strainer) نیز نامیده می‌شود (Hazen et al., 1953)، دارای دو نوع؛ درام فیلتر و دیسک فیلتر هستند. میکرواسترینرها امروزه کاربردهای بسیار وسیعی در تصفیه آب برای جداسازی انواع فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها و سایر ذرات معلق و همچنین در تصفیه فاضلاب برای شفاف‌سازی و زلال‌سازی آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، دارند. میکرواسترینر از نوع درام معمولاً با مش‌های فلزی ریز به اندازه ۵ تا ۳۵ میکرومتر ساخته می‌شود. درام‌ها معمولاً در ۷۵ درصد قطر مستغرق (حدود ۶۶ درصد مساحت) و با سرعت ۰/۵ تا ۵ دور در دقیقه^۴ در گردش هستند. البته سرعت چرخش درام می‌تواند براساس بهینه تلفات هد تنظیم شود زیرا در این صورت بهترین درصد حذف و به تبع آن کیفیت آب خام بهتر، بدست خواهد آمد (Ratnayaka et al., 2009).

معمولاً از میکرواسترینر درام برای شفاف‌سازی و زلال‌سازی آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، استخرهای پرورش ماهی، برج‌های خنک‌کننده نیروگاه‌های برق حرارتی، استفاده مجدد از پساب حاصله از شستشوی فیلترها، پیش تصفیه فرآیند آسمز معکوس و کارهای صنعتی استفاده می‌شود (Rimer 1973; Middlebrooks et al., 1974; Kraanand Ghadouani, 2017). اما در تصفیه‌خانه‌های آب معمولاً پس از شیرآلات ورودی از میکرواسترینر دیسکی برای تصفیه اولیه آب خام (جداسازی مواد بیولوژیکی و ذرات معلق) استفاده می‌شود.

در زمینه بررسی تأثیر استفاده از میکرواسترینر بر عملکرد

حضور جلبک‌ها در فرآیند تصفیه آب، مسائل فراوانی مانند؛ بو، طعم، اختلال در انعقاد و تهنشینی، گرفتگی فیلترها و مشکلات بهره‌برداری در شبکه توزیع آب را به‌وجود می‌آورد. امروزه در تصفیه‌خانه‌های آب برای کاهش جلبک ورودی، استفاده از واحد پیش‌اکسیداسیون رایج است. بیشتر مواد اکسیدکننده‌ای مصرفی، مخصوصاً کلر، موجب تشکیل فرآورده‌های جانبی گندزدایی که غالباً بسیار خطرناک هستند، می‌شوند در حالی که بهترین روش برای کنترل جلبک‌ها، حذف سلول جلبک به‌صورت دست‌نخورده و بدون پارگی سلول است. برای تحقق این امر در حذف جلبک، استفاده از روش‌های بیولوژیکی و فیزیکی توصیه شده است (Matter et al., 2019). برای حذف جلبک‌ها و مواد آلی معلق راه‌کارهای مختلفی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین این موارد استفاده از میکرواسترینر است. استفاده از میکرواسترینر با چشمه‌های بسیار ریز از لحاظ هزینه‌های زیاد اجرایی و مسائل بهره‌برداری با مشکلاتی چون؛ گرفتگی و مصرف زیاد آب برای شستشوی معکوس مواجه هست لذا این فیلترها به تنهایی نمی‌توانند تمامی جلبک‌ها و مواد آلی ریز موجود در آب را به‌صورت فیزیکی حذف نمایند. در نتیجه استفاده از مواد اکسیدکننده برای حذف جلبک‌ها و مواد آلی، راهکاری دیگر قلمداد می‌شود. یکی از اهداف قانون آب آشامیدنی سالم^۱ در تصفیه آب خام برای شرب، به حداقل رساندن شرایط برای تشکیل فرآورده‌های جانبی گندزدایی^۲ است (Smith, 1991). از بهترین راه‌ها برای این کار، حذف یا کاهش فیزیکی مواد پیش‌ساز قبل از گندزدایی است (Clark and Summers, 1993). از آنجایی که مواد پیش‌ساز غالباً دارای چگالی کمتر از ۱ هستند لذا حذف آن‌ها در استخرهای تهنشینی اولیه و ثانویه به فضا و زمان زیادی احتیاج دارد. برای رفع این دو مشکل می‌توان از میکرواسترینر استفاده کرد زیرا به فضای کمی برای احداث و همچنین زمان کمتری برای صاف‌سازی نیاز دارند (عبداله‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

علاوه بر میکرواسترینر برای حذف جلبک، روش‌های گوناگون دیگری از جمله: فیلتر مستقیم، تهنشینی، شناورسازی^۳، فیلتر غشایی، اکسیداسیون پیشرفته، سیستم تلفیقی از زنی و کربن فعال گرانولی و ... مورد توجه قرار گرفته‌اند (Mouchet and Abrha et al., 2018; Liu et al., 2015; Piontek and Czyzewska, 2012; Dong and Huo, 2021). Briley et al. (2002) میزان تزریق سولفات آهن را به‌عنوان ماده منعقدکننده برای حذف جلبک‌های سبز-آبی در تصفیه‌خانه آب، بهینه‌سازی کردند. در

کلی تصفیه‌خانه آب، تحقیقاتی که معمولاً مربوط به چندین دهه قبل هستند، انجام شده است. از نتایج این تحقیقات می‌توان به راندمان بالاتر حذف جلبک، کاهش دُز مصرفی ماده اکسید کننده برای تصفیه آب، هزینه‌های اولیه کم، نیاز به فضای کوچک، کاهش کلی افت هیدرولیکی، کاهش میکروسیستین‌های داخل سلولی و ... اشاره نمود (Czyzewska and Piontek, 2019; Parabrahmam et al., 1968; Albert and Bery, 1961; Deyab et al., 2015). درباره بررسی ماده اکسید کننده در حذف جلبک تحقیقات گسترده‌ای صورت پذیرفته است. معمولاً در این تحقیقات اثر یک ماده اکسید کننده خاص و یا مقایسه دو یا چند ماده اکسید کننده در حذف جلبک مد نظر قرار گرفته است (Xie et al., 2013; Chen et al., 2009; Plummer And Edzwald, 2001; Ma and Liu, 2002; Shen et al., 2011; Chen and Yeh, 2005).

طبق بررسی‌های انجام شده، کار تحقیقاتی و سوابق علمی زیادی در زمینه پارامترهای موثر بر عملکرد میکرواسترینر در حذف جلبک انجام نشده است. در مقالات و کارهای علمی انجام شده که در بالا به آن‌ها اشاره شد معمولاً به صورت موردی، تأثیر میکرواسترینر بر کاهش هزینه‌ها، افزایش کارایی کلی سیستم تصفیه آب خام، کاهش مشکلات بهره‌برداری و ... مورد بررسی قرار گرفته است. در زمینه استفاده از مواد اکسید کننده نیز معمولاً اثر آن‌ها بدون در نظر گرفتن سایر پارامترهای موثر مانند کدورت مورد تحقیق قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق سیستم تلفیقی حذف جلبک بوسیله میکرواسترینر و ازن‌زنی و پارامترهای موثر در آن‌ها مانند؛ کدورت، دُز ازن تزریقی و بار سطحی میکرواسترینر، مورد بررسی قرار گرفت. برای کاهش تعداد نمونه‌ها، از طراحی آزمایش باکس-بنکن^۵، در روش سطح پاسخ استفاده شد. بررسی و تحلیل داده‌ها بوسیله نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 Trial انجام شد.

۲-۱- مشخصات تصفیه‌خانه آب مورد مطالعه

تصفیه‌خانه آب مورد مطالعه با ظرفیت ۴۱۰ لیتر در ثانیه در سال ۱۳۹۵ به بهره‌برداری رسیده است. خط انتقال حدود ۲/۲ کیلومتر از منبع تامین آب (مخزن سد) تا تصفیه‌خانه آب و حدود ۱۶ کیلومتر تا اولین مخزن ذخیره تامین آب شبکه توزیع است. فرآیند تصفیه در تصفیه‌خانه آب مورد مطالعه به شرح زیر طراحی و اجرا شده است: دو آشغالگیر دستی و مکانیکی تعبیه شده که

به صورت موازی است، میکرواسکرینر، ازن زنی، تزریق مواد شیمیایی، هم‌زن سریع (اختلاط تند)، لخته‌سازی (اختلاط کند)، ته‌نشینی و زلال‌سازی، فیلتراسیون شنی، گندزدایی (کلرزنی)، ذخیره‌سازی. در این تصفیه‌خانه آب دو دستگاه میکرواسترینر از نوع دیسک فیلتر با قطر منافذ ۲۰ میکرون قرار دارد که یکی در حال کار و دیگری در حالت آماده به کار، است. در حالت فیلتراسیون، فیلترها ثابت بوده و در حالت بک‌واش می‌چرخند. در نتیجه در حالت فیلتراسیون حداکثر ۵۰ درصد سطح فیلترها در تماس با آب است. بک‌واش دستگاه به صورت اتوماتیک و زمانی که اختلاف ارتفاع آب داخل و خارج فیلتر که نشان‌دهنده افت فشار فیلتر است، به حد تعیین‌شده‌ای برسد، انجام می‌شود. سیستم ازن‌زنی این تصفیه‌خانه با ظرفیت ۴+۲ کیلوگرم بر ساعت طراحی و اجرا شده است. در این سیستم، برای افزایش راندمان تولید ازن، ابتدا اکسیژن با خلوص بالای ۹۵ درصد در سیستم اکسیژن‌ساز تولید می‌شود. اکسیژن‌ساز، شامل مراحل کمپرسور هوای ورودی، رطوبت‌گیری تبریدی و جداساز (خالص‌ساز) ژئولیتی است. اکسیژن تولیدشده در این مرحله به سیستم تولید ازن که از طریق تخلیه کرومای پالسی در محفظه رآکتور ازن تولید می‌کند، وارد می‌شود. حداکثر ۷ درصد اکسیژن ورودی به ازن تبدیل می‌شود. ازن تولیدشده در حوضچه‌ای مسقف از طریق دیفیوزرهایی که در کف حوضچه تعبیه‌شده به داخل جریان آب تزریق می‌شود. راندمان سیستم تزریق ازن حداکثر ۷۰ درصد است. ازن اضافی که از جریان آب خارج می‌شود، توسط اسکرابری که بر روی سقف حوضچه نصب شده است، با رساندن دمای آن به حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه‌شده و از بین می‌رود.

۲-۲- روش انجام کار

در این تحقیق، عملکرد تلفیقی سیستم میکرواسترینر و ازن به طور هم‌زمان در حذف جلبک‌های ورودی به تصفیه‌خانه آب مورد مطالعه، در قالب روش طراحی آزمایش باکس-بنکن و با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 Trial انجام شد. روش سطح پاسخ^۶ در این نرم‌افزار یک ابزار قدرتمند برای مدل‌سازی آماری است که با استفاده از کمترین تعداد آزمایش‌های تجربی و براساس طراحی آزمایش باکس-بنکن، اجرا می‌شود (Cojocar, 2007 and Zakrzewska). طراحی آزمایش به روش طراحی باکس-بنکن، به دسته‌ای از طراحی‌ها اطلاق می‌شود که تنها سه سطح را برای هر فاکتور در نظر می‌گیرند. در این نوع طراحی تعداد آزمایش‌ها به طرز مناسبی کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه در مواقعی که انجام آزمایش‌ها نیازمند صرف وقت و هزینه بالا است،

$$N = 2k(k - 1) + C_0 \quad (2)$$

که N : تعداد آزمایش‌های لازم برای توسعه طراحی آزمایش باکس-بنکن، k : تعداد پارامترها و C_0 : تعداد نقاط مرکزی هستند. از آنجایی که تعداد متغیرهای مستقل در این تحقیق ۳ مورد شامل؛ کدورت ورودی، بار سطحی میکرواسترینر و ازن تزریقی است و با انتخاب عدد ۳ برای نقاط مرکزی، براساس رابطه (۲) تعداد آزمایش‌های لازم ۱۵ مورد خواهد بود. ترتیب انجام آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار به صورت اتفاقی منظم شده است. در تمامی آزمایش‌ها pH ورودی در محدوده $8/17 \pm 0/5$ و دما در محدوده 12 ± 4 متغیر بود. در حالی که در طول فرایند، تغییری در مقادیر این پارامترها رخ نداد.

۳- نتایج و بحث

پس از نمونه‌برداری و ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه، آنالیز نتایج راندمان حذف جلبک در ورودی و خروجی سیستم حذف جلبک شامل میکرواسترینر و ازن، به شرح جدول ۲ حاصل شد. با توجه به نتایج به دست آمده از سیستم طراحی شده، مشاهده می‌شود که براساس شرایط آزمایش، راندمان حذف جلبکی در سیستم تلفیقی میکرواسترینر و ازن‌زنی از $39/64$ تا $88/76$ درصد، حاصل شد. برای بررسی عملکرد سیستم میکرواسترینر به تنهایی، نمونه‌های در کدورت‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ NTU و بارهای سطحی $10/8$ ، $14/4$ و ۱۸ متر بر ساعت برداشت شده و آزمایش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج بررسی راندمان حذف جلبک‌ها به تنهایی بوسیله میکرواسترینر از ۲۲ درصد (برای کدورت و دبی حداکثر) تا ۵۵ درصد (برای کدورت و دبی حداقل) و در همین شرایط نمونه‌ها، برای سیستم ازن زنی به تنهایی، در کدورت حداقل و دُز تزریقی حداکثر، حذف جلبک $99/36$ درصد و برای کدورت حداکثر و دُز تزریقی حداقل، حذف جلبک $53/28$ درصد به دست آمده است.

به منظور مدل‌سازی داده‌ها و تعیین پارامترهای مؤثر در فرآیند حذف جلبک توسط سیستمی متشکل از میکرواسترینر و ازن‌زنی، از برازش مدل چند جمله‌ای درجه دوم کامل برحسب متغیرهای کدورت، بار سطحی میکرواسترینر و دُز ازن تزریقی، بر داده‌های آزمایشگاهی استفاده شد. اطلاعات در نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 Trial قسمت مربوط به روش‌های سطح پاسخ، طراحی آزمایش باکس-بنکن، وارد شده سپس آنالیز واریانس بر برازش معادله انجام که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

بسیار مناسب است. مقایسه بین طراحی‌های باکس-بنکن و سایر طراح‌های سطح پاسخ (طراحی مرکب مرکزی و یا فاکتوریل کامل) نشان می‌دهد که این روش از هر دو روش طراحی مرکب مرکزی و فاکتوریل کامل، بسیار کارآمدتر است (Ferreira et al., 2007). با استفاده از نرم‌افزار، ابتدا مدل‌سازی نتایج آزمایش برحسب متغیرهای اصلی و با استفاده از معادله درجه دوم کامل انجام و معنادار بودن ضرایب و پارامترهای معادله به روش آنالیز واریانس^۷ تعیین شد. همچنین ضریب همبستگی و درصد خطای نسبی رگرسیون معادله نهایی محاسبه شد. پس از طراحی آزمایش مطابق فرمت نرم‌افزار، شرایط سیستم براساس طراحی آزمایش تنظیم و نمونه‌های خروجی برای آنالیز تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. متغیرهای آزمایش، شامل کدورت ورودی ($50-150$ NTU)، بار سطحی میکرواسترینر ($1/8-18$ متر بر ساعت) و دُز ازن تزریقی ($1-3$ میلی گرم بر لیتر) بودند (جدول ۱).

جدول ۱- متغیرها و سطح تغییرات

متغیر	نشانه	واحد	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
			-۱	۰	+۱
کدورت ورودی	Tur	NTU	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
بار سطحی میکرواسترینر	Ls	m/h	۱۰/۸	۱۴/۴	۱۸
دُز ازن تزریقی	O3	mg/l	۱	۲	۳

یکی از پارامترهای مهم می‌توانست بار جلبکی ورودی باشد، که به دلیل عدم امکان کنترل و تنظیم بار جلبکی، این پارامتر در طراحی آزمایش وارد نشد. هم‌چنین با توجه به محدودیت تزریق ازن و اطمینان از تزریق میزان کافی ازن (حداکثر تا ۳ میلی گرم بر لیتر)، دبی ورودی به تصفیه‌خانه آب مورد مطالعه براساس محاسبات در محدوده $150-250$ لیتر بر ثانیه تنظیم شد (رابطه ۱).

$$Dose O_3 (mg/l) = \frac{C \frac{kg}{h} \times \frac{1 h}{3600 s} \times 10^6 \frac{mg}{kg} \times \eta}{Q \frac{l}{s}} \quad (1)$$

که C : ظرفیت تزریق ازن (کیلوگرم بر ساعت)، η : بازده سیستم تزریق ازن و Q : دبی آب ورودی به تصفیه‌خانه آب (لیتر بر ثانیه) هستند.

تعداد آزمایش‌های لازم برای توسعه طراحی آزمایش باکس-بنکن از رابطه (۲) به دست می‌آید (قربانی و باقریان، ۱۳۹۵):

بررسی پارامترهای موثر در سیستم تلفیقی میکرواسترینر و ازن‌زنی در حذف جلبک از آب خام

جدول ۲- نتایج آزمایش‌ها براساس طراحی آزمایش باکس-بنکن در سیستم تلفیقی میکرواسترینر و ازن‌زنی

شماره آزمایش	پارامتر ۱	پارامتر ۳	پارامتر ۲	تعداد جلبک		پاسخ
	A:Tur	C:Ls	B:O3	ورودی	خروجی	حذف جلبک
	NTU	m/h	mg/l	N/100 cc	N/100 cc	%
۱	۱۰۰	۱۸	۱	۳۹۶	۲۳۹	۳۹/۶۴
۲	۱۰۰	۱۴/۴	۲	۳۹۶	۱۷۸	۵۵/۱۵
۳	۱۵۰	۱۴/۴	۱	۳۴۵	۲۳۰	۳۳/۳۱
۴	۱۵۰	۱۰/۸	۲	۳۴۵	۱۷۸	۴۸/۴۵
۵	۱۵۰	۱۸	۲	۳۴۵	۲۰۴	۴۰/۸۰
۶	۵۰	۱۴/۴	۱	۴۳۳	۱۸۱	۵۸/۲۹
۷	۱۰۰	۱۴/۴	۲	۳۹۶	۱۸۴	۵۳/۶۴
۸	۱۰۰	۱۰/۸	۱	۳۹۶	۱۹۳	۵۱/۲۵
۹	۵۰	۱۴/۴	۳	۴۳۳	۴۹	۸۸/۷۶
۱۰	۱۰۰	۱۴/۴	۲	۳۹۶	۱۷۹	۵۴/۹۲
۱۱	۵۰	۱۸	۲	۴۳۳	۱۱۹	۷۲/۴۵
۱۲	۵۰	۱۰/۸	۲	۴۳۳	۱۰۷	۷۵/۲۹
۱۳	۱۰۰	۱۸	۳	۳۹۶	۱۸۵	۵۳/۱۸
۱۴	۱۵۰	۱۴/۴	۳	۳۴۵	۱۷۵	۴۹/۲۸
۱۵	۱۰۰	۱۰/۸	۳	۳۹۶	۱۴۶	۶۳/۱۵

جدول ۳- رگرسیون و آنالیز واریانس نتایج آزمایش‌ها براساس معادله چندجمله‌ای کامل

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار f	مقدار p
مدل	۲۸۵۳/۷۱۲	۹	۳۱۷/۰۷۹۱	۲۰/۸۴۷۹	۰/۰۰۱۹
A-O3	۶۴۵/۸۴۱۸	۱	۶۴۵/۸۴۱۸	۴۹/۴۶۳۹	۰/۰۰۱۳
B-Ls	۱۲۸/۵۶۰۶	۱	۱۲۸/۵۶۰۶	۸/۴۵۲۸	۰/۰۳۳۵
C-Tur	۱۸۸۹/۵۸۸	۱	۱۸۸۹/۵۸۸	۱۲۴/۲۴	۰/۰۰۱
AB	۰/۶۷۲۴	۱	۰/۶۷۲۴	۰/۰۴۴۲	۰/۸۴۱۸
AC	۵۲/۵۶۲۵	۱	۵۲/۵۶۲۵	۳/۴۵۵۹	۰/۱۲۲۱
BC	۵/۷۸۴۰	۱	۵/۷۸۴۰	۰/۳۸۰۳	۰/۵۶۴۴
A ²	۱۵/۵۱۰۶	۱	۱۵/۵۱۰۶	۱/۰۱۹۸	۰/۳۵۸۹
B ²	۰/۱۶۶۱	۱	۰/۱۶۶۱	۰/۰۱۰۹	۰/۹۲۰۸
C ²	۱۰۷/۳۸۵۴	۱	۱۰۷/۳۸۵۴	۷/۰۶۰۵	۰/۰۴۵۰
مانده باقی	۷۶/۰۴۵۹	۵	۱۵/۲۰۹۲		
عدم برازش	۷۴/۹۵۳۶	۳	۲۴/۹۸۴۵	۴۵/۷۴۸۰	۰/۰۲۱۵
خطای خام	۱/۰۹۲۲	۲	۰/۵۴۶۱		
کل	۲۹۲۹/۷۵۸	۱۴			

درصد حذف جلبک از آب خام ورودی است، به پارامترهای حاکم (کدورت ورودی، بار سطحی میکرواسترینر و دُز ازن تزریقی) به صورت رابطه (۳) بستگی خواهد داشت.

سپس پارامترهای که مقادیر p-value حاصل از F-test آن‌ها بیشتر از ۰/۰۵ به دست آمده، از معادله برازش شده حذف شد. در نتیجه ضرایب پارامترهای تداخلی AB، AC و BC و پارامترهای منحنی A² و B² از معادله برازش حذف و آنالیز واریانس مجدداً بر مبنای پارامترهای معنادار انجام و پاسخ آزمایش (Y) که همان

نتایج آزمایش‌ها و مقادیر ضرایب همبستگی مدل نهایی ارائه شده است.

$$Y = 103.794 + 8.985O_3 - 1.113L_S - 0.0751Tur - 0.00223Tur^2 \quad (3)$$

در جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب رگرسیون و آنالیز واریانس

جدول ۴- رگرسیون و آنالیز واریانس نتایج آزمایشات براساس مدل نهایی

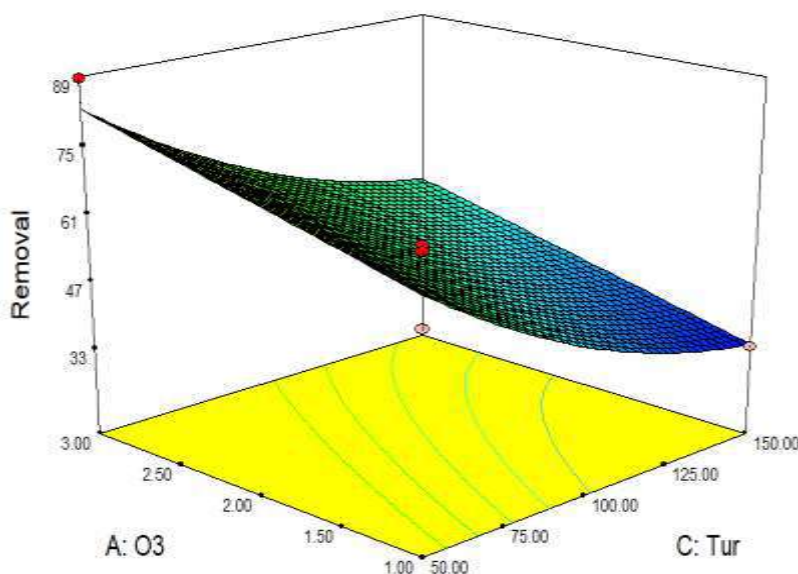
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار f	مقدار p
مدل	۲۷۷۹/۱۷۱۳	۴	۶۹۴/۷۹۲۸	۴۶/۱۳۹۱۳۸	<۰/۰۰۰۱
A-O ₃	۶۴۵/۸۴۱۸	۱	۶۴۵/۸۴۱۸	۴۲/۸۸۸۴	<۰/۰۰۰۱
B-L _s	۱۲۸/۵۶۰۶	۱	۱۲۸/۵۶۰۶	۸/۵۳۷۳	۰/۰۱۵۳
C-Tur	۱۸۸۹/۵۸۷۸	۱	۱۸۸۹/۵۸۷۸	۱۲۵/۴۸۱۹	<۰/۰۰۰۱
C ²	۱۱۵/۱۸۱۰	۱	۱۱۵/۱۸۱۰	۷/۶۴۸۸	۰/۰۱۹۹
باقی مانده	۱۵۰/۵۸۶۴	۱۰	۱۵/۰۵۸۶		
عدم برازش	۱۴۹/۴۹۴۱	۸	۱۸/۶۸۶۷	۳۴/۲۱۶۵	۰/۰۲۸۷
خطای خام	۱/۰۹۲۲	۲	۰۵۴۶۱		
کل	۲۹۲۹/۷۵۷۷	۱۴			

۱/۰۹ درصد و مقادیر ضریب همبستگی (R^2) و ضریب همبستگی اصلاح شده ($\bar{R}^2$) به ترتیب ۰/۹۴۸ و ۰/۹۲۸ به دست آمد که نشان دهنده برازش خوب داده‌های تجربی توسط مدل است. همچنین اختلاف ضریب همبستگی اصلاح شده و پیش‌بینی شده (۰/۸۶۸) کمتر از ۰/۲ است. درصد حذف جلبک براساس اثر تلفیقی پارامترهای مختلف (کدورت و دُز ازن تزریقی، کدورت و بار سطحی میکرواسترینر و دُز ازن و بار سطحی میکرواسترینر) به صورت سه بعدی به ترتیب در شکل ۱ تا شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۵- مقادیر ضرایب همبستگی مدل نهایی

۳/۸۸۰۵	انحراف معیار
۵۵/۷۳۶۶	میانگین
۶/۹۶۲۲	ضریب تغییرات (%)
۳۸۴/۲۴۷۶	باقیمانده پیش‌بینی شده
۰/۹۴۸۶	ضریب همبستگی
۰/۹۲۸۰	ضریب همبستگی اصلاح شده
۰/۸۶۸۸	ضریب همبستگی پیش‌بینی شده
۲۱/۷۴۰۲	دقت کافی

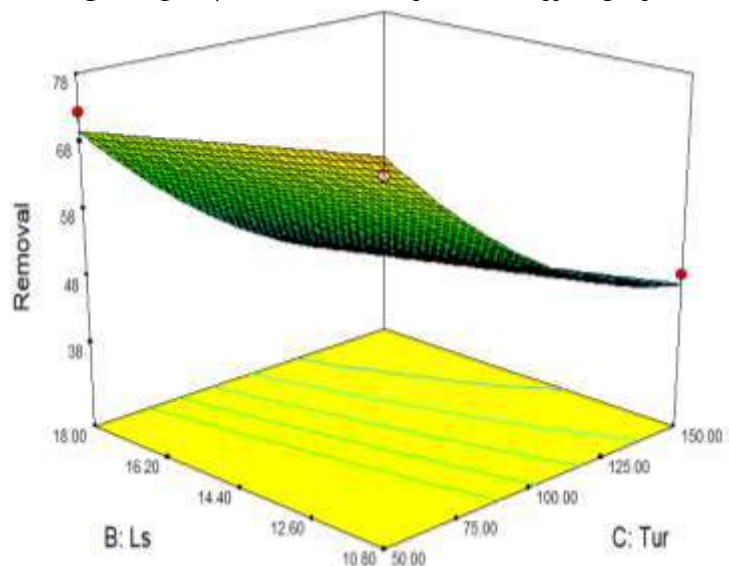
براساس نتایج ارائه شده در جدول‌های ۴ و ۵، خطای برازش،



شکل ۱- درصد حذف جلبک برحسب کدورت و دُز ازن تزریقی

عملکرد ازن در حذف جلبک اثر منفی دارد و اثر ازن در کدورت‌های مختلف به‌طور قابل‌توجهی متغیر است که بر تحقیقات پیشین منطبق است.

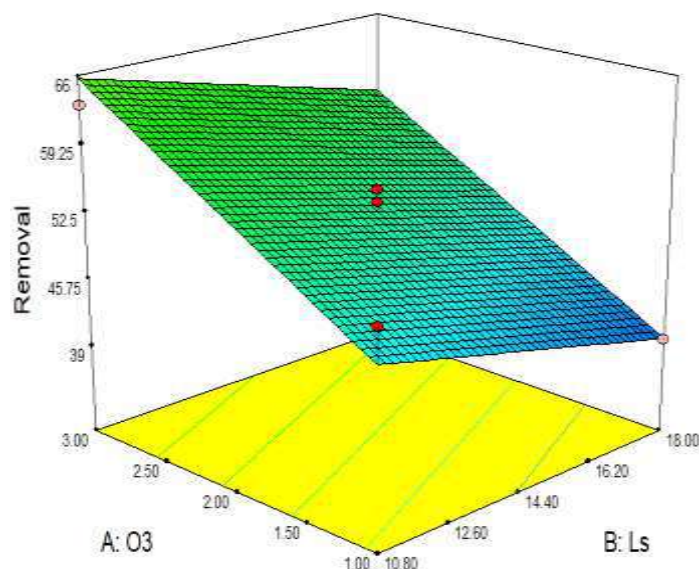
با توجه به شکل ۱ مشخص است که با کاهش کدورت و افزایش دُز ازن، راندمان حذف جلبک به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش کدورت به‌شدت بر



شکل ۲- درصد حذف جلبک بر حسب کدورت و بار سطحی میکرواسترینر

شکل ۳ نشان می‌دهد که افزایش دُز ازن تأثیر بسیار بیشتری نسبت به کاهش بار سطحی میکرواسترینر بر حذف جلبک دارد.

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که درصد حذف جلبک با افزایش کدورت و بار سطحی میکرواسترینر کاهش می‌یابد و این کاهش بر اثر افزایش راندمان حذف جلبک بسیار چشمگیرتر است.



شکل ۳- درصد حذف جلبک بر حسب دُز ازن و بار سطحی میکرواسترینر

میکرواسترینر در کدورت‌های بالا مکرراً دچار گرفتگی شده و استفاده از آن به‌دلیل نیاز سیستم به بک‌واش‌های مکرر و افزایش استهلاک، عملاً امکان‌پذیر نیست. ازن نیز در کدورت‌های بالا از

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۱ تا شکل ۳، می‌توان گفت که سیستم حذف جلبکی در تصفیه‌خانه آب در کدورت‌های بالا (بیشتر از ۱۰۰ NTU) راندمان پایینی در حذف جلبک دارد.

جلبک دارد. برازش معادله خطی بدون بُعد برمبنای متغیرهای گذشته نشان داد که پارامتر کدورت آب ورودی تقریباً دو برابر دُز ازن تزریقی و دُز ازن تزریقی تقریباً دو برابر بار سطحی میکرواسترینر (کدورت آب ورودی تقریباً چهار برابر بار سطحی میکرواسترینر) بر کارایی سیستم در حذف جلبک موثر هستند. از میان این سه پارامتر، افزایش کدورت اولیه آب و افزایش بار سطحی میکرواسترینر سبب کاهش راندمان حذف جلبک و افزایش دُز ازن تزریقی سبب افزایش راندمان حذف جلبک خواهد شد.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Safe Drinking Water Act (SDWA)
- 2- Disinfection by Products (DBPs)
- 3- Dissolved Air Flotation (DAF)
- 4- Revolutions per Minute (RPM)
- 5- Box-Behnken Design (BBD)
- 6- Response Surface Methodology (RSM)
- 7- Analysis of Variance (ANOVA)

۶- مراجع

تک‌دستان، ا.، جعفرزاده، ن.، و فاخری رئوف، ف.، (۱۳۸۵)، "بررسی مشکلات ناشی از جلبک‌ها در منابع و تصفیه‌خانه آب و روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی کنترل آن‌ها"، سومین همایش ملی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن‌ها، اهواز.

عبداله‌زاده، م.، صفائی، م.، و سجادی‌پور، ر.، (۱۳۹۳)، "استفاده مجدد پساب شستشوی صافی و افزایش کیفیت آن توسط میکرواسترینر در تصفیه‌خانه‌های آب کشور"، همایش ملی بازیافت آب، راهبردی اصولی برای مدیریت بحران آب، تهران.

قربانی، م.، باقریان، ع.، (۱۳۹۵)، "بهینه‌سازی جذب سطحی با روش طراحی آزمایش پاسخ سطح برای رنگ آسترزون آبی توسط رزین کوپلیمر استایرن-دی وینیل بنزن سولفونه شده"، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، کرج، ۳۵(۱)، ۳۷-۲۵.

Abrha, Y.W., Kye, H., Kwon M., Lee, D., Kim, K., Jung, Y., Ahn, Y., and Kang, J.W., (2018), "Removal of algae, and taste and odor compounds by a combination of Plant-Mineral Composite (PMC) coagulant with UV-AOPs: Laboratory and pilot scale studies", *Applied Science*, 8(9), 1502.

Albert, E., and Berry, G., (1961), "Removal of algae by microstrainers", *American Water Works Association*,

تأثیر بر جلبک‌ها ناتوان است، زیرا ذرات معلق کلونیدی علاوه بر مصرف ازن، نقش سرپناهی برای جلبک‌ها را ایفا می‌کنند. همچنین می‌توان گفت که در کدورت‌های بالا، عملاً افزایش دُز ازن سبب افزایش راندمان حذف جلبک نشده و تنها هزینه‌ها را افزایش خواهد داد. در کدورت‌های بالا با بهینه‌سازی سیستم انعقاد و لخته‌سازی می‌توان حذف تکمیلی جلبک را انجام داد.

برازش معادله نهایی بدون بُعد برمبنای متغیرهای گذشته (۱، ۰، -۱) در رابطه (۴) نشان داده شده است. ضرایب هریک از متغیرها در این معادله، ضریب اثر آن متغیر بر پاسخ نهایی را نشان می‌دهد. ضریب اثر یک متغیر نشان‌دهنده میزان تأثیر آن متغیر بر پاسخ نهایی است، بدین معنا که متغیر با ضریب اثر بالاتر، تأثیر بیشتر آن بر متغیر پاسخ خواهد داشت.

$$Y = 52.77 + 8.98O_3 - 4.01L_S - 15.37Tur - 5.55Tur^2 \quad (۴)$$

با توجه به رابطه (۴)، پارامترهای کدورت آب ورودی، دُز ازن تزریقی و بار سطحی میکرواسترینر به ترتیب با ضرایب اثر ۱۵/۳۷، ۸/۹۸ و ۴/۰۱ بیشترین تأثیر را بر کارایی سیستم در حذف جلبک دارند. از میان این سه پارامتر، افزایش کدورت اولیه آب و افزایش بار سطحی میکرواسترینر سبب کاهش راندمان حذف جلبک و افزایش دُز ازن تزریقی سبب افزایش راندمان حذف جلبک خواهد شد. در شرایط عملیاتی، با توجه به اینکه کدورت ورودی قابل تنظیم نیست، با توجه به ضرایب اثر پارامترها می‌توان گفت که در سیستم حذف جلبک موجود، با کاهش دبی ورودی و افزایش دُز ازن تزریقی، بیشترین مقدار حذف جلبک حاصل خواهد شد.

۴- نتیجه‌گیری

با بررسی سیستم تلفیقی میکرواسترینر و سیستم ازن‌زنی که براساس روش آزمایش طراحی باکس-بنکن انجام شده است، مشخص شد که با کاهش کدورت و افزایش دُز ازن، راندمان حذف جلبک به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش کدورت به‌شدت بر عملکرد ازن در حذف جلبک اثر منفی دارد و اثر ازن در کدورت‌های مختلف به‌طور قابل‌توجهی متغیر است که بر تحقیقات پیشین منطبق است. درصد حذف جلبک با افزایش کدورت و بار سطحی میکرواسترینر کاهش می‌یابد و این کاهش بر اثر افزایش راندمان حذف جلبک بسیار چشمگیرتر است. همچنین افزایش دُز ازن تأثیر بسیار بیشتری نسبت به کاهش بار سطحی میکرواسترینر بر حذف

- techniques for microalgae: A review", *Applied Sciences*, 9(15), 3069.
- Montiel, A., and Welte, B., (1998), "Preozonation coupled with flotation filtration: Successful removal of algae", *Water Science and Technology*, 31(2), 13-65.
- Mouchet, P., and Bonnelye, V., (1998), "Solving algae problems: French expertise and world-wide applications", *Research and Technology-Aqua, Water Supply*, 47(3), 125-141.
- Parabrahmam, M., Lakshminarayana, J., and Bopardikar, M., (1968), "Application of microstrainer to water treatment at Nagpur (India)", *Water Research*, 2(3), 225-23.
- Piontek, M., and Czyżewska, W., (2012), "Efficiency of drinking water treatment processes, removal of phytoplankton with special consideration for cyanobacteria and improving physical and chemical parameters", *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6), 1797-1805.
- Plummer, J., and Edzwald, J., (2001), "Effect of ozone on algae as precursors for trihalomethane and haloacetic acid production", *Environmental Science and Technology*, 35(18), 3661-3668.
- Ratnayaka, D.D., Brandt, J., and Johnson, M., (2009), *Water supply*, Butterworth-Heinemann, Elsevier, Chapter 7, 267-314.
- Rimer, A.E., (1973), "Prototype study of microstraining at a paper mill complex", *Water Pollution Control Federation*, 45(12), 2567-2576.
- Shen, Q., Zhu, J., Cheng, L., Zhang, J., Zhang, Z., and Xu, X., (2011), "Enhanced algae removal by drinking water treatment of chlorination coupled with coagulation", *Desalination*, 271(1-3), 236-240.
- Smith, J., (1991), *Technologies for upgrading existing or designing new drinking water treatment facilities*, Elsevier Science, Paper 374.
- Xie, P., Ma, J., Fang, J., Guan, Y., Yue, S., Li, X., and Chen, L., (2013), "Comparison of permanganate preoxidation and preozonation on algae containing water: Cell integrity, characteristics, and chlorinated disinfection byproduct formation", *American Chemical Society, Environmental Science and Technology*, 47(24), 14051-14061.
- 53(12), 1503-1508.
- Briley, D.S., and Knappe, D.R., (2002), "Optimization ferric sulfate coagulation of algae with streaming current measurements", *Journal of American Water Works Association (AWWA)*, 94(2), 80-90.
- Chen J.J., Yeh, H.H., and Tseng, Ch., (2009), "Effect of ozone and permanganate on algae coagulation removal, pilot and bench scale tests", *Chemosphere*, 74(6), 840-846.
- Chena, J.J., and Yeh, H.H., (2005), "The mechanisms of potassium permanganate on algae removal", *Water Research*, 39(18), 4420-4428.
- Clark, R. M., and Summers, R.S., (1993), *Strategies and technologies for meeting SDWA requirements*, CRC Press, 17-28.
- Cojocar, C., and Zakrzewska-Trznadel, G., (2007), "Response Surface Modeling and Optimization of Copper Removal from Aqua Solutions Using Polymer Assisted Ultrafiltration", *Membrane Sci*, 298(1-2), 56-70.
- Czyżewska, W., and Piontek, M., (2019), "The efficiency of microstrainers filtration in the process of removing phytoplankton with special consideration of cyanobacteria", *MDPI, Toxins*, 11(5), 1-13.
- Deyab, M.A., ElAdl, M.F., and ElTantawy, M.E., (2015), "Efficiency assessment of drinking water treatment processes in the removal of phytoplankton at Damietta-Egypt", *Scientific Journal for Damietta Faculty of Science*, 5(1), 48-61.
- Dong, L., and Huo, M., (2021), "Effective removal of algae from water by Diatomite Enhanced Graphene Oxide Flocculation", *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(5), 3955-3962.
- Ferreira, S.L.C., Bruns, R.E., Ferreira, H.S., Matos, G.D., David, J.M., Brandão, G.C., Da Silva, E.G.P., Portugal, L.A., Dos Reis, P.S., Souza, A.S., and Dos Santos, W.N.L., (2007), "Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods", *Analytica Chimica Acta*, 597(2), 179-186.
- Kraan, J., and Ghadouani, A., (2017), "Assessment of screen filters for removal from treated wastewater", *CEED Seminar Proceedings*, Australia, 79-84.
- Liu, Q., Liu, H., Wu, Sh., and Duan, Z., (2015), "Advanced oxidation processes for the removal of algal cells and cyanotoxins from drinking water", *2nd International Workshop on Materials Engineering and Computer Sciences (IWMECS 2015)*, Atlantis Press, 801-804.
- Ma, J., and Liu, W., (2002), "Effectiveness and mechanism of potassium ferrate (VI) preoxidation for algae removal by coagulation", *Water Research*, 36(4), 871-878.
- Middlebrooks, E.J., Porcella, Donald B., Gearheart, Robert A., Marshall, Gary R., Reynolds, James H., and Grenney, William J., (1974), "Review paper: Evaluation of techniques for algae removal from wastewater stabilization ponds", Reports, Utah Water Research Laboratory, Paper 20
- Matter, I.A., Hoang, V.K.H., Seo, J.Y., Kim, Y.E., Lee, Y.Ch., and Oh, Y.K., (2019), "Flocculation harvesting



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

Numerical Study of Input of Primary Settling Tanks in Circular Wastewater Treatment Plants with Flow-3D

Ramtin Sobhkhiz Foumani¹, Alireza
Mardookhpour^{2*} and Sadeh Hosseini³

1- PhD Student of Civil Engineering Department,
University of Qom, Qom, Iran

2- Assistant Professor of Civil Engineering Department,
Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

3- M.Sc. of Civil Engineering Department, Lahijan
Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

*Corresponding Author, Email:
Alireza.mardookhpour@liau.ac.ir

Received: 29/10/2021

Revised: 16/04/2022

Accepted: 03/05/2022

© IWWA

Abstract

Water scarcity is one of the main challenges and constraints in the development of the country. On the other hand, wastewater treatment methods were initially developed as a response to concern about public health and the conditions caused by wastewater disposal in the environment, but now with the expansion of cities and urban life, keeping the environment clean and protecting it is essential for social life. Therefore, the aim of the research is to minimize the cost, optimize and simulate the primary sedimentation tanks in wastewater treatment plants using Flow3D software. In addition to evaluating the accuracy of the model in the simulation, parameters affecting the ratio of inlet through the overflow to the inlet under the valve were determined. The results showed that The Les model had better result in simulating the setting cavity in circular-shaped treatment plant tanks in comparison to the other turbulence models. Comparing the effect of settling characteristic parameters on the maximum settling depth, it was concluded that the drag coefficient and static angle parameters had a great effect on the it. According to several simulations performed with Flow3D software, it was found that this software has good accuracy in simulating the flow pattern passing through the circular overflow-valve treatment plant in both solid bed and mobile bed modes. Also, by comparing the effect of deposition characteristic parameters on the maximum deposition depth, it can be seen that the parameters of drag coefficient and static angle have a great effect on the amount of deposition. Also, among different turbulence models, LES model has more acceptable results in simulation. The settling of the refinery tanks indicates a circular Spillway-valve shape.

Keywords: FLOW-3D software, Numerical Simulation, Primary Tanks, Refinery, Settlement.

بررسی عددی ورودی مخازن ته‌نشست ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دایره‌ای شکل با Flow-3D

رامتین صبح‌خیز فومنی^۱، علیرضا مردوخ پور^{۲*} و صادق حسینی^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه عمران، دانشگاه قم، قم، ایران.

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران.

۳- کارشناس ارشد گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: Alireza.mardookhpour@liau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۷

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

کمبود آب یکی از چالش‌ها و محدودیت‌های اساسی در توسعه و آبادانی کشور محسوب می‌شود. از طرفی روش‌های تصفیه فاضلاب در ابتدا به‌عنوان پاسخی به نگرانی در مورد بهداشت عمومی و شرایط ناشی از دفع فاضلاب در محیط‌زیست به وجود آمدند، ولی اکنون با گسترش شهرها و زندگی شهری، پاک نگه‌داشتن و حفظ محیط‌زیست برای حیات اجتماعی امری ضروری است. لذا هدف تحقیق بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مخازن ته‌نشست ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است که با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D شبیه‌سازی هیدرولیک جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه و ته‌نشست مخازن صورت گرفت و علاوه بر ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی، به تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر نسبت ورودی عبوری از روی سرریز به ورودی عبوری از زیر دریچه پرداخته شد. در مطالعه حاضر، روابطی برای نسبت دبی ورودی عبوری از بالا به پایین تصفیه‌خانه براساس پارامترهای بی‌بعد به‌دست آمد که بیانگر میزان همبستگی بالای متغیرهای فوق بوده است. هم‌چنین از مقایسه تأثیر پارامترهای مشخصه ته‌نشست در حداکثر عمق ته‌نشست نتیجه شد که پارامتر ضریب دراگ و زاویه ایستایی تأثیر زیادی بر مقدار ته‌نشست دارد. طبق شبیه‌سازی‌های متعددی که با نرم‌افزار Flow-3D انجام شد مشخص شد که این نرم‌افزار دقت خوبی در شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در دو حالت بستر صلب و بستر متحرک دارد. هم‌چنین از مقایسه تأثیر پارامترهای مشخصه ته‌نشست در حداکثر عمق ته‌نشست می‌توان دریافت که پارامترهای ضریب دراگ و زاویه ایستایی تأثیر زیادی بر مقدار ته‌نشست دارند. از بین مدل‌های آشفتگی مختلف، مدل LES نتایج قابل‌قبول‌تری در شبیه‌سازی ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی عددی، مخازن ابتدایی، نشست، تصفیه‌خانه، نرم‌افزار Flow-3D

کمبرود آب یکی از چالش‌ها و محدودیت‌های اساسی در توسعه و آبادانی کشور در سطوح ملی، منطقه‌ای و عرصه‌های حیات اجتماعی و فعالیت‌های اقتصادی محسوب می‌شود. علاوه بر کمبود منابع آب که خود معضل اساسی جوامع در عصر حاضر است، اگر آب‌های قابل استحصال نیز آلوده باشند، مشکلات مربوط به آب به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین عوامل حیات انسان دوچندان می‌شود. روش‌های تصفیه فاضلاب در ابتدا به‌منزله پاسخی به نگرانی در مورد بهداشت عمومی و شرایط ناشی از دفع فاضلاب در محیط‌زیست به‌وجود آمدند، ولی در حال حاضر با گسترش شهرها و روی آوردن مردم به شهرنشینی و زندگی شهری، پاک نگه‌داشتن و حفظ محیط‌زیست برای حیات اجتماعی امری ضروری است. بر همین اساس با توجه به خطر پایان یافتن منابع آب شیرین و کاهش تراز سفره‌های آب زیرزمینی، نیاز به تصفیه و بازیافت آب مصرفی نیز در تمام فعالیت‌های روزمره انسانی احساس می‌شود (منزوی، ۱۳۸۴). Dobbins (1994) مکانیزم رسوب‌گذاری را به‌صورت تحلیلی و یک‌بعدی با در نظر گرفتن آشفته‌گی جریان بررسی نمود. نتایج مطالعات وی حاکی آن است که رسوب‌گذاری ذرات معلق مستقل از عمق حوضچه است. همچنین بازگشت ذرات ته‌نشین شده در حین خارج‌نمودن رسوب کاملاً به شرایط هیدرولیکی در کف بستگی دارد. Aslam et al. (2011) مطالعه‌ای در خصوص جداسازی مواد جامد معلق و پساب مخازن ته‌نشین اولیه انجام دادند. ضخامت ایجاد شده ناشی از ته‌نشین شدن رسوبات در مخزن در حالی بررسی شده است که ذرات سنگین‌تر به‌وسیله نیروی گرانش در پایین مخزن قرار گرفته و ذرات سبک‌تر مانند چربی، روغن و گریس در قسمت بالای مخزن مستقر شده و به‌عنوان بخش مایع از قسمت خروجی، تخلیه شده‌اند. شناخت عواملی که باعث ضخیم شدن جداره‌های مخازن ته‌نشین (خصوصاً در کف) نیز می‌شود، از نتایج این تحقیق است. Borna et al. (2014) با استفاده از روش حجم محدود و مقایسه آن با نتایج تجربی، نشان دادند که شبیه‌سازی‌های عددی از توزیع و انتقال رسوب در مخازن ته‌نشین، قبل از ته‌نشین به چه ترتیبی خواهد بود. در این تحقیق با شبیه‌سازی عددی جریان در مخزن مستطیلی و حل معادلات ناویر-استوکس با استفاده از روش حجم محدود، اقدام به شبیه‌سازی جریان در سه بعد شده و با استفاده از مدل پیشنهاد شده، مقایسه پروفیل سرعت در بخش‌های مختلف مخزن و ارزیابی رسوب سبک در مخزن قبل از ته‌نشین انجام شده است.

در نهایت انتشار و انتقال غلظت به‌طور هم‌زمان با هیدرولیک جریان بررسی و با پروفیل عمودی رسوب مقایسه شده است. Winter et al. (2016) زمان در مخازن ته‌نشین اولیه تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب شهری را اندازه‌گیری کردند. در این مقاله تأثیر رفتار الگوی جریان در مخزن ته‌نشین و ترسیب مواد جامد و معلق در تصفیه‌خانه فوق با هدف اندازه‌گیری الگوی جریان در مخزن و مواد جامد معلق، به‌طور جداگانه بررسی و الگوهای زیادی استخراج شده است. Zanganeh et al. (2016) در مدلی آزمایشگاهی نشان دادند که افزایش راندمان مخازن ته‌نشین اولیه با استفاده از صفحات لایه نازک باعث ته‌نشین بیشتر مواد جامد معلق می‌شود. Su et al. (2019) یک مطالعه عددی در مورد تغییرات نرخ جریان ورودی در یک مخزن ته‌نشین ثانویه انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش نرخ جریان ورودی، لجن به‌طور مداوم در سمت چپ پایین مخزن، قیف لجن و ورودی تجمع می‌یابد. همچنین ضخامت پوشش لجن در نزدیکی انتهای سمت راست مخزن به‌طور مداوم افزایش می‌یابد و غلظت لجن در مخزن تقریباً به‌صورت خطی با زمان افزایش می‌یابد. بنابراین انتظار می‌رود که برای مدل‌سازی فرآیندهای رسوب‌گذاری لجن قابل اجرا باشد.

Griboirio et al. (2021) در پژوهشی از مدل دینامیک سیالات محاسباتی سه بعدی برای پیکربندی جدید مخزن ته‌نشین اولیه دایره‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد که نصب حفاظ دوم توزیع جریان یکنواخت‌تری را در PST فراهم می‌کند و در نتیجه، مشکلات هیدرودینامیکی مرتبط با اتصال کوتاه ورودی به پایین مخزن کاهش می‌یابد. بافل دوم جریان رو به پایین را سرکوب می‌کند، به‌طور موثر انرژی جنبشی در ورودی را از بین می‌برد و ذرات را مجبور می‌کند به‌سمت پایین PST حرکت کنند. علاوه بر این، بافل دوم اجازه می‌دهد تا در ناحیه ورودی یک لایه پوششی لجن متمرکزتر و لجن ضخیم‌تر تشکیل شود و خطر خروج مواد جامد در پساب PST را کاهش دهد. Patziger (2021) در پژوهشی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب را با استفاده از مدل‌های CFD برای طراحی و بهره‌برداری بهبود داد. نتایج نشان داد که میزان ورودی هوا را می‌توان به‌شدت در بیشتر محفظه‌های شن کاهش داد. همچنین بهینه‌سازی طراحی هندسه ورودی مخازن ته‌نشین اولیه، به‌ویژه در بارهای زیاد ناشی از حوادث طوفان بسیار مهم است. طراحی عملکرد میکسر براساس دستورالعمل‌های طراحی فعلی، اغلب دارای ظرفیت غیرضروری بالا است.

امروزه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی با

که از روی تصفیه‌خانه موجود فاضلاب در تهران برداشته شده است. در مقاله پایه ورودی‌های مختلف جریان به حوضچه ترسیب تحلیل و با مقایسه راندمان ورودی‌های مختلف، ورودی مشخصی به‌عنوان پیشنهاد ارائه شده است. در پژوهش حاضر از همان ورودی و حوضچه ترسیب استفاده و با اضافه نمودن پارامتر رسوب به‌عنوان پارامتر جدید، هیدرولیک و مشخصات جریان و رسوبگذاری در حوضچه مذکور مشخص شده است. مدل مورد مطالعه حوضچه دایره‌ای شکل با قطر ۱۳/۷ متر و ارتفاع ۴/۴ متر است. به‌منظور مشاهده شیوه پخش رسوبات در طول فرآیند تهنشینی، آب موجود در مخزن در شروع فرآیند بدون رسوب (زالال) است و سپس با ورود فاضلاب حاوی رسوب، می‌توان شیوه انتشار مواد معلق و سپس تهنشینی رسوبات را به‌صورت کامل مشاهده نمود. در صورتی که بار سطحی ۶۰ مترمکعب بر مترمربع در روز در نظر گرفته شود (طراحی متوسط)، برای ارتفاع ۴/۵ متر، زمان ماند مورد نیاز بر اساس نشریه شماره ۴۵۰ وزارت نیرو، حدود ۱/۸ ساعت معادل ۶۴۸۰ ثانیه است که در مدل‌سازی ۶۵۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. همچنین دبی ورودی براساس بار سطحی و مساحت حوضچه حدود ۰/۶ مترمکعب بر ثانیه است. براساس نشریه ۴۰۵، شار جرمی مواد جامد بر اساس بده متوسط، ۴۸ کیلوگرم بر مترمربع در روز است که بدین ترتیب جرم کل مواد معلق ورودی به حوض ترسیب ثانویه ۳۷۴۴۰ کیلوگرم در روز و معادل ۴۳۳ میلی گرم در مترمکعب در ثانیه است.

۳- نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و تهنشست در مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه با داده‌های آزمایشگاهی (Shahrokhi et al. (2012) مقایسه شده و توانایی نرم‌افزار Flow3D در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و تهنشست در مخازن تصفیه‌خانه ارزیابی می‌شود. سپس، نتایج واسنجی ارائه شده و نرم‌افزار برای شرایط هندسی و هیدرولیکی دیگر مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفته است.

۳-۱- نحوه شبیه‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D

برای انجام شبیه‌سازی‌های مربوط به یک پروژه در نرم‌افزار FLOW-3D ابتدا بهتر است برای پروژه مورد نظر یک فضای کاری ایجاد و شبیه‌سازی‌های مربوط به آن در فضای کاری ایجاد شده ذخیره شود. زمان مدل‌سازی را ۶۵۰۰ ثانیه معرفی کرده که

استفاده از نرم‌افزارهای مختلف با توجه به قابلیت‌های آن‌ها، به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های روش‌های سنتی و ریاضی مورد توجه قرار گرفته است. فلسفه پیدایش این روش‌ها را می‌توان در این حقیقت دانست که در مسائل بهینه‌سازی مهندسی تصمیم‌گیری با رسیدن به یک جواب مناسب و نه لزوماً بهینه مطلق صورت می‌پذیرد. هدف از تحقیق حاضر، حداقل‌سازی هزینه و بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مخازن تهنشینی ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معادلات حاکم بر جریان

یک روش ساده به‌منظور استفاده این است که فاز مایع مستقل از فاز جامد باشد. فاز جامد بر روی الگوی جریان به‌جز آشفستگی ناشی از اختلاط و چگالی اثر نمی‌گذارد. در مطالعه حاضر از معادله ناویر-استوکس به‌صورت رابطه (۱) استفاده شده است (Andersson, 1945):

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{u_j}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{1}{\rho f} \left(\frac{\partial p}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (1)$$

که ν : بیانگر ویسکوزیته سینماتیک، u : سرعت جریان، p : فشار کل، ρ : چگالی سیال و t : زمان است.

در این تحقیق، از متغیر دما صرف‌نظر شده و تنها دو متغیر ناشناخته سرعت و فشار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. قبل از هر مدل‌سازی باید مشخص شود که سیستم دارای شرایط مرزی و عملیاتی جدا بوده و بدیهی است که برای تکمیل مدل‌سازی عددی، شرایط مرزی برای تمام متغیرهای وابسته ناشناخته موردنیاز خواهد بود. پارامترهای وابسته ناشناخته، مولفه‌های سرعت، فشار، انرژی جنبشی مرتبط با حرکات آشفته جریان، نرخ پراکندگی انرژی آشفته‌گی جریان و غلظت ذرات جامد هستند. در مجموع، تمام سطوح مرزهای آزاد و جامد به‌عنوان مرزهای بدون لغزش رفتار خواهند نمود. این بدان معنی است که سطوح دارای تنش مماسی صفر خواهد بود و این شرایط با تنظیم کردن عدد صفر بر تمام مشتقات سرعت که با استفاده از یک مولفه سرعت یا بیشتر محاسبه شده اند، تعریف خواهد شد.

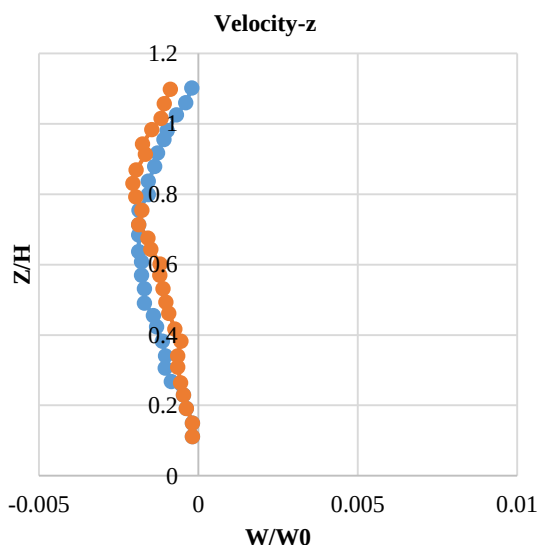
۲-۲- مدل مورد مطالعه

مدل مورد مطالعه برگرفته از (Shahrokhi et al. (2012 است

۵ سانتیمتری و مخزن با مش بندی ۱۰ سانتیمتری مشخص شده- اند. درخصوص تنظیمات ورودی جریان (دبی، رقم، مواد معلق) باید اضافه کرد که میزان وزن هر کدام از دانه های رسوبی براساس نسبت وزنی مندرج در نشریه ۲۷۸ برای هر قطر از میزان کل مواد معلق به دست آمده برای هر مترمکعب (۴۳۳ میلی گرم در مترمکعب برثانیه) محاسبه می شود. در واقع ۵ نوع ذره رسوبی ایجاد شده است که قطر این ذرات و نسبت وزنی آن ها از کل جامدات معلق براساس نشریه ۲۷۸ وزارت نیرو انتخاب شده است. هم چنین فرض شده است که ذرات با قطر بیش از ۳ میلی متر در واحدهای دانه گیری و ته نشینی اولیه حذف شده اند.

۳-۲- صحت سنجی

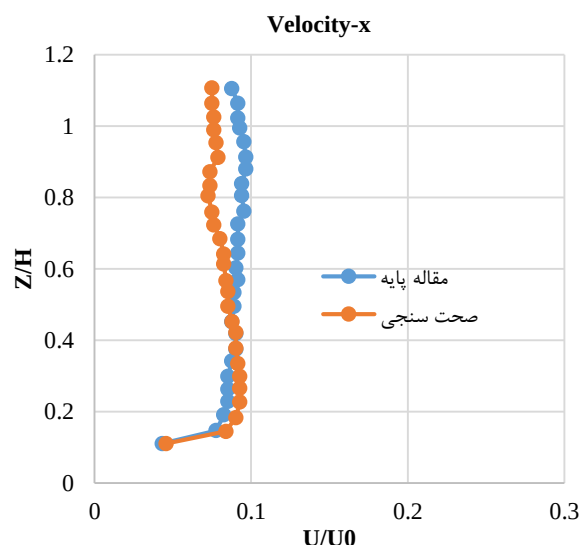
صحت سنجی براساس مدل منتخب Shahrokhi et al. (2012) (بدون اثر رسوب) و دبی ۶۵۰ لیتر بر ثانیه صورت گرفته و نتایج آن در قالب مقایسه توزیع سرعت طولی بی بعد در فاصله ۲۵ متری از ورودی ارایه شده است (شکل ۱). مطابق این شکل، حداکثر خطای محاسباتی کمتر از سه درصد است و بر این اساس، نحوه مدل سازی در پژوهش حاضر قابل اعتماد است.



شکل ۱- مقایسه توزیع سرعت طولی و قائم محاسباتی در فاصله ۲۵ متری از ورودی با نتایج مطالعه Shahrokhi et al. (2012)

هرچه شبکه بندی میدان حل یکنواخت تر باشد، نتایج شبیه سازی عددی پروفیل سطح فاضلاب به داده های مشاهداتی نزدیک تر است (شکل ۲). هم چنین هرچه اندازه سلول های شبکه بندی میدان حل ریزتر در نظر گرفته شده، تطابق قابل قبول تری بین نتایج محاسباتی و مشاهداتی حاصل شده است. در ادامه، شبکه

بر اساس زمان ماند مورد نیاز نشریه ۴۰۵ انتخاب شده است. درخصوص مشخصات فیزیکی مدل، در گام اول اثر جذب هوا در اثر جریان آشفته لحاظ شد، به طوری که پارامتر ضریب میزان جذب و ضریب تنش سطحی را بدون تغییر گذاشته زیرا در اکثر موارد تجربی اعداد ۰/۵ و ۰/۰۷۳ صادق و قابل اعتماد است. شاهرخی و همکاران (۲۰۱۱) سپس در قسمت فعال سازی وابستگی فشار، ثابت گازی هوا ۲۸۶/۹ ژول بر کیلوگرم کلوین دمای مرجع ۱۵ درجه سانتی گراد تعریف شده است. در گام دوم تخمین دانسیته براساس پارامترهایی مانند دما، غلظت و ... مورد نظر قرار گرفته است. در گام سوم اثر شتاب گرانش تعریف می شود که در سیستم SI، معادل ۹/۸۱ متر بر مجذورثانیه است. در گام چهارم برای مشخص کردن جریان ویسکوز و هم چنین روش حل عددی مدل آشفتگی جریان استفاده شد. در مدل سازی به منظور صحت سنجی از روش k-ε استفاده شده است. این مدل آشفتگی در مدل سازی جریان های حاوی رسوب عملکرد بهتری دارد. Shahrokhi et al. (2012) برای ایجاد هندسه پیچیده ورودی از نرم افزار AutoCAD استفاده کردند. سپس محدوده شبکه حل جریان مشخص شد، به طوری که برای حل مسئله، دو شبکه مش بندی مجزا در نظر گرفته شده است. محل ورودی با مش بندی

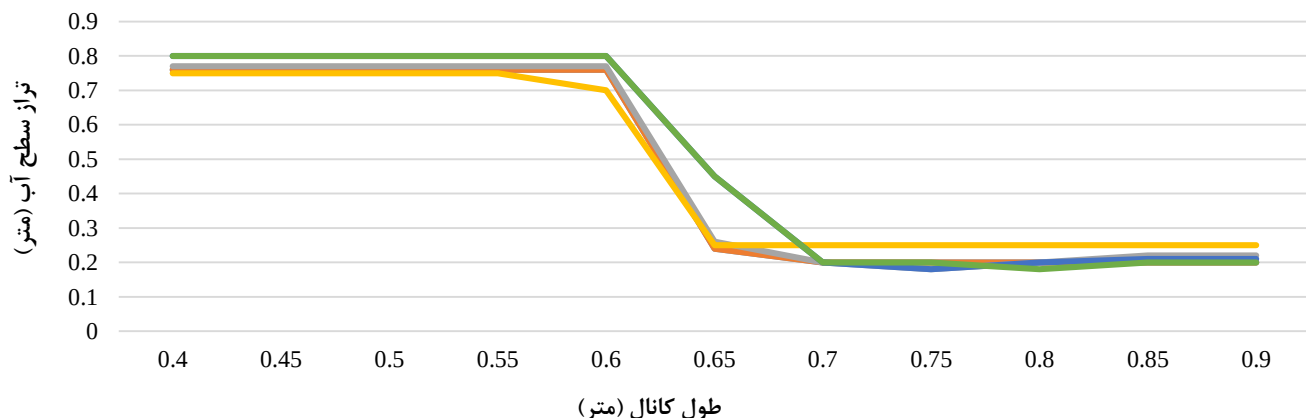


۳-۳- واسنجی مدل

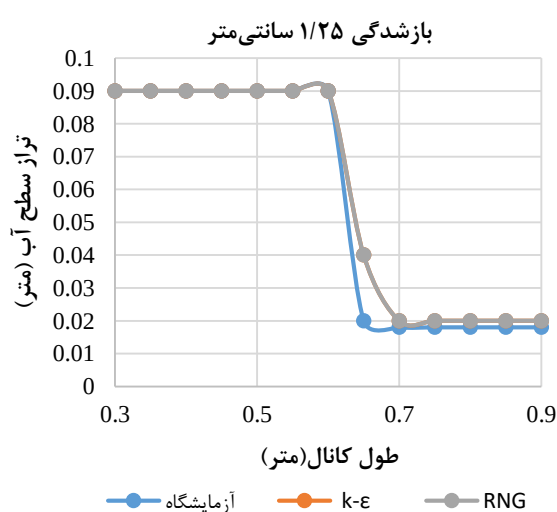
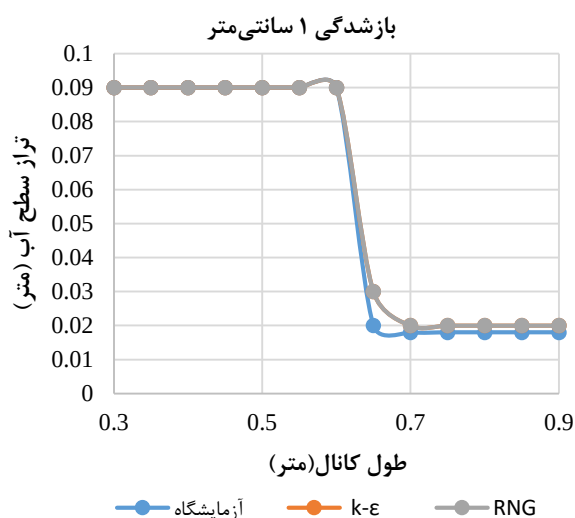
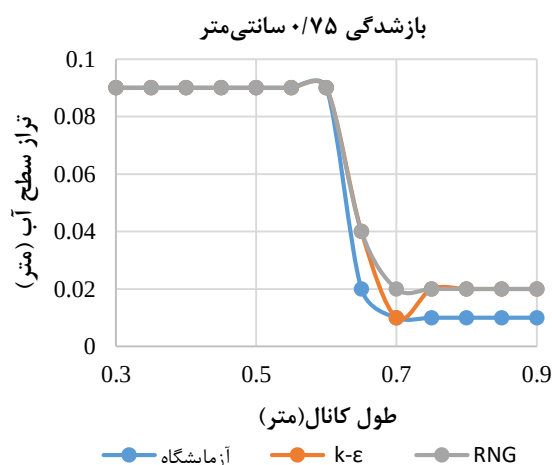
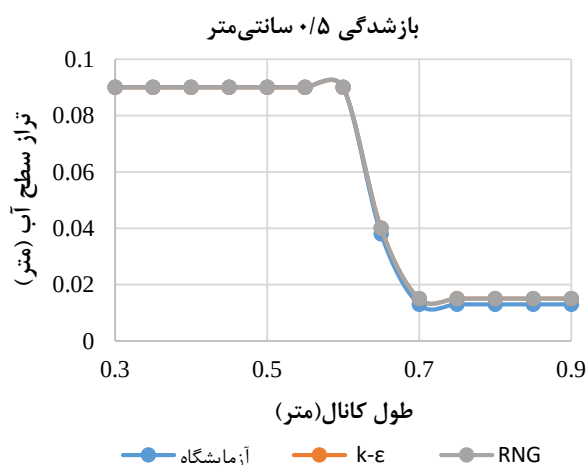
در این بخش، واسنجی مدل با استفاده از داده های آزمایشگاهی Shahrokhi et al. (2012) انجام و برای این منظور، از شبکه بندی های مختلف و مدل های مختلف آشفتگی استفاده شده است. طی شبیه سازی های انجام شده، مشاهده شده است که

است. به‌منظور انتخاب بهترین مدل آشفتگی، نتایج پروفیل سطح فاضلاب حاصل از دو مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ و RNG مقایسه شده است.

مش یکنواخت با تعداد کل مش 162000 به‌منظور مدل‌سازی هیدرولیک جریان انتخاب شده است (ابعاد هر سلول محاسباتی $5 \times 5 \times 5$ میلی‌متر مکعب در نظر گرفته شده است). زمان اجرا برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان، بین 15 – 30 ثانیه انتخاب شده



شکل ۲- مقایسه پروفیل‌های سطح آب محاسباتی و مشاهداتی (بازشدگی 0.75 سانتیمتر و دبی ورودی $2/23$ لیتر بر ثانیه)



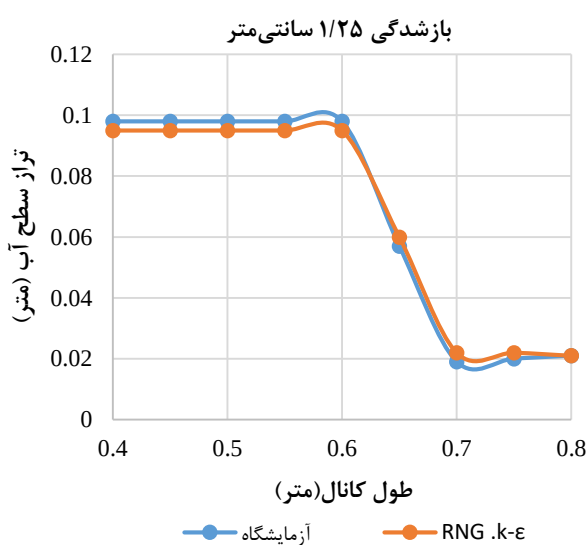
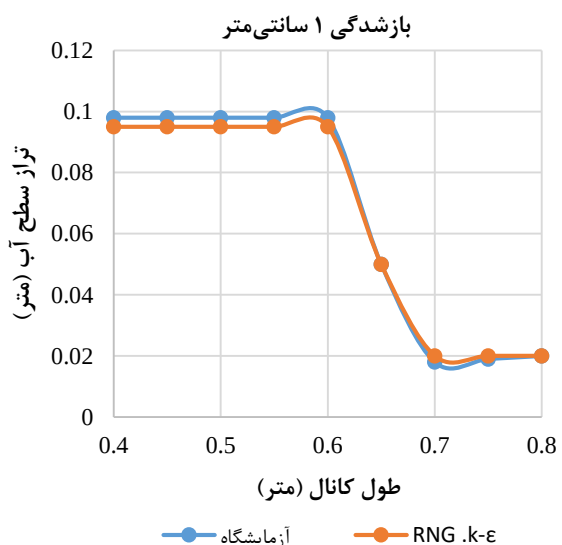
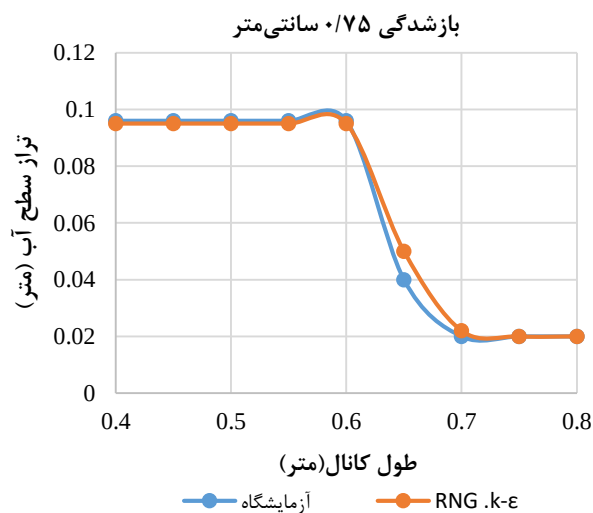
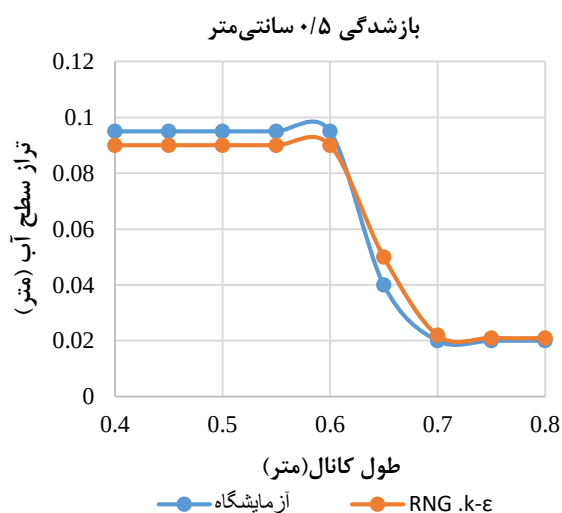
شکل ۳- مقایسه پروفیل سطح فاضلاب (دبی ورودی $2/23$ لیتر بر ثانیه و بازشدگی 0.75 ، 1 ، 1.25 و 0.5 سانتی‌متر)

از مدل RNG k-ε استفاده شده است.

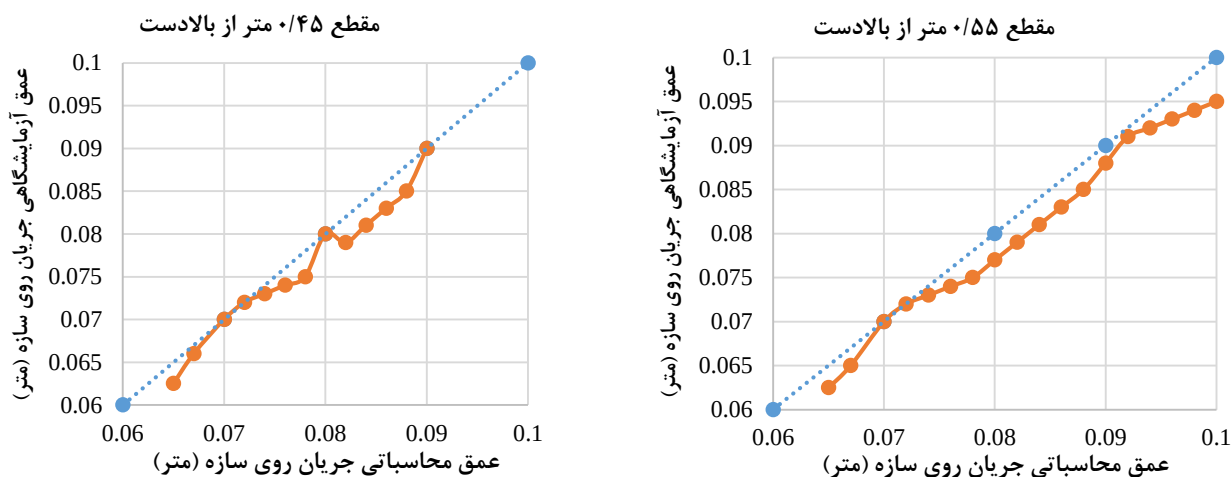
۳-۴- ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی نتایج، مدل سازی هایی با بازشدگی های ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ سانتی متر برای ورودی ۲/۶۴ لیتر بر ثانیه انجام و سپس نتایج پروفیل سطح فاضلاب حاصل از مدل آشفتگی RNG k-ε و داده های آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج در شکل ۴ ارائه شده است. هم چنین برای ارزیابی دقت مدل RNG k-ε در تمامی مدل سازی های انجام شده، عمق جریان در دو مقطع بالادست و روی تصفیه خانه دایره ای شکل با داده های آزمایشگاهی در شکل ۵ مقایسه شده است.

نتایج به دست آمده از منحنی های ارائه شده در شکل ۳ نشان می دهد که مدل های آشفتگی k-ε در نمایش پروفیل سطح فاضلاب نتایج تقریباً مشابهی دارند و تفاوت ناچیزی بین آنها وجود دارد. لیکن مدل های بر پایه RNG k-ε، کمتر بر ارقام ثابت تجربی تکیه می کنند. هم چنین مدل RNG k-ε از معادله هایی استفاده می کند که شبیه معادله های مدل آشفتگی k-ε است. اما مقادیر ثابت معادله که به صورت عملی در مدل استاندارد k-ε یافت شده اند، صریحاً از مدل RNG k-ε گرفته شده اند. از این رو مدل RNG k-ε قابلیت اجرایی گسترده تری نسبت به مدل استاندارد k-ε دارد. به ویژه مدل RNG k-ε برای توصیف دقیق تر آشفتگی جریان و جریان هایی با مناطق دارای برش، قوی تر شناخته شده است. بنابراین برای مدل سازی هیدرولیک جریان در این تحقیق



شکل ۴- مقایسه پروفیل سطح فاضلاب شبیه سازی شده و اندازه گیری شده



شکل ۵- مقایسه عمق‌های محاسباتی و مشاهداتی جریان روی سازه در دو مقطع مختلف از بالادست (۰/۴۵ و ۰/۵۵ متر)

اما روند صعودی مربوط به عدد فرود ناچیز است. مقادیر آمارهای خطا با به‌کارگیری این رابطه به‌صورت جدول ۱ است. برای آزمون رابطه (۲)، نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در معادله و مقادیر به‌دست‌آمده از نرم‌افزار در شکل ۷ مقایسه شده است.

شکل ۸ مقایسه رابطه نسبت دبی ورودی در تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل را نشان می‌دهد. براساس این شکل پراکندگی اعداد در نسبت پایین دبی‌های محاسباتی حاصل از نرم‌افزار و روابط تجربی (Andeson, 1945) کمتر است و با افزایش نسبت‌ها، میزان پراکندگی افزایش یافته است.

در شکل‌های ۹ و ۱۰، نمونه‌ای از توزیع مؤلفه طولی سرعت جریان و توزیع فشار محاسبه شده در اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز - دریچه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود توزیع فشار قبل و بعد از تصفیه‌خانه به‌صورت هیدرواستاتیک بوده، این درحالی است که بر روی تاج سرریز و زیر دریچه به‌دلیل تأثیر انحنای جریان توزیع آن غیرهیدرواستاتیک است.

در شکل ۱۱ الگوی جریان و در شکل ۱۲ توزیع تنش برشی محاسبه شده توسط نرم‌افزار Flow-3D نشان داده شده است. بر این اساس، ناحیه ته‌نشست‌گذار به‌ترتیب در محل‌هایی که بیشترین و کمترین تنش برشی را دارد اتفاق می‌افتد.

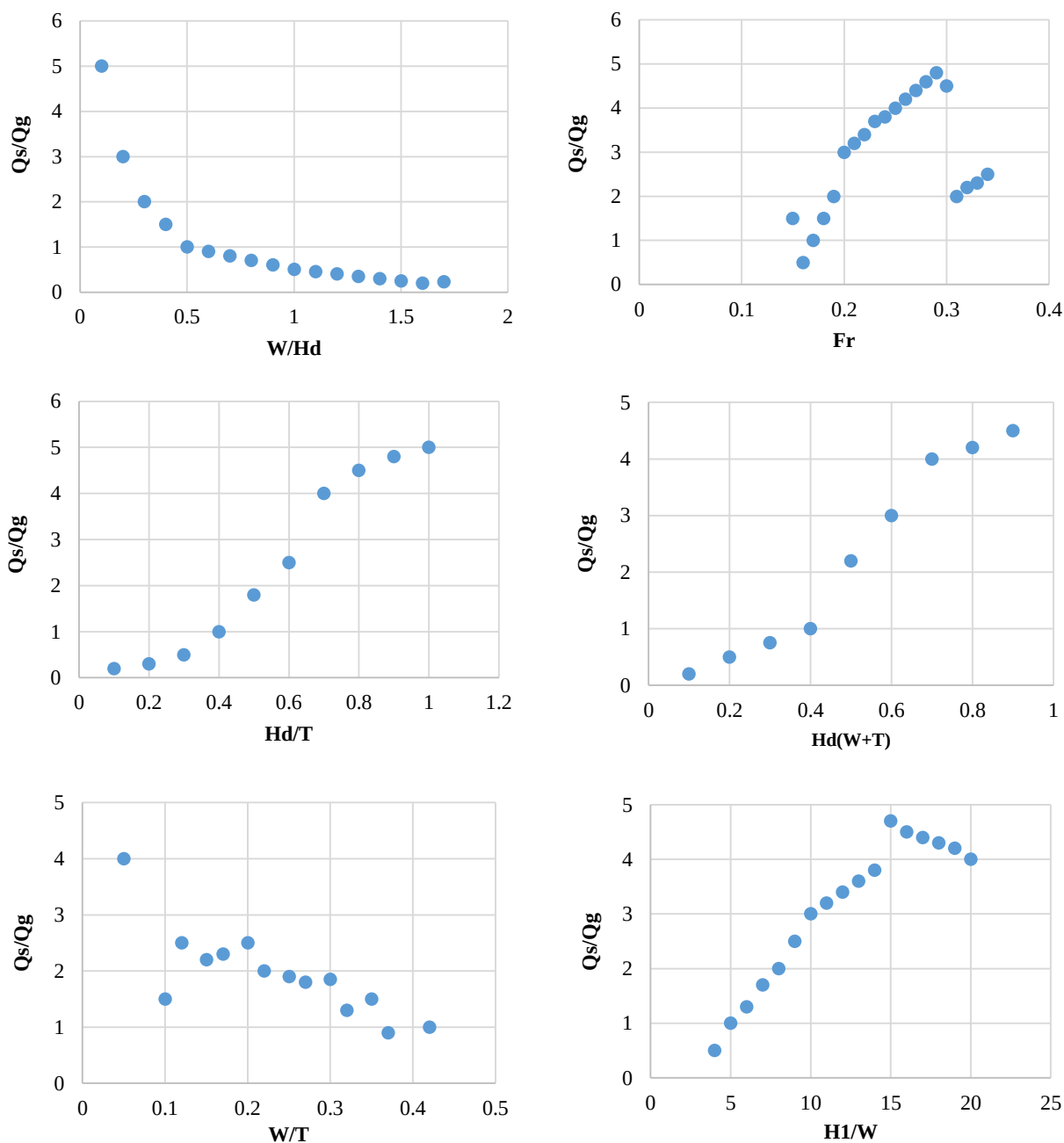
منحنی‌های شکل ۵ در دو مقطع بالادست نشان‌دهنده آن است که نتایج حاصل از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی دارای انطباق خوبی بوده و مدل RNG k-ε مدلی مناسب برای شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه است. به‌منظور تعیین مقادیر دبی ورودی از بالا و پایین تصفیه‌خانه از پروفیل سرعت محاسبه شده در زیر دریچه و روی تاج تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل استفاده شده و مقادیر ورودی متناظر آن‌ها از انتگرال‌گیری پروفیل سرعت محاسبه شده است. به‌همین منظور، ابتدا براساس پارامترهای مؤثر در جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل که عبارتند از بازشدگی W ، طول تصفیه‌خانه T ، هد روی تصفیه‌خانه H_d و عمق بالادست تصفیه‌خانه H_1 و استفاده از پارامترهای بی‌بعد حاصل از آن، چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد با نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز به عبوری از زیر دریچه $(\frac{Q_s}{Q_g})$ با ارائه منحنی بررسی و برای تعیین نسبت دبی ورودی‌ها، رابطه (۲) ارائه شده است.

$$\frac{Q_s}{Q_g} = 0.3167 (Fr)^{-0.13589} \left(\frac{H_1}{W}\right)^{0.96783} \left(\frac{H_d}{T}\right)^{1.2917} \quad (2)$$

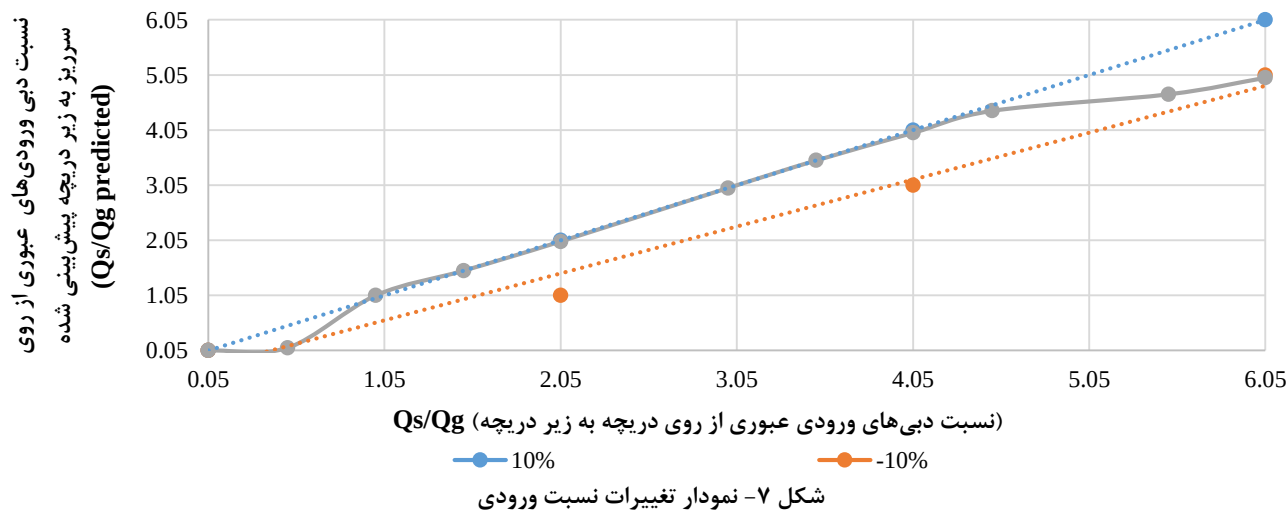
در شکل ۶، روند صعودی در منحنی‌های مربوط به رابطه نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ با پارامترهای بی‌بعد Fr ، $\frac{H_1}{W}$ و $\frac{H_d}{T}$ مشاهده می‌شود،

جدول ۱- نتایج آماری مربوط به خطا

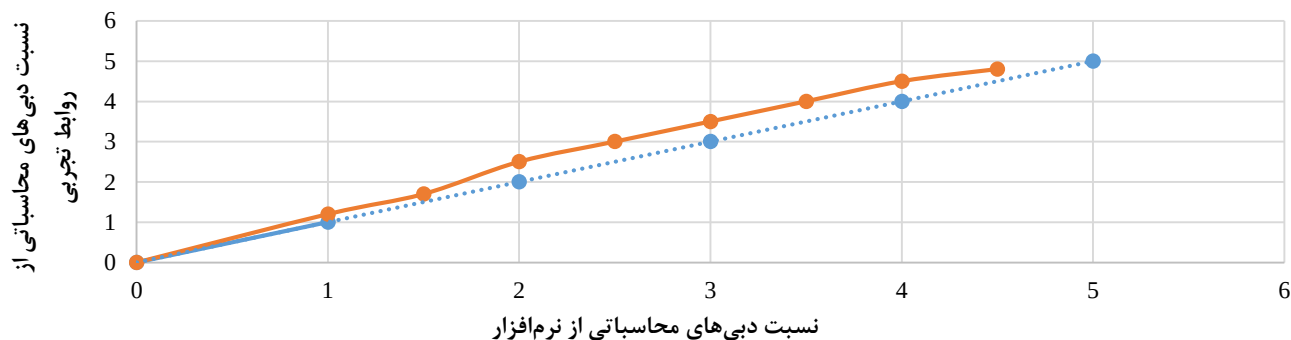
جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)	نسبت همبستگی (R^2)	میانگین نسبت‌ها	انحراف معیار نسبت‌ها
۰/۰۹۹۴	۰/۹۹۲۴۳۵	۱/۰۱۱۱	۰/۰۶۱۲۴



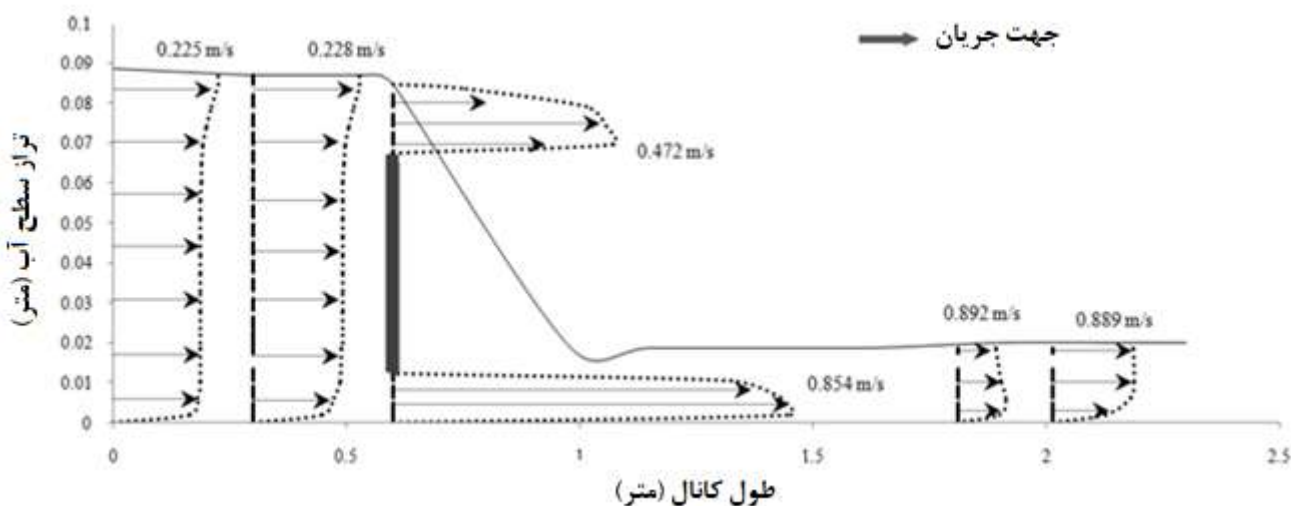
شکل ۶- نمایش چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد



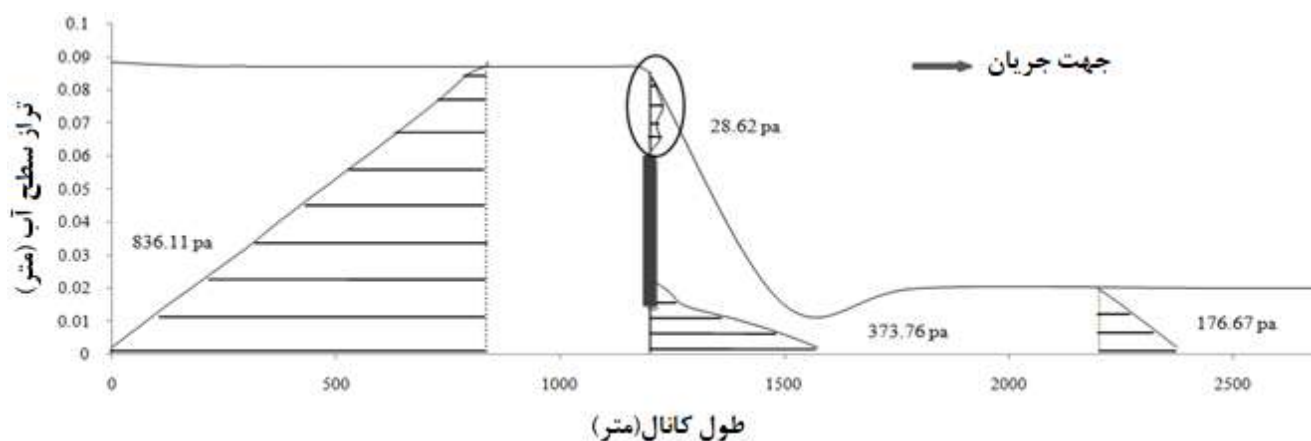
شکل ۷- نمودار تغییرات نسبت ورودی



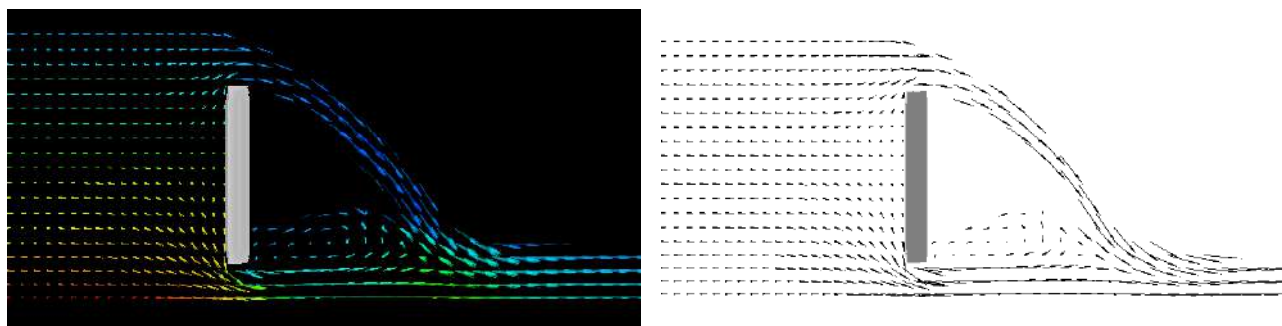
شکل ۸- مقایسه رابطه نسبت ورودی‌ها در تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل



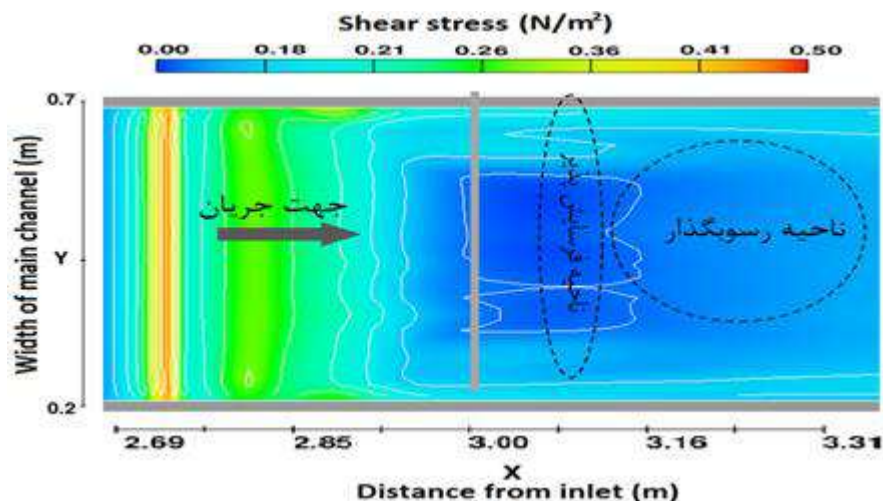
شکل ۹- توزیع مؤلفه طولی سرعت جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل



شکل ۱۰- توزیع فشار جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل در طول کانال



شکل ۱۱- الگوی جریان اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز- دریچه

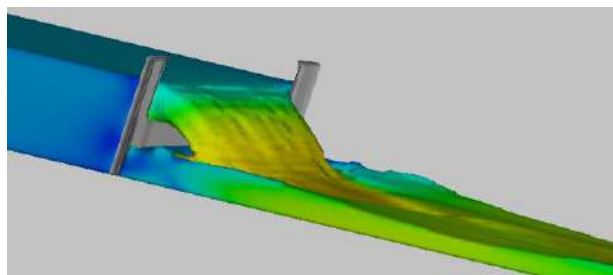


شکل ۱۲- توزیع تنش برشی کف در اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز- دریچه

۳-۵- بررسی تأثیر انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

با استفاده از مدل واسنجی مربوط به هیدرولیک جریان، برای بررسی تأثیر میزان انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل بر روی نسبت ورودی فاضلاب شهر، مدل‌سازی‌هایی برای ۵ حالت

انقباض جانبی به اندازه ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۰/۵ سانتی‌متر صورت گرفت. لازم به ذکر است که مدل‌سازی‌ها برای بازشدگی، ورودی و طول تصفیه‌خانه یکسان و میزان انقباض متفاوت انجام شده است. شکل ۱۳ شماتیکی از جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل دارای انقباض جانبی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- شماتیکی از جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل دارای انقباض جانبی

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، با افزایش میزان انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل، عمق بالادست تصفیه‌خانه و

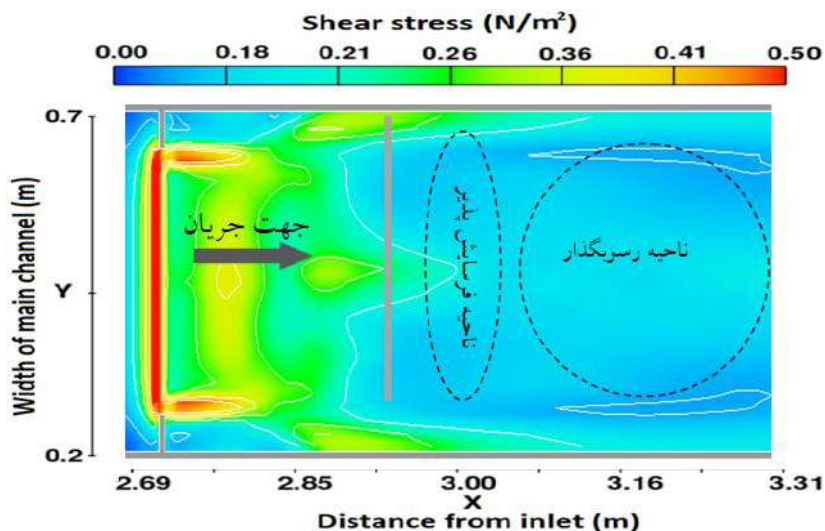
عمق روی تصفیه‌خانه افزایش یافته و در نتیجه، نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز به زیر دریچه ($\frac{Q_s}{Q_g}$) افزایش یافته است.

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل‌سازی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل همراه با انقباض جانبی برای نسبت ورودی‌ها

نسبت Q_s/Q_g	عمق مخازن تصفیه‌خانه (متر)	عمق روی تصفیه‌خانه (متر)	عمق بالادست تصفیه‌خانه (متر)	میزان انقباض (متر)
۲/۰۶۴	۰/۰۲۱۸	۰/۰۷۶۵	۰/۰۸۰۲	۰
۲/۱۵۵	۰/۰۲۱۷	۰/۰۷۷۹	۰/۰۸۲	۰/۰۰۵
۲/۴۵۳	۰/۰۲۱۶	۰/۰۸۰۴	۰/۰۸۵	۰/۰۱
۲/۶۳۸	۰/۰۲۱۴	۰/۰۸۳۵	۰/۰۸۸	۰/۰۱۵
۲/۸۶۸	۰/۰۲۱۹	۰/۰۸۷	۰/۰۹۲۱	۰/۰۲
۲/۹۸۹	۰/۰۲۲۲	۰/۰۹۰۱	۰/۰۹۵	۰/۰۲۵

همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود با انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز دریچه، توزیع تنش برشی با

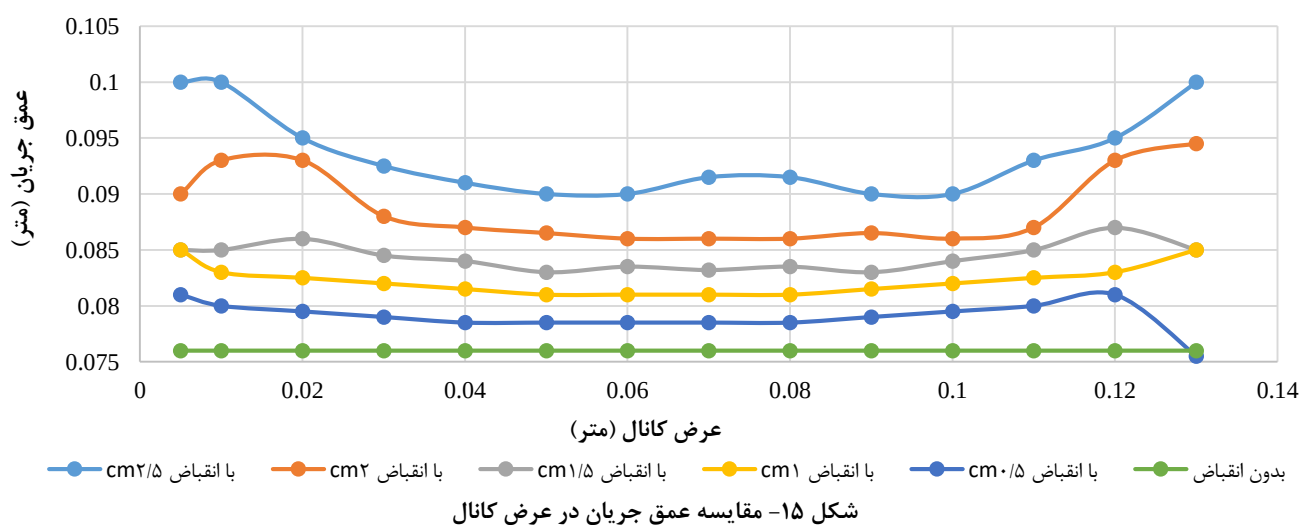
حالت بدون انقباض متفاوت بوده به‌طوری‌که باعث تغییر در شکل حفره ته‌نشست شده است.



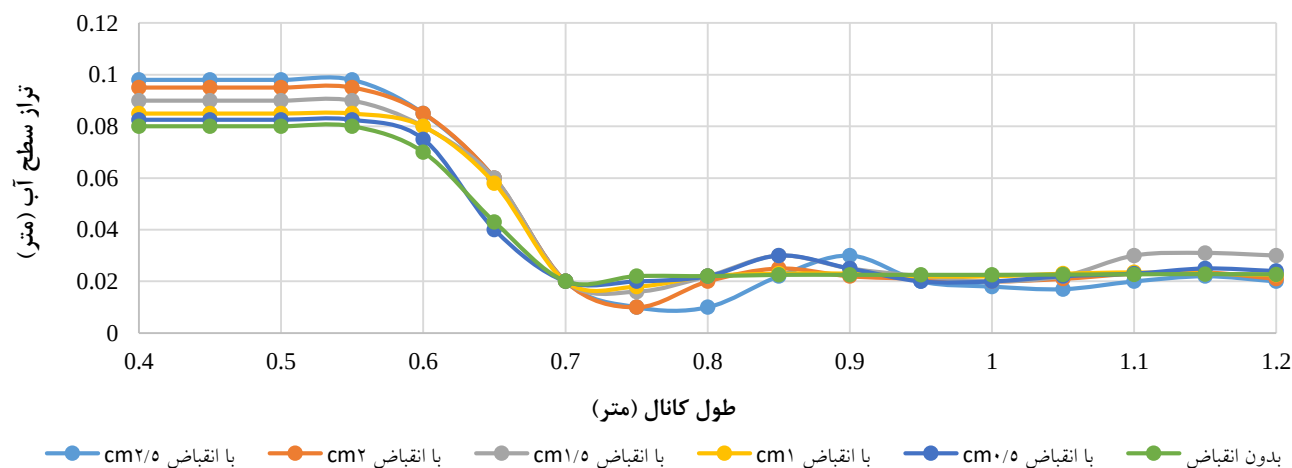
شکل ۱۴- توزیع تنش برشی کف با انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه

شده است. نتیجه می‌شود که هرچه انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه بیشتر باشد تراز سطح فاضلاب بالاتر قرار می‌گیرد.

هم‌چنین توزیع عرضی سطح آزاد فاضلاب بلافاصله قبل از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه و پروفیل تراز سطح فاضلاب در طول کانال برای حالات مختلف انقباض جانبی و بدون انقباض تصفیه‌خانه مقایسه و نتایج در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ ارائه



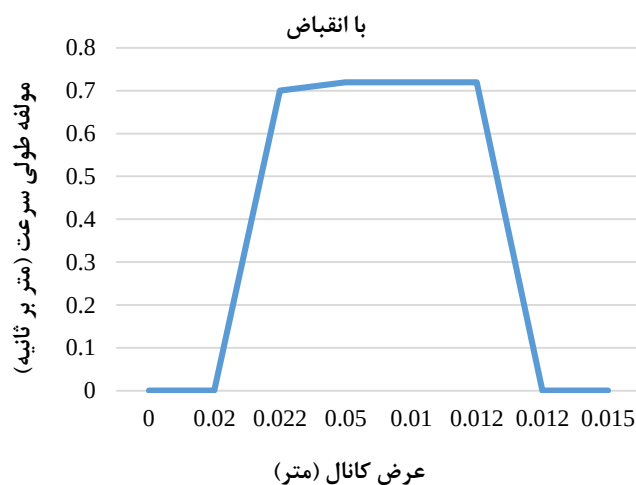
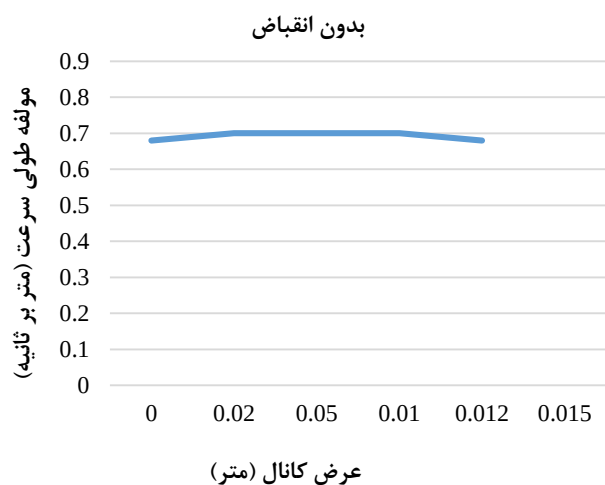
شکل ۱۵- مقایسه عمق جریان در عرض کانال



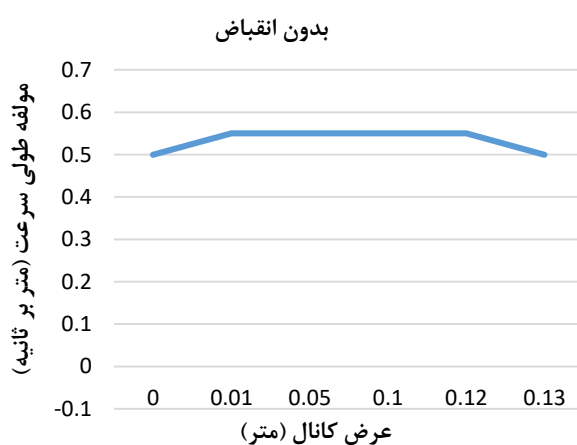
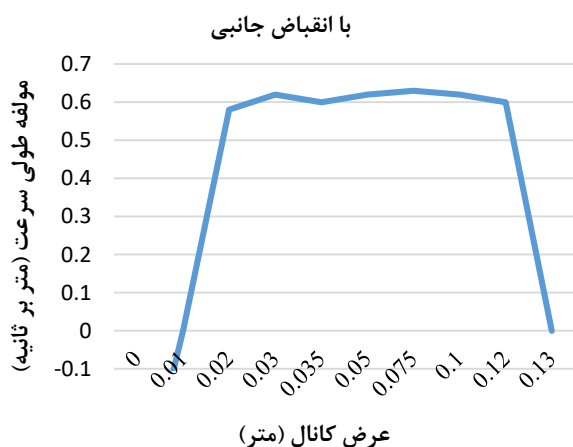
شکل ۱۶- مقایسه عمق جریان در طول کانال به ازای میزان انقباض‌های جانبی مختلف

در بخش‌های رو و زیر تصفیه‌خانه، شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ با بازشدگی دریاچه ۰/۷۵ سانتی‌متر و ورودی ۲/۲۳ لیتر بر ثانیه ارائه شده است.

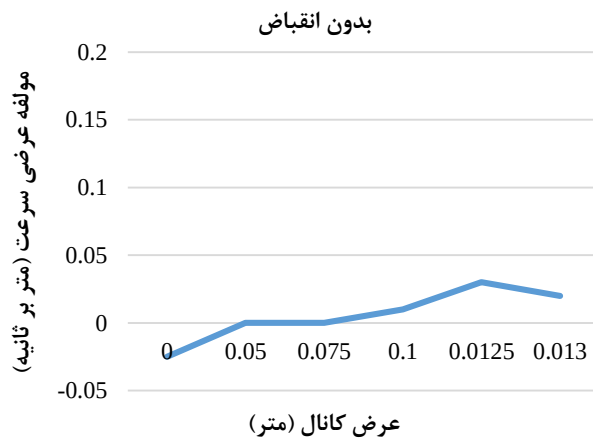
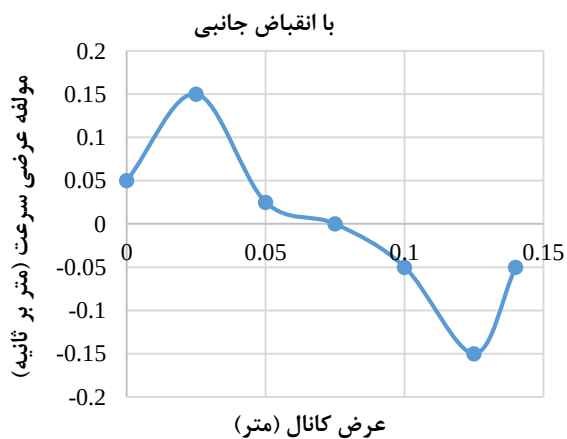
به‌منظور مقایسه توزیع مؤلفه طولی و عرضی سرعت در پلان بین دو حالت با انقباض جانبی ۱/۵ سانتی‌متر به‌عنوان حالت ماکزیمم و حالت بدون انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل



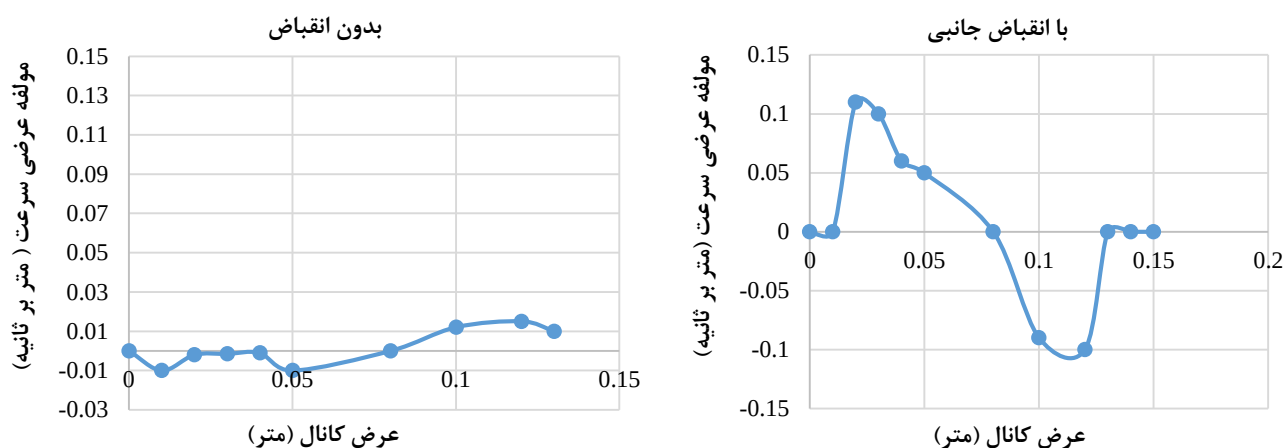
شکل ۱۷ - توزیع مؤلفه طولی سرعت در زیر تصفیه‌خانه



شکل ۱۸ - توزیع مؤلفه طولی سرعت روی تصفیه‌خانه



شکل ۱۹ - توزیع مؤلفه عرضی سرعت در زیر تصفیه‌خانه



شکل ۲۰- توزیع مؤلفه عرضی سرعت روی تصفیه‌خانه در دو حالت با انقباض و بدون انقباض

که مدل‌های $k-\varepsilon$ و RNG $k-\varepsilon$ حفره ته‌نشست و تپه ته‌نشستی تشکیل شده در جلوی حفره را شبیه‌سازی نمودند، ولی مدل آشفتگی LES در شبیه‌سازی عددی ته‌نشست، نتیجه بهتری از دو مدل آشفتگی دیگر نشان داده است.

در ادامه، تأثیر پارامترهای مربوط به مشخصه ته‌نشست بر میزان حداکثر عمق ته‌نشست بررسی شده است. برای بررسی اثر پارامتر شیلدز بحرانی در مطالعه حاضر از اعداد 0.05 ، 0.1 و 0.15 استفاده شده که دلیل انتخاب این محدوده بزرگ نشان دادن روند بهتر جریان است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار پارامتر شیلدز بحرانی، منجر به کاهش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. همچنین طبق جدول ۳ تأثیر این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست ناچیز است.

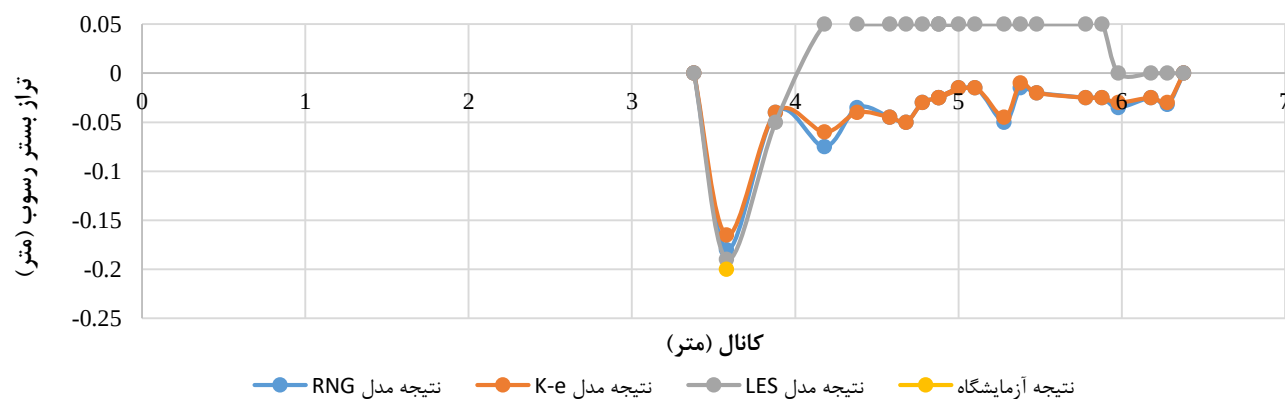
جدول ۳- تأثیر پارامتر عدد شیلدز بحرانی بر حداکثر عمق ته‌نشست

پارامتر شیلدز بحرانی	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
۰/۰۵	۰/۰۸۲۸
۰/۱	۰/۰۸۱۹
۰/۱۵	۰/۰۷۹۹۹

انقباض جانبی در تصفیه‌خانه‌های دایره‌ای شکل سرریز-دریچه عامل تغییر سرعت در اطراف تصفیه‌خانه است. در حالت تصفیه‌خانه‌های با انقباض جانبی، مقادیر سرعت‌های عرضی در زیر دریچه و روی سرریز در مقایسه با تصفیه‌خانه‌های هم‌عرض بسیار قابل‌ملاحظه بوده به‌طوری‌که عاملی برای اختلاط و پیچیدگی جریان در مخازن این تصفیه‌خانه‌ها و نیز تفاوت الگوی تنش برشی در کف و در نتیجه الگوی ته‌نشست در مخازن این تصفیه‌خانه‌ها است.

۳-۶- شبیه‌سازی ته‌نشست مخازن

به‌منظور واسنجی نرم‌افزار در شبیه‌سازی ته‌نشست، از مدل‌های آشفتگی مختلف و تغییر در پارامترهای مختلف ته‌نشست استفاده شده است. به‌منظور انتخاب بهترین مدل آشفتگی در فرآیند واسنجی، مقایسه نتایج پروفیل بستر حاصل از سه مدل آشفتگی LES، $k-\varepsilon$ و RNG $k-\varepsilon$ با مقادیر آزمایشگاهی صورت گرفته است (شکل ۲۱). نتایج نشان می‌دهد که هر سه مدل آشفتگی LES، $k-\varepsilon$ و RNG $k-\varepsilon$ توانسته‌اند به خوبی پروفیل ته‌نشست را شبیه‌سازی نمایند. نگاه دقیق‌تر به نتایج نشان می‌دهد



شکل ۲۱- مقایسه دقت شبیه‌سازی حفره ته‌نشست

است.

جدول ۶- تأثیر پارامتر حداکثر ضریب تراکم مواد بستر بر حداکثر عمق ته‌نشست

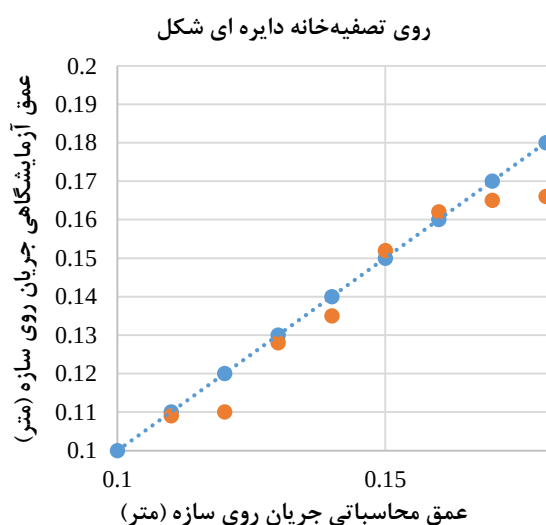
مقدار حداکثر ضریب تراکم مواد بستر	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
۰/۳۸	۰/۰۶۴۴
۰/۵	۰/۰۶۲۴
۰/۷	۰/۰۶۰۲

نتایج کلیه مدل‌سازی‌های انجام شده برای تعیین بهترین مقدار پارامترهای مؤثر در حفره ته‌نشست در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷- بهترین مقادیر برای پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی حفره ته‌نشست

۰/۷	حداکثر اصطکاک
۰/۱	عدد شیلدز بحرانی
۱/۲	ضریب درگ
۰/۱۸	ضریب جذب
۸	ضریب بار بستر
۳۵	زاویه ایستایی (درجه)

به‌منظور ارزیابی دقت مدل LES در تمامی مدل‌سازی‌های انجام شده، عمق جریان در مقطع بالادست و روی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل در شکل ۲۲ مقایسه شده است. همچنین در شکل ۲۳ مقایسه نتایج حداکثر عمق ته‌نشست محاسباتی و داده‌های آزمایشگاهی (Shahrokhi et al. (2012 قابل رویت است.



شکل ۲۲- ارزیابی دقت نرم‌افزار برای عمق جریان در بالادست و روی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

به‌منظور بررسی اثر پارامتر ضریب دراگ از سه مقدار ۰/۵، ۱ و ۱/۵ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار پارامتر ضریب دراگ، منجر به افزایش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. همچنین طبق جدول ۴ این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست تأثیر نسبتاً زیادی دارد.

جدول ۴- تأثیر پارامتر ضریب دراگ بر حداکثر عمق ته‌نشست

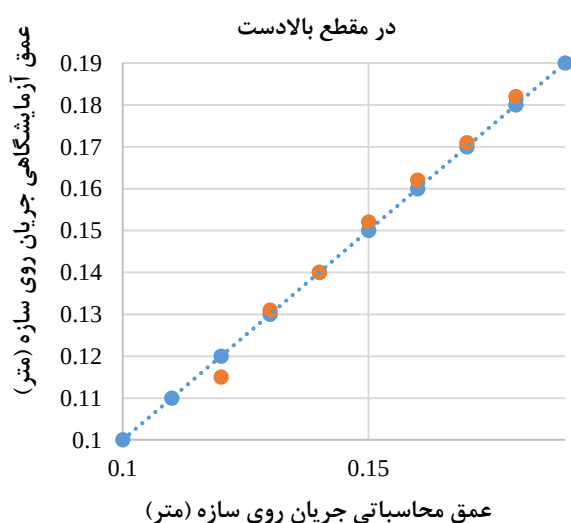
پارامتر ضریب دراگ	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
۰/۵	۰/۰۸۵۱
۱	۰/۱۰۶۸
۱/۵	۰/۱۰۷۶

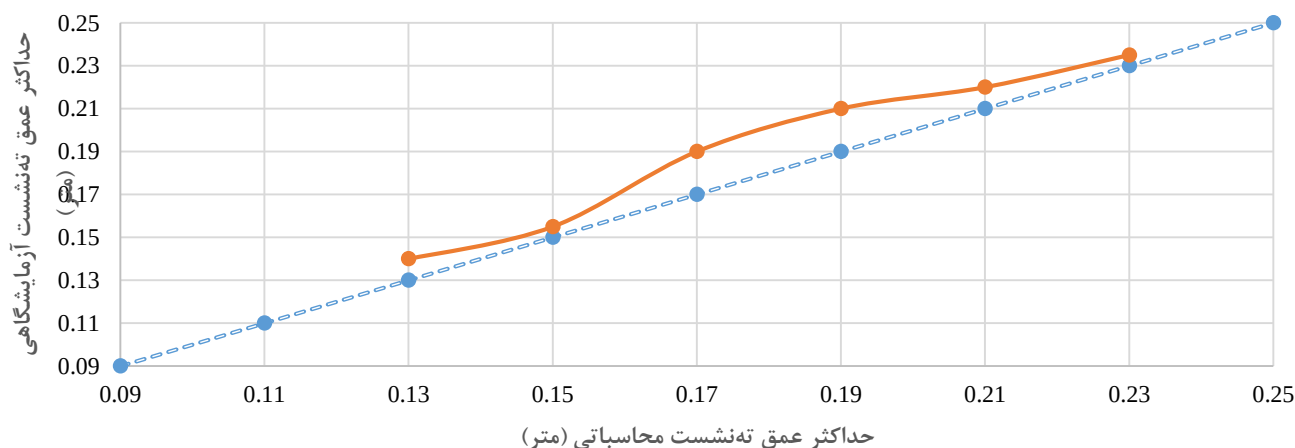
برای بررسی اثر میزان زاویه ایستایی، از مقادیر ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش میزان زاویه ایستایی، منجر به کاهش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. همچنین طبق جدول ۵ تأثیر این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست زیاد است.

جدول ۵- تأثیر زاویه ایستایی بر حداکثر عمق ته‌نشست

زاویه ایستایی (درجه)	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
۳۰	۰/۰۸۱۹۷
۳۵	۰/۰۶۹۹۹
۴۰	۰/۰۶۰۳۹

به‌منظور بررسی اثر پارامتر حداکثر ضریب تراکم مواد بستر از سه مقدار تصادفی ۰/۳۸، ۰/۵ و ۰/۷ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار پارامتر حداکثر ضریب تراکم مواد بستر، منجر به کاهش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. همچنین طبق جدول ۶ تأثیر این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست ناچیز





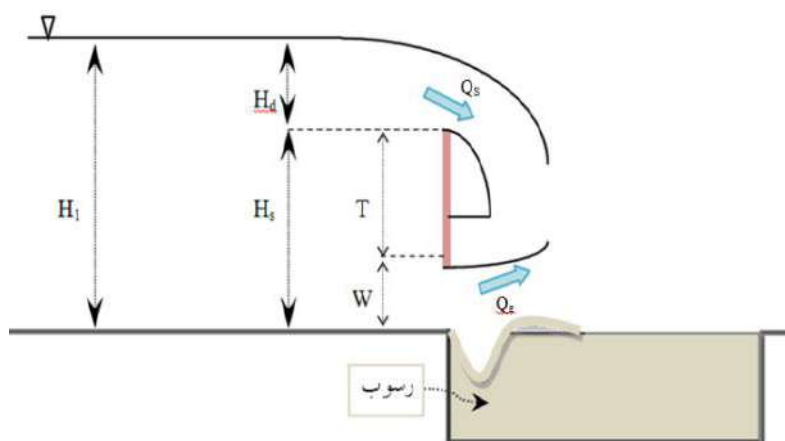
شکل ۲۳- ارزیابی دقت نرم‌افزار برای خداکثر عمق ته‌نشست

ارائه منحنی بررسی شده است. شکل ۲۴ نمای شماتیکی از جریان عبوری از سرریز و زیر دریچه در بستر متحرک را نشان می‌دهد. در نهایت براساس پارامترهای بی‌بعد Fr و $\frac{H_1}{W}$ و $\frac{H_d}{T}$ معادله‌ای برای محاسبه نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ ارائه شد. منحنی‌های مربوط به رابطه نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ با پارامترهای بی‌بعد Fr و $\frac{H_1}{W}$ و $\frac{H_d}{T}$ در شکل ۲۵ روند صعودی داشته اما روند صعودی مربوط به عدد فرود ناچیز است. با برازش منحنی بر داده‌های محاسباتی، رابطه (۳) به‌منظور برآورد نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ ارائه شده است.

$$\frac{Q_s}{Q_g} = 0.641202 (Fr)^{-0.14064} \left(\frac{H_1}{W}\right)^{0.82775} \left(\frac{H_d}{T}\right)^{1.31624} \quad (3)$$

مقادیر آمارهای خطا با به‌کارگیری رابطه (۳) به‌صورت جدول ۸ است.

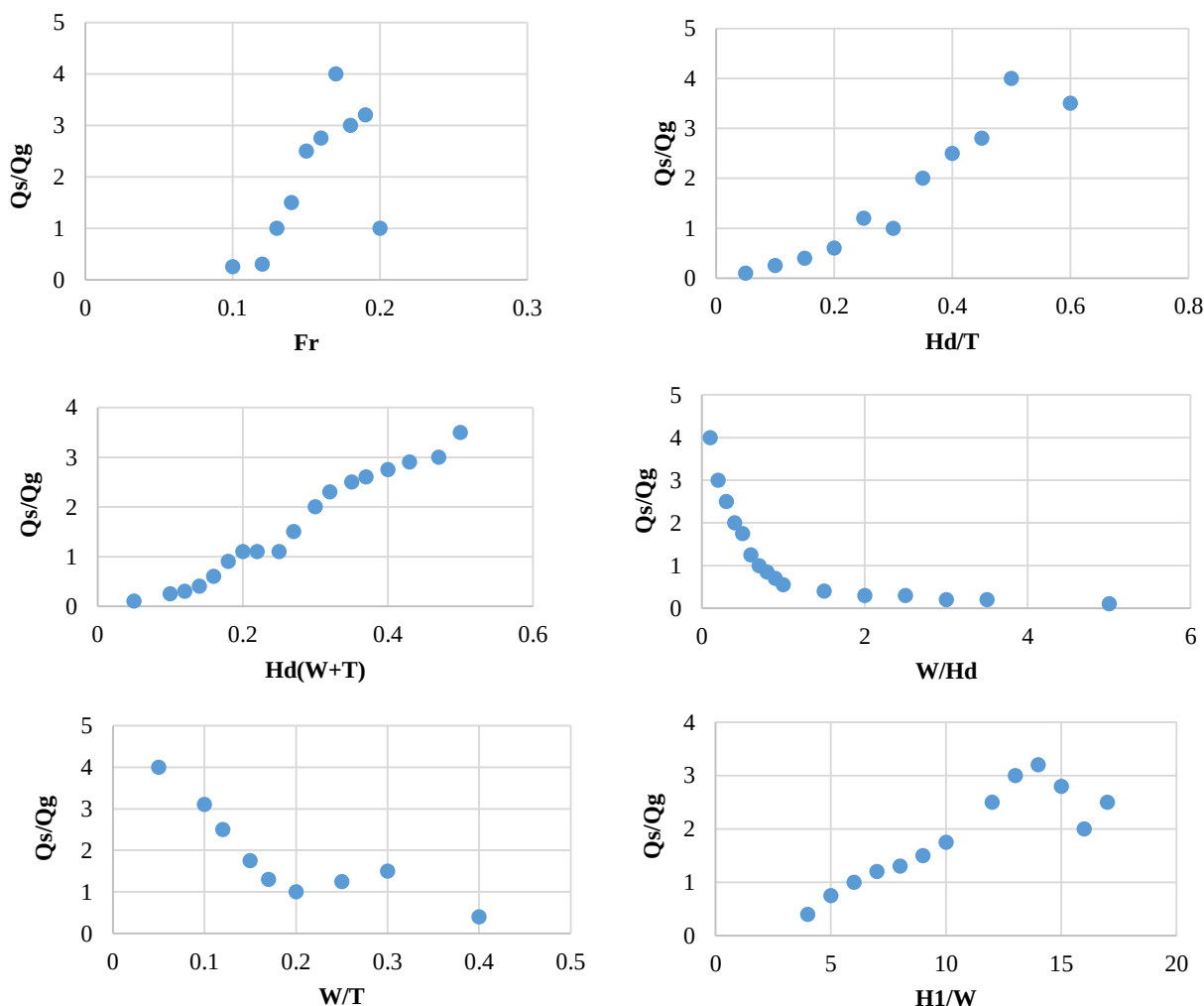
با توجه به منحنی‌های نمایش داده شده، نتایج محاسباتی با نتایج آزمایشگاهی دارای انطباق خوبی بوده و همچنین مدل LES، مدلی مناسب برای شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در بستر متحرک است. همچنین با استفاده از مدل واسنجی مربوط به ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل، مدل‌سازی‌هایی با اضافه‌کردن یک بازشدگی و یک ورودی برای آنالیز ابعادی انجام شد. به‌منظور تعیین مقادیر ورودی عبوری از بالا و پایین تصفیه‌خانه از پروفیل سرعت محاسبه شده در زیر دریچه و روی تاج تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل استفاده شده و مقادیر ورودی متناظر آن‌ها از انتگرال‌گیری پروفیل سرعت محاسبه شده است. به‌همین منظور، ابتدا براساس پارامترهای مؤثر در جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل که عبارتند از بازشدگی W ، طول تصفیه‌خانه T ، هد روی تصفیه‌خانه H_d و عمق بالادست تصفیه‌خانه H_1 و استفاده از پارامترهای بی‌بعد حاصل از آن، چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد با نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز به عبوری از زیر دریچه $\left(\frac{Q_s}{Q_g}\right)$ با



شکل ۲۴- شماتیکی از جریان دایره‌ای شکل عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در بستر متحرک

جدول ۸- نتایج آمارهای خطا

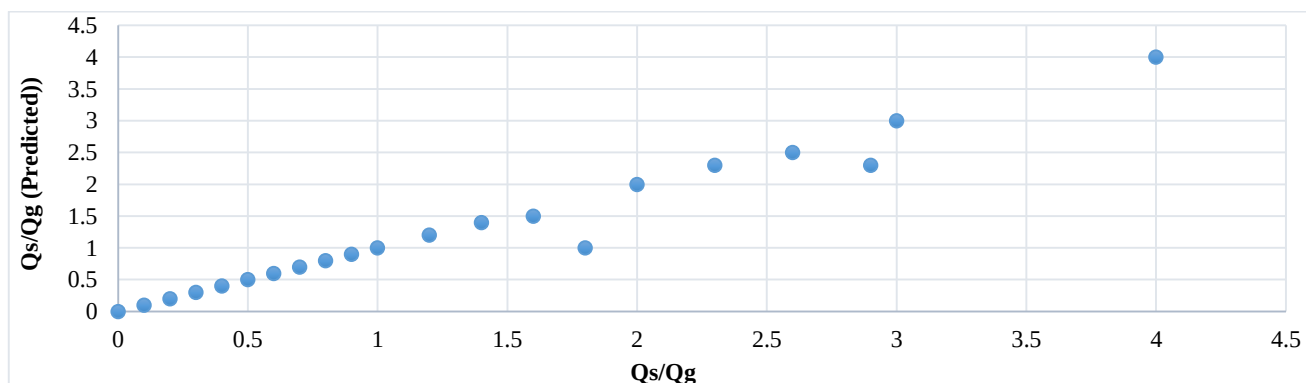
جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)	نسبت همبستگی (R^2)	میانگین نسبت‌ها	انحراف معیار نسبت‌ها
۰/۱۲۷۸۵	۰/۹۸۳۴	۱/۰۰۴	۰/۰۹۳۸۵



شکل ۲۵- نمایش چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

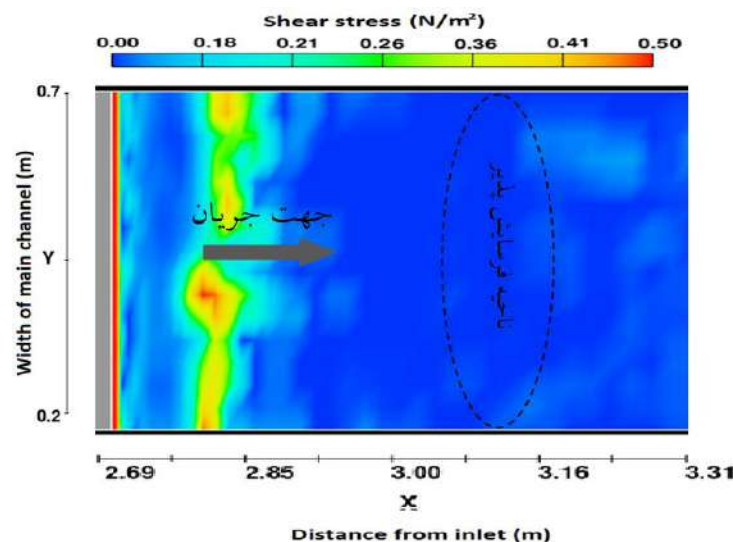
محور قائم مربوط به نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در معادله و محور افقی مربوط به نسبت دبی ورودی‌های محاسباتی است.

برای آزمون رابطه پیشنهادی، نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در معادله و مقادیر به‌دست آمده از نرم‌افزار مقایسه شده که در شکل ۲۶ قابل رویت است، به‌طوری‌که



شکل ۲۶- نمودار نسبت دبی ورودی عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در حالات محاسباتی

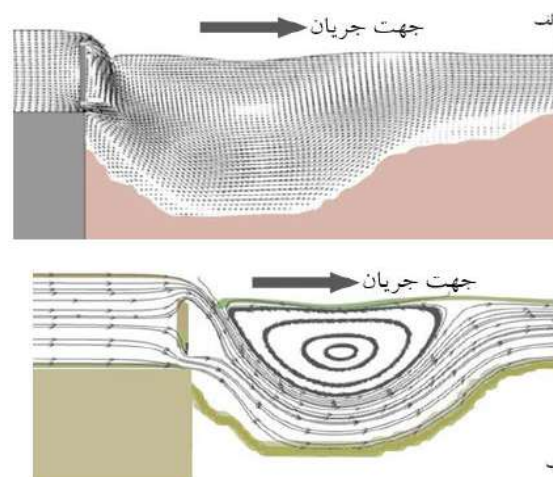
به پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در دو حالت مدل‌سازی هیدرولیک جریان و ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل بررسی شده است. نتایج ارائه شده در شکل ۲۹ بیانگر آن است که نسبت دبی ورودی‌ها به پارامتر بی‌بعد $\frac{W}{H_d}$ و فاضلاب بستگی ندارد.



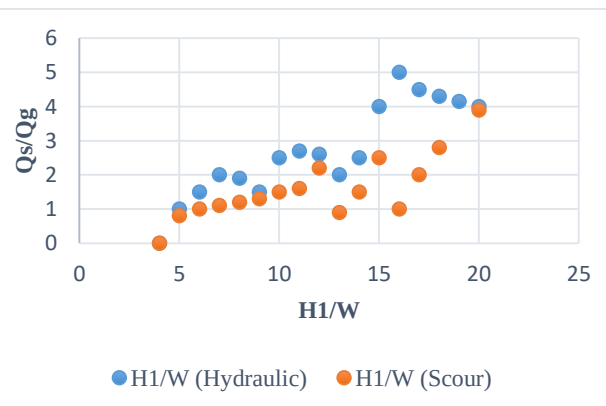
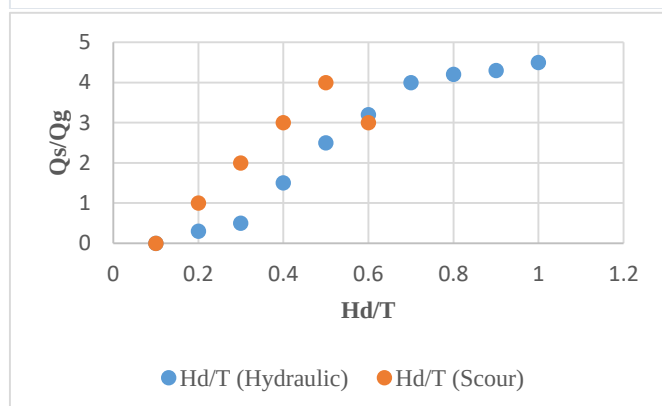
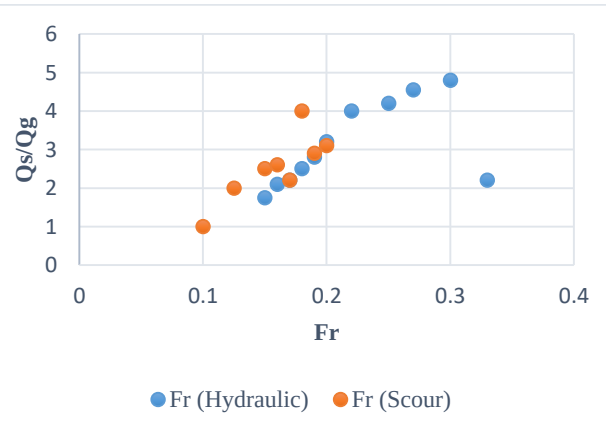
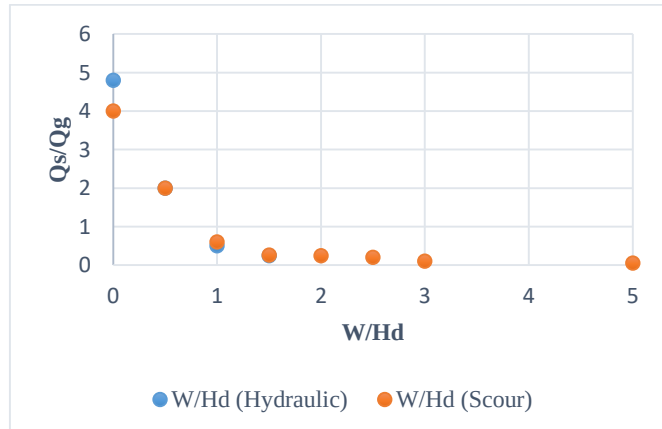
شکل ۲۸- توزیع تنش برشی کف در اطراف حفره ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در ابتدای اجرای برنامه

همچنین در شکل ۲۷ الگوی جریان و در شکل ۲۸ توزیع تنش برشی کف در اطراف حفره ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه محاسبه شده توسط نرم‌افزار Flow3D نشان داده شده است.

در نهایت، به منظور مقایسه روند تغییرات نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز به عبوری از زیر دریچه نسبت



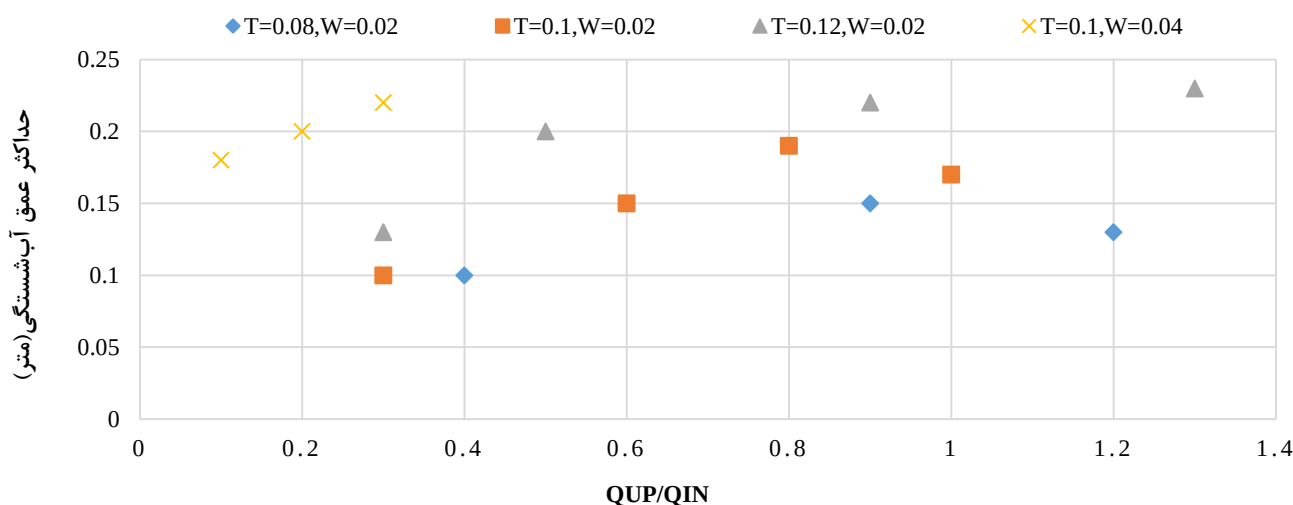
شکل ۲۷- الگوی جریان اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه: (الف) بردارهای سرعت؛ (ب) خطوط جریان



شکل ۲۹- مقایسه رابطه پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل با نسبت ورودی عبوری از روی تصفیه‌خانه به ورودی عبوری از زیر دریچه $(\frac{Q_s}{Q_g})$ برای بستر ته‌نشست و بستر صلب

می‌دهد که براساس آن، افزایش نسبت ورودی‌ها با افزایش حداکثر عمق ته‌نشست همراه است.

همچنین شکل ۳۰ رابطه حداکثر عمق ته‌نشست با نسبت ورودی‌های عبوری از رو و زیر تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل را نشان



شکل ۳۰- نمودار رابطه حداکثر عمق ته‌نشست با نسبت ورودی‌های عبوری از رو و زیر تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

۴- نتیجه گیری

برازش منحنی) به‌دست آمده است که بیانگر میزان همبستگی بالای متغیرهای فوق است.

- با افزایش پارامترهای بی‌بعد $\frac{H_d}{T}$ و $\frac{H_1}{W}$ ، نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز به زیر دریچه ($\frac{Q_s}{Q_g}$) افزایش و با توجه به روند صعودی ناچیز نمودار عدد فرود، اما با افزایش پارامتر بی‌بعد Fr ، نسبت دبی ورودی‌ها کاهش می‌یابد.

۵- مراجع

- منزوی، م.، (۱۳۸۴)، *فاضلاب شهری (تصفیه فاضلاب)*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- عظیمی ساریخان بگلو، م.، و جباری، ا.، (۱۳۹۵)، "بهینه‌سازی آرایش ورودی مخازن ته‌نشینی اولیه مستطیلی شکل در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه قم، قم، ایران.
- Anderson, N.E., (1945), "Design of final settling tanks for activated sludge", *Sewage Works Journal*, 17 (4), 50-65.
- Ashby, S.F., Manteuffel, T.A., and Saylor, P.E., (1990), "A taxonomy for conjugate gradient methods", *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 27(6), 1542-1568.
- Aslam, M.T., Kainz, H., and Gruber, G., (2011), "Description of the settling behaviour of solids in wastewater. In canal Management", *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 225(2), 4-30.
- Borna, M., Janfeshan A.H., Merufinia, E., and Asnaashari, A., (2014), "Numerical simulations of

در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی هیدرولیک جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه و ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل صورت گرفته و علاوه بر ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی، پارامترهای تأثیرگذار بر نسبت ورودی عبوری از روی سرریز به ورودی عبوری از زیر دریچه تعیین شده است. نتایج موردی عبارتند از:

- طبق شبیه‌سازی‌های متعددی که با نرم‌افزار Flow3D انجام شد مشخص شد که این نرم‌افزار دقت خوبی در شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در دو حالت بستر صلب و بستر متحرک دارد.
- نتایج حاصل بیانگر آن است که مدل‌های آشفتگی $k-\epsilon$ و $k-\epsilon$ از قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه برخوردار هستند.
- از بین مدل‌های آشفتگی مختلف، مدل LES نتایج قابل قبول‌تری در شبیه‌سازی ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه نشان می‌دهد.
- از مقایسه تأثیر پارامترهای مشخصه ته‌نشست در حداکثر عمق ته‌نشست می‌توان دریافت که پارامترهای ضریب دراگ و زاویه ایستایی تأثیر زیادی بر مقدار ته‌نشست دارند.
- در مطالعه حاضر، روابطی برای نسبت دبی ورودی عبوری از بالا به پایین تصفیه‌خانه براساس پارامترهای بی‌بعد $\frac{H_d}{T}$ و $\frac{H_1}{W}$ (از

- distribution and sediment transmission in pre-settled pools using Finite Volume Method and comparison with experimental results”, *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 4(3), 287-292.
- Dobbins, W.E., (1994), “Effects of turbulence on sedimentation”, *Transactions of ASCE*, 10(9), 629-656.
- Griboiro, A.G., Rodríguez, J.A., Enriquez, L., and McCorquodale, J.A., (2021), “Use of three-dimensional computational fluid dynamics model for a new configuration of circular primary settling tank”, *Journal of Water Science Technology*, 84(2), 333-348.
- Patziger, M., (2021), “Improving wastewater treatment plant performance by applying CFD models for design and operation: Selected case studies”, *Journal of Water Science Technology*, 84 (2), 323-332.
- Shahrokhi, M., Rostami, F., Said, M.A.M., and Sabbagh Yazdi, S.R., (2012), “The effect of number of baffles on the improvement efficiency of primary sedimentation tanks”, *Journal of Applied Mathematical*, 36(8), 3725-3735
- Su, J., Wang, L., Zhang, Y., and Gu, Z., (2019), “A numerical study on influent flow rate variations in a secondary settling tank”, *Processes*, 7(12), 884.
- Winter, M., and Breitsamter, Ch., (2016), “Efficient unsteady aerodynamic loads prediction based on nonlinear system identification and proper orthogonal decomposition”, *Journal of Fluids and Structures*, 67(2), 1-21.
- Zanganeh, H., and Narakorn, S., (2016), “Three-dimensional VIV prediction model for a long flexible cylinder with axial dynamics and mean drag magnifications”, *Journal of Fluids and Structures*, 66(3), 127-146.



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

Evaluation of Submerged Membrane Bioreactor (SMBR) in Municipal and Textile Wastewater Treatment of Shahinshahr, Isfahan

بررسی عملکرد بیورآکتور مستغرق غشایی (SMBR) در تصفیه فاضلاب‌های شهری و نساجی شاهین شهر اصفهان

فرزاد هاشم زاده^{۱*} و عباس اکبر زاده^۲

Farzad Hashemzadeh*¹ and Abbas Akbarzadeh²

۱- دکتری مهندسی محیط زیست و پژوهشگر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب،
موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.

1- Ph.D. in Environmental Engineering, Researcher at Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.

۲- عضو هیئت علمی و مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.

2- Faculty Member and Head of Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.

*نویسنده مسئول، ایما : farzadhashemzadeh91@gmail.com

*Corresponding Author, Email: farzadhashemzadeh91@gmail.com

تا، بخ د، یافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

Received: 15/01/2022

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

Revised: 15/03/2022

۱۴۰۱/۱/۲۸ تا ۱۴۰۱/۱/۲۹

Accepted: 14/04/2022

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

This study aimed to investigate the efficiency of submerged membrane bioreactors (SMBR) in textile and municipal wastewater treatment. First, membrane bioreactors were designed and fabricated using hollow fiber polypropylene membranes with pores of 0.2 μm on a pilot scale with a volume of 100 liters. Then, for 20 days, activated sludge was formed and municipal wastewater was treated. For 28 days, incremental percentages of 20%, 40% 60%, and 80% of textile wastewater were gradually added to municipal wastewater. Finally, for 10 days, the sewage of the textile wool factory was examined. Pilot performance for municipal wastewater at the maximum concentration of MLSS mg/L 2310, percentages of removal of biological parameters COD, BOD, TSS, VSS equal to 94.65%, 96.03%, 96.72%, 95.58%, for mixed wastewater, respectively Urban and textile in MLSS equal to 2920 mg/L, 94.1%, 95.2%, 97%, 95.9% have been reported, respectively. Finally, for textile wastewater with the hydraulic retention time of 25 hours, the sludge retention time of 25 days with MLSS equal to 1370 mg/L, the studied parameters along with color and turbidity were 95.1%, 95.8%, 96.6%, 95%, 93%, 99.8%, respectively. This study showed that SMBR can be used as an efficient method for textile and municipal wastewater treatment.

هدف از این تحقیق بررسی کارایی بیوراکتورهای مستغرق غشایی (SMBR) در تصفیه فاضلاب نساجی و شهری است. ابتدا بیوراکتور غشایی با استفاده از غشاءهای الیاف تو خالی پلی پروپیلن با منافذ 0.2 میکرومتر در مقیاس پایلوت به حجم 100 لیتر طراحی و ساخته شده است. سپس به مدت 20 روز برای تشکیل لجن فعال و تصفیه فاضلاب شهری اقدام شد. برای 28 روز به تدریج به فاضلاب شهری، درصدهای صعودی 20% ، 40% ، 60% و 80% فاضلاب نساجی اضافه شده است. در نهایت، به مدت 10 روز، فاضلاب کارخانه پشم‌بافی نساجی مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد پایلوت برای فاضلاب شهری در حداکثر غلظت $MLSS\ mg/L\ 2310$ ، درصدهای حذف پارامترهای بیولوژیکی COD، BOD، TSS، VSS به ترتیب برابر $94/65\%$ ، $96/03\%$ ، $96/72\%$ ، $95/58\%$ ، برای فاضلاب مخلوط شهری و نساجی در $MLSS$ برابر $2920\ mg/L$ ، به ترتیب $94/1\%$ ، $95/2\%$ ، 97% ، $95/9\%$ گزارش شده است. در نهایت برای فاضلاب نساجی با زمان ماند هیدرولیکی 25 ساعت، زمان ماند لجن 25 روز با $MLSS$ برابر $1370\ mg/L$ پارامترهای مورد مطالعه به همراه رنگ و کدورت به ترتیب $95/1\%$ ، $95/8\%$ ، $96/6\%$ ، $95/5\%$ ، 93% ، $99/8\%$ گزارش شده است. این مطالعه نشان داد از SMBR به عنوان یک روش کارآمد برای تصفیه فاضلاب نساجی و شهری می‌توان استفاده نمود.

Keywords: Activated sludge, Biological treatment, Membrane bioreactor, Shahinshahr municipal wastewater, Textile wastewater.

کلمات کلیدی: بیوراکتور غشایی، لجن فعال، تصفیه بیولوژیکی، فاضلاب نساجی، فاضلاب شهری شاهین شهر.

تشکیل می‌دهد که هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های بهره‌برداری و تولید لجن مازاد سیستم را کاهش داده و کیفیت بسیار بالاتر پساب خروجی به‌دست می‌آید (Sheldon and Erdogan, 2016). بنابراین SBR، فرآیند مناسبی است که می‌تواند در محدوده وسیعی برای سیستم‌های استفاده مجدد از پساب تصفیه شده در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌کار گرفته شود (Judd, 2010).

طبق بررسی‌های انجام شده به‌نظر می‌رسد که در صنعت نساجی به‌زای رنگ‌ریزی و تکمیل هر کیلو لیاف در حدود ۳۰ الی ۶۰ لیتر آب مصرف می‌شود که به‌طور عمده به‌صورت پساب تخلیه می‌شود. پساب تولیدی در صنعت نساجی عموماً مربوط به قسمت رنگ‌ریزی و چاپ و تکمیل پارچه و شستشوی ظروف و پاتیل‌ها است (Yang et al., 2018). مشخصه بارز فاضلاب صنایع نساجی وجود مقدار قابل‌توجهی از رنگ‌های مختلف است. از دیگر خصوصیات فاضلاب این صنایع وجود فلزات سنگین و سمی و ترکیبات سرطان‌زایی هم‌چون بنزآدیان است (Yigit et al., 2009). لذا با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته؛ و خلأهای موجود، ضرورت مطالعه و تحقیق پیرامون این فناوری در صنایع هم‌چون نساجی در ایران مشهود است. در همین راستا De Jager et al. (2014) حذف رنگ از فاضلاب نساجی را با استفاده از یک سیستم MBR به همراه اسمز معکوس در مقیاس آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد رنگ در فاضلاب نساجی از میانگین ۶۶۰ واحد به ۱۲ واحد در خروجی واحد اسمز معکوس کاهش یافته است و حذف بیش از ۹۸ درصدی رخ داده است. در پژوهشی دیگر (Deowan et al., 2016) از غشاهای صفحه‌ای^۲ در بیوراکتور غشایی در تصفیه فاضلاب نساجی استفاده کردند. آن‌ها مقادیر درصدی حذف پارامترهای اصلی مشخص‌کننده راندمان MBR یعنی COD و رنگ را به‌ترتیب ۹۳٪ و ۷۰٪ به‌دست آوردند. در این تحقیق، pH فاضلاب ۸/۲ و زمان ماند هیدرولیکی^۳، ۴۰ تا ۸۰ ساعت گزارش شده است و تأکید شده که این سیستم قابل توسعه و استفاده در موارد تجاری و صنعتی است. در پژوهشی دیگر (Yang et al., 2020) به مقایسه و بررسی فنی و اقتصادی فرایند لجن فعال، MBR و MBBR در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که MBR به‌عنوان کارآمدترین روش در تصفیه فاضلاب نساجی بوده است. درصدی حذف COD، TSS و رنگ به‌ترتیب ۹۱٪، ۹۴٪ و ۸۰ درصد در زمان ماند هیدرولیکی ۱/۳ روز گزارش شده است. در تحقیق دیگری توسط Sahinkaya et al. (2008) فاضلاب کارخانه تولید پارچه کتانی با آلودگی بالا و رنگ‌های زیاد، به‌وسیله

رشد روز افزون جمعیت، افزایش مصرف آب و محدودیت منابع آبی، از یک طرف و تولید انواع فاضلاب‌های شهری و صنعتی از طرف دیگر، نیاز به یافتن روش‌های جدید و موثرتر برای بازیافت و تولید فاضلاب تصفیه شده مناسب رای مصارف مختلف صنعتی و کشاورزی را دو چندان نموده است (Hashemzadeh et al., 2021). یکی از صنایعی که تولید و تخلیه پساب آن مشکلات فراوانی از نظر آلودگی محیط‌زیست در کشورها به وجود آورده صنعت نساجی است. این صنعت هم‌چنین جزو آب‌برترین صنایع محسوب می‌شود. به‌همین دلیل همواره مقدار قابل‌توجهی پساب در این صنعت به‌وجود می‌آید که به‌علت تغییرات زیادی که در انواع مواد اولیه مصرفی این صنعت موجود است پساب آن از نظر کیفیت از تنوع زیادی برخوردار است (Judd, 2010). حذف رنگ‌های باقیمانده در پساب این صنایع همواره توأم با دشواری زیادی است و در پاره‌ای از موارد، حتی روش‌ها و تکنولوژی‌های مدرن تصفیه پساب قادر به حذف کامل رنگ‌های باقیمانده در پساب، قبل از تخلیه آن به محیط‌زیست نیستند (Yang et al., 2021). روش‌های شیمیایی نیز اغلب به‌علت هزینه بالا و میزان مواد مصرفی شیمیایی زیاد مقرون به‌صرفه نبوده و لذا کمتر مورد توجه بوده و از طرفی روش‌های مناسب بیولوژیکی نیز که معمولاً برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی به‌کار می‌روند در این مورد کارایی کمی داشته‌اند. زیرا از مشکلات اساسی دیگر، وجود عوامل بازدارنده در فاضلاب و نسبت BOD به COD این نوع از فاضلاب‌ها بوده (حدود ۰/۲) که به‌راحتی قابل تجزیه بیولوژیکی توسط روش‌های متداول لجن فعال نیستند (Yang et al., 2021). سیستم بیوراکتور مستغرق غشایی (SMBR) با قابلیت تصفیه بالا، هم از آلودگی محیط‌زیست و منابع آب و خاکی جلوگیری می‌کند و هم مقادیر زیادی از فاضلاب تصفیه شده را به چرخه مصرف صنعتی و یا کشاورزی برمی‌گرداند (Radenović et al., 2007). SMBR یکی از جدیدترین روش‌های بازیابی پیشرفته و موثر فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی که با توجه به بالا رفتن استانداردهای تصفیه و استفاده مجدد از پساب این سیستم بهترین گزینه است (Fazal et al., 2015). SMBR یک سیستم تصفیه فاضلاب یکپارچه است که از ترکیب فرآیند تصفیه بیولوژیکی (لجن فعال) با یک سیستم غشایی مستغرق تشکیل شده است. این فرآیند با ادغام واحدهای ته‌نشینی (زال‌سازی)، هوادهی و فیلتراسیون در یک راکتور، جایگزین فرآیندهای تصفیه متعارف (لجن فعال متعارف) شده و یک سیستم ساده و موثر را

شماتیک پایلوت SMBR مورد استفاده در این تحقیق نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری پارامترهای BOD، COD، VSS، TSS، MLSS، MLVSS، رنگ و کدورت از نمونه‌های مختلف فاضلاب‌های برداشت شده در ورودی و خروجی از مراحل کار سیستم بیورآکتور غشایی مطابق روش‌های استاندارد بین‌المللی^۵ ASTM (جدول ۲) صورت گرفته است (Spellman, 2008). میزان درصد حذف پارامترها نیز از رابطه (۱) محاسبه شده است.

$$\% \text{ Removal} = \frac{\text{Parameter}_{\text{initial}} - \text{Parameter}_{\text{final}}}{\text{Parameter}_{\text{initial}}} \quad (1)$$

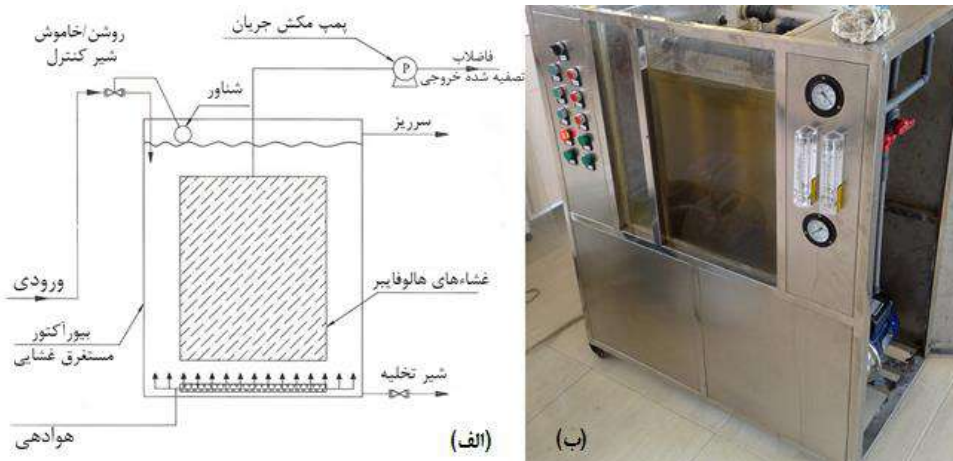
که $\text{Parameter}_{\text{initial}}$: مقادیر پارامترهای ورودی به پایلوت و $\text{Parameter}_{\text{final}}$: پارامترها در فاضلاب تصفیه شده خروجی هستند.

راهبری پایلوت SMBR و تشکیل لجن فعال با استفاده از لجن حوضچه ته‌نشینی اولیه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شاهین‌شهر انجام شد. راه‌اندازی دستگاه SMBR، شامل آگیری مخزن دستگاه به مدت لازم برای تشکیل لجن فعال و لخته‌های بیولوژیکی و حذف میکروارگانیسم‌ها از فاضلاب (تصفیه بیولوژیکی)، هوادهی غشاءها و مخزن، هواگیری پمپ و مسیرها، فشار مکشی از خروجی سیستم و شست و شوی معکوس غشاءهای داخل مخزن و رفع اشکالات و آماده به کار نمودن دستگاه بوده است (به مدت ۷ روز) (Sahinkaya et al., 2017). در این تحقیق فاضلاب شهری شاهین‌شهر، مخلوط شهری و نساجی و فاضلاب نساجی به تنهایی با سیستم مذکور تصفیه شد. در جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری پارامترهای کیفی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه شاهین‌شهر و نساجی برای تست و راه‌اندازی پایلوت ارائه شده است.

یک پایلوت MBR نوع هالوفایبر تصفیه شده است. نتایج راندمان بالای کاهش مقادیر حذف COD، BOD و TSS به ترتیب: ۹۷/۴٪، ۹۶/۷٪ و ۹۹/۶٪ را نشان داده است. همچنین مقدار رنگ و کدورت فاضلاب ورودی کاهش چشمگیری داشت و به ترتیب به ۹۹/۴٪ و ۹۹/۹٪ رسید. در نتیجه آب خروجی توانایی بازیابی و استفاده مجدد در فرآیندهای رنگرزی داشته است. پایلوت این طرح به مدت ۳ ماه مورد بهره‌برداری قرار گرفت و تنها یک‌بار غشاءها دچار گرفتگی شد که با شست و شوی شیمیایی رفع شد. زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند جامدات^۴ به ترتیب ۲۳ ساعت و ۲۵ روز گزارش شد. اما در ایران استفاده از فناوری بیورآکتور غشایی در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی سابقه چندانی نداشته و تحقیقات گسترده‌ای صورت نگرفته است. عمده تحقیقات انجام شده بیشتر برای استفاده از MBR برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنایع دیگر بوده است. در تحقیقات مشابه عمدتاً حذف یک پارامتر خاص مانند رنگ، BOD، COD و... بررسی شده است. همچنین در این تحقیق مقایسه و بررسی SMBR با فاضلاب شهری، ترکیب درصدی مختلف فاضلاب شهری با فاضلاب نساجی و فاضلاب نساجی به تنهایی انجام شده است. دلیل این امر نیز امکان‌سنجی ترکیب فاضلاب‌ها با یکدیگر و تصفیه توسط فرآیند SMBR بوده است. بر همین اساس هدف از این پژوهش امکان‌سنجی تصفیه فاضلاب صنعت نساجی با استفاده از SMBR و تاثیر فاضلاب شهری و اختلاط آن با فاضلاب نساجی بر عملکرد رآکتور است.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای تصفیه فاضلاب صنایع نساجی و شهری پایلوت بیورآکتور غشایی مطابق جدول ۱ طراحی و ساخته شد.



شکل ۱- (الف) شماتیک پایلوت بیورآکتور غشایی و (ب) نمایی از روبروی پایلوت

جدول ۱- مشخصات فنی پایلوت بیورآکتور مستغرق غشایی

مشخصات فنی پایلوت		
۹۷	طول	ابعاد پایلوت (cm)
۵۵	عرض	
۱۱۰	ارتفاع	
بدنه استیل با مخزن پلی اتیلنی		جنس پایلوت
۱۰۰		حجم قسمت غشایی (L)
۱۵		ارتفاع آزاد (cm)
الیاف تو خالی پلی پروپیلن با منافذ ۰/۲ میکرومتر		جنس غشاءها
۲		سطح موثر غشاء (m ²)
H ₂ SO ₄ یا NaOH با غلظت ۲٪		شست و شوی شیمیایی
۲/۵ ≤		اکسیژن محلول (mg/L)
۲/۰۵-۰/۰		فشار مکش (MPa)
پمپ هوای HAILEA مدل ACO-388D		منبع تأمین هوا

جدول ۲- روش های آزمایشگاهی استاندارد بین المللی ASTM مورد استفاده در اندازه گیری پارامترهای کیفی

عنوان متغیر	واحد	استاندارد روش آزمایش	دستگاه
COD	mg/L	D6697-01 (Motlagh et al., 2020)	COD سنج شرکت Hach آمریکا مدل DRB 200 با شاهد استاندارد
BOD	mg/L	D5210 (Shi et al., 2011)	BOD سنج شرکت Hach آمریکا مدل BODTrack
TSS	mg/L	D5907-03 (Kusworo et al., 2019)	وزن سنجی با صافی (ترازو شرکت Blance مدل 213-1S، آون شرکت Memmert آلمان مدل UNB 100-500 و پمپ خلا)
VSS	mg/L	2540E (Shi et al., 2011)	وزن سنجی حرارتی (ترازو، آون)
Color	Pt.co.	D-1209-00 (Martins, 2008)	رنگ سنجی پلاتینیم کبالت (ترازو، pH متر شرکت CRISON مدل Basic 20)
Turbidity	N.T.U	D-1889-00 (Gray and Glysson, 2003)	کدورت سنج شرکت WTW آلمان مدل Turb 355
MLSS (MLVSS)	mg/L	D-6225E-04 (Shi et al., 2011)	وزن سنجی (ترازو، آون، پمپ خلا و دسیکاتور)

جدول ۳- نتایج آنالیزهای میانگین پارامترهای کیفی فاضلاب شهری شاهین شهر و کارخانه نساجی

متغیر	فاضلاب شهری	(۸۰٪ شهری-۲۰٪ نساجی)	(۶۰٪ شهری-۴۰٪ نساجی)	(۴۰٪ شهری-۶۰٪ نساجی)	(۲۰٪ شهری-۸۰٪ نساجی)	فاضلاب نساجی
COD (mg/L)	۴۶۲	۵۳۵	۶۱۰	۶۸۰	۹۶۵	۱۳۸۰
BOD (mg/L)	۲۱۰	۲۶۰	۲۸۵	۳۸۶	۴۸۵	۵۱۰
TSS (mg/L)	۲۸۰	۳۳۰	۳۹۰	۴۷۵	۶۲۰	۷۴۰
Turbidity (N.T.U)	۶۰	۸۹	۱۱۹	۱۳۱	۱۶۲	۲۰۰
Color (Pt.co)	-	-	-	-	-	۲۶۱
pH	۷/۵	۷/۵	۷/۷	۷/۶	۸	۸

۲-۱- فاضلاب شهری

در مرحله اول، مقدار ۸۵ لیتر فاضلاب خام شهری به‌داخل مخزن دستگاه ریخته شد و دمنده هوا روشن و به‌مدت ۳ روز هوا به فاضلاب تزریق شد. سپس حدود ۳۵٪ از حجم آبی مخزن SMBR تخلیه شده و به‌جای آن فاضلاب تازه اضافه شد و مجدداً هوادهی به‌مدت حدود ۲ روز ادامه داشت. فرآیند تخلیه فاز آبی و افزایش فاضلاب تازه تکرار و این مراحل با هوادهی به سیستم به‌مدت ۴ روز دیگر ادامه یافت. میزان هوادهی به‌مقدار ۸۵ L/min و غلظت اکسیژن محلول در فاضلاب ۲ mg/L گزارش شد. آن‌گاه با اطمینان از رشد کامل لجن و رسیدن فاضلاب به حد تعادل بیولوژیکی (تغییر رنگ و عدم بو در فاضلاب و دو فاز شدن فاضلاب)، پمپ مکش پایلوت روشن و از پساب خروجی از دستگاه SMBR، نمونه‌برداری صورت پذیرفت. نمونه‌برداری با تغییر دبی بعد از مدت ۲۰ دقیقه و با دبی متوسط در ۳ مرحله و هرکدام در سه روز مختلف انجام شد. میزان فشار مکشی پمپ حدود ۰/۳ Mpa و دبی آن ۵۰ L/hr بود و با کاهش دبی تا ۲۰ L/hr، عمل شست و شوی معکوس غشاءها با هوا انجام گرفت.

در مرحله دوم، حدود ۳۰٪ از لجن زیر مخزن تخلیه شده و با حدود ۴۰ لیتر فاضلاب تازه جایگزین شد و هوادهی به سیستم به‌مدت حدود ۲۰ ساعت ادامه یافت که مشاهده شد لجن فعال (لخته‌های بیولوژیکی) به‌طور کامل تشکیل شده است. آن‌گاه با روشن‌نمودن پمپ مکش همانند مرحله گذشته در ۳ زمان مختلف نمونه‌برداری انجام و آنالیزهای بیولوژیکی از نمونه‌های ورودی و خروجی انجام شد. در مرحله آخر برای تست کاهش بار آلودگی برکارکرد غشاءهای دستگاه، اقدام به رقیق‌سازی فاضلاب ابتدا با شست و شوی معکوس آن به‌وسیله پمپ جریان آب شست و شوی معکوس و نیز جایگزینی حدود ۳۰ لیتر دیگر از فاضلاب داخل مخزن با ۳۰ لیتر آب شهر شد. پس از هوادهی به‌مدت ۱۲ ساعت تاثیر کامل هوا بر فاضلاب و تشکیل توده‌های بیولوژیکی بیشتر و ایجاد کف زیاد در فاضلاب آشکار شد. بنابراین اقدام به برداشتن ۲ نمونه به فاصله ۲۰ دقیقه از ورودی و خروجی سیستم شد.

۲-۲- مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

پس از راهبری پایلوت با فاضلاب شهری، ۲۰ لیتر از لجن فعال مخزن جداسازی و نگهداری شده و مابقی فاضلاب تخلیه شده است. سپس مخزن دستگاه و غشاءهای آن با هوا و جریان آب معکوس شستشوی کامل شد و به‌مدت یک شبانه‌روز در آب نیمه گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شد تا آلودگی‌های چسبیده الیاف غشاءها، فرصت جدا شدن و ته‌نشینی داشته باشند.

سپس مجدداً با هوا و جریان آب معکوس پاکسازی صورت‌گرفت که مشاهده شد تا حد لازم غشاءها تمیز شده‌اند. سپس مراحل تصفیه فاضلاب مخلوط به‌شرح زیر انجام پذیرفت.

۲-۲-۱- مرحله اول: ۸۰٪ فاضلاب شهری و ۲۰٪ فاضلاب نساجی

مخزن راکتور SMBR با ۵۴ لیتر از فاضلاب شهری و ۱۰ لیتر از لجن فعال مربوطه (جمعاً ۸۰٪) و ۱۶ لیتر (۲۰٪) فاضلاب خام نساجی از کارخانه پشم‌بافی اصفهان بارگیری شد و سپس عمل هوادهی به سیستم به‌مدت ۳ روز ادامه یافت. مشاهدات نشان داد فاضلاب مخلوط از رنگ صورتی به رنگ سبز روشن، تغییر رنگ داده و توده‌های بیولوژیکی شکل‌گرفته در داخل مخزن شناور شده‌اند. این امر نشان‌دهنده عملکرد کامل واحد هوادهی بود (Yurtsever et al., 2017). سپس هوادهی قطع و عمل مکش و فیلتراسیون غشایی فاضلاب صورت‌پذیرفت. دبی پساب خروجی در ابتدا حدود ۴۵ L/hr و پس از یک ساعت فیلتراسیون، نمونه‌گیری از ورودی و خروجی سیستم انجام گرفت. دبی جریان نیز در انتهای فیلتراسیون به ۲۵ L/hr به‌دلیل تجمع رسوبات سطحی روی غشاءها کاهش یافت. سپس مجدداً هوادهی به‌مدت ۲ روز دیگر ادامه یافت و نمونه‌گیری انجام گرفت. در درصدهای کم فاضلاب نساجی زمان ماند زیاد در تصفیه اثر مثبتی نداشت، زیرا کاهش بار آلودگی تا ۳ روز هوادهی نسبت به ۵ روز اختلاف زیادی نداشته است. بنابراین حدود ۷۵ لیتر از فاز آبی راکتور تخلیه و درصدهای فاضلاب را برای انجام مرحله بعد تغییر داده شد.

۲-۲-۲- مرحله دوم: ۶۰٪ فاضلاب شهری و ۴۰٪ فاضلاب نساجی

مخزن SMBR با حدود ۴۸ لیتر (۶۰٪) فاضلاب شهری و ۳۲ لیتر (۴۰٪) فاضلاب نساجی جدید بارگیری شد و عملیات هوادهی در ۲ مرحله ۳ روزه و ۲ روزه همانند مرحله اول انجام و پس از هر مرحله نمونه برداری انجام پذیرفت. سپس ۷۲ لیتر از فاز آبی بالای فاضلاب داخل مخزن برای انجام مرحله سوم تخلیه شد.

۲-۲-۳- مرحله سوم: ۴۰٪ فاضلاب شهری و ۶۰٪ فاضلاب نساجی

در این مرحله مخزن با ۳۲ لیتر (۴۰٪) فاضلاب شهری و ۴۸ لیتر (۶۰٪) فاضلاب نساجی خام بارگیری و همان عملیات مرحله دوم در ۲ مرحله هوادهی جمعاً ۵ روزه، تکرار شد. آن‌گاه اقدام به

راکتور به‌جای فاضلاب تصفیه‌شده تکمیل شد و هوادهی به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر ادامه یافت. پس از نمونه‌گیری، مجدداً حدود یک‌روز هوادهی ادامه‌یافته و نمونه‌گیری دوم انجام‌گرفت. در نهایت نمونه‌ها تحت آنالیزهای بیولوژیکی قرارگرفت. با توجه به نزدیکی جواب‌های آنالیزها، عملیات تصفیه و نمونه‌برداری خاتمه یافت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- عملکرد پایلوت با فاضلاب شهری

نمودارهای تغییرات پارامترهای کیفی BOD، COD، TSS و VSS در ورودی و خروجی واحد SMBR و نیز غلظت MLSS و MLVSS برای فاضلاب شهری به‌ترتیب مطابق شکل‌های ۲ و ۳ است. براساس نتایج به‌دست آمده از عملکرد پایلوت در تصفیه فاضلاب شهری، درصد حذف پارامترهای بیولوژیکی با واحد SMBR وابستگی بسیاری به غلظت ورودی این پارامترها به سیستم نداشته و بیوراکتور مستغرق غشایی، فاضلاب ورودی شهری را در هر غلظت و شدت آلودگی با راندمان بالا و در حدود ۹۴٪ تصفیه کرده است. براساس شکل ۲ متوسط درصد حذف بارهای آلودگی COD، BOD، TSS و VSS در فاضلاب شهری به‌ترتیب: ۹۴/۶۵٪، ۹۶/۰۴٪، ۹۶/۷۲٪ و ۹۵/۵۸٪ گزارش شده است. زمان ماند هیدرولیکی لازم برای هوادهی فاضلاب شهری شاهین‌شهر مورد استفاده، بین ۱۲ تا ۲۴ ساعت بود که در حد نرمال ۱۸ ساعت و زمان ماند سلولی نیز ۲۳ روز گزارش شد. هم‌چنین براساس شکل ۳ محدوده تغییرات MLVSS و MLSS در فاضلاب شهری به‌ترتیب ۱۱۶۰ تا ۲۳۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۸۱۲ تا ۱۶۶۳ میلی‌گرم بر لیتر است که در ابتدا و قبل از هوادهی به فاضلاب کمتر بوده است. زیرا با هوادهی فاضلاب غلظت زیست‌توده افزایش پیدا کرده (تشکیل فاک و لجن) و در نتیجه غلظت MLSS و MLVSS نیز در راکتور افزایش پیدا می‌کند. با تزریق خوراک به راکتور، مقدار ترکیبات آلی و معدنی افزوده می‌شود و از طرفی چون زمان ماند لجن (سن لجن) بالا بوده (۲۵ روز) خروج لجن از راکتور کاهش پیدا کرده و در نتیجه ترکیبات آلی و معدنی و میزان غلظت زیست‌توده با افزایش زمان ماند لجن تا حدودی افزایش یافته اما فعالیت میکروبی آن کاهش یافته است. از روز یازدهم بهره‌برداری از پایلوت، به‌مدت ۲ روز برای تست کاهش بار آلودگی بر کارکرد غشاهای دستگاه، اقدام به رقیق‌سازی فاضلاب ابتدا با شست‌وشوی معکوس آن به‌وسیله پمپ آب شست و شوی معکوس و نیز جایگزینی حدود ۳۰ لیتر

نمونه‌گیری و آنالیز نمونه‌ها شد. در پایان این مرحله نیز مقدار ۷۰ لیتر از فاضلاب آبی مخزن تخلیه و لجن فعال در مخزن باقی‌ماند.

۲-۲-۴- مرحله چهارم: ۲۰٪ فاضلاب شهری + ۸۰٪ فاضلاب نساجی

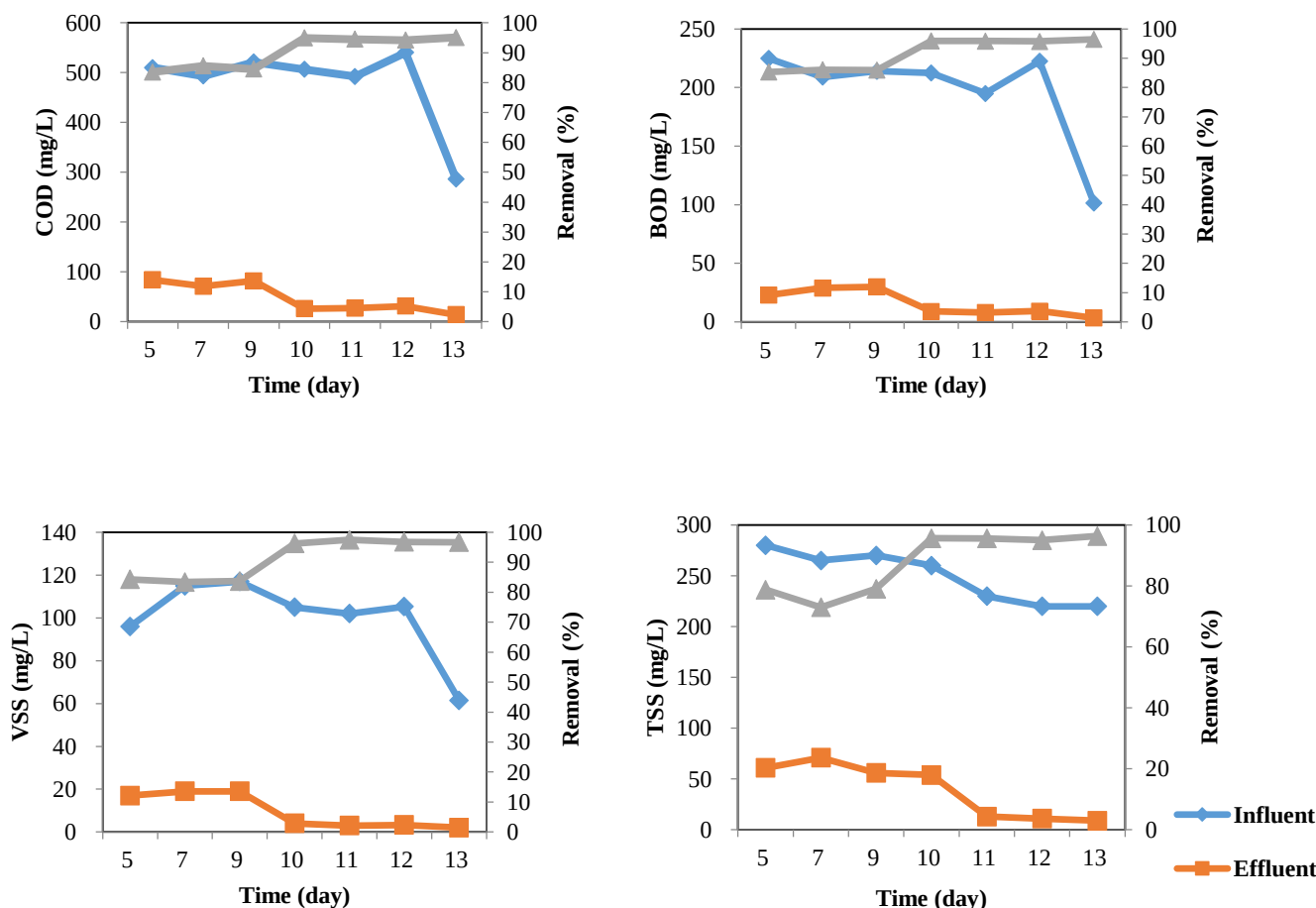
در آخرین مرحله از آزمایش‌های پایلوت با فاضلاب مخلوط، مخزن با ۱۶ لیتر (۲۰٪) فاضلاب شهری و ۶۴ لیتر (۸۰٪) از فاضلاب نساجی بارگیری شده و عملیات هوادهی در ۲ مرحله حدود ۲ روزه (۴۰ ساعت) و ۱ روزه (۲۰ ساعت) صورت‌گرفت. در هر مرحله نیز نمونه‌گیری و آنالیز از نمونه‌ها مطابق مراحل گذشته انجام پذیرفت. تعداد روزهای بهره‌برداری از پایلوت با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی در مجموع ۱۹ روز بود. در انتهای این بخش، حدود ۲۵ لیتر از لجن فاضلاب مخلوط نگهداری و مابقی آن تخلیه شد. سپس واحد غشایی ۲ مرحله شست‌وشوی معکوس و در مرتبه سوم آبگیری و به‌مدت ۳۰ ساعت به حالت خود باقی ماند. در روز سوم، شست‌وشوی کامل‌تری انجام گرفت تا غشاهای تا حد امکان تمیز شوند.

۲-۳- فاضلاب نساجی

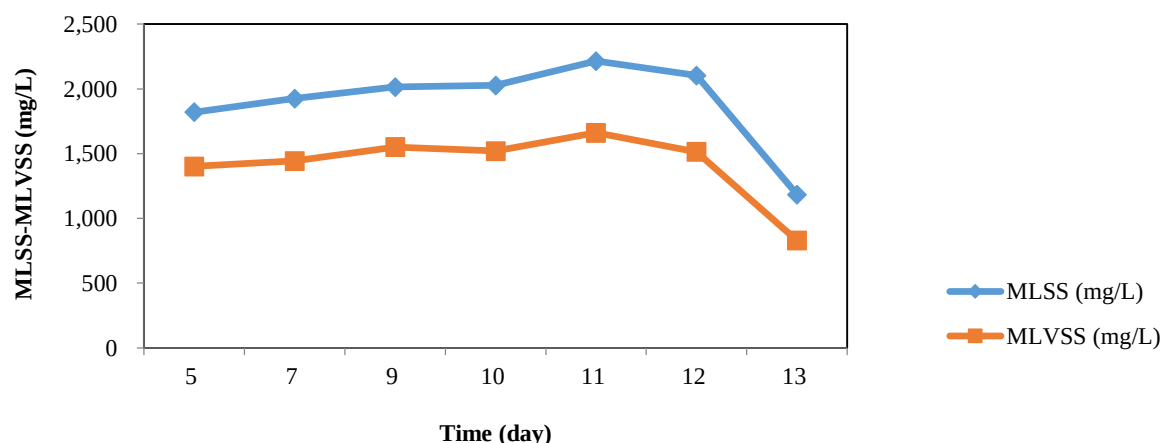
مقدار ۸۵ لیتر از فاضلاب نساجی به‌درون مخزن SMBR ریخته شد و به‌مدت ۳ روز هوادهی انجام شد. مشاهدات نشان داد که مقداری لجن فعال و توده‌های بیولوژیکی تشکیل شد ولی نسبت به فاضلاب شهری دارای لجن کمتر و فاز آبی تیره‌تر بود. سپس پمپ مکش روشن و بعد از چند دقیقه از فاضلاب ورودی و فاضلاب تصفیه شده خروجی نمونه‌برداری انجام گرفت. پس از آن برای تشکیل لجن فعال و لخته‌های بیولوژیکی بیشتر، حدود ۲۰ لیتر از فاضلاب مخزن جایگزین ۲۰ لیتر لجن فعال مخلوط شهری و نساجی مراحل قبل شود و با انجام این کار، مجدداً هوادهی به‌مدت ۲ روز ادامه یافت. در روز دوم مشاهده شد لجن فعال بیشتر و فاز آبی نیز روشن‌تر شده است. سپس بار دیگر از ورودی و خروجی سیستم نمونه‌برداری صورت‌پذیرفت. در ادامه مقدار ۶۰ لیتر فاز آبی فاضلاب تخلیه و به‌جای آن از فاضلاب تازه کارخانه بارگیری شد و عمل هوادهی به‌مدت حدود ۲ روز (۴۲ ساعت) ادامه یافت. با مشاهده تشکیل توده‌های بیولوژیکی و ته‌نشینی آن‌ها، هوادهی متوقف و نمونه‌برداری صورت‌گرفت و مجدداً ۲۴ ساعت هوادهی ادامه یافت و سپس با مناسب‌تر شدن لجن و رنگ فاضلاب، اقدام به نمونه‌گیری دوم از ورود و خروج سیستم شد. در ادامه با مقدار ۱۵ لیتر فاضلاب تازه، حجم مخزن

(رفتن به فاز خودخوری) باعث کاهش ناگهانی میزان توده جامد معلق از روز یازدهم به بعد شده است. این امر نشان‌دهنده آن است که وجود لجن فعال فاضلاب شهری در تصفیه بهتر و کامل‌تر فاضلاب‌های تازه ورودی به بیورآکتورهای غشایی تأثیر به‌سزایی دارد (Jegatheesan et al., 2016).

دیگر از فاضلاب داخل مخزن با ۳۰ لیتر آب شهر شد. با شروع هوادهی شروع پس از ۲۴ ساعت تأثیر کامل هوا بر فاضلاب و تشکیل توده‌های بیولوژیکی بیشتر و ایجاد کف زیاد در فاضلاب آشکار شد. در این مرحله اقدام به برداشتن ۲ نمونه به فاصله ۲۰ دقیقه از ورودی و خروجی سیستم شد. رقیق‌سازی فاضلاب و همچنین نبود خوراک برای باکتری‌ها برای تغذیه از فاضلاب



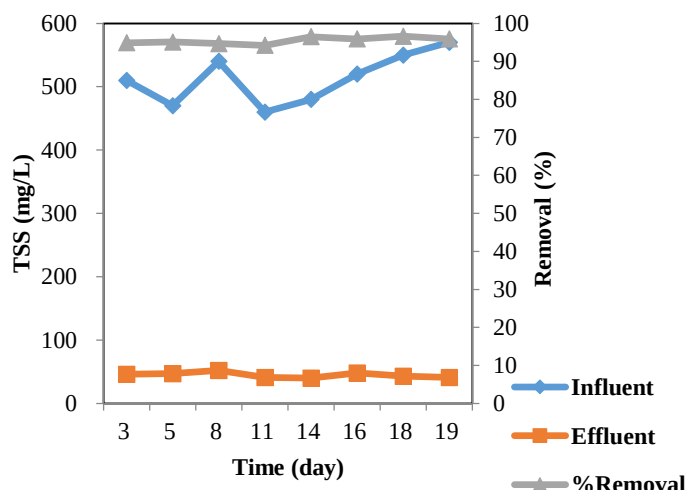
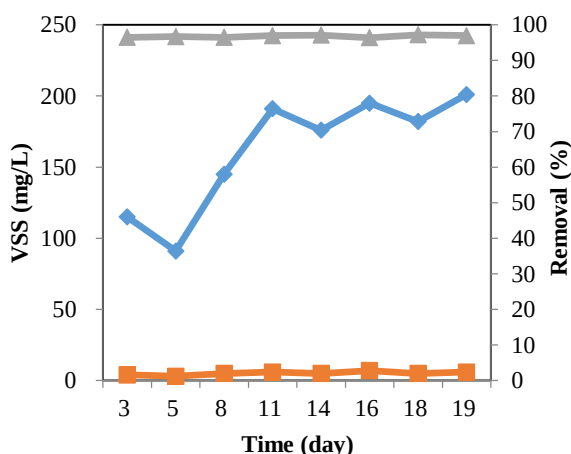
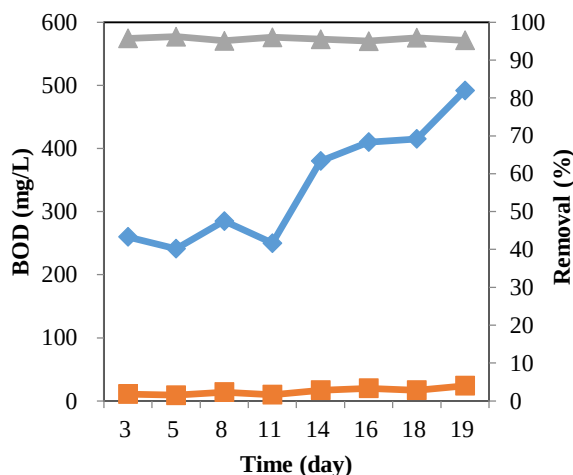
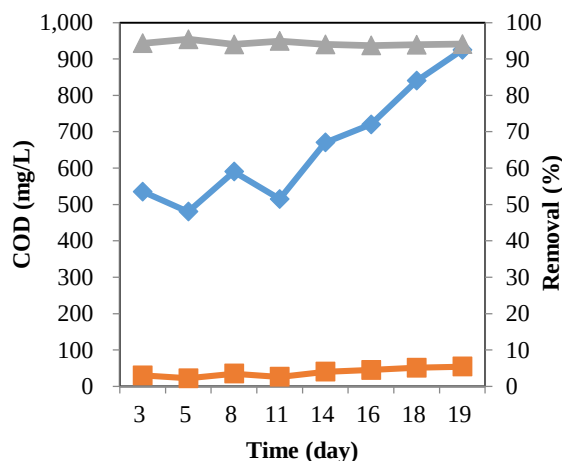
شکل ۲- تغییرات غلظت پارامترهای COD, BOD, TSS و VSS بر حسب درصدهای حذف آن‌ها در زمان بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با فاضلاب شهری



شکل ۳- تغییرات غلظت MLSS و MLVSS در زمان بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با فاضلاب شهری

۳-۲- عملکرد پایلوت با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

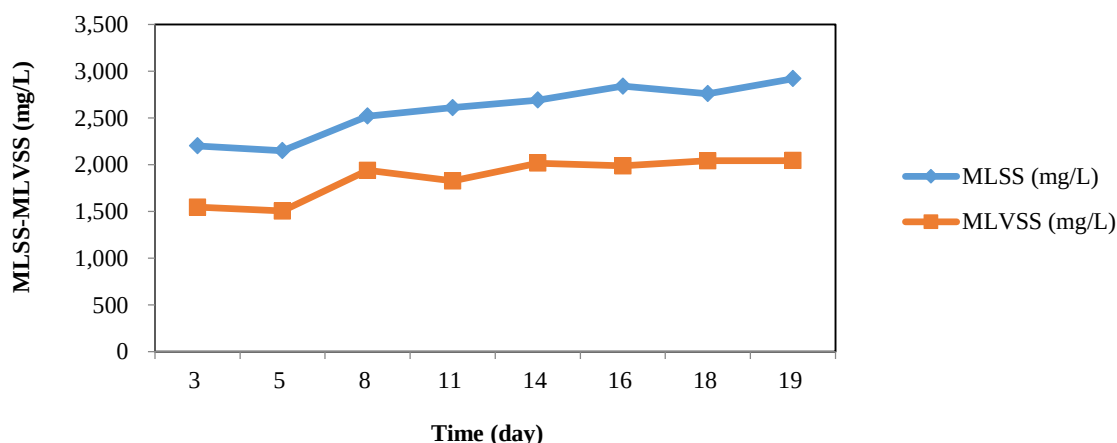
منحنی‌های تغییرات پارامترهای بیولوژیک BOD، COD، TSS، VSS، MLSS و MLVSS در تصفیه فاضلاب مخلوط در



شکل ۴- نمودارهای تغییرات غلظت پارامترهای COD، BOD، TSS و VSS برحسب درصدای حذف آن‌ها در دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

(۴۰٪ شهری و ۶۰٪ نساجی) از روز یازدهم تا شانزدهم ادامه یافته است. نمودارهای شکل ۴ نشان دادند در مخلوط فاضلاب با نسبت ۲۰٪ شهری و ۸۰٪ از روز شانزدهم تا نوزدهم درصدای حذف COD و BOD بیش از ۹۵٪ بوده و بیشترین درصد حذف TSS و VSS با درصدای ۹۷٪ و ۹۶٪ گزارش شده است. همچنین زمان ماند هیدرولیکی لازم برای تصفیه فاضلاب مخلوط با توجه به مشاهدات و تغییرات ایجاد شده در زمان‌های مختلف اعمال شده در صورت وجود لجن فعال از هر دو فاضلاب نساجی و شهری در سیستم و با توجه به درصدای این دو فاضلاب، از مرحله اول تا مرحله چهارم بین ۲۰ تا ۴۰ ساعت و به‌طور متوسط ۳۰ ساعت و زمان ماند سلولی نیز ۲۴ روز بوده است.

براساس شکل ۴ درصدای حذف COD و BOD در فاضلاب ۸۰٪ شهری و ۲۰٪ نساجی (تا زمان ۵ روز) به ترتیب ۹۵٪ و ۹۶٪ بوده است. همچنین نتایج نشان داد که کاهش بار آلودگی تا ۳ روز هوادهی نسبت به ۵ روز هوادهی، اختلاف زیادی نداشته و نشان‌دهنده آن است که در درصدای کم فاضلاب نساجی، افزایش زمان ماند و هوادهی تأثیر به‌سزایی نداشته‌اند (Yang et al., ۲۰۲۰). آزمایش‌های با ترکیب فاضلاب مخلوط (۶۰٪ شهری و ۴۰٪ نساجی)، از روز پنجم تا یازدهم ادامه یافت که براساس شکل ۴ غلظت متغیرهای کیفی فاضلاب نساجی افزایش یافته است اما در مقادیر MLSS فاضلاب تغییر چندانی ایجاد نشده است (شکل ۵). همین روند نیز برای ترکیب فاضلاب مخلوط



شکل ۵- تغییرات غلظت MLSS و MLVSS در دوره بهره‌برداری در زمان بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

نساجی به ترتیب ۷/۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

۳-۴- بحث

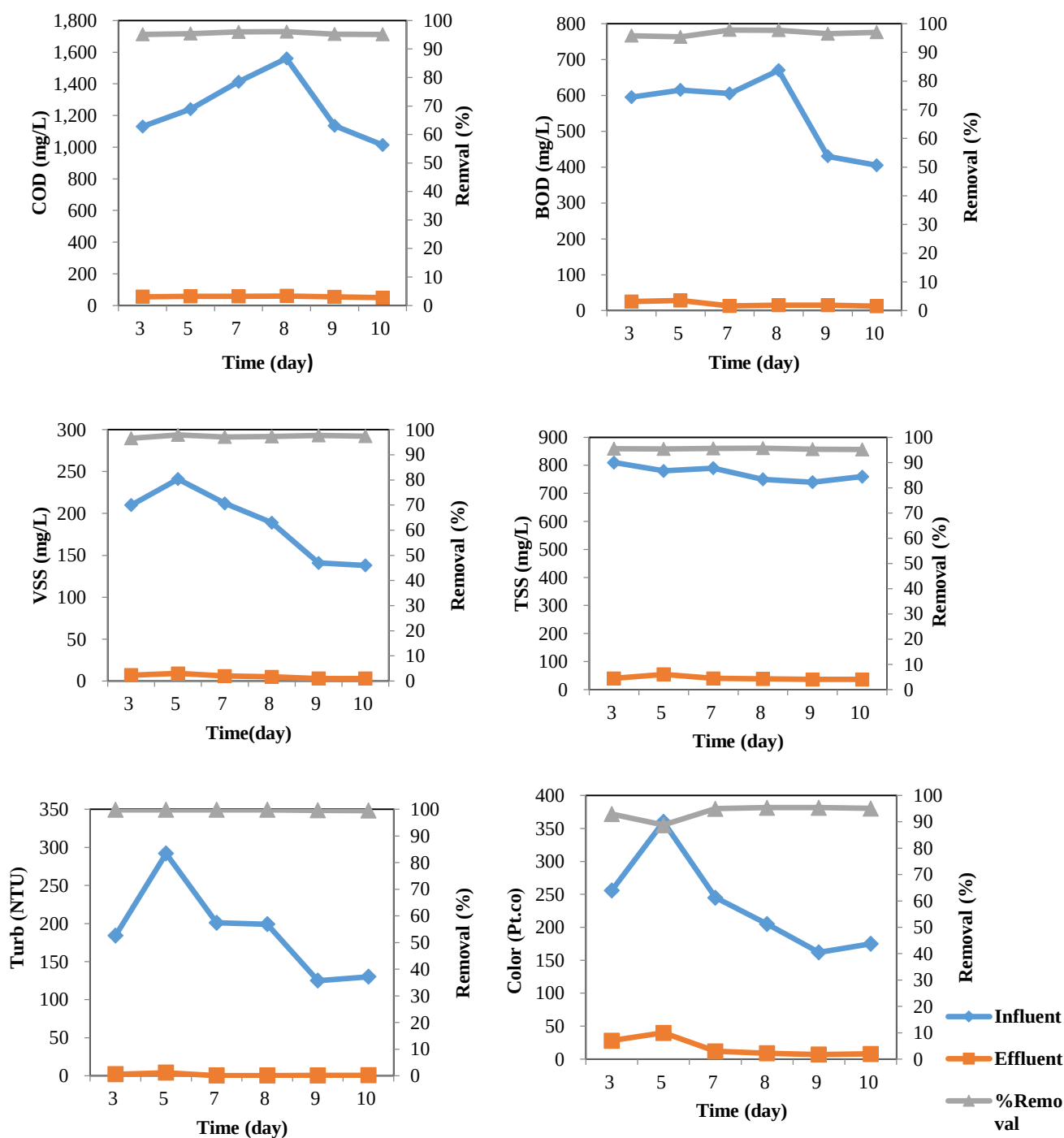
در حال حاضر، با توجه به آلودگی بالای فاضلاب کارخانجات و کارگاه‌های صنایع نساجی، علی‌رغم صرف هزینه و وقت زیاد و استفاده از مواد شیمیایی گوناگون هم‌چون آهک، سولفات‌ها و منعقدکننده‌ها، راندمان تصفیه فاضلاب‌های نساجی از نظر کمی و کیفی، در بهترین حالت حدود ۵۵٪ است که با استانداردهای محیط‌زیستی فاصله زیادی دارد (Arsalan et al., 2016). نتایج نشان داد پایلوت SMBR مورد استفاده در این تحقیق قادر به حذف BOD، COD، TSS، رنگ، کدورت، فسفات، نیتрат، تا حد استاندارد محیط‌زیست بوده است که با نتایج تحقیق Fazal et al. (2015) آن را تأیید می‌نماید. مقایسه بین سیستم لجن فعال و SMBR نشان داد که میزان MLVSS در SMBR بسیار بیشتر از سیستم لجن فعال متداول است که این مسئله باتوجه به وجود عوامل و یون‌های بازدارنده در فرایند تصفیه فاضلاب نساجی حائز اهمیت خواهد بود (Yurtsever et al., 2021) قابلیت بارگذاری جرمی بالای SMBR از مزیت‌های دیگری است که توانایی عملکرد با غلظت‌های بالای جرم میکروبی را دارا هستند (Yang et al., 2020). نتایج نشان داد در سیستم‌های SMBR می‌توان به‌صورت مشترک به راندمان بالای ۹۵ درصد در حذف BOD و COD رسید. براساس زمان ماند هیدرولیکی (HRT) در بیشترین بار آلودگی COD، برای فاضلاب‌های آزمایش شده: شهری، مخلوط ۲۰٪ شهری - ۸۰٪ نساجی و فاضلاب نساجی به تنهایی، به‌ترتیب ۱۸، ۳۰، ۳۳ ساعت به‌دست آمد که با تحقیق انجام شده Deowan et al. (2013) برای فاضلاب شهری و نساجی که HRT را به‌ترتیب: ۲۰ و ۴۰ تا ۸۰ ساعت گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد.

شکل ۵ نشان داد با افزایش درصد فاضلاب نساجی، غلظت بارهای آلودگی نسبت به غلظت بیومس و مقدار MLSS و MLVSS افزایش بیشتری داشتند و زمان ماند هم افزایش یافته است. نمونه‌های خروجی نسبت به نمونه‌های ورودی سیستم از نظر حذف کدورت و رنگ کاملاً شفاف و عاری از هر گونه رنگ و کدورت بوده‌اند.

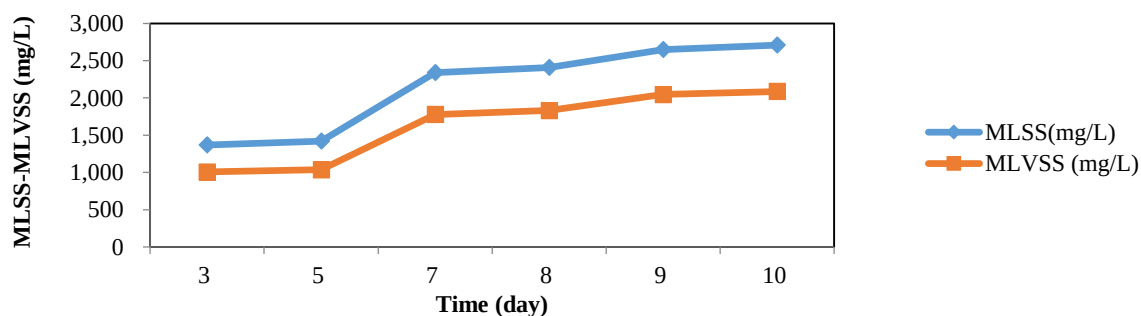
۳-۳- عملکرد پایلوت با فاضلاب نساجی

در نمودارهای شکل ۶ به‌ترتیب منحنی‌های تغییرات BOD، COD، TSS، VSS، MLSS، MLVSS، رنگ و کدورت فاضلاب کارخانه نساجی نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، متوسط درصد حذف پارامترهای BOD، COD، TSS، VSS، رنگ و کدورت به‌ترتیب برابر: ۹۵/۴، ۹۶/۷، ۹۷/۳، ۹۵/۴، ۹۳/۸ و ۹۹/۷ گزارش شده که بسیار مطلوب است. حذف رنگ و کدورت از فاضلاب خوب و نمونه‌های خروجی بسیار شفاف و بی رنگ بوده‌اند. حذف رنگ از فاضلاب صنعت نساجی بسیار مهم بوده که عملکرد پایلوت بسیار مطلوب (حذف بیش از ۹۰٪) بوده است. زمان ماند هیدرولیکی مناسب برای این مرحله بعد از تشکیل لجن فعال در فاضلاب بین ۲۴ تا ۴۲ ساعت و به‌طور متوسط ۳۳ ساعت و زمان ماند سلولی نیز ۲۵ روز است. علاوه بر آن حضور حدود ۱۰ درصد لجن فعال فاضلاب شهری و نیز تشکیل لجن فعال در فاضلاب نساجی، در تشکیل و رشد سریع‌تر توده‌های بیولوژیکی نقش موثری دارد و باعث کاهش بار آلودگی ورودی به غشاء‌های دستگاه نیز می‌شود.

بر اساس شکل ۷ غلظت MLSS و MLVSS با توجه به وجود لجن فعال و افزایش رشد و تشکیل آن، در ابتدای برداشت فاضلاب ناچیز و به‌مرور زمان افزایش داشته و متناسب با افزایش غلظت فاضلاب و بار آلودگی آن است. pH و درجه حرارت فاضلاب



شکل ۶- نمودارهای تغییرات غلظت پارامترهای COD, BOD, TSS, VSS, رنگ و کدورت برحسب درصدهای حذف آن‌ها در زمان بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با فاضلاب نساجی



شکل ۷- تغییرات غلظت MLSS و MLVSS در زمان بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با فاضلاب نساجی

درصد‌های حذف همه پارامترهای بیولوژیکی شامل COD، VSS، TSS، BOD و Color برای فاضلاب‌های شهری و نساجی، در حدود مطلوب و قابل انتظار بوده است. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده درصد حذف مقادیر BOD نسبت به COD و نیز VSS نسبت به TSS، نسبت به فرایندهای بیولوژیکی متداول نظیر لجن فعال بیشتر گزارش شده‌اند (Yang et al., 2018). راندمان حذف پارامترهای بیولوژیکی را با هوادهی کافی، تنظیم pH، استفاده ترکیبی از لجن فعال شهری و بهره‌برداری صحیح از دستگاه SMBR، می‌توان افزایش داد (Deowan et al., 2016). بیشترین درصد حذف COD و BOD مربوط به زمان افزایش بیومس در رآکتور و افزایش فاضلاب تازه به مخزن سیستم و کمترین آن‌ها مربوط به ابتدای کار و عدم تشکیل کامل لجن فعال است. غلظت MLSS و MLVSS، معمولاً در ابتدای برداشت فاضلاب ناچیز و به‌مرور زمان با هوادهی ممتد، رشد تدریجی لجن فعال و بیومس و افزایش خوراک جدید به رآکتور افزایش یافته است. یکی از دلایل مهم این است که افزایش غلظت زیست‌توده به‌خاطر افزایش ترکیبات آلی و معدنی بوده است و دیگر این که احتمال دارد با افزایش سن لجن و پیر شدن آن فعالیت میکروبی کاهش یافته است. حذف رنگ و کدورت از فاضلاب ورودی در حد بالا و همه نمونه‌های خروجی بی رنگ و شفاف بوده‌اند، به‌طوری‌که با افزایش هوادهی و زمان ماند هیدرولیکی، رنگ و کدورت اولیه فاضلاب هم کاهش یافته است (Wang et al., 2020). حضور حداقل ۱۰ درصد لجن فعال فاضلاب شهری و نیز تشکیل لجن فعال بیشتر در فاضلاب نساجی، در تشکیل و رشد سریع‌تر توده‌های بیولوژیک فاضلاب نساجی، نقش موثری داشته و باعث کاهش بار آلودگی ورودی به غشاء‌های پیلوت شده است. اگر F حاصل ضرب دبی فاضلاب (۱ مترمکعب در روز)، در مقدار متوسط BOD آن و M، حاصل ضرب حجم فاضلاب رآکتور SMBR (حدود ۰/۵۸ مترمکعب)، در مقدار MLSS فاضلاب باشد، مقدار نسبت F/M برای متوسط بارهای آلودگی به‌دست آمده فاضلاب‌های شهری، مخلوط و صنعت نساجی به‌ترتیب ۰/۱۴، ۰/۲، ۰/۳۷ حاصل می‌شود، که پایین نگه‌داشتن این نسبت باعث تولید حجم کمتر لجن در رآکتور خواهد شد (Yang et al., 2021). بنابراین نتایج نشان داد که باید مقدار جریان فاضلاب ورودی در فاضلاب نساجی کمتر شود. زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب شهری و فاضلاب نساجی با هوادهی ممتد و حضور لجن فعال مخلوط می‌تواند به‌ترتیب تا مقدار ۱۵ ساعت و ۳۰ ساعت هم کاهش یابد.

برای تصفیه فاضلاب نساجی چندین منبع میکروبی از جمله

قارچ‌ها، باکتری‌ها، مخمرها، جلبک‌ها و اکتینومیسیت‌ها گزارش شده‌اند. میکروارگانیسم‌های اکستروموفیل به‌دلیل توانایی آن‌ها برای زنده‌ماندن در شرایط سخت که عامل محدودکننده‌ای برای میکروارگانیسم‌های مزوفیل است، به‌طور گسترده در تصفیه فاضلاب صنایع نساجی استفاده می‌شوند. ریزوباکتری‌های ترویجی توانایی جالبی در رنگ‌زدایی رنگ‌های مختلف نساجی نشان می‌دهند. اثربخشی رنگ‌زدایی میکروبی به سازگاری و فعالیت میکروارگانیسم‌های منتخب که با کاربرد آن در شرایط بهینه افزایش می‌یابد، بستگی دارد (Wang et al., 2020). با تشکیل کامل لجن فعال و تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، گرفتگی غشاء کم و زمان شست و شوی معکوس کاهش یافته است. با تنظیم جریان خروجی به ۵۰ L/hr، فشار مکش جریان ۰/۱ تا ۰/۰۵ مگاپاسکال بوده است که در کارکرد پیلوت با فاضلاب نساجی در حدود ۰/۰۳ مگاپاسکال گزارش شده است. با رسیدن این فشار مکش به کمتر از ۰/۰۱ مگاپاسکال، جریان خروجی به زیر ۲۰ L/hr کاهش پیدا کرده و غشاءها نیاز به شست و شوی معکوس داشتند. با گذشت زمان، افت شار جریان به‌دلیل تشکیل یک لایه ژل مانند از رسوبات سطحی ایجاد می‌شود. این لایه ژل یک سد ثانویه در مقابل جریان عبوری از میان غشاءها تشکیل داده و در نتیجه فشار مورد نیاز برای بقای شار افزایش می‌یابد. هنگامی که شار جریان کاهش پیدا کرد غشاء مملو از رسوب سطحی در نظر گرفته شده است. در این تحقیق شست‌وشوی معکوس غشاء با استفاده از هوادهی و جریان آب تمیز معکوس شده به‌مدت ۱ الی ۲ دقیقه صورت گرفت. به‌طور متوسط بعد از هر ۳۰ روز غشاءها نیاز به شست‌وشوی شیمیایی داشته‌اند. در طی عملیات این تحقیق فقط یک‌بار گرفتگی شدید در هنگام کارکرد پیلوت با فاضلاب نساجی اتفاق افتاد که با شست‌وشوی شیمیایی برطرف شد. تشکیل لایه بیولوژیکی بر روی غشاء در حذف بهتر بارهای آلودگی موثر بوده است، زیرا لایه کیک مانند تشکیل شده باعث ایجاد بستری برای رشد میکروارگانیسم‌ها و تصفیه بهتر فاضلاب شده است (Hashemzadeh et al., 2021). تغییر رنگ و برطرف شدن بوی فاضلاب، نشانه‌ای از تعادل بیولوژیکی و نزدیک شدن به زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب است. همچنین نتایج نشان‌داد اختلاط بخشی از فاضلاب شهری با فاضلاب نساجی می‌تواند فرآیند تصفیه بیولوژیکی را بهبود بخشد و در آن صورت می‌توان از لجن حاصل به‌عنوان کود مفید در کشاورزی استفاده نمود (Lubello et al., 2007).

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان با انتخاب مناسب زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب برحسب زمان تشکیل لجن فعال و لخته‌های بیولوژیکی و هوادهی کافی به درصدهای حذف مناسب دست‌یافت. در این‌صورت گرفتگی غشاء کمتر و راندمان تصفیه فاضلاب هم افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد SMBR می‌تواند گزینه مناسبی برای تصفیه فاضلاب شهری و صنعت نساجی باشد و به‌عنوان جایگزین روش لجن فعال متعارف مطرح شود. در این‌روش علاوه‌بر جلوگیری از آلودگی‌های آب، خاک و محیط‌زیست موجودات زنده، می‌توان بیش از ۹۰٪ فاضلاب تصفیه‌شده نساجی را حداقل برای مصارف شست‌وشو و نیازهای صنعتی مجدداً مورد استفاده قرار داد و فقط حدود ۲۰٪ از منابع آبی دیگر استفاده نمود. آب تمیز و بدون رنگ و کدورت حاصل از این نوع تصفیه، به‌راحتی قابل استفاده مجدد در فرآیندهای رنگرزی و تکمیل و شست و شو است. به‌نظر می‌رسد بیوراکتورهای غشایی استفاده شده در این تحقیق، قابل استفاده و تعمیم در تصفیه فاضلاب سایر صنایع و مراکز تولیدی و نیز مجتمع‌های مسکونی، تجاری، اداری و امثال آن باشد.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Membrane Biological Reactor
- 2- Flat Sheet
- 3- Hydraulic retention time
- 4- Solids Retention Time
- 5- American Society for Testing and Materials

۶- مراجع

- treatment", *Journal of Membrane Science*, 510, 524-532.
- Fazal, S., Zhang, B., Zhong, Z., Gao, L., and Chen, X., (2015), "Industrial wastewater treatment by using MBR (membrane bioreactor) review study", *Journal of Environmental Protection*, 6, 584.
- Gray, J.R., and Glysson, G.D., (2003), "Synopsis of outcomes from the federal interagency workshop on turbidity and other sediment surrogates", *In Virginia Water Research Symposium*, Virginia.
- Hashemzadeh, F., Hassani, A.H., Torabiyan, A., Borgheie, S.M., and Hamsee, A.H., (2021), "Investigation of Submerged Membrane Reactor in removal of water turbidity using poly-aluminum chloride coagulant with coagulation aids of polyelectrolyte and lime", *Journal of Water and Wastewater*, 32(4), 93-107.
- Jegatheesan, V., Pramanik, B.K., Chen, J., Navaratna, D., Chang, C.Y., and Shu, L., (2016), "Treatment of textile wastewater with membrane bioreactor: a critical review", *Bioresource Technology*, 204, 202-212.
- Judd, S., (2010), *Principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment*, Elsevier.
- Kusworo, T.D., Aryanti, N., and Utomo, D.P., (2019), "Improvement in nano-hybrid membrane PES, nanosilica performance using ultra violet irradiation and acetone-ethanol immersion for produced water treatment", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 973-986.
- Lubello, C., Caffaz, S., Mangini, L., Santianni, D., and Caretti, C., (2007), "MBR pilot plant for textile wastewater treatment and reuse", *Water science and Technology*, 55(10), 115-124.
- Martins, L.F., (2008), *Desenvolvimento de equipamento de baixo custo instrumentalizar o metodo ASTM D 1209-00*, Institute of Chemistry Research Group on Analytical Chemistry and Education, Masters dissertation, Campinas, SP.
- Motlagh, P.Y., Khataee, A., HassaniMotlagh, P.Y., Khataee, A., Hassani, A., and Rad, T.S., (2020), "ZnFe-LDH/GO nanocomposite coated on the glass support as a highly efficient catalyst for visible light photodegradation of an emerging pollutant", *Journal of Molecular Liquids*, 302, 112532.
- Radjenović, J., Matošić, M., Mijatović, I., Petrović, M., and Barceló, D., (2007), "Membrane bioreactor (MBR) as an advanced wastewater treatment technology", *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste*, 37-101.
- Sahinkaya, E., Uzal, N., Yetis, U., and Dilek, F.B., (2008), "Biological treatment and nanofiltration of denim textile wastewater for reuse", *Journal of Hazardous Materials*, 153(3), 1142-1148.
- Sahinkaya, E., Yurtsever, A., and Çınar, Ö., (2017), "Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance", *Separation and Purification Technology*, 174, 445-454.
- Sheldon, M.S., and Erdogan, I.G., (2016), "Multi-stage
- Arslan, S., Eyvaz, M., Gürbulak, E., and Yüksel, E., (2016), "A review of state-of-the-art technologies in dye-containing wastewater treatment-the textile industry case", *Textile Wastewater Treatment*, 1-29.
- De Jager, D., Sheldon, M.S., and Edwards, W., (2014), "Colour removal from textile wastewater using a pilot-scale dual-stage MBR and subsequent RO system", *Separation and Purification Technology*, 135, 135-144.
- Deowan, S.A., Galiano, F., Hoinkis, J., Figoli, A., and Drioli, E., (2013), "Submerged Membrane Bioreactor (SMBR) for treatment of textile dye wastewatertowards developing novel MBR process", *APCBEE Procedia*, 5, 259-264.
- Deowan, S.A., Galiano, F., Hoinkis, J., Johnson, D., Altinkaya, S.A., Gabriele, B., Hilal, N., Drioli, E., and Figoli, A., (2016), "Novel low-fouling membrane bioreactor (MBR) for industrial wastewater

- EGSB/MBR treatment of soft drink industry wastewater”, *Chemical Engineering Journal*, 285, 368-377.
- Shi, B., Shlepr, M., and Palfery, D., (2011), “Effect of blend composition and structure on biodegradation of starch/ecoflex-filled polyethylene films”, *Journal of Applied Polymer Science*, 120(3), 1808-1816.
- Spellman, F.R., (2008), *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*, CRC press.
- Wang, Y., Wang, H., Wang, X., Xiao, Y., Zhou, Y., Su, X., Cai, J., and Sun, F., (2020), “Resuscitation, isolation and immobilization of bacterial species for efficient textile wastewater treatment: A critical review and update”, *Science of the Total Environment*, 730, 139034.
- Yang, X., Crespi Rosell, M. and López Grima, V., (2018), “A review on the present situation of wastewater treatment in textile industry with membrane bioreactor and moving bed biofilm reactor”, *Desalination and Water Treatment*, 103, 315-322.
- Yang, X., López-Grimau, V., Vilaseca, M., and Crespi, M., (2020), “Treatment of textile wastewater by CAS, MBR, and MBBR: A comparative study from technical, economic, and environmental perspectives”, *Water*, 12(5), 1306.
- Yang, X., López-Grimau, V., Vilaseca, M., Crespi, M., Ribera-Pi, J., Calderer, M., and Martínez-Lladó, X., (2021), “Reuse of textile wastewater treated by moving bed biofilm reactor coupled with membrane bioreactor”, *Coloration Technology*, 137(5), 484-492.
- Yigit, N.O., Uzal, N., Koseoglu, H., Harman, I., Yukseler, H., Yetis, U., Civelekoglu, G.Ö.K.H.A.N., and Kitis, M., (2009), “Treatment of a denim producing textile industry wastewater using pilot-scale membrane bioreactor”, *Desalination*, 240(1-3), 143-150.
- Yurtsever, A., Basaran, E., Ucar, D., and Sahinkaya, E., (2021), “Self-forming dynamic membrane bioreactor for textile industry wastewater treatment”, *Science of the Total Environment*, 751, 141572.
- Yurtsever, A., Calimlioglu, B., and Sahinkaya, E., (2017), “Impact of SRT on the efficiency and microbial community of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of textile industry wastewater”, *Chemical Engineering Journal*, 314, 378-387.



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



جناب آقای مهندس حسن بختیاری
مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب استان قم

*** باتوجه به بحران آب در استان قم و عدم وجود منابع پایدار آب و حضور تعداد زیاد زائر در طول سال، برای تأمین درازمدت آب شهرهای قم چه برنامه‌ای دارید؟**

- شرکت آب و فاضلاب استان قم بر آن است تا با بهره‌گیری از منابع انسانی کارآمد و دانش‌مدار، فناوری پیشرفته، استقرار ساختار اداری و مدیریتی اثربخش، مشارکت موثر بخش خصوصی و گسترش آگاهی عمومی، مدیریت تقاضا، بازچرخانی آب و پساب به‌عنوان کارآمدترین نهاد ذی‌ربط به‌گونه‌ای عمل نماید تا آحاد جامعه در حد استانداردهای ملی و بین‌المللی به آب شرب کافی و سالم و امکانات جمع‌آوری، انتقال و تصفیه بهداشتی فاضلاب دسترسی داشته و استان قم در حوزه‌های حفاظت منابع آب، کمک به حفظ محیط‌زیست و تأمین بهداشت عمومی به‌عنوان شرکت پیشرو شناخته شود. در این راستا برنامه‌هایی برای خروج از بحران دارد که عبارتند از: ۱- جذب اعتبار برای اصلاح شبکه دوم (آب شیرین)؛ ۲- جذب سرمایه‌گذار برای انتقال و تصفیه فاضلاب خام؛ ۳- همکاری شرکت آب منطقه‌ای برای صدور مجوز برای حفر و تجهیز چاه مورد نیاز برای عبور از بحران؛ ۴- الزام مسئولین استان برای استفاده پساب برای صنعت و بخشی از فضای سبز شهری. در صورت مساعدت مسئولین ملی و محلی انشاله برای استان قم مشکلی پیش نخواهد آمد.

*** نتایج اقدامات شما در مورد مدیریت مصرف و تقاضا چیست؟ چه مقدار توانستید مصرف آب قم را کم کنید؟**

شرکت آب و فاضلاب در سال ۱۴۰۰ اقدامات ذیل را برای مدیریت تقاضا انجام داده که منجر به کاهش هدررفت از ۲۱/۹۳٪ به ۲۱/۵۷٪ شد که عبارتند از:

- نشت‌یابی سالانه شبکه آب (۱۳۰ کیلومتر)
- اصلاح سالانه شبکه آب (۲۱ کیلومتر)
- مطالعات پهنه‌بندی شهر جعفریه و کهک
- نشت‌یابی ۵ باب از مخازن شهر قم (دو برادران)
- استانداردسازی ۱۴۱۸ فقره از انشعابات
- تعویض ۹۶۱۴ دستگاه کنتور خراب
- شناسایی و تبدیل ۱۲۷۲ فقره انشعاب غیرمجاز به مجاز با درآمد ۲۹,۹ میلیارد ریال
- شناسایی ۱۵۶ فقره انشعاب دستکاری با درآمد ۷/۷ میلیارد ریال
- پیمایش و بررسی مصرف و کنتورهای مشترکین به‌میزان ۵۷۵۹ مورد
- پیمایش تعداد ۸۳۹۴ مشترک با وضعیت قرائت بیش از سه دوره علی‌الحساب

*** لطفا ضمن معرفی مختصر شرکت آب و فاضلاب استان قم، یک معرفی اجمالی از خود نیز ارائه فرمایید.**

در سال ۱۳۶۹ قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب توسط مجلس شورای اسلامی تصویب شد و شرکت آب و فاضلاب قم در سال ۱۳۷۲ با عنوان سهامی خاص و با سهامداری شهرداری قم، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و سرمایه‌گذاری نیرو، به‌عنوان یکی از شرکت‌های اقماری آب و فاضلاب استان تهران تشکیل و تحت نظارت وزارت نیرو مشغول به فعالیت شد. بر همین اساس شرکت آب و فاضلاب قم (سهامی خاص) در سال ۱۳۷۱ به ثبت رسیده و با انتقال اموال و دارایی‌ها و تأسیسات آب شهری و تعداد ۱۱۴,۴۲۵ مشترک آب از دستگاه‌های قبلی در چهارچوب قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب و قانون تجارت آغاز به کار نمود.

پس از استان شدن قم، شرکت آب و فاضلاب قم در سال ۱۳۷۶ از شرکت آب و فاضلاب استان تهران منفک و به‌عنوان "شرکت آب و فاضلاب شهری استان قم" به‌کار خود ادامه داد. در حال حاضر شهرهای در قلمرو فعالیت شرکت شامل شهرهای قم، جعفریه، کهک، دستجرد، سلفچگان و قنوات است. در سال ۱۳۹۸ نیز با ابلاغ شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، وظایف شرکت آب و فاضلاب روستایی استان قم به شرکت واگذار و شرکت یکپارچه آب و فاضلاب استان قم تشکیل شد.

سوابق کاری اینجانب نیز شامل مسئولیت‌های مختلف در شرکت آب و فاضلاب قم از سال ۱۳۷۷ تاکنون است از جمله: کارشناس مسئول آزمایشگاه، مدیر تصفیه‌خانه فاضلاب، مدیر امور بهره‌برداری و نگهداری تأسیسات آب، رئیس اداره بهره‌برداری بخش فاضلاب، مدیر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی و رئیس هیأت مدیره و مدیرعامل از سال ۱۴۰۰ تاکنون است. هم‌چنین از سال ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۰ به‌عنوان عضو و نائب رئیس شورا و رئیس شورای استان انجام وظیفه نموده‌ام.

- انجام فعالیت‌های اجرایی مطالعات آب بدون درآمد مجتمع علی‌محمدی

- نصب کنتور بر روی خروجی تصفیه‌خانه آب

- رفع ۵ مورد نشت سربندهای بتنی خط انتقال قدیم قم

- خرید و نصب ۱۰۰۰ عدد پرلاتور (دراشان) در مدارس و مساجد

- خرید و نصب ۶۸۲ دستگاه شیر اهرمی در مدارس و مساجد

- شناسایی ۱۸۰ فقره انشعابات پر مصرف به منظور اعمال مدیریت

- جداسازی بوستان بنیادی از شبکه توزیع به مساحت ۴۰ هزار مترمربع

* میزان آب بدون درآمد در قم چقدر است و برای کاهش آن به میزان استاندارد چه موانعی وجود دارد؟

- میزان آب بدون درآمد استان ۲۲/۰۷٪ است. مهم‌ترین موانع اصلاح شبکه‌های فرسوده، نشت یابی و خطای اندازه‌گیری است که انجام این پروژه‌ها هزینه‌های زیادی برای شرکت ایجاد می‌نماید. با این حال شرکت براساس بودجه عملیاتی اقدام به اصلاح شبکه و نشت‌یابی و تعویض کنتورهای فرسوده مشترکین و نصب فلومتر در شبکه تامین و توزیع می‌نماید در حالی که نیازمند اقدامات بیشتری است.

* چرا بخشی از مردم به فعالیت‌های شرکت‌های آبفا اعتماد لازم را ندارند و در برنامه‌ریزی‌های آن مشارکت ندارند؟

- علت بی‌اعتمادی بخشی از مردم، عدم آگاهی بخشی و اطلاع‌رسانی دقیق و جامع در موضوعات مختلف مبتلابه مردم است مانند مشکلات تامین و توزیع، قیمت واقعی آب و

* آبفای قم تا چه حد تلاش کرده است امور اجتماعی، جامعه‌شناسی، فرهنگی و آموزشی را در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری خود لحاظ کند؟

- یکی از الویت‌های شرکت آب و فاضلاب استان قم که جزو اهداف وزارت نیرو و به تبع آن شرکت مهندسی آبفای کشور است، فرهنگ‌سازی مصرف بهینه آب و تبیین اهمیت و جایگاه واقعی آب است. لذا این شرکت از سالیان دور با اجرای برنامه‌های آموزشی فرهنگی ترویجی شامل: برگزاری جشنواره‌های مختلف از جمله آب صدای زندگی، فراگیری نخستین واژه و ...، پویش‌های آب رفته باز می‌گردد، جان آب در خطر است، بانوی آب و ...، طرح حامیان آب در مدارس، همایش‌های مدیریت مصرف برای گروه‌های هدف، تولید و پخش برنامه‌های رادیویی و تلویزیونی در شبکه‌های استانی و سراسری (شبکه ۵، رادیو معارف، رادیو جوان

و ...)، تولید و باز نشر کلیپ، موشن‌گرافی، انیمیشن و ... در شبکه‌های اجتماعی، طراحی و چاپ پوستر با مضامین صرفه‌جویی و تبلیغات محیطی و سایر فعالیت‌های فرهنگی به عنوان یکی از شرکت‌های پیشرو در استان است. هم‌چنین در بخش مرکز ارتباط با مشتریان (واحد ۱۲۲) نسبت به نظرسنجی و بازخوردگیری خدمات ارائه شده به مشترکین در حوزه‌های مختلف اهتمام ویژه وجود دارد.

* با توجه به وجود حوزه علمیه در قم تا چه حد توانسته اید دیدگاه حوزه را در زمینه مسائل مختلف مرتبط با آب و فاضلاب روشن کرده و از پتانسل آنها برای رفع مشکلات خود استفاده کنید.

- در این راستا شرکت آب و فاضلاب استان قم طی سالیان گذشته با انعقاد تفاهم‌نامه‌های فرهنگی با معاونت فرهنگی تبلیغاتی دفتر تبلیغات حوزه علمیه قم، نسبت به برگزاری همایش‌های مدیریت و اصلاح الگوی مصرف آب با حضور وزیر، معاونین و مدیران کشوری و هم‌چنین چاپ و توزیع چندین نوبت بروشور ویژه مبلغان مذهبی و تولید ۵۰ قسمت برنامه تلویزیونی مشارکتی ویژه کودکان با موضوع اصلاح الگوی مصرف با رویکرد دینی و پخش از شبکه سراسری ۵ سیما و انجام پروژه‌های پژوهشی تحت عنوان مدیریت مصرف آب از نگاه اسلام و اقدام نموده است. هم‌چنین شرکت آب و فاضلاب نسبت به برگزاری ملاقات با مراجع تقلید، آیات عظام و استفاده از نقطه‌نظرات حضرات پیرامون مسائل مربوطه به آب اهتمام ویژه داشته است. در آخر طی مبادله تفاهم‌نامه و انعقاد قرارداد با شبکه سراسری رادیو معارف (مستقر در قم) نسبت به تولید و پخش بالغ بر ۵۰۰ برنامه در زمینه مسائل مختلف مرتبط با آب و فاضلاب با رویکرد دینی اقدام نموده است.

* با توجه به شوری منابع آب زیرزمینی قم وضعیت تصفیه آب، نمک‌زدایی و کیفیت آب تحویلی به مردم استان قم چگونه است؟

- آبفای قم برای تامین آب شرب از منابع مختلفی استفاده می‌کند که در شش ماهه اول سال ۱۴۰۱ از سد کوچری ۵۵٪ با $EC=350$ ، سد پانزده خرداد ۱۵٪ با $EC=3200$ ، چاه‌های داخل شهر و علی آباد ۲۹٪ با $EC=5000$ و چشمه و قنات ۱٪ برداشت داشته است که نسبت به چند سال گذشته شوری آب با توجه به کاهش تخصیص آب از سد کوچری افزایش داشته است. از طرفی آبفای قم یک شبکه دوم با طول ۲۰۰ کیلومتر در در سطح شهر ایجاد نموده و روزانه ۶۰۰۰ مترمکعب آب با کمک دستگاه آب

شیرین کن با کیفیت خوب تصفیه و در شبکه دوم منتقل می‌نماید. هم‌شهریان کمی می‌توانند با خرید کارت آب کیفیت را از طریق ۲۸۰ ایستگاه که در سطح شهر پراکنده است برداشت کنند.

* وضعیت شبکه فاضلاب قم چگونه است و در شبکه و تصفیه‌خانه‌ها با چه چالش‌هایی روبرو هستید؟

- شرکت آبفای استان حدود ۱۰۷۰ کیلومتر شبکه فاضلاب و ۴ باب تصفیه‌خانه با ظرفیت ۱۲۰ هزار مترمکعب در شبانه‌روز (۴۱ درصد جمعیت تحت پوشش) اجرا و به بهره‌برداری رسانده است و نیاز به ۱۰۴۵ کیلومتر شبکه و خطوط انتقال و تصفیه‌خانه فاضلاب با ظرفیت حدود ۲۰۰ هزار مترمکعب در شبانه‌روز (برای افق ۱۴۱۵ و پیش‌بینی جمعیت ۱٫۶ میلیون نفر) است. اولویت اجرای شبکه فاضلاب در مناطق با تراکم ساختمانی بالا (مناطق ۱-۴-۸) و مناطق دارای مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی دفع غیر اصولی فاضلاب (مناطق ۲-۳-۶) و سایت‌های اختصاص یافته برای جنبش ملی مسکن است.

تا پایان سال ۱۴۰۰ میزان تولید پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر قم حدود ۳۸ میلیون مترمکعب در سال بوده است که ۱۸ میلیون مترمکعب آن تا این سال واگذار شده است، شامل: شهرداری ۴/۵ م.م، اداره کل منابع طبیعی ۳/۵ م.م و صنعت ۱۰ م.م و مابقی در کانال کشاورزی تخلیه می‌شود که ساماندهی آن برعهده شرکت آب منطقه‌ای است. حدود ۴۰۰ مترمکعب در شبانه‌روز فاضلاب خام هم به دانشگاه قم واگذار شده است که با احداث تصفیه‌خانه محلی، پساب آن برای آبیاری فضای سبز دانشگاه استفاده می‌شود. فراخوان برای جذب سرمایه‌گذار برای واگذاری فاضلاب خام پردیسان نیز در حال انجام و واگذاری فاضلاب خام در کلیه نقاط شهر نیز در دستور کار است.

با ابلاغ تعرفه جدید آب صنعت و فضای سبز و ابلاغ دستورالعمل طرح بازتخصیص آب با جایگزینی پساب در سال ۱۴۰۱ و اعمال محدودیت‌های واگذاری آب به صنعت و فضای سبز، انتظار می‌رود استفاده از پساب برای متولیان صنعت و شهرداری توجیه اقتصادی بیشتری داشته باشد و ضمن رونق بازار آب و پساب، بخشی از زیان بخش فاضلاب هم جبران شود. مهم‌ترین چالش‌های بخش فاضلاب استان عبارتند از:

- زیان‌دهی بالای بخش فاضلاب ناشی از تعرفه‌های تکلیفی فاضلاب بهاء، عدم عایدی و درآمد قابل توجه از فروش پساب و لجن
- چالش‌های توسعه زیرساخت‌های فاضلاب به دلیل تکمیل ظرفیت تصفیه‌خانه‌ها و خطوط انتقال و همچنین مشکلات

تامین اعتبار (شروط مصوبه ماده ۲۳ طرح فاضلاب پردیسان) و عدم تکافوی درآمدها

- مخاطرات بیش از ۲۴۰ کیلومتر شبکه فاضلاب در معرض تخریب و نشست شبکه فاضلاب
- خسارت به تاسیسات و اختلال در عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ناشی از عدم ساماندهی تانکرهای حمل سپتاژ و فاضلاب‌های صنعتی
- مهم‌ترین راهبردها برای توسعه تاسیسات فاضلاب شهر قم عبارتند از:
- بازاریابی و جذب سرمایه‌گذار برای فروش پساب و فاضلاب خام
- پیگیری فروش لجن برای فراوری لجن و تولید کود
- پیگیری به‌روز رسانی تعرفه‌های حق انشعاب فاضلاب و کارمزد دفع فاضلاب
- توسعه اجرای شبکه‌های فاضلاب از طریق خودیاری و مشارکت‌های مردمی
- تاکید بر اجرای ماده ۲۲ و ۲۳ آیین‌نامه قانون زمین شهری برای اجرای شبکه‌های آب و فاضلاب در زمین‌های تفکیکی
- استفاده بیشتر از ظرفیت تبصره ۳ قانون ایجاد تسهیلات برای توسعه طرح‌های فاضلاب با همکاری شورای اسلامی شهر
- پیگیری افزایش سهم درآمد عمومی دولت در طرح‌های فاضلاب استان
- ممنوعیت تخصیص یا واگذاری آب به بخش صنعت و کاهش تخصیص آب صنعت و جایگزینی با پساب
- برنامه‌ریزی شهرداری‌ها برای استفاده و جایگزینی پساب تصفیه‌شده در توسعه و نگهداری فضای سبز شهری
- جایگزینی مصارف آب غیرشرب ادارات و نهادهای دارای فضای سبز وسیع با پساب (دانشگاه‌ها، مراکز نظامی، نیروگاه حرارتی و ...) از طریق احداث تصفیه‌خانه‌های محلی فاضلاب یا آب خاکستری (نمونه اجرا شده در دانشگاه قم)
- توسعه صنعت کشاورزی چوب

* چرا تلاش لازم توسط مسئولین شرکت‌های آب و فاضلاب برای توجیه ضرورت واقعی شدن قیمت آب در ارگان‌های تصمیم‌گیری کشور انجام نشده است و وضعیت منفی مالی شرکت‌های آبفا روز به روز وخیم‌تر می‌شود؟

- شرکت‌های آب و فاضلاب در گزارش‌های صورت‌های مالی خود در سالیان متمادی این مسئله را انتقال داده‌اند و همچنین در شرکت آبفای قم عدم واقعی شدن قیمت آب، باعث افزایش زیان

انباشته شده است و این مسئله در جلسات مختلف به مسئولین استانی و کشوری انعکاس داده شده است. ولی متأسفانه برنامه‌ای در سطح ملی برای برطرف شدن این مشکل وجود ندارد و همین مسئله باعث فقیر شدن صنعت آب و فاضلاب شده است.

* ضرورت تشکیل انجمن آب و فاضلاب ایران و نقشی که می‌تواند در حوزه آب و فاضلاب ایفا کند را بیان کنید.

- با توجه به این‌که انجمن به صورت یک بخش غیردولتی اداره می‌شود و چالش‌ها و مسائل صنعت را می‌شناسد و از طرفی با دانشگاه مرتبط است، می‌تواند ارتباطی مؤثر بین دانشگاه و صنعت برقرار نماید و از طرفی هزینه‌های انجام سمینارها و کارگاه‌های تخصصی را کاهش و مشارکت بیشتری بین دانشگاه و صنعت ایجاد می‌نماید.

* نحوه ارتباط شرکت آب و فاضلاب قم با انجمن آب و فاضلاب ایران چگونه است و دو طرف چه کمکی می‌توانند به هم بکنند؟

- هم اکنون ارتباط این شرکت و انجمن در قالب همکاری در برگزاری چهارمین کنگره علوم مهندسی در آب و فاضلاب در استان قم است و می‌تواند در قالب تفاهم‌نامه، همکاری جدیدی برای ارتقای توان علمی همکاران این شرکت و مشاوره‌های تخصصی در حوزه صنعت ادامه داشته باشد.

* نتیجه عملکرد واحد تحقیقات آن شرکت را بیان کنید.

- حضور فعال در رویدادها و نمایشگاه‌های پژوهش و فناوری کشور به طور مداوم از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰

- کسب رتبه برتر عملکرد و رشد کشوری در دو سال پیاپی
- ارتقای سطح علمی و پژوهشی شرکت و برگزیده شدن ۳ پژوهشگر آب‌فای قم به عنوان پژوهشگر برتر دستگاه‌های اجرایی استان قم

- افزایش اعتبارات هزینه شده با رشد صعودی در سال‌های اخیر
- حمایت از شرکت‌های دانش بنیان و بومی سازی محصولات
- پژوهش و مطالعه استانداردهای مصرف و کارکرد وسائل آب‌پخش مسکونی

- طراحی و ساخت دستگاه آشغالگیر برخط لجن
- طراحی و ساخت آشغالگیر مکانیکی ریزدانه

- تهیه منعقدکننده‌های شیمیایی پلیمری حاوی Al، Si و Fe
- برای تصفیه آب و فاضلاب و بررسی کارایی آن‌ها

- توسعه ساخت دستگاه اسکرول پمپ‌های تلمبه‌خانه‌های

فاضلاب شهر قم

- سامانه اندازه‌گیری فشار کل در لوله دارای جریان

- بررسی تاثیر استفاده از پمپ بر روی عملکرد کنتور آب خانگی و راه کارهای کاهش اثرات آن

- بررسی حذف جلبک‌ها در فرایند تصفیه آب قم با استفاده از بیوفلوکولنت‌ها

- بررسی شاخص‌های مؤثر بر رفتار مصرفی مشترکین با رویکرد دینامیک

- بررسی و تخمین مصرف سالیانه آب در کولرهای آبی براساس اقلیم سال‌های آینده شهرستان قم، بررسی تجربی و مدل سازی عددی

- بررسی راندمان الکتروپمپ‌های ایستگاه پمپاژ شکوهیه و ارائه پیشنهاد برای بهبود وضعیت موجود

- آسیب شناسی وضعیت نیروی انسانی شرکت برای افق ۱۴۱۴ شرکت آب‌فای قم

- بررسی روش‌های نانوتکنولوژی در بهبود و افزایش کارایی فرآیند تصفیه آب

- شرکت در سمینارها و کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی
چاپ مقالات علمی-پژوهشی در مجلات علمی-پژوهشی داخلی و خارجی (۱۵ مورد طی دو سال اخیر)

- ترجمه و تألیف کتب مختلف در حوزه آب و فاضلاب:

✓ آب در آینه دانش کتاب چاپی و کتاب الکترونیکی ۱۴۰۰

✓ ایمنی را جدی بگیریم، ۵۲ موضوع در باره ایمنی در شرکت‌های آب و فاضلاب ۱۳۹۸

✓ تجربه‌ای موفق از کنترل استراتژیک ۱۳۹۷

✓ آینده آب، یک پیش‌بینی شگفت‌انگیز

✓ ترجمه کتاب هندبوک اسپلمن

✓ ترجمه کتاب نصب و راه‌اندازی شاه لوله آب

- همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز علمی دانش بنیان در حوزه آب و فاضلاب و حل مشکلات فنی و چالش‌های شرکت

- انعقاد تفاهم‌نامه همکاری‌های علمی پژوهشی با دانشگاه آزاد واحد قم، دانشگاه قم و دانشگاه صنعتی قم

- اعلام نیازهای مطالعاتی و تحقیقاتی شرکت از طریق ارسال فراخوان به دانشگاه‌ها و مراکز علمی و شرکت‌های دانش بنیان

- حمایت از طرح‌ها و پایان‌نامه‌های دانشجویان سطوح مختلف از کارشناسی ارشد تا دکترا از طریق همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز علمی (بیش از ۱۰ مورد در دو سال اخیر)

- افتخارات کسب شده طی سال‌های اخیر

۱- کسب رتبه اول بین شرکت‌های آب و فاضلاب شهری در عرصه

پژوهش ۱۳۹۸

- ۲- انتخاب طرح پژوهشی طراحی و ساخت اسکروول پمپ فاضلاب به‌عنوان یکی از پروژه‌های پژوهشی ۱۳۹۸ برتر وزارت نیرو
- ۳- کسب لوح تقدیر به پاس حضور فعال در نمایشگاه دستاوردهای پژوهش و فناوری آب و فاضلاب ۱۳۹۸ کشور
- ۴- دریافت تندیس غرغه برتر در جشنواره پژوهش و فناوری آب و فاضلاب کشور ۱۳۹۸
- ۵- کسب رتبه برتر در زمینه رشد پژوهش و فناوری (مقایسه سال ۹۶ نسبت به ۹۵) ۱۳۹۷
- ۶- انتخاب طرح پژوهشی سامانه اندازه‌گیری فشار کل در لوله دارای جریان به‌عنوان یکی از پروژه‌های پژوهشی برتر وزارت نیرو ۱۳۹۷

*** چه مقدار از تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های کلان در شرکت آب و فاضلاب استان قم از طریق مشارکت اتاق‌های فکر با حضور دانشگاهیان و خبرگان صنعت و انجمن‌های علمی انجام می‌شود؟**

- با توجه به تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب در سال ۱۳۷۲، رویکرد این شرکت‌ها جذب متخصصین دانشگاهی بوده است. با توجه به حضور نیروهای تحصیل‌کرده در بدنه صنعت آب و فاضلاب تمایل به همکاری بین دانشگاه و صنعت افزایش پیدا کرده و سعی شده مسائل این شرکت نیز با طرح در اتاق‌های فکر شرکت با مشارکت دانشگاه و صنعت پیگیری و برطرف شود.



نشست تخصصی رویکردهای برنامه ایمنی آب

(اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت، ۹ تا ۱۱ آذرماه ۱۴۰۰، دانشگاه تهران)

لینک فیلم نشست: <https://www.aparat.com/v/BFhCa?playlist=879646>



اعضای نشست:

مهندس اعظم کوشیار واقفی (مدیر دفتر نظارت و کنترل کیفیت آب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)
 مهندس غلامرضا شقاقی (رئیس گروه بهداشت آب و فاضلاب، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی)
 دکتر نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد (استاد دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز)
 دکتر میترا قاسم شریانی (شرکت آب و فاضلاب استان تهران و ممیز برنامه ایمنی آب شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)
 مهندس جواد حسن نژاد (شرکت مدیریت منابع آب ایران)
 دکتر حامد محمدی (استاد دانشگاه علوم پزشکی زنجان)

اگر اجازه دهید من با یک مقدمه شروع می‌کنم و بعد هم می‌سپارم دست سایر عزیزان.

برنامه ایمنی آب، یکی از برنامه‌هایی بود که سازمان جهانی بهداشت معرفی کرد. الگوش را هم از استاندارد داری که مربوط به کارخانجات تولید مواد غذایی بود (HASET) گرفته بودند. آن‌جا برایشان خیلی مهم بود که صرفاً ما فقط روی محصول نهایی تأییدیه ندهیم، بلکه بتوانیم خطرات را در فرآیند تولید شناسایی کنیم و این خطرات را به حداقل ممکن کاهش دهیم تا اطمینان حاصل کنیم که تولید ما، تولیدی با کیفیت تضمین شده است. برنامه ایمنی آب هم بر همین مبنا تنظیم شد و بعد کاملاً برطبق شرایط مربوط به آب تغییر پیدا کرد و به‌روزرسانی شد. این برنامه سال ۱۳۸۸ با کمک وزارت بهداشت آغاز شد و در سال ۱۳۹۰ هم در سند راهبرد ملی بهبود کیفیت آب آشامیدنی قرار گرفت. بعد از آن پیگیری شد که به‌صورت اجرایی دربیاید و الان می‌توانم



آقای مهندس واقفی:

به اعضای نشست تخصصی شماره دو، رویکردهای برنامه ایمنی آب خیرمقدم می‌گویم. من برنامه این نشست را خیلی سریع خدمتتان عرض می‌کنم. ما در بخش اول کلیاتی را در مورد بحث برنامه ایمنی آب خواهیم داشت، و بعد از آن که هر یک از اعضای نشست صحبت‌هایی را مطرح کردند، یک بخش پرسش و پاسخ در حد یک ربع خواهیم داشت و بعد دو مرتبه اعضای نشست به مباحث خود ادامه خواهند داد و در انتها ۱۵ دقیقه را برای پرسش و پاسخ در نظر می‌گیریم که بتوانیم برنامه را سر وقت تمام کنیم.

شد مشابه‌اش رو آمدند با اندازه بزرگتری در سامانه‌های تأمین آب اجرا کردند. ما اولین پایلوتمان در واقع در سال ۱۳۹۰ شروع شد و شهر تبریز را به‌عنوان پایلوت انتخاب کردیم. برای این که ما بتوانیم این همکاری بین‌بخشی را محکم‌تر و قوی‌تر انجام بدهیم یک مصوبه هیئت وزیران داشت تحت‌عنوان سند ملی بهبود کیفیت آب شرب که یکی از اهداف این سند، هدف هفتم، اجرای برنامه ایمنی آب در کشور هست. در واقع این سند و قانون یا این مصوبه هیئت دولت به ما این اجازه را داد که دستگاه‌ها هماهنگی‌هاشان پشتوانه قانونی هم داشته باشد و این همکاری‌ها را انجام بدهند. در نهایت ما در سال ۱۳۹۲ ما پایلوتی که از تبریز شروع کرده بودیم به شهرهای دیگر از جمله، اهواز اصفهان و کاشان تعمیم دادیم. ادامه برنامه که در نهایت در سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ ما برنامه ممیزی استقرار را اجرا می‌کردیم و تمرین می‌کردیم اجرای برنامه را. معمولاً هم برای شروع کار، در مراکز استان‌ها این برنامه را شروع کردیم، به‌جز یک استان. شهر کاشان یکی از موارد بود که به‌دلیل علاقه خاصی که به این برنامه داشت اضافه شد. در نهایت ما اگر بخواهیم وضعیت استقرار این برنامه را داشته باشیم، حدوداً ۳۱ درصد از مراکز استان‌ها توانستند این برنامه را به مرحله استقرار برسانند، یعنی ممیزی انجام شود و تأییدیه را بتوانند از دستگاه‌ها اخذ بکنند. حدود ۴۴ درصد هنوز نتوانستند و در مرحله اجرای برنامه ایمنی هستند و مدام دارند ممیزی می‌شوند تا انشالله بتوانند این گواهی‌نامه را اخذ کنند. حدود ۱۳ نتوانستند پاس کنند. چهار استان هست که علی‌رغم این که خودشان را به مرحله ممیزی رساندند، فعلاً نتوانستند تأییدیه لازم را اخذ کنند. حدود ۱۲ درصد در مرحله داوری هستند که این داوری هم باز توسط همه دستگاه‌ها، در کمیته‌های فنی استان که متشکل از همه دستگاه‌ها هستند که عمدتاً سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان صنعت معدن، وزارت کشور، وزارت بهداشت و وزارت نیرو انجام می‌شود. در استان‌ها هم کمیته فنی تشکیل می‌شود و بعد از این که کمیته‌های فنی تأیید می‌کنند می‌آید در نهایت به کمیته کشوری و راهبری کشوری و این‌جا ممیزی انجام می‌شود و اگر آن شرایط لازم را اخذ کردند می‌توانند به آن‌ها تأییدیه بدهند. این وضعیت اجرای برنامه در مناطق شهری هست که بعد از این که آن شهرهایی که گواهی‌نامه را گرفتند می‌آیند این برنامه را برای سایر شهرهاشان هم توسعه می‌دهند. هم اکنون ۱۳۴ شهر طبق نموداری که می‌بینید در کل کشور دارند این برنامه را اجرا می‌کنند که حدوداً نزدیک به ۲۹ میلیون جمعیت را تحت پوشش قرار دادند. این برنامه در مناطق روستایی یک مقدار ساده‌تر هست

بگویم که در تمامی استان‌های کشور این برنامه اجرایی شده و حداقل در هر استانی ما یک شهر را که عمدتاً شهر مرکزیش هم هست را داریم که در آن برنامه ایمنی آب را در آن اجرا کردیم، هر چند که بیشتر از این هم اجرا شده است. من بیشتر از این دیگر توضیح نمی‌دهم و از آقای مهندس شقاقی که به‌عنوان یکی از متولیان اصلی برنامه ایمنی آب از وزارت بهداشت هستند خواهش می‌کنم که توضیحاتی را در ابتدا در مورد روند اجرای برنامه ایمنی آب، سیاست‌ها و اقدامات اتفاق افتاده و نقش نهادها و سازمان‌هایی که در این خصوص همکاری کردند بدهند.



آقای مهندس شقاقی:

با عرض سلام خدمت شرکت‌کنندگان در این پنل و اساتید گرامی من به‌عنوان مقدمه یک اسلایدی را در مورد روند اجرای برنامه در کشور ارائه خواهم داد. همان‌طور که آقای مهندس واقفی اشاره کردند این برنامه، برنامه‌ای هست که براساس مدیریت ریسک است و هدف از این برنامه در واقع مدیریت ریسک در سامانه تأمین آب است از حوضه آبریز تا مصرف. موضوع مهمی که در این بحث خیلی مهم است، مشارکت همه بخش‌ها است در این برنامه، که یکی از کلیدی‌ترین نکته‌های آن هست که این برنامه را متمایز می‌کند. ما معمولاً وقتی می‌گوییم همکاری‌های بین بخشی در کشور ما خیلی ضعیف انجام می‌شود و معمولاً بسیاری از مشکلات که الان کشور با آن مواجه هست به‌دلیل عدم این همکاری‌های بین بخشی است. مخصوصاً در خصوص آب، یکی از بحث‌های مهمی است که ما می‌بینیم که بخش‌ها به‌صورت بخشی عمل می‌کنند و هر کسی کار خودش را می‌کند و این ناهماهنگی‌ها در نهایت باعث شود که بحرانی در خصوص بحث آب یا سایر موارد مانند آلودگی هوا یا سایر مشکلات محیط‌زیستی که وجود دارد به‌وجود بیاید. در واقع این برنامه یک چارچوبی را برای همکاری‌های بین‌بخشی ارائه داده است، که ما وقتی می‌گوییم همکاری بین‌بخشی مطمئناً همکاری بین‌بخشی به این راحتی‌ها انجام نمی‌شود، فقط با گفتن این که همکاری باهم انجام دهیم. حتماً باید چارچوبی یا فرمتی وجود داشته‌باشد تا بتوانیم همکاری‌ها را انجام دهیم. این برنامه ایمنی آب همان‌طور که آقای مهندس واقفی اشاره کردند از سال ۱۳۸۶ شروع شد. همان‌طور که آقای مهندس واقفی گفتند از کارخانه‌های مواد غذایی شروع

چون سیستم‌های تأمین آب روستایی ساده‌تر هستند و خیلی راحت‌تر می‌شود برنامه اجرا کرد. حدود ۷۸ روستا هستند که در حال اجرای این برنامه هستند و حدود ۷ یا ۸ روستا هستند که توانستند گواهی‌نامه را هم اخذ کنند. روستایی را بعد از این که شهری اجرا شد ما شروع کردیم که امیدواریم که بتواند توسعه پیدا کند. من فعلاً در این بخش دیگر صحبتی ندارم.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون. من خواهش می‌کنم آقای دکتر محمدی در خدمت شما باشیم، من می‌خواستم در مورد موضوع ارزیابی مدیریت ریسک از شما بپرسم، ولی ترجیح دادم این را بگذارم برای بخش دوم. در این بخش می‌خواستم از شما خواهش کنم که در مورد همین موضوعی که آقای مهندس شقاقی هم اشاره کردند و محور سوم صحبت ما هم هست، تعامل و هماهنگی بین‌بخشی نهادها و سازمان‌ها واقعاً چه نقشی می‌تواند در پیشبرد اهداف ایمنی آب و اجرای آن داشته باشد توضیحاتی بفرمایید.



آقای دکتر محمدی:

با سلام و عرض خسته نباشید خدمت برگزارکنندگان نشست. عرض کنم مرتبط با تعامل و هماهنگی نهادها و سازمان‌های مسئول در ارتباط با اجرای این برنامه این را می‌توانم عرض کنم که هر کاری اصلاً به‌طور کلی بحث‌های مرتبط با ارزیابی و مدیریت ریسک و یا غیر از این هم بخواهیم مدنظر قرار بدهیم اگر ذی‌نفعان باشند برنامه می‌تواند خوب ریخته شود، خوب اجرا شود، یعنی خود افراد که متولی امر هستند. نهادهای مختلف مرتبط با همین WSB درگیر هستند. وزارت بهداشت به استناد بحث اجرایی برنامه پنجم توسعه، در راهبرد سند ملی به‌عنوان متولی امر هم شناخته شده. در ارتباط با مسائل مربوط به ارزیابی ریسک، ریسک‌ها از جاهای مختلفی ممکن است سیستم ما را تهدید کنند. مثلاً وقتی که ما صحبت از این می‌کنیم که از آبگیر تا مصرف، وقتی که حوضه آبریز را مدنظر قرار می‌دهیم، ممکن است بحث کاربری اراضی بالادست همین رودخانه یا اطراف مناطقی که چاه‌های آب شرب حفر شده، این‌جا تشکیلات و تأسیساتی وجود داشته باشد که نظارت و کنترل آن‌ها به دستگاه‌های دیگر مثل جهاد کشاورزی مربوط شود. در توزیع آب شرب هم شهرداری‌ها و وزارت کشور و همین‌طور از جنبه‌های دیگری باز شهرداری‌ها

درگیر هستند. بنابراین در تنظیم این برنامه وقتی که ما آن ریسک‌ها را اولویت‌بندی می‌کنیم و می‌خواهیم مداخلاتی انجام بدهیم، مداخله باید به‌صورت مشترک توسط بخش‌های مختلف صورت بگیرد. آقای مهندس شقاقی فرمودند که جلساتی تشکیل شد و هیئت وزیران هم در برنامه پنجم توسعه که خیلی سال هست تمام شده و برنامه ششم هم که دارد تمام می‌شود، اسناد بالادستی این این مجوز را داده. اما در تنظیم برنامه اگر ما بتوانیم این‌ها را درگیر کنیم و در بحث‌های مختلف برنامه‌مان و در تدوین برنامه ایمنی آب آن‌ها را کاملاً به‌صورت همه‌جانبه و به‌صورت فردی که متولی هم هست از آن‌ها نظر بگیریم و دخالت بدهیم این می‌تواند موثر باشد. بنابراین آن‌چه که اهمیت دارد، در هر برنامه‌ای، حتی آدم در منزل خودش هم با مشارکت اعضای خانه یک برنامه‌ای را تنظیم کند و همه را دخیل کند نتیجه بهتری خواهد گرفت.

آقای مهندس واقفی:

بسیار ممنونم آقای دکتر. این موضوعی که شما اشاره کردید در زنجار خیلی خوب اتفاق افتاد و یکی از استان‌هایی بود که هماهنگی بین‌بخشی خیلی خوبی اتفاق افتاد و جزو شرکت‌ها و مناطقی بود که موفق شدند گواهی برنامه ایمنی آب را اخذ کنند. من خواهش می‌کنم از آقای مهندس حسن‌نژاد که در سازمان مدیریت منابع آب هستند، در مورد چالش‌ها و ریسک‌های تهدیدکننده منابع آب توضیحاتی بفرمایند که حاضرین در جریان قرار بگیرند.



آقای مهندس حسن‌نژاد:

بسم الله الرحمن الرحيم، عرض ادب و احترام دارم خدمت آقای مهندس واقفی و همه دوستان حاضر در این نشست علمی. با توجه به زمانی که در اختیار بنده قرار دادند من فکر می‌کنم که با توجه به تجربه ۲۰ ساله‌ای که در زمینه کیفیت منابع آب داریم کار می‌کنیم از سال ۸۱ در شرکت مدیریت منابع آب، من می‌توانم مباحث مربوط به چالش‌ها و ریسک‌های تهدیدکننده کیفیت آب را در سه محور اصلی خدمتتان ارائه بدهم. یکی از محورها بحث حقوقی و قانونی است. ماده ۴۶ قانون عادلانه آب، بیشتر بحث مدیریت واحدهای آلاینده را دنبال کرده، بحث مدیریت کیفیت منابع آب و استانداردهای کیفیت منابع آب و ضمانت اجرایی، از

اجرایی داریم بحث تأمین اعتبارات طرح‌ها هست. با توجه به شرایط اقتصادی کشور این حالت سینوسی به خودش گرفته و بعضی اوقات اعتبارات خوب هست و کار انجام می‌شود. وقتی که اعتبار نیست کارها می‌خوابد. ببینید بحث کیفیت، یک بحث حاکمیتی است و به سلامت مردم برمی‌گردد و نیاز هست که یک اعتبار دائمی در این زمینه داشته باشیم و بدون کاستی که بتوانیم آن اهدافی که پیش‌بینی کردیم را متناسب با آن انجام بدهیم. اگر اعتبارات به این شکل قطره‌چکانی انجام شود به همین نسبت ما در بحث‌های مختلف با مشکل مواجه می‌شویم.

من فقط یک نکته عرض بکنم در بحث اعتبارات. من فقط می‌گویم که اعتبارات باید از قسمت طرح جدا شود و به شکل اعتبارات جاری شرکت‌ها دربیاید. چون شرکت‌ها با مشکلات مالی مواجه هستند من فکر می‌کنم تحت نام تعرفه‌های حفاظت کیفی منابع آب مطرح شود و حتی اگر هم بسیار نازل هست و مثلاً برای تهران در حال حاضر ۱۹ ریال هست، همین می‌تواند خیلی از مشکلات ارگان‌هایی مثل شرکت‌های آب منطقه‌ای را مرتفع بکند و حداقل بحث جاری پروژه‌هاشان در بحث کیفیت با مشکل مواجه نشوند.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون از شما. توضیحاتی که فرمودید کاملاً هم به‌جا و درست بود. در ادامه از آقای دکتر جعفرزاده خواهش می‌کنم نظرات خود را هم در این خصوص ارائه کنند.



آقای دکتر جعفرزاده: سپاسگزارم آقای مهندس واقفی. به‌نام خدا. همین‌طور که دوستان صحبت می‌کردند یاد یک بیتی از خواجه شیراز افتادم که بی‌ربط نیست به این داستان، حافظ می‌گوید:

آنقدر از عشق گفتن در بیان

چون که عشق آمد خجل گشتم از آن

واقعیت قضیه این هست که من با توجه به تجربه ناچیزی که دارم در طول این چند دهه و همکاران و سازمان‌های مختلف در طول بیش از چند دهه، خیلی زیاد صحبت می‌کنیم از بحث کیفیت و کمیت آب و ایمنی آب. ولی این‌که در انتها چه نصیبمان می‌شود، بحثی هست که واقعاً جا دارد در جاهای دیگر بیشتر

موضوعات مغفول مانده در قانون است. انتظار بیش از این نداریم، چون عمری حدود ۴۰ سال از قانون گذشته و نیاز به بازنگری دارد. ولی نکته دیگری که جای سوال هست برای من این است که در بازنگری‌های قانون متأسفانه به بحث کیفیت منابع آب و استانداردهایش و متناسب بودن کیفیت با استاندارد مصرفی، باز هم مغفول مانده و این نیاز یکی از محورهایی هست که به‌نظرم نیاز هست در این نشست بحث شود. چون بحث کیفیت یک بحث فراسازمانی است و تمام افراد حقیقی و حقوقی نقش دارند و بنابراین نیاز دارد که جایگاه هریک از این افراد در این سیستم تعریف شود.

دومین محوری که من فکر می‌کنم جزو چالش‌ها و ریسک‌های کیفیت منابع آب هست، بحث مباحث فنی و زیرساخت‌هاست. علی‌رغم این‌که ما و سازمان محیط‌زیست، آبفا و یا بهداشت مطالعات زیادی داریم انجام می‌دهیم، ما هنوز شناختی از منابع آلاینده نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای و در واقع یک اطلس آلودگی منابع آب در کشور نداریم که بر اساس آن بگوییم پتانسیل آلودگی هرکدام چقدر هست و در کدام آلودگی احراز شده. حتی روی نحوه احراز آلودگی هم تشکیک وجود دارد و موردی هست که باید در این زمینه کار بکنیم و نیاز هست که یک مطالعات جامعی در این زمینه انجام بدهیم.

مهم‌ترین بحثی که در این زمینه وجود دارد این است که بار آلودگی را در منطقه مشخص بکنیم و پهنه‌بندی کیفیت انجام بدهیم که لزوم همه این‌ها این هست که ما زیرساخت‌های خوبی در زمینه تکمیل آزمایشگاه‌ها و به‌ویژه ایستگاه‌های آنلاین داشته باشیم که اگر می‌خواهیم بحث تهدیدها و سهم آلاینده‌های صنعت، کشاورزی و خدمات شهری و غیره را مورد بررسی قرار دهیم باید متناسباً سهمش را مشخص کنیم و اولویت‌بندی کنیم و متناسب با اعتباراتی که داریم برنامه‌ها را انجام بدهیم. هر کدام از این‌ها متأسفانه چون انجام نشده، جایی هم که می‌آید انجام شود متأسفانه به‌دلیل کمبود اعتبارات به شکل کیفی انجام می‌شود. وقتی به شکل کیفی انجام شود چون این مبنای علمی و فنی ندارد هیچ دادگاه حقوقی نمی‌تواند آن را مورد استناد و پیگیری قرار بدهد. این دومین چالشی است که نیاز هست که زیرساخت‌های فنی و علمی کشورمان در زمینه پایش و مدیریت کیفیت منابع آب ارتقا پیدا کند.

سومین آیمتی که من بحث دارم، بحث اعتبارات هست. اعتبارات متأسفانه آخرین مسئله‌ای است که در تأمین آب مورد بررسی قرار می‌گیرد. طرح‌هایی که وجود دارد اعتباراتش بسیار ناچیز هست. همیشه در همه نشست‌هایی که با دوستان در بحث

بررسی شود. همان‌طور که آقای مهندس واقفی اشاره فرمودند ما به‌ر حال اول باید ببینیم که برنامه ایمنی آب اصلاً چرا آمد، به‌قول یکی از بزرگانمان، قبلی چه بدی داشت که چیز جدیدی می‌خواهید جایش بگذارید، آن تجربیاتی که از قبل ما داریم نشان می‌دهد که به‌هر حال برنامه‌های جاری مان یک‌سری نواقص و ابهاماتی داشتند و خلاهایی وجود داشته که قاعداً باید این برنامه ایمنی آب بتواند به آن‌ها پاسخ بدهد. به‌طور مثال در برنامه‌های قبلی به‌شدت عکس‌العملی و انفعالی برخورد می‌شده با موضوع ایمنی آب، من نمی‌گویم کیفیت، حالا بعداً اشاره می‌کنم که چرا. همین‌طور مسئله پاسخگویی اجتماعی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی نزد نهادها و سازمان‌ها، کارفرماها، بهره‌بردارها و متولیان تأمین آب مغفول مانده تا حدودی، حالا خواسته یا ناخواسته. به این علت عملاً به دنبال بحث پیشگیری، من آن مسئله‌ای که جناب آقای دکتر محمدی به‌درستی اشاره کردند و همین‌طور جناب آقای مهندس شقاقی، یعنی توجه به موضوع ایمنی آب براساس شناخت، ممیزی و ارزیابی خطر، هر سه این‌ها، خیلی به این مسئله نمی‌پرداختند.

از این مهم‌تر، در برنامه‌های گذشته ما تضمین کیفیت سرلوحه کار نبوده، بعد چون تضمین کیفیت مطرح نبوده، محصول محور نگاه می‌کردیم نه فرآیند محور. این باز از آن مواردی بوده که وجود داشته. من بعد از این می‌خواهم برسم به پیش‌نیازهای اجرایی و روی آن یک مقداری صحبت کنم. به این عللی که من عرض کردم خدمتتان، خیلی ساده می‌توانم بگویم که برنامه‌های قبلی عمدتاً نگاه‌شان، نگاه نقطه آخری بوده، در صورتی که در برنامه ایمنی آب قاعداً نباید نقطه آخر را نگاه کنید. آقای مهندس شقاقی به‌درستی اشاره کردند که باید حوضه آبریزی نگاه کنیم. من می‌خواهم فراتر بگویم در کشوری که دچار تضادها و تنش‌های آبی است، این تنش‌ها به مسائل اجتماعی دارد تبدیل می‌شود. من نه تنها حوضه‌ای و تک‌تک حوضه‌ها، بلکه برهمکنش حوضه‌ها را باید در ایمنی آب ببینم. حالا روی این می‌شود کمی بیشتر صحبت کرد. بنابراین با توجه به این، انتظار می‌رود که برنامه ایمنی آن، اولاً یک جامعه‌نگری داشته باشد.

در جامعه‌نگری به چند تا مطلب باید توجه کرد. در درجه اول همان‌طور که عرض کردم کمی باید نگاهمان را از حوضه ببریم بالاتر. من در اهواز دارم زندگی می‌کنم، اگر من قرار است برای شهر اهواز برنامه ایمنی آب بچینم به‌هیچ عنوان نباید حوضه‌ام را تقلیل بدهم به کارونی که در استان خوزستان جاری می‌شود. این کارون تحت تأثیر فعالیت‌ها و برنامه‌ها و طرح‌ها در استان‌های بالادستی است به‌عنوان بالادست پایاب دارند فعالیت می‌کنند،

تحت تأثیر طرح‌های کلانی است که دارند اجرا می‌شوند برای این که انتقال آب را انجام بدهند و الی آخر. من اصلاً نگاه مخالف یا موافق نسبت به این انتقال آب نمی‌خواهم مطرح کنم، بحث اصلاً این نیست. ولی می‌خواهم بگویم این در بحث ایمنی آب باید دیده بشود. من نمی‌توانم حوضه‌ام را تقلیل بدهم به یک محدوده مطالعاتی و یک محدوده اثری که فقط در استان خوزستان قرار دارد. بنابراین جامعیت، اول از این دیدگاه جغرافیا مطرح می‌شود. در درجه دوم وقتی می‌گوییم جامعیت، فقط به بحث کمیت و کیفیت نباید تک‌تک بپردازیم، این دو تا در کنار هم دیگر. اگرچه کیفیت بسیار مهمه، در بسیاری از موارد کیفیت متغیر وابسته‌ای است نسبت به آن متغیر مستقل که کمیت است. حتی اگر براساس قانونی که می‌گوییم هم نقص دارد، اگر براساس همان بروند کلیه منابع آلاینده را کنترل کنند و مقادیر آلودگی‌شان را بیارند پایین، اما از آن طرف من آبگذاریم را هم از دست بدهم، مجدداً غلظت آلاینده‌ها خیلی تغییری نخواهد کرد. بنابراین یک تعاملی بین این دو تا وجود دارد که ما باید حتماً در برنامه ایمنی آب ببینیم.

مسئله بعدی که می‌خواهم اشاره کنم، اشاره شد که این برنامه بر اساس HASET نوشته شد. من فکر می‌کنم وقتی به HASET نگاه می‌کنیم یک تفاوت‌های ماهوی بین ایمنی در مواد غذایی و در صنعت مواد غذایی و بحث برنامه ایمنی آب وجود دارد که باید این حتماً خوب تعریف بشود. اگر خوب تعریف نشود در اجرا با مشکلاتی روبرو می‌شویم. شاید جایش در این نشست نباشد ولی در یک نشست می‌شود روی این قضیه آسیب‌شناسی WSB صحبت بشود. اما پیش‌نیازهای اجرایی که باید به آن توجه کنیم. در درجه اول من فکر می‌کنم همان چیزی که جناب آقای مهندس شقاقی هم اشاره کردند، این که نگرش را ببریم به این سمت که از جزیره‌ای عمل کردن فرار کنیم. برای این که از جزیره‌ای عمل کردن فرار کنیم وقتی مراجعه می‌کنیم به خود برنامه و اسناد برنامه، می‌بینیم یک ساختاری را سلسله‌مراتبی ارائه دادند برای مسئولیت‌های اجرایی، از وزارت بهداشت شروع می‌شود تا شرکت‌های مختلف، باید تعهدات و مسئولیت‌های بین این‌ها، نه تنها تعریف دقیق بشود، بلکه به اجماع برسد. دلیلی که الان دارد جزیره‌ای عمل می‌شود این هست که اجماع و توافق جمعی حتی بر سر تعاریف وجود ندارد. من در جلسات متعددی که حضور پیدا کردم، بین نماینده‌های سازمان‌ها یک اجماع‌نظر وجود ندارد. در نتیجه خود به خود جزیره‌ای عمل کردن می‌شود یک آسیب بزرگ. پس یکی تعریف دقیق این تعهدات و مسئولیت‌هاست و دیگری رسیدن به اجماع بر سر این‌ها. مسئله



خانم دکتر شریانی:

بسم الله الرحمن الرحيم، سلام عرض می‌کنم، بله من امروز به نمایندگی از کمیته ممیزی برنامه ایمنی آب شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در خدمتتان هستم. خیلی خوشحالم که این فرصت داده شد که در مورد کاری که در این کمیته انجام می‌شود توضیح مختصری بدهم. سازمان بهداشت جهانی در توسعه مستندات برنامه ایمنی آب یک شعار مهمی را مطرح کرد: بزرگ فکر کن، کوچک شروع کن و توسعه بده. در واقع این یک محوری بود که در کمیته ممیزی ایمنی آب بر آن تأکید شده بود و با توجه به تمام مشکلاتی که مطرح می‌شود و کار بزرگی که روی میز هست و مستندسازی این را نشان می‌دهد، این کمیته تمرکزش را بر آن چه که می‌تواند انجام بدهد گذاشته، یعنی ما تلاش کردیم علی‌رغم تمام مشکلاتی که اجرای برنامه دارد تمرکزمان را بگذاریم روی آن چه که می‌توانیم انجام بدهیم. بتوانیم برنامه را از اشل‌های کوچک ایجاد بکنیم در کشور و توسعه بدهیم. خدا را شکر نتایج خوبی هم این رویکرد داشته.

کاری که انجام شد این بود که ما قطعات بسیار پراکنده الزامات برنامه ایمنی آب و این حوضه گسترده از محل منبع تا محل مصرف مشترکین که وقتی در مورد آن صحبت می‌شود یا مستند می‌شود و برداشت‌های مختلف از مفاهیم می‌شود. این وقتی به تأمین‌کننده‌های آب ارائه می‌شود همین بزرگی کار یک مانعی را ایجاد می‌کند در اجرای برنامه. کاری که انجام شد در این پازل قطعاتی که وجود داشت را ما توانستیم قطعش را کنار هم قرار بدهیم و یک الگوی بومی را برای ایران استخراج کنیم محدود بر سه سند. یعنی الان ما متمرکز هستیم بر سه سندی که ماحصل ساعت‌ها بحث و صحبت‌های کارشناسی بود، هم از طرف متخصصین شرکت مهندسی و هم وزرات نیرو. این سندها استخراج شده و ما متمرکز هستیم روی همین سه سند. البته با پشتیبانی نرم‌افزار LIMS شرکت مهندسی که الان هر کدام از شهرها و روستاها این سه سند را تکمیل بکنند تا آن شروع رویکرد و قدم گذاشتن در اجرای برنامه ایمنی آب محقق شود. شهرها و روستاهایی هم که توانستند نهایی و تکمیل کنند اسناد را، و بررسی میدانی هم در کنار این هست که ما ببینیم آن چه که دارد مستند می‌شود با آن چیزی که در میدان دارد انجام می‌شود چقدر انطباق دارد. آن هم بخش مهمی از کار هست که در دستور کار

بعدی این هست که اگر شما بخواهید برنامه ایمنی آب را درست اجرا کنید این ظرفیت‌سازی را فراموش نکنید که هم در بحث بدنه بهره‌بردار هست و هم در سازمان‌های متعامل ناظر در کنار این‌ها است و هم در ذی‌نفعان آب‌بر هست. در رابطه با این قضیه مسئله بعدی این است که می‌گوییم برنامه ایمنی آب باید نگاهم را فقط از آب شرب ببرم فراتر، اگر فقط به آب شرب بپردازیم باز همان نقطه آخر را داریم نگاه می‌کنیم، من باید کل ذی‌نفعان آبی را در آن حوضه مورد توجه قرار بدهم. بنابراین این مورد را باید حتماً توجه کنیم. حالا مواردی از قبیل این که اعتبارات نیاز هست که آقای مهندس حسن‌نژاد اشاره کردند و مواردی از این قبیل به‌نظر من مهم است ولی تعیین‌کننده نیست. به عبارت دیگر ما با آن چه که داریم باید بتوانیم برنامه را پیش ببریم، شرایط کشور همین‌ها، این شرایطی است که من می‌دانم تا ۲۰ سال دیگر هم این وضعیت اعتبارات را خواهیم داشت. ما باید ببینیم با آن چه که داریم نه آن چه که ایده‌آل ماست چگونه می‌توانیم برنامه را پیش ببریم. برای این که به این برسیم این تعهدات اگه تعریف می‌شود حالا باید ضمانت اجرایی تعهدات را ایجاد کنیم. نهایتاً این که برنامه ایمنی آب باید یک گام فراتر برود از یک برنامه‌ای که بر مبنای اسناد بالادستی تعریف شده، این باید تبدیل بشود به قانون یا مقرراتی که در بالاترین سطح قانون‌گذاری کشور تصویب می‌شود. من بیشتر از این صحبت نمی‌کنم. در ادامه بقیه موارد را به‌خصوص در بحث پایش در خدمتتان خواهم بود.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون آقای دکتر از توضیحاتی که دادید. بله بعضی از مواردی که کاملاً درسته و باید فراحوضه‌ای نگاه کرد حتی ممکنه مسائل و مشکلات و چالش‌هایی که با آن مواجه هستیم صرفاً برای یک حوضه نباشد و از یک حوضه به حوضه دیگر تأثیر بگذارد. من برای این که خیلی وقت را از دست ندهیم قبل از این که از خانم دکتر شریانی خواهش کنم که در مورد مسائل خودشان صحبت بکنند. ۱۳۱ نفری که حضور دارند می‌توانند سوالات خود را بنویسند و به تدریج مطرح خواهد شد و به تناسب، عزیزانی که در نشست حضور دارند پاسخ خواهند داد. خانم دکتر شریانی شما علاوه بر این که در آب و فاضلاب استان تهران حضور دارید به عنوان عضو تیم کمیته ممیزی برنامه ایمنی آب هستید. توضیحی در مورد نحوه عملی کردن برنامه ایمنی آب در مجمع شرکت‌های آب و فاضلاب بدهید.

است. تا الان حدود ۱۰ شهر توانسته‌اند که گواهی‌نامه ایمنی آب را بگیرند و ۱۲ شهر و روستا هم گواهی‌نامه استانی را توانستند اخذ بکنند. این کلیاتی هست که در مورد کمیته می‌خواستم عرض بکنم. بعداً می‌توانم با توضیحات بیشتر در خدمت باشم.

آقای مهندس واقفی:

اول سؤالاتی که هست را جواب بدهیم بعداً مسلماً در بخش بعد در خدمت شما خواهیم بود. یک سوال هست که، به‌جز ایران کدام‌یک از کشورهای همسایه دارند اجرا می‌کنند؟ آقای مهندس شقاقی در ادامه صحبت حتماً اشاره می‌کنند. سوال بعدی این است که آیا ما استاندارد واحدی برای خروج پساب داریم که حد مجاز آلاینده‌ها را مشخص کند و بتوان در کشاورزی استفاده کرد؟ ما برای خروجی پساب‌ها استاندارد داریم و سازمان حفاظت از محیط‌زیست این استانداردها را تدوین کرده و میزان حد مواد مجازی که می‌تواند به آب‌های پذیرنده تخلیه بشود را مشخص کرده، حالا بحث کشاورزی متفاوته هست. آقای مهندس حسن‌نژاد شما این را جواب بدهید.

آقای مهندس حسن‌نژاد:

متأسفانه برای بهره‌برداری از آب‌های غیرمتعارف، به‌خصوص در بحث زهکشی‌های کشاورزی، یکی از بحث‌های مغفول مانده در کشور ما هست. تجربه زیادی در کشورهای دنیا به‌خصوص مصر در این زمینه دارد که می‌تواند در سیستم بازچرخانی بکند و استفاده بکند و نهایتاً الگوی کشتش را هم تغییر دادند و توانستند این کار را انجام بدهند. استاندارد کشور ما برای تخلیه همان‌طور که می‌دانید فقط برای تخلیه به آب‌های سطحی و زیرزمینی و در مصارف کشاورزی است. استاندارد می‌گوید که در سازمان محیط‌زیست وجود دارد بسیار کلی هست، علی‌رغم این‌که سازمان محیط‌زیست تا الان چندین بار ورژن‌های دیگری هم تهیه کرده ولی متأسفانه نتوانسته تا الان استاندارد در این زمینه داشته باشد؛ حتی خود وزارت نیرو هم در طرح ضوابط و معیارهای آبفا هم دستورالعمل‌هایی در این زمینه و حتی راهنمایی خاصی تهیه کرده، ولی این‌که این را عملیاتی بکند و استاندارد بشود کاری انجام نشده. ضمن این‌که من معتقدم، همان‌طوری که فائو در این زمینه کار کرده، نیاز هست که استانداردهای خاص به‌خصوص به شکل ایالتی به‌خصوص در حوزه خوزستان با آن حجم بالای پساب‌هایی که از مجتمع‌های نیشکر می‌آید برای آن باید یک برنامه خاص و ویژه‌ای را برنامه‌ریزی کرد و نمی‌توانیم آبی که شما مد نظرتان هست را عملیاتی بکنیم، حتی با یک الگوی ملی آن را

عملیاتی کنیم. نیاز هست که یک الگوهایی که در دنیا به‌شکل ایالتی برداشت شده، ما هم به شکل خاص در حوزه خوزستان برای این موضوع خاص عملیاتی کنیم.

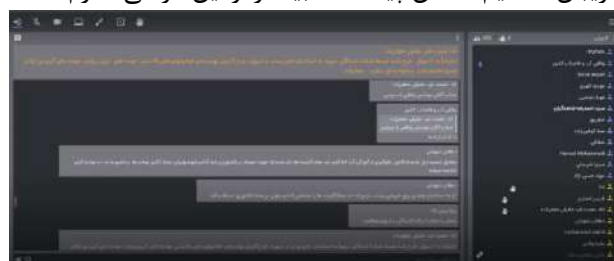
آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون. سوالی که مطرح شده در خصوص افزایش نرخ تعرفه آب. با توجه به متفاوت بودن نرخ مصرف آب در بخش‌های مختلف تا چه میزان می‌تواند تأثیرگذار باشد، حالا با توجه به مصرف زیاد آب در کشاورزی و نظر به این‌که حتی در استان‌هایی که درگیر بحران هستند و در بخش حقابه کشاورزی دچار کمبود آب هستند. البته این ربطی به برنامه ایمنی آب ندارد، حالا اگر فرصتی شد به این سوال شما آقای مهندس حسن‌نژاد پاسخ می‌دهند.

آقای دکتر جعفرزاده:

من یک توضیحی می‌خواستم بدهم در مورد صحبت‌های مهندس حسن‌نژاد که توضیحات خوبی را در مورد بحث استاندارد دادند. من فقط دیدم که دو سه مورد در این رابطه سوال مطرح می‌شود. واقعیت قضیه این است که ما در سه زمینه استانداردهای مربوط به تخلیه آلودگی داریم. اول لازم هست که استاندارد منابع پذیرنده‌مان هم مصوب بشود، خود منابع پذیرنده ما چی می‌خواهیم داشته باشند، دوم این‌که وقتی می‌خواهیم استاندارد منابع آلودگی را بنویسیم، به‌هیچ عنوان یک استاندارد کشوری مثل ایران با تفاوت‌های بسیار زیادی که کیفیت منابع آب مختلف جواب نمی‌دهد، ما باید استانداردهای تخلیه را هم وابسته کنیم به میزان بار مجاز قابل‌پذیرش توسط منبع پذیرنده. به‌عبارت دیگر اگر ما سیستم آنلاین یا سیستم به‌روزی داشته باشیم از کیفیت منابع آب‌مان که می‌توانند پذیرنده آلودگی باشند و براساس این بتوانیم خودپالایی این‌ها را داشته باشیم، که این به‌صورت به‌روز در دسترس قرار بگیرد، آن موقع ممکن است در یک منطقه‌ای مثال می‌زنم شما می‌گویید BOD را برسان به ۲۰، در یک منطقه ممکنه نیاز نباشد BOD را بکنم ۲۰، آن بدنه آبی من پذیرش بیشتر از این‌ها دارد و مشکلی هم برایش به‌وجود نمی‌آید. در یک منطقه ممکن است مجبور شوم BOD را به ۵ برسانم یا اصلاً zero pollution کنم. بنابراین استانداردها باید به این سمت برود که البته کار سختیه. می‌دانیم در تمام این سال‌ها بسیاری از سازمان‌ها به دنبال آن بودند و کار بسیار مشکل هست. یک پیشنهادی که من می‌دهم چون آقای مهندس حسن‌نژاد هم به درستی اشاره کردند، بعضی از مناطق کشور از جمله این منطقه

خوزستان به عنوان پایاب بیش از ۳۳ درصد آب‌های سطحی مملکت، در این منطقه می‌شود به عنوان یک پایلوت این کار را شروع کرد و برای این استانداردگذاری کرد. گاهی اوقات ممکنه به این برسیم که شما این استاندارد را نمی‌توانید ارضا کنید و این آب را ببرید برای مصرف بعدی و کاربری بعدی. با توجه به این فشار شدید آبی هم که داریم می‌توانیم برای این آب‌ها تعریف کنیم. در رابطه با آن بحث شور و ریزی هم دقیقاً همین وضعیت هست. در خیلی از جاهای دنیا، شما الان استرالیا را نگاه کنید یا نه کنار دستان عربستان را نگاه کنید، بحث شور و ریزی را راه انداخته و دارند جواب می‌گیرند. بنابراین آن زه‌آب‌های شور ما این جوری نیست که ما مجبوریم بریزیمشان در رودخانه، می‌توانیم از آن استفاده مجدد کنیم و در این استانداردگذاری این مورد را می‌توانیم رعایت کنیم. یک مورد مطرح شده بود در رابطه با ارائه گزارش‌های تأثیر فعالیت‌های بالادست بر پایین‌دست. من فکر می‌کنم این کار خوبی است اما در کنار این اگر مطالعات، دو مطالعه‌ای که ما در کشور برایش مقررات و ضابطه داریم، مطالعات پیوست سلامت و مطالعات ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی، برای کلیه طرح‌ها خارج از لابی‌گری و صحیح و از روال قانونیش انجام بشود و مسئولیت‌پذیری و تعهد اجرایی برای اجرای نتایج وجود داشته باشد، شاید خیلی از مواردی که الان باهاش دست به گریبان هستیم کاهش پیدا کند. بیشتر از این عرضی ندارم.



آقای مهندس واقفی:

آقای دکتر یک سوال هم ویژه از خود شما مطرح کردند. برای بحث ایمنی آب باید به حوزه‌های بالادست کارون توجه شود، اما موردی که کاملاً مغفول مانده حجم زیاد زه‌آب‌های آبیاری کشاورزی کشت صنعت نیشکر در خوزستان به رودخانه کارون در خود حوضه خوزستان است که متأسفانه حجمش هم بسیار زیاد است در مقایسه با سایر موارد. در خصوص پتانسیل بالای آلاینده‌گی این زه‌آب که شوری و نیترات و فسفات بسیاری دارند و مغفول مانده است چه راه کار اقتصادی و فنی‌ای دارید؟

آقای دکتر جعفرزاده:

با توجه به این که کشت و صنعت را مطرح کردند، همان‌طور که مطرح کردم ما هم باید حوضه را ببینیم هم فراحوضه را ببینیم.

صحت درستی هست، وقتی می‌گوییم فراحوضه را ببینیم منظورم این نیست که داخل حوضه دیگر هیچ کاری انجام ندهیم. اما یادمان باشد طرح‌های کشت و صنعت نیشکر در استان خوزستان وجود دارند، طرح‌هایی هستند که اگر قرار بود کنترل بشوند و اتفاق نیفتند، چیزی حدود ۳۷ - ۳۸ سال قبل باید شروع می‌شد. در آن زمان به دلایلی این طرح‌ها مورد استقبال قرار گرفتند مثل بسیاری از طرح‌هایی که در مهندسی منابع آبهان و مهندسی رودخانه‌مان انجام دادیم. این طرح‌ها شروع شدند و هزاران میلیارد تومان سرمایه‌گذاری شده. امروز چیزی حدود ۸۰ هزار هکتار اراضی زیرکشت یا قابل کشت نیشکر که زیر مجموعه طرح‌های هفتگانه کشت صنعت و کشت نیشکر منطقه هستند به جز آن طرح قدیمی که از قبل از پیروزی انقلاب اسلامی وجود داشت، یعنی کشت صنعت کارون و کشت صنعت هفت‌تپه را من گذاشتم کنار. به جز آن ما هفت طرح داریم که می‌شوند همان طرح‌های توسعه نیشکر، این ۷۰ تا ۸۰ هزار هکتار در اراضی‌ای بودند که از ابتدا می‌دانستیم به علت بالا بودن سطح آب زیرزمینی، تبخیر بالا، خاصیت موبینگی زمین حتما شورشدگی را دارند.

بنابراین اگر من قرار است که نیشکر بکارم لازم است که ابتدا من آب‌شویی کنم. این از ابتدا وجود داشته و چیزی نبوده که مخفی باشد. بنابراین باید در آن زمان جلوی این قضیه گرفته می‌شد. خسارت اصلی این زه‌آب‌ها در طول این سال‌ها ایجاد شده است. در حال حاضر تقریباً این اراضی به یک تعادلی رسیدند، اگر همین امروز بگویند در این اراضی کشت صورت نگیرد، چهار سال بعد پنج سال بعد همان زه‌زدگی را خواهیم داشت، ولی این زه‌آب‌هایی که از طرح‌های توسعه نیشکر تولید می‌شود، درسته که می‌گوییم به هر حال وجود دارد، اما همین را هم می‌توانیم ببریم برای استفاده مجدد، در همه دنیا دارند همین کار را می‌کنند، نه کشورهای خیلی پیشرفته، شما از کوبا شروع کنید بیا بیا تا هند یا مصر، این‌هایی که مثل ما نیشکر دارند، من سراغ اسپانیا و جنوب آمریکا نمی‌روم، در همین کشورهایی که سطح تکنولوژی‌شان خیلی از ما بالاتر نیست یا هم‌تراز ما هستند، می‌بینیم که دارند این کار شور آب‌ورزی را، اصلاح نحوه آبیاری و مهم‌تر از همه اصلاح نحوه آب‌شویی را انجام می‌دهند. بنابراین در این جا ما باید برویم به این سمت که یک، این کار را انجام بدهیم. دو، اگر من دارم مثلاً ۴۵ مترمکعب در ثانیه آب را برای آب‌شویی می‌گیرم و معادلش دارم زه‌آب تولید می‌کنم، یادمان باشد این حقایق رودخانه است، من به راحتی نمی‌توانم بگویم این را وارد رودخانه نکنیم، این به هر حال حقایق کمی هست، آن بحث کمیتی که من قبلاً اشاره کردم، یک ماتریسی هست که این ماتریس باید

واقعا برایش فکری کرد. کاملا صحبت سوال کننده محترم درست است و باید به این فکر بشود ولی می‌خواهم بگویم که صورت مسئله را دیگر نمی‌توانیم پاک کنیم. این صورت مسئله ۳۷ سال پیش طرح شده، در این ۳۷ سال کاراشون را انجام دادند. با آن چه که داریم باید ببینیم چه کار بکنیم که خسارات را به حداقل برسانیم.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون آقای دکتر جعفرزاده. من فقط یک مورد از سوالات را اشاره می‌کنم. ببینید یکی از تهدیدات مطرح در زمینه کیفیت آب، کمیت هست. یعنی هر جایی که ما با مشکل کمیت مواجه بشویم مسلما با مشکل کیفیت هم بیشتر مواجه می‌شویم. بنابراین حتما باید این‌ها کنار هم دیده شود. شاید الان می‌توانم بگویم که خیلی ما هم راستا پیش نمی‌رویم. قرار هست که در مباحث مربوط به سازگاری با کم‌آبی این‌ها کنار هم دیده بشود. ولی من هم اعتقاد این هست که هم‌چنان خیلی هماهنگی بین این دو موضوع وجود نداشته که باید بیشتر به آن پرداخته شود. اگر اجازه بدهید مباحث بخش دوم را خیلی سریع داشته باشیم و بتوانیم دو مرتبه به برخی از سوالات پاسخ بدهیم. آقای مهندس شقاقی لطفا شما در بخش دوم در مورد اولویت برنامه در جهان توضیح بدهید و سوالی هم که مطرح شده بود مبنی بر این که غیر از ایران جاهای دیگری که دارند برنامه را اجرا می‌کنند چه‌طوری بوده و به چه شکلی بوده؟



آقای مهندس شقاقی:

یک نموداری هست برای کل دنیا، که کدام کشورها در حال اجرا هستند، ولی در منطقه ما منطقه مدیترانه شرقی، حدود ۲۲ کشور از نظر تقسیم‌بندی‌های سازمان جهانی بهداشت است، ۲۲ کشور در منطقه وجود دارند که اکثر این کشورها در حال اجرای برنامه هستند. حالا من چندتا شون را اسم ببرم، اردن، مصر و عمان. یک کنگره‌ای چند سال پیش در مورد برنامه ایمنی آب گذاشته بودند در سطح بین‌المللی که همه کشورها شرکت کرده بودند و برنامه‌ها شون را گزارش می‌دادند. چند کشور دیگر هم هستند. یکی از کشورهایی که در منطقه توانسته برنامه را به صورت مطلوب‌تر اجرا کند کشور ایران است. من اگر بخوام در مورد

این که برنامه در جهان چه اولویت‌هایی دارد و اصلا می‌خواهد به کدام سمت پیش برود توضیحی بدهم، معرفی گسترش برنامه ایمنی آب هم‌چنان یکی از اولویت‌هایی هست که در برنامه ایمنی آب دارند شکل می‌دهند. همان‌طور که گفتیم بحث ارزیابی ریسک هست. ممکن است سایر مدل‌های ارزیابی ریسک را هم داشته باشیم که می‌تواند کمک کند. ولی این مدلی که در سازمان بهداشت جهانی ارائه شده یکی از ساده‌ترین مدل‌ها برای ارزیابی ریسک هست..

بحث دومی که می‌تواند خیلی مؤثر باشد در بحث برنامه ایمنی آب، هم در دنیا و هم در کشور ما بحث مستندسازی منافع برنامه ایمنی آب و به اشتراک گذاشتن آن‌ها است. خیلی مهم است که بتوانیم روی این بحث کار کنیم که این برنامه چه منفعتی داشته، ادغام این برنامه ایمنی آب در راهبری روزانه. این را یکی از اساتید اشاره هم کردند که همه افرادی که با برنامه ایمنی آب کار می‌کنند، از بالاترین سطح تا پایین‌ترین سطح، اپراتورها، بهره‌بردارها، همه باید با این دیدگاه آشنایی داشته باشند و همه در تفکر روزانه‌شان از این دیدگاه و برنامه نگاه کنند. این موضوع مهمی است که باید یک‌سری خاص فقط در سازمان درگیر این برنامه نباشند و این برنامه تا پایین‌ترین سطح بتواند انجام بشود. حمایت از اجرای ممیزی برنامه ایمنی آب، ما نمی‌خواهیم یک چیزی باشد که روی کاغذ فقط در حرف باشد و برای همین بحث ممیزی بسیار مهم هست که می‌خواهد ثابت کند برنامه در عمل اجرا شده یا نه. این ممیزی هم نیاز به حمایت دارد و خوشبختانه در کشور ما این برنامه شروع شده، چندین کتاب هم در این خصوص ترجمه و تدوین شده و این برنامه را دارد پیش می‌برد. اطلاع‌رسانی و پایداری سرمایه‌گذاری‌ها از طریق برنامه‌های ایمنی آب هست. یکی از این بحث‌ها باز بحث سرمایه‌گذاری هست که من یک مقدار بیشتر توضیح خواهم داد. حالا موقعی که چالش‌ها را می‌خواهم بیان کنم، حمایت از اجرای برنامه ایمنی آب در سامانه‌های کوچک، این برنامه راهنمای جداگانه‌ای هم دارد. خوشبختانه در سامانه‌های جامعه روستایی کوچک خیلی راحت‌تر می‌شود این برنامه را اجرا کرد. در شهرها معمولا این پیچیدگی وجود دارد، حوضه‌های آبریز چندگانه. حتی ما مثلا بر فرض تبریز را که اجرا می‌کردیم، چون حوضه آبریزش یک مقدار در کردستان قرار داشت و یک مقدار در آذربایجان غربی، ما درخواست کردیم که اطلاعات ارزیابی ریسک و رویدادهای مخاطره‌آمیزش را از آن حوضه‌ها در اختیار تیم تبریز قرار بدهند، که وقتی می‌خواهند برنامه را اجرا کنند، همان‌طوری که گفته شد به حوضه‌های بالادست مرتبط باشد که باید همکاری کنند. شهری

مثل تهران، واقعا بحث شهری کردن بسیار پیچیدگی‌های خاص خودش را دارد. در نتیجه بحث روستا می‌تواند خیلی کمک‌ساز باشد مخصوصا این‌که روستاهامان از نظر وضعیت کیفی نسبت به شهرها کیفیت نامطلوب‌تری دارد و حتی پایداری به آن صورت وجود ندارد می‌تواند خیلی کمک‌کننده باشد.

شناخت ارتباط برنامه با ابتکارات و برنامه‌های دیگر مانند WASH می‌تواند مؤثر باشد. الان شاخص‌هایی که تحت‌عنوان STG شاخص‌های توسعه پایدار در دنیا مطرح است، یکی از بحث‌هایی که سوال می‌شود و در ارزیابی‌ها استفاده می‌شود برنامه ایمنی آب و ایمنی سیستم‌های تأمین آب هست که مثل قبل نیست. دسترسی به آب آشامیدنی قبلا شاخص‌هایی که تا سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ داشتیم فقط می‌گفت که دسترسی به آب دارید یا نه؟ ولی الان در مورد ایمنی آب صحبت می‌کند که آیا این ایمنی وجود دارد یا نه؟ من این را هم اضافه کنم که این بحثی که در آب هست در بحث فاضلاب هم این برنامه وجود دارد. مخصوصا در کشور ما سامانه‌های فاضلاب هنوز به صورت کامل توسعه پیدا نکرده، در شهرها حدود ۵۰ درصد هست، در روستا که خیلی پایین هستند اصلا نمی‌شود عددی ذکر کرد. این برنامه با همین مدل در بحث فاضلاب وجود دارد که می‌توانند هم‌دیگر را تکمیل کنند.

من دیدم برخی سوالات هست در مورد فاضلاب و پساب. حتما این برنامه اختلافاتی دارد بین ایمنی آب و فاضلاب، ولی کلیت و ساختارش یکی هست که بسیار کمک‌کننده است. اگر بخواهم درمورد اهم چالش‌های برنامه ایمنی آب در کشور صحبت کنم که در دنیا هم به آن اشاره شده؛ عدم توجه و جلب حمایت مدیران و مسئولان در سطح استان‌ها، در کشور ما یک مقداری تغییرات مدیریتی وجود دارد که به صورت خیلی کوتاه مدت انجام می‌شود که این خودش می‌تواند یکی از آسیب‌ها و چالش‌ها باشد. مدیران اگر توجه نباشند، آن حمایت‌های لازم را از جنبه‌های مختلف برای برنامه انجام نخواهند داد و در همه سطوح این مسئله مطرح است و نیاز هست که افرادی که درگیر این برنامه هستند هر از چندگاهی مدیران جدید، مدیران قبلی را با این برنامه توجه کنند و حمایت‌های لازم انجام بشود. خوشبختانه نسبت به اوایل برنامه این برنامه بهتر جا افتاده و اکثر مدیران با آن آشنایی دارند و می‌توانند حمایت‌های لازم را انجام بدهند. توقف در برخی مراحل ابتدایی برنامه به مدت طولانی، یکی از آسیب‌های بسیار جدی ما بود. آن اوایل که برنامه را شروع کرده بودیم کمیته‌های فنی استانی و محلی در اولین گام که توصیف سامانه‌های تأمین آب هست، خیلی وقت‌ها اطلاعات لازم وجود نداشت. واقعا با این

دیدگاه ما نگاه می‌کنیم. وقتی لازم بود اطلاعات خارج از استان خودشان وجود داشته باشه اطلاعات وجود نداشت. در واقع خیلی وقت‌ها با وسواس می‌ماندند در یک مرحله. ممکن بود حتی ۵-۶ ماه، یک سال بمانند تا اطلاعات توصیفی را به دست بیاورند یا وجود نداشته باشد. در صورتی که ماهیت برنامه چرخه هست، ممکن است در چرخه اول برنامه با یک سری اطلاعات که موجود هست، چرخه را کامل کنی، یک سری منابع داشته باشی. با توجه به چرخه بودن، این توقف یکی از آسیب‌ها بود که باید برطرفش کنیم و سعی کنیم در چرخه بعدی نواقص را کامل تر کنیم.

اجرای بخشی و سازمانی مراحل و عدم همکاری همه اعضای تیم، این یکی از باز چالش‌هایی هست که مخصوصا در برخی استان‌ها داشتیم که یک سازمان، برنامه را به تنهایی پیش می‌برد. ما خیلی تمهیدات مختلفی اندیشیدیم که این برنامه به صورت بخشی‌نگری انجام نشه و از یک سازمان نباشد و آن همکاری‌ها شکل بگیرد. حتی این را ما منوط کردیم که خوداظهاری‌ها را قبول می‌کنیم از استان‌ها که همه اعضای آن کمیته فنی و اجرایی برای دستگاه هستند تایید و امضا کنند و در نهایت باز ممیزی و ارزشیابی ملی همه باید تایید کنند تا ما بتوانیم یک گواهی‌نامه بدهیم یا یک برنامه ایمنی آب را رد کنیم. عدم تخصیص و تأمین اعتبارات برای اجرای برنامه‌های بهبود و ارتقا هم یکی از چالش‌هایی هست که الانم صحبت شد. ببینید برنامه ایمنی آب، آن اوایل که ما شروع کردیم، همه می‌گفتند اعتبارش کو؟ چون وقتی اسم یک برنامه می‌آید می‌گویند اعتبار کو؟ این می‌تواند یک آسیب باشد برای برنامه. این برنامه یک تصمیم‌سازی هست برای مدیران. مطمئنا ما اعتبارات بی‌نهایت نداریم که بخواهیم بگوییم حالا برنامه ایمنی آب گفته این کار را بکن، پول نداریم پس تعطیل. واقعا این جوری نیست. اولاً که رویکرد برنامه ایمنی آب چند ممانعی هست. یعنی ما چندین مانع را می‌گذاریم برای یک رویداد مخاطره‌آمیز تا این را کنترل کنیم. ممکن است یکی‌شان را نتوانیم انجام بدهیم ولی دو تای دیگر را می‌توانیم انجام بدهیم. ثانیا ما این را می‌گذاریم در اولویت هر دستگاهی. مثلا بر فرض الان کمیته ایمنی آب رسید به این‌که این اولویت هست که مثلا سازمان محیط‌زیست این کار را اول باید انجام بدهد و دوم شرکت آب و فاضلاب و سوم بر فرض شرکت صنعت و معدن. این اولویت تعیین می‌کند، به جای این‌که هر دستگاه برای خودش انجام بدهد می‌گوید اولویت اول ممکنه اصلا ارتباطی به آب و فاضلاب نداشته باشد. یعنی اگر ما پولمان ۱۱ ریال هست، اول باید به این بدهیم، و این بهبود تدریجی هست. ما نمی‌خواهیم همه مشکلات را باهم حل کنیم، هم تدریجی بودنش هم چرخشی بودن برنامه ایمنی

آب. اول می‌آییم ریسک‌های اولویت‌دار را بررسی می‌کنیم. ما هیچ‌وقت نباید منتظر باشیم که یک اعتباری از یک‌جای دیگر تامین شود، هرچند گاهی این اعتبارات وجود دارد، این یک روشی هست که به مدیران می‌گوید آن‌قدر پول دارید. ما خیلی وقت‌ها در کشور هدررفت پول داریم، یعنی می‌آییم یک پروژه‌هایی انجام می‌دهیم که کارایی لازم را ندارد بعد دوباره بازنگری می‌کنیم. ولی وقتی چنین کاری را همه دستگاه‌ها و همه تیم‌ها در سطح استان و در سطح ملی بررسی می‌کنند، این اولویت ما می‌شود که مورد تأیید همه دستگاه‌ها هست که این کار باید اول صورت بگیرد. این از موضوع اعتبارات که من دیدم بسیار صحبت در مورد این هست. تغییرات نمایندگان سازمان‌ها و عدم انتقال آموزش‌ها و تجارب از دیگر چالش‌های برنامه ایمنی آب هست. عدم برگزاری منظم جلسات و حفظ به‌هم پیوستگی گام‌ها. یکی از بحث‌هایی که خیلی مهم مشارکت بین‌بخشی هست، این مشارکت به این راحتی صورت نمی‌گیرد. حتما باید هنر این را داشته باشیم. پیش‌نیاز هماهنگی بین‌بخشی ابزاری می‌خواهد. این که هر سازمانی بخواهد منافع خودش را تأکید کند و بگوید این مال منه، این‌جوری نیست. واقعا یک هنری می‌خواهد که مدیرانی که در کمیته‌ها انتخاب می‌شوند باید بتوانند مشارکت همه اعضا را جلب کنند و هر عضوی اگر منافعی نداشته باشد مطمئنا مشارکت نخواهد کرد. باید سعی کنیم در این برنامه منافع همه شرکت‌کنندگان را جلب کنیم. خیلی ممنون.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون از شما، خانم دکتر شریانی از شما خواهش می‌کنم در مورد چالش‌ها و ریسک‌های کیفیت آب در فرآیند تصفیه، ذخیره‌سازی و توزیع آب یک توضیحی بفرمایید.



خانم دکتر شریانی:

براساس جمع‌بندی که در کمیته ممیزی برنامه ایمنی آب اتفاق افتاده، در بخش فرآیند تصفیه بیشترین رویدادهای مخاطره‌آمیزی که استخراج شده موارد زیر هستند: در بحث آبگیر، حفاظت فیزیکی که در آبگیر باید اتفاق بیفتد در آب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها که در برخی موارد می‌تواند مشکل‌ساز باشد، ورود آلودگی‌هایی از کانون‌های آلاینده مختلف که در بالادست وجود

دارند و آب از آن حوضه‌ها رد می‌شود و وارد آبگیر می‌شود و می‌آید به تصفیه‌خانه. یکی دیگر از مواردی هستش که می‌تواند مشکل‌ساز باشد، برای فرآیند تصفیه‌خانه‌ها، اگر آن حفاظت فیزیکی درست اتفاق نیفتد در بحث آبگیر، ورود احشام و حیوانات می‌توانیم داشته باشیم. احتمال بروز سیلاب، افزایش ناگهانی کدورت که اگر تمهیداتی اندیشیده نشود که بتوان کنترل کرد ورودی تصفیه‌خانه‌ها را، در چنین مواردی نتوانیم جلوی ورود آب با کدورت بالا را بگیریم و نتوانیم کنترل داشته باشیم، مشکلات خیلی جدی می‌تواند برای تصفیه‌خانه‌ها ایجاد کند. بحث مربوط به تأمین برق اضطراری در تصفیه‌خانه‌ها، بحث نقص‌هایی که در بخش‌های مختلف فرآیند تصفیه، در فرآیند تصفیه‌خانه‌ها می‌تواند اتفاق بیفتد از محل آشغالگیر، حالا بعد در بخش مربوط به تزریق مواد شیمیایی، واحدهای ته‌نشینی، صافی‌ها، واحدهای گندزدایی و در نهایت مخزن آب پاک، این‌ها مواردی هستند که رویدادهای مخاطره‌آمیزشان شناسایی شدند و مورد توجه ما هستند در بحث شناسایی و ارزیابی ریسک.

در بحث فرآیند ذخیره، یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که مورد تأکیدمان هست و اولین مسئله، تعداد و حجم مخزن است برحسب جمعیتی که آبرسانی می‌شود. این موضوع خیلی مهمی هست چون وجود مخزن به‌اندازه کافی و حجم مناسب، موضوع بسیار مهمی هست در مدیریت سامانه‌های آبرسانی. این موضوع، موضوعی هست که در کشورها باید به آن توجه و تمرکز بشود، چون خیلی جاها ما این مسئله را داریم. بحث نصب سامانه‌های گندزدایی در محل مناسب در مخزن هست که امکان ماند آب با گندزدایی مناسب را بتونیم فراهم کنیم که در خیلی جاها این مسئله هست برای ما. در نهایت هم حفاظت فیزیکی و حراست از مخازن هست که این موضوعی است که در خیلی از مخازن‌مان مواجه هستیم، بحث شست‌وشوی مخزن، چون بحث کمیت موضوع خیلی مهمی هست برای ما، در خیلی از جاها می‌بینیم به‌خاطر مشکل کمی که در بحث آب داریم، در موضوع شست‌وشوی مخزن مشکل پیش می‌آید و همین موضوع می‌تواند در کیفیت آبی که دارد آبرسانی می‌شود تأثیر مهمی بگذارد. این هم از موارد مهمی هست که در مخازن داریم. همین‌طور وضعیت فنی ساختار مخزن، یکی از مواردی هست که در بخش مخازن استخراج شده. در بحث خطوط انتقال و شبکه توزیع هم این‌که نقشه‌درستی از خطوط اصلی شبکه وجود داشته باشد خیلی مهم هست. ما جاهایی را داریم که این نقشه‌ها وجود ندارد. بحث مربوط به تحلیل فشار شبکه که در کدام بخش از شبکه ما بیشینه و کمینه فشار را داریم، که تحلیل این مسئله و گزارشش در



آقای مهندس حسن نژاد:

من استفاده بکنم از فرمایشات آقای دکتر جعفرزاده، ببینید رابطه مستقیمی وجود دارد بین کمیت و کیفیت و این اثراتی که باید بررسی کنیم و نهایتاً بتوانیم یک شناخت دقیقی روی بحث کیفیت داشته باشیم. در گام اول شناخت می‌توانست به شکل کیفی باشد. مراکز آلوده‌کننده را شناسایی بکنیم و نهایتاً بگوییم این مراکز صنعتی یا کشاورزی یا خدماتی یا شهری است و روی آلاینده‌های غیرنقطه‌ای هم هیچ بحثی نکنیم چون هیچ شناختی نداریم. ولی لازمه بحث دوم ورود ما این است که ما این آلاینده‌ها را کمی کنیم. وقتی کمی نکنیم و ریسک‌مان را به‌صورت کمی نشناسیم، متناسباً نمی‌توانیم برنامه اقدام را انجام بدهیم. دوست عزیزمان آقای مهندس شقاقی فرمودند که اعتبار لازم نیست، با همین داده‌هایی که هست کار کنیم. من خدمتتان عرض کنم بی‌مایه فطیره. از بحث کیفی دیگه رد شدیم، الان دیگه وارد بحث کمی می‌خواهیم بشویم و برنامه عملیاتی که می‌خواهیم بدهیم، لزوماً نیاز هست که این اطلاعات تدقیق شده، کمی شده و متناسباً این کار را انجام بدهیم.

ببینید در حوضه آبریز، ما و سازمان محیط‌زیست محوریت کارهای مطالعاتی را در این زمینه داریم. فکر کنم آقای دکتر جعفرزاده تصدیق بفرمایند، که اگر اطلاعات درستی وجود نداشته باشد تصمیم درستی هم نمی‌توانیم بگیریم. امسال اعتبارات در سطح آب منطقه‌ای‌ها به‌جز دو تا که تهران و البرز باشند که از طرح مصوب شورای امنیت ملی، طرح جلوگیری از آلودگی آب شرب تهران، اعتبارات داشتند، بقیه صفر هستند. یعنی عملاً ما بحث مطالعاتی‌مان همه روی زمین مانده و نتوانستیم انجام بدهیم. نیاز هست این اعتبارات پایدار باشد و پیشنهادات سریع و شفاف من هم این‌که از بودجه جاری و نهایتاً حتی هم اگر ناچیز باشد روی تعرفه حفاظت کیفی آب بتوانیم مقوله بحث کیفیت آب و حفاظت کیفیت آب را در پروسه بیندازیم. اگر نه که به همین شکل کلی می‌گوییم ولی این‌که بخواهیم عملیاتیش بکنیم در گام بعد برای کاهش بار آلودگی وقتی که با صنعت روبرو بشوید دلالی می‌خواهد از شما. اگر نداشته باشید نمی‌توانید وارد بحث بشوید. من همین‌قدر در حال حاضر بحث را کافی می‌دانم.

توصیف سیستم‌مان خیلی می‌تواند کمک کند در استخراج نقاط آسیب‌زایی که برای شبکه‌مان می‌تواند تهدیدکننده باشد. بحث مربوط به موارد فنی، این‌که یک آماری از حوادث شبکه وجود داشته باشد، شناسایی نقاط انتهایی شبکه شاخه‌ای و نقاط کور، وضعیت مربوط به شیرهای تهویه و محل نصب آن‌ها و تعدادشان برحسب استانداردهایی که وجود دارد، طول عمر شبکه و ... این‌ها مواردی هستند که بسیار می‌توانند تأثیرگذار باشند.

باز هم بحث مربوط به شست‌وشوی شبکه موضوع مهمی هست که در این بررسی‌هایی که ما داشتیم استخراج شده و خیلی جاها هم مسئله دارند. بحث مربوط به وضعیت شبکه جمع‌آوری فاضلاب و نسبت این وضعیت به شبکه آب و نقشه تحلیلی در این‌خصوص باید تهیه و ارائه بشود. در خصوص بحث مصرف‌کننده، یکی از مهم‌ترین مسائلی که ما داریم نبود آمار دقیق هست در مورد مشترکینی که از مخازن ذخیره، سامانه‌های تصفیه خانگی استفاده می‌کنند. با توجه به این‌که آب و فاضلاب مسئولیتش تا محل کنتور مشترکین هست، این یک مقدار مشکل ایجاد کرده در خیلی از شهرها که بررسی درستی انجام بشود و برنامه‌ریزی درستی اتفاق بیفتد برای این‌که این آمارها استخراج بشود. شناسایی این موارد موضوع بسیار مهمی هست. بررسی وضعیت پمپ در انشعابات، و این‌که شیرهایی که به‌صورت یکطرفه بسته می‌شوند و امکان انتقال آب از محل مشترک را به شبکه نمی‌دهند، این‌ها باید به‌درستی اجرا بشود که برنامه‌های دقیقی در این‌خصوص باید تدوین و اجرا شود که در خیلی از جاها با مشکل مواجه هستیم. مشترکینی که ممکن است شبکه‌های موازی در داخل مجموعه‌شان داشته و آلاینده باشند مثل صنایع، یا جاهایی که پرورش دام و طیور دارند و انشعاب از آب و فاضلاب گرفته‌اند هم می‌تواند نقطه مهم و تأثیرگذاری باشد برای شبکه توزیع. عرض دیگری ندارم.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون از توضیحات کامل‌تان. آقای مهندس حسن نژاد با توجه به شناختی که شما دارید در حیطه منابع آب کشور و مسائل و مشکلاتی که هست و موضوعاتی که اشاره کردید، بالاخره چه کار باید کرد؟ پیشنهادتان برای اجرای برنامه ایمنی آب و حل مشکل چه هست؟ اگر خلاصه بفرمایید ممنون می‌شوم.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون آقای مهندس حسن‌نژاد. نظرتان کاملاً درست است. البته آقای مهندس شقاقی هم نوشتند که نگفتند اعتبار لازم نیست و بحث اولویت‌بندی را دارند. دقیقاً هم همین هست. ما در برنامه ایمنی آب اولویت‌بندی‌ها را انجام می‌دهیم و ریسک‌ها را اولویت‌بندی می‌کنیم که حالا اگر اعتبارات محدودی داریم کجا باید هزینه کنیم. ضمن این‌که من فقط یک رقم بگویم، مجموع اعتباراتی که برای یک ایالت آمریکا، کالیفرنیا، برای همین بحث مربوط به طرح‌های ارتقای کیفی و بحث‌های مربوط به پایش مطرح شده بود، ده میلیارد دلار بود. من فکر می‌کنم کل اعتبارات عمرانی‌مان هم در مجموع این‌قدر نیست. ولی همین نشان می‌دهد که این موضوع اهمیت دارد و اعتبار قابل‌توجهی هم نیاز هست.

آقای مهندس حسن‌نژاد:

من یک نکته دیگر بگویم. سازمان برنامه و بودجه یک نکته‌ای را توجه بکند اگر اعتبار کشور برای همه بخش‌ها کم هست، به نسبت با همان نسبت برای بحث کیفیت کاهش بدهد که در سلامت مردم دخیل هست. بنابراین اگر اعتبار نیست برای همه نیست و اگر اعتبارات هست به همان نسبت باید به همه برسد.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون. آقای دکتر محمدی نظرات پایانی شما را هم داشته باشیم در مورد این موارد.



آقای دکتر محمدی:

سلام مجدد، خسته نباشید. من صحبتی که خیلی داغ هست در مورد اعتبارات، نظر خودم را عرض کنم. آقای مهندس حسن‌نژاد، حدود ۳۰ سال پیش بود من در مه‌آب قدس کار می‌کردم. یک کاری را گفتند، گفتیم اعتبار می‌خواهیم. متولی امر گفت که اگر اعتبار می‌خواستی و این کار را می‌خواستی اجرا کنی که به تو نمی‌گفتم. این جمله‌ای بود که فردی به من گفت. ببینید بحث ارزیابی ایمنی آب کاری است که در واقع وظیفه ماست. اگر ما توسعه پایدار را مدنظر قرار بدهیم، سلامت عمومی به حساب اصل توسعه پایدار هست. اگر دنبال توسعه پایدار هستیم باید آن را

مدنظر قرار دهیم. دوم این‌که در ادامه نقشه راهی که از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ برای ما تدوین شده بود، ما بحث ارزیابی خطر و مدیریت خطر را ملاک قرار دادیم. این یک رویکرد دقیق نیست مثل گذشته. الان ما داریم خرج می‌کنیم برای سیستم تأمین آب‌مان و برای نظارتش هم کلی هزینه می‌کنیم. از آن طرف همین‌طور که هزینه می‌کنیم مواجه با بیماری‌هایش هستیم، بیمارستانش را می‌خواهیم، دارو و درمان را می‌خواهیم. هزینه‌های مربوط به کنترل در صنعت و کشاورزی و همه این‌ها را هم داریم انجام می‌دهیم. این یک ارزیابی رویکردی جامع هست که در سیستم تأمین و توزیع آب سازمان بهداشت جهانی آمده. به فرمایش مهندس شقاقی، خیلی ساده کرده، ما مخاطرات را در می‌آوریم بعد می‌آییم ریسک‌ها را اولویت‌بندی می‌کنیم و به ترتیب شروع می‌کنیم، ریسک‌ها را مدیریت می‌کنیم، یعنی control measure می‌گذاریم و بعد control measure‌ها را دستگاه‌های مختلفی ممکن است انجام دهند، یک بخش را باید محیط‌زیست انجام بدهد، یک بخش را کشاورزی، یک بخش را اصلاً خود صنعت و بخش خصوصی.

آقای مهندس حسن‌زاده صاف رفت سراغ اعتبار و از آن طرف مستقیم دستش را کرد در جیب مردم که باید ببریم در تعرفه‌ها. نه آقای مهندس، بنده به‌عنوان یک فردی که در دانشگاه دارم درس می‌دهم، و آن شناختی که دارم، این یک رویکردی نیست که خیلی جدید و نو باشد و پول لازم داشته باشد. ما اگر در کشورمان بحث ارزیابی و مدیریت خطر را برای تمام برنامه‌ها مان مدنظر قرار بدهیم و مسئولان در این مسیر حرکت نکنند، نیازی به این نیست. در روستا کجا من می‌توانم اعتبار نمی‌دانم چندین میلیون دلاری که آمریکا دادن ببرم هزینه کنم. همین‌که آب را دارم تأمین می‌کنم، همین‌که با تانکر به آن آب نمی‌رسانم، همین خودش هنر است. این زحمتی است که دارد کشیده می‌شود. ما باید برنامه کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت بگذاریم، که در دوره زمانی مثلاً ۵ سال این زیرساخت‌ها را درست می‌کنیم، یا نه مثلاً در ۲ سال آموزش نیروی بهره‌برداری را کامل می‌کنیم اگر جایی نیاز دارد. اگر جایی نیاز هست تغییراتی در سیستم تصفیه‌خانه که خانم دکتر اشاره می‌کردند نمی‌دانم این‌جا تغییراتی که باید انجام بدهیم را به مرور انجام بدهیم. در واقع با کمترین هزینه یک cost benefit باید باشد. ما یک کاری داریم در water safety plan انجام می‌دهیم، به‌جای این‌که بگذاریم اشکال پیش بیاید و با آن حادثه مقابله کنیم. این اولویت چهارم هست. اولویت اول‌مان همان درک خطر هست. این‌که برنامه‌ها مان براساس ارزیابی و مدیریت ریسک در کشور انجام بشود، این ۱۰ گامی که برای برنامه ایمنی

آب که همه با آن آشنا هستند، این که گروه برنامه‌ریز چه کسانی باشند و چه قدر در آن مداخله داشته باشند، عزیزان راجع به آن صحبت کردند، سیستم تأمین و توزیع آب شرب را باید توصیف کنیم و این چیزی که مدنظر بود شناسایی مخاطرات، رویدادهای مخاطره‌آمیز و ارزیابی ریسک هست. ما نیاز به این داریم که مجدداً همین control measure هم برایمان ریسک‌های جدید به وجود می‌آورد. آن ریسک هم باید در بحث پایش و بهره‌برداری در سیستم توزیع و تأمین آب، پایش کنیم. هر روز و هر ساعت ریسک‌ها ممکن هست تغییر کند. پس بنابراین باید مرتب این کار را تکرار کنیم. پس اگر دست‌اندرکاران برنامه واقف باشند که چه چیزهایی و منافعی از نظر اقتصادی، از نظر سلامتی، از نظر رفاه اجتماعی از این حاصل می‌شود، در واقع مشارکت‌شون بیشتر می‌شود و بهتر به ما کمک می‌کنند. من عرض بیشتری ندارم.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون آقای دکتر محمدی از توضیحات کاملتان. بله نکته مهم بحث این هست که ما به‌درستی بتوانیم رویدادهای مخاطره‌آمیز را شناسایی بکنیم و ارزیابی ریسک را انجام بدهیم و اولویت‌بندی با توجه به ارزیابی. آقای دکتر جعفرزاده ما در خدمت شما هستیم.

آقای دکتر جعفرزاده:

به‌نام خدا، مجدداً تشکر می‌کنم از آقای مهندسی واقفی که خیلی خوب هماهنگی می‌فرمایند و کنترل برنامه را در دست دارند. فکر می‌کنم به هر حال در بحث‌های علمی همیشه باید یک‌جایی بگذاریم برای این که ممکن است من درست بگویم یا درست نگویم. همه حرف‌های ما نسبی هست. فکر نمی‌کنم صحبت‌های آقای حسن‌نژاد یا آقای مهندس شقاقی خیلی از هم دور باشند. هر دو اعتبارات را می‌پذیرند، اما اولویت‌بندی مهم می‌شود که کاملاً هم صحیح هست. به هر حال هر چه می‌گوییم این بحث نسبت را رویش بگذاریم. من در مورد پایش می‌خواهم صحبت کنم. وقتی صحبت می‌کنیم از برنامه ایمنی آب، من دیدم در همه جا در همه مستندات این برنامه، این برنامه یک برنامه آینده‌نگر هست. من می‌خواهم بگویم که باز کمی باید برویم جلوتر. برنامه ایمنی آب نباید فقط آینده‌نگر باشد. باید یک برنامه آینده‌نگار باشد. به عبارت دیگر، چون دیدم برخی از عزیزان هم سوال پرسیدند، ما اگر ۲۰ سال پیش می‌خواستیم برنامه ایمنی آب را بنویسیم فقط با این دید به آن نگاه می‌کردیم که مشکلات مان چی هست؟ یا مشکلات احتمالی چی هست؟ ممکن بود اصلاً بحث

آمایش برامان مطرح نشود. ممکن بود اصلاً بحث تطابق با خشکسالی مطرح نشود. امروز مهم‌ترین مسئله‌مان در ایمنی آب این هست که من چگونه سیستم را با خشکسالی تطابق بدهم. این شرایط هم چیزی نیست که به این سادگی در اختیار من باشد که بتوانم عوضش کنم. من باید تطبیق پیدا کنم با آن بحث. بنابراین ما باید یک مقدار آینده‌نگارانه به قضیه نگاه کنیم. اگر قرار است آینده‌نگارانه نگاه کنیم، حتماً نیاز به اطلاعات داریم. اطلاعاتی که تولید می‌کنیم که می‌شود بحث پایش‌مان و اطلاعاتی که می‌سازیم بعداً از روی داده‌های پایشی. به عبارتی ما دو تیپ اطلاعات می‌خواهیم. درست است که وقتی این اطلاعات را می‌خواهم حتماً باید از یک‌جایی هم تأمین کنیم مسائل مالیش را، ولی مفهومش این نیست که حتماً همه‌اش را حاکمیتی ببینیم. راه‌هایی وجود دارد اگر جایی باشد، در بحث‌های بعدی در موردش صحبت کنیم که به هر حال می‌شود و مسیرهایی وجود دارد که این بخش‌ها هم انجام بشود. بنابراین یکی این بحث آینده‌نگار بودن هست که تأثیر می‌گذارد روی این که الزام به پایش ایجاد می‌کند. آقای دکتر محمدی هم اشاره خوبی به بحث ارزیابی خطر داشتند.

واقعیت قضیه در هر بحث ارزیابی خطر اگر می‌خواهم میزان عدم قطعیت را کاهش بدهم، باید متکی بشوم به اطلاعات، که برای اطلاعات باید من پایش را انجام بدهم. آقای مهندس شقاقی اشاره بسیار درستی کردند در بحث ممیزی و در کنار بحث ممیزی، بحث مقایسه و مدیریت آن خطراتی که به‌دست می‌آید. ما برای ممیزی کردن و خودممیزی یا خوداظهاری حتماً نیاز داریم به یک سامانه داده‌ها. بنابراین این بحث پایش را ما می‌خواهیم. بنابراین چه اهدافی از پایش را باید دنبال کنیم؟ بزرگترین مشکل ما در کشور این هست. ما بسیاری از کارهایی که کار پایشی هست را داریم انجام می‌دهیم که دوستان به‌درستی به آن اشاره کردند. چون جزیره‌ای عمل می‌کنیم اطلاعاتمان را به هم نمی‌دهیم. همه ما اطلاعاتمان در صندوق‌های مهر شده خودمان هست. اگر با این دید نگاه کنیم که من پایش می‌کنم برای تأمین داده و سامانه‌سازی پایگاه داده‌ها، مهم‌ترین مسئله در بحث ایمنی آب باید هدفمان این باشد. داده را تأمین کنیم و ضمناً پایگاه داده ایجاد کنیم و هر تصمیم‌سازی، سیاست‌گذاری، بهره‌برداری، ناظر و ذینفع عمومی و خصوصی بتواند به آن دسترسی پیدا کند. نترسیم از این که این امنیتی هست، آب امنیتی واقعیت قضیه نیست. ایمنی آب اگر هم امنیتی است، امنیتش مربوط به کل ذی‌نفعان از جمله بهره‌وران است. مطلب بعدی این هست که ما باید کنترل عملکرد بهره‌بردارها، سیستم

فرمودید را شما خودتان پاسخ بدهید.

آقای دکتر جعفرزاده:

دو سه مورد سوال مطرح شده بود که بعضی‌شان را آقای مهندس حسن‌نژاد خیلی بهتر از من بتوانند پاسخ بدهند. یک سوالی پرسیده شده بود که من فقط می‌خواستم رفع ابهام بشود. پرسیده بودند مسئله نیترات و فسفات در زه‌آب‌ها. من فقط می‌خواستم بحث زهکش‌های کشاورزی را از آب مازاد کشاورزی جدا کنیم. حداقل تجربه عملی ما نشان می‌دهد آن‌جا که بحث زه‌آب را مطرح می‌کنیم، در اصل آبی است که من برای آب‌شویی زمین و معمولا قبل از کشت استفاده می‌شود. گاهی اوقات من غرقاب می‌کنم زمین را، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر آب روی زمین نگه می‌دارم برای این‌که این بتواند انحلال را انجام بدهد و از طریق انحلال، این نمک را بیاورد در بافت خاک، و برساندش به کالورت من و از این طریق منتقلش کنم به مسیر انتقال زه‌آب. اگر منظور این زه‌آب هست، من این‌جا نگران نیترات و فسفات نیستم، بیشتر نگران شوری هستم، نگران آن املاحی هستم که در خاک وجود داشته و برای گیاهم ضرر داشته و می‌خواستم بگیرم. چرا در خاک من وجود داشته؟ به‌علت بایر ماندنش، به‌علت غلبه گرما بر نفوذ و در نتیجه تبخیر اتفاق افتاده، تحت‌تأثیر حرکت موئینگی آب آمده بالا و تبخیر شده و نمک باقی مانده. اگر منظور از زه‌آب این هست، من خیلی نگران نیترات و فسفات نیستم. کجا نگران نیترات و فسفات هستم؟ جایی که بر اثر الگوی غلط آبیاری آب مازاد کشاورزی دارم، بله این آب مازاد کشاورزی ضمن این‌که دارم آب اضافی استفاده می‌کنم که دارم آلوده‌اش می‌کنم و بخشی از نهاده‌های کشاورزی را با خودشان می‌برند. یکی از این نهاده‌های کشاورزی کودهای شیمیایی هست. این یکی از آن موارد بود که خواستم رفع ابهام کنم.

یک اشاره‌ای هم شده بود به این‌که آیا ما در تغذیه آبخوان و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌توانیم از پساب استفاده کنیم؟ من در حین این‌که جلسه ادامه داشت یک سرچی کردم، سرگیجه گرفتم از تعداد مستندات که آمد که این کار در دنیا دارد انجام می‌شود. بله می‌شود انجام داد. این‌که چگونه انجام بدهیم مهمه. حالا آن دوست عزیزی که پرسیدند اگر این ارتباط برقرار باشد می‌توانم این اطلاعات را در اختیارشان قرار بدهم. بله خیلی راحت امکان این کار هست و بسیاری از جاهای دنیا انجام می‌دهند. اصلا این یک روشی هست که برای cost benefit که جناب آقای دکتر محمدی اشاره کردند که چرا من باید فاضلاب را تصفیه کنم و برسونمش مثلاً BOD ۱۰ و ۱۵ بعد بفرستمش به اراضی کویری

پایش‌مان را تعریف کنیم و برای اطمینان بخشی به برنامه‌ریزان و بوجه‌گذاران از این‌که این عملکرد و بازدهی بهره‌بردار دارد درست انجام می‌شود برای این‌که بتوانیم از طریق آن پیگیری کنیم شکایات و اعتراضات را و بتوانیم پاسخ بدهیم به ذی‌نفعان حقوقی در این زمینه، به پایش نیاز داریم.

نهایتاً برای تأمین شرایط ممیزی و بازنگری برنامه در آینده باز ما مجدداً پایش می‌خواهیم. پایش چه پیش‌نیازهای دارد؟ چند پیشنهاد عمده دارد که من به یکی دوتابش اشاره می‌کنم. در درجه اول لازم است که یک سیاست همدلانه موافق بین ذی‌نفعانی که در آن سلسله مراتب WSB گذاشتند برقرار بشود. از مهمترین مسائلی که ضمانت اجرایی پایش را ایجاد می‌کند، بعد باید اراده اجرا وجود داشته باشد. اگر این دو مطلب وجود داشته باشد، ما می‌توانیم براساس این، آن موقع برنامه زمانی بدهیم. مهم‌تر این‌که در کشور ما همه چیزمان جوان و بی‌سابقه نباشد. پایداری در مدیریت پایش ایجاد کنیم. متکی نباشیم به این‌که مثال می‌زنم امروز در ساختار وزارت بهداشت، جناب آقای مهندس شقاقی با یک علم قوی نشسته با یک دیدگاه خوب، اگر فردا آقای مهندس شقاقی نبود کل این کار بخوابد. پایداری ساختاری در پایش مسئله‌ی بسیار مهمی هست. نهایتاً این‌که اجرای نتایج پایش را باید برایش مسیر ایجاد کنیم. از این نتایج چگونه قرار استفاده بشود؟ شاید یکی از مهم‌ترین مسائلی را که باید در این‌جا ببینیم این مورد هست. من به آن قسمت آخر خیلی نمی‌پردازم، خانم دکتر شربانی خیلی خوب حداقل روی بخش مخازن توضیح دادند و خیلی خوب پایش را ریز کردند. ما باید پایش را در سطح حوزه، از جنبه توزیع مکانی منابع، در سطح ذی‌نفعان و آب‌بران شرب و غیرشرب، در سطح شناخت کانون‌ها و مکان‌های آلاینده و منابع آلوده، در سطح تعیین میزان سهم‌بران از آب و یک مسئله بسیار مهم پایش تعارضات را باید انجام بدهیم. با شرایط فعلی در کشور ما و در بسیاری از جاهای دنیا دارد اتفاق می‌افتد، ما مداوماً تعارضاتی خواهیم داشت در بهره‌وری از آب که خود این تبدیل می‌شود به عاملی برای کاهش ایمنی آب. بنابراین ما باید حتماً در پایش‌مان این مورد را هم ببینیم. یک مسئله‌ای که یکی از دوستان اشاره کرده بود به‌عنوان سوال اگر فرصت شد پاسخ می‌دهم، چون یکی دو سوال خیلی خوب در مجموعه سوالات مطرح شده بود.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون از توضیحات کاملتان، خیلی هم عالی بود. آقای دکتر جعفرزاده شما فرمودید یک سوال هست که موردی که

آن هم در اراضی‌ای که چسبندگی نداره خاکش. من چرا از خاصیت چسبندگی این استفاده نکنم. در بسیاری از جاهای دنیا از آن پیشرفته‌ترین کشورهای دنیا ما این را داریم تا کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته. این هم نیست که خاص یک منطقه باشد. امکانش هست، فقط این که چگونه مدیریتش کنم مسئله مهمی هست. من بیش از این دیگر مصدع نمی‌شوم.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون و متشکر.

آقای مهندس حسن‌نژاد:

من یک نکته‌ای را توضیح بدهم، چون آقای دکتر محمدی یک برداشت اشتباهی فکر کنم از عرایض من داشتند و سوءتفاهم شده. ببینید من نمی‌خواهم پیشنهاد بدهم که برای برنامه ایمنی آب یک اعتبار خاص بگیریم. هرکدام از ارگان‌ها براساس برنامه‌های عملیاتی که برای خودشان دارند اعتبارات مربوطه آن کار انجام می‌شود، این اعتبارات یا به شکل جاری است یا به شکل طرح هست. چه اعتبار جاری باشد، چه طرح باشد، جزو اعتبارات عمومی هست. از مالیات، منابع درآمدی کشور هست یا به شکل مستقیم هست یا به شکل غیرمستقیم که این درآمدها حاصل می‌شود. بحثی که الان وجود دارد این است که ما دست در جیب مردم نمی‌خواهیم بکنیم. ما می‌گوییم این اعتبارات که به شکل طرح هست، این اعتبارات بیاید به شکل تعرفه بشیند و هیچ تفاوتی ندارد و اعتبار جدیدی هم نمی‌خواهیم. همان اعتبارات چون به شکل جاری باشد دائمی هست و بحث کیفیت هم دائمی هست و برای حفاظت و سلامت مردم هست و برای همین ما نمی‌توانیم یک دوره اعتبار داشته باشیم و یک دوره اعتبار نداشته باشیم. ضمناً اگر بدون اعتبار باشد با چشم و دیدن نمی‌توانیم کیفیت آب را شناسایی کنیم که این کیفیت آب سالم هست یا غیرسالم. نیاز به ابزار است و ابزار هم نیاز به اعتبار دارد. ممنون خداحافظ شما.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون و متشکر. آقای مهندس شقاقی این سوال آخر را شما جواب دهید در خصوص این که گواهی‌نامه برنامه ایمنی آب دریافت شد، ضمانت اجرایی آن چیست؟

آقای مهندس شقاقی:

خیلی ممنون از وقتی که در اختیار من گذاشتید. ببینید وقتی

می‌گوییم گواهی‌نامه می‌دهیم یعنی اجرا شده، یعنی به اهداف کیفی رسیده. الان شهری هست که برنامه ایمنی آب را اجرا کرده و گزارش را فرستاده برای ما، ما هم بر فرض دیدیم که کیفیت آبش هنوز مشکل دارد و به اهداف کیفی آب نرسیده. ما یک سری اهداف کیفیت آب داریم می‌آییم برنامه ایمنی آب را اجرا می‌کنیم که به این اهداف برسیم، اگر به آن اهداف نرسیده باشیم، اهداف در واقع مبتنی بر سلامت است، اگر نرسیده باشیم گواهی‌نامه داده نمی‌شود. باید به صورت نسبی آن اهداف را تأمین کند. یکی از بحث‌هایی که در ممیزی هست بحث رضایت مصرف‌کنندگان است که باز این هم وقتی ممیزی می‌کنیم چندین نکته هست که به این دو موضوع اشاره کردم که بسیار مهم است. وقتی هم که گواهی‌نامه را گرفت، باز در گواهی‌نامه ذکر کردیم اگر حادثه‌ای اتفاق بیفتد که کیفیت یا کمیت آب دچار مشکل بشود باز آن گواهی‌نامه لغو خواهد شد که نشون می‌دهد که یک ریسکی در سامانه دیده نشده و برایش اقدام کنترلی مناسب دیده نشده و نیاز به بازبینی و بازنگری برنامه دارد. در واقع باید دوباره برنامه را بازبینی کنند. بازبینی در شرایط عادی سالیانه یا دو سال یکبار اتفاق می‌افتد انجام می‌شود. هر حادثه‌ای اگر یک تغییری در سیستم تأمین آب آن‌ها اتفاق بیفتد باز نیاز به بازنگری دارد تا ریسک‌های مرتبط شناسایی شود. خیلی ممنون.

آقای مهندس واقفی:

خیلی ممنون از آقای مهندس شقاقی که بحث پایانی را داشتند و خیلی متشکر از همه عزیزانی که در این نشست حضور داشتند، چه متخصصینی که قبول زحمت کردند و در مباحث شرکت کردند و حضور داشتند و چه کسانی که به عنوان مستمع بودند و سوالاتی را مطرح کردند. من امیدوار هستم به شخصه چون برنامه ایمنی آب تنها نسخه‌ای هست که می‌تواند وضعیت کیفیت آب را در کشور به درستی شناسایی کند و بهبود بدهد. بیشتر از این مزاحم عزیزان نمی‌شوم. همگی را به خدای بزرگ می‌سپارم، انشاءالله تا فرصت‌های آتی.

رتبه اول ششمین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۰ در مقطع دکتری
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی

عنوان: تشدید فرآیند فوتوکاتالیستی در تصفیه پساب با استفاده از بستر آکنده دوار

نگارش: سلیمان مصلح

استاد راهنما: دکتر محمودرضا رحیمی

استاد مشاور: دکتر مهراورنگ قائدی و دکتر شاکر حاجتی

تاریخ: مهر ۱۳۹۶

چکیده

نتایج نشان داد که حداکثر راندمان حاصل شده با استفاده از فوتوکاتالیست HKUST-1 برای تخریب رنگ مالاشیت سبز و سافرانین-او به ترتیب برابر با ۹۸/۳٪ و ۸۹/۱٪ است. اگرچه با استفاده از HKUST-1 به عنوان فوتوکاتالیست، مقادیر بهینه متغیرهای عملیاتی در برخی موارد متفاوت است. مقادیر بهینه سرعت چرخش و زمان تابش در این حالت به ترتیب ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و ۸۵ دقیقه است. این مقادیر بالاتر از مقادیر به دست آمده با به کارگیری HKUST-1-SBA-15 به عنوان فوتوکاتالیست است. سرعت چرخش بالاتر به معنای نیاز به موتور قوی تر و در نتیجه هزینه های عملیاتی بیشتر است. علاوه بر این زمان تابش بیشتر نیز به معنای مصرف برق بیشتر و کاهش زمان عمر منبع نور است. بنابراین به نظر می رسد که استفاده از HKUST-1-SBA-15 از نظر اقتصادی مطلوب تر است. هم چنین تخریب هم زمانی رنگ های تولوئیدن-بلو و آنورامین-او در راکتور بستر آکنده دوار با استفاده از BiPO₄/Bi₂S₃-HKUST-1-MOF به عنوان یک فوتوکاتالیست فعال در حوزه نور مرئی انجام شد و نتایج با یک راکتور متداول مقایسه شد. براساس پروفایل مطلوبیت، مقادیر بهینه زمان تابش، pH، مقدار فوتوکاتالیست، سرعت چرخش، دبی جریان محلول، نرخ جریان هوا، غلظت اولیه رنگ تولوئیدن-بلو و غلظت اولیه رنگ آنورامین-او به ترتیب برابر با ۶۵ دقیقه، ۶، ۲۵

در این پژوهش تشدید فرآیند تخریب با طراحی و ساخت راکتور فوتوکاتالیستی بستر آکنده دوار و راکتور سونوفوتوکاتالیستی برای رفع محدودیت انتقال جرم و انتقال فوتون مورد مطالعه قرار گرفته است. هم چنین از فوتوکاتالیست های پایدار برپایه چارچوب های آلی-فلزی با قابلیت فعالیت در حوزه نور مرئی برای تخریب آلاینده های مختلف از جمله رنگ ها و سموم استفاده شده است. تمام آنالیزهای لازم از جمله EDX، FE-SEM، SEM، XRD، FTIR، BET، PL، DRS و BJH برای شناسایی و مشخصه نگاری کاتالیست های سنتز شده انجام شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. تخریب فوتوکاتالیستی مخلوط دوتایی رنگ های مالاشیت سبز و سافرانین-او با استفاده از فوتوکاتالیست های HKUST-1، MOF و HKUST-1-SBA-15 در راکتور فوتوکاتالیستی بستر پر شده دوار تحت تابش نور مرئی انجام شد. نتایج نشان داد که حداکثر راندمان تخریب برای رنگ های مالاشیت سبز و سافرانین-او با استفاده از فوتوکاتالیست HKUST-1-SBA-15 به ترتیب ۹۹/۸٪ و ۸۸/۷٪ است. مقادیر بهینه عملیاتی برای رسیدن به این راندمان برابر با ۱۰ میلی گرم بر لیتر غلظت رنگ مالاشیت سبز، ۱۵ میلی گرم بر لیتر غلظت رنگ سافرانین-او، سرعت چرخش ۹۰۰ دور بر دقیقه، دبی جریان ۰/۴ لیتر بر دقیقه، مقدار ۰/۲۵ گرم بر لیتر فوتوکاتالیست و ۸۰ دقیقه تابش نور است.

راندمان تخریب برای رنگ‌های دیسولفینبلو و رز بنگال به ترتیب ۹۹/۹۸٪ و ۹۸/۷۶٪ است.

در پژوهشی دیگر، تشدید فرآیند تخریب آفت‌کش آبامکتین با ترکیب روش‌های حفره‌زایی امواج فراصوت و تکنیک فوتوکاتالیزوی در حضور کاتالیست $\text{Cu}_2(\text{OH})\text{PO}_4\text{-HKUST-1}$ MOF مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر راندمان تخریب به میزان ۹۹/۹۳٪ در مقادیر بهینه متغیرهای عملیاتی معادل ۲۰ دقیقه زمان تابش، ۳۰ میلی گرم بر لیتر غلظت آفت‌کش آبامکتین، مقدار ۰/۴ گرم بر لیتر کاتالیست $\text{Cu}_2(\text{OH})\text{PO}_4\text{-HKUST-1}$ ، ۰/۲ میلی لیتر بر دقیقه نرخ جریان اکسیژن، ۹۰ میلی لیتر بر دقیقه دبی جریان محلول و مقدار pH مساوی ۴ حاصل می‌شود. نتایج به دست آمده برای تخریب آلاینده‌های مختلف با استفاده از روش‌های نوین به کار گرفته شده در این پژوهش نشان می‌دهد که تجهیزات طراحی شده به همراه فوتوکاتالیست‌های سنتز شده در این کار، می‌تواند به عنوان گامی اساسی در استفاده از روش تخریب در مقیاس بزرگ تلقی شود.

کلمات کلیدی: راکتور فوتوکاتالیستی بستر آکنده دوار، تخریب، هم‌افزایی، فوتوکاتالیست، تابش نور مرئی

میلی گرم بر لیتر، ۱۳۰۰ دور بر دقیقه، ۰/۴ لیتر بر دقیقه، ۳۵ لیتر بر دقیقه، ۲۵ میلی گرم بر لیتر و ۲۵ میلی گرم بر لیتر تعیین شد. در شرایط بهینه درصد تخریب فوتوکاتالیستی رنگ‌های تولوئیدن-بلو و آئورامین-او به ترتیب ۹۹/۳۷٪ و ۹۷/۴۴٪ با مقدار مطلوبیت ۱/۰ حاصل شد. کارایی راکتور فوتوکاتالیستی بستر آکنده دوار برای تشدید فرآیند تخریب با ارزیابی راندمان آن در مقایسه با یک راکتور متداول فوتوکاتالیستی در شرایط عملیاتی یکسان بررسی شد. براساس نتایج به دست آمده، حداکثر راندمان به دست آمده با استفاده از راکتور متداول برای رنگ‌های تولوئیدن-بلو و آئورامین-او به ترتیب ۸۷/۲۲ و ۸۳/۷۸٪ است. این درصدهای تخریب در شرایط بهینه متغیرهای عملیاتی مطابق با زمان تابش ۲۰۰ دقیقه، pH برابر ۶، مقدار فوتوکاتالیست ۰/۳ گرم بر لیتر، دبی جریان ۰/۳ لیتر بر دقیقه، نرخ هوادهی ۴۰ لیتر بر دقیقه و غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر برای هریک از رنگ‌ها به دست آمده است.

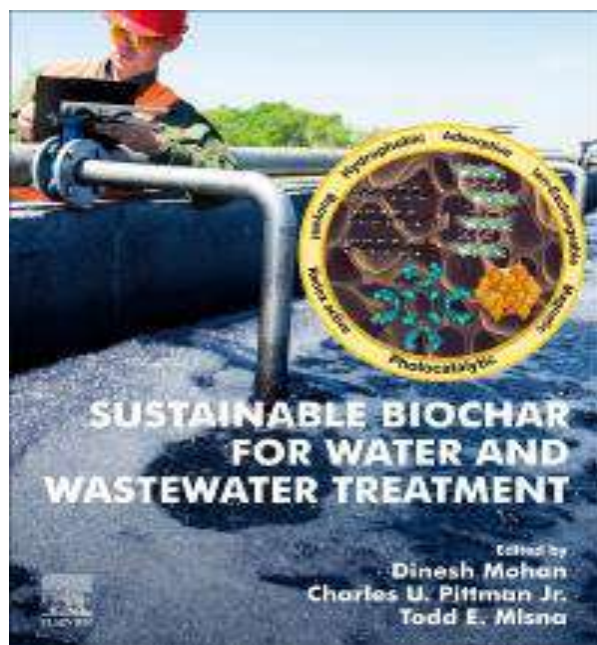
در مقایسه با راکتور بستر آکنده دوار در شرایط یکسان، راکتور متداول مقدار فوتوکاتالیست بیشتری مصرف کرده و نیازمند زمان تابش بالاتری است. این امر بدین معنی است که استفاده از راکتور بستر آکنده دوار هم اقتصادی‌تر بوده و هم مؤثرتر است. علاوه بر این راکتور بستر آکنده دوار می‌تواند در نرخ‌های بالاتری از جریان کار کند. هم‌چنین تخریب فوتوکاتالیستی هم‌زمان یک مخلوط سه جزئی رنگ شامل متیلن-بلو، آئورامین-او و اریتروزین با استفاده از کامپوزیت $\text{HKUST-1-Ag}_3\text{PO}_4/\text{AgBr}/\text{Ag}$ عنوان یک فوتوکاتالیست جدید در راکتور بستر آکنده دوار انجام گرفت و نتایج نشان داد که حداکثر راندمان فوتوکاتالیستی برای سه رنگ متیلن-بلو، آئورامین-او و اریتروزین به ترتیب برابر با ۹۲/۰۱٪، ۸۹/۹۶٪ و ۸۹/۵۷٪ است. تخریب فوتوکاتالیستی هم‌زمانی متیلن‌بلو و سافرانین-او نیز با استفاده از راکتور بستر آکنده دوار در حضور نانوذرات $\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}$ تحت تابش نور مرئی انجام که درصد تخریب رنگ‌های متیلن‌بلو و سافرانین-او به ترتیب ۹۱/۹۱٪ و ۹۸/۱٪ به دست آمد.

تخریب سونوفوتوکاتالیستی هم‌زمان رنگ‌های تریپان-بلو و وزوین در حضور فوتوکاتالیست $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{Bi}_2\text{S}_3\text{-HKUST-1}$ MOF فعال در حوزه نور مرئی نیز انجام شد. مقادیر بهینه متغیرهای عملیاتی ۲۵ میلی گرم بر لیتر از هر رنگ، دبی جریان ۷۱ میلی لیتر بر دقیقه، زمان تابش ۲۵ دقیقه، pH مساوی ۶ و مقدار ۰/۲۵ گرم بر لیتر کاتالیست تعیین شد. تحت این شرایط راندمان تخریب سونوفوتوکاتالیستی رنگ‌های تریپان‌بلو و وزوین به ترتیب ۹۸/۴۴٪ و ۹۹/۳۶٪ برآورد شد. هم‌چنین تخریب هم‌زمان مخلوط دوتایی شامل رنگ‌های دیسولفین-بلو و رز بنگال با استفاده از $\text{HKUST-1-MOF-BiVO}_4$ به عنوان یک سونوفوتوکاتالیست جدید انجام شد. نتایج نشان داد که حداکثر

عنوان: بیوچار پایدار برای تصفیه آب و فاضلاب

ناشر: Elsevier

زمان انتشار: سال ۲۰۲۲



بیوچار پایدار برای تصفیه آب و فاضلاب، با ارائه راه‌حلی خلاقانه و مقرون به‌صرفه، به مشکل آلودگی آب و تنش آبی در سراسر جهان می‌پردازد. این کتاب به‌صورت مستقیم به هدف اصلی توسعه پایدار یعنی اطمینان از در دسترس بودن و مدیریت پایدار آب و فاضلاب برای همه، اشاره دارد. هر فصل از این کتاب شامل مطالعات موردی، مثال‌های انجام شده و تمرین‌ها بوده و توسط یک کارشناس در زمینه آب و فاضلاب نوشته شده است. به‌همین دلیل این کتاب، مقدمه‌ای بی‌نظیر برای این حوزه بوده و از آن جهت که می‌توان از آن برای فرآیندهای آموزش، یادگیری، پژوهش و حتی شرایط واقعی (در عمل) استفاده کرد، دارای اهداف چندگانه است. این کتاب منبع گران‌بهایی برای دانشجویان مقطع کارشناسی و مقاطع بالاتر از آن در رشته‌های علم آب، علوم محیط‌زیستی، علم خاک، علوم و مهندسی مواد، علوم و مهندسی شیمی و علوم بیولوژیکی است.

ویژگی‌های کلیدی:

- ارائه مطالعات موردی در هر فصل. این برای کسانی مناسب است که می‌خواهند نمونه‌هایی را در کار خود پیاده‌سازی کنند.
- هر فصل شامل یک سری نمونه محاسبات بوده و در پایان فصل نیز یک تمرین در نظر گرفته شده است. این سبب می‌شود که بتوان از آن به‌عنوان یک ابزار آموزش استفاده کرد.
- شامل صفحات گسترده اکسل بوده و لذا برای استفاده به‌عنوان راهنمای آزمایشگاهی، عالی است.

فهرست مطالب این کتاب:

(۱) خصوصیات بیوچار برای تصفیه آب و فاضلاب؛ (۲) خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیوچار مشتق‌شده از زیست‌توده یا بیومس؛ (۳) تصفیه آب باران با استفاده از بیوچار؛ (۴) فناوری‌های کربنیزاسیون بیومس؛ (۵) تحلیل فنی - اقتصادی بیوچار در تصفیه فاضلاب؛ (۶) نگاهی بر فعل و انفعالات جذبی بین آلاینده‌های آبی و بیوچار؛ (۷) تحلیل چرخه حیات استفاده از بیوچار در تصفیه‌خانه‌های آب؛ (۸) تالاب ساخته‌شده مبتنی بر بیوچار برای حذف آلاینده‌ها از فاضلاب حاوی کودهای حیوانی کشاورزی؛ (۹) حذف رنگ با استفاده از بیوچارها؛ (۱۰) بیوچار به‌عنوان یک عامل بالقوه برای حذف آلودگی‌های میکروبی آب؛ (۱۱) خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیومس برای تولید بیوچار؛ (۱۲) حفظ اکسی‌آنیون‌ها روی سطح بیوچار؛ (۱۳) حذف مواد دارویی از آب با استفاده از بیوچارهای پایدار؛ (۱۴) طراحی سامانه‌های جذب؛ (۱۵) جاذب‌های مبتنی بر بیوچار برای حذف نشتی‌های نفتی؛ (۱۶) کامپوزیت‌های بیوچار برای جذب نفت و ترکیب پلی / پرفلوئورو (PFC)؛ (۱۷) پیشرفت‌های اخیر در حذف آرسنیک با استفاده از بیوچار و کامپوزیت‌های بیوچار؛ (۱۸) تاثیر بیوچار روی بیوفیلم‌ها و میکروارگانیسم‌ها؛ (۱۹) کاربرد بیوچار به‌منظور حذف آکتینیدها و لانتانیدها؛ (۲۰) حذف میکروپلاستیک‌ها از آب و فاضلاب توسط مواد تحت پوشش کربن؛ (۲۱) رویکردهای مدل‌سازی ساده برای پایش و پیش‌بینی جذب آلاینده‌های آلی توسط بیوچار؛ (۲۲) بهینه‌سازی جذب بیوچار نسبت به کربن فعال در تصفیه آب و (۲۳) بیوچار حاوی آهن صفر ظرفیتی در مقیاس نانو برای حذف آلاینده‌های آبی.

اطلاعات بیشتری از این کتاب در لینک زیر موجود است:

<https://www.elsevier.com/books/sustainable-biochar-for-water-and-wastewater-treatment/mohan/978-0-12-822225-6>

¹Oxanyions

عنوان: مقرون به صرفه بودن خدمات فاضلاب – ویرایش دوم

ناشر: فدراسیون محیط زیست آب (WEF)

زمان انتشار: سال ۲۰۲۲

AFFORDABILITY OF WASTEWATER SERVICE



این کتاب مروری بر مسئله ارزان و مقرون به صرفه بودن قبوض شرکت های خدمات رسان فاضلاب داشته و ملاحظات خاصی را ارائه می نماید که مقامات منتخب، مدیران شرکت و کارکنان مجموعه، ممکن است هنگام پرداختن به این مسائل در شرکت های خودشان در نظر بگیرند. این شامل تعریف و اندازه گیری مقرون به صرفه بودن، برجسته کردن ویژگی های برنامه کمکی به افرادی که توانایی مالی پرداختن برای سطوح اولیه خدمات را ندارند، شناسایی اهداف اولیه برای یک برنامه کمکی و تعیین صلاحیت ها، لیست کردن اقدامات عملکردی ممکن برای ارائه این کمک و ارائه برخی مطالعات موردی از جوامعی که از نظر تلاش برای مقابله با این مسائل، پیش رو بوده اند، است. نگرانی های مربوط به مقرون به صرفه بودن، بر روی مشترکین، شرکت های خدمات رسان و کل جامعه اثرگذار است. به دلیل افزایش نسبتاً سریع هزینه های زیرساخت های فاضلاب و نرخ های موجود برای رسیدگی به زیرساخت های قدیمی، این موضوع مهم تر از همیشه بوده و در آینده نیز خواهد بود.

ویژگی های کلیدی:

- پوشش به روز شده در خصوص تحول مسائل مربوط به مقرون به صرفه بودن در بخش آب؛
- آخرین مجموعه از اقدامات مقرون به صرفه بودن برای مشتری در بخش آب؛
- خلاصه به روز شده از راهنماهای EPA در رابطه با موضوع ارزیابی ظرفیت مالی، به منظور توسعه برنامه اجرایی؛
- تدوین و گردآوری برنامه های مختلف کمک به مشتری و ساز و کارهای تأمین مالی که توسط شرکت های خدمات رسان در بخش آب استفاده می شود؛
- مطالعات موردی نشان دهنده کاربردهای عملی برنامه های مختلف مقرون به صرفه بودن.

فهرست مطالب:

- (۱) مقدمه؛ (۲) درک و اندازه گیری مقرون به صرفه بودن برای مشترکین؛ (۳) رویکردهایی برای رسیدگی و پرداختن به مقرون به صرفه بودن؛ (۴) گزینه های تأمین مالی؛ (۵) اثرات برنامه مقرون به صرفه بودن بر روی شرکت خدمات رسان؛ (۶) اجرای برنامه کمک به مشتری؛ (۷) اندازه گیری های عملکردی؛ (۸) مطالعات موردی و (۹) ملاحظات آینده.

اطلاعات بیشتری از این کتاب، از لینک زیر قابل دریافت است:

https://www.wef.org/resources/publications/books/affordability/?utm_campaign=Affordability+Email&utm_source=email&utm_medium=email&utm_term=&utm_content=&cpn_id=62684b83f0d74f5255b8e115&e_id=6267f583f05bb113bfc69352



چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران در تاریخ ۱ تا ۳ آذرماه سال ۱۴۰۱ از سوی انجمن آب و فاضلاب ایران و با همکاری دانشگاه‌های قم و علوم پزشکی قم و شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای قم برگزار شد. آن‌چه در پیش رو دارید خلاصه‌ای از روند برگزاری و برنامه‌های اجراشده در کنگره است.

شورای سیاست‌گذاری همایش:

در اولین گام برنامه‌ریزی همایش، شورای سیاست‌گذاری همایش تعیین شدند. اعضای شورا عبارت بودند از:

دکتر مسعود تابش، استاد دانشگاه تهران «رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران و رئیس شورا»

دکتر رحیم عالی، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی قم «دبیر کنگره»

دکتر پریسازادات آشفته، دانشیار دانشگاه قم «دبیر علمی کنگره»

دکتر احمدرضا یاری، دانشیار دانشگاه علوم پزشکی قم «دبیر اجرایی کنگره»

دکتر حسن فرمانی انتظام، نماینده شرکت آب و فاضلاب استان قم «عضو شورای سیاست‌گذاری»

دکتر روح‌ا... یاری، نماینده شرکت آب منطقه‌ای قم «عضو شورای سیاست‌گذاری»

دکتر مهدی راونجی، نماینده دانشگاه قم «عضو شورای سیاست‌گذاری»

دکتر احمد سیاحی، نماینده شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور «عضو شورای سیاست‌گذاری»

تشکیل دبیرخانه و تهیه و ارسال ارسال فراخوان:

فعالیت‌های کنگره از دی ماه ۱۴۰۰ با امضای تفاهم‌نامه بین انجمن آب و فاضلاب ایران و دانشگاه علوم پزشکی قم و تشکیل شورای سیاست‌گذاری و دبیرخانه آغاز شد. هم‌چنین شرکت آب و فاضلاب استان قم در فروردین ماه، دانشگاه قم در خردادماه و شرکت آب منطقه‌ای قم در تیرماه ۱۴۰۰ با امضای تفاهم‌نامه با انجمن آب و فاضلاب ایران به جمع برگزارکنندگان کنگره اضافه شدند. دبیرخانه کنگره نیز از بهمن ماه با حضور دانشجویان دانشکده بهداشت دانشکده علوم پزشکی قم تشکیل شد و به‌تدریج کمیته‌های اجرایی کنگره شکل گرفتند. با برگزاری ۱۵ جلسه شورای سیاست‌گذاری و ۲۰ جلسه دبیرخانه و کمیته‌های اجرایی، برنامه‌ریزی‌های لازم انجام و برنامه اجرایی کنگره آماده شد.

پس از آماده‌سازی‌های اولیه، از وب‌سایت کنگره به نشانی www.iwwa-conf.ir رونمایی شده و اطلاعات مربوط به کنگره به‌صورت روزانه از طریق وب‌سایت، به اطلاع مخاطبان علاقه‌مند رسید. اطلاعات سایت به‌طور روزانه به‌روزرسانی می‌شد، که این امر تا روز کنگره نیز ادامه یافت. در حوزه اطلاع‌رسانی و تبلیغات، پس از طراحی و نهایی شدن پوستر کنگره، اطلاع‌رسانی به‌تمامی معاونین پژوهشی دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و پژوهشی کشور، تمامی شرکت‌های آب‌فای استان‌ها و شهرستان‌ها و شرکت‌های آب منطقه‌ای استان‌ها، ادارات کل محیط‌زیست استان‌ها، وزارتخانه‌های نیرو، راه و شهرسازی، کشور، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، علوم تحقیقات و فناوری، صنعت، معدن، تجارت و مهندسی مشاور و پیمانکاران کشور در زمینه‌های آب و فاضلاب از طریق ایمیل، دورنگار و سامانه یکپارچه اطلاع‌رسانی وزارت علوم صورت پذیرفت. هم‌چنین اطلاعات مربوط به کنگره از طریق حدود ۱۰۰۰۰ ایمیل و پیامک در چندین نوبت ارسال شد. در این مرحله برای استفاده حداکثری از فضای مجازی، معرفی کنگره اطلاعات مربوط به کنگره در سایت‌های سیویلیکا، پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، پایگاه اطلاع‌رسانی رویدادهای علمی ایران، مرجع نمایه کنفرانس‌های کشور، همایش‌های ایران (Symposia)، کنفرانس یاب، پایگاه اطلاع‌رسانی کنفرانس‌های معتبر ایران (کنفرانس جو) و مرجع علمی و اطلاع‌رسانی کنفرانس‌ها قرار داده شد. کانال و گروه تلگرامی و واتساپی کنگره نیز با عضویت صدها نفر تشکیل و هم‌چنین از تمام شبکه‌های اجتماعی انجمن آب و فاضلاب ایران نیز استفاده شد.

محورهای کنگره:

با توجه به رسالت کنگره و اهداف کلی آن، تلاش شد تا محورها به نحوی تبیین شوند که حوزه‌های مختلف دانش و فناوری صنعت آب و فاضلاب را با توجه به نیازها و چالش‌های موجود در صنعت مذکور را مورد پوشش قرار دهند. بنابراین با این رویکرد، موضوعات زیر انتخاب شد:

- ۱- محور ویژه: بررسی چالش‌های تأمین آب از دریا و انتقال به فلات مرکزی
- ۲- رویکردها و فناوری‌های نوین در طراحی و اجرای بهینه و ساخت تجهیزات طرح‌های آب و فاضلاب
- ۳- چالش‌های کیفی در حوزه آب، پساب و استفاده مجدد از آب
- ۴- نقش نانوفناوری و فناوری‌های غشایی در تصفیه آب و فاضلاب
- ۵- جمع‌آوری، انتقال، تصفیه، بازچرخانی، استفاده مجدد و بازیافت فاضلاب و آب‌های سطحی
- ۶- استفاده از آب‌های نامتعارف همچون پساب و آب‌های شور و لب‌شور
- ۷- پدافند غیرعامل، مهندسی ارزش، مباحث امنیتی و ایمنی در تأسیسات آب و فاضلاب
- ۸- هوشمندسازی، تله‌متری و کنترل و مدیریت مصرف آب و انرژی در تأسیسات آب و فاضلاب
- ۹- مدیریت سبز و انرژی‌های پاک در بهره‌برداری از سامانه‌های آب و فاضلاب
- ۱۰- تأمین و انتقال آب (با رویکرد آمایش سرزمین)، تصفیه، توزیع و ایمنی آب شرب
- ۱۱- افزایش تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب: ارتقاء، بازطراحی، مقاوم‌سازی و بازسازی
- ۱۲- مدیریت بهره‌وری منابع انسانی، تأمین منابع مالی پایدار و استفاده از منابع غیردولتی در خدمات آب و فاضلاب
- ۱۳- استانداردها، ضوابط و تجارب بومی سامانه‌های آب و فاضلاب
- ۱۴- رویکردهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط زیستی در مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم‌آبی
- ۱۵- رویکردهای نوین تأمین آب و دفع بهداشتی فاضلاب در روستاها و جوامع کوچک



**فراخوان هفتمین دوره
انتخاب پایان‌نامه برتر**

ویژه دانش‌آموختگان سال‌های ۱۳۹۸ به بعد

انجمن آب و فاضلاب ایران در هفتمین دوره برگزاری مسابقات پایان‌نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در حوزه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، پایان‌نامه‌های برتر در "مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری" را با اهدای **لوح تقدیر و جوایز نفیس** مورد تشویق قرار می‌دهد.

از علاقه‌مندان دعوت می‌شود تا فرم شرکت در مسابقه را از طریق سایت انجمن به نشانی **IRWWA.IR** دریافت و پس از تکمیل، به همراه فایل‌های پایان‌نامه و مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۱** از طریق پست الکترونیکی به نشانی **IWWA.Thesis.Competition@gmail.com** ارسال نمایند.

جوایز اوقات برگزیده در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، هم‌زمان با برگزاری "چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران" که از ۳ تا ۶ آذرماه ۱۴۰۱ در دانشگاه قم برگزار می‌شود، اعطا می‌شود.

Telegram: [iwwa94](https://t.me/iwwa94)

<https://www.aparat.com/iwwa>

info@iwwa.ir

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۰
۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹



**کنگره علوم و مهندسی
آب و فاضلاب ایران**

4th IRAN WATER & Wastewater Science Engineering Congress

22-24 November 2022 Qom-Iran

محورهای کنگره:

محور ویژه: بررسی چالش‌های تأمین آب از دریا و انتقال به فلات مرکزی

محل برگزاری: دانشگاه قم

۱ الی ۳ آذرماه ۱۴۰۱

مجموع ارسال مقاله کامل: ۱۵ مهرماه ۱۴۰۱

۱۵ مهرماه ۱۴۰۱

www.iwwa-conf.ir

iwwa.conf@gmail.com

telegram.me/iwwaconf

Instagram.com/iwwsec

۰۲۵-۲۷۸۳۴۰۲۳
۰۲۵-۲۷۸۳۴۰۲۳

دیر خفا: همه‌ی روح‌الله دانشگاه تهران

دانشگاه تهران







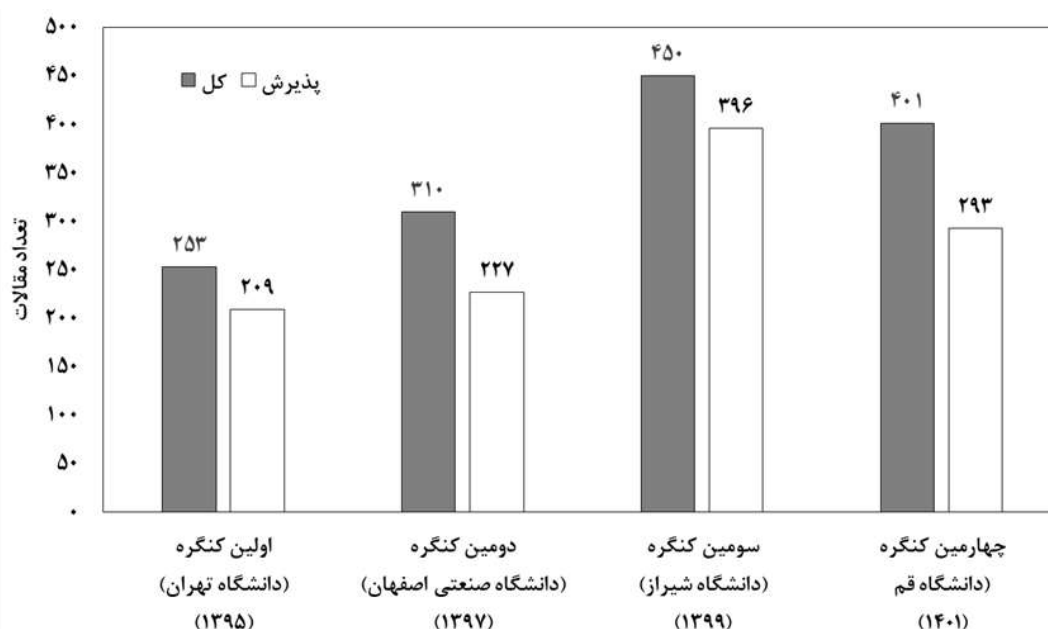


کمیته‌های علمی و اجرایی:

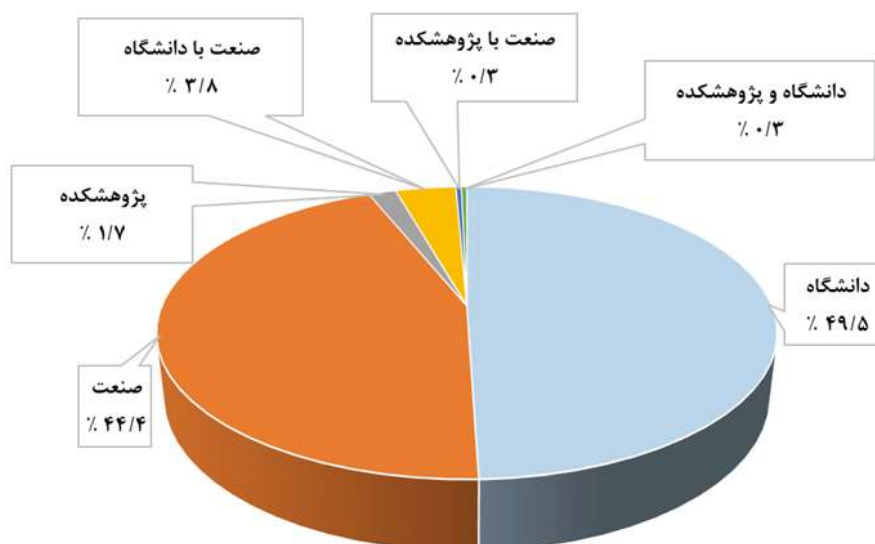
کمیته علمی کنگره مشتمل بر ۷۱ نفر از اساتید و متخصصان صنعت آب و فاضلاب از سراسر کشور، با لحاظ کردن حوزه‌های مختلف دانش فنی با لحاظ نمودن محورهای کنگره ارزیابی مقالات را عهده دار بودند. کمیته اجرایی همایش نیز با مشارکت حدود ۱۰ نفر مسئول و ۴۰ نفر عضو کمیته‌ها از دانشجویان فعال دانشگاه علوم پزشکی قم، دانشگاه قم و دانشگاه تهران تشکیل شد و با برگزاری بیش از ۲۰ جلسه برای برنامه‌ریزی و هماهنگی، توانست در طول برگزاری کنگره فضای مناسبی را برای استفاده شرکت‌کنندگان فراهم نماید.

مقالات:

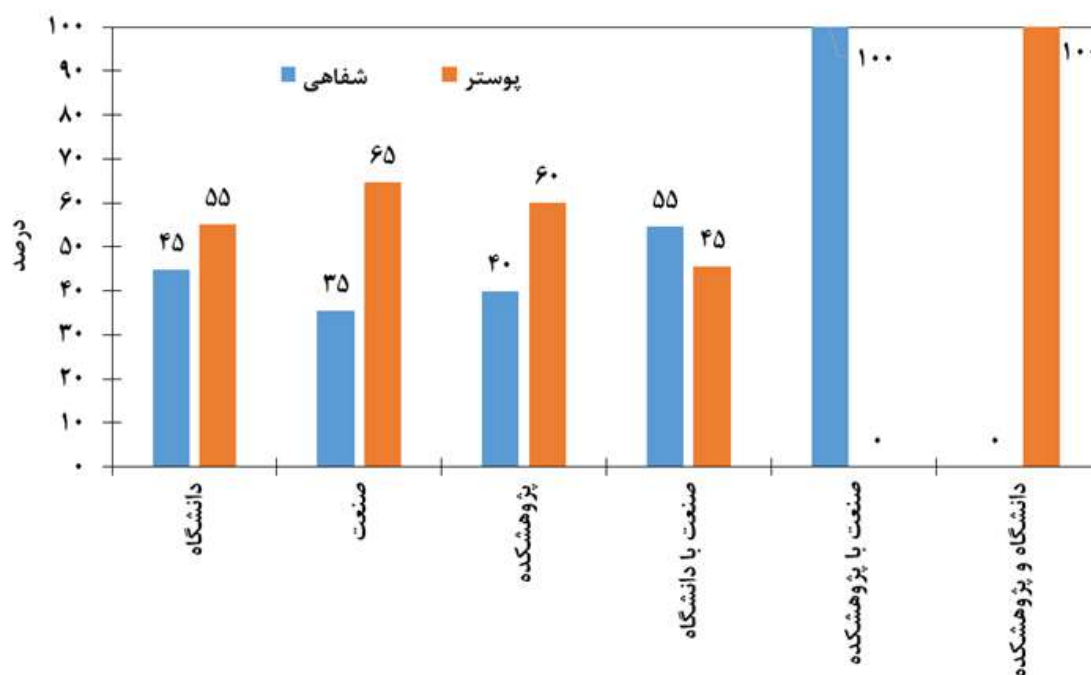
در مجموع ۴۰۱ مقاله به دبیرخانه کنگره ارسال شد و هیات داوران، داوری این مقالات را برعهده داشتند که از این تعداد ۲۹۳ مقاله پذیرش شد. از این تعداد مقالات، ۱۷۳ مقاله به صورت پوستر و ۱۲۰ مقاله به صورت شفاهی ارائه شد. مقالات شفاهی که دربرگیرنده محورهای کنگره بودند در ۱۰ جلسه موازی در طول ۲ روز ارائه شدند. مقالات پوستر نیز با توجه به برنامه از پیش اعلام شده به صورت مجازی به طور همزمان طی دو روز در ۴ بخش ارائه شدند. اطلاعات آماری مقالات در شکل‌های ۱ تا ۶ ارائه شده‌اند.



شکل ۱- تعداد مقالات ارسالی و پذیرش شده در چهار کنگره



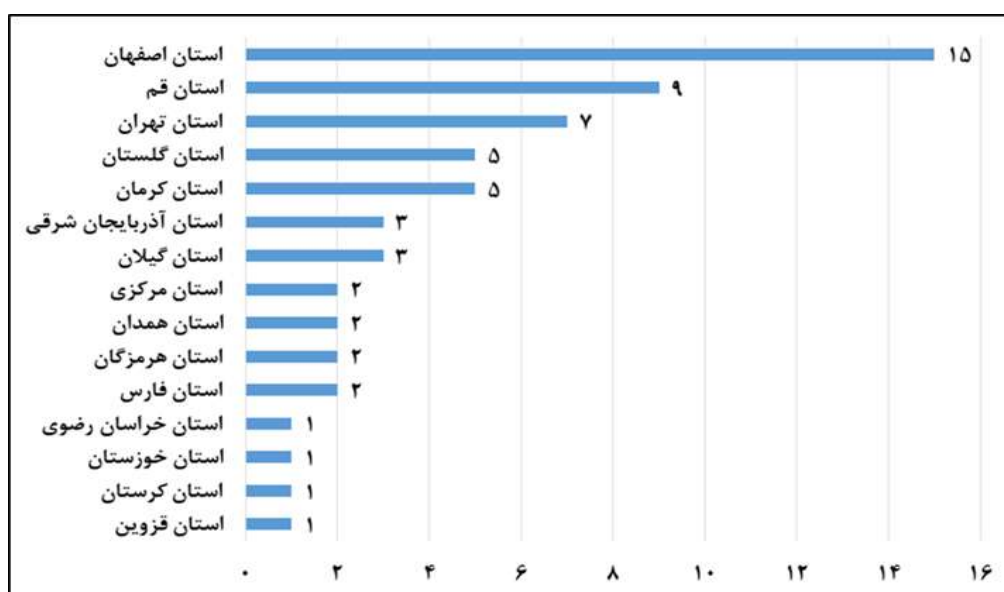
شکل ۲- توزیع مقالات پذیرفته شده به تفکیک



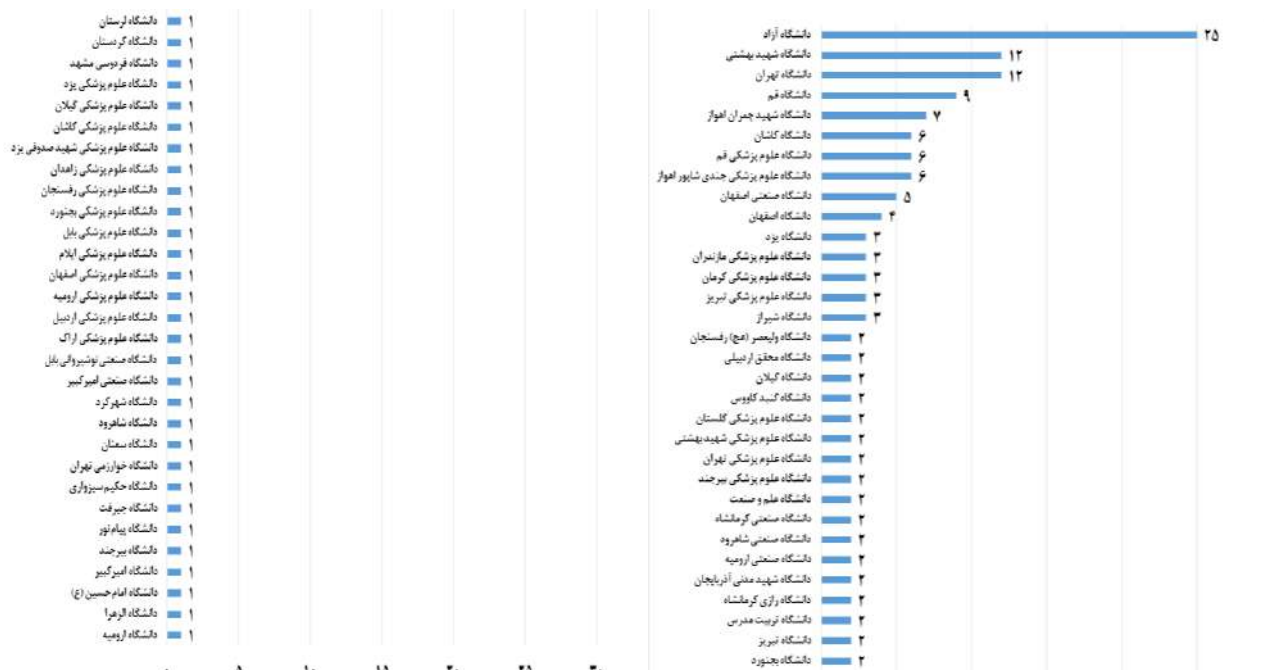
شکل ۳- توزیع مقالات پوستری و شفاهی به تفکیک



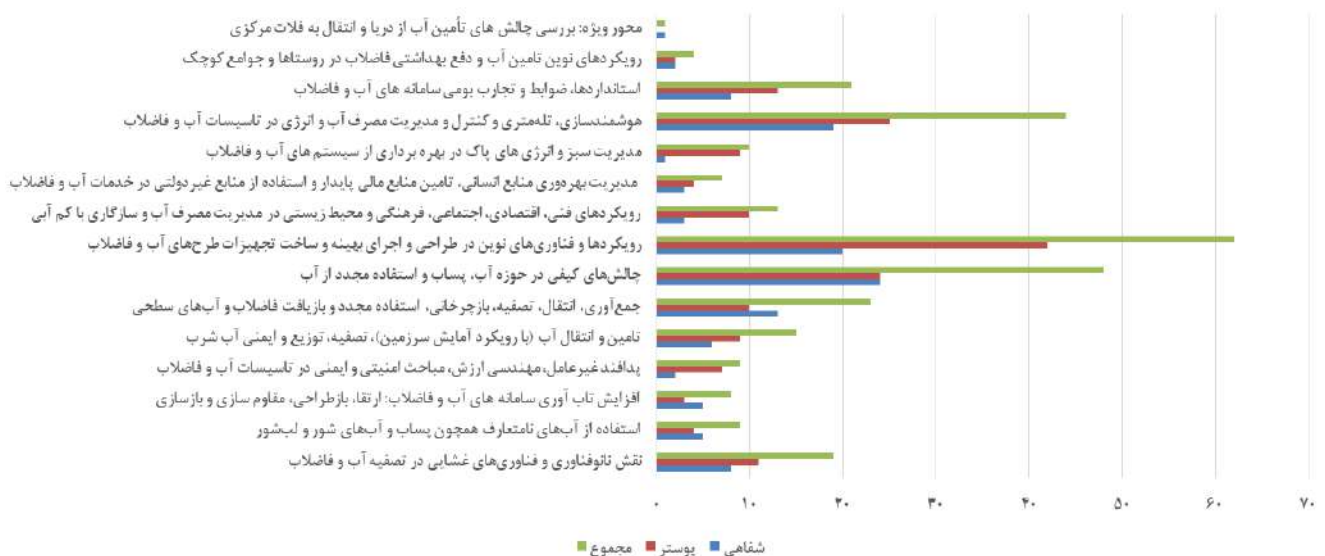
شکل ۴- (الف) تعداد کل و (ب) درصد مقالات پذیرفته شده پوستری و شفاهی



شکل ۵- تعداد مقالات پذیرفته شده از شرکت های آب و فاضلاب مراکز استان ها



شکل ۶- توزیع مقالات دانشگاه‌ها



شکل ۷- توزیع مقالات بر اساس محورهای مختلف کنگره

هیئت داوران:

هیئت داوران شامل ۱۰۸ نفر بودند که از بین اساتید دانشگاه‌های سراسر کشور و متخصصین سازمان‌ها و ادارات دولتی و یا از متخصصین بخش خصوصی اعم از شرکت‌های مشاور و یا پیمانکاری سراسر کشور انتخاب شده‌اند. هر مقاله به‌طور میانگین برای سه داور ارسال شد.

مراسم افتتاحیه:

در ابتدای مراسم آقای دکتر عالی دبیر محترم کنگره گزارشی از فعالیتهای انجام شده در ۱۱ ماه گذشته در دبیرخانه کنگره را ارائه دادند. سپس آقایان دکتر مصری رئیس محترم دانشگاه علوم پزشکی قم و حجت الاسلام دکتر فراهانی فرد معاون پژوهشی محترم دانشگاه قم ضمن خوش‌آمدگویی به کلیه حضار، به معرفی دانشگاه‌های علوم پزشکی قم و قم و فعالیتهای ارزنده آنها در حوزه مهندسی آب و فاضلاب پرداختند. در ادامه آقای مهندس بختیاری مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان قم مقدم شرکت کنندگان را گرمی داشتند.

در پایان این بخش نیز دکتر مسعود تابش، رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، گزارشی از فعالیت‌های انجمن و برنامه‌های آتی آن را ارائه و ویژگی‌های همایش‌های انجمن را تشریح کردند. سخنران کلیدی کنگره جناب آقای مهندس آقازاده معاون محترم مهندسی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور بودند که به تشریح وضعیت آب و فاضلاب کشور و موفقیت‌ها و چالش‌های آن پرداختند. آقای دکتر معتمدی معاون محترم استاندار قم نیز از برگزاری کنگره در شهر قم استقبال کردند. در قسمت پایانی مراسم افتتاحیه نیز خانم پروفسور راضیه فرمانی (استاد دانشگاه اگستر انگلستان) به‌عنوان سخنران کلیدی از خارج از کشور به تشریح آخرین دستاوردهای علمی روز در حوزه آب و فاضلاب پرداختند.

نشست‌های تخصصی در روز اول بعد از مراسم افتتاحیه و در بعدازظهر روز اول و صبح روز دوم بعد از ارائه مقالات شفاهی و کلینیک صنعت نیز در ظهر روز اول به شرح زیر برگزار شدند.

نشست‌های تخصصی

ردیف	عنوان نشست	اعضای نشست
۱	تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد	دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، مهندس مجید آقازاده حبشی، مهندس عبدالحمید توکلی بینا، مهندس علی سیدزاده، مهندس علی اکبر ملکوتی، مهندس مهدی اوسط، دکتر سعید بشیری
۲	چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی	دکتر بنفشه زهرایی، دکتر علی همتی شعبانی، مهندس محمد حسن اسدی، مهندس فرهاد قادریان، مهندس انوش نوری اسفندیاری، مهندس احمد حاجی حسینی مسگر، دکتر علی مریدی، دکتر علیرضا بازارگان
۳	چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز	دکتر عباس اکبرزاده، دکتر انوشیروان محسنی بندپی، دکتر سعید مردان، مهندس آرش نیک‌خواه، دکتر اصغر جهانی بهنمیری، مهندس حمیدرضا ارومیه، دکتر حسین نایب

برنامه کلینیک صنعت

موضوع	متخصصان
شبکه‌های توزیع و هدررفت آب	دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، مهندس علی سیدزاده، مهندس حمیدرضا هنری، دکتر عبدالمهدی میرسپاسی
بازافت آب و تصفیه فاضلاب	دکتر مجتبی فاضلی، دکتر حسین نایب و دکتر مهدی هاشمی شهرکی
کیفیت آب	دکتر مهتاب باغبان، دکتر زهرا اکبری، دکتر مجید بغدادی و مهندس قنادی

مراسم اختتامیه:

در این مراسم ابتدا گزارش علمی همایش توسط خانم دکتر آشفته دبیر علمی، همایش ارائه شد. سپس آقای دکتر تابش رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب در خصوص برنامه و فعالیت‌های انجمن برای انتخاب پیشکسوت برگزیده، پایان‌نامه برتر و داوران برگزیده نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب توضیح دادند. سپس برگزیدگان این سه بخش که توسط انجمن آب و فاضلاب ایران انتخاب شده اند به شرح زیر معرفی شدند. هم‌چنین پیام پیشکسوتان برگزیده نیز پخش شد.

پیشکسوتان برگزیده دانشگاه و صنعت



مهندس سید علی محمودیان (وزارت نیرو)



دکتر مجتبی فاضلی (دانشگاه شهید بهشتی)

برنامه ویژه مراسم اختتامیه برگزاری یادواره مرحومه خانم پروفسور سیمین ناصری استاد برجسته دانشگاه علوم پزشکی تهران، عضو هیئت موسس و عضو اولین دوره هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران و هیئت تحریریه نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب بود. در این رابطه ضمن پخش بروشور و کلیپ تهیه شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران جناب آقای دکتر عزیزی همسر گرامی ایشان با ارائه زندگینامه ایشان، یاد بانوی آب ایران را گرامی داشتند.



مرحومه پروفسور سیمین ناصری (۱۳۳۰-۱۴۰۱)

برندگان ششمین دوره مسابقه پایان نامه برتر (سال ۱۴۰۱)

مقطع	بخش	نام و نام خانوادگی	عنوان رساله/پایان نامه	دانشگاه	اساتید راهنما و مشاور	سال دفاع
دکتری	تصفیه آب و فاضلاب	پیمانه عطابخش	پایش ملکولی روتاویروس و آدنوویروس انسانی در سیستم آب و فاضلاب اصفهان	دانشگاه آزاد اسلامی - واحد جهرم - دانشکده علوم پایه	استاد راهنما: دکتر محمد کارگر استاد مشاور: دکتر عباس دوستی	۱۳۹۸
		مهسا طاهری	مشخصه سازی بیوراکتور غشایی ناپيوسته با عملیات متوالی حاوی نانو رس در تصفیه فاضلاب حاوی رنگزا	دانشگاه امیرکبیر - دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست	اساتید راهنما: دکتر نرگس فلاح - دکتر بهرام ناصرزاد	۱۴۰۰
		الیه جوادی	حذف ۴- نونیل فنل از آب های آلوده توسط آبروزل بر پایه نانوصفحات گرافن- کیتوسان	دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم تحقیقات - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست	اساتید راهنما: دکتر مجید بغدادی - دکتر لعبت تقوی	۱۳۹۹
	شبکه های آب و فاضلاب	سید احمدرضا شاهنگیان	بررسی عوامل و فرآیندهای موثر بر پذیرش رفتارهای مدیریت مصرف آب خانگی: کاربرد تئوری های روانشناختی و مدل سازی عامل بنیان	دانشگاه تهران - دانشکده مهندسی عمران	استاد راهنما: دکتر مسعود تابش استاد مشاور: دکتر مسعود یزدان پناه	۱۴۰۱
		ایمان مصلحی بهارانچی	توسعه یک سامانه پشتیبان تصمیم گیری برای مدیریت هدررفت واقعی در سامانه های آب رسانی	دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده عمران، آب و محیط زیست	استاد راهنما: دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده	۱۴۰۰
		امیر هوشنگ آیتی	عین نشت در سیستم های آبرسانی بر اساس جریان گذرا و با رویکرد یادگیری ماشین	دانشگاه چمران اهواز - دانشکده مهندسی عمران و معماری	استاد راهنما: دکتر علی حقیقی	۱۴۰۰

۱۴۰۰	استاد راهنما: دکتر حسن اصلانی	دانشگاه علوم پزشکی تبریز- دانشکده بهداشت	بررسی کارایی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته Fe(VI)/PMS در حذف آفت کش کلریپریفوس از آب های سطحی	سمیرا شیخی	تصفیه آب و فاضلاب	کارشناسی ارشد
۱۳۹۸	استاد راهنما: دکتر محمد ذبیحی -دکتر اسماعیل فاتحی فر	دانشگاه صنعتی سهند- دانشکده مهندسی شیمی	طراحی و سنتز نانوجاذب مغناطیسی چارچوب آلی فلزی برای حذف هیدروکینون از محلول های آبی	فاطمه اکبر بندری		
۱۳۹۸	استاد راهنما: دکتر محمد دلنواز استاد مشاور: دکتر مصطفی لیلی	دانشگاه خوارزمی- دانشکده فنی و مهندسی	حذف آلاینده های دارویی از محلول های آبی با استفاده از راکتور بیولوژیکی سیکلی (CBR)	هدی خوشوقت		
۱۳۹۹	استاد راهنما: دکتر مسعود تابش	دانشگاه تهران-دانشکده مهندسی عمران	بررسی آب های نفوذی در شبکه های فاضلاب مجزا با تاکید بر آب باران نفوذی	محسن رضایی	شبکه های آب و فاضلاب	
۱۴۰۰	استاد راهنما: دکتر پریسا سادات آشفته استاد مشاور: خانم مهندس پروین گلفام	دانشگاه قم -دانشکده فنی و مهندسی	توسعه مدل های نوین تصمیم گیری چندمعیاره در تخصیص بهینه پساب و تحلیل نتایج با رویکرد جدید تابع مطلوبیت اضافی	کوثر ابراهیم زاده ازبری		
۱۳۹۸	استاد راهنما: دکتر عباس نیک نژاد- دکتر سیما ضیایی	دانشگاه یاسوج- دانشکده فنی و مهندسی	بررسی آزمایشگاهی فرآیند فرورفتگی موضعی لوله های انتقال آب تعمیر شده با رزین پلی استر تحت فشار داخلی	صادق درخشان		

هم چنین دبیر تخصصی برگزیده و ۳ نفر از داوران برگزیده نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب که از سوی انجمن آب و فاضلاب ایران منتشر می شود به شرح زیر مورد تقدیر قرار گرفتند.

دبیر تخصصی و داوران برگزیده



داور برگزیده: دکتر سید حسین سجادی فر، استادیار گروه اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهریار و مدیر دفتر توسعه پایدار، مدیریت مصرف و مطالعات اجتماعی شرکت آب و فاضلاب استان تهران



داور برگزیده: دکتر ستار صالحی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار



دبیر تخصصی برگزیده: دکتر محمد حسین صراف زاده، دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران



داور برگزیده: دکتر عبدالکاهن نبیسی استادیار دانشگاه علوم پزشکی اهواز

در نیمه دوم برنامه اختتامیه پس از سخنان نماینده قم در مجلس شورای اسلامی، از برگزیدگان مقالات، حامیان مالی و غرفه برتر به شرح زیر تقدیر شد.

برندگان مقالات برتر

ردیف	عنوان مقاله	نویسندگان
۱	جانمایی بهینه ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن تعادلی در سامانه‌های انتقال آب	احمد شرف بایگی
۲	Microbial exposure risk assessment of urban wastewater by irrigation of agricultural products	یداله غفوری، احمدرضا یاری، رحیم عالی، محمدرضا خاکسار
۳	مدل‌سازی زمان پرداخت قبوض آب در بخش خانگی شهر قم با استفاده از رگرسیون کاکس	قاسم امینی، حسن بختیاری، حسن فرمانی انتظام، عباس داودآبادی
۴	بررسی کارایی شبکه‌های توزیع آب بر اساس عدم قطعیت‌های موجود با برنامه‌های بازسازی و نوسازی متفاوت	پریسا احدپور، مهدی دینی، سعید هاشمی
۵	Intelligent Pressure Management by Networked Sensors and Internet of Things (IoT)	کاوه حریری اصلی، کیان حریری اصلی، احمد حضوری
۶	شناسایی و اولویت‌بندی راه کارهای سازگاری با کم آبی با استفاده از روش AHP (مطالعه استان بوشهر)	مسعود حراقی، مریم حراقی
۷	بازتوسعه مدل BSM1 جهت مدل‌سازی سیستم تصفیه فاضلاب نهر اکسیداسیون کاروسل (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران)	یاسر خطیبی، آناهیتا پورمحمدی، علی خواجویان، سارا نظیف
۸	واسنجی هیدرولیکی و کیفی یک مدل آزمایشگاهی شبکه توزیع آب	محمد شاه‌سوندی، جعفر یزدی، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، عبدالله رشیدی مهرآبادی
۹	مطالعه و بررسی دلایل کاهش آبدی چاه های فلمن	حسین عالم، ناصر اکبری، آسیه سادات ملاباشی، احمدرضا کریمی، محمد حاجی کتابی، محمد مهدی احمدی
۱۰	ارزیابی گیاه پالایی با پوشش‌های عدسک آبی در بهبود کیفیت پساب خروجی برکه تثبیت	حسین یآوری، مسعود طاهریون
۱۱	مدل‌سازی عملکرد واحد لجن فعال در تصفیه فاضلاب شهری با استفاده از ANFIS (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد)	امیر نیک سیر، شروین جمشیدی
۱۲	ارزیابی اطمینان‌پذیری کمی تامین نیاز شرب در شبکه‌های توزیع آب شهری با رویکرد تأمین نوبتی	محدثه دادرس، فریبرز معصومی، محمدرضا نیکو، سینا معصوم‌زاده
۱۳	مقایسه و بررسی اثر انعقاد و لخته‌سازی در حذف کدورت از آب توسط فرآیند مستغرق غشایی	فرزاد هاشم زاده، عباس اکبرزاده
۱۴	محاسبه احتمال شکست کیفیت شبکه‌های توزیع آب به‌منظور برآورد ریسک با استفاده از ای بیزین	سارا مشهدی تفرشی، مسعود تابش
۱۵	برآورد مقدار مصرف شبانه خانگی در روش تحلیل حداقل نشت شبانه با استفاده از پایش انفرادی مشترکین (مطالعه موردی: روستای چم زیار اصفهان)	شورش وزیری، ایمان مصلحی، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، رضا صفایی بروجنی

حامیان و غرفه برتر



حامی برتر: شرکت سهامی آب منطقه‌ای قم
مدیر عامل: دکتر علی اصغری



حامی برتر: شرکت آب و فاضلاب استان قم
مدیر عامل: مهندس حسن بختیاری



غرفه برتر: شرکت بلندای صنعت جهان افزار
مدیر عامل: مهندس حسن مویدی خسروشاهی

کارگاه‌های آموزشی

از بعدازظهر روز دوم تا انتهای روز سوم ۱۲ کارگاه آموزشی توسط خبرگان دانشگاه و صنعت ب‌شرح زیر ارائه شدند.

ردیف	عنوان کارگاه	مدرس	مدت (ساعت)
۱	مدیریت آب خاکستری در بخش‌های روستایی	دکتر زهرا اکبری	۲
۲	جمع‌آوری، صحت‌سنجی و گزارش داده‌های عملیات (رفع خرابی، اصطلاح و توسعه و ...) با رویکرد مکان‌محور (CRM+GIS)	مهندس ثابتی، مهندس اصلاح‌جو	۲
۳	آشنایی با مبانی الزامات استاندارد ISO17025	مهندس نوشین سهراب‌نیا	۲
۴	مبانی برنامه ایمنی آب	دکتر میترا قاسم شریبانی	۲
۵	روش‌های مختلف تعیین قطر لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب	مهندس احمد شرف بایگی	۴
۶	تعیین استراتژی بازسازی لوله‌های شبکه‌های توزیع آب براساس شاخص ریسک	دکتر ستار صالحی	۲
۷	مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیندهای تصفیه فاضلاب با استفاده از نرم‌افزار GPS-X	مهندس سید مهدی قاسمی	۸
۸	تشریح عوامل خرابی زودرس و کاهش عمر الکتروپمپ‌های شناور و ارائه راه‌کار	مهندس غلامرضا مهرنوش	۲
۹	تصفیه فاضلاب‌های صنعتی با تمرکز بر صنایع مستقر در شهرک‌های صنعتی	دکتر مجتبی فاضلی، دکتر حسین نایب	۲
۱۰	فرآیندهای حذف کدورت و جامدات معلق از آب و فاضلاب و بهینه‌سازی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با تمرکز بر پلی‌آلومینیوم کلراید	مهندس میلاد مرادی، دکتر حسین نایب	۲
۱۱	مدیریت تقاضای آب شهری از طریق استراتژی تنوع محصول-مطالعه موردی شهر قم	مهندس مهدی نظرزاده	۲
۱۲	استانداردهای بین‌المللی سائز لوله‌های آبرسانی	مهندس مجتبی وزین افضل	۲

نمایشگاه جانبی:

نمایشگاه جانبی این کنگره در غرفه‌های مختلف برگزار شد. شرکت‌کنندگان در نمایشگاه عبارت بودند از: انجمن آب و فاضلاب ایران، شرکت آب و فاضلاب استان قم، شرکت آب منطقه‌ای استان قم، دانشگاه قم، دانشگاه علوم پزشکی قم، شرکت آب‌بان، شرکت نهراب، شرکت بلندای صنعت جهان افراز، شرکت رادآب گستر برنا و شرکت ازن آب.

بازدیدهای علمی:

صبح روز سوم بازدیدهای علمی در ۳ گروه به‌شرح زیر با حضور حدود ۵۰ نفر از شرکت‌کنندگان در کنگره برگزار شد.

شماره گروه بازدید	محل بازدید	آدرس	مدت بازدید (ساعت)
۱	سیستم بازچرخانی فاضلاب دانشگاه قم	دانشگاه قم	۴
	آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب	بلوار غدیر	
	سیستم آب شیرین‌کن	بلوار غدیر	
	تله‌متری شرکت آب و فاضلاب	بلوار غدیر	
۲	تصفیه‌خانه آب قم	روستای دودهک	۵
۳	تصفیه‌خانه فاضلاب جامع قم	جاده قم-تهران	۴

حامیان معنوی و علمی، مالی و رسانه‌ای کنگره نیز به‌شرح زیر در غنای بیشتر کنگره کوشیدند.

حامیان معنوی و علمی کنگره				
				
جمهوری اسلامی ایران وزارت کشور	کمیسیون تخصصی آب و فاضلاب کمیسیون تخصصی آب و فاضلاب	جمهوری اسلامی ایران وزارت صنعت، معدن و تجارت	جمهوری اسلامی ایران وزارت علوم، تحقیقات و فناوری	وزارت نیرو

 دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)	 انجمن علمی علوم آب Water Science Association of Iran	 Islamic World Science Citation Center	 دانشگاه علم و فناوری ایران	 سازمان حفاظت محیط زیست
 دانشگاه شهید باهنر کرمان	 وزارت علوم، تحقیقات و فناوری دانشگاه تهران	 دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری	 دانشگاه علوم پزشکی قم مرکز تحقیقات آینده های محیطی	 مرکز آموزش عالی کاظم وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	 UNESCO Chair on Water Reuse University of Tehran, Iran	 دانشگاه تهران	 وزارت نیرو موسسه تحقیقات آب	 وزارت علوم، تحقیقات و فناوری دانشگاه صنعتی امیرکبیر
 شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور National Water & Wastewater Eng. Co	 شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	 انجمن هیدرولیک ایران	 دانشگاه علوم پزشکی شهید	
 منسین شاد طرح و تحقیقات آب فاضلاب		 Sponsored and Indexed by CIVILICA We Respect the Science		
 انجمن علمی بهداشت محیط ایران Iranian Association of Environmental Health (IAEH)	 انجمن علمی بهداشت محیط ایران Iranian Association of Environmental Health (IAEH)	 دانشگاه صنعتی قم وزارت علوم، تحقیقات و فناوری	 دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی جهرز	 دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مشهد
 انجمن علمی بهداشت محیط ایران Iranian Association of Environmental Health (IAEH)	 جهاد دانشگاهی	 دانشگاه تهران	 دانشگاه تهران	
	پژوهشگاه زیست فناوری و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف	جهاد دانشگاهی استان قم	موسسه آب دانشگاه تهران	اتاق بازرگانی صنایع، معادن و کشاورزی استان قم

حامیان مالی کنگره					
	شرکت آب و فاضلاب استان کردستان		مهندسین مشاور آبران		شرکت آب و فاضلاب استان قم
	بهرینه طراحی پرشیا (POD)		شرکت دریارود جنوب		مهندسین مشاور
	شرکت رعد آب		شرکت سالم آب		شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی

سامانه‌های اطلاع‌رسانی کنگره		
	همایش‌های ایران	
	مرجع علمی و اطلاع‌رسانی کنفرانس‌ها	
	کنفرانس‌جو	

لینک فیلمهای جلسات کنگره به شرح زیر است:

https://www.aparat.com/v/OB57I	مراسم افتتاحیه
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/hr8Qs	کلینیک صنعت- محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب
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/nRdX3	مراسم اختتامیه
https://www.aparat.com/v/kiHYq	پیام آقای مهندس محمودیان
https://www.aparat.com/v/Uaun9	کارگاه

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه سوم سال ۱۴۰۱ به شرح زیر است:

- برگزاری جلسه با مدیر دفتر تحقیقات و خودکفایی صنعتی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (۱۴۰۱/۰۷/۱۹)
- برگزاری جلسه دوازدهم شورای سیاستگذاری کنگره (۱۴۰۱/۰۷/۱۹)
- برگزاری اولین نشست خبری کنگره (۱۴۰۱/۰۷/۱۹)
- برگزاری جلسه هشتم شورای اجرایی کنگره (۱۴۰۱/۰۷/۱۹)
- برگزاری بیست و ششمین وینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران توسط آقای دکتر بهمن یارقلی، هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی با عنوان "آلودگی منابع آب و خاک به آرسنیک و روش‌های پالایش آن" (۱۴۰۱/۰۷/۰۶)
- برگزاری بیست و هفتمین وینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران توسط آقای مهندس فرزاد پیاده، دانشجوی دکتری دانشگاه غرب لندن با عنوان "مدل‌های داده محور و برخط پیش بینی سیلاب در سیستم‌های جمع آوری آب باران شهری" (۱۴۰۱/۰۷/۲۰)
- برگزاری جلسه با سرپرست معاونت تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو (۱۴۰۱/۰۷/۲۷)
- برگزاری جلسه شصت و هفتم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۷/۲۷)
- انتشار خبرنامه شماره ۷۹ انجمن (مهر ۱۴۰۱)
- جلسه مشترک هیئت مدیره انجمن با معاونت و مدیران دفاتر حوزه بهره برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب (۱۴۰۱/۰۸/۰۲)
- برگزاری جلسه سیزدهم شورای سیاستگذاری کنگره (۱۴۰۱/۰۸/۰۳)
- برگزاری جلسه نهم شورای اجرایی کنگره (۱۴۰۱/۰۸/۰۳)
- برگزاری جلسه چهاردهم شورای سیاستگذاری کنگره (۱۴۰۱/۰۸/۱۷)
- برگزاری جلسه دهم شورای اجرایی کنگره (۱۴۰۱/۰۸/۱۷)
- برگزاری جلسه شصت و هشتم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۸/۲۵)
- برگزاری جلسه پانزدهم شورای سیاستگذاری کنگره (۱۴۰۱/۰۸/۲۹)
- برگزاری جلسه یازدهم شورای اجرایی کنگره (۱۴۰۱/۰۸/۲۹)
- انتشار خبرنامه شماره ۸۰ انجمن (آبان ۱۴۰۱)
- برگزاری چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۳-۱)
- برگزاری افتتاحیه چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- سخنرانی جناب آقای مهندس آقازاده معاون محترم مهندسی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران به عنوان سخنران کلیدی (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- سخنرانی خانم پروفسور راضیه فرمانی (استاد دانشگاه انگلستان) در چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران به عنوان سخنران کلیدی (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری نشست تخصصی با عنوان "تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد" (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری کلینیک صنعت با عنوان "شبکه‌های توزیع و هدررفت آب" (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری کلینیک صنعت با عنوان "بازیافت آب و تصفیه فاضلاب" (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری کلینیک صنعت با عنوان "کیفیت آب" (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- ارائه مقالات شفاهی و پوستری چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری نمایشگاه چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری نشست تخصصی با عنوان "چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی" (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری مجمع عمومی سالانه انجمن آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- ارائه مقالات شفاهی و پوستری چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری نمایشگاه چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری نشست تخصصی با عنوان "چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز" (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری اختتامیه چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۲)

- برگزاری یادواره مرحومه خانم پروفسور سیمین ناصری استاد برجسته دانشگاه علوم پزشکی تهران، عضو هیئت موسس و عضو اولین دوره هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران و هیئت تحریریه نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- تقدیر از دبیر تخصصی و داوران برگزیده نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- تقدیر از پیشکسوتان برگزیده صنعت و دانشگاه (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- تقدیر از برندگان هفتمین دوره مسابقات پایان نامه برتر (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- تقدیر از مقالات برگزیده چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- تقدیر از حامیان مالی و غرفه برتر چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری کارگاه "روش‌های مختلف تعیین قطر لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب" توسط مهندس احمد شرف بایگی (۱۴۰۱/۰۹/۱)
- برگزاری کارگاه "مبانی برنامه ایمنی آب" توسط دکتر میترا قاسم شریبانی (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری کارگاه "مدیریت آب خاکستری در بخش های روستایی" توسط دکتر زهرا اکبری (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری کارگاه "تصفیه فاضلاب‌های صنعتی با تمرکز بر صنایع مستقر در شهرک‌های صنعتی" توسط دکتر مجتبی فاضلی و دکتر حسین نایب (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری کارگاه "فرآیندهای حذف کدورت و جلودات معلق از آب و فاضلاب و بهینه‌سازی فرایند انعقاد و لخته‌سازی با تمرکز بر پلی آلومینیوم کلراید" توسط مهندس میلاد مرادی و دکتر حسین نایب (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری کارگاه "آشنایی با مبانی الزامات استاندارد ISO17025" توسط مهندس نوشین سهراب‌نیا (۱۴۰۱/۰۹/۲)
- برگزاری کارگاه "مدلسازی و شبیه‌سازی فرایندهای تصفیه فاضلاب با نرم افزار gps_x" توسط مهندس سید مهدی قاسمی (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- برگزاری کارگاه "جمع‌آوری، صحت‌سنجی و گزارش داده‌های عملیات (رفع خرابی، اصلاح و توسعه و...) با رویکرد مکان محور CRM+GIS" توسط مهندس ثابتی-مهندس اصلاح جو (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- برگزاری کارگاه "تشریح عوامل خرابی زودرس و کاهش عمر الکتروپمپ های شناور و ارائه راهکار" توسط مهندس غلامرضا مهرنوش (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- برگزاری کارگاه "مدیریت تقاضای آب شهری از طریق استراتژی تنوع محصول – مطالعه موردی شهر قم" توسط مهندس مهدی نظرزاده (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- برگزاری کارگاه "نحوه تعیین سائز لوله آبرسانی با توجه به تعداد واحد و نحوه نصب انشعابات" توسط مهندس مجتبی وزین افضل (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- برگزاری کارگاه "تعیین استراتژی بازسازی لوله های شبکه های توزیع آب بر اساس شاخص ریسک" توسط دکتر ستار صالحی (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- بازدید از سیستم بازچرخانی فاضلاب دانشگاه قم (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- بازدید از آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب قم (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- بازدید از سیستم آب شیرین کن قم (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- بازدید از تله متری شرکت آب و فاضلاب (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- بازدید از تصفیه خانه آب قم (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- بازدید از تصفیه خانه فاضلاب جامع قم (۱۴۰۱/۰۹/۳)
- برگزاری بیست و هشتمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران توسط دکتر علیرضا ولی‌پور مردی، کارشناس پژوهشی موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو با عنوان "پیل سوختی میکروبی به عنوان یک راه‌حل پایدار برای تصفیه فاضلاب: از تحقیق تا کاربرد" (۱۴۰۱/۰۹/۲۴)
- برگزاری جلسه شصت و نهم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۹/۳۰)
- انتشار خبرنامه شماره ۸۱ انجمن (آذر ۱۴۰۱)
- انتشار شماره ۳، دوره ۷ نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (پاییز ۱۴۰۱)



انجمن آب و فاضلاب ایران

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWWA Newsletter

Vol. 7, No. 80, November 2022
سال هفتم، شماره هشتاد، آبان ماه ۱۴۰۱

اطلاعات تماس:
 تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۰۰
 فکس: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۰۱
 نشانی پستی:
 تهران، خیابان طالقانی،
 بین خیابان قدس و
 وصال، پلاک ۲۲۹، طبقه
 ۷ واحد ۷
 نشانی اینترنتی:
www.iwwa.ir
comp.iwwa@gmail.com
 شبکه اجتماعی:
<https://www.facebook.com/IWWA694>
<https://www.linkedin.com/company/iwwa694>
 نشانی لینکدین:
<https://www.linkedin.com/company/iwwa694>
 آیدی اینستاگرام:
<https://www.instagram.com/iwwa694>
 آیدی تلگرام:
<https://www.t.me/iwwa694>
 آیدی واتس‌اپ:
<https://www.whatsapp.com/channel/00299170000000000000>
 آیدی آپارات:
<https://www.aparat.com/iwwa694>
 آیدی یوتیوب:
<https://www.youtube.com/channel/UC00000000000000000000>

تأمین آب شرب پایدار !!



مطالب این شماره:

- خبر تعیین
- معرفی هیئت
- انتشار
- معرفی کتاب
- معرفی برگزار
- معرفی پروژه
- معرفی هیئت

همکاران این شماره:

دکتر مسعود تابش

دکتر جعفر پوری

محمد شامسوندی

رضا معاشری

حمیدرضا حکیمیان

پیام شماره ۶۲:

چند درصد از نیاز آب کشور به منابع آب زیرزمینی وابسته است؟

الف- ۱۰ تا ۳۰ درصد

ب- ۵۰ تا ۷۰ درصد

ج- ۷۰ تا ۹۰ درصد

لطفا نظرات خود را به آدرس ایمیل comp.iwwa@gmail.com تا ۳۰ آذرماه ۱۴۰۱ ارسال فرمایید.

در قسمت subject، ایمیل، عنوان مسابقه را وارد کنید. به قید قرعه، چهل و نه نفر از دوستان مشارکت کننده انتخاب می‌شود.



انجمن آب و فاضلاب ایران

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWWA Newsletter

Vol. 7, No. 79, October 2022
سال هفتم، شماره هشتاد و نه، مهرماه ۱۴۰۱

اطلاعات تماس:
 تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۰۰
 فکس: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۰۱
 نشانی پستی:
 تهران، خیابان طالقانی،
 بین خیابان قدس و
 وصال، پلاک ۲۲۹، طبقه
 ۷ واحد ۷
 نشانی اینترنتی:
www.iwwa.ir
comp.iwwa@gmail.com
 شبکه اجتماعی:
<https://www.facebook.com/IWWA694>
<https://www.linkedin.com/company/iwwa694>
 نشانی لینکدین:
<https://www.linkedin.com/company/iwwa694>
 آیدی اینستاگرام:
<https://www.instagram.com/iwwa694>
 آیدی تلگرام:
<https://www.t.me/iwwa694>
 آیدی واتس‌اپ:
<https://www.whatsapp.com/channel/00299170000000000000>
 آیدی آپارات:
<https://www.aparat.com/iwwa694>
 آیدی یوتیوب:
<https://www.youtube.com/channel/UC00000000000000000000>

صنایع سیراب، مردم تشنه!



مطالب این شماره:

- اخبار تعیین
- معرفی هیئت
- انتشار
- معرفی کتاب
- معرفی برگزار
- معرفی پروژه
- معرفی هیئت

همکاران این شماره:

دکتر مسعود تابش

دکتر جعفر پوری

محمد شامسوندی

رضا معاشری

حمیدرضا حکیمیان

پیام شماره ۶۳:

هر چند نمی‌توان مسأله خشکسالی و کاهش بارش را نادیده گرفت، اما ایران یکی از سرزمین‌های چند هزارساله‌ای است که همیشه با چالش کم‌آبی مواجه بوده و با یک‌گویی تدابیری مشکلات کم‌آبی را کاهش داده است. با این وجود، در دهه‌های اخیر با برخی مدیریت‌های ناصحیح در کنار افزایش نیازهای آبی، مسأله کمبود آب و تنش آبی بیش از پیش نمایان شده است. اگرچه روش‌های سنتی آبیاری- آلودگی کشت ناصحیح و مصارف نادرست در ایجاد تنش آبی نقش داشته‌اند، لکن تنش- وجود منابع آبی در مناطق کم آب کشور قابل توجه است. برآیندها نشان می‌دهد که آسایش مناسب سرزمین، برای استقرار صنایع از نظر منابع آبی و تراکم جمعیت در استان‌ها صورت نگرفته است. در کنار افزایش نیاز آبی به واسطه احداث صنایع، توسعه صنعت و انتقال آب باعث شده تا جمعیت زیادی به این مناطق سرازیر شوند که این موضوع موجب شده تا مصارف، بیش از پیش افزایش یابد. برای حل مشکلات آب در شهرهای پرورش باید برای آینده صنایع در این مناطق تصمیم جدی‌تری اتخاذ شود که بدون وارد آوردن فشار به منابع آب سایر شهرها، آب مورد نیاز مردم در بخش‌های مختلف تأمین شود.



انجمن آب و فاضلاب ایران

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWWA Newsletter

Vol. 7, No. 81, December 2022
سال هفتم، شماره هشتاد و یک، آذرماه ۱۴۰۱

اطلاعات تماس:
 تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۰۰
 فکس: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۰۱
 نشانی پستی:
 تهران، خیابان طالقانی،
 بین خیابان قدس و
 وصال، پلاک ۲۲۹، طبقه
 ۷ واحد ۷
 نشانی اینترنتی:
www.iwwa.ir
comp.iwwa@gmail.com
 شبکه اجتماعی:
<https://www.facebook.com/IWWA694>
<https://www.linkedin.com/company/iwwa694>
 نشانی لینکدین:
<https://www.linkedin.com/company/iwwa694>
 آیدی اینستاگرام:
<https://www.instagram.com/iwwa694>
 آیدی تلگرام:
<https://www.t.me/iwwa694>
 آیدی واتس‌اپ:
<https://www.whatsapp.com/channel/00299170000000000000>
 آیدی آپارات:
<https://www.aparat.com/iwwa694>
 آیدی یوتیوب:
<https://www.youtube.com/channel/UC00000000000000000000>

اقتصاد آب و پساب، ابزاری برای نظم‌گیری و تأمین مالی



مطالب این شماره:

- اخبار تعیین
- معرفی هیئت
- انتشار
- معرفی کتاب
- معرفی برگزار
- معرفی پروژه
- معرفی هیئت

همکاران این شماره:

دکتر مسعود تابش

دکتر جعفر پوری

محمد شامسوندی

رضا معاشری

حمیدرضا حکیمیان

پیام شماره ۶۴:

با توجه به نیاز به طرح جامع، اقدام اولیه در حوزه مدیریت آب در کشور را برانگیزد.

سخت‌ترین اول:

تجربه‌گذاری برای قیمت آب یکی از راه‌های مدیریت مصرف و تقاضای آب به‌خصوص در شرایط خشکسالی و کمبود آب است. در عین حال، فروش آب و پساب تصفیه شده به مشتریان و صنایع یکی از منابع مهم درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب هم محسوب می‌شود. در همین راستا شرکت آب و فاضلاب کشور برنامه‌ای به‌نام هیئت وزیران، تعرفه‌های آب در سال ۱۴۰۱ را برای مشتریان خانگی با مصرف سرازیر الگو، به‌صورت پلکانی افزایش داد. برخی بر این باورند که به‌طور کلی نظام قیمت‌گذاری آب در کشور از استانداردهای لازم تبعیت نمی‌کند. به‌عنوان مثال، باید مانند برخی از کشورهای قیمت‌گذاری آبهای زیرزمینی با آبهای سطحی متفاوت باشد یا حتی قیمت آب زیرزمینی با توجه به نرخ انرژی و بالا و پایین بودن ترانزیت زیرزمینی متغیر باشد. قیمت‌گذاری درست آب می‌تواند منجر به اخذ تصمیمات درست‌تری برای افزایش پساب تصفیه شده به بخش خصوصی نیز بشود. بنابراین مثال زمانی که ارزش اقتصادی آب زیرزمینی با توجه به شرایط عدم تشخیص مسأله مثلا ۲۰ هزار تومان برآورد می‌شود، طبیعی است که دیگر فروش پساب به قیمت ۵ هزار تومان منطقی نیست و جامعه ۱۵ هزار تومان متضرر می‌شود.

آریتا محققیان، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی گیلان دکتر آریتا محققیان از سال ۱۳۷۹ به عنوان عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی گیلان مشغول به فعالیت بوده و دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط را از دانشگاه علوم پزشکی تهران اخذ نموده است. عنوان رساله دکتری ایشان "توسعه روش‌های نوین گندزدایی در حذف هورمون‌های استروژنی طبیعی و مصنوعی از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و مقایسه آن با روش‌های متداول" است. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان کاربرد روش‌های نوین در حذف آلاینده‌های نوظهور و کاربرد فرایندهای جذب سطحی و اکسیداسیون پیشرفته در تصفیه آلاینده‌های زیست‌محیطی است. ایشان سابقه ۲۲ سال تدریس دروس تخصصی آب و فاضلاب از جمله شیمی و میکروبیولوژی محیط، مدیریت توسعه منابع آب، مدیریت کیفیت منابع آب و ... را داشته و هم‌چنین نویسنده اول و مسئول ۱۷ مقاله ISI و مجری ۱۰ طرح تحقیقاتی و مترجم دو کتاب از وناسیون و تصفیه فاضلاب صنعتی نیز هستند.	
افشین ملکی، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی کردستان دکتر افشین ملکی در حال حاضر به عنوان استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران مشغول به کار است. وی دکترای خود را در رشته مهندسی بهداشت محیط در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه علوم پزشکی تهران دریافت کرد. وی از سال ۱۳۷۵ به عنوان عضو هیئت علمی و هم‌چنین رئیس دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کردستان ایفای وظیفه نموده است. دکتر افشین ملکی در طی چندین دوره به عنوان پژوهشگر برتر و استاد نمونه دانشگاه علوم پزشکی کردستان انتخاب شده است. وی بیشتر از ۴۰ پایان‌نامه کارشناسی ارشد و ۱۰ پایان‌نامه دکترای تخصصی را راهنمایی کرده است. هم‌چنین پروژه‌های تحقیقاتی متعددی را در حیطه مهندسی بهداشت محیط و در موضوعات مهندسی آب و فاضلاب و کنترل آلودگی انجام داده است. حوزه تحقیقاتی مورد علاقه او بر کنترل و نظارت بر آلودگی محیط زیست، تصفیه فاضلاب، نانو تکنولوژی در کاربردهای زیست‌محیطی متمرکز است. وی بیش از ۲۰۰ مقاله پژوهشی در مجلات بین‌المللی و ۵۰ مقاله در کنفرانس‌های بین‌المللی منتشر کرده است. در حال حاضر ایشان معاون تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی کردستان و سردبیر مجله Journal of Advances in Environmental Health Research هستند.	
دکتر سلمان پوراسماعیل، نماینده انجمن در دانشگاه بجنورد دکتر سلمان پوراسماعیل، دکتری مهندس عمران گرایش آب و عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه بجنورد هستند. ایشان در سال ۱۳۹۳ از پایان‌نامه مقطع دکتری خود با عنوان "مشخصات جریان در آبگیرهای کفی با محیط متخلخل" در دانشگاه فردوسی مشهد دفاع و سایر مقاطع تحصیلی کارشناسی و کارشناسی ارشد را نیز در همین دانشگاه سپری کرده‌اند. فعالیت‌های تحقیقاتی ایشان در زمینه‌های هیدرولیک جریان در مجاری آبرو و فاضلاب و زمینه‌های مرتبط با کنترل پایداری و رفتار سنجی در سازه‌های هیدرولیکی، علاوه بر مقالات علمی و پژوهشی منجر به عقد ۱۳ قرارداد پژوهشی از جمله با شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای در استان‌های خراسان شمالی و رضوی شده است. عضویت در کمیته‌های تحقیقاتی و همکاری در بررسی و تصویب مطالعات طرح‌های مختلف اجرایی در نهادهای تخصصی مذکور، از دیگر اقدامات ایشان در جهت ایجاد ارتباط بین نهاد دانشگاه و صنعت بوده است. علاوه بر این سال‌ها حضور در شرکت‌های مهندسی مشاور به عنوان مدیر بخش‌های آبیاری و زهکشی و سدسازی و انجام پروژه‌های مختلف مطالعاتی از دیگر فعالیت‌های تخصصی ایشان در حوزه کارهای اجرایی است که در این میان می‌توان به طراحی شبکه ابزار دقیق و انجام مطالعات رفتار سنجی سدهای تبارک‌آباد، شهید یعقوبی، قره‌تیکان، چهچهه، سنگرد، سراب، شیرین دره، بیدواز، بارزو، فرخی و بار اشاره کرد.	

شرکت بهینه طراحی پرشیا (POD) شرکت بهینه طراحی پرشیا (POD) یک شرکت مهندسی مستقل و خصوصی با تجربه جهانی است. این شرکت دارای تجربه ۱۵ ساله در ارائه خدمات مختلف در زمینه آب و فاضلاب در بخش دولتی و خصوصی است. POD در زمینه مشاوره، طراحی و مهندسی، مدیریت پروژه و توسعه نرم افزار فعالیت می کند. شرکت بهینه طراحی پرشیا با تمرکز بر مسائل مربوط به آب، محیط زیست، زیرساخت ها، مدیریت منابع و انرژی، خدمات توسعه بین المللی، خدمات مشاوره و مهندسی را در سراسر جهان ارائه می دهد. این شرکت دانش، صنعت و مهارت های خلاقانه حل مسئله را برای کمک به برنامه ریزی، طراحی و مدیریت پروژه های آب و فاضلاب ارائه می دهد. شرکت بهینه طراحی پرشیا همچنین نرم افزارهای مهندسی مختلف را برای انجام بهینه سازی، مدل سازی، تحلیل دقیق، ترسیم و تهیه گزارش ها توسعه داده است.	
شرکت مهندسین مشاور ساز آب اندیش شرکت مهندسین مشاور ساز آب اندیش با تخصص مطالعات و نظارت بر پروژه ها در حوزه تاسیسات آب و فاضلاب، نقشه برداری و آبیاری زهکشی با محوریت ارائه خدمات با کیفیت در صنعت آب متعهد به رعایت الزامات مشتریان مطابق با آیین نامه ها، استانداردها و موازین حقوقی بوده و برای افزایش رضایت مندی مشتریان تلاش می نماید. همچنین با برگزاری دوره های آموزشی منظم و به روز نمودن اطلاعات کارکنان کلیدی خود برای افزایش دانش شرکت و کیفیت پروژه های محوله با جدیدترین روش های فناوری نوین دنیا در حرکت می باشد. در راستای دستیابی به اهداف فوق با تکیه بر توان تخصصی کارکنان شرکت متعهد به حفظ اثر بخشی و کارایی سیستم مدیریت کیفیت بر مبنای استانداردهایی همچون ISO ۹۰۰۱:۲۰۰۸ نموده و در جهت خواسته های کارفرمایان و ذینفعان پروژه ها با تأکید بر تعهدات به موقع شرکت در چارچوب قراردادهای منعقد، سعی در بهبود سطح کیفی فعالیت ها و عملیاتی کردن سیستم مدیریتی نوین می نماید.	
مهندسین مشاور آینده میترا شرکت مهندسین مشاور آینده میترا پروژه های ساختمانی مختلفی شامل ساختمان های تجاری و مسکونی و ساختمان های صنعتی و خاص و همچنین پروژه های پل و راه را در نقاط مختلف ایران طراحی و اجرا نموده است. این شرکت علاوه بر ایران در سایر کشورها نظیر قطر، عمان، لهستان و یونان نیز پروژه های مختلف ساختمانی را طراحی و اجرا کرده است.	

ردیف	رویداد	موضوع (ارائه دهنده)	لینک آپارات
۱	وبینارهای تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب (دکتر عبدالله رشیدی)	https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845
		راه کارهای بهبود کیفیت پساب برکه‌های تثبیت فاضلاب (دکتر حسین ساسانی)	https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=28327448
		مروری بر ظرفیت‌های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه آب کشور (دکتر مجتبی شفیع)	https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530
		نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237
		مدیریت شورابه‌های ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی با تاکید بر فناوری‌های ZLD (دکتر عباس اکبرزاده)	https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968
		چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب (دکتر مسعود یونسین، مهندس سلیمه رضایی‌نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673
		ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری قابلیت‌ها و محدودیت‌ها (دکتر کوروش بهزادیان)	https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803
		سواد آبی در جوامع شهری (دکتر شروین جمشیدی)	https://www.aparat.com/v/FPtCY?playlist=34242002
		تأثیرات شرایط اقلیمی بر روی ظرفیت شبکه‌ها و شکست (دکتر احسان روشنی)	https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047
		ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA) (مهندس هانیه صفرپور)	https://www.aparat.com/v/W8PJ?playlist=35547113
		کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب (دکتر سیدحسین سجادی فر)	https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652
		توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با رویکرد تمرکززدایی (دکتر علی حقیقی)	https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753
		نقشه‌راه برای ارتقای شبکه‌های آبرسانی موجود به هوشمند (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090
		مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب (دکتر مسعود تابش)	https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690
		آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط‌زیست و بهداشت محیط (دکتر رحیم عالی)	https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474
		بررسی ۲۵۰۰۰ مقاله محیط‌زیست برای یافتن داغترین موضوعات تحقیقاتی (دکتر علیرضا بازارگان)	https://www.aparat.com/v/hwC9l?playlist=39248099
		توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور لحاظ دریاچه‌ها و مخازن (دکتر شروان قراری)	https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537
		مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در ژاپن (دکتر یحیی محزون)	https://www.aparat.com/v/epxDt
		سیستم‌های آبی پایدار و تاب‌آور (دکتر راضیه فرمانی)	https://www.aparat.com/v/EaeTg
		ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های توزیع آب (دکتر سعید هاشمی)	https://www.aparat.com/v/3sxtT?playlist=737673
		بازچرخانی و مدیریت کیفی زهاب‌های کشاورزی (دکتر بهمن یارقلی)	https://www.aparat.com/v/Fcvyw?playlist=737673
		مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب شهری (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)	https://www.aparat.com/v/IFHhK?playlist=737673
		طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)	https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673

https://apararat.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/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/o1gel?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/BFhCa?playlist=879646	رویکردهای برنامه‌ایمنی 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 کم‌آبی		
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		
h https://www.aparat.com/v/xyr2O	نشست تخصصی نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی رویکردهای برنامه‌ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نشست تخصصی نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
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		
در حال برگزاری		اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۵)	۳
https://www.aparat.com/playlist/1622857		اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	۴

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/playlist/1305526
دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۳۹۸)	۶	https://www.aparat.com/v/SHiuG?playlist=943170
سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	۷	https://www.aparat.com/v/V7BNT?playlist=878354
اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۴۰۰)	۸	مراسم افتتاحیه کلینیک صنعت- محور شبکه‌های توزیع آب و کاهش هدررفت کلینیک صنعت- محور بازیافت آب کلینیک صنعت- محور کیفیت آب نشست تخصصی نمک‌زدایی آبهای شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور نشست تخصصی رویکردهای برنامه ایمنی آب نشست تخصصی نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب مراسم اختتامیه
چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱)	۹	مراسم افتتاحیه کلینیک صنعت- محور کیفیت آب کلینیک صنعت- محور شبکه‌های توزیع و هدررفت آب کلینیک صنعت- محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز مراسم اختتامیه پیام آقای مهندس محمودیان کارگاه ایمنی آب

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکنندگان	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
بیست و یکمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران	انجمن هیدرولیک، دانشگاه شهید چمران اهواز	دانشگاه اهواز	۱۸ و ۱۹ بهمن‌ماه ۱۴۰۱	http://www.13ncce.ir/
هفدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران با محوریت آب‌خیزداری و امنیت پایدار غذایی	انجمن آب‌خیزداری ایران، دانشگاه جیرفت	جیرفت	۹ و ۱۰ اسفندماه ۱۴۰۱	https://wms1401.ujiroft.ac.ir/Home/Content?id=1

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
13th IWA International Conference On Water Reclamation and Reuse	Chennai, India	15 – 19 January 2023	http://iwareuse2023.com/
8th IWA Water Resource Recovery Modelling Seminar	Stellenbosch, South Africa	18 – 22 January 2023	https://www.iwawrrmod2022.co.za/
Caribbean Regional Conference – Water Loss 2023	Port of Spain, Trinidad And Tobago	21 – 23 March 2023	https://mpu.gov.tt/crwlc2023/
4th International Symposium on Outfall Systems	Buenos Aires, Argentina	27 – 29 March 2023	https://www.cofes.org.ar/isos2023/
WEF/IWA Residuals and Biosolids Conference 2023	Charlotte, USA	16 – 19 May 2023	https://www.wef.org/ResidualsBiosolids
2023 World Environmental & Water Resources Congress	Henderson, Nevada, USA	21 – 24 May 2023	https://www.ewricongress.org/
LET2023 – The 18th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies	Daegu, South Korea	28 May – 2 June 2023	http://iwa-let.org/
21st International Symposium on Health-Related Water Microbiology	Darwin, Australia	4 – 9 June 2023	https://hrwm-watermicro.com/
WEF/IWA Innovations in Process Engineering: Sustainable Water Resource Recovery	Portland, Oregon, USA	6 – 9 June 2023	https://www.wef.org/processengineering
6th IWA International Conference on Eco-Technologies for Wastewater Treatment	Girona, Spain	26 – 29 June 2023	https://www.ecostp2023.org/index.php
The 10th International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	St. Louis, Missouri, USA	23 – 26 July 2023	https://mtc2023.wustl.edu/
10th IWA Microbial Ecology and Water Engineering Specialist Conference	Brisbane, Australia	10 – 14 September 2023	http://www.mewe23.com/
11th IWA Efficient Urban Water Management Conference 2023	Bordeaux, France	13 – 15 September 2023	https://efficient2023.org/
IWA Aspire Conference & Exhibition 2023	Kaohsiung, Chinese Taipei	22 – 26 October 2023	https://www.iwaaspire2023.org/
IWA Regional Conference on Water Reuse in Water Scarce Countries	Antalya, Turkey	29 October – 2 November 2023	https://iwa-network.org/events/iwa-regional-conference-on-water-reuse-in-water-scarce-countries/
5th IWA Resource Recovery Conference	Shenzhen, China	1 – 4 November 2023	http://www.iwar2023.com/
8th International Water Association Specialist Conference on Natural Organic Matter (NOM8) and the IWA Particle Separation Conference	Boksburg, South Africa	3 – 8 December 2023	https://iwa-network.org/events/8th-international-water-association-specialist-conference-on-natural-organic-matter-nom8-and-the-iwa-particle-separation-conference/



سومین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۱

یادواره

مهندس جلال آشفته

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

- ❖ گزینه اول: طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های آب، فاضلاب و آب سطحی
- ❖ گزینه دوم: فرایندهای تصفیه، طراحی و بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

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

✚ برای اطلاع از آخرین تغییرات آیین‌نامه برگزاری المپیاد به سایت انجمن مراجعه فرمایید.

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

آخرین مهلت ثبت نام: **۲۰ بهمن ماه**

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۲۷ بهمن ماه ۱۴۰۱

مرحله دوم: به صورت تشریحی
(متعاقباً اعلام می‌شود)

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۷۵ هزار تومان

سایرین: ۱۰۰ هزار تومان



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

علاقه‌مندان می‌توانند 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 ۱۴۰۱

چهارمین 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

برای دریافت فرمت مربوطه و فرم مشخصات به سایت انجمن به

نشانی irwwa.ir مراجعه کرده و پس از تکمیل به ایمیل

iwwa.competitions@gmail.com

ارسال گردد.

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به وبسایت انجمن آب و

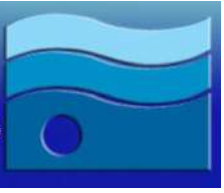
فاضلاب ایران مراجعه کنید و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایید.



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

	 گروه مینا شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا	
 HANYCO وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	 آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir	 شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان
 AZAR SIMAB Private Joint Stock Co.	 بنیاد برکت شماره اجرایی فرمان حضرت امام (ره)	 RADAB مهندسی برق و الکترونیک
 ABSUN ZOLAL SUSTAINABLE & CREATIVE SOLUTIONS	 مهندسين مشاور آبـرـان	 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب شیراز
 شرکت آب و فاضلاب استان یزد Yazd Water and Wastewater Co. www.AbfaYazd.ir	 MARAM مدیریت راهبردی ابنیه مهندسی (مرام)	 شرکت آب و فاضلاب استان قزوین
 مهندس مشاور پارس آبی آب	 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب شیراز	 شرکت آب و فاضلاب شیراز
 وزارت نیرو شرکت مدیریت منابع آب ایران شرکت سهامی آب منطقه ای فارس	 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب جنوب غربی استان تهران	 شرکت آب و فاضلاب شیراز
 شرکت آب و فاضلاب استان تهران Tehran Province Water & Wastewater	 فراسان	 مهندسين مشاور پارس فراز سبز اصفهان ۳۵۱۳۵
 مهندس مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	 تصفیه پیشرفته پارس Pars Advanced Treatment	 بنیاد علمی آموزشی فاجی
 شرکت پلیمر آریا ساسول ARYA SASOL POLYMER COMPANY سپاهان کاش	 بنیاد فنی مهندسی مصلی نژاد	 سازمان انرژی اتمی ایران

		 شرکت پتروشیمی غدیر Ghadeer Petrochemical Company (Private Joint Stock)
	 شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲ Water and Wastewater Company District 2 of Tehran	 فومن شیمی
		
		 مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		

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 گزینه عضویت را انتخاب نموده و با تکمیل فرم عضویت حقیقی، عضویت خود را در انجمن تکمیل نمایند. مراحل پرداخت حق عضویت و اعطای کارت پس از ارسال ایمیل تأییدیه از سوی انجمن، شروع خواهد شد.

حق عضویت اعضای حقیقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ (به ازای هر سال)	۶۰۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۴۰۱ - ۱۴۰۲)	۱۸۰۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۱ - ۱۴۰۴)	۳۲۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۱ - ۱۴۰۲)	۱۳۰۰۰۰۰
عضویت دائمی	۱۰۰۰۰۰۰۰

حق عضویت اعضای حقوقی

نوع شرکت	حق عضویت سالانه (ریال)
کوچک	۷۰۰۰۰۰۰
متوسط	۱۳۰۰۰۰۰۰
بزرگ	۲۰۰۰۰۰۰۰

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۲۵۰۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۲۵۰۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۵۰۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۸۰۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبا: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

بانک تجارت شعبه دانشگاه (کد ۱۸۶) به نام انجمن آب و فاضلاب ایران
لطفا اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن (info@irwwa.ir) ارسال فرمایید.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

مزایای عضویت					عضویت حقیقی			عضویت حقوقی (شرکت‌ها)		
					پایه	وابسته	کوچک	متوسط	بزرگ	
تخفیف شرکت در کنفرانس‌های انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن					-	-	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن					-	-	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	
تخفیف خرید مقاله از مجلات انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف خرید انتشارات انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
امکان صدور معرفی‌نامه عضویت در انجمن					*	*	*	*	*	
اطلاع‌رسانی و امکان حضور در نشست‌ها، گردهمایی‌ها و کارگاه‌های انجمن					*	*	*	*	*	
دسترسی به اطلاعات سایت انجمن					*	*	*	*	*	دسترسی به مقالات بارگذاری شده در سایت
					*	*	*	*	*	دسترسی به آموزش‌های بارگذاری شده در سایت

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

❖ 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 رایج مؤسسه است (نام رسمی مندرج در سربرگ رسمی مؤسسات،

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 به‌هیچ عنوان 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

❖ 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 تک ستونی 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 قدردانی 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:

نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت (نویسنده، سال) عمل می‌شود و در انتهای مقاله مرجع‌نویسی به صورت الفبایی است. 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. 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 می‌شود. در متن مقاله نیز 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.

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

❖ 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 نویسند:

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:

با توجه به افزایش شدید هزینه‌های پردازش و انتشار نشریه در سال‌های اخیر، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۱ به مجله ارسال می شود باید مبلغ یک میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ سه میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۶۲۵۶-۰۰۱۲-۸۳۷۰-۵۸۵۹ به نام انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) واریز و فیش آن را به همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 7, No. 3, Autumn 2022

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: Safavi, H.R. (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.): Associate 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
Talebbeydokhti, 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:

Ghane, A.A. (M.Sc.): Advisor of Managing Director, Iran National Water and Wastewater Engineering Company
Ghannadi, M. (M.Sc.): Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water and Wastewater Engineering Company
Honari, H. (M.Sc.): Retired Faculty Member, Tehran University of Medical Science
Tabatabaei, A. (M.Sc.): Director General of Operational Supervising Office, Iran Water and Wastewater Engineering Company

Editorial Staff:
Graphic Designer:
Page Setting:
English Editor:
Publisher:
No. of Prints:
Address:
Tel:
Fax:
Print ISSN:
Online ISSN:
E-Mail:
Print:

Akhtari, N.
Shahangian, S.A.
Akhtari, N.
Ostadrahimi, A.
Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
500
No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran
+98 21 88956097
+98 21 88391390
2588-3941
2588-396X
info@jwwse.ir
Farshiveh



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 7, No. 3, Autumn 2022

Preface	2
<u>Papers</u>	
Using Multi-Criteria Decision Making Methods in Selecting the Appropriate Location of a Wastewater Treatment Plant, Case Study: Farouj City Wastewater Treatment Plant Seyyed Amir Saeedi, Farhad Khamchin Moghaddam and Seyyed Naser Bashi Azghadi	5
Investigating the Effects of Management Scenarios Against Climate Change on River-Aquifer Interaction, Case Study: Lenjanat Sub-Basin Mohammad Alizadeh, Mohammad Hossein Gol Mohammadi and Hamid Reza Safavi	16
Developing a Model of Estimating the Failure Rate for Main Urban Water Pipes Using Gene Expression Programming Seyed Azim Hosseini and Hossein Maleki Toulabi	28
Investigation of Effective Parameters in the Combined System of Microstrainer and Ozonation in the Removal of Algae from Raw Water Mohsen Sattari and Daryoush Yousefi Kebria	44
Numerical Study of Input of Primary Settling Tanks in Circular Wastewater Treatment Plants with Flow-3D Ramtin Sobhkhiz Foumani, Alireza Mardookhpour and Sadegh Hosseini	53
Evaluation of Submerged Membrane Bioreactor (SMBR) in Municipal and Textile Wastewater Treatment of Shahinshahr, Isfahan Farzad Hashemzadeh and Abbas Akbarzadeh	72
<u>General Section</u>	
Interview	85
Round-Table	90
Best Thesis	106
Book Presentation	108
Congress Report	110
IWWA News	122