ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

پیشگفتار (معرفی پروژه تهیه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران) ۲
دکتر مسعود تابش

مقالات علمی

شناسایی و بررسی عوامل موثر بر مصرف آب خانگی با رویکرد ترکیب Delfi، Dematel و Topsis فازی ۴
حبیب‌الله داداشی دیوکلایی، علی ثریایی و سیدعلی نبوی چاشمی

پیش‌بینی آب مصرفی روزانه شهری و بهینه‌سازی ساعات کارکرد پمپ‌های ایستگاه پمپاژ، مطالعه موردی: نجف‌آباد ۱۷
سید پدرام جزائری فارسانی، حمیدرضا صفوی، محمدرضا ناظمی‌زاده، محمدصالح ابراهیمی و علیرضا رحمت‌پناه

بهینه‌سازی شرایط رنگ‌زدایی رنگ Reactive Red 194 از پساب سنتتیک توسط کپک بومی "Trametes species" ۲۹
فاطمه علی‌محمدی، زهرا قبادی‌نژاد و سید مهدی برقعی

تاثیر میدان الکتریکی پالسی (PEF) در غیرفعال‌نمودن عوامل بیولوژیکی در فرآیند تصفیه پساب تصفیه‌خانه‌های متداول آب ۴۲
نوشین اصول‌دینی، محمد علی و محمد عبدالله‌زاده

کاربرد نانو سیم‌های مس برای حذف متیل اورانژ از پساب سنتزی با استفاده از امواج فراصوت: متدولوژی سطح-پاسخ ۵۱
سعید خدادوست، مهری عبادی و فاطمه زراعت‌پیشه

کنترل هدایت الکتریکی آب با تغییر طراحی راکتور پلاسمایی ۶۲
فاطمه بهارلونژاد، محمدعلی محمدی، ترگل نقیب‌زاده و محمدصادق ذاکرحمیدی

مطالب عمومی

میزگرد (نشست تخصصی راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی) ۶۸
معرفی کتاب ۷۷
پایان‌نامه برتر ۷۸
اخبار انجمن ۸۰

www.jwwse.ir

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳
انجمن آب و فاضلاب ایران

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

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

صاحب امتیاز انجمن آب و فاضلاب ایران

مدیر مسئول دکتر مسعود تابش

سردبیر دکتر علی حقیقی

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 محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی

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

دکتر دراگان ساویچ: استاد دانشگاه اگزتر، لندن

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

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

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

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

دکتر راضیه فرمانی: دانشیار دانشگاه اگزتر، انگستان

دکتر اورازیو گیوستولیسی: استاد دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

شورای سیاستگذاری صنعت آب و فاضلاب

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

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

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

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

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

کارشناس اجرایی: ناهید اختری

طراح و صفحه آرا: ناهید اختری، دکتر سید احمدرضا شاهنگیان

ناشر: انجمن آب و فاضلاب ایران

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

تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

نمابر: ۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

شاپا چاپی: 2588-3941

شاپا الکترونیکی: 2588-396X

ایمیل: info@jwwse.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار (معرفی پروژه تهیه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران) **۲**
دکتر مسعود تابش

مقالات علمی

شناسایی و بررسی عوامل موثر بر مصرف آب خانگی با رویکرد ترکیب Delfi، Dematel و Topsis فازی **۴**
حبیب‌الله داداشی دیوکلایی، علی ثریایی و سیدعلی نبوی چاشمی

پیش‌بینی آب مصرفی روزانه شهری و بهینه‌سازی ساعات کارکرد پمپ‌های ایستگاه پمپاژ، مطالعه موردی: نجف‌آباد **۱۷**
سید پدرام جزائری فارسانی، حمیدرضا صفوی، محمدرضا ناظمی‌زاده، محمدصالح ابراهیمی و علیرضا رحمت‌پناه

بهینه‌سازی شرایط رنگ‌زدایی رنگ Reactive Red 194 از پساب سنتتیک توسط کپک بومی "*Trametes species*" **۲۹**
فاطمه علی‌محمدی، زهرا قبادی‌نژاد و سید مهدی برقعی

تاثیر میدان الکتریکی پالسی (PEF) در غیرفعال‌نمودن عوامل بیولوژیکی در فرآیند تصفیه پساب تصفیه‌خانه‌های متداول آب **۴۲**
نوشین اصول‌دینی، محمد علی و محمد عبدالله‌زاده

کاربرد نانو سیم‌های مس برای حذف متیل اورانژ از پساب سنتزی با استفاده از امواج فراصوت: متدولوژی سطح-پاسخ **۵۱**
سعید خدادوست، مهری عبادی و فاطمه زراعت‌پیشه

کنترل هدایت الکتریکی آب با تغییر طراحی راکتور پلاسمایی **۶۲**
فاطمه بهارلونژاد، محمدعلی محمدی، ترگل نقیب‌زاده و محمدصادق ذاکرحمیدی

مطالب عمومی

میزگرد (نشست تخصصی راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی) **۶۸**
معرفی کتاب **۷۷**
پایان‌نامه برتر **۷۸**
اخبار انجمن **۸۰**

معرفی پروژه تهیه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش
استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی دانشگاه تهران و رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران

برطبق مفاد اساسنامه انجمن‌های علمی، انجمن آب و فاضلاب ایران از بدو تاسیس، هر سال نسبت به شناسایی و معرفی پیشکسوتان دانشگاه و صنعت اقدام کرده است. تاکنون ۱۶ نفر از خبرگان و پیشکسوتان دانشگاه و صنعت در طی مراسمی که هم‌زمان با همایش‌های سالانه انجمن برگزار شده است تکریم و تجلیل شده‌اند. همچنین در خبرنامه ماهانه و فصلنامه انجمن (علوم و مهندسی آب و فاضلاب) نیز صفحه مستقلی به مصاحبه با پیشکسوتان اختصاص یافت. در اجرای این روند متوجه شدیم که با توجه به تعداد زیاد پیشکسوتان و محدودیت‌های انتخاب و معرفی آن‌ها در هرسال و هم‌چنین موانعی که کهولت سن برای تعدادی از این عزیزان ایجاد کرده که بعضا مانع از دسترسی به این عزیزان یا یادآوری جزئیات گذشته می‌شد، هیئت مدیره انجمن را به فکر واداشت که راه‌کارهای مکملی در این زمینه بیندیشد.

از سوی دیگر ارتباطات و مراودات انجمن با مدیران صنعت آبفا، اساتید و محققین دانشگاهی و صاحبان صنایع، مشاورین و پیمانکاران محترم که سه ضلع و رکن اساسی مرتبط با حوزه آب و فاضلاب هستند نشان داد که هریک از این اضلاع علی‌رغم توفیقاتی که در رشد و اعتلای صنعت آب و فاضلاب کشور داشته‌اند دارای موانع، محدودیت‌ها و یا خطاهایی نیز در طول زمان بوده‌اند که لزوم مستندسازی این تجربیات، تقویت نقاط قوت و آسیب‌شناسی و درس‌آموزی از اشتباهات و خطاها را ضروری می نمود.

برای انجام این طرح و تعیین روش اجرای آن، پس از تصویب موضوع در جلسه ۸۲ هیئت مدیره انجمن مورخ ۱۴۰۲/۹/۲۹، اتاق فکری تشکیل شد تا جزئیات طرح را مشخص کنند. اعضای اولیه اتاق فکر شامل سه نفر از هیئت مدیره (آقایان مهندس قانع، دکتر نایب و این‌جانب) و سه نفر از پیشکسوتان آب و فاضلاب (آقایان خلیلی پیر، مهدی میدانی و خسرو رفیعی) بودند. اعضای اتاق فکر در جلسات متعددی که در طول زمستان ۱۴۰۲ و بهار ۱۴۰۳ برگزار شد بررسی‌های همه جانبه‌ای انجام دادند. از جمله بررسی طرح‌های مختلفی که با عنوان تاریخ شفاهی در حوزه‌های گوناگون در سال‌های گذشته در سطح کشور انجام شده است در دستور کار قرارگرفت و ویژگی‌های هریک مشخص‌شد. از مهم‌ترین نمونه‌های تاریخ شفاهی می‌توان به پروژه تاریخ شفاهی هاروارد و تاریخ شفاهی ایران اشاره نمود. در این نمونه‌ها مصاحبه‌شوندگان علاوه‌بر ذکر خاطرات خود، به بیان نقاط قوت و ضعف عملکرد خود و یا وقایعی که به نوعی در آن مشارکت یا دخالت داشته‌اند نیز پرداخته‌اند. طبق پیگیری‌های انجام‌شده متوجه شدیم خوشبختانه شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان با انتشار یک جلد کتاب در سال ۱۴۰۱ در رابطه با تاریخ آب و فاضلاب شهر اصفهان کار در این زمینه را شروع کرده است. هم‌چنین شرکت آب و فاضلاب استان تهران نیز با تهیه یک مجموعه فیلم مستند ۷ قسمتی در رابطه با تاریخ آب تهران و برنامه‌ریزی برای تهیه فیلم مستند تاریخ فاضلاب تهران در این زمینه پیشگام بوده‌اند.

در ادامه لیستی از پیشکسوتان صنعت آب و فاضلاب که در تدوین و تصویب طرح تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب، راه‌اندازی شرکت‌های استانی و شکل‌گیری و شروع فعالیت آن‌ها و همچنین روند طی شده در ۳۵ سال اخیر مشارکت داشته‌اند تهیه شد. علاوه‌بر این اساتید پیشکسوت دانشگاه که بسترسازی علمی برای تربیت نیروی انسانی مورد نیاز و ترویج و توسعه علوم و تحقیقات موردنیاز این صنعت فعالیت کرده‌اند نیز شناسایی شدند. افزون بر این‌ها، با توجه به نقش و جایگاه مشاورین، پیمانکاران و سازندگان تجهیزات مورد نیاز این صنعت، لیستی از افراد موثر در این حوزه نیز تهیه شد.

پس از تهیه لیست افراد منتخب که مقرر شد براساس اولویت سنی تماس و مصاحبه با آنان انجام شود، تهیه امکانات مالی و لجستیکی موردنیاز در دستور کار قرارگرفت. در همین رابطه جلسه‌ای با آقای دکتر امینی مدیرعامل محترم شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در اسفندماه ۱۴۰۲ برگزار و مقرر شد روابط عمومی آب و فاضلاب استان تهران در پشتیبانی و تدارکات این

پروژه با انجمن آب و فاضلاب ایران همکاری نمایند. خوشبختانه با حسن‌نظر، استقبال و پشتیبانی جناب آقای بخشی مدیر محترم روابط‌عمومی آبفای استان تهران و همچنین موافقت آقای مهندس مصرزاده مدیرعامل محترم شرکت فاضلاب تهران برای تامین مالی فاز اول پروژه و همکاری آقای جابری مدیرمحترم روابط‌عمومی شرکت فاضلاب تهران، مقدمات لازم برای شروع پروژه فراهم شد.

پس از تهیه مقدمات و ملزومات کار، علاوه‌بر این‌که هیئت مدیره محترم انجمن به‌صورت مستمر در جریان امور قرارگرفته و توصیه‌های لازم را انجام می‌داد، در اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ نیز جلسه اتاق فکر با آقای دکتر منوچهری بنیانگذار و اولین مدیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور برای کسب نظرات ایشان تشکیل شد. در این جلسه آقای دکتر منوچهری با توجه به اشرافی که در رابطه با شرکت‌های آب و فاضلاب داشتند دیدگاه‌ها و نقطه‌نظرات خود را برای چگونگی انجام پروژه اعلام نمودند.

سرانجام بعد از حدود ۶ ماه تلاش، روند اجرای پروژه از خرداد ۱۴۰۳ شروع شد. در ابتدا با کارگردان تلویزیونی طرح (آقای مصطفوی) که قبلا نیز در طرح‌های آب و فاضلاب استان تهران مشارکت داشتند مشورت‌های لازم برای نحوه انجام مصاحبه‌ها و برداشتهای تصویری با سه دوربین در اختیار، انجام شد. در عین این‌که روند تماس با افراد، جلب موافقت آن‌ها برای حضور در مصاحبه، تعیین وقت مشترک، مطالعه سوابق و تهیه سوالات لازم، زمان زیادی را به خود اختصاص می داد، انجام مصاحبه ها نیز در جلسات چند ساعته (از ۲ تا ۴ ساعت) برنامه‌ریزی شد. در این روند تاکنون مصاحبه‌های زیر انجام شده است:

- وزرا و سرپرست سابق نیرو: آقایان مهندس بیطرف (۱ جلسه)، مهندس نامجو و مهندس چیت‌چیان (هریک ۲ جلسه)، مهندس محمودی (۶ جلسه)
- مدیر عامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور: مهندس شفیعی (۵ جلسه)
- معاونین اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور: مهندس قانع (۲ جلسه)، مهندس میرمقتدایی (۱ جلسه)
- افراد تاثیرگذار در تدوین قانون تشکیل شرکتهای آب و فاضلاب: مهندس معزالدین و مهندس زرکوب (هریک ۱ جلسه)
- دانشگاهیان: دکتر تجریشی (۱ جلسه)

نکته مهمی که لازم است به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مصاحبه‌های انجام شده مورد توجه قرارگیرد آن است که سعی شده است هر مصاحبه به صورت فردمحور انجام شود. به این معنی که ضمن آشنایی با زندگی‌نامه مختصر هر نفر، کلیه موارد مرتبط در طول زندگی او که مرتبط با بحث آب و فاضلاب بوده است مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرارگیرد. در ادامه پس از بیان جزئیات فعالیت‌های انجام شده و دستاوردهای فرد در حوزه آب و فاضلاب، نقاط ضعف و قوت فعالیت‌های او نیز مورد بحث قرارگیرد. هم‌چنین با توجه به تجارب طولانی‌مدت میهمان برنامه در طول ۳۰ تا ۴۰ سال فعالیت اجرایی خود، مباحث حکمرانی آب نیز مورد تجزیه و تحلیل قرارگیرد و دلایل عدم توفیق لازم در حوزه حکمرانی آب و بحران و چالش‌های شدید ایجاد شده در این زمینه نیز موشکافی شود.

براساس مصوبه هیئت مدیره انجمن مقرر شد برای انتشار فعالیت‌های انجام شده و گرفتن بازخورد مخاطبین، رونمایی از پروژه در پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران در روز سه‌شنبه ۶ آذرماه در دانشگاه اصفهان انجام شود. این مهم توسط این‌جانب در مراسم افتتاحیه کنگره انجام شد و کلیپی نیز در همین رابطه تهیه شد و به نمایش درآمد. در ادامه برای انتشار مصاحبه‌ها سه کانال در یوتیوب، آپارات و تلگرام ایجاد و مقرر شد پس از تدوین فیلم‌ها، هریک از مصاحبه‌های آماده شده در فواصل زمانی مشخص در این سه کانال منتشر شده و در دسترس مخاطبین محترم قرارگیرد. هم‌چنین پس از تدوین مصاحبه‌ها، کتاب جامع تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب در فاز دوم این پروژه منتشر خواهد شد.

لینک کانال آپارات:

https://www.aparat.com/OH_iwwa

لینک کانال یوتیوب:

www.youtube.com/@ohiwwa-l6d

لینک کانال تلگرام:

https://t.me/OH-iwwa

قابل‌ذکر است که پروژه تعریف شده برای اجرای کامل نیازمند صرف زمان چندین ساله و هم‌چنین تامین مالی مناسب هزینه‌های مرتبط خواهد بود. در همین راستا از کلیه علاقمندان و دست اندکاران صنعت آب و فاضلاب (به‌خصوص شرکت‌های آب و فاضلاب و صاحبان صنایع مرتبط) درخواست می‌شود برای حمایت مالی از پروژه به هر نحو ممکن پیش‌قدم شده و ما را در انجام این مهم یاری کنند.

در پایان بر خود لازم می دانم ضمن تشکر از کلیه همراهان این پروژه تا این لحظه، سپاس ویژه خود را از جناب آقای خلیلی‌پیر مدیر محترم اسبق روابط‌عمومی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور به‌واسطه تلاش‌های‌بی وقفه و دلسوزانه خود در همه مراحل کار ابراز نمایم.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، صفحات ۴-۱۶، پاییز ۱۴۰۳

Journal of Water and Wastewater
Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 3, PP. 4-16, Autumn 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2024.377884.1338

مقاله پژوهشی

شناسایی و بررسی عوامل موثر بر مصرف آب خانگی با رویکرد ترکیب Delfi، Dematel و Topsis فازی

حبیب‌الله داداشی دیوکلایی[۱]، علی ثریایی[۲*] و سیدعلی نبوی چاشمی[۳]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران.
۲- استادیارگروه مدیریت صنعتی، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران.
۳- دانشیار گروه مدیریت مالی، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: a.sorayaei@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در حال‌حاضر کمبود آب زندگی میلیاردها نفر از مردم سراسر جهان را تهدید می‌کند و با توجه به رشد جمعیت، رشد اقتصادی و تغییرات اقلیمی انتظار می‌رود این روند در آینده ادامه داشته و حادتر شود. از این‌رو، تمایل به مهار مصرف بی‌رویه آب از طریق شناسایی عوامل اصلی موثر بر رفتار مصرف‌کننده در مدیریت منابع آب آشامیدنی بسیار مهم شده است. با درک این ضرورت، هدف پژوهش حاضر شناسایی و بررسی روابط علی و معلولی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر الگوی مصرف آب در بخش خانگی است. در این راستا با بررسی ادبیات موضوع در حوزه آب و مصاحبه با خبرگان صنعت، عوامل موثر بر مصرف در معیارهای مختلف شناسایی و پایش شدند. از طریق روش دلفی فازی نسبت به بررسی عوامل اقدام و در نهایت ۷ معیار اصلی اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، فنی و مهندسی، قانونی و مدیریتی، مکانی و زمانی با ۲۶ زیرمعیار شناسایی شدند. سپس از طریق روش دیمتل فازی روابط علی و معلولی و ارزیابی و رتبه بندی این عوامل با استفاده از تکنیک تاپسیس فازی بررسی شد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق میزان آگاهی خانواده، استفاده از ادوات کاهنده آب، تبلیغات و آموزش، انگیزه مصرف، تعرفه و قیمت‌گذاری آب و استفاده از شیرآلات جدید رتبه اول تا ششم را داشتند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که از میان عوامل مختلف می‌توان با افزایش آگاهی‌های لازم به خانوارها در چگونگی نحوه مصرف آب و تغییر در شیوه الگوی مصرف، تاثیرگذاری بالایی در مدیریت مصرف آب داشت.

کلمات کلیدی: دلفی فازی، عوامل موثر بر مصرف آب، دیمتل فازی، تاپسیس فازی، مدیریت مصرف.

Research Paper

Identifying and Investigating the Factors Affecting Household Water Consumption with the Hybrid Approach of FDelfi, FDelphi and FTopsis

Habibollah Dadashi Divkolaei[1], Ali Sorayaei[2*] and Seyed Ali Nabavi Chashmi[3]

1- Ph.D. Candidate in Industrial Management, College of Humanities, Islamic Azad University, Babol Branch, Babol, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Management, College of Humanities, Islamic Azad University, Babol Branch, Babol, Iran.
3- Associate Professor, Department of Management, College of Humanities, Islamic Azad University, Babol Branch, Babol, Iran.
* Corresponding Author, Email: a.sorayaei@gmail.com

Received: 31/12/2022
Revised: 17/11/2023
Accepted: 26/12/2023
© IWWA

Abstract

Currently, the lack of water threatens the lives of billions of people around the world, and due to population growth, economic growth, and climate change, this trend is expected to continue and become more acute in the future. Therefore, the desire to curb excessive water consumption through identifying the main factors affecting consumer behavior has become very important in the management of drinking water resources. By understanding this necessity, the aim of the current research is to identify and investigate the causal relationships and prioritize the factors influencing the pattern of water consumption in the domestic sector. In this regard, by reviewing the literature in the field of water and interviewing industry experts, factors affecting consumption were identified and monitored in various criteria. Through the fuzzy Delphi method to investigate the action factors and finally 7 main economic, social, cultural, technical and engineering, legal and managerial, spatial and temporal criteria with 26 sub-criteria were identified. Then, through the fuzzy Dematel method, cause and effect relationships were investigated and these factors were evaluated and ranked using the fuzzy Topsis technique. The results obtained from the research on family awareness, use of water-reducing devices, advertising and education, consumption motivation, water tariff and pricing, and the use of new faucets ranked first to sixth. The findings of the research show that among various factors, it is possible to have a high impact on water consumption management by increasing the awareness of households on how to use water and changing the consumption pattern.

Keywords: Fuzzy Delphi, Factors affecting water consumption, Fuzzy dimethyl, Fuzzy TOPSIS, Consumption management.

۱- مقدمه

آب مهم‌ترین منبع طبیعی برای توسعه پایدار و کیفیت زندگی است. اما به طور نامساوی توزیع شده‌است. تقریبا یک پنجم جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که آب کمیاب است و یک چهارم از کمبود شدید آب رنج می‌برند (United Nations Development Programme, 2012). با پیشرفت در قرن بیست و یکم، مدیریت منابع آب یکی از بزرگترین چالش‌های جهانی خواهد بود، و با پیش‌بینی کمبود آب در آینده برای اهداف مصرف، نیاز به تجزیه و تحلیل اقتصادی فوری و عمیق در مورد این موضوعات وجود دارد. کسب وکارها، دولت‌ها و سیاست‌گذاران در سرتاسر جهان باید برای فراتر رفتن از یک رویکرد معمول کسب و کار با یکدیگر همکاری کنند تا نه تنها عرضه و بهره‌وری منابع آب فعلی را افزایش دهند، بلکه با تغییر شکل دادن به فعالیت‌های اقتصادی زیربنایی، سطح برداشت را نیز کاهش دهند (Jansen, 2012). اخیراً این نگرانی‌ها در کشورهای در حال توسعه افزایش یافته است و بحث‌های گسترده ای در مورد طراحی و اجرای سیاست‌های آب وجود داشته است (Katz, 2016). تغییرات آب و هوایی، خشکسالی‌های شدید، رشد جمعیت، افزایش تقاضا و مدیریت ضعیف در دهه‌های اخیر بر منابع کمیاب آب شیرین در سراسر جهان تاکید بیشتری داشته و منجر به کمبود شدید آب در بسیاری از مناطق شده است. (Salehi, 2022). با این‌حال، کمبود مطالعات در مورد مصرف آب خانگی در زمان برآورده شدن تقاضای آب خانگی یکی از اهداف اصلی مداخلات سیاستی مختلف و دستورالعمل‌ها و برنامه‌هایی در کاهش خشکسالی یا استراتژی‌های مدیریت آب خانگی است (Narmilan et al., 2021). پیش‌بینی تقاضای آب شرب خانگی و تعیین عوامل مؤثر در مصرف آب، در توسعه برنامه‌ریزی‌های مربوط به خانوارهای کشورهای اروپایی از اهمیت فراوانی برخوردار است (Downward and Taylor, 2007). با این‌حال، میزان استفاده از آب شهری به عوامل متعددی از جمله الگوها و عادات استفاده از آب توسط جمعیت و غیره بستگی دارد (Siddiqi and Anadon, 2011). تهامی‌پور (۱۳۹۶) اما آن‌چه که امروز روش برخورد با مسئله آب را از گذشته جدا می‌کند، عدم امکان افزایش استحصال منابع آبی است. از این‌رو برای کنترل و تعدیل بازار مصرف، راهی جز توجه به بخش تقاضا و مدیریت تقاضا وجود ندارد. به‌طور کلی رفتار با آب به‌عنوان کالایی اقتصادی برای تصمیم‌گیری درباره تخصیص آب میان بخش‌های مختلف به‌ویژه در شرایط کمیابی منابع آب، اهمیت اساسی دارد.

امروزه تاثیر استفاده از ادوات پیشرفته در مصرف آب قابل‌ملاحظه است. نتایج تحقیق Daminato (2021) در مطالعه تاثیر کنتورهای هوشمند بر مصرف آب مسکونی نشان داد که کنتور هوشمند می‌تواند با بهبود اطلاعات و ارائه بازخورد در مورد مصرف آب به خانوارها در تغییرات رفتاری و حفاظت از آب را ارتقا دهند. تحلیل آگاهی مصرف کنندگان از مصرف آب پایدار، با مفهوم رد پای آب[1] شاخصی برای نشان‌دادن روابط پنهان مصرف آب است. در تحقیق Gómez and Barros (2020) آگاهی اجتماعی در مورد مصرف آب را به‌عنوان ابزاری اساسی برای بهره‌وری آب و روش‌های تصمیم‌گیری متناسب با چالش‌های ناشی از کمبود آن تجزیه و تحلیل شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بالابردن آگاهی عمومی پیرامون استفاده مسئولانه از آب لازم و ضروری است و دانش اجتماعی امکان تنظیم مدیریت پایدار آب را فراهم می‌کند و مصرف آب با فعالیت‌های روزانه مرتبط است.

Dimkić (2020) در مطالعه خود تأثیر دما بر مصرف آب را از طریق بررسی عوامل اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی، جمعیتی، در دسترس بودن منابع آب، درآمد، قیمت‌گذاری آب، سیاست‌گذاری، زمان و عادات مردم انجام داد. این مطالعه نشان داد که همبستگی قوی بین دما، منابع در دسترس، سیاست‌گذاری، شرایط سیستم آبرسانی و عادات مردم بر مصرف آب نقش دارد.

Rondine and Sarmiento (2020) با بررسی مصرف آب بر روی الگوی مصرف و زیرساخت‌ها به این نتیجه رسیدند که مصرف آب به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های مسکونی قرار دارد. در این تحقیق الگوی مصرف شامل جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی و زیرساخت‌ها شامل نوع محل سکونت، فناوری وسایل موجود و مصرف مربوط به اتاق‌های (آشپزخانه، خشک‌شویی و سرویس بهداشتی) است. هم‌چنین عوامل خارجی شامل قیمت، آب و هوا و سیاست‌ها هم تاثیرگذار هستند. (Wardak and Yousef Abe (2019 تحلیل عوامل موثر بر مصرف آب در شهر جده را انجام دادند که شامل عوامل جمعیت، دما، رطوبت، نرخ تورم و تولید ناخالص داخلی سالانه بود. نتایج مطالعات مختلف حاکی از آن است که طیف وسیعی از متغیرهای اقتصادی اجتماعی و جمعیتی وجود دارند که بر میزان تقاضای آب تأثیرگذارند که ازجمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به بعد خانوار، سن افراد، تحصیلات، شغل و درآمد افراد اشاره کرد (Shove et al., 2005).

برخی دیگر از محققان از جمله وجود امور زیربنایی یا خدمات آبرسانی عام‌المنفعه را عواملی مؤثر در تقاضای آب دانسته‌اند. Garcia (2013) متغیرهای جمعیت شناختی موثر در مصرف آب

شامل بعد خانوار، میزان درآمد و تحصیلات، محل تولد و محل سکونت را مورد بررسی قرارداد. تابش و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، الگویی برای انتخاب مناسب‌ترین راهبرد مدیریت مصرف آب در شبکه‌های توزیع آب شهری ارائه دادند. آن‌ها با بهره‌گیری از نظرهای کارشناسان و متخصصین صنعت آب و فاضلاب، راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب را رتبه‌بندی نمودند. راهبردهای انتخاب شده در این تحقیق عبارت بودند از: فرهنگ‌سازی در بین مصرف‌کنندگان، اجرای برنامه‌های آموزشی و تبلیغاتی، کاهش آب بدون درآمد، افزایش آب‌بها و استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف. هم‌چنین معیارهایی مانند هزینه، زمان، رضایت مشترکین، میزان آب بدون درآمد و تأثیر اجرای طرح در کاهش مصرف آب برای وزن‌دهی و تعیین امتیاز راهبردها استفاده شدند. در نهایت راهبرد کاهش آب بدون درآمد به‌عنوان مناسب‌ترین راهبرد از دیدگاه تصمیم‌گیرندگان شناخته شد. این درحالی است که با توجه به بررسی تحقیقات گذشته بررسی جامعی برای شناسایی عوامل تاثیرگذار مشاهده نشده و عملا محققان تنها عوامل کلی را مورد بررسی قرار دادند. Garcia (2013) متغیرهای جمعیت شناختی، Daminato (2021) تاثیر کنتورهای هوشمند بر آب مصرفی، Gómez and Barros (2020) تجزیه و تحلیل آگاهی اجتماعی مردم و دانش اجتماعی در مصرف آب، Wardak and (2019) Yousef Abe عوامل جمعیت، دما، رطوبت، نرخ تورم و تولید ناخالص داخلی سالانه، Rondine and Sarmiento (2020) تاثیر الگوی مصرف و زیرساخت‌ها را بر روی مصرف آب بررسی کردند.

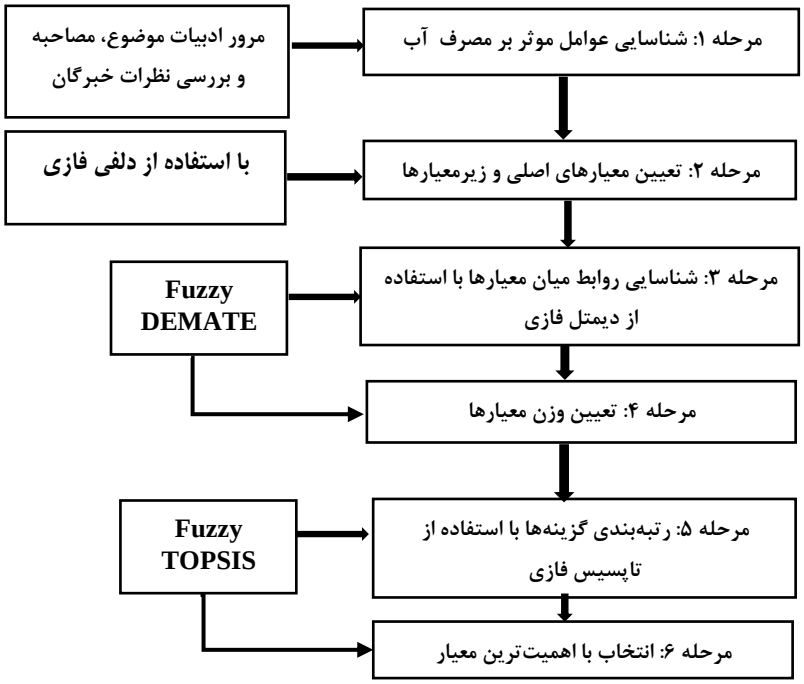
شرکت‌های آب و فاضلاب بر مبنای رسالت اصلی خود مسئول تامین آب سالم و دفع بهداشتی فاضلاب هستند. از این‌رو این شرکت‌ها همیشه با چالش‌های زیادی در مورد مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده صحیح از آب شرب موجود به‌ویژه مصرف آب خانگی روبرو هستند. تعدادی از عوامل وجود دارند که بر رفتار استفاده از آب تاثیر می‌گذارند و هم‌چنین عوامل مهمی هم هستند که به‌طور کامل بررسی نشده‌اند که ممکن است در توسعه استراتژی موثر تقاضا آب مفید باشند و می‌تواند گام‌های لازم برای کاهش مصرف آب خانگی را افزایش دهد (Jorgensen et al., 2009).

با توجه به بررسی پیشینه پژوهش و اهمیت موضوع مصرف آب، پژوهش قابل‌ملاحظه‌ای که به‌صورت جامع عوامل تاثیرگذار بر مصرف آب را مورد شناسایی و بررسی قرار دهد مشاهده نشده است. بر این اساس، با توجه به شرایط اقلیمی و اجتماعی در هر منطقه ضروری است تا عوامل موثر بر مصرف شناسایی و ارتباط میان آن‌ها بررسی شود. از این‌رو در این پژوهش با درک آن‌چه که در یک سطح از منطقه رخ می‌دهد نسبت به شناسایی و دسته‌بندی عوامل اصلی و تعیین زیرعامل‌ها اقدام شده و سپس از منطق فازی برای عدم قطعیت موجود در ارزیابی کیفی عوامل استفاده‌شده است. هم‌چنین برای رتبه‌بندی عوامل شناسایی‌شده، از روش تکنیک تاپسیس[۲] فازی با عدم‌قطعیت عناصر تصمیم استفاده شد تا عواملی که تاثیر مهمی در مصرف آب دارند مشخص شوند و با بهره‌گیری از آن برای مدیریت بهتر منابع آب اقدام شود.

۲- روش‌شناسی پژوهش

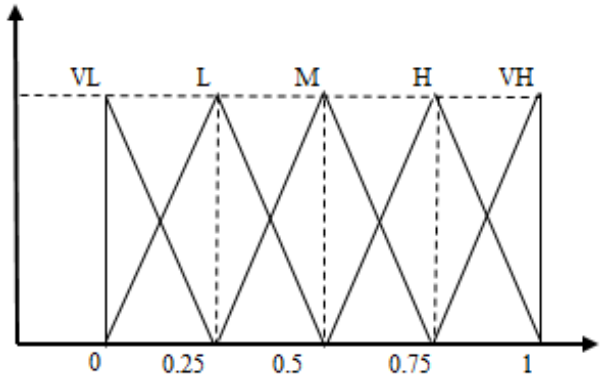
روش تحقیق در این پژوهش، از نوع روش‌های پیمایشی است که از انواع تحقیقات توصیفی به‌شمار می‌رود و ازنظر نوع هدف، کاربردی است، زیرا درصدد به‌کارگیری یک‌روش تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی برای رتبه‌بندی عوامل موثر بر مصرف آب است. از سوی دیگر این تحقیق دارای اهمیت میدانی است، زیرا بخش اصلی اطلاعات آن از طریق مصاحبه و تکمیل پرسشنامه توسط متخصصان و خبرگان حوزه مورد مطالعه شرکت آب و فاضلاب استان مازندران گردآوری شده است. خبرگان شامل معاونین، مدیران و کارشناسان خبره در حوزه مدیریت مصرف هستند که دارای دانش لازم در حوزه بهره‌برداری و مشترکین بوده، سابقه بالای ۱۵ سال و هم‌چنین انگیزه لازم برای انجام تحقیق را داشته انتخاب شدند. شکل ۱، مراحل اجرای تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. خبرگان شامل ۲۰ نفر از مدیران و کارشناسان باسابقه و سطح تحصیلات بالا و صاحب‌نظران محسوب می‌شوند که از طریق نمونه‌گیری گلوله برفی انتخاب شده‌اند. بدین‌صورت، ابتدا محقق با استفاده از روش نمونه‌گیری قضاوتی افراد نخبه و صاحب‌نظر را انتخاب کرده و در ادامه برای یافتن سایر افراد متخصص در آن یک شرکت‌کننده در پژوهش، محقق را به شرکت‌کنندگان دیگر هدایت می‌کند. بعد از جمع‌آوری اطلاعات لازم و پایش و تحلیل محتوای کیفی، ۳۹ عامل موثر شناسایی شدند. سپس با تشکیل پنل دلفی و تهیه پرسشنامه و توزیع آن عوامل بررسی شد تا عواملی که از جامعیت بیشتری برخوردار هستند شناسایی شوند. روش دلفی با مشارکت افرادی انجام می‌گیرد که در موضوع پژوهش دارای دانش و تخصص باشند. این افراد با عنوان پنل دلفی شناخته می‌شوند. گزینش اعضای واجد شرایط برای پنل دلفی از مهم‌ترین مراحل این روش به‌حساب می‌آید؛ زیرا اعتبار نتایج کار بستگی به شایستگی و دانش این افراد دارد. این روش در عمل، یک سری از پرسشنامه‌ها یا دوره متوالی به‌همراه بازخوران کنترل

شده‌ای است که تلاش دارد به اتفاق‌نظر میان یک گروه از افراد متخصص درباره یک موضوع خاص دست پیدا کند (Powell, 2003).



شکل ۱- مراحل اجرای تحقیق

کاربرد این روش، ساختار دادن به فرایند ارتباطات گروهی است، به‌نحوی که چنین فرایندی در فراهم‌کردن زمینه درگیری مجموعه‌ای از افراد به‌عنوان یک کل مسئله یا موضوعی پیچیده موثر باشد (Turoff and Linston, 2002). در روش دلفی کلاسیک، نظرات خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شود، در حالی‌که افراد خبره از شایستگی‌های ذهنی خود برای بیان نظر استفاده می‌کنند و این نشان‌دهنده احتمالی‌بودن عدم‌قطعیت حاکم بر این شرایط است. احتمالی بودن عدم‌قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد (آذر و فرجی، ۱۳۹۰). بنابراین، بهتر است داده‌ها در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ و با استفاده از مجموعه‌های فازی مورد تحلیل قرارگیرند. کاربرد این روش به‌منظور تصمیم‌گیری و اجماع بر مسائلی که اهداف و پارامترها به صراحت مشخص نیستند، به نتایج ارزنده‌ای منجر می شود. ویژگی مهم این روش، ارائهٔ چارچوبی انعطاف‌پذیر است که بسیاری از موانع مربوط به عدم‌دقت و صراحت را تحت‌پوشش قرار می‌دهد (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱). بسیاری از مشکلات در تصمیم‌گیری‌ها مربوط به اطلاعات ناقص و نادقیق است. هم‌چنین تصمیم‌های اتخاذ شدهٔ خبرگان، براساس صلاحیت فردی و به‌شدت ذهنی آنان است. بنابراین بهتر است داده‌ها به‌جای اعداد قطعی با عدد فازی نمایش داده شوند. در این مطالعه از عدد فازی مثلثی استفاده شده است. یک عدد فازی مثلثی به‌صورت شکل ۲ نمایش‌داده می‌شود.

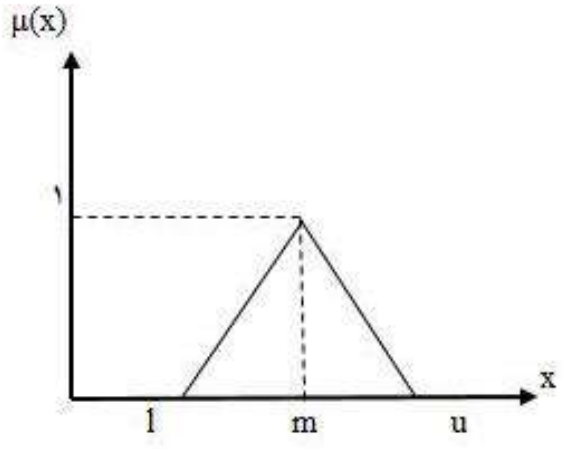


شکل ۲- نمایش اعداد فازی مثلثی

عدد فازی مثلثی با سه عدد حقیقی به‌صورت $M=(l, m, u)$ نمایش داده می‌شود. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به‌صورت رابطه (۱) است. در شکل ۳ تابع عضویت ارزش کلامی اعداد فازی نشان‌داده شده است.

$$um(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l} & l \le x \le m \\ \dfrac{u-l}{u-m} & m \le x \le u \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۱)$$

که u: کران بالای بیشینه مقادیر عدد فازی، m: محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی و l: کران پایین کمینه مقادیرعدد فازی هستند.



شکل ۳- ارزش‌های کلامی و اعداد فازی

در مرحله اول دلفی، پرسشنامه‌ای طراحی و از خبرگانی که دارای تجربه بالا و دانش لازم و کافی در زمینه موضوع مورد بررسی و هم‌چنین علاقمند و زمان کافی برای مشارکت در تحقیق را داشتند درخواست شد تا با استفاده از متغیرهای کلامی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد میزان اهمیت هریک از عوامل شناسایی‌شده را مشخص نمایند. یک راه‌کار ساده برای فازی‌سازی داده‌ها استفاده از طیف‌های استاندارد است. در این پژوهش برای تبدیل متغیرهای کلامی خبرگان از اعداد فازی مثلثی از طیف لیکرت ۵ درجه استفاده‌شده است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳). بعد از جمع‌آوری نظرهای تصمیم‌گیرندگان با تخصیص عدد فازی مثلثی مطابق جدول ۱ به‌نظر هر خبره، نسبت به محاسبه میانگین نظرات اقدام شد. تایید و غربال‌گری شاخص‌ها با مقدار آستانه S صورت می‌پذیرد. هیچ راه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد و اصولا از نظر خبرگان استخراج می‌شود (Cheng and Lin, 2002).

برای ارزیابی رد یا قبول عوامل، بر اساس رابطه (۲) دی‌فازی شدند.

$$Crisp = \frac{l+m+u}{3} \quad (۲)$$

جدول ۱- متغیرهای کلامی و اعداد دلفی فازی (Martinez and Canal, 2011)

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	(۰ ,۰ ,۰/۲۵)
کم	(۰ ,۰/۲۵ ,۰/۵)
متوسط	(۰/۲۵ ,۰/۵ ,۰/۷۵)
زیاد	(۰/۵ ,۰/۷۵ ,۱)
خیلی زیاد	(۰/۷۵ ,۱ ,۱)

در این پژوهش برای تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه دورهای دلفی اتفاق نظر قوی میان اعضای پنل است. مرز قابل‌قبول بودن عامل آستانه مقدار (۰/۷) است. اگر مقدار دی‌فازی شده عدد فازی مثلثی نزدیک به (۰/۷) یا بالاتر از آن باشد، به‌عنوان عامل قابل قبول، پذیرش‌شده و در غیر این‌صورت مورد قبول واقع نمی‌شود (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳).

بعد از شناسایی عوامل موثر از طریق تکنیک دیمتل[۳] فازی نسبت به بررسی ساختار تاثیرات درونی میان شاخص‌ها اقدام شد. این تکنیک روشی مؤثر است که با تجمیع دانش گروهی، به تجزیه و تحلیل روابط بین عوامل سیستم می پردازد. مهم‌ترین مشخصه این روش، در تصمیم گیری چن شاخصه و عملکرد آن در ایجاد رابطه و ساختار بین عوامل است (Lee et al., 2011).

بعد از شناسایی ارتباطات و ساختار درونی عوامل از طریق تکنیک تاپسیس، رتبه‌بندی عوامل از با اهمیت‌ترین آن انجام شد. واژه تاپسیس به‌معنی روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل است. این مدل در سال ۱۹۸۱ توسط Hong Yun پیشنهاد شد. منطق اصولی این مدل راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی است. گزینه بهینه گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و در عین‌حال دورترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل منفی دارد (Chen, 2000).

مراحل تکنیک دیمتل فازی به شرح ذیل است:

در گام نخست محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم (D) از پاسخ‌دهندگان خواسته شد تا میزان تأثیرگذاری عامل i بر عامل j را با استفاده از جدول ۲، نشان دهند. برای بررسی عوامل از نظر ۲۰ خبره استفاده شد. سپس برای ادغام نظرات خبرگان از رابطه (۳) از آن‌ها میانگین حسابی گرفته شد.

$$\tilde{z} = \frac{(\tilde{x}1 + \tilde{x}2 + \tilde{x}3 + \cdots + \tilde{x}p)}{p} \quad (۳)$$

که P: تعداد خبرگان، $\tilde{x}p$، ... ،$\tilde{x}3$،$\tilde{x}2$،$\tilde{x}1$: به‌ترتیب ماتریس مقایسه زوجی خبره ۱، خبره ۲ و خبره P است و $\tilde{z}$: عدد فازی

مثلثی به‌صورت $\tilde{z} = (l_{ij}, m_{ij}, lu_{ij})$ است.

جدول ۲- طیف پنج درجه‌ای تکنیک دنپ و معادل قطعی برای عبارات کلامی

متغیر	معادل قطعی	معادل فازی
بدون تأثیر	۰	(۰ ,۰ ,۰/۲۵)
تأثیر کم	۱	(۰ ,۰/۲۵ ,۰/۵)
تأثیر متوسط	۲	(۰/۲۵ ,۰/۵ ,۰/۷۵)
تأثیر زیاد	۳	(۰/۵ ,۰/۷۵ ,۱)
تأثیر خیلی زیاد	۴	(۰/۷۵ ,۱ ,۱)

در گام دوم، نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم است. مطابق با روابط (۴) و (۵) ماتریس میانگین ارتباطات مستقیم نرمال شده و ماتریس H نامیده می‌شود.

$$H_{ij=}\left(\frac{Z_{ij}}{r}\right)=\left(\frac{l_{ij}}{\mathrm{r}}.\frac{m_{ij}}{r}.\frac{u_{ij}}{r}\right) \quad (۴)$$

$$r=\max_{1\le i\le n}\left(\sum_{j=1}^{n}u'_{ij},\sum_{i=1}^{n}u'_{ij}\right) \quad (۵)$$

به‌عبارت دیگر مقدار r برابر با بیشترین مقدار جمع سطری حد بالای ماتریس ادغام شده نظرات است. سپس تک‌تک درایه‌های جدول ماتریس ارتباط مستقیم بر این عدد تقسیم می‌شوند و ماتریس نرمال ارتباطات مستقیم به‌دست می‌آید.

در گام سوم، محاسبه ماتریس ارتباط کامل عوامل TC است. بعد از محاسبه ماتریس‌های نرمال، ماتریس روابط کل فازی با توجه به روابط (۶) تا (۹) به‌دست می‌آید. در این روابط I ماتریس یکه و H_l، H_m و H_u هر کدام ماتریس $n_{\times}n$ هستند که n درایه‌های آن را به‌ترتیب عدد پایین، عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازی مثلثی ماتریس H را تشکیل می‌دهد و ماتریس ارتباطات کامل TC به‌دست می‌آید.

$$T=\lim_{k\to\infty}(\tilde{H}^1\oplus\tilde{H}^2\oplus\ldots\oplus\tilde{H}^k \quad (۶)$$

$$\left[\tilde{l}_{ij}\right]=H1\times\left(I-\tilde{H}_l\right)^{-1} \quad (۷)$$

$$\left[\tilde{m}_{ij}\right]=H1\times\left(I-\tilde{H}_m\right)^{-1} \quad (۸)$$

$$\left[\tilde{u}_{ij}\right]=H1\times\left(I-\tilde{H}_u\right)^{-1} \quad (۹)$$

در گام چهارم، محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابعاد، نخست باید ماتریس TD را از ماتریس ارتباط کامل عوامل TC استخراج نمود. بدین‌جهت هر درایه ماتریس TD از میانگین درایه‌های زیرعوامل در ماتریس TC حاصل می‌شود. اگر هر درایه ماتریس TD، t_{ij} باشد، هر t''_{ij} از میانگین هر T_C^{ij} حاصل می‌شود.

در گام پنجم، محاسبه شدت و جهت تأثیر. مطابق با روابط (۱۰) و (۱۱) میزان شاخص $\tilde{D}$ و $\tilde{R}$ محاسبه می‌شود. شاخص ri بیانگر مجموع سطر i ام و شاخص dj بیانگر مجموع ستون j ام از ماتریس TC با توجه به بعد مربوطه است. به‌همین صورت میزان شاخص $\tilde{R}$ و $\tilde{D}$ محاسبه می‌شود.

$$(\tilde{D})=(\tilde{D}_i)_{n\times1}=\left[\Sigma_{j=1}^{n}=\tilde{T}_{ij}\right]_{n\times1} \quad (۱۰)$$

$$(\tilde{R})=(\tilde{R}_i)_{n\times1}=\left[\Sigma_{j=1}^{n}=\tilde{T}_{ij}\right]_{n\times1} \quad (۱۱)$$

مرحله بعدی میزان اهمیت شاخص‌ها $(\tilde{D}_i+\tilde{R}_i)$ و رابطه بین معیارها $(\tilde{D}_i-\tilde{R}_i)$ مشخص می‌شود. اگر $\tilde{D}_i-\tilde{R}_i>0$ باشد معیار مربوطه اثرگذار و اگر $\tilde{D}_i-\tilde{R}_i<0$ باشد معیار مربوطه اثرپذیر است. به‌عبارت دیگر هرچه مقدار $\tilde{D}_i+\tilde{R}_i$، عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد.

برای به‌دست آوردن مقادیر قطعی (فازی‌زدایی شده) متغیرهای R و D از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود.

$$\text{Defuzzy}=\frac{\left((u-l)+(m-l)\right)}{3}+l \quad (۱۲)$$

مراحل تاپسیس فازی به شرح ذیل است:

درگام اول تشکیل ماتریس تصمیم براساس رابطه (۱۳) است. از این‌رو با طرح پرسشنامه از خبرگان خواسته شد میزان اهمیت هریک از زیرمعیارها را با متغیرهای کلامی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) نشان دهند. سپس متغیرهای کلامی جمع‌آوری شده از سوی خبرگان برابر جدول ۳، به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند.

جدول ۳- متغیرهای کلامی و اعداد تاپسیس فازی (Liu and Tsai, 2000)

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم (VL)	(۰ ,۰ ,۱)
کم (V)	(۱ ,۳ ,۵)
متوسط (M)	(۳ ,۵ ,۷)
زیاد (H)	(۵ ,۷ ,۹)
خیلی زیاد (VH)	(۸ ,۱۰ ,۱۰)

$$xij=\frac{1}{K}[x^1ij+x^2ij+\cdots+x^kij]$$
$$wij=\frac{1}{k}[w^1ij+w^2ij+\cdots+w^kij] \quad (۱۳)$$

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} \cdots \tilde{x}_{1j} \cdots \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} \cdots \tilde{x}_{2j} \cdots \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} \cdots \tilde{x}_{ij} \cdots \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \\ \tilde{x}_{m1} \tilde{x}_{m2} \cdots \tilde{x}_{mj} \cdots \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$
$$wj = (wj1, wj2, wj3)$$

که $xij = (lij, mij, uij)$ و x_{ij}: نظر فرد jام درباره زیرمعیار iام به‌صورت اعداد فازی است.

با توجه به معیارهای رتبه‌بندی فازی ترکیبی، گزینه‌ها را می‌توان براساس روابط (۱۴) در نظرگرفت.

$$uij = Max(uijk)$$
$$mij = \frac{\sum_{k=1}^{k} mijk}{\mathrm{k}} \qquad (۱۴)$$
$$lij = Min(lijk)$$

گام دوم، نرمال‌نمودن ماتریس تصمیم‌گیری است و هر سلول ماتریس تصمیم‌گیری به‌صورت عدد فازی مثلثی $xij = (lij, mij, uij)$ نشان داده می‌شود. برای حذف اثر مقیاس هر معیار باید عملیات نرمال‌سازی را انجام داد. در این مرحله ماتریس تصمیم‌گیری فازی نظرات افراد، به یک ماتریس بی‌مقیاس شده فازی $\tilde{R}$ به‌صورت فرمول رابطه (۱۵) تبدیل شده است.

$$\tilde{R} = [\tilde{\mathrm{r}}_{ij}] m \times n \qquad (۱۵)$$
$$\tilde{\mathrm{r}}_{ij} = (\frac{lij}{u_j^*}, \frac{mij}{u_j^*}, \frac{uij}{u_j^*}) \qquad (۱۶)$$
$$u_j^* = Max(uij) \qquad (۱۷)$$

در گام سوم ماتریس بی‌مقیاس وزین فازی $\tilde{v}$ براساس رابطه (۱۸)، با فرض بردار $\tilde{w}_j$ به‌عنوان ورودی ایجاد می‌شود. وزن اهمیت هریک از معیارها با تعیین مستقیم یا غیرمستقیم با استفاده از مقایسه‌های دوتایی به‌دست می‌آید. در این مقاله اهمیت اوزان معیارهای مختلف و رتبه‌بندی معیارهای با متغیرهای کلامی اعداد مثلثی به‌صورت جدول ۴ درنظر گرفته شده‌است.

برای محاسبه ماتریس بی‌مقیاس وزین فازی برای معیارهای با جنبه مثبت، از رابطه (۱۸) استفاده شده است.

$$\tilde{v} = [\tilde{\mathrm{v}}_{ij}] m \times n$$
$$i = 1,2, \ldots, m \qquad j = 1,2 \ldots . n \qquad (۱۸)$$
$$\tilde{v}_{ij=}\tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j = (\frac{l_{ij}}{\mathrm{u}_j^*} . \frac{m_{ij}}{u_j^*} . \frac{u_{ij}}{u_j^*}) \cdot (w_{j1} . w_{j2} . w_{j3})$$

جدول ۴- متغیرهای کلامی و اعداد تاپسیس فازی (Chen, 2000)

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم (VL)	(۰ ,۰ ,۰/۱)
کم (V)	(۰ ,۰/۱ ,۰/۳)
زیرمتوسط (ML)	(۰/۱ ,۰/۳ ,۰/۵)
متوسط (M)	(۰/۳ ,۰۵/ ,۰۷/)
بالای متوسط (MH)	(۰/۵ ,۰/۷ ,۰/۹)
زیاد (H)	(۰/۷,۰/۹ ,۱)
خیلی زیاد (VH)	(۰/۹ ,۱ ,۱)

در گام چهارم ایده‌آل‌های مثبت و منفی مشخص می‌شود. ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی براساس رابطه (۱۹) به‌دست می‌آید.

$$A^+ = \{\tilde{v}^*_1, \tilde{v}^*_2, \ldots, \tilde{v}^*_n\}$$
$$A^- = \{\tilde{v}^-_1, \tilde{v}^-_2, \ldots, \tilde{v}^-_n\} \qquad (۱۹)$$

که $\tilde{v}^*_i$: بهترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها و $\tilde{v}^-_i$: بدترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها است. این مقادیر از رابطه (۲۰) به‌دست می‌آید.

$$v_j^* = Max\{v_{ij3}\} \; i = 1.2. \ldots . m \quad j = 1.2. \ldots . n$$
$$v_j^- = Max\{v_{ij1}\} \; i = 1.2. \ldots . m \quad j = 1.2. \ldots . n \qquad (۲۰)$$

در گام بعدی محاسبه وزن شاخص‌ها است. ابتدا فاصله هر شاخص از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی محاسبه می‌شود. برای این‌کار از رابطه (۲۱) استفاده شده است.

$$D(A.B) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \qquad (۲۱)$$

بعد از محاسبه فواصل، وزن هر شاخص از رابطه (۲۲) به‌دست می‌آید.

$$cc_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \qquad i = 1.2 \ldots . n \qquad (۲۲)$$

۳- یافته‌های پژوهش

در این پژوهش بخش دلفی فازی در دو مرحله صورت‌گرفته است. درگام اول پرسشنامه‌ای شامل ۳۹ عامل شناسایی شده از طریق ادبیات موضوع و مصاحبه با خبرگان صنعت در اختیار اعضای پنل

قرارگرفت و از آن‌ها درخواست شد نظرشان را دربارهٔ هریک از عوامل موثر بر مصرف آب در قالب متغیرهای کلامی بیان کنند. سپس برای یافتن یک درک مشترک از نظرات خبرگان نسبت به هریک از عوامل موثر بر مصرف آب، میانگین هندسی نظرات خبرگان محاسبه شد.

با توجه به یافته‌های مرحله اول از بین ۳۹ عامل موثر تنها ۲۶ عامل بالاتر از (۰/۷) قرارگرفتند. در مرحله بعد میزان اختلاف‌نظر هر خبره با میانگین نظرات اعضا پنل خبرگان محاسبه شد. سپس به‌منظور اطمینان از تعیین عوامل موثر پرسشنامه دیگری به‌همراه نظر قبلی هر خبره و میزان اختلاف نظر وی با میانگین نظرات اعضا پنل در اختیار آن‌ها قراگرفت. چنان‌چه اختلاف بین دو مرحلهٔ نظرسنجی کمتر از حد آستانه خیلی کم (۰/۱) باشد، فرایند نظرسنجی متوقف می‌شود، یعنی خبرگان به اجماع رسیده‌اند. در این پژوهش با توجه به این‌که میزان اختلاف‌نظر خبرگان بین دو مرحله اول و دوم کمتر از حد آستانه (۰/۱) خیلی کم به‌دست آمد، نظرسنجی در مرحله دوم متوقف شد. میانگین نتایج مرحله اول و دوم دلفی فازی مطابق جدول ۵ است. با توجه به نظرات ارایه شده در مرحله دوم و مقایسه آن با نتایج مرحله اول، تمامی ۲۶ عامل بالاتر از (۰/۷) و اختلاف‌نظر خبرگان در دو مرحله از حد آستانه (۰/۱) کمتر بوده و مرحله نظرسنجی متوقف و تمام ۲۶ عامل تایید می‌شود.

جدول ۵- نتایج حاصل از مرحله اول و دوم دلفی فازی

معیار اصلی	زیرمعیار	U	M	L	S1	U	M	l	S2	|S1-S2|
اقتصادی	سطح درآمد خانوار	۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۵۳	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۷۷	۰/۰۲
	تعرفه و قیمت‌گذاری آب	۰/۹۵	۰/۸۶	۰/۶۱	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۸۱	۰/۰۱
	تورم	۰/۹۰	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۶	۰/۹۰	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۶۸	۰/۰۲
	درآمد سرانه	۰/۹۹	۰/۷۸	۰/۵۳	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۷۷	۰/۰۲
.....	.....	...	...	...	...	...	...	...	...	...
زمانی	درجه حرارت هوا	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۷۷	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۰۲
	ماه‌های گرم سال	۰/۹۳	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۹۱	۰/۷۳	۰/۴۸	۰/۷۰	۰/۰۱
	مدت حضور در منزل	۰/۹۵	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۳	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۰۲
	ساعات مصرف روزانه	۰/۹۶	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۳	۰/۹۴	۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۰۳

نکته: به‌علت حجم بالا، نتایج جدول مرحله اول به‌صورت خلاصه آورده شد.

برای بررسی و تاثیر ارتباط ساختاری بین عوامل شناسایی شده از طریق تکنیک دیمتل و برای رتبه‌بندی عوامل شناسایی شده، از تکنیک تاپسیس فازی استفاده شده است. جدول ۶ کدبندی زیرعوامل را نشان می‌دهد و خبره‌ها با نماد *Dj* نشان داده می‌شود.

جدول ۶- کدبندی زیرعوامل موثر بر مصرف آب

زیرعوامل و کدها
سطح درآمد خانوارC11 ، تعرفه و قیمت‌گذاری آب C12، تعداد خانوار C13، درآمد سرانه C14
جمعیت C21، تحصیلات C22، شاغل بودن زنانC23 ، میزان آگاهی زنان C24
استفاده از ادوات کاهنده آب C31، استفاده از کنتور مغناطیسی C32، استفاده از شیرآلات جدید C33، فشار شبکه C34، تنوع‌بخشی در عرضه آب تنوع بخشی در عرضه آب C35
تبلیغات و آموزش C41، رفتار مصرف‌کننده C42، علایق مصرف‌کننده C43، انگیزه مصرف C44
مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف C51، وضع قوانین برای تشویق وتنبیه مشترکین کم‌مصرف و پرمصرف C52
بافت شهری و روستایی C61، سطح زیربنا C62، باغچه در منزل C63
درجه حرارت هوا C71، ماه‌های گرم سال C72، مدت حضور در منزل C73، ساعات مصرف روزانه C74

بعد از کدبندی زیرعوامل‌ها، برای بررسی عوامل از نظرات ۲۰ خبره استفاده شد. سپس برای ادغام نظرات خبرگان از آن‌ها میانگین حسابی گرفته می‌شود. جدول ۷ مقایسات زوجی ماتریس ارتباط مستقیم بین زیرعوامل اصلی است.

در گام بعدی با به‌دست آوردن r که برابر با بیشترین مقدار جمع سطری حد بالای ماتریس ادغام شده نظرات است، بیشترین

مقدار در این پژوهش برابر با ۲۴/۰۰۴ است. سپس تک‌تک درایه‌های جدول ماتریس ارتباط مستقیم بر این عدد تقسیم می‌شوند و ماتریس نرمال ارتباطات مستقیم به‌دست می‌آید.

جدول ۸ ماتریس نرمال ارتباطات مستقیم فازی بین زیرعوامل را نشان می‌دهد.

جدول ۷- ماتریس روابط مستقیم فازی بین زیرعوامل

	C11			C12			....	C73			C74		
	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U
C11	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰	۰/۵۰۰	۰/۷۵۰	۰/۹۸۸	.....	۰/۶۵۰	۰/۹۰۰	۱/۰۰۰	۰/۶۷۳	۰/۹۳۳	۱/۰۰۰
C12	۰/۰۶۳	۰/۳۱۳	۰/۵۶۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰	.....	۰/۶۰۰	۰/۸۵۰	۰/۹۶۳	۰/۵۳۸	۰/۷۸۸	۱/۰۰۰
C13	۰/۰۷۵	۰/۳۲۵	۰/۵۶۳	۰/۵۷۵	۰/۸۲۵	۱/۰۰۰	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۱۳	۰/۲۶۲	۰/۰۶۳	۰/۳۱۳	۰/۵۵۰
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
C72	۰/۵۸۸	۰/۸۳۸	۱/۰۰۰	۰/۳۶۳	۰/۶۱۳	۰/۸۱۳	.....	۰/۴۳۸	۰/۶۸۸	۰/۹۰۰	۰/۲۲۵	۰/۴۶۳	۰/۷۱۳
C73	۰/۴۲۵	۰/۶۷۵	۰/۸۸۸	۰/۲۵۰	۰/۴۸۸	۰/۷۳۸	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰	۰/۵۶۳	۰/۸۱۳	۱/۰۰۰
C74	۰/۵۸۸	۰/۸۳۸	۱/۰۰۰	۰/۴۸۸	۰/۷۳۸	۰/۹۸۸	.....	۰/۵۸۸	۰/۸۳۸	۰/۹۸۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰

نکته: به‌علت حجم بالا، نتایج جداول به‌صورت خلاصه آورده شد.

جدول ۸- ماتریس نرمال روابط مستقیم فازی بین زیرعوامل

	C11			C12			....	C73			C74		
	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U
C11	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۱	۰/۰۳۱	۰/۰۴۱	.....	۰/۰۲۷	۰/۰۳۷	۰/۰۴۲	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۲
C12	۰/۰۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰	.....	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰	۰/۰۲۲	۰/۰۳۳	۰/۰۴۲
C13	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۳۴	۰/۰۴۲		۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۲۳
.....	...	....	....	....	....	....	.....	...	...	...	...	...	...
C72	۰/۰۲۴	۰/۰۳۵	۰/۰۴۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲۶	۰/۰۳۴	.....	۰/۰۱۸	۰/۰۲۹	۰/۰۳۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۹	۰/۰۳۰
C73	۰/۰۱۸	۰/۰۲۸	۰/۰۳۷	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰	۰/۰۳۱	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۳	۰/۰۳۴	۰/۰۴۲
C74	۰/۰۲۴	۰/۰۳۵	۰/۰۴۲	۰/۰۲۰	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	.....	۰/۰۲۴	۰/۰۳۵	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰

در مرحله بعد ماتریس ارتباط کامل عوامل براساس رابطه‌های (۷) تا (۹) به‌دست می‌آید. نتایج در ماتریس ارتباط کامل عوامل TC (جدول ۹) نشان داده شده است.

جدول ۹- ماتریس ارتباطات کامل (TC) فازی بین زیرعوامل

	C11			C12			....	C73			C74		
	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U
C11	۰/۰۱۵	۰/۰۸۰	۰/۰۶۸۸	۰/۰۳۴	۰/۱۱۱	۰/۷۲۰	.....	۰/۰۴۲	۰/۱۱۶	۰/۷۲۶	۰/۰۴۴	۰/۱۲۲	۰/۷۴۵
C12	۰/۰۲۴	۰/۱۱۳	۰/۸۱۸	۰/۰۲۰	۰/۱۰۱	۰/۸۰۸	.....	۰/۰۴۷	۰/۱۳۵	۰/۸۴۲	۰/۰۴۵	۰/۱۳۷	۰/۸۶۷
C13	۰/۰۲۲	۰/۱۰۴	۰/۷۸۹	۰/۰۴۱	۰/۱۲۵	۰/۸۰۹	.....	۰/۰۲۰	۰/۰۹۲	۰/۷۸۵	۰/۰۲۳	۰/۱۰۸	۰/۸۱۸
.....	....	....	.....	....	...	....	.....	....	....	....	....	....	....
C72	۰/۰۴۵	۰/۱۳۵	۰/۸۴۸	۰/۰۳۴	۰/۱۲۷	۰/۸۴۳	.....	۰/۰۴۰	۰/۱۲۹	۰/۸۵۳	۰/۰۳۳	۰/۱۲۵	۰/۸۶۸
C73	۰/۰۳۹	۰/۱۲۸	۰/۸۴۱	۰/۰۳۰	۰/۱۲۱	۰/۸۳۸	.....	۰/۰۲۲	۰/۱۰۱	۰/۸۲۴	۰/۰۴۶	۰/۱۳۸	۰/۸۷۷
C74	۰/۰۴۶	۰/۱۳۲	۰/۸۳۵	۰/۰۴۱	۰/۱۳۰	۰/۸۳۸	.....	۰/۰۴۷	۰/۱۳۳	۰/۸۴۴	۰/۰۲۴	۰/۱۰۳	۰/۸۳۶

مرحله بعدی شامل محاسبه شدت و جهت تأثیر است. جدول ۱۰ مطابق با روابط (۱۰) و (۱۱)، میزان شاخص‌های R و D را نشان می دهد. زیرعواملی که شاخص (R-D) آنان بزرگ‌تر از صفر باشد عامل اثرگذار و کوچکتر از صفر، عوامل اثرپذیر هستند.

برای اولویت‌بندی عوامل از تکنیک تاپسیس فازی استفاده شد. ماتریس اولیه تصمیم با طرح پرسشنامه از خبرگان میزان اهمیت هریک از زیرعوامل با متغیرهای کلامی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تشکیل شد. جدول ۱۱ ماتریس

تصمیم اولیه خبرگان است.

در مرحله نرمالیزه‌کردن ماتریس تصمیم، تمامی اعداد جدول ۱۱ بر بزرگترین عدد ستون u تقسیم می‌شود. جدول ۱۲ ماتریس نرمال‌شده را نشان می‌دهد.

بعد از نرمالیزه‌کردن ماتریس، در این مرحله ماتریس بی‌مقیاس موزون تشکیل شده است. ماتریس بی‌مقیاس مرحله قبل در وزن معیارها ضرب می‌شود. وزن هر عامل با نظر هر خبره در مورد عامل‌ها مطابق با جدول ۴ به‌صورت اعداد فازی مثلثی درنظر گرفته‌شده است. سپس میانگین حسابی اعداد فازی درایه‌های اول، دوم و سوم ۲۰ خبره به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود. جدول ۱۳ ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزن‌دار را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- میزان شاخص‌های R و D

	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C34	C35
D	۲/۹۷۳	۳/۴۷۰	۳/۳۴۲	۳/۵۴۹	۳/۵۱۱	۳/۴۶۲	۳/۵۶۱	۳/۳۵۶	۴/۲۹۱	۴/۳۶۸	۴/۵۱۶	۴/۴۷۱	۴/۵۲۸
R	۳/۲۴۹	۳/۳۰۳	۳/۴۸۲	۳/۳۰۱	۳/۲۹۹	۳/۵۴۲	۳/۴۷۸	۳/۵۷۰	۴/۴۹۶	۴/۴۹۶	۴/۵۵۰	۴/۴۲۱	۴/۴۱۲
R+D	۶/۲۲۲	۶/۷۷۳	۶/۸۲۴	۶/۸۱۰	۷/۰۰۴	۷/۰۳۸	۶/۹۲۶	۸/۷۸۷	۸/۸۶۵	۹/۰۶۶	۸/۸۹۲	۸/۷۳۹	۸/۷۳۹
R-D	-۰/۲۷۵	۰/۱۶۷	-۰/۱۴۰	۰/۲۴۸	۰/۲۱۲	-۰/۰۸۰	۰/۰۸۳	-۰/۲۱۵	-۰/۲۰۵	-۰/۱۲۸	-۰/۰۳۴	۰/۰۵۰	۰/۳۱۶
	C41	**C42**	**C43**	**C44**	**C51**	**C52**	**C61**	**C62**	**C63**	**C71**	**C72**	**C73**	**C74**
D	۳/۳۲۹	۳/۶۴۳	۳/۵۹۷	۳/۵۶۲	۱/۶۵۷	۱/۶۲۸	۲/۶۲۵	۲/۵۱۱	۲/۵۸۳	۳/۴۶۵	۳/۵۸۶	۳/۵۸۳	۳/۵۴۳
R	۳/۵۵۳	۳/۷۰۷	۳/۴۳۷	۳/۴۴۳	۱/۶۳۹	۱/۶۴۶	۲/۶۹۵	۲/۴۰۲	۲/۶۲۲	۳/۵۰۹	۳/۶۶۲	۳/۴۵۶	۳/۵۴۶
R+D	۶/۸۸۲	۷/۳۵۰	۷/۰۲۴	۷/۰۰۵	۳/۲۹۷	۳/۲۷۵	۵/۳۲۱	۴/۹۱۳	۵/۲۰۵	۶/۹۷۴	۷/۲۴۸	۷/۰۴۲	۷/۰۸۹
R-D	-۰/۲۲۴	-۰/۰۶۴	۰/۱۶۹	۰/۱۱۹	۰/۰۱۸	-۰/۰۱۸	-۰/۰۷۰	۰/۱۰۹	-۰/۰۳۹	-۰/۰۴۴	-۰/۰۷۶	۰/۱۲۴	-۰/۰۰۴

جدول ۱۱-تشکیل ماتریس تصمیم اولیه فازی نظر خبرگان

خبره / گزینه	D1			D2			....	D19			D20		
	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U
C11	۳	۵	۷	۵	۷	۹	.....	۵	۷	۹	۳	۵	۷
C12	۵	۷	۹	۸	۱۰	۱۰	.....	۵	۷	۹	۵	۷	۹
C13	۵	۷	۹	۳	۵	۷	.....	۸	۱۰	۱۰	۳	۵	۷
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
C73	۵	۷	۹	۵	۷	۹	.....	۵	۷	۹	۵	۷	۹
C74	۳	۵	۷	۵	۷	۹	.....	۳	۵	۷	۵	۷	۹

جدول ۱۲- ماتریس تصمیم فازی نرمال شده

خبره / گزینه	D1			D2			....	D19			D20			Fuzzy weight		
	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U	L	m	U
C11	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۹	.....	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۳۴	۰/۵۱	۰/۶۹
C12	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۸	۱	۱	.....	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵۷	۰/۷۳	۰/۸۵
C13	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳	۰/۵	۰/۷	.....	۰/۸	۱	۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۳۲	۰/۴۹	۰/۶۶
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
C73	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۹	.....	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۷۰
C74	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۹	.....	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۷۳

جدول ۱۳- تشکیل ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزن‌دار

خبره / گزینه	D1			D2			....	D19			D20		
	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U
C11	۰/۱۰۱	۰/۲۵۵	۰/۴۸۰	۰/۱۶۸	۰/۳۵۷	۰/۶۱۷	.....	۰/۱۶۸	۰/۳۵۷	۰۰/۶۱۷	۰/۱۰۱	۰/۲۵۵	۰/۴۸۰
C12	۰/۲۸۳	۰/۵۰۸	۰/۷۶۱	۰/۴۲۵	۰/۷۲۵	۰/۸۴۵	.....	۰/۲۸۳	۰/۵۰۸	۰/۷۶۱	۰/۱۱۴	۰/۲۸۸	۰/۵۲۹
C13	۰/۱۶۰	۰/۳۴۳	۰/۵۹۴	۰/۰۹۶	۰/۲۴۵	۰/۴۶۲	.....	۰/۲۵۶	۰/۴۹۰	۰/۶۶۰	۰/۰۹۶	۰/۲۴۵	۰/۴۶۲
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
C73	۰/۱۸۳	۰/۳۷۵	۰/۶۳۰	۰/۱۸۳	۰/۳۷۵	۰/۶۳۰	.....	۰/۱۱۰	۰/۲۶۸	۰/۴۹۰	۰/۲۹۲	۰/۵۳۵	۰/۷۰۰
C74	۰/۱۱۴	۰/۲۷۸	۰/۵۰۴	۰/۱۹۰	۰/۳۸۹	۰/۶۴۸	.....	۰/۱۹۰	۰/۳۸۹	۰/۶۴۸	۰/۳۰۴	۰/۵۵۵	۰/۷۲۰

سپس ایده‌آل مثبت و منفی مطابق رابطه (۸) مشخص می‌شود. ایده‌آل‌های مثبت برابر است با بزرگ‌ترین مقدار درایه‌های هر ستون و ایده‌آل‌های منفی برابر است با کوچکترین مقدار درایه‌های هر ستون. بعد از تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی، فاصله هر شاخص از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی محاسبه و بعد از آن وزن هر شاخص تعیین می‌شود. جدول ۱۴ نتایج وزن زیرعامل‌ها و رتبه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۴- نتایج وزن زیرعامل‌ها و رتبه‌ها

گزینه	نام زیرمعیار	*di+*	*di-*	*cci*	رتبه
C11	سطح درآمد خانوار	۱۰/۶۶۳	۴/۶۲۶	۰/۳۰۳	۱۴
C12	تعرفه و قیمت‌گذاری آب	۷/۵۲۷	۷/۷۶۵	۰/۵۰۸	۵
C13	تعداد خانوار	۱۰/۹۳۰	۴/۳۲۸	۰/۲۸۴	۱۵
C14	درآمد سرانه	۱۰/۱۳۲	۵/۲۱۱	۰/۳۴۰	۱۰
C21	جمعیت	۹/۷۴۰	۵/۵۰۴	۰/۳۶۱	۸
C22	تحصیلات	۱۱/۶۶۴	۳/۵۹۵	۰/۲۳۶	۱۹
C23	شاغل بودن زنان	۱۱/۹۰۱	۳/۳۶۱	۰/۲۲۰	۲۱
C24	میزان آگاهی خانواده	۳/۷۶۷	۱۱/۵۱۵	۰/۷۵۴	۱
C31	استفاده از کنتور مغناطیسی	۱۱/۸۷۱	۳/۳۹۲	۰/۲۲۲	۲۰
C32	استفاده از شیرآلات جدید	۸/۸۰۰	۶/۴۴۱	۰/۴۲۳	۶
C33	استفاده از ادوات کاهنده آب	۵/۰۵۰	۱۰/۲۳۴	۰/۶۷۰	۲
C34	فشار شبکه	۱۱/۹۰۴	۳/۳۴۸	۰/۲۱۹	۲۲
C35	تنوع بخشی در عرضه آب	۱۲/۵۸۷	۲/۶۵۵	۰/۱۷۴	۲۶
C41	تبلیغات و آموزش	۶/۰۵۹	۹/۲۱۵	۰/۶۰۳	۳
C42	رفتار مصرف کننده	۹/۳۰۸	۵/۹۳۷	۰/۳۸۹	۷
C43	علایق مصرف کننده	۱۰/۵۵۶	۴/۷۲۵	۰/۳۰۹	۱۳
C44	انگیزه مصرف	۶/۹۵۶	۸/۳۲۶	۰/۵۴۵	۴
C51	مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف	۱۱/۰۱۵	۴/۲۸۱	۰/۲۸۰	۱۷
C52	وضع قوانین برای تشویق وتنبیه مشترکین کم مصرف و پرمصرف	۱۰/۹۵۴	۴/۳۳۵	۰/۲۸۴	۱۶
C61	بافت شهری و روستایی	۱۱/۰۸۱	۴/۱۹۳	۰/۲۷۵	۱۸
C62	سطح زیربنا	۱۲/۱۵۴	۳/۰۷۹	۰/۲۰۲	۲۵
C63	باغچه در منزل	۱۲/۰۷۰	۳/۱۸۲	۰/۲۰۹	۲۴
C71	درجه حرارت هوا	۱۰/۲۴۰	۶۷۱۰۳۵۵	۰/۳۳۰	۱۱
C72	ماه‌های گرم سال	۱۲/۰۴۲	۳/۲۲۲	۰/۲۱۱	۲۳
C73	مدت حضور در منزل	۱۰/۲۵۱	۵/۰۳۴	۰/۳۲۹	۱۲
C74	ساعات مصرف روزانه	۹/۷۸۰	۵/۵۲۱	۰/۳۶۱	۹

براساس نتایج جدول ۱۴ مشاهده می‌شود زیرعامل میزان آگاهی خانواده بالاترین رتبه و زیرعامل‌های استفاده از ادوات کاهنده آب، تبلیغات و آموزش، انگیزه مصرف و استفاده از شیرآلات جدید رتبه‌های بعدی را داشته است.

۴- نتیجه گیری

هدف از پژوهش حاضر شناسایی و بررسی روابط علی و معلولی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر الگوی مصرف آب در بخش خانگی بود. برای شناسایی عوامل موثر بر مصرف آب، با بررسی موضوع و مصاحبه با خبرگان و پایش اطلاعات، عوامل موثر به دو دسته اصلی و زیرمعیارها تفکیک شدند. در ابتدا با بررسی موضوع در ابعاد مختلف و پایش اطلاعات، هفت عامل اصلی شامل اقتصادی، اجتماعی، فنی و مهندسی، فرهنگی، قانونی و مدیریتی، مکانی و زمانی و ۳۹ زیرعوامل شناسایی شد. درنهایت برای شناسایی عواملی که در مصرف آب از جامعیت بیشتری برخوردارند با استفاده از تکنیک دلفی و بهره‌گیری از منطق فازی و توزیع پرسشنامه بین خبرگان و غربال‌گیری آن، هفت عامل اصلی با ۲۶ زیرعوامل موثر مورد توافق خبرگان قرارگرفت. هم‌چنین از منطق فازی در این پژوهش برای عدم‌قطعیت موجود در ارزیابی کیفی عوامل استفاده شد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از روابط علی و معلولی زیرعامل‌های تنوع بخشی در عرضه، موثرترین زیرعامل در مصرف آب است. هم‌چنین زیرعامل‌های اثرگذار دیگر درآمد سرانه، جمعیت، علایق مصرف‌کننده، تعرفه و قیمت‌گذاری، مدت حضور در منزل، انگیزه مصرف، سطح زیر بنا، شاغل‌بودن زنان، فشار شبکه، مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف نقش مهمی در مصرف آب دارند. اما زیرعامل ساعت مصرف روزانه به‌عنوان تاثیرپذیرترین زیرعامل در مصرف آب است. در حقیقت مدیران با درک بهتر روابط این عوامل، می‌توانند برای مقابله با مصرف نادرست، تصمیم‌گیری دقیق‌تری داشته باشند.

در نهایت برای میزان اهمیت و رتبه‌بندی هریک از این عوامل شناسایی‌شده، از تکنیک تاپسیس فازی استفاده شد. براساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین وزن و اهمیت به زیرعامل میزان آگاهی خانواده داده شد. دومین رتبه به استفاده از ادوات کاهنده و رتبه سوم تبلیغات و آموزش اختصاص یافت.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، شرکت آب و فاضلاب باید با ایجاد برنامه‌ریزی دقیق نسبت به روشن‌سازی و افزایش میزان آگاهی خانوارها در میزان مصرف آب استاندارد اقدام نماید. هم‌چنین شرکت با افزایش اطلاع‌رسانی و دادن آگاهی به مشترکین می‌تواند نقش مهمی در کنترل مصرف آب داشته باشد. از این‌رو مدیران و سیاست‌گذاران باید با توجه به محدودیت‌های مالی، با برنامه‌ریزی دقیق نسبت به شناسایی عوامل موثر و تهیه رویه‌های استاندارد و بهینه‌سازی در مصرف آب، فعالیت‌های عملیاتی را انجام دهند و مشترکین را به استفاده از ادوات کاهنده در مصرف آب و شیرآلات جدید تشویق نمایند.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Water Footprint
2- Topsis
3- Dematel

۶- مراجع

آذر، ا.، و فرجی، ح.، (۱۳۹۰)، *علوم مدیریت فازی*، ویرایش چهارم، تهران، موسسه مهربان، ۴۳.

اسماعیل‌زاده، م.، کاظمی، ع.، و صفری، ح.، (۱۴۰۱)، "شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند به‌روش بهترین بدترین راف فازی"، *مدیریت صنعتی*، ۱۴(۴)، ۵۳۹-۵۶۴، https://doi:10.22059/IMJ.2022.336855.100791.

تابش،م.، علی باریانی، ا.، متولیان، س.، روزبهانی، ع.، و بیگی، س.، (۱۳۹۶)، "رتبه بندی راهبردهای مدیریت مصرف آب در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از روش چند شاخصه تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) مورد مطالعه شهر تهران"، *مهندسی عمران امیرکبیر*، ۴۹(۱)، ۴۷-۵۵، https://doi: 10.22060/ceej.2015.379.

تهامی‌پور، م.، (۱۳۹۶)، "ارزش اقتصادی، رویکردی به مدیریت تقاضای آب در مصارف صنعتی"، *آب و فاضلاب*، ۲۸(۱)، ۷۴-۸۳، https://doi.org/10.22093/wwj.2017.39476.

حبیبی، ا.، ایزدیار، س.، و سرافراز، ا.، (۱۳۹۳)، *تصمیم‌گیری چند معیاره فازی*، پارس مدیر، ۳۲.

Cheng, C.H., and Lin, Y., (2002), "Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation", *European Journal of Operational Research*, 142(1), 174-186, https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00280-6.

Chen, T., (2000), "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9, https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1.

https://doi.10.22034/IJHCUM.2021.03.02.
Powell, C., (2003), "The Delphi technique: Myths and realities", *Journal of Advanced Nursing*, 41(4), 376-382, https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2003.02537.
Rondine, D., and Sarmiento, J., (2020), "Water: Consumption, usage patterns, and residential infrastructure, A comparative analysis of three regions in the Lima metropolitan area", *Water International*, 45(7), 1-7, https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1830360.
Salehi, M., (2022), "Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis", *Environment International*, 158(1), 106936, https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936.
Shove, E., Chappells, H., and Van Vliet, B., (2005), *Infrastructures of consumption, Environmental innovation in the utility industries*, Routledge, London, https://doi.org/10.4324/9781849771726.
Siddiqi, A., and Anadon, L.D., (2011), "The water–energy nexus in Middle East and North Africa", *Energy Policy*, 39(8), 4529-4540, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.023.
Turoff, M., and Linstone, H.A., (2002), "The Delphi method: Techniques and applications", New Jersey: Portland State University, Institute of Technology, 145-170.
UNDP, (2012), "The millennium development goals report", United Nations Development Programme, New York, USA.
Wardak, H.A., and Abed, S. Y., (2019). "Analysis of factors affecting water consumption in Jeddah city", In *2019 Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC)*, 1-6, https://doi: 10.1109/IASEC.2019.8686495.

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

Daminato, C., Diaz-Farina, E., Filippini, M., and Padrón-Fumero, N., (2021), "The impact of smart meters on residential water consumption: Evidence from a natural experiment in the Canary Islands", *Resource and Energy Economics*, 64(3), 68-84, https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2021.101221.
Dimkić, D., (2020), "Temperature impact on drinking water consumption Jaroslav Černi water institute", *Presented at the 4th EWAS International Conference: Valuing the Water, Carbon, Ecological Footprints of Human Activities*, 2(1), 24-37, https://doi.org/10.3390/environsciproc2020002031.
Downward, S.R., and Taylor, R., (2007), "An assessment of Spain's programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería", *Journal of Environmental Manage*ment, 82(2), 277-289, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.015.
Garcia, X., Ribas, A., Llausàs, A., and Saurí, D., (2013), "Socio-demographic profiles in suburban developments, *Implications for water-related attitudes and behaviors along the Mediterranean coast", Applied Geography*, 41(5) 46-54, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.03.00.
Gómez, E., Durán, P., and Robina, R., (2020), "Analysis of consumer awareness of sustainable water consumption by the water footprint concept", *Science of the Total Environment*, 721(3), 1-43, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137743.
Jansen, A.I., (2012), "Aspects of the economics of water management in urban settings in South Africa with a focus on Cape Town", Ph.D. Dissertation, Faculty of Economics and Management Sciences, Stellenbosch University, http://hdl.handle.net/10019.1/19974.
Jorgensen, B., Graymore M., and O' Toole, K., (2009), "Household water use behavior: An integrated model", *Journal of Environmental Manage*ment, 91(1), 227-236, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.009.
Katz, D., (2016), "Undermining demand management with supply management: Moral hazard in Israeli water policies", *Water*, 8(4), 1-13, https://doi.org/10.3390/w8040159.
Lee, M., Han, H., and Willson, G., (2011), "The role of expected outcomes in the formation of behavioral intentions in the green-hotel industry", *Journal of Travel and Tourism Marketing*, 28(8), 840-855, https://doi.org/10.1080/10548408.2011.623049.
Liu, H.T., and Tsai, Y.L., (2012), "A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry", *Safety Science*, 50(4), 67-78, https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.021.
Martinez, N.A., and Canal, E, (2011), "Technological capabilities and the decision to outsource/outsource offshore R&D services", *International Business Review*, 20(3), 264-277, https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2011.01.008.
Narmilan, A., Puvanitha, N., Niroash, G., Sugirtharan, M., and Vassanthini, R., (2021), "Domestic water consumption pattern by urban households", *Capital Urban Manage*, 6(3), 225-236,

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 3, PP. 17-28, Autumn 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2024.411391.1373

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، صفحات ۱۷-۲۸، پاییز ۱۴۰۳

Research Paper

Daily Urban Water Consumption Prediction and Optimization of Pumping Station Operation Hours: A Case Study of Najaf Abad

Pedram Jazayeri[1*], Hamidreza Safavi[2], Mohamadreza Nazemizadeh[3], Mohamad Saleh Ebrahimi[4], and Alireza Rahmatpanah[5]

1- Ph.D. in Water Resources Management and Engineering, Faculty of Civil and Transportation, Isfahan University, Isfahan, Iran.
2- Professor, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3- Director of Control Systems and Energy Office, Water and Wastewater Company of Isfahan Province, Isfahan, Iran.
4- Telemetry Specialist, Water and Wastewater Company of Isfahan Province, Isfahan, Iran.
5- Head of the Building Design and Renovation Group, Water and Wastewater Company of Isfahan Province, Isfahan, Iran.
* Corresponding Author, Email: Pedram.jazayeri@yahoo.com

Received: 13/08/2023
Revised: 13/01/2024
Accepted: 15/01/2024
© IWWA

Abstract

In recent years, engineers and operators have shown a greater interest in employing optimization method and making networks smart over other costlier and time-consuming approaches such as network rehabilitation, asset management, and network equipment upgrading. In the present study, the daily water consumption in the urban water distribution network is predicted based on four input features: day of the year, day of the week, continuity of holidays, and maximum daily air temperature, using moving average methods, linear regression, some artificial intelligence methods including multilayer perceptron neural network, and radial basis function neural network. Subsequently, based on the predicted values, the optimal scheduling of pump station activation hours is determined considering the hourly consumption pattern and the water levels in the upstream and downstream reservoirs of the pumping station. This scheduling aims to reduce the electricity cost of the pumping station with the fixed speed pumps based on different electricity tariffs. The method has been applied to the Najaf Abad urban water network, resulting in a reduction of 1.2% to 13.3% in the electricity cost of the pumping station compared to the traditional operational mode due to the different time interval parameter values for pumping.

Keywords: Multi-Layer Perceptron, Radial Basis Function, Mixed Integer Linear Programming, Water Network, Pump Station.

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی آب مصرفی روزانه شهری و بهینه‌سازی ساعات کارکرد پمپ‌های ایستگاه پمپاژ، مطالعه موردی: نجف‌آباد

سید پدرام جزائری فارسانی[1*]، حمیدرضا صفوی[2]، محمدرضا ناظمی‌زاده[3]، محمدصالح ابراهیمی[4] و علیرضا رحمت‌پناه[5]

۱- فارغ‌التحصیل دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳- مدیر دفتر سیستم های کنترل و انرژی آب، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، اصفهان، ایران.
۴- کارشناس تله‌متری، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، اصفهان، ایران.
۵- رییس گروه طراحی و نوسازی ساختمان و ابنیه، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، اصفهان، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: Pedram.jazayeri@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در سال‌های اخیر مهندسین و بهره‌برداران علاقه بیشتری به استفاده از روش‌های هوشمندسازی و بهینه‌سازی شبکه‌ها در برابر سایر روش‌های پرهزینه و زمان‌بر از جمله بازسازی و نوسازی شبکه، مدیریت دارایی و تجهیز شبکه به المان‌های جدید نشان داده‌اند. در پژوهش حاضر، ابتدا براساس روش‌های میانگین متحرک و رگرسیون خطی، برخی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی از جمله شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی، میزان آب مصرفی در شبکه توزیع آب شهری براساس چهار دسته ویژگی ورودی‌های مدل از جمله شماره روز در سال، شماره روز در هفته، تداوم تعطیلی و میزان دمای هوای بیشینه روزانه پیش‌بینی می‌شود. سپس براساس مقدار پیش‌بینی شده، الگوی مصرف ساعتی و تراز آب موجود در مخزن پایین‌دست ایستگاه پمپاژ، برنامه بهینه زمان‌بندی برای ساعات روشن شدن پمپ‌های دور ثابت ایستگاه پمپاژ تعیین می‌شود تا هزینه برق مصرفی ایستگاه پمپاژ بر اساس تعرفه‌های مختلف برق، کاهش یابد. برای بررسی روش مذکور از شبکه آب شهری نجف‌آباد استفاده شده است که هزینه برق مصرفی ایستگاه پمپاژ آن با توجه به انتخاب مقدارهای مختلف برای پارامتر تناوب تغییر حالات پمپ‌ها، از ۱/۲٪ تا ۱۳/۳٪ نسبت به حالت بهره‌برداری سنتی کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی، بهینه‌سازی خطی عدد صحیح مختلط، شبکه آب، ایستگاه پمپاژ.

۱- مقدمه

امروزه در روش سنتی بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ شبکه‌های توزیع آب شهری، عملیات پمپاژ معمولاً در هنگام پر شدن مخزن بالادست و خالی شدن مخزن پایین‌دست آغاز می‌شود که این امر ممکن است منجر به مصرف بیشتر برق در ساعات پرباری شده و بار زیادی را به شبکه برق اعمال کند. با بهینه‌سازی و هوشمندسازی ایستگاه‌های پمپاژ، نیاز به دخالت انسانی و هم‌چنین مصرف برق کاهش می‌یابد. لذا نیاز است تا با به‌کارگیری روش‌های کم‌هزینه و زودبازده در جهت بهبود وضعیت بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب شهری گام برداشته و در نهایت شاخص‌های رشد و توسعه کشور در بخش شریان‌های حیاتی (از جمله شبکه‌های آب و فاضلاب) بهبود یابد.

پژوهش حاضر در دو بخش اصلی تعریف و تقسیم شده که در بخش اول (بخش هوش مصنوعی و پیش‌بینی)، با توجه به سری‌های زمانی (Time Series) مربوط به آب مصرفی روزانه در روزهای گذشته و با اعمال سایر ورودی‌های مدل‌های هوش مصنوعی، میزان آب مصرفی روزانه در روزهای آینده برای شبکه مورد مطالعه پیش‌بینی می‌شود. در این بخش از روش‌های مختلف مانند میانگین متحرک (MA[۱])، شبکه عصبی MLP[۲]، شبکه عصبی RBF[۳]، شبکه عصبی SVR[۴] و میانگین کلیه روش‌ها برای پیش‌بینی مقدار آب مصرفی روزانه استفاده شده است. سپس در بخش دوم (بخش بهینه‌سازی) و براساس میزان آب روزانه پیش‌بینی‌شده ، تراز آب در مخزن پایین‌دست ایستگاه پمپاژ و ساعات پرباری، میان‌باری و کم‌باری مصرف برق، تعداد پمپ‌های بهینه (متغیر تصمیم مسئله) که باید در هریک از تناوب‌های زمانی (۱، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ ساعته) روشن شوند، تعیین شده تا در نهایت میزان برق مصرفی ایستگاه پمپاژ کاهش یابد. شایان ذکر است از زبان برنامه‌نویسی پایتون (Python) برای کدنویسی هر دو بخش اصلی طرح حاضر، به‌دلیل سرعت بالای اجرا و همچنین دارا بودن ماژول‌های مختلف برای روش‌های هوش مصنوعی و بهینه‌سازی استفاده شده است.

در ادامه برخی از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در حوزه بهینه‌سازی، روش‌های هوش مصنوعی، پیش‌بینی و بهره‌برداری ایستگاه‌های پمپاژ بررسی می‌شود. Topali et al. (2006) در یک پژوهش، راه‌حلی برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت مصرف آب از رویکرد هوش مصنوعی به‌عنوان جایگزینی برای رویکردهای مبتنی بر رگرسیون سنتی پیشنهاد شد. نتایج نشان داد اگرچه الگوی ARIMA[۵] پیش‌بینی مناسبی ارائه می‌دهد، اما به خوبی الگوی شبکه عصبی به‌کار رفته در این مطالعه نیست. Adamowski and Karapataki (2010) طی تحقیقی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) و رگرسیون به‌منظور پیش‌بینی پیک مصرف آب شهری مقایسه شد. در پژوهش مذکور، داده‌های شش ساله پیک مصرف آب شهر نیکوزیا (Nicosia) در قبرس مورد مطالعه قرارگرفته و بیست مدل رگرسیونی چندگانه و بیست مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد که مدل شبکه مصنوعی آموزش دیده با استفاده از الگوریتم لونبرگ-مارکوات عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برای پیش‌بینی دارد. در پژوهش دیگری بابایی و همکاران (۱۳۹۶) ثابت یا متغیر بودن نحوه تزریق کلر و وضعیت دور پمپ‌ها به منظور بهینه‌سازی کیفیت آب در شبکه‌های توزیع آب بررسی شده و برای بهینه‌سازی از الگوریتم جامعه مورچگان (ACO[۶]) استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور تحلیل هیدرولیکی و کیفی از تحلیل‌های مبتنی بر تقاضا (DDSM[۷]) و مبتنی بر فشار (HDSM[۸]) استفاده شد. مقایسه نتایج نشان‌دهنده آن بود که در تحلیل HDSM، استفاده از پمپ‌های دور متغیر علاوه‌بر کاهش انرژی مصرفی در شبکه، منجر به کاهش هزینه‌های کلرزنی نیز می‌شود.

کرمی و همکاران (۱۳۹۶) هزینه انرژی مصرفی در ایستگاه‌های پمپاژ شبکه‌های توزیع آب را بهینه‌سازی (حداقل‌سازی) کردند. بدین‌منظور از دو الگوریتم ژنتیک ساده (SGA[۹]) و الگوریتم ژنتیک با آشفتگی سریع (FMGA[۱۰]) استفاده شد که بر روی یک شبکه توزیع با ۵ پمپ موازی صورت‌گرفت. قیود مسله شامل حداقل و حداکثر مقدار برای سرعت لوله‌ها و فشارهای گرهی و تعداد تغییر حالات اقتصادی پمپ‌ها برای خاموش و روشن شدن بود. مقایسه نتایج نشان داد نتایج حاصل از الگوریتم‌ها SGA و FMGA نسبت به حالت عادی بهره‌برداری پمپاژ، میزان انرژی مصرفی را به‌ترتیب ۱۵٪ و ۱۰٪ کاهش داد. محققان دیگری پارامترهای مهم در شکست لوله‌ها از جمله جنس، سن، طول، قطر لوله‌ها و فشار هیدرولیکی شبکه را بررسی کرده‌اند. مطیعی و قاسم‌نژاد (۱۳۹۶) برای تحلیل این متغیرها از ۴ مدل رگرسیونی شامل مدل‌های رگرسیونی خطی، نمایی، پواسون و لجستیک استفاده کردند تا معادله موردنیاز برای تخمین شکستگی لوله‌ها در آینده تعیین شود. مقایسه نتایج نشان‌دهنده آن بود که بهترین روش پیش‌بینی، رگرسیون لجستیک بوده که با دقت قابل‌قبولی حوادث آینده را پیش‌بینی می‌کند.

درمطالعه دیگری، امکان احیای انرژی در ۸ شبکه توزیع آب روستایی در کشور ایرلند توسط Fernández García et al. (2019) بررسی شد. در روش پیشنهادی دو سناریو بررسی شد. در

سناریوی اول، کاهش فشار از طریق تعویض PRVs[11] (که درحال سرویس‌دهی بوده) با PATs[12] انجام شد و در سناریوی دوم، براساس ترازهای ارتفاعی و دبی، مکان‌های جدید برای قراردادن PATs در مناطق دارای فشار اضافی پیشنهاد شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که انرژی برقابی تولید شده می‌تواند انرژی الکتریکی مورد نیاز شبکه را در سناریوی اول و دوم به‌ترتیب ۲۱٪ و ۲۳٪ کاهش دهد. Hajgato et al. (2020) از روش یادگیری تقویتی عمیق (DRL[13]) به‌عنوان کنترل‌گرهای پمپ در دو شبکه آب استفاده نمودند. هدف این تحقیق آن بود که تعیین سرعت مناسب پمپ با استفاده از روش مذکور، محدودیت کنترل لحظه‌ای پمپ‌ها در شبکه را از بین برده شود که در نهایت موفق بودند.

شکفته و همکاران (۱۳۹۹) تعیین نواحی مجزا در شبکه‌های توزیع آب شهری را با استفاده از ترکیب تئوری گراف و روش هوش مصنوعی MLP مورد بررسی قراردادند تا بتوان بدون نیاز به دبی‌سنج، محل نشت را یافت و سرعت یافتن محدوده نشت افزایش یافت. هم‌چنین در این روش نیازی نیست تعداد گره‌های نشت از قبل عملیات نشت‌یابی مشخص باشد. در نهایت این روش، ناحیه نشت را به‌درستی پیش‌بینی نموده و حداکثر خطای تعیین مقدار نشت ۶/۵٪ بود. Pandey et al. (2021) از دو روش ترکیبی جدید برای پیش‌بینی تقاضای آبی ماهانه و ساعتی استفاده نمودند. روش اول ترکیبی از تجزیه حالت تجربی مجموعه (EEMD[14]) و پیش‌بینی توالی الگوی تفاوت (DPSF[15]) بود. روش دوم نیز ترکیبی از EEMD، DPSF و میانگین متحرک یکپارچه شده اتورگرسیونی (ARIMA) بود. عملکرد روش‌ها با استفاده از خطاهای RMSE[16]، MAE[17] و MAPE[18] بررسی و نتایج حاصل از دو روش ترکیبی با نتایج حاصل از روش‌های ARIMA، DPSF و مدل‌های هوش مصنوعی مقایسه شد. روش ترکیبی اول در مقایسه با سایر روش‌ها از لحاظ پایداری و پیچیدگی‌های محاسباتی و حافظه بهتر بود. هم‌چنین، در روش ترکیبی اول نسبت به روش ترکیبی دوم نتایج بهتری حاصل شد. در حالی‌که روش دوم، زمان محاسباتی کمتری دارد. دینی و همکاران (۱۴۰۰) تنظیم بهینه تعداد و سرعت پمپ‌های موجود در شبکه توزیع آب را بررسی کردند تا در نهایت کارایی هیدرولیکی شبکه بیشینه شود. بدین منظور ۴ سناریو بر روی شبکه آب مورد مطالعه بررسی شد. این سناریوها شامل وضعیت موجود شبکه با پمپ‌های سرعت ثابت، تنظیم بهینه سرعت برای پمپ‌های دور متغیر، تعیین تعداد بهینه پمپ‌های با سرعت ثابت و تنظیم بهینه هم‌زمان تعداد و سرعت برای پمپ‌های دور متغیر بود. مقایسه نتایج نشان‌دهنده آن بود که بیشترین مقدار برای شاخص قابلیت اطمینان (افزایش تا ۶۶/۲٪) و کمترین میزان نشت (کاهش تا ۲۳/۵۳٪) در سناریوهای دوم و چهارم رخ می‌دهد. هم‌چنین سناریوی چهارم نسبت به دوم، دارای کاهش ۱۳/۶٪ در تعداد پمپ‌های روشن بود که منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شود.

نصراللهی و همکاران (۱۴۰۰) بهینه‌سازی هم‌زمان فشار و انرژی در شبکه توزیع آب بهارستان، اصفهان را انجام دادند. کاهش فشار منجر به کاهش هدررفت شبکه توزیع شده ولی می‌تواند باعث افزایش استفاده از سیستم‌های تقویت فشار آب خانگی شود که در نهایت میزان انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که فشار بهینه ۴۸ متر ستون آب بوده در حالی‌که اگر فشار ۴۱ متر ستون آب شود هزینه‌های فشار و انرژی با هم برابر می‌شود. Alharsha et al. (2022) متوسط مصرف سرانه آب در شهر سیرت (Sirte) در لیبی را بررسی کردند که این مقدار برابر با ۲۲۵ لیتر بر روز برای هر نفر بود. این مقدار با افزایش اندازه خانواده‌ها، کاهش‌یافت ولی درآمد خانواده تأثیری در متوسط مصرف سرانه آب نداشت. هم‌چنین الگوی مصرف ساعتی در این شهر با الگوی شهرهای کشورهای توسعه‌یافته متفاوت بود و دارای چند قله (پیک مصرف) بود. در این تحقیق، برای پیش‌بینی آب مصرفی روزانه آتی، از سه مدل آماری بر مبنای روش رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. مقایسه مدل‌ها نشان‌داد که مدل‌هایی که برمبنای پارامترهای جمعیت‌شناسی (Demographic) بوده نتایج قابل‌قبولی ارائه می‌دهند. در حالی‌که اضافه‌نمودن متغیرهای بیشتری مثل متغیرهای مربوط به خانواده‌ها، لزوماً دقت پیش‌بینی را افزایش نمی‌دهد.

Banset et al. (2023) با درنظر گرفتن شرایط واقعی‌تر برای نشت در چهار شبکه آب، پیچیدگی‌های مربوط به هریک از حالات را بررسی کردند. آن‌ها از برخی روش‌های یادگیری ماشین (Machine Learning) از جمله روش MLP و روش CNN[19] استفاده نموده و فشار و دبی به‌عنوان ورودی‌های این روش‌ها اعمال شدند. بررسی نتایج برای تعیین نقاط نشت با استفاده از شرایط پیچیده‌تر و نزدیک به هیدرولیک حاکم بر آن نشان‌دهنده آن بود که استفاده از روش‌های مذکور دقت خوبی در تعیین نشت دارند. Rapp et al. (2023) استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در میان ۴۹ شرکت توزیع آب در کشور آمریکا را بررسی کرده و دریافتند که از بین تمام آن‌ها، تنها ۲۴ شرکت از روش‌های هوش مصنوعی برای مدیریت و بهره‌برداری شبکه‌های آب استفاده نموده و بقیه شرکت‌ها قصد داشته تا در چشم‌انداز ۵ ساله از این روش‌ها استفاده نمایند. این روش‌ها به‌منظور مدیریت کیفی شبکه،

شناسایی نشت و هوشمندسازی شبکه‌ها مورد استفاده قرارگرفته بود.

نوآوری تحقیق حاضر در آن است که توامان و به‌صورت یک‌جا از روش‌های هوش مصنوعی و بهینه‌سازی استفاده شده تا میزان برق مصرفی عملیات پمپاژ کاهش یابد. به‌دلیل پیاده‌سازی و اجرای روش مذکور بر روی شبکه توزیع آب شهری نجف‌آباد و سپس بررسی نتایج و با توجه به محدودیت‌های اقتصادی منطقه برای تأمین پمپ‌های دور متغیر، لذا بهینه‌سازی بر روی پمپ‌های دور ثابت موجود انجام شد که در نهایت نیز منجر به کاهش میزان برق مصرفی شد. از دیگر نوآوری‌های تحقیق حاضر می‌توان به این مورد اشاره کرد که در ورودی‌های مدل‌های هوش مصنوعی علاوه‌بر دسته ویژگی دمای حداکثر روزانه ، ۳ دسته ویژگی دیگر از جمله روز در سال، روز در هفته و تداوم تعطیلی برای روزها درنظر گرفته شده که پیش‌بینی با تعداد دسته ورودی بیشتری (۴ دسته ورودی) صورت‌گرفته و در نهایت به پیش‌بینی دقیق‌تری منجر شود. هم‌چنین، بهره‌بردار شبکه این امکان را دارد که به‌منظور بهینه‌سازی عملیات پمپاژ در طی ۲۴ ساعات شبانه‌روز، براساس انتخاب مقدار دلخواه برای پارامتر تناوب تغییر حالات پمپ‌ها (مثلاً ۱، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ ساعته) تعیین کند تعداد پمپ‌های بهینه که مدل بهینه‌ساز باید پیشنهاد دهد با چه تناوبی انجام شود (به بیان دیگر چند ساعت یک‌بار براساس بهینه‌سازی خاموش و روشن شوند). شایان ذکر است که هرچند انتخاب پارامتر تناوب تغییر حالات پمپ‌ها روی میزان برق مصرفی پمپاژ اثر می‌گذارد، ولی در نهایت همه جواب‌ها به‌صورت بهینه ارائه می‌شوند.

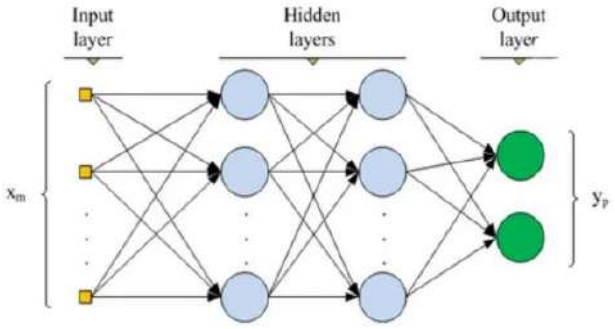
پس از آن‌که میزان آب مصرفی روزانه آتی برای کل شبکه آب مورد مطالعه پیش‌بینی شد، برنامه کدنویسی‌شده به بهره‌بردار این امکان را می‌دهد که مقدار پیش‌بینی‌شده‌ای که قرار است در بخش بهینه‌سازی از آن استفاده شود را از بین مقادیر موجود انتخاب نماید. هم‌چنین براساس میزان خطا و دقت روش پیش‌بینی، به بهره‌بردار پیشنهاد می‌دهد که کدام‌یک از مقادیر پیش‌بینی شده مناسب‌تر بوده ولی انتخاب مقدار نهایی از میان مقادیر موجود براساس صلاحدید بهره‌بردار صورت می‌گیرد.

به‌علاوه، برنامه کدنویسی‌شده به نحوی انجام شده است که قابلیت اجرا و پیاده‌سازی بر روی هر ایستگاه پمپاژی (با پمپ‌های تیپ) که قرار است آب را بین دو مخزن انتقال دهد، دارد. از دیگر مزایای روش پیشنهادی آن است که برای پیاده‌سازی آن نیاز به سخت‌افزار یا پیاده‌سازی المان هیدرولیکی یا مکانیکی خاصی در شبکه نبوده و با استفاده از سامانه تله‌متری (Telemetry) موجود در شرکت‌های آب و فاضلاب، قابلیت اجرا وجود داشته و به‌طور کلی، برنامه تعمیم‌پذیری خوبی برای سایر شبکه‌ها دارد. هم‌چنین، در هر ساعت از شبانه‌روز و براساس مقادیر آب مصرفی ساعتی و تراز آب در مخزن در لحظه شروع، برنامه قادر است برنامه بهینه زمان‌بندی پمپاژ را ارائه دهد. ضمنا با اتمام هر روز و با توجه به آب پمپاژ شده، میزان مصرف مشترکین نیز در پایگاه داده ثبت‌شده که در نتیجه بر تعداد داده‌های ورودی برای مدل‌های هوش مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی افزوده شده و در نهایت دقت مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی افزایش می‌یابد.

۲- مواد و روش‌ها

همان‌گونه که ذکر شد در سال‌های اخیر از روش‌های هوشمندسازی و بهینه‌سازی بیش از پیش در شبکه‌های توزیع آب شهری استفاده شده است. در این بخش، ابتدا روش‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این تحقیق شامل MLP، RBF و SVR و روش میانگین متحرک معرفی و سپس مدل بهینه‌سازی مورد استفاده شرح داده می‌شود.

در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، ساختار مغز انسان و ارتباط بین سلول‌های عصبی آن به‌صورت ریاضی مدل‌سازی شده که این مدل با الهام گرفتن از پدیده یادگیری مغز، آموزش دیده و وزن‌های موجود در مدل ریاضی شبکه عصبی مصنوعی تنظیم می‌شوند. در شکل ۱، یک نمونه ساده از ساختار شبکه عصبی مصنوعی با لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی نمایش داده‌شده است.

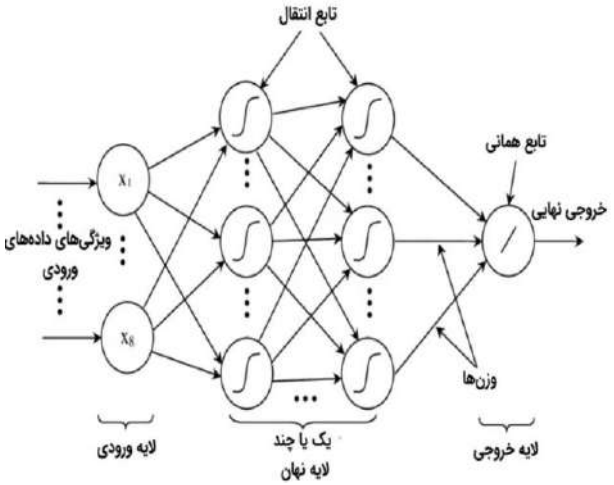


شکل ۱- یک نمونه ساده از ساختار شبکه عصبی مصنوعی

۲-۱- روش MLP

یکی از ابتدایی‌ترین مدل‌های عصبی موجود، مدل پرسپترون چند لایه است که در این روش هر یک از سلول‌های عصبی مغز انسان (نورون) پس از دریافت ورودی (از یک سلول عصبی یا

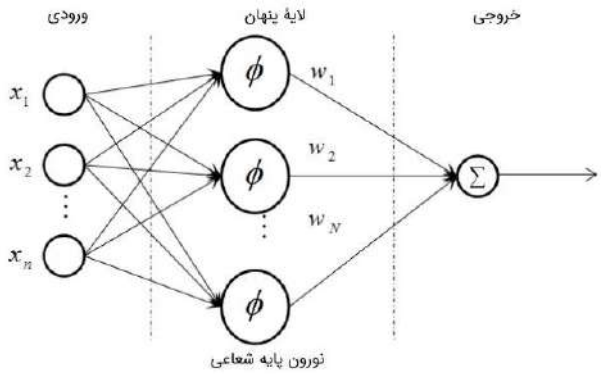
غیرعصبی دیگر)، پردازشی روی آن انجام‌داده و نتیجه را به یک سلول دیگر (عصبی یا غیرعصبی) انتقال می‌دهند. در شکل ۲ یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه ارائه شده است. در تمامی الگوریتم‌های یادگیری نظارت‌شده (Supervised Learning Algorithms) از جمله روش MLP، خروجی واقعی داده آموزشی از پیش مشخص شده است. به این خروجی‌ها، خروجی مورد انتظار نیز گفته می‌شود. از خروجی‌های مورد انتظار برای سنجش عملکرد سیستم شبکه عصبی استفاده می‌شود. براساس اختلاف مقادیر خروجی مورد انتظار و خروجی پیش‌بینی‌شده، مقدار خطا شبکه عصبی پرسپترون چند لایه محاسبه می‌شود. از مقدار زیان محاسبه‌شده، برای الگوریتم پس انتشار خطا در شبکه پرسپترون و به‌روزرسانی وزن‌ها استفاده می‌شود (Gardner and Dorling, 1998).



شکل ۲- شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

۲-۲- روش RBF

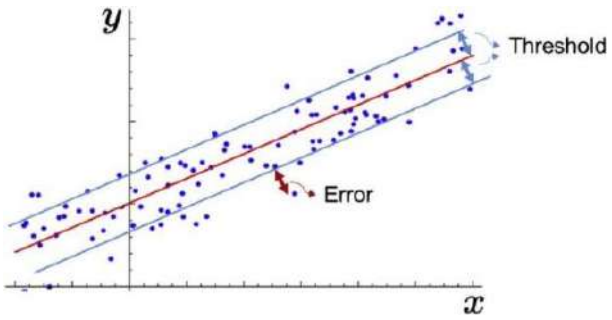
نوع دیگری از شبکه‌های عصبی وجود دارند که در آن‌ها، واحدهای پردازنده از نظر پردازشی بر موقعیت خاصی متمرکز بوده که این تمرکز از طریق توابع شعاعی مدل‌سازی می‌شود. از نظر ساختار کلی، شبکه‌های عصبی RBF تفاوت چندانی با شبکه‌های MLP نداشته و صرفا نوع پردازشی که نورون‌ها روی ورودهای‌شان انجام می‌دهند، متفاوت است. با این‌حال، شبکه‌های RBF غالباً دارای فرایند یادگیری و آماده‌سازی سریع‌تری هستند. در واقع، به‌دلیل تمرکز نورون‌ها بر محدوده عملکردی خاص، کار تنظیم آن‌ها راحت‌تر خواهد بود (Buhmann, 2000). در شکل ۳، مثالی از یک شبکه عصبی RBF ارائه شده است. در این شکل، مقادیر x ورودی‌های مدل بوده که براساس تابع شعاعی $\emptyset$ پردازش بر روی ورودی‌ها صورت گرفته و با تنظیم وزن‌ها (w)، در نهایت بهترین خروجی (مقدار پیش‌بینی‌شده) حاصل می‌شود.



شکل ۳- یک مثال برای شبکه از RBF

۲-۳- رگرسیون غیرخطی با استفاده از SVR

دسته‌ای از مدل‌های رگرسیون به‌نام رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) وجود دارد که در آن می‌توان مدل‌های خطی و غیرخطی را ایجاد و پارامترهای آن را محاسبه کرد. این کار توسط به‌کارگیری یک تابع هسته‌ای غیرخطی (مشابه کرنل در شبکه‌های RBF) حاصل می‌شود. محاسبه پارامترهای این تابع به این شکل است که خطا کمینه شده به طوری که فاصله بین صفحاتی که عمل جداسازی بین دسته‌ها را ایجاد می‌کنند، بیشینه شود (Smola and Schölkopf, 2004). در شکل ۴ نمونه‌ای از شبکه‌های SVR ارائه شده است. هم‌چنین از روش رگرسیون خطی ساده (برازش درجه اول) نیز برای پیش‌بینی استفاده شده است.



شکل ۴- نمونه‌ای از مدل رگرسیون بردار پشتیبان

۲-۴- میانگین متحرک(MA)

در علم آمار، میانگین متحرک به محاسباتی گفته شده که برای تجزیه و تحلیل نقاط داده به‌وسیله میانگین‌گیری زیرمجموعه‌های مختلفی از کل مجموعه داده انجام می‌شود. به بیان دیگر مقدار میانگین برای تعدادی از اعداد است به‌نحوی که با گذر زمان، بازه انتخابی برای محاسبه مقدار میانگین تغییر می‌یابد (Hansun, 2013). در پژوهش حاضر، از میانگین متحرک ساده با دوره تناوب ۳ و ۷ استفاده شده است. زمانی‌که مقدار

مصرف آب روزانه آتی برای روز موردنظر پیش‌بینی شد، نیاز است تا این مقدار در بخش بهینه‌سازی استفاده شود. بدین منظور در ادامه، مدل بهینه مورد استفاده برای بهینه‌سازی عملیات پمپاژ شرح داده می‌شود.

۲-۵- بهینه‌سازی با استفاده از بهینه‌سازی خطی عدد صحیح مختلط (MILP[۲۰])

در بخش بهینه‌سازی تلاش می‌شود که مدل بهینه‌ساز با توجه به ساعتی که قرار است بهینه‌سازی از آن ساعت به بعد انجام شود (می‌تواند بهینه‌سازی لزوماً در ابتدای روز و در ساعت ۰۰:۰۰ صورت نگیرد)، حتی‌الامکان از روشن‌شدن همه یا تعداد بیشتری از پمپ‌ها در ساعات پرباری مصرف برق اجتناب شده و در ساعات میان‌باری و کم‌باری روشن شوند تا میزان برق مصرفی نهایی کاهش‌یافته و درنتیجه هزینه‌های آن نیز کاهش یابد. برنامه بهینه زمان‌بندی پمپاژ در هر ساعات از شبانه‌روز و با هر میزان آب موجود در مخازن صورت‌گرفته و جواب بهینه توسط مدل بهینه‌سازی تعیین می‌شود. در این تحقیق، به‌دلیل آن‌که امکان اجرا و استفاده از پمپ‌های دور متغیر به‌دلیل محدودیت مالی نبود، برنامه بهینه زمان‌بندی ایستگاه پمپاژ برای پمپ‌های با دور ثابت در حال بهره‌برداری ارائه می‌شود.

شایان ذکر است دلیل استفاده از روش بهینه‌سازی MILP برای بخش دوم تحقیق آن است که با توجه به آن‌که متغیر تصمیم مسئله تعداد پمپ‌هایی است که باید در هریک از تناوب‌های زمانی مورد نظر (۱، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ ساعته) روشن شده، از نوع متغیر گسسته (عدد صحیح) بوده و هم‌چنین سایر پارامترهای مدل از جمله تراز لحظه‌ای آب در مخازن، از نوع متغیر پیوسته هستند لذا، چون مدل مورد نظر ترکیبی از انواع متغیرهای گسسته و پیوسته بوده، از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط MILP برای بهینه‌سازی استفاده شده است. هم‌چنین برای بخش بهینه‌سازی در روش پیشنهادی، تابع هدف مدل براساس دو نیمه سال شمسی کدنویسی شده که دلیل آن تفاوت تعرفه‌های برق مصرفی برای ساعات پرباری، میان‌باری و کم‌باری است. تابع هدف مدل بهینه‌سازی، از نوع حداقل‌سازی بوده و کاهش هزینه‌های برق مصرفی مدنظر است. در ادامه، ضرایب آب مصرفی ساعتی در شبانه‌روز برای شبکه موردنظر در جدول ۱ ارائه شده و سپس مدل ریاضی بهینه‌سازی مورد استفاده برای نیمه اول سال شمسی تشریح می‌شود.

جدول ۱- ضرایب آب مصرفی ساعتی در شبانه‌روز

ساعت	۰-۱	۱-۲	۲-۳	۳-۴	۴-۵	۵-۶	۶-۷	۷-۸
ضریب مصرف	۰/۸۸	۰/۶۳	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۵۹	۰/۷۹
ساعت	۸-۹	۹-۱۰	۱۰-۱۱	۱۱-۱۲	۱۲-۱۳	۱۳-۱۴	۱۴-۱۵	۱۵-۱۶
ضریب مصرف	۰/۹۸	۱/۱۳	۱/۲۵	۱/۳	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۳	۱/۳
ساعت	۱۶-۱۷	۱۷-۱۸	۱۸-۱۹	۱۹-۲۰	۲۰-۲۱	۲۱-۲۲	۲۲-۲۳	۲۳-۲۴
ضریب مصرف	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۲۸	۱/۲۲	۱/۱۵	۱/۰۷	۰/۹۹

در ادامه، مدل بهینه‌سازی پیشنهادی به صورت روابط (۱) تا (۴) ارائه شده که در این مدل، رابطه (۱) تابع هدف مسئله و روابط (۲) تا (۴) سه قید مدل هستند.

$$O.F. = Min \left\{ \left[\left(1 * \sum_{t=0}^{7} NP_t \right) + \left(2 * \sum_{t=8}^{19} NP_t \right) + \left(4 * \sum_{t=20}^{23} NP_t \right) \right] * PP * ET \right\} \quad (۱)$$

$$Min_l \le DRL_t \le Max_l \ , \quad \forall t \in \{0,1,2,\dots,23\} \quad (۲)$$

$$RW_t \ge \left(\sum_{t=0}^{23} \frac{1}{C_t} \right) * C_t * PDW \ , \quad \forall t \in \{0,1,2,\dots,23\} \quad (۳)$$

$$DRL_t * AD = (DRL_{t-1} * AD) + (NP_t * PD) - RW_t \ , \quad \forall t \in \{1,2,\dots,24\} \quad (۴)$$

که متغیرهای NP_t، PP، ET: به‌ترتیب تعداد پمپ‌های روشن از ساعت t تا ساعت $t+1$، توان پمپ (برحسب کیلووات) و تعرفه پایه برق مصرفی برای ساعات کم‌باری، برابر با ۱۵۶ ریال به‌ازای هرکیلووات ساعت برق مصرفی هستند. مطابق با ضرایب موجود در تابع هدف، واضح است که ساعات کم‌باری از ساعت ۰۰:۰۰ تا ۰۷:۵۹ بوده، ساعات میان‌باری از ساعت ۰۸:۰۰ تا ۱۹:۵۹ و تعرفه آن برابر با ۳۱۲ ریال بوده و ساعات پرباری از ساعت ۲۰:۰۰ تا

۲۳:۵۹ بوده که تعرفه برق مصرفی آن نیز ۶۲۴ ریال است. سه دسته قیود کلی برای مدل تعریف شده است که دسته قید اول مربوط به تراز آب در مخزن پایین‌دست پمپاژ، دسته قید دوم مربوط به تأمین کامل نیاز آبی ساعتی مشترکین و دسته قید سوم مربوط به رابطه پیوستگی برای مخزن پایین‌دست ایستگاه پمپاژ است. متغیرهای Min_l و Max_l: به‌ترتیب حداقل و حداکثر تراز مجاز برای مخزن پایین‌دست هستند که به‌ترتیب برابر با ۱ متر و ۴/۵ متر منظور شده است. DRL_t: تراز آب موجود در مخزن پایین‌دست در شروع ساعت t است. متغیرهای RW_t، C_t و PDW: به‌ترتیب میزان آب اختصاص‌یافته به مشترکین از ساعت t تا ساعت $t+1$، ضرایب آب مصرف ساعتی از ساعت t تا ساعت $t+1$، (براساس جدول ۱) و میزان آب موردنیاز پیش‌بینی‌شده برای روز مذکور (مترمکعب) هستند. متغیرهای AD و PD: به‌ترتیب مساحت مخزن پایین‌دست (متر مربع) و دبی آب پمپاژ شده براساس تعداد پمپ‌های روشن (مترمکعب بر ساعت) هستند.

شایان ذکر است مدل ریاضی فوق، به‌دلیل معادلات و نامعادلات خطی، از نوع بهینه‌سازی خطی است. هم‌چنین این مدل برای کلیه ۲۴ ساعت شبانه‌روز ارائه شده، حال آن‌که بهینه‌سازی مدل مذکور و سپس شروع عملیات پمپاژ براساس برنامه بهینه پیشنهاد شده، می‌تواند در هریک از ساعت شبانه‌روز اتفاق بیفتد.

۳- مطالعه موردی

برای بررسی نتایج مدل‌های هوش مصنوعی (بخش پیش‌بینی) و مدل بهینه‌سازی، از شبکه آب شهر نجف‌آباد استفاده شده است. این شهر در ۲۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان واقع شده است. جمعیت کنونی این شهر حدود ۳۰۰،۰۰۰ نفر بوده که میزان مصرف آب روزانه کل شبکه به‌طور متوسط برابر با ۴۵،۰۰۰ مترمکعب است. در شکل ۵ محدوده مرزی شهر نجف‌آباد به‌همراه جانمایی مخازن و ایستگاه پمپاژ آن ارائه شده است.

در شکل ۵، محدوده شبکه آب شهری نجف‌آباد با خطوط خط‌چین مشکی‌رنگ تعیین شده است. این شبکه دارای ۲ مخزن به‌نام‌های مخازن ۲۰،۰۰۰ مترمکعبی پارک کوهستان و ۱۰،۰۰۰ متر مکعبی پادگان بوده که آب تحویلی به شبکه، توسط سامانه دوم آبرسانی استان به منطقه نجف‌آباد رسیده و در مخزن کوهستان دخیره می‌شود. بخشی از آب مخزن کوهستان به بخش شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی شبکه انتقال یافته و بخش دیگری از آب این مخزن، توسط ایستگاه پمپاژ آزادگان به مخزن ۱۰،۰۰۰ پادگان پمپاژ می‌شود. این ایستگاه پمپاژ دارای ۳ پمپ موازی هم‌تیپ بوده که توان اسمی هریک از پمپ‌ها ۲۰۰ کیلووات است.

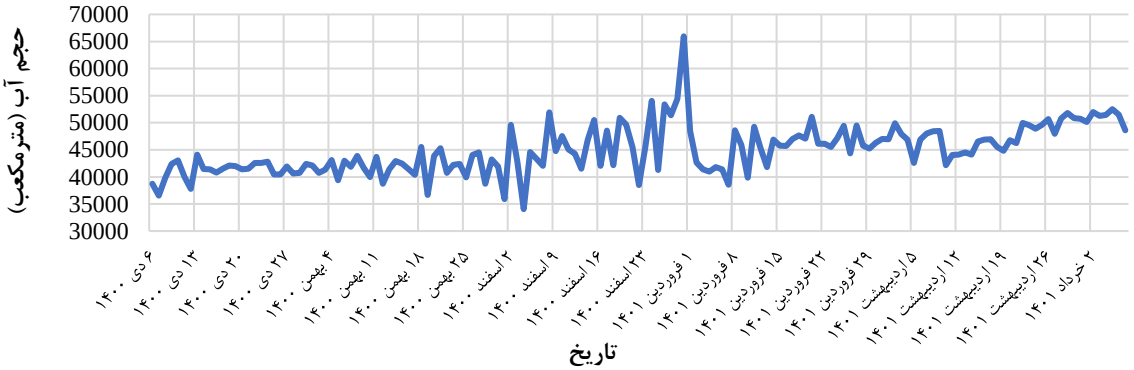
شکل ۵- محدوده مرزی شبکه آب نجف‌آباد و جانمایی المان‌های شبکه

۴- نتایج و بحث

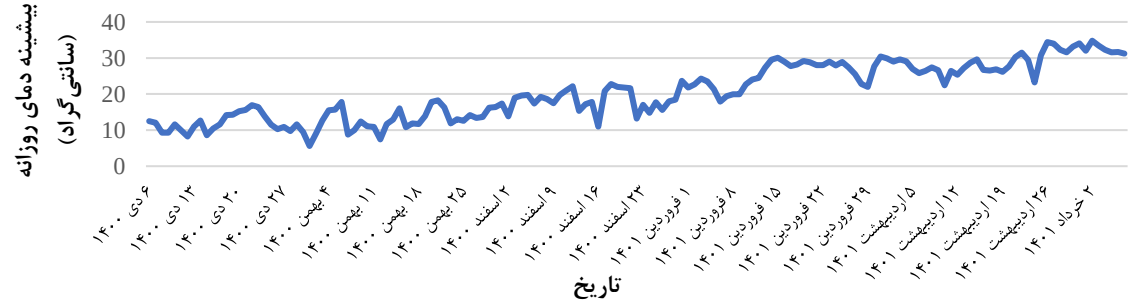
برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی استفاده شده، ۱۵۲ نمونه ورودی موجود بوده که هر نمونه ورودی دارای ۴ دسته ویژگی شامل روز در سال، روز در هفته، تداوم تعطیلی برای روز و حداکثر دمای روزانه است. در نهایت مدل هوش مصنوعی موردنظر باید بر اساس این ۴ دسته ویژگی، میزان آب مصرفی روزانه در روزهای بازه ۱۴۰۰/۱۰/۶ تا ۱۴۰۱/۳/۷ را آموزش ببینند (یادگیری نظارت‌شده). ویژگی اول برای نمونه‌ها، روز در سال بوده و بدان معنی است که هر روز در بازه زمانی فوق‌الذکر، مربوط به کدام‌یک

از ۳۶۵ (یا ۳۶۶) روز سال بوده تا بدین وسیله تقویم شمسی در میزان مصرف روزانه آب دخیل شود. ویژگی دوم، روز در هفته بوده که برای روزهای شنبه تا جمعه و در بازه فوق، عدد ۰ تا ۶ درنظر گرفته می‌شود. ویژگی سوم، تداوم تعطیلی برای روز در بازه مذکور است به‌طور مثال مقدار این ویژگی برای هر دو روزی که پشت سرهم تعطیل باشند برابر با عدد ۲ درنظر گرفته می‌شود. ویژگی چهارم، دمای هوای بیشینه روزانه بوده که ارتباط مستقیمی با میزان مصرف آب دارد. به‌طور خلاصه، مدل براساس ۱۵۲ ورودی که هریک ۴ ویژگی دارند آموزش دیده و میزان آب مصرفی روزانه را برای روزهای آتی پیش‌بینی می‌کند. از دیگر مزایای روش پیشنهادی آن است که با گذر زمان و اضافه شدن داده‌های تله‌متری، بر تعداد نمونه‌های موجود (۱۵۲) عدد اضافه شده و در نتیجه دقت روش‌های پیش‌بینی به مرور زمان افزایش می‌یابد.

مقادیر آب مصرفی روزانه برای بازه زمانی مذکور در شکل ۶ ارائه شده که میزان متوسط مصرف روزانه در این بازه، حدود ۴۴،۹۰۰ مترمکعب است. لازم‌به ذکر است متناسب با افزایش دمای بیشینه روزانه (ارائه شده در شکل ۷) میزان آب مصرفی روزانه نیز افزایش می‌یابد. این درحالی است که در تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ به‌دلیل نزدیکی به تعطیلات نوروز، میزان مصرف از روند عادی خارج شده و بیشترین میزان مصرف مربوط به این روز بوده است.



شکل ۶- مصرف روزانه آب دوره‌های گذشته (مترمکعب) در شهر نجف‌آباد



شکل ۷- مقادیر دمای بیشینه روزانه برای بازه موردنظر در شهر نجف‌آباد (برحسب سانتی‌گراد)

برای استفاده از روش‌های هوش مصنوعی مذکور، نیاز است تا پارامترهای مربوط به هریک از روش‌ها تحلیل حساسیت شوند. پس از تحلیل حساسیت در نهایت برای مسله موجود، از شبکه MLP با ۲ لایه و در لایه اول ۱۰۰ نورون و در لایه دوم ۵۰ نورون انتخاب شده و از تابع فعال‌سازی ReLu استفاده شده است. به‌علاوه، در کلیه روش‌های MLP، RBF و SVR از ۷۰٪ داده‌ها به‌عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰٪ باقی‌مانده به عنوان داده اعتبارسنجی و آزمایش استفاده شده است. در روش SVR که به‌عنوان روش رگرسیون غیرخطی برای پیش‌بینی استفاده شده، از تابع چندجمله‌ای درجه سه به‌عنوان تابع کرنل استفاده شده است. در جدول ۲ نتایج مقادیر پارامترهای آماری از جمله MSE و RMSE برای هریک از این ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای آماری MSE و RMSE برای روش‌های MLP، RBF و SVR

نام روش پیش‌بینی	Test RMSE (m^3)	Train RMSE (m^3)	Test MSE (m^6)	Train MSE (m^6)
MLP	۴،۳۱۴	۲،۷۸۴	۱۸،۶۱۶،۶۴۶	۷،۷۵۵،۵۳۳
RBF	۳،۷۷۴	۲،۹۹۴	۱۴،۲۴۵،۷۵۱	۸،۹۶۶،۰۰۴
SVR	۳،۷۲۹	۳،۶۱۰	۱۳،۹۰۶،۷۷۹	۱۳،۰۳۴،۱۷۰

مطابق با جدول ۲، برای داده‌های آموزشی (Train) میزان خطای RMSE حداقل و حداکثر به‌ترتیب برابر با ۶/۲ و ۸٪ بوده و برای داده‌های تست و اعتبارسنجی (Test) دارای مقدار حداقل و حداکثر برابر با ۸/۳ و ۹/۶٪ است. به‌طور مثال میزان خطای RMSE برای داده‌های آموزشی در روش MLP برابر با ۶/۲٪ بوده که این عدد با تقسیم ۲۷۸۴ مترمکعب (Train RMSE) بر عدد ۴۴،۹۰۰ متر مکعب (میزان متوسط مصرف سرانه در بازه زمانی ۱۴۰۰/۱۰/۶ تا ۱۴۰۱/۳/۷) به‌دست می‌آید که حاصل به‌صورت درصدی (۶/۲ ٪) بیان شده است. به‌منظور محاسبه درصد خطا برای بقیه مقادیر، میزان سایر خطاها به عدد ۴۴،۹۰۰ تقسیم می‌شوند.

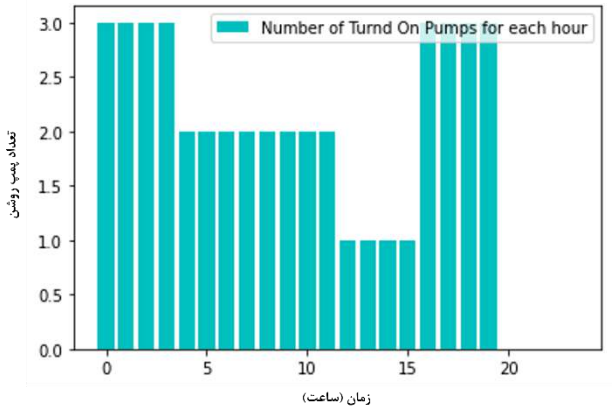
هم‌چنین از روش رگرسیون ساده (برازش با معادله درجه اول) نیز استفاده شده است. به‌علاوه، مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از روش‌های میانگین متحرک ۳ روزه و ۷ روزه به‌ترتیب بر اساس میانگین حسابی مقادیر آب مصرفی روزانه ۳ روز و ۷ روز قبل محاسبه می‌شود. به‌طور نمونه، مقدار پیش‌بینی‌شده برای روز بعد از بازه مذکور (روز یکشنبه ۱۴۰۱/۳/۸) مطابق با جدول ۳ خواهد بود.

جدول ۳- مقادیر پیش‌بینی شده مصرف آب روزانه در شبکه آب نجف‌آباد برای تاریخ ۱۴۰۱/۳/۸

نام روش پیش‌بینی	رگرسیون خطی	SVM (رگرسیون غیرخطی)	میانگین متحرک ۳ روزه (MA3)	میانگین متحرک ۷ روزه (MA7)	MLP	RBF	میانگین کلیه روش‌ها
مقدار (مترمکعب)	۴۹،۰۴۷	۴۹،۹۰۷	۵۰،۸۶۴	۵۱،۰۶۵	۴۸،۵۶۳	۴۹،۹۲۳	۴۹،۸۹۵

پس از آن‌که میزان آب مصرفی برای روز موردنظر تعیین شد، نیاز است تا از میان مقادیر موجود در جدول ۳، یک عدد با نظر بهره‌بردار انتخاب شده تا بهینه‌سازی براساس آن صورت‌گیرد. به‌طور مثال، مقدار ۴۹،۸۹۵ مترمکعب به‌عنوان مقدار انتخابی برای میزان مصرف آب در روز ۱۴۰۱/۳/۸ انتخاب شده است. حال براساس ضرایب آب مصرفی ساعتی (جدول ۱)، میزان مصرف ساعتی تعیین شده تا عملیات پمپاژ براساس آن و هم‌چنین تراز لحظه‌ای آب موجود در مخازن و با توجه به ساعات پرباری، میان‌باری و کم‌باری شروع به بهینه‌سازی نماید.

به‌منظور بهینه‌سازی، اگر ابتدای روز ۱۴۰۱/۳/۸ مدنظر بوده (ساعت ۰۰:۰۰) و نیاز باشد تا عملیات پمپاژ براساس برنامه بهینه زمان‌بندی ارائه شود، تراز لحظه‌ای آب مخزن پایین‌دست (۱۰،۰۰۰ پادگان) توسط سامانه تله‌متری دریافت‌شده و براساس آن تعداد پمپ‌های بهینه که باید در هریک از ساعات روشن باشند، ارائه می‌شود. به‌طور مثال فرض می‌شود که تراز لحظه‌ای آب در مخزن پایین‌دست، ۲ متر باشد. از طرفی به‌دلیل هزینه‌های تعمیر و نگهداری ایستگاه پمپاژ، پمپ‌ها نباید مداوم خاموش و روشن شوند. بنابراین یک پارامتر دیگر به‌نام تناوب تغییر حالت پمپ‌ها تعریف شده که بیان می‌کند در روند بهینه‌سازی، پمپ‌ها چندساعت یک‌بار اجازه تغییر حالت (از روشن به خاموش یا برعکس) را دارند. برنامه بهینه زمان‌بندی برای روز مذکور مطابق با شکل ۸ و تراز آب موجود در مخزن پایین‌دست (با توجه به شکل ۸)، در شکل ۹ ارائه شده است. در شکل ۸ ملاحظه می‌شود که پارامتر تناوب تغییر حالات پمپ‌ها ۴ ساعته انتخاب شده است.



شکل ۸- تعداد پمپ‌های بهینه برای روشن‌شدن در تمامی ساعات برای تاریخ ۱۴۰۱/۳/۸ و با تعریف پارامتر تناوب تغییر حالات ۴ ساعته پمپ‌ها (تراز آب موجود در مخزن پایین‌دست برابر با ۲ متر)

شکل ۹- تراز آب در مخزن پایین‌دست متناظر با میزان آب پمپاژشده (حاصل از شکل ۸)

با توجه به شکل ۸، از ساعت ۰۰:۰۰ تا ۰۳:۵۹ هر سه پمپ

باید روشن شوند تا نیاز مشترکین کاملاً تأمین شود. از ساعت ۰۴:۰۰ تا ۰۷:۵۹ یکی از سه پمپ خاموش شده و پمپاژ با ۲ پمپ به‌کار خود ادامه می‌دهد. حال در ساعت ۰۸:۰۰ نیاز است تا بهینه‌سازی تعیین کند که چه تعداد پمپ باید در بازه ۰۸:۰۰ تا ۱۱:۵۹ روشن باشند. از آن‌جا که تعداد پمپ‌ها همان ۲ عدد است. بنابراین در این بازه زمانی نیز تغییر حالتی اتفاق نمی‌افتد. از ساعت ۱۲:۰۰ تا ۱۵:۵۹ یک پمپ دیگر خاموش شده و عملیات پمپاژ تنها با یک پمپ ادامه می‌یابد. رأس ساعت ۱۶:۰۰ (جزء ساعات پرمصرف آب در شبانه‌روز)، نیاز است تا دو پمپ دیگر روشن شده و عملیات پمپاژ با هر سه پمپ ادامه یابد. رأس ساعت ۲۰:۰۰، با توجه به آن‌که تراز آب در مخزن پایین‌دست (شکل ۹) در حال کاهش است، بهینه‌سازی تعیین کرده که نیاز نیست هیچ پمپی روشن شود و باید نیاز مشترکین فقط از آب موجود در مخزن تأمین شود. بدین‌ترتیب از ساعت ۲۰:۰۰ تا ۲۳:۵۹ تراز آب با توجه به مصرف مشترکین، کاهش‌یافته ولی هم‌چنان کمتر از تراز مجاز حداقل (۱ متر) نشده است که دسته قید دوم مدل بهینه‌ساز نیز ارضا شده است. هنگامی‌که روز ۱۴۰۱/۳/۸ تمام شود مجدداً برنامه تهیه‌شده در ابتدای روز بعد (رأس ساعت ۰۰:۰۰ روز ۱۴۰۱/۳/۹) اقدام به بهینه‌سازی برای آن روز نموده و برنامه بهینه زمان‌بندی جدید ارائه می‌شود. شروع بهینه‌سازی می‌تواند در هریک از ساعات دیگر شبانه‌روز و با هر تراز آب مخزن پایین‌دست دیگری نیز صورت پذیرد. شایان ذکر است که هزینه برق مصرفی ایستگاه پمپاژ آزادگان برای بازه مذکور ۱۵۲ روزه براساس قبوض صادر شده برابر با ۳۸۲،۴۱۶،۰۹۰ ریال بوده است. در جدول ۴، میزان هزینه برق مصرفی عملیات پمپاژ و میزان بهبود آن با استفاده از بهینه‌سازی MILP نسبت به حالت بهره‌برداری سنتی ارائه شده است.

جدول ۴- بهبود هزینه برق مصرفی ایستگاه پمپاژ نجف‌آباد نسبت به حالت بهره‌برداری سنتی انجام شده در بازه ۱۵۲ روزه مذکور

پارامتر تناوب تغییر حالت پمپ‌ها	۱ ساعته	۲ ساعته	۳ ساعته	۴ ساعته	۶ ساعته	۸ ساعته
میزان بهبود	٪ ۱/۲	٪ ۴/۹	٪ ۶/۳	٪ ۷/۷	٪ ۹/۲	٪ ۱۳/۳
هزینه نهایی برق مصرفی (ریال)	۳۷۷،۸۲۷،۰۹۶	۳۶۳،۶۷۷،۷۰۱	۳۵۸،۳۲۳،۸۷۶	۳۵۲،۹۷۰،۰۵۱	۳۴۷،۲۳۳،۸۰۹	۳۳۱،۵۵۴،۷۵۰

۵- نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر پیش‌بینی آب مصرفی روزانه در شبکه‌های توزیع آب شهری براساس برخی روش‌های هوش مصنوعی، رگرسیون و میانگین متحرک ساده بود تا براساس مقدار پیش‌بینی‌شده، بهینه‌سازی برنامه زمان‌بندی پمپاژ صورت‌گرفته و در نهایت هزینه‌های برق مصرفی عملیات پمپاژ کاهش یابد. بدین‌منظور از شبکه آب شهری نجف‌آباد برای بررسی نتایج استفاده شد. براساس صلاحدید و انتخاب بهره‌بردار شبکه، می‌توان پارامتر تغییر تناوب پمپ‌ها را از ۴ ساعته به ۱، ۲، ۳، ۶، ۸، ۱۲ و یا ۲۴ ساعت تغییر داد. مقایسه نتایج نشان داد که هرچه مقدار این پارامتر کاهش یابد هزینه‌های تعمیر و نگهداری پمپ‌ها به‌دلیل خاموش و روشن شدن‌های مکرر در گام‌های زمانی کوتاه افزایش یافته ولی هزینه‌های برق مصرفی پمپاژ کاهش می‌یابد. این درحالی است که هرچه مقدار این پارامتر افزایش یابد هزینه‌های تعمیر و نگهداری پمپ‌ها کاهش یافته ولی هزینه‌های برق مصرفی پمپاژ افزایش می‌یابد. بنابراین، باید با انتخاب مقدار مناسب برای این پارامتر، تعادلی بین هزینه‌های تعمیر و نگهداری با هزینه‌های برق مصرفی پمپاژ برقرار شود که تعیین آن برعهده بهره‌بردار بوده ولی مقدار ۴ ساعت یا ۶ ساعت با توجه به کاهش قابل‌قبول هزینه برق مصرفی و هم‌چنین انتخاب گام زمانی مناسب برای بهبود هزینه‌های تعمیر و نگهداری پمپاژ، توصیه می‌شود.

به‌علاوه، برنامه این قابلیت را دارد که پس از انجام عملیات پیش‌بینی، براساس مقادیر پارامترهای RMSE و MSE حاصل از پیش‌بینی، به‌صورت هوشمند به بهره‌بردار پیشنهاد دهد که از میان روش‌های موجود، کدام روش دقت بیشتری داشته تا بهره‌بردار یک مقدار را برای بخش بهینه‌سازی انتخاب نماید. شایان ذکر است در حالی‌که نتایج بهینه‌سازی برای برنامه‌ریزی پمپ‌های دور متغیر نسبت به پمپ‌های دور ثابت منجر به هزینه‌های کمتر انرژی مصرفی می‌شود ولی در این تحقیق با انتخاب مدل بهینه‌سازی مناسب، هزینه‌های انرژی مصرفی پمپاژ براساس انتخاب مقدارهای مختلف برای پارامتر تناوب تغییر حالات پمپ‌ها، از ۱/۲ تا ۱۳/۳٪ کاهش یافت که مقدار قابل‌توجهی برای کاهش هزینه‌های برق مصرفی در ایستگاه‌های پمپاژ شبکه‌های آب شهری با پمپ‌های دور ثابت است.

۶- قدردانی

بدین‌وسیله از جناب آقایان مهندس حسین اکبریان، مهندس کاظم جعفری، مهندس سید محسن صالح، سرکار خانم مهندس زهره صهبایی، آقایان مهندس یونس کاظمی و مهندس سیاوش زندی و خانم دکتر سمانه کارگر کمال تشکر را داریم.

۷- پی‌نوشت‌ها

1- Moving Average
2- Multi Layer Perceptron
3- Raial Basis Function
4- Support Vector Regression
5- Auto Regressive Integrated Moving Average
6- Ant Colony Optimization
7- Demand Driven Simulation Method
8- Head Driven Simulation Method
9- Simple Genetic Algorithm
10- Fast Messy Genetic Algorithm
11- Pressure Reducing Valves
12- Pump as Turbines
13- Deep Reinforcement Learning
14- Ensemble Empirical Mode Decomposition
15- Difference Pattern Sequence Forecasting
16- Root Mean Square Error
17- Mean Absolute Error
18- Mean Percentage Absolute Error
19- Convolutional Neural Network
20- Mixed Integer Linear Programming

۸- مراجع

بابایی، ن.، تابش، م.، و نظیف، س.، (۱۳۹۶)، "بهینه‌سازی کیفیت آب در شبکه‌های توزیع بر اساس وضعیت دور پمپ، نحوه تزریق کلر و نوع روش تحلیل "، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۸(۲)، ۵۵-۶۴، https://doi.org./10.22093/wwj.2017.16401.

دینی، م.، همتی، م.، و هاشمی، س.، (۱۴۰۰)، "بیشینه‌سازی کارایی هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر خمام با برنامه‌ریزی بهینه تعداد و سرعت پمپ‌ها"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۲(۶)، ۳۶-۴۷، https://doi.org./10.22093/wwj.2021.275013.3118.

شکفته، م.ر.، جلیلی قاضی‌زاده، م.ر.، و یزدی، ج.، (۱۳۹۹)، "تئوری شناسایی محدوده‌ی نشت در نواحی مجزای شبکه‌های توزیع آب با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی"، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۶(۳)، ۴۷-۶۲، https://www.iwrr.ir/article_108525.html?lang=fa.

کرمی، ج.، مقدم، ع.، فرید حسینی، ع.، ثنایی نژاد، ح.، و ضیایی، ع.ن.، (۱۳۹۶)، " بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از ابزار Darwin Scheduler"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۲(۱)، ۳-۱۲، https://doi.org./10.22112/JWWSE.2017.87910.1006.

مطیعی، ه.، و قاسم‌نژاد، س.، (۱۳۹۶)، "کاربرد وتوسعه مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی میزان شکست لوله‌های شبکه توزیع آب شهری، مورد مطالعاتی ناحیه یک منطقه یک تهران"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۲(۲)، ۴۸-۵۸، https://doi.org./10.22112/jwwse.2017.89374.1024.

نصراللهی، ح.، صفایی بروجنی، ر.، و صالح، س.م.ح.، (۱۴۰۰)، "بهینه‌سازی فشار-انرژی در شبکه توزیع آب (مطالعه موردی: شهر بهارستان اصفهان)"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۶(۴)، ۳۲-۴۴، https://doi.org./10.22112/jwwse.2021.277877.1264.

Adamowski, J., and Karapataki, C., (2010), "Comparison of multivariate regression and artificial neural networks for peak urban water-demand forecasting: evaluation of different ANN learning algorithms", *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(10), 729-743, https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000245.

Alharsha, I., Memon, F.A., Farmani, R., and Hussien, W.E.A., (2022), "An investigation of domestic water consumption in Sirte, Libya", *Urban Water Journal*, 19(9), 922-944, https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2105239.

Basnet, L., Brill, D., Ranjithan, R., and Mahinthakumar, K., (2023), "Supervised Machine Learning approaches for leak localization in water distribution systems: Impact of complexities of leak characteristics", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(8), 04023032, https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6047.

Buhmann, M.D., (2000), *Radial basis functions*, Acta Numerica, Cambridge University Press, 9, 1-38, https://doi.org/10.1017/S0962492900000015.

Fernández García, I., Ferras, D., and Mc Nabola, A., (2019), "Potential of energy recovery and water saving using micro-hydropower in rural water distribution networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(3), 05019001, https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001045.

Gardner, M.W., and Dorling, S.R., (1998), "Artificial neural networks (the multilayer perceptron), A review of applications in the atmospheric sciences", *Atmospheric Environment*, 32(14-15), 2627-2636, https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00447-0.

Hajgató, G., Paál, G., and Gyires-Tóth, B., (2020), "Deep reinforcement learning for real-time optimization of pumps in water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and*

Management, 146(11), 04020079, https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001287.

Hansun, S., (2013), "A new approach of moving average method in time series analysis", In: *2013 Conference on New Media Studies (CoNMedia)*, IEEE, 1-4, https://doi.org/10.1109/CoNMedia.2013.6708545.

Pandey, P., Bokde, N.D., Dongre, S., and Gupta, R., (2021), "Hybrid models for water demand forecasting", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(2), 04020106, https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001331.

Rapp, A.H., Capener, A.M., and Sowby, R.B., (2023), "Adoption of Artificial Intelligence in drinking water operations: A survey of progress in the United States", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(7), 06023002, https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-5870.

Smola, A.J., and Schölkopf, B., (2004), "A tutorial on support vector regression", *Statistics and Computing*, 14, 199-222, https://doi.org/10.1023/B:STCO.0000035301.49549.88.

Topalli, A.K., Erkmen, I., and Topalli, I., (2006), "Intelligent short-term load forecasting in Turkey", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 28(7), 437-447, https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2006.02.004.

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 3, PP. 29-41, Autumn 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2024.420674.1377

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، صفحات ۲۹-۴۱، پاییز ۱۴۰۳

Research Paper

Optimizing Conditions for the Decolorization of Reactive Red 194 in Synthetic Wastewater by Native Fungus *Trametes* Species

Fatemeh Alimohammadi[1], Zahra Ghobadi Nezhad[2*] and Seyyed Mehdi Borghei[3]
1- M.Sc. Student, Environment Group, Department of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
2- Researcher, Biochemical and Bioenvironmental Research Center, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
3- Professor, Environment Group, Department of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
* Corresponding Author, Email: z.ghobadi@sharif.edu

Received: 16/10/2023
Revised: 16/12/2023
Accepted: 22/01/2024
© IWWA

Abstract

In this research, the removal of Reactive Red 194 dye from synthetic wastewater by *Trametes* species fungus through biological adsorption and enzymatic degradation was investigated, and the impact of carbon source, pH, and initial azo dye concentration on the amount of decolorization was examined. Examination of various carbon sources revealed that decolorization with glucose, due to its higher laccase enzyme activity, reached 91.29%, which is 1.5 times higher than color removal with sucrose and molasses. At pH 4, the maximum decolorization (93.57%) was observed due to the enhanced growth of the fungus. At an initial dye concentration of 50 mg/L, approximately 94% color removal was achieved, but at higher concentrations (150 mg/L), decolorization decreased by 21%, potentially attributed to increased dye toxicity and reduced laccase enzyme activity. Results indicated that under optimum conditions, 91/95% color removal occurred, with 68.15% attributed to enzymatic degradation and 23.80% to adsorption. Therefore, color removal is mainly due to the intense activity of the laccase enzyme. Additionally, COD and TOC parameters decreased by 16.85% and 19.74%, respectively, indicating a reduction in organic pollutants. Hence, *Trametes* sp. fungus proves to be an environmentally friendly and efficient method for the removal of azo dyes from synthetic wastewater.

Keywords: Biodecolourization, Azo dye, *Trametes* sp., Synthetic wastewater, Enzymatic degradation, Biosorption.

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی شرایط رنگ‌زدایی رنگ Reactive Red 194 از پساب سنتتیک توسط کپک بومی "*Trametes* species"

فاطمه علی‌محمدی[۱]، زهرا قبادی‌نژاد[۲*] و سید مهدی برقعی[۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
۲- محقق، مرکز تحقیقات بیوشیمی و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
۳- استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: z.ghobadi@sharif.edu

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در پژوهش حاضر، حذف رنگ Reactive Red194 از پساب سنتتیک توسط کپک *Trametes* species به‌روش جذب بیولوژیکی و تخریب آنزیمی مطالعه و تاثیر منبع کربن، pH و غلظت اولیه رنگ بر میزان رنگ‌زدایی بررسی شد. بررسی منابع کربنی مختلف نشان‌داد رنگ‌زدایی با گلوکز به‌دلیل فعالیت بیشتر آنزیم لاکاز، ۹۱/۲۹٪ به‌دست آمد که ۱/۵ برابر بالاتر از حذف رنگ با ساکاروز و ملاس است. در pH برابر ۴ به‌دلیل رشد بیشتر کپک، بیشترین حذف رنگ (۹۳/۵۷٪) مشاهده شد. در غلظت اولیه رنگ ۵۰ mg/L میزان رنگ‌بری حدود ۹۴٪ به‌دست آمد، ولی با افزایش غلظت رنگ در حدود ۱۵۰ mg/L رنگ‌زدایی به عدد ۲۱٪ کاهش یافت که می‌تواند به افزایش سمیت رنگ و کاهش فعالیت آنزیم لاکاز نسبت داده شود. نتایج نشان‌دادند در شرایط بهینه، ۹۱/۹۵٪ حذف رنگ به‌دست آمد که ۶۸/۱۵٪ مربوط به تخریب آنزیمی و ۲۳/۸۰٪ مربوط به جذب است. بنابراین، رنگ‌زدایی به‌دلیل فعالیت شدید آنزیم لاکاز است. هم‌چنین پارامترهای COD و TOC به‌ترتیب ۸۵/۱۶٪ و ۷۴/۱۹ ٪ کاهش یافت که نشان‌گر کاهش آلاینده‌های آلی است. از این‌رو، کپک *Trametes* sp. به‌عنوان یک روش دوستدار محیط‌زیست در حذف رنگ آزو از پساب سنتتیک کارآمد و مؤثر است.

کلمات کلیدی: رنگ‌زدایی بیولوژیکی، رنگ آزو، کپک *Trametes sp.*، پساب سنتتیک، تخریب آنزیمی، جذب بیولوژیکی.

۱- مقدمه

رنگ‌زاها به‌طور کلی به حدود بیست و پنج گروه تقسیم و براساس ساختار شیمیایی کروموفور، از یکدیگر متمایز می‌شوند. در میان گروه‌های مختلف، رنگ‌های آزو به‌طور گسترده برای رنگرزی پارچه، چاپ کاغذ، رنگرزی چرم و به‌عنوان افزودنی فراورده‌های نفتی استفاده می‌شوند. رنگ‌های آزو شامل گروه‌های الکترون-جاذب[۱] هستند که منجر به خلاء الکترونی و مقاومت رنگ در برابر تجزیه می‌شود، از این‌رو، استفاده روزافزون از تنوع گسترده‌ی رنگ‌ها در صنایع و تخلیه مستقیم پساب‌های صنعتی حاوی رنگ به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، منجر به آلودگی شدید محیط‌زیست شده است. علاوه‌بر این، بعضی از رنگ‌ها به‌عنوان آلودگی شیمیایی پایدار شناخته‌شده و باعث تأثیرات محیط‌زیستی بلندمدت از جمله تهدیدات مستقیم یا غیرمستقیم برای سلامت جانوران زنده و بروز بیماری‌های خطرناک می‌شوند (Alam et al., 2023).

رنگ‌های رهاسازی شده در محیط‌های آبی از دو جنبه اساسی در زمره آلوده‌کننده‌های مهم محسوب می‌شوند. اول آن‌که رنگ‌ها در غلظت‌های پایین قابل مشاهده هستند و جذب و بازتاب نور خورشید در آب با حضور رنگ‌ها به درستی صورت نمی‌گیرد. زیرا رنگ‌ها نور را از منطقه فوتوتروفیک محیط آبی دور می‌کنند. به‌عبارت دیگر باعث تغییرات در طبیعت محیط‌های آبی و کاهش فتوسنتز گیاهان آبزی می‌شوند. دوم آن‌که رنگ‌های آزو دارای پایه های آلی هستند که باعث افزایش اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) می‌شود و به ترکیباتی تجزیه می‌شوند که برای موجودات آبی، سمی و خطرناک است (جیحونی و طلاییان، ۱۳۹۹). مقادیر بیش از حد رنگ‌ها در آب سطوح اکسیژن را کاهش داده و فعالیت زیستی جانوران آبزی را مهار می‌کند. مقادیر عظیمی از رنگ‌ها در اقیانوس‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها رهاسازی می‌شوند که بر روی رشد جلبک‌ها تأثیر منفی می‌گذارد. زیرا پساب رنگی تعادل شیمیایی خاک را به‌هم می‌زند. علاوه‌بر این، ۶۰-۷۰٪ از رنگ‌ها سمی، سرطان‌زا و مقاوم در برابر تجزیه با استفاده از روش‌های تصفیه سنتی هستند. بنابراین برای حل این مشکل، پساب حاوی رنگ باید قبل از رهاشدن به محیط‌زیست با استفاده از روش‌های کارآمد، حذف و تجزیه شود (Lellis et al., 2019).

از روش‌های متداول برای تصفیه پساب رنگی، روش‌های فیزیکی و شیمیایی است. در حالی‌که کشورهای توسعه‌یافته به‌طور معمول از روش‌های فیزیکی-شیمیایی برای تصفیه پساب رنگی استفاده می‌کنند، این روش‌ها به‌ندرت در کشورهای درحال توسعه استفاده می‌شوند. روش‌های فیزیکی-شیمیایی[۲] شامل جاذب‌ها، منعقد کننده‌ها[۳] و روش‌های فیلتراسیون برای حذف رنگ از پساب است. جاذب‌ها، از جمله کربن فعال[۴]، کیتوزان[۵]، آلومینا[۶]، ژل سیلیکا[۷]، زئولیت[۸]، خاک رس و خاکستر ذغال سنگ معمولاً برای حذف رنگ استفاده می‌شوند. با این‌حال، یک چالش قابل‌توجه با دفع جاذب‌های جامد پس از تصفیه به‌وجود می‌آید، زیرا آن‌ها رنگ‌های سمی را در سطح خود نگه می‌دارند. به‌طور مشابه، استفاده از روش‌های شیمیایی مانند ازوناسیون[۹]، اکسیداسیون فنتون[۱۰]، اکسیداسیون الکتروشیمیایی[۱۱] و اکسیداسیون تابشی[۱۲] به‌علت هزینه‌های بالا مربوط به تابش، برق و ازن کاربرد محدودی در تصفیه پساب رنگی دارد (Sharma et al., 2021).

روش‌های بیولوژیکی به‌عنوان روش‌های کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست برای حذف نه تنها رنگ، بلکه هم‌چنین سایر آلاینده‌های آلی مضر موردتوجه قرارگرفته است. میکروارگانیسم‌هایی از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها و مخمرها قادر به رنگ‌زدایی هستند. این میکروارگانیسم‌های حاوی آنزیم‌های خارج سلولی هستند که تحت شرایط خاص برای رنگ‌زدایی و معدنی‌سازی رنگ‌های آزو به‌کار می‌رود. با آن‌که ملکول‌های رنگ تنوع بسیار زیادی در ساختارشان دارند، تنها توسط تعداد محدودی آنزیم تجزیه می‌شوند (دوست‌محمدی و گوانجی، ۱۳۹۰). قارچ‌ها به دو روش جذب فیزیکی و تجزیه آنزیمی و یا ترکیبی از دو روش قادر به حذف رنگ هستند. یک ویژگی متمایزکننده برای قارچ‌های ریسه سفید مقاومت آن‌ها به تاثیرات سمی رنگ و تجزیه رنگ‌ها به مواد غیرسمی است (Oke and Mohan, 2022). به‌طور تقریبی ۷۰ درصد از رنگ‌های راکتیو از نوع رنگ‌های آزو هستند. در شرایط بی‌هوازی اتصال آزو موجود در ساختار این رنگ‌ها (-N=N-)، تحت شرایط احیایی قرارگرفته و منجر به تشکیل آمین‌های آروماتیک بدون رنگ می‌شود. این ترکیبات آمینی، سوبسترای خوبی برای میکروارگانیسم‌های هوازی هستند و در طی یک مرحله هوازی مورد تصفیه قرار می‌گیرند (نایبی و آیتی، ۱۳۹۰).

قارچ‌های ریسه سفید قارچ‌های چتری بوده و حاوی چندین جنس مهم مانند *Trametes*، *Pleurotus*، *Phanerochaete*، *Ganoderma*، *Lentinus* و ... هستند. این قارچ‌ها می‌توانند قسمت لیگنین گیاهان چوبی را تخریب کرده و منجر به سفید شدن چوب شوند. آن‌ها آنزیم‌هایی مانند لاکاز، لیگنین پراکسیداز و منگنز پراکسیداز تولید می‌کنند که همگی در تخریب چوب و انواع مختلف رنگ‌ها مهم هستند. سویه‌های

قارچی ریسه سفید به‌دلیل تفاوت در خصوصیات فیزیولوژیکی آن‌ها، در پتانسیل رنگ‌زدایی رنگ متفاوت هستند (Zhuo and Fan, 2021). از مهم‌ترین آنزیم‌هایی که در حذف مواد رنگ‌زا موثرند، می‌توان به لاکازها اشاره کرد. لاکاز گروهی از آنزیم‌ها هستند که اکسیدازهای مس آبی نامیده می‌شوند. لاکاز از اکسیژن به‌عنوان پذیرنده الکترون استفاده کرده و کوینون تولید می‌کند و به این دلیل جزء خانواده فنل اکسیداز است. این آنزیم طیف وسیعی از سوبستراهای آلی شامل مونو، دی و پلی‌فنل‌ها، آمین‌های آروماتیک، اسیدهای کربوکسیلیک و نیز سوبستراهای غیرفنلی و غیرآلی را اکسید می‌کند. البته تمایل آن به اکسیدکردن پارا دی‌فنول بیشتر است. این آنزیم به‌علت قدرت اکسیدکنندگی ترکیبات فنلی و غیرفنلی ترکیبات لیگنین می‌تواند ترکیبات مشابه که در طبیعت بسیار سخت تجزیه‌پذیر هستند را نیز تجزیه و در حذف آلاینده‌ها نقش داشته باشد. غیر فعال‌شدن تدریجی آنزیم‌ها باعث کاهش بازده کل فرایند رنگبری می‌شود. با طراحی محیط کشت مناسب تا حدودی این مشکل برطرف می‌شود. بنابراین با بهینه‌سازی محیط کشت می‌توان تولید آنزیم را به حداکثر رساند (De Paula et al., 2022).

مکانیسم‌های جذب زیستی نقش مهمی‌در رنگ‌زدایی رنگ‌ها توسط قارچ‌های زنده دارند. برای سلول‌های مرده، تنها مکانیسم فعال، جذب بیولوژیکی است که شامل فعل و انفعالات فیزیکی-شیمیایی مانند جذب، رسوب و تبادل یونی است. اطلاعات محدودی در مورد فعل و انفعالات بین زیست توده قارچی مرده و انواع رنگ‌ها با ساختارهای مولکولی پیچیده در دسترس است. با تجزیه و تحلیل بیشتر مکانیسم جذب زیستی قارچ‌ها مشخص شده است که دیواره سلول قارچ دارای یک ساختار ماکرو مولکولی بسیار پیچیده حاوی کیتین، مانان، پروتئین، گلوکان به‌همراه لیپیدها، پلی ساکاریدها و رنگ‌دانه‌ها مانند ملانین است. اجزای مختلف دیواره سلولی قارچ در حضور گروه‌های عاملی با درجات مختلف وجود دارد که جذب زیستی را تضمین می‌کند. برای سلول‌های زنده، مکانیسم اصلی برای رنگ‌زدایی تجزیه بیولوژیکی است که به‌دلیل تولید آنزیم‌های اصلاح کننده لیگنین، لاکاز، پراکسیداز منگنز (MnP) و لیگنین پراکسیداز (LiP) است. سهم نسبی LiP، MnP و لاکاز در رنگ‌زدایی رنگ‌ها ممکن است برای هر قارچ متفاوت باشد (Khan et al., 2023).

در بیشتر تحقیقات انجام‌گرفته با روش‌های بیولوژیکی با استفاده از قارچ، استفاده از قارچ زنده برای حذف رنگ انجام شده است. Harja et al., (2022) کارایی حذف رنگ کنگورد با استفاده از زیست‌توده قارچی تازه و خشک و کربن فعال را بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان‌داد که زیست‌توده تازه نسبت به کربن‌فعال، عملکرد بهتری در حذف کنگورد از محیط آبی ارائه می‌دهد. این تحقیق نشان داد که زیست‌توده قارچی تازه یا خشک می‌تواند به‌عنوان یک روش ساده و مقرون به‌صرفه برای حذف رنگ‌های صنعتی مانند کنگورد استفاده شود و این نتایج می‌توانند در بهبود فرآیندهای حذف رنگ موثر باشند. علیشاهی و همکاران (۱۳۸۹) حذف رنگ Remozal Black 5 توسط قارچ *Trametes hirsute* را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان‌داد با گذشت زمان و افزایش زمان کشت، میزان حذف رنگ افزایش می‌یابد. هم‌چنین مشخص شد میزان حذف رنگ، توسط آنزیم‌های قارچی با افزایش غلظت رنگ کاهش می‌یابد. زیرا افزایش غلظت باعث کاهش رشد میسلیوم قارچی می‌شود که نشان‌دهنده سمیت رنگ در غلظت‌های بالای این رنگ برای قارچ مورد نظر است. قیاسی و همکاران (۱۴۰۲) در ابتدا قارچ‌های تجزیه‌کننده چوب را شناسایی و میزان حذف رنگ کوماسی بلو را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد گونه شناسایی شده در این پژوهش متعلق به جنس *Trichoderma* بوده که بیشترین فعالیت آنزیمی را در بین سویه‌های تحت بررسی از خود نشان‌داد. این سویه هم‌چنین در طی مدت زمان ۱۴ روز محیط کشت حاوی رنگ کوماسی بلو را به‌طور تقریبا کامل پاکسازی کرد (قیاسی و همکاران, ۱۴۰۲).

در پژوهش Ortiz-Monsalve et al. (2019)، توانایی قارچ *Trametes villosa* در تصفیه پساب کارخانه رنگرزی چرم در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شد. در این آزمایش سه شرایط کشت متفاوت و اکسیژن‌خواهی شیمیایی و بیولوژیکی و کربن آلی کل و سم‌زدایی زیستی پساب تصفیه شده و نشده مورد مطالعه قرارگرفت. نتایج نشان‌داد این تصفیه منجر به کاهش ۵۰-۷۰٪ رنگ می‌شود و ۴۰-۶۰٪ COD و TOC را بدون اضافه کردن مواد مغذی کاهش می‌دهد. با این‌حال، با افزایش مواد مغذی بیش از ۹۰ ٪ رنگ و ۸۰٪ کاهش COD و TOC به‌دست آمد. سنجش سمیت محیط‌زیستی با *Raphidocelis subcapitata* و *Vibrio fisheri* نشان داد که تصفیه بیولوژیکی منجر به کاهش ۵۰-۷۰٪ سم‌زدایی زیستی می‌شود. این نتایج امیدوارکننده نشان می‌دهد که *Trametes villosa* برای تصفیه پساب حاصل از رنگرزی چرم مناسب است.

با توجه به این‌که روش‌های بیولوژیکی، روش‌هایی کم‌هزینه، با سرعت نسبتا خوب و بدون تولید محصولات جانبی خطرناک بوده و هم‌چنین روش‌هایی برگرفته از عملکرد طبیعی محیط‌زیست برای تصفیه پساب‌ها و آب‌ها هستند، در این پژوهش عملکرد تصفیه و رنگ‌زدایی بیولوژیکی پساب سنتتیک رنگی با

استفاده از قارچ ریسه سفید بررسی می‌شود. براساس بررسی‌های به‌عمل آمده، تاکنون پژوهشی در مورد حذف رنگ راکتیو (ازجمله رنگ‌های گروه آزو) توسط قارچ *Trametes sp.* انجام نشده است. لذا در پژوهش حاضر، حذف رنگ، COD و TOC در پساب سنتتیک در مقیاس پایلوت آزمایشگاهی به‌منظور یافتن میزان کارایی قارچ *Trametes sp.* و هم‌چنین یافتن پارامترهای بهینه راهبری انجام می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد استفاده شده

مواد شیمیایی به‌کار رفته در این پژوهش محصول شرکت‌های Merck و Sigma است. در جدول ۱، فرمول شیمیایی مواد مورد نیاز در این تحقیق آمده است.

جدول ۱- فرمول شیمیایی موارد مورد نیاز در این تحقیق

نام ماده	فرمول / نماد شیمیایی
گوایاکول	$C_7H_8O_2$
دی فسفات آمونیوم	$(NH_4)_2HPO_4$
اوره	CH_4N_2O
گلوکز	$C_6H_{12}O_6$
ساکاروز	$C_{12}H_{22}O_{11}$
اسید سولفوریک	H_2SO_4
سولفات جیوه	$HgSO_4$
سولفات نقره	Ag_2SO_4
پتاسیم دی کرومات	$K_2Cr_2O_7$
سابورو دکستروز آگار	-
مالت اکستراکت	-
پپتون	-
ملاس	-
رنگ Reactive Red 194	$C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{16}S_5$

۲-۲- اطلاعات دستگاهی

در این پژوهش، اندازه‌گیری اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)[۱۳] برای پساب اولیه و پساب‌های تصفیه شده به‌روش کالریمتریک و با استفاده از راکتور ۲۵ خانه ای COD برند هک (Hach، آمریکا)، براساس کتاب استاندارد انجام شد (APHA, 2005). منظور از COD به‌صورت عام، COD کل است. پروتکل و محلول‌های هاضم شیمیایی مورد استفاده در استاندارد COD فوق‌الذکر که با پروتکل و مواد مورد توصیه شرکت هک برای استفاده از راکتور مذکور انطباق دارند، دارای توان اکسندگی کافی برای برآورد COD کل هستند. اندازه‌گیری کل کربن آلی (TOC)[۱۴] با دستگاه SGE ANATOC^TM SERIES II انجام شد. در این دستگاه از فرایند اکسیداسیون کاتالیتیک در حضور نور فرابنفش برای تبدیل کربن آلی به گاز دی اکسید کربن استفاده می‌شود. کاتالیست مورد استفاده در این دستگاه دی اکسید تیتانیوم است. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه مترهم (Metrohm 827 pH lab، سویس) با دقت ۰/۰۱ واحد pH استفاده شد. هم‌چنین، برای وزن‌سنجی از ترازوی آنالیتیکال آزمایشگاهی ۰/۱ هزارم FA2204 (Shanghi Yoke، چین) استفاده شد.

۲-۳- کپک و رنگ مورد استفاده

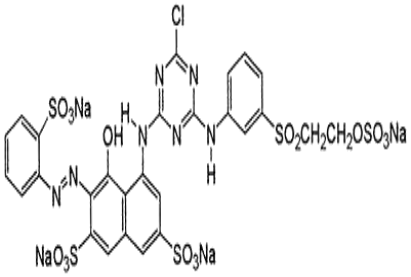
دراین پژوهش از کپک *Trametes* species M30336 خریداری‌شده از مرکز ذخایر ملی و ژنتیکی ایران استفاده شد. *Trametes* یک نوع قارچ ریسه سفید است که حدودا ۵۰ گونه دارد و تعداد زیادی از این گونه‌ها از جمله *Trametes gibbosa*، *Trametes hirsute* و *Trametes versicolor* برای کاربرد آنزیم‌های تجزیه کننده لیگنین (به ویژه لاکاز و منگنز پراکسیداز) برای علوم تحلیلی، صنعتی یا زیست‌محیطی مورد بررسی قرارگرفته‌اند. برای تکثیر قارچ مورد استفاده، از محیط کشت Potato Dextrose Agar استفاده شد. پس از کامل‌شدن دوره رشد (حدود ۱۰روز)، قارچ‌ها به‌صورت هاله‌ای سفید رنگ کل سطح محیط را در بر می‌گیرد. سپس برای شروع آزمایش، ابتدا لازم است قارچ در محیط مایع به اندازه کافی رشد کند. در این پژوهش از محیط کشت مایع Malt Extract Broth استفاده شد و ترکیبات آن در جدول ۲ ذکر شده‌است.

جدول ۲- محیط مورد استفاده به عنوان Pre-Culture

نام محیط کشت	ترکیبات	میزان مورد استفاده
MEB	پپتون و مالت اکسترکت	به‌ترتیب ۳ و ۱۷ گرم بر لیتر

نمونه‌ها پس از این مرحله به انکوباتور با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد منتقل می‌شوند و با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه حرکت می‌کنند. نمونه‌ها پس از حدود ۲۴ ساعت به رشد بهینه قابل‌قبول می‌رسند. بعد از این مدت میسیلیوم‌های قارچ به‌خوبی رشد کرده بودند و شکل کاملا کروی (Pellet) را داشتند. از این محیط برای تلقیح به پساب استفاده می‌شد. رنگ استفاده شده در این تحقیق از دسته رنگزاهای ری‌اکتیو است که از کارخانه نساجی در شهر یزد تهیه شده است. مشخصات و ساختار شیمیایی این رنگ‌زا در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳- مشخصات و ساختار شیمیایی رنگ استفاده شده

فام	کلاس شیمیایی	λ_{max} (نانومتر)	وزن مولکولی (دالتون)	نام علمی	ساختار شیمیایی
قرمز	ری‌اکتیو (آزو)	۵۱۳	۹۸۴/۲۱	C.I.Reactive Red 194	

براساس غلظت رنگ موردنظر، میزان مناسب از پودر رنگ، وزن و به ۱۰۰ میلی لیتر پساب سنتتیک آماده شده، اضافه می‌شود و سپس درب ارلن‌ها با فویل و پنبه بسته شده، در دمای۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه، در اتوکلاو قرار می‌گیرد.

۲-۴- انتخاب منبع کربن مناسب

تحقیق حاضر از نوع تجربی بوده و تعداد نمونه‌ها بر اساس فاکتورهای موثر و بهینه‌سازی فرایند محاسبه شده است. در ابتدا ۳ آزمایش با سه منبع کربن ملاس، ساکاروز و گلوکز انجام شد. مشخصات پساب سنتتیک استفاده شده در جدول ۴ نشان داده شده‌است.

جدول ۴- مشخصات پساب سینتتیک

ترکیبات	میزان مورد استفاده (میلی‌گرم بر لیتر)
ملاس/ گلوکز/ ساکاروز	۱۰۰
دی فسفات آمونیوم	۶۰
اوره	۱۴
غلظت رنگ	۵۰

پس از رشد کامل قارچ در محیط مایع، تحت شرایط استریل میزان ۱۰میلی‌لیتر از قارچها به ارلن‌های حاوی ۱۰۰میلی‌لیتر پساب رنگی اضافه و در انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۵۰ دور بر دقیقه گذاشته شد. نمونه‌گیری از محیط به‌وسیله میکروپیپت انجام و ذرات جامد احتمالی باقی مانده به وسیله سانتریفیوژ حذف شده و جذب آن در طول موج ماکزیمم رنگ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. تمام مراحل عملیات در شرایط کاملا استریل انجام شد. یک نمونه بدون رنگ نیز به‌عنوان شاهد برای آزمایشات اسپکتروفتومتری و زمان ماند ۶ روز درنظر گرفته‌شد. بنابراین در روز صفرام و روز ۶ام، میزان جذب رنگ با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و درصد حذف رنگ گزارش شد. تمامی آزمایش‌ها در دمای ۲۸ درجه سیلیسوس و pH برابر ۷ با سه بار تکرار انجام شد. نتایج براساس میانگین این تکرارها گزارش شد.

۲-۵- بهینه‌سازی غلظت رنگ و pH مناسب

به‌منظور ارزیابی اثر غلظت اولیه رنگ بر کارایی حذف رنگ Reactive Red 194 توسط قارچ ۵ آزمایش طراحی شد. ابتدا مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از توده زیستی قارچی در ۱۰۰ میلی‌لیتر از پساب رنگی با غلظت اولیه رنگ بین ۵۰-۱۵۰ mg/L (در بازهای ۲۵ mg/L) تلقیح شد و pH پساب (معادل ۴) تنظیم شد. هم‌چنین برای بررسی اثر pH، ۵ آزمایش در pH ۴ تا ۸ انجام و غلظت رنگ پساب ۵۰ mg/L درنظر گرفته شد. با استفاده از pH متر و محلول‌های سود ۰/۱ مولار و هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار pH پساب در هر آزمایش به‌مقدار مورد نظر تنظیم شد. محدوده ابتدایی و انتهایی متغیرها طوری درنظر گرفته‌شده است که احتمال قرارگرفتن حالت بهینه در آن‌ها با توجه به شرایط محیطی بالا باشد. بعد از گذشت ۶ روز نمونه‌گیری انجام و میزان تغییرات پارامتر COD, TOC و رنگ در ابتدا و انتهای آزمایش اندازه‌گیری شد.

۲-۶- اندازه‌گیری میزان جذب زیست‌توده قارچی و تجزیه بیولوژیکی آنزیمی

با به‌دست آوردن حالت بهینه، آزمایشی طراحی شد تا در غلظت رنگ و pH بهینه، میزان جذب زیست‌توده قارچی و تجزیه بیولوژیکی اندازه‌گیری شود. در این آزمایش ۲ نمونه با سه بار تکرار درنظر گرفته‌شد. در نمونه اول، برای اندازه‌گیری جذب زیستی، فلاسک‌های حاوی پساب رنگی به‌علاوه قارچ در دستگاه اتوکلاو قرارگرفت تا از عدم فعالیت آنزیمی اطمینان حاصل شود. بنابراین آن‌چه که حذف شد مربوط به جذب فیزیکی است. برای محاسبه مقدار رنگ جذب شده بیولوژیکی توسط قارچ، از دستگاه

اسپکتروفتومتر استفاده می‌شود. در زمان‌های معین، مقداری محلول از فلاسک‌ها نمونه‌برداری شده و در دستگاه سانتریفیوژ قرارگرفت. سپس مقدار جذب نمونه درطول موج ماکزیمم هر رنگ نسبت به پساب تلقیح شده بدون رنگ به‌عنوان شاهد خوانده می‌شود. میزان رنگ جذب شده از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$D = \left[\frac{(A_0 - A_t)}{A_0}\right] \times 100 \qquad (۱)$$

که A_0: بیانگر میزان جذب در روز صفرام (غلظت اولیه) و A_t: بیانگر میزان جذب رنگ در روز موردنظر هستند.

به‌منظور محاسبه میزان تجزیه بیولوژیکی صورت‌گرفته توسط آنزیم‌های ترشح شده، نمونه دوم پساب رنگی و قارچ زنده در انکوباتور قرار می‌گیرد و در زمان‌های معین از فلاسک‌ها نمونه‌برداری شده و درون دستگاه سانتریفیوژ قرار داده می‌شود. سپس میزان جذب را در طول موج ماکزیمم هر رنگ نسبت به پساب بدون رنگ به‌عنوان شاهد خوانده می‌شود. میزان جذب در رابطه (۱) قرار می‌گیرد و میزان کلی حذف رنگ (تجزیه بیولوژیکی و جذب بیولوژیکی) به‌دست می‌آید. میزان جذب رنگ توسط زیست‌توده از مقدار کلی حذف رنگ کم شده تا میزان تجزیه بیولوژیکی آنزیمی به‌دست آید.

۲-۷- اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم لاکاز

برای تایید حضور آنزیم لاکاز و تعیین میزان کارایی آن، فعالیت آنزیم اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و از طریقِ اندازه‌گیریِ میزان جذب نور در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. از محلول ۱۰ میلی مولار گوایاکول به‌عنوان شاخص استفاده شد. برای این منظور در دو لوله آزمایش تمیز ۳ میلی‌لیتر بافر استات (pH=۴/۵ با ۱۰ µm) و مقدار ۱ میلی‌لیتر از آنزیم لاکاز تولیدشده اضافه شد. به یکی از لوله‌ها ۱ میلی‌لیتر آب و به لوله دیگر ۱ میلی‌لیتر از محلول گوایاکول اضافه شد. به‌دلیل حساسیت شدید گوایاکول به هوا و نور، این مرحله باید به سرعت انجام شود. پس از مخلوط کردن مواد داخل لوله‌ها به‌کمک دستگاه ورتکس، لوله‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در انکوباتور با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

در لوله حاوی آب، در واقع واکنشی صورت نمی‌گیرد و رنگ موجود، در واقع رنگ خود آنزیم است، بنابراین این لوله به‌عنوان محلول شاهد (Blank) درنظر گرفته‌شد. در لوله دیگر، واکنشی میان آنزیم لاکاز و گوایاکول صورت می‌گیرد که موجب تولید رنگ می‌شود. پس از اتمام زمان واکنش (۱۵ دقیقه) با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر میزان جذب محلول‌های دو لوله توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری و فعالیت آنزیم لاکاز از رابطه (۲) به‌دست آمد.

$$Activity\ \left(\frac{U}{L}\right) = \frac{(A_t - A_0) \times V_{total}(ml)}{\varepsilon_{maks} \times d(cm) \times V_{enzyme}(ml) \times t(min)} \qquad (۲)$$

که $(A_t - A_0)$: تغییرات جذب نوری، V_{total}: حجم کل مخلوط واکنش، V_{enzyme}: حجم عصاره آنزیمی مورد استفاده، d: فاصله مسیر عبور نور از محلول و ε_{max}: با واحد $\frac{1}{\mathrm{M\ cm}}$ است که در این‌جا مقدار آن برابر با $\frac{1}{\mathrm{M\ cm}}$ ۲۶۶۰ است (Ghobadi Nejad et al., 2019).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- منبع کربن مناسب

بالاترین رنگ‌زدایی و تجزیه بیولوژیکی رنگ‌های آزو معمولاً از طریق متابولیسم مشترک در حضور پشتیبانی مواد غذایی اضافی مانند گلوکز و عصاره مخمر حاصل می‌شود، زیرا رنگ‌های آزو معمولاً دارای حداقل محتوای کربن هستند و تجزیه زیستی آن‌ها بدون منابع کربن یا نیتروژن دشوار است. منابع کربن به‌صورت غیرمستقیم، به‌عنوان اهداکننده الکترون برای فرآیند کاهش رنگ‌های آزو عمل می‌کنند و به جذب و رنگ‌زدایی آن‌ها کمک می‌کنند (Al-Tohamy et al., 2020). در این پژوهش اثر منابع کربن ملاس، ساکاروز و گلوکز طی ۶ روز، در دمای ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، بر میزان حذف رنگ توسط قارچ *Trametes* sp. بررسی شد نتایج در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

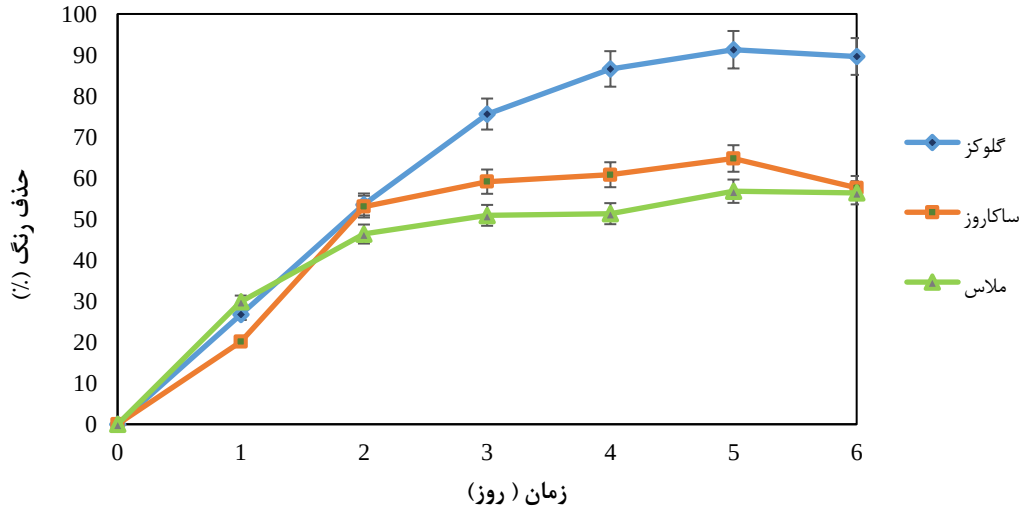
با توجه به نتایج، در حضور منبع گلوگز، فعالیت آنزیم لاکاز ۴۴/۱۱ U/mL به‌دست آمد که تقریبا ۲ برابر فعالیت آنزیم لاکاز در حضور منبع ساکاروز است (شکل ۲). هرآن‌چه میزان فعالیت آنزیم بیشتر، میزان تخریب بیولوژیکی بیشتر می‌شود که منجر به افزایش حذف رنگ می‌شود (شکل ۱). بنابراین بیشترین درصد رنگ‌زدایی پساب سنتتیک حاوی رنگ Reactive Red 194، ۹۱/۲۹ ٪ در حضور منبع گلوکز به‌دست آمد که تقریبا ۱/۵ برابر حذف رنگ در حضور منبع کربن ساکاروز و ملاس است. این نتایج منطقی است زیرا متابولیسم گلوکز راحت‌تر از سایر قندها است و به‌راحتی به‌عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه‌بر این، این فرضیه مطرح شد که وقتی گلوکز به‌عنوان منبع کربن استفاده می‌شود، میزان تشکیل نوکلئوتیدهای کاهش یافته مانند

NADH و FADH افزایش می‌یابد و وجود این واسطه‌ها که در کاهش پیوند آزو نقش دارند و برای ارتقای بازده رنگ‌زدایی ضروری هستند (Maniyam et al., 2020). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که وجود گلوکز باعث مهار ژن‌های لاکاز و در نتیجه کاهش تجزیه رنگ‌های سنتتیک می‌شود (Eskandari et al., 2019). با این‌حال، گزارش ما با این یافته‌ها در تضاد است و نشان می‌دهد که گلوکز به‌طور قابل‌توجهی فعالیت لاکاز و حذف رنگ‌های مصنوعی توسط *Trametes* sp. را افزایش می‌دهد. براساس پژوهش Riegas-Villalobos et al. (2020)، میزان حذف رنگ در سویه‌های مختلف قارچی به دلیل تفاوت در مواد مغذی، نوع آنزیم غالب تولیدی و اختلاف در مشخصات ماده رنگی، تفاوت دارد.

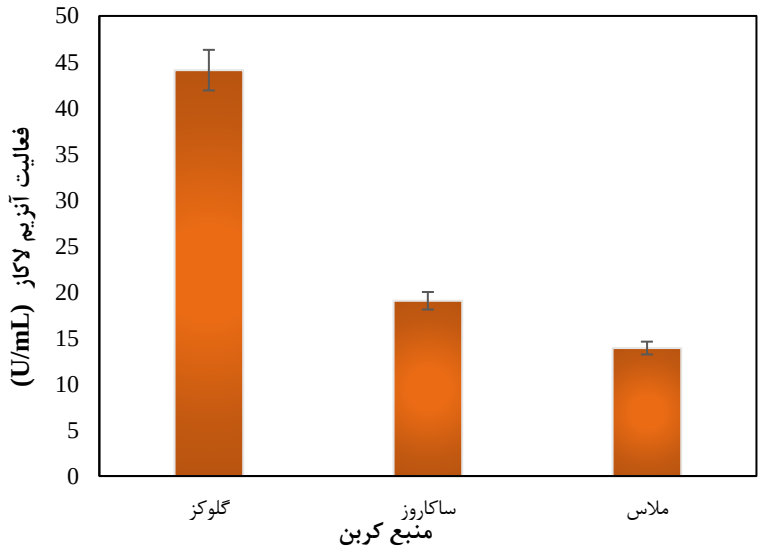
علاوه‌بر این مکمل گلوکز نه تنها باعث افزایش فعالیت آنزیم می‌شود بلکه باعث افزایش تولید زیست‌توده قارچی شده و جذب سطحی رنگ‌های آزو را به‌دلیل دسترسی بیشتر به سایت‌های فعال افزایش می‌یابد. این نتایج با تحقیق Madhuri and Lakshmi (2014) مطابقت دارد که نشان‌داد حداکثر رنگ‌زدایی Trypan Blue توسط *A. flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus* زمانی اتفاق افتاد که محیط حاوی ۲٪ گلوکز و pH=4 است.

هم‌چنین سایر محققین نتایج مشابهی به لحاظ اهمیت انتخاب منبع کربن گزارش نموده‌اند. Singh and Dwivedi (2020) اثر نوع منبع کربن بر حذف رنگ‌زای Direct Blue توسط قارچ *Aspergillus terreus* را مطالعه کردند و از میان چهار منبع مختلف شامل گلوکز، پپتون، عصاره گوشت و عصاره مخمر در محیط پتیتو دکسرو براث، گلوکز را بهترین منبع کربن گزارش نمودند. Al-Tohamy et al. (2020) نشان دادند به‌جز ساکارز، که کمی از رنگ‌زدایی رنگ جلوگیری کرد، سایر منابع کربن اضافه شده (گلوکز، گالاکتوز، مالتوز، لاکتوز و نشاسته) می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی رنگ‌زدایی Reactive Black 5 را توسط *S.halophilus* افزایش دهند. از این میان، گلوکز منبع کربن بهینه بود که رنگ‌زدایی کامل RB5 را پس از ۱۸ ساعت با حداکثر نرخ رنگ‌زدایی ۲/۷۸ میلی‌گرم در لیتر در ساعت نشان داد، که احتمالاً به‌دلیل متابولیسم آسان گلوکز است.

مطابق شکل ۱، بیشترین حذف رنگ به‌میزان ۹۱/۲۹٪ در روز ۵ام اتفاق افتاد و پس از آن در روز ۶ ام انکوباسیون، رنگ‌زدایی به‌تدریج کاهش یافت. نتیجه به‌دست‌آمده با نتایج Salem et al. (2019) که گزارش داد حداکثر رنگ‌زدایی از رنگ Reactive yellow و Reactive Red توسط *Aspergillus niger* در ۷ روز به دست آمده و درصد رنگ‌زدایی پس از آن به‌تدریج کاهش یافته است، مطابقت دارد. هم‌چنین در تحقیقی دیگر Ortiz-Monsalve et al. (2017) دریافتند که بیشترین حذف رنگ با فعالیت لاکاز در ارتباط است. در رنگ‌زدایی از رنگ Acid Red 357 مشخص شد که سویه *T. villosa* در ۴۸ ساعت اول فقط ۱۵٪ از رنگ را حذف می‌کند، اما پس از ۶ روز به بالای ۹۰٪ افزایش یافت. این رنگ‌زدایی شدید با افزایش فعالیت لاکاز مرتبط بود که سطوح بالاتری را بین ۷۲ تا ۹۶ ساعت نشان داد. این کاهش ممکن است به‌دلیل خروج رنگ از سلول‌های قارچی اتفاق افتاده باشد. علاوه‌بر این، این پدیده را می‌توان به فعالیت تجزیه زیستی آنزیمی همراه با اتصال فیزیکی رنگ بر زیست‌توده قارچی نسبت داد، زیرا تجمع محصولات رنگی مانع رشد و توانایی متابولیسم قارچ می‌شود.



شکل ۱- بررسی منابع کربن مختلف در رنگ‌زدایی رنگ Reactive Red 194
(پساب سینتتیک با غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، غلظت منبع کربن ۱۰۰ ppm)



شکل ۲- فعالیت آنزیم لاکاز در رنگ‌زدایی رنگ Reactive Red 194 با منابع کربن مختلف در روز ۵ام
(پساب سینتتیک با غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، غلظت منبع کربن ۱۰۰ ppm)

۳-۲- بررسی اثر pH و غلظت رنگ

pH عامل مهمی برای رشد قارچ است و قارچ‌ها معمولاً در pH اسیدی رشد می‌کنند که معمولاً بین ۴ تا ۵ است. فرم یونی رنگ در محلول و بار الکتریکی سطحی زیست‌توده به pH محلول بستگی دارد. بنابراین، pH محلول بر محل‌های اتصال رنگ با سطح زیست‌توده قارچی و شیمی رنگ در محیط تأثیر می‌گذارد (Khan et al., 2023). پس از انتخاب گلوکز به‌عنوان بهترین منبع کربن، با ثابت نگه‌داشتن دیگر متغیرها، در ۵ آزمایش اثر pH در غلظت رنگ ۵۰ ppm بررسی شد و شکل ۳ نتایج حاصل از این آزمایشات را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳، در شرایط بازی (pH=8) میزان حذف رنگ برابر ۵۵٪ است و هرچه pH اسیدی‌تر می‌شود رنگ بیشتری از محیط حذف می‌شود. در محدوده pH= 4، بیشترین میزان حذف رنگ (۹۳/۵۷٪) رخ می‌دهد که به دو علت است: اول این‌که زیست‌توده قارچی در محیط اسیدی بهتر رشد می‌کند و دوم، در pH=4، آنزیم لاکاز حداکثر فعالیت ۹۰ U/mL نشان می‌دهد. بنابراین، حداکثر رنگ‌زدایی نیز در pH پایین مشاهده می‌شود. نتایج به‌دست آمده با مشاهدات دیگران مطابقت دارد. Arıca and Bayramoğlu (2007) گزارش کردند که با کاهش pH، جذب زیستی Reactive Red 120 توسط زیست‌توده قارچی *L. sajor-caju* افزایش یافت.

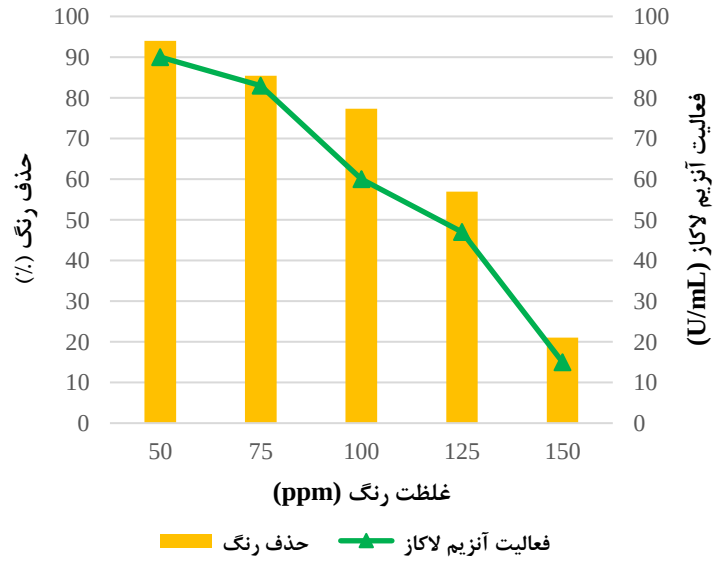
هم‌چنین بعد از اتمام آزمایش pH اندازه‌گیری شد و حدود ۱/۲–۵ واحد برای هر آزمایش میزان pH افزایش پیدا کرده بود که ممکن است به این علت باشد که کاهش بیولوژیکی پیوند آزو می‌تواند منجر به افزایش pH شود. این افزایش به‌دلیل تشکیل متابولیت‌های آمین‌های آروماتیک است، زیرا آمین‌های آروماتیک بازی‌تر از ترکیب اصلی آزو هستند. به‌طور کلی تغییر pH در محدوده ۷-۸ تأثیر بسیار کمی در روند رنگ‌زدایی دارد که نتایج آزمایش با پژوهش یاکوبا و همکاران مطابقت دارد. Dauda and Erkurt (2020) دریافتند که رنگ‌زدایی در مقادیر pH پایین (۲-۳) و بالاتر (۶-۷) مشاهده نشد و بهترین رنگ‌زدایی رنگ Reactive Blue 19 در pH=۴/۵ به میزان ۸۶٪ رخ داد. اگرچه بسیاری از نویسندگان نشان می‌دهند که قارچ‌ها در pH اسیدی یا خنثی رنگ‌آمیزی بهتری از خود نشان می‌دهند، اما این شرایط همیشه برای تصفیه پساب رنگرزی مناسب نیستند، زیرا معمولاً ویژگی قلیایی دارند. اگرچه مقادیر پایین pH بهینه گزارش شده است، با توجه به ساختار رنگ، pH قلیایی نیز گزارش شده است. Mahmoud et al. (2017) نشان دادند قارچ *Aspergillus niger* رنگ قرمز را در pH بسیار بالا (۹) به بهترین وجه رنگ‌زدایی کرد.

پس از به‌دست آوردن pH بهینه، در ۵ آزمایش اثر غلظت رنگ ۵۰-۱۵۰ ppm در پساب سنتتیک با انتخاب گلوکز به‌عنوان منبع کربن و pH ۴ بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۴ آورده شده است، با افزایش غلظت اولیه رنگ میزان فعالیت آنزیم لاکاز به‌شدت کاهش می‌یابد که منجر به تجزیه‌زیستی کم‌تر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است با افزایش غلظت رنگ به‌صورت بصری کاهش چشم‌گیری در حذف رنگ رخ نمی‌دهد. هرچه رنگ بیشتری در محیط باشد *Trametes* sp. قادر به تجزیه درصد کمتری از آن است؛ به‌طوری‌که در غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر میزان رنگ‌بری حدود ۹۴٪ ولی در غلظت حدود ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر این رنگ‌زدایی به عدد ۲۱٪ می‌رسد. زیرا با افزایش میزان غلظت اولیه رنگ به‌علت سمی‌بودن رنگ و تاثیر

گذاشتن بر روی فعالیت آنزیم، بازده حذف رنگ کاهش می‌یابد. هم‌چنین تولید زیست‌توده با افزایش غلظت اولیه رنگ به‌علت سمیت کاهش می‌یابد که منجر به کاهش سایت‌های فعال جذب روی سطح جاذب می‌شود (Mahmoud et al., 2017) بنابراین اثر نامطلوب بر بازده رنگ‌زدایی ناشی از افزایش غلظت اولیه رنگ را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که غلظت بالای رنگ آزو برای میکروارگانیسم‌ها سمی است و بر رشد میسیلیوم تأثیر می‌گذارد و فعالیت آنزیم لاکاز را مهار می‌کند. غلظت‌های بسیار متفاوت (۵۰-۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در مطالعات قبلی آزمایش شده است و تخریب کمتر از ۱۰٪ تا بیشتر از ۹۵٪ گزارش شده است. در غلظت‌های بالا، مهار رشد قارچ، غیرفعال شدن آنزیم و تجمع محصولات جانبی سمی باعث کاهش تخریب و حذف رنگ می‌شود (Ortiz-Monsalve et al., 2017).

بررسی توانایی قارچ‌ها در تصفیه پساب سنتتیک در غلظت‌های مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا غلظت رنگ در پساب واقعی کارخانجات نساجی و رنگرزی بسیار متغیر است و توانایی قارچ به چندین عامل مانند تکنولوژی استفاده‌شده، ظرفیت کارخانه، نوع پارچه و رنگ بستگی دارد. نتایج به‌دست آمده با *Trametes* sp. با نتایج به‌دست آمده در غلظت های مشابه توسط سایر قارچ ها قابل مقایسه است. با این‌حال، مهم است که تاکید کنیم که کارایی رنگ‌آمیزی زیستی به کلاس رنگ مورد استفاده بستگی دارد (Ortiz-Monsalve et al., 2017).

شکل ۳- تاثیر pH بر میزان فعالیت آنزیم لاکار و رنگ‌بری رنگ Reactive Red 194 توسط *Trametes* sp.



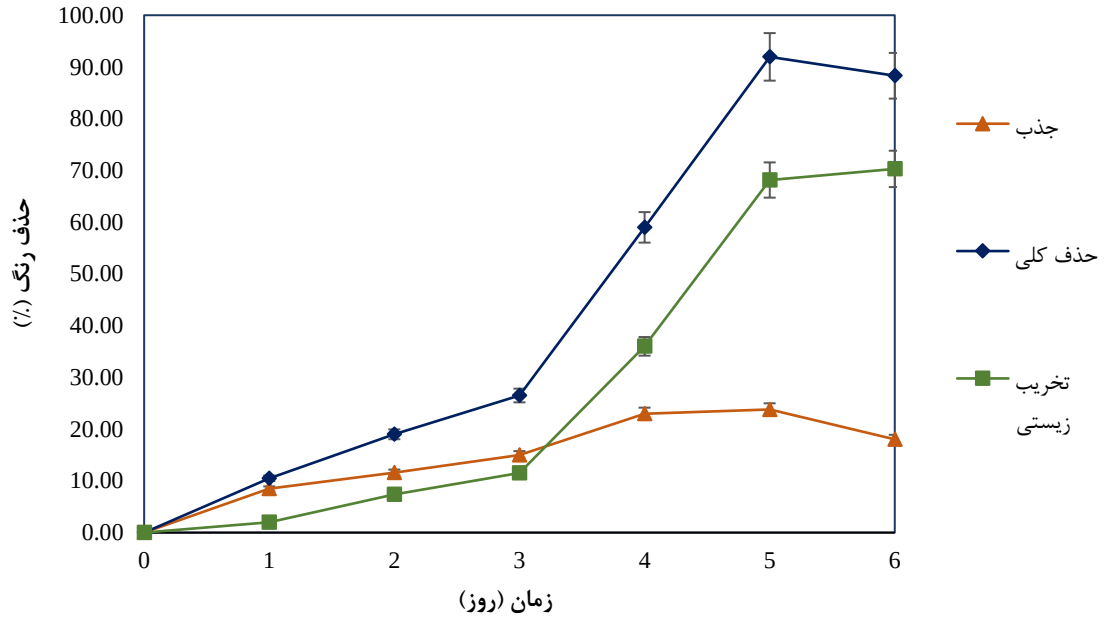
شکل ۴- تاثیر غلظت اولیه رنگ برفعالیت آنزیم لاکاز و میزان رنگ‌زدایی Reactive Red 194 توسط *Trametes* sp.

شکل ۵- مقایسه میزان رنگ‌زدایی Reactive Red 194 توسط *Trametes* sp. در غلظت‌های مختلف
a) Control; b) 50 ppm; c) 75 ppm; d) 100 ppm; e) 125 ppm; d) 150ppm)

۳-۳- بررسی مکانیزم جذب توسط زیست‌توده و تخریب آنزیمی

قارچ های ریسه سفید از طریق ترکیبی از مکانیسم‌ها از جمله جذب زیستی، تجزیه آنزیمی از طریق آنزیم‌های لیگنینولیتیک مانند پراکسیدازها و لاکازها و یا اثر مشترک هر دو فرآیند، در حذف رنگ از محلول‌های آبی شرکت می‌کنند. پس از به‌دست آوردن شرایط بهینه، میزان جذب زیست‌توده و تخریب بیولوژیکی آنزیمی در شرایط بهینه اندازه‌گیری شد و نتایج در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در شکل ۷a جذب رنگ توسط قارچ غیرفعال شده، میزان جذب بیولوژیکی را نشان می‌دهد و در شکل ۷b جذب رنگ توسط قارچ زنده میزان جذب کلی را نشان می‌دهد. اختلاف این دو مقدار، درصد حذف رنگ در اثر تخریب بیولوژیکی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷، درصد کمی از رنگ توسط جذب بیولوژیکی حذف می‌شود و این نشان می‌دهد که رنگ‌زدایی پساب‌های رنگی به‌دلیل فعالیت شدید آنزیم‌های لیگنینولیتیک بوده است. مطابق شکل ۶، درصد حذف رنگ در روز ۵ام برابر ۹۱/۹۵٪ است که ۶۸/۱۵٪ مربوط به تخریب آنزیمی و ۲۳/۸۰٪ مربوط به جذب بایومس است. با افزایش زمان‌ماند، به‌علت افزایش فعالیت آنزیم نرخ رنگ‌زدایی در روزهای چهارم و پنجم افزایش یافت و از روز ۵ام به بعد واجذب اتفاق می‌افتد. میزان فعالیت آنزیم لاکاز در روز ۵ام به حداکثر مقدار خود برابر ۱۰۵/۰۳۶ U/mL می‌رسد. با توجه به شکل ۶، بیشترین میزان رنگ‌زدایی نیز در روز ۵ام اتفاق می‌افتد. لاکاز تنها آنزیمی بود که در رنگ‌زدایی نقش داشت، زیرا هیچ آنزیم لیگنینولیتیک دیگری در محیط کشت وجود نداشت. لاکازها متالوآنزیم های حاوی یون مس هستند و با پذیرش الکترون، احیای مولکولی اکسیژن را انجام می‌دهند (De Paula et al., 2022). وجود لاکاز نشان‌داد که فرآیند رنگ‌زدایی نه تنها با فرآیند جذب توسط میسلیوم‌های قارچی، بلکه با فرآیند تجزیه زیستی توسط آنزیم انجام می‌شود. قابل‌توجه است که زمان ماند مناسب برای دستیابی به حداکثر رنگ‌زدایی توسط آنزیم لاکاز در این پژوهش کمتر از گزارش‌های قبلی توسط اکثر سویه‌های قارچ ریسه سفید است که معمولاً برای ۹۰ ٪ رنگ‌زدایی به ۱۰-۱۲ روز زمان نیاز دارند (Saratale et al., 2020). هم‌چنین در شرایط بهینه درصد کاهش COD و TOC به‌ترتیب ۸۵/۱۶ ٪ و ۷۴/۱۹ ٪ به‌دست آمد که این کاهش قابل‌توجه نشان می‌دهد که آنزیم لاکاز در تجزیه رنگ‌ها کارآمد است.

ظرفیت جذب زیستی دیواره سلولی قارچ ارتباط نزدیکی با سطح و گروه های عملکردی روی سطح سلول دارد. کمپلکس شدن و برهمکنش های الکترواستاتیکی دو مکانیسم اصلی جذب زیستی هستند. محققان مختلف یک الگوی جذب قابل‌مقایسه را در رنگ‌زدایی رنگ‌های سنتتیک ارائه کرده‌اند (Heri et al., 2023). Singh et al. (2022) تاکید کردند که فرآیند جذب زیستی رنگ‌ها به‌حضور هتروپلی ساکاریدها و ترکیبات لیپیدی در دیواره سلولی بستگی دارد. این اجزا شامل گروه‌های عاملی باردار متنوعی مانند هیدروکسیل، کربوکسیل و فسفات هستند که برهمکنش‌های قوی بین دیواره‌های سلولی میکروبی و رنگ‌های آزو را، تقویت می‌کنند.



شکل ۶- بررسی درصد حذف رنگ Reactive Red 194 طبق مکانیزم جذب و تخریب بیولوژیکی توسط قارچ *Trametes* sp.

شکل ۷- مقایسه جذب بیولوژیکی و حذف کل رنگ Reactive Red 194 توسط a) قارچ غیرفعال شده؛ و b) قارچ زنده *Trametes* sp.

۴- نتیجه‌گیری

امروزه افزایش تولید پساب‌های رنگی به‌عنوان یک مشکل محیط‌زیستی مهم مطرح است. استفاده از قارچ‌ها به‌عنوان جاذب رنگ‌ها مناسب و مقرون به‌صرفه است. به‌منظور به حداکثر رساندن کارایی رنگ‌زدایی توسط قارچ‌ها، به‌دست آوردن شرایط بهینه امری ضروری است. در شرایط بهینه گلوکز به‌عنوان منبع کربن، pH برابر ۴ و غلظت اولیه رنگ برابر ۵۰ mg/L به‌دست آمد. در مطالعه انجام‌گرفته براساس نتایج، نشان داده‌شد که گونه *Trametes* sp. در بهترین شرایط قادر به تجزیه ۹۴٪ از رنگ Reactive Red 194 است. آزمایشات انجام شده با استفاده از زیست‌توده قارچی زنده و مرده نشان داد که هر دو روش جذب فیزیکی و تجزیه زیستی در حذف رنگ دخالت دارند. بنابراین براساس این مشاهدات، یکی از مکانیسم‌های حذف رنگ از نوع جذب زیستی سطحی است و مستقل از متابولیسم قارچ است. گلوله‌های قارچ دارای قابلیت رنگ‌زدایی کارآمد با نرخ جذب حدودا ۲۴٪ هستند. تجزیه و تحلیل مکانیسم‌ها نشان‌داد که عملکرد رنگ‌آمیزی به گروه‌های فعال روی گلوله‌های قارچ و برهمکنش‌های الکترواستاتیکی، از جمله آنزیم‌های دخیل در تخریب دیواره سلولی بستگی دارد.

با مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین می‌توان نتیجه‌گرفت *Trametes* sp. به‌دلیل سیستم آنزیمی کارآمد، پتانسیل قابل‌توجهی برای رنگ‌زدایی پساب‌های رنگی دارد و می‌تواند برای حذف رنگ از صنایع، کاندید مناسبی باشد.

با انجام تحقیقات بیشتر و مطالعات در سطح نیمه صنعتی، می‌توان از قارچ *Trametes* sp. برای حذف رنگ از پساب واقعی صنایع نساجی و یا رنگرزی استفاده نمود.

۵- تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت بنیاد علم ایران (صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)) با شماره کمک مالی ۴۰۰۱۲۲۰ انجام شده است. نویسندگان هم‌چنین از مرکز تحقیقات بیوشیمی و کنترل محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی شریف برای کمک‌های ارزنده تشکر می‌نمایند.

۶- پی‌نوشت‌ها

1- Electron-accepting
2- Physical-chemical processes
3- Coagulants
4- Activated carbon
5- Chitosan
6- Alumina
7- Silica gel
8- Zeolites
9- Ozonation
10- Photooxidation
11- Electrochemical oxidation
12- Radiation oxidation
13- Chemical Oxygen Demand
14- Total Organic Carbon

۷- مراجع

نایبی، ر.، و آیتی، ب.، (۱۳۹۰) ،"روش‌های نوین حذف رنگ از فاضلاب های صنعتی"، *پنجمین همایش ملی مهندسی محیط‌زیست*، تهران، https://civilica.com/doc/122605

جیحونی، ا.، و طلاییان، م.، (۱۳۹۹)، "مروری بر مطالعه حذف رنگ از پساب‌های صنعتی در محیط‌زیست"، *اولین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، محیط‌زیست و کشاورزی*، https://civilica.com/doc/1170310

دوست‌محمدی، م.، و گوانجی، ش.، (۱۳۹۰)، "تجزیه آنزیمی رنگ‌های آزو"، *پنجمین همایش ملی مهندسی محیط‌زیست*، تهران، https://civilica.com/doc/121916

علیشاهی، ز.، ذکایی، م.، عشقی، ح.، و درودی، ا.، (۱۳۸۹)، "بررسی خاصیت رنگ‌بری قارچ *Trametes hirsuta* بر رنگ صنعتی Remazol Black 5"، *پنجمین همایش ملی مدیریت پسماند*، مشهد.

قیاسی، ن.، پورفخرایی، ا.، جلیلی، ح.، پارسا، م.، و سعیدی، س.، (۱۴۰۲)، "شناسایی سویه قارچ تجزیه‌کننده چوب مولد آنزیم‌های لیگنینولایتیک و قابلیت حذف رنگ کوماسی بلو"، *اولین همایش بین المللی زیست‌شناسی و علوم آزمایشگاهی*، همدان، https://civilica.com/doc/1716118

Al-Tohamy, R., Sun, J., Fareed, M.F., Kenawy, E.R., and Ali, S.S., (2020), "Ecofriendly biodegradation of Reactive Black 5 by newly isolated Sterigmatomyces halophilus SSA1575, valued for textile azo dye wastewater processing and detoxification", *Scientific Reports*, 10(1), 1-16, https://doi.org/10.1038/s41598-020-69304-4.

Alam, R., Mahmood, R.A., Islam, S., Ardiati, F.C., Solihat, N.N., Alam, M.B., Lee, S.H., Yanto, D.H.Y., and Kim, S., (2023), 'Understanding the biodegradation pathways of azo dyes by immobilized white-rot fungus, Trametes hirsuta D7, using UPLC-PDA-FTICR MS supported by in silico simulations and toxicity assessment", *Chemosphere*, 313, 137505, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137505.

APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, In American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 21st Edition, Washington, D.C.

Arıca, M.Y., and Bayramoğlu, G., (2007), "Biosorption of Reactive Red-120 dye from aqueous solution by native and modified fungus biomass preparations of Lentinus sajor-caju", *Journal of Hazardous Materials*, 149(2), 499-507, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.021.

Dauda, M.Y., and Erkurt, E.A., (2020), "Investigation of reactive Blue 19 biodegradation and byproducts toxicity assessment using crude laccase extract from Trametes versicolor", *Journal of Hazardous Materials*, 393, 121555. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121555.

De Paula, N.M., da Silva, K., Brugnari, T., Haminiuk, CW. I., and Maciel, G.M., (2022), "Biotechnological potential of fungi from a mangrove ecosystem: Enzymes, salt tolerance and decolorization of a real textile effluent", *Microbiological Research*, 254, 126899, https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126899.

Eskandari, F., Shahnavaz, B., and Mashreghi, M., (2019), "Optimization of complete RB-5 azo dye decolorization using novel cold-adapted and mesophilic bacterial consortia", *Journal of Environmental Management*, 241, 91-98, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.125.

Ghobadi Nejad, Z., Borghei, S.M., and Yaghmaei, S., (2019), "Kinetic studies of Bisphenol A in aqueous solutions by enzymatic treatment", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 821-832, https://doi.org/10.1007/s13762-018-1654-6.

Harja, M., Buema, G., and Bucur, D., (2022), "Recent advances in removal of Congo Red dye by adsorption

R.N., and Saratale, G.D., (2020), "Textile industry wastewaters as major sources of environmental contamination: Bioremediation approaches for its degradation and detoxification", In *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental sSafety*, (pp. 135–167), Springer, https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7_7.

Sharma, J., Sharma, S., and Soni, V., (2021), "Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review", *Regional Studies in Marine Science*, 45, 101802, https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101802.

Singh, A., Pal, D.B., Mohammad, A., Alhazmi, A., Haque, S., Yoon, T., Srivastava, N., and Gupta, V.K., (2022), "Biological remediation technologies for dyes and heavy metals in wastewater treatment: New insight", *Bioresource Technology*, 343(October 2021), 126154, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126154.

Singh, G., and Dwivedi, S.K., (2020), "*Environmental technology and innovation decolorization and degradation of Direct Blue-1 (Azo dye) by newly isolated fungus Aspergillus terreus GS28, from sludge of carpet industry*", *Environmental Technology & Tnnovation*, 18, 100751, https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100751.

Zhuo, R., and Fan, F., (2021), "Science of the total environment, A comprehensive insight into the application of white rot fungi and their lignocellulolytic enzymes in the removal of organic pollutants", *Science of the Total Environment*, 778, 146132. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146132.

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

using an industrial waste", *Scientific Reports*, 12, 6087, https://doi.org/10.1038/s41598-022-10093-3,

Heri, D., Yanto, Y., Mishellia, R., Dwi, O., Dwi, B., Watanabe, T., Wibisono, Y., and Hung, Y., (2023), "Optimization of dye-contaminated wastewater treatment by fungal mycelial-light expanded clay aggregate composite", *Environmental Research*, 231, 231(May), 116207. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116207.

Lellis, B., Fávaro-polonio, C.Z., Pamphile, J.A., and Polonio, J.C., (2019), "Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms", *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275-290, https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001.

Madhuri, R.J., and Lakshmi, G.V., (2014), "Biodegradation of congo red azo dye by *Aspergillus spp*. isolated from dye contaminated soils", *Journal of Agricultural Science and Technology. A*, 4(5A).

Mahmoud, MS., Mostafa, M. K., Mohamed, S.A., Sobhy, N.A., and Nasr, M., (2017), "Bioremediation of red azo dye from aqueous solutions by Aspergillus niger strain isolated from textile wastewater", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 547-554. https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.030.

Maniyam, M.N., Ibrahim, A.L., and Cass, A.E.G., (2020), "Decolourization and biodegradation of azo dye methyl red by Rhodococcus strain UCC 0016", *Environmental Technology*, 41(1), 71-85, https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1491634.

Oke, N., and Mohan, S., (2022), "Development of nanoporous textile sludge based adsorbent for the dye removal from industrial textile effluent", *Journal of Hazardous Materials*, 422, 126864, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126864.

Ortiz-Monsalve, S., Dornelles, J., Poll, E., Ramirez-Castrillón, M., Valente, P., and Gutterres, M., (2017), "Biodecolourisation and biodegradation of leather dyes by a native isolate of Trametes villosa", *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 437-451, https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.028.

Ortiz-Monsalve, S., Valente, P., Poll, E., Jaramillo-García, V., Henriques, J.A.P., and Gutterres, M., (2019), "Biodecolourization and biodetoxification of dye-containing wastewaters from leather dyeing by the native fungal strain Trametes villosa SCS-10", *Biochemical Engineering Journal*, 141, 19-28. https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.10.002.

Riegas-Villalobos, A., Martínez-Morales, F., Tinoco-Valencia, R., Serrano-Carreón, L., Bertrand, B., and Trejo-Hernández, M.R., (2020), "Efficient removal of azo-dye Orange II by fungal biomass absorption and laccase enzymatic treatment", *3 Biotech*, 10(4), 1-10. https://doi.org/10.1007/s13205-020-2150-5.

Salem, S.S., Mohamed, A., El-Gamal, M., Talat, M., and Fouda, A., (2019), "Biological decolorization and degradation of azo dyes from textile wastewater effluent by Aspergillus niger", *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(10), 1799-1813, https://doi.or/10.21608/ejchem.2019.11720.1747.

Saratale, R.G., Rajesh Banu, J., Shin, H.-S., Bharagava,

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 3, PP. 42-50, Autumn 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2024.422486.1379

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، صفحات ۴۲-۵۰، پاییز ۱۴۰۳

Research Paper

The Effect of Pulsed Electric Field (PEF) in Deactivating Biological Factors in the Wastewater Process of Conventional Water Treatment Plants

Noushin Osouleddini[*1], Mohammad Ali[2] and Mohammad Abdollahzadeh[3]

1- Assistant Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Chemistry, Islamic Azad University of Tehran Medical Sciences, Tehran, Iran.

2- M.Sc. Student, Department of Applied Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Chemistry, Islamic Azad University of Tehran Medical Sciences, Tehran, Iran.

3- Managing Director and Chairman of the Board of Directors of Aria Mehrgan Medical Equipment Company (METASU), Tehran, Iran.

* Corresponding Author, Email: osouleddini.n@gmail.com

Received: 30/10/2023
Revised: 30/12/2023
Accepted: 22/01/2024
© IWWA

Abstract

In this article, the biological factors present in the purification process, as well as the formation of side compounds such as trihalomethanes, are examined. Chlorine together with organic substances in wastewater creates side compounds such as trihalomethanes. By using pulsed electric field (PEF) technology, the inactivation of biological load such as nematodes, diatoms, cyanophyces and chlorophyces was investigated in these wastewaters, which is economical in the long term and also prevents the production of side compounds. In this biological investigation, the effluent from washing the filters of the drinking water treatment plant qualitatively with different voltages in the range of 1 to 13 kV with an interval of 1 kV with a constant frequency of 500 Hz at different times (10, 20, 30, 40, 50 and 60 min) exposed to contact and then qualitatively evaluated under the microscope. This qualitative study showed that the range of 1 to 6 kV has no effect on the biological agents in the wastewater, including nematodes, and the effect of the deactivation of the pulsed electric field (PEF) on the biological agents occurs in the range of 13-6 kV. This research showed that in the PEF system, the type of biological agents, the amount of voltage, contact time and the percentage of inactivation of biological agents in rotifers; 13 kV with a contact time of 60 min, maximum 20%, nematodes; 13 kV with a contact time of 60 min, maximum 25%, diatoms; 11 kV and contact time of 60 min, maximum 75%, chlorophytes; 10 kV and contact time of 60 min, maximum 90% and cyanophyces; 10 kV and a contact time of 60 minutes were effective in inactivating them up to 90%.

Keywords: Removal of biological pollutants, Pulsed Electric Field (PEF), Chlorophytes, Nematodes, Diatoms, Cyanophytes, Wastewater treatment plant.

مقاله پژوهشی

تاثیر میدان الکتریکی پالسی (PEF) در غیرفعال‌نمودن عوامل بیولوژیکی در فرآیند تصفیه پساب تصفیه‌خانه‌های متداول آب

نوشین اصول‌دینی[*1]، محمد علی[2] و محمد عبدالله‌زاده[3]

۱- استادیار گروه شیمی دارویی، دانشکده شیمی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران.

۳- مدیر عامل و رئیس هیات مدیره شرکت مهرگان طب تجهیز آریا (METASU)، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: osouleddini.n@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در این مقاله، عوامل بیولوژیکی موجود در فرآیند تصفیه و همچنین تشکیل ترکیبات جانبی نظیر تری‌هالومتان‌ها در آن مورد بررسی قرارگرفته است. با استفاده از تکنولوژی میدان الکتریکی پالسی (PEF) غیرفعال نمودن بار بیولوژیکی از جمله نماتدها، دیاتومه‌ها، سیانوفیسه‌ها و کلروفیسه‌ها در این پساب‌ها بررسی شد، که هم از نظر اقتصادی در درازمدت مقرون به‌صرفه بوده و هم از تولید ترکیبات جانبی جلوگیری به‌عمل می‌آید. در این بررسی بیولوژیکی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب شرب به‌صورت کیفی با ولتاژهای متفاوت در دامنه ۱ تا ۱۳ کیلوولت با بازه ۱ کیلوولت با فرکانس ثابت ۵۰۰ هرتز در زمان‌های متفاوت (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) در معرض تماس قرارگرفته و سپس در زیر میکروسکوپ مورد ارزیابی کیفی قرارگرفت. این بررسی کیفی نشان داد محدوده ۱ تا ۶ کیلوولت هیچ‌گونه تاثیری روی عوامل بیولوژیکی موجود در پساب از جمله نماتدها را نداشته و تاثیر غیرفعال‌سازی میدان الکتریکی پالسی بر روی عوامل بیولوژیکی در محدوده ۶ -۱۳ کیلوولت اتفاق می‌افتد. این تحقیق نشان داد که در سیستم میدان‌الکتریکی پالسی، نوع عوامل بیولوژی، مقدار ولتاژ، زمان تماس و درصد غیرفعال‌سازی عوامل بیولوژی در روتیفرها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۰ درصد، نماتدها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۵ درصد، دیاتومه‌ها؛ ۱۱ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۷۵ درصد، کلروفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد و سیانوفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد در غیرفعال‌سازی آن‌ها موثر بوده است.

کلمات کلیدی: حذف آلاینده‌های بیولوژیکی، میدان الکتریکی پالسی (PEF)، کلروفیسه‌ها، نماتدها، دیاتومه‌ها، سیانوفیسه‌ها، پساب تصفیه‌خانه.

۱- مقدمه

کشور ایران فقط ۰/۳۴ درصد از آب‌های موجود در کل جهان را با وجود داشتن ۱/۱ درصد از مساحت کل خشکی جهان در اختیار دارد. مجموع بارندگی سالیانه در ایران حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب است که ۲۸۴ میلیارد مترمکعب آن به‌طور مستقیم تبخیر می‌شود و تنها بخش کمی از آن به‌صورت آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی تأمین‌کننده منابع آبی کشور است. در حال‌حاضر مجموع کل آب در دسترس کشور ۹۰ میلیارد مترمکعب است. بنابراین از حداکثر پتانسیل لازم برای تغذیه از منابع آب‌های زیرزمینی و بازچرخانی پساب در صنایع استفاده می‌شود. با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و ازدیاد صنایع، اهمیت کیفیت آب به لحاظ آلودگی از اهمیت بالایی برخوردار است. اگر آب دستخوش آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی شود، مشکلات بسیاری بر محیط‌زیست و به جامعه انسانی وارد خواهد کرد که جبران آن شامل هزینه‌های بسیار گزافی است (Shirkavand et al., 2023; Karandish and Mousavi, 2018).

آزمایش بیولوژی آب به‌منظور تشخیص ساختار توده بیولوژیکی موجود در پساب شستشوی تصفیه‌خانه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمون‌ها شامل شمارش و اندازه‌گیری فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها است. پلانکتون‌ها به موجودات زنده ریز و معلق در اقیانوس‌ها، دریاها و منابع آب شیرین گفته می‌شود که قادر به مقاومت در مقابل جریان آب و شناکردن نیستند و جابه‌جایی افقی آن‌ها توسط جریان آب صورت می‌گیرد. اندازه پلانکتون‌ها از کمتر از ۱ میکرومتر تا بیش از ۲۰ سانتی‌متر متغیر است (عروجی و همکاران، ۱۳۹۷).

فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) بخش خودپرورد پلانکتون‌ها (دروایان) عمدتاً شامل جلبک‌های معلق هستند که معمولا نزدیک سطح آب در منطقه نورزی زندگی می‌کنند. زئوپلانکتون‌ها (جانوردرویان) بخش دگرپروردگی پلانکتون‌ها عمدتاً شامل تک‌یاختگان و پریاختگان کوچک معلق‌اند. در اکوسیستم‌های آبی، فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) از نظر زیست‌شناختی فعال‌تر و از نظر کیفیت آب تاثیرگذارتر از گیاهان آب‌رست هستند. در منابع آب سطحی، گیادروایان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر pH، غلظت اکسیژن محلول و غلظت دی‌اکسیدکربن تاثیر گذارند (Wang et al., 2024). فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) برای رشد در منابع آب نیاز به نور خورشید دارند و در تاریکی رشد آن‌ها متوقف می‌شود. هر عاملی که مانع نفوذ نور در آب شود (مثل کدورت آب) باعث کاهش رشد فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) می‌شود. دمای آب نیز روی رشد فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) تاثیرگذار است، به‌طوری‌که آهنگ رشد فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) در بهار و تابستان افزایش و در فصول سرد کاهش می‌یابد. کلروفیسه‌ها از عوامل بیولوژیکی هستند که شاخه گیاهی دارند و جزء پلانکتون‌های گیاهی هستند، بیماری‌زا نیستند ولی باعث طعم و بو در آب می‌شوند و هم‌چنین باعث انسداد صافی‌ها می‌شوند. کلروفیسه‌ها را جلبک سبز می‌خوانند، برخی تاژک‌دار و برخی به شکل نوار هستند (Alavian et al., 2024; Yadav et al., 2023).

نماتدها به گروهی از جانوران پرسلولی، کرمی یا نخی شکل گفته می‌شود که دارای ساختمان غیر بندبند هستند و در یک یا دو انتها ممکن است باریک‌تر شده باشد. جزء بی‌مهرگان و به‌صورت رشته‌ای، متورم و یا کروی شکل هستند. اندازه آن‌ها بین ۱-۱۰ میلی‌متر متغیر است. باریک و نیمه‌شفاف بوده و حدود ۱۵۰۰ گونه نماتد شناخته شده است که تنها ۱۰٪ انگل گیاهی است. تقریبا در هر ۱ گرم خاک مرطوب ۵-۱۰۰ نماتد وجود دارد. نماتدها فاقد دستگاه گردش خون و تنفس هستند و اکسیژن لازم را از طریق نفوذ به دیواره بدن به‌دست می‌آورند. نماتدها به تنهایی بیماری‌زا نیستند، اما غذاهایی که مصرف می‌کنند باعث ایجاد بیماری می‌شوند. در واقع روده و شکم این موجودات، محل برای رشد و نمو بعضی از میکروب‌های بیماری‌زا است (فریدی راد و همکاران، ۱۴۰۰). به‌عبارتی، نماتدها که نقش واسط دارند و موجودات بیماری‌زا را به‌طور غیرمستقیم با نقش کپسول حفاظتی عمل نموده وارد بدن انسان می‌کنند (Poniewozik and Lenard, 2022).

دیاتومه‌ها شاخه‌ای از آغازیان هستند که فتوسنتز کننده‌اند و در گروه جلبک‌ها قرار می‌گیرند. آن‌ها بخش مهمی از پلانکتون‌ها را که پایه اساسی زنجیره غذایی و در سطح دریاها و آب‌های شیرین شناور هستند را تشکیل می‌دهند. دیاتومه‌ها در بدن انسان باعث تخریب کلیه و همچنین به‌دلیل پوسته سیلیسی، باعث گرفتگی صافی‌های شنی در تصفیه‌خانه‌های متداول آب می‌شوند. بعضی از دیاتومه‌ها ایجاد رنگ و بوی نامطبوع می‌کنند، مثل آستریونلا[1] که اگر تعداد آن به بیش از ۱۰۰۰ عدد در ۱ میلی‌لیتر آب باشد بویی شبیه شمعدانی ایجاد می‌کند و رنگ آب را زرد مایل به قهوه‌ای می‌کند (Sournia, 1982).

در مطالعه Singh et al. (2016) خود تخریبی در باکتری‌هایی مانند اشریشیاکلی[2] در آب بدون تغییر دما و تأثیر میدان الکتریکی پالسی بر روی ویروس‌ها بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده این بود که باکتری‌ها (E.Coli) به تعداد زیاد در 110 kV/cm از بین رفته‌اند. در تحقیقی دیگر با استفاده از فناوری میدان الکتریکی

پالسی فشارقوی در تصفیه فاضلاب و استریلیزاسیون، دریافت شد که مقدار pH فاضلاب، شدت جریان، ولتاژ و زمان انجام، همگی بر اثر استریلیزاسیون تأثیر بالایی داشته‌اند. در این آزمایش مقدار pH اسیدی باعث افزایش کشندگی اشرشیاکلی و سالمونلا شده است (El-Hag et al., 2006). هنگامی‌که شدت میدان الکتریکی زیاد است و زمان به ۱۲۰ ثانیه برسد، تاثیر میدان الکتریکی پالسی با ولتاژ بالا بهترین اثر کشنده را بر روی اشرشیاکلی و سالمونلا داشته است (Ma, 2022).

یکی از روش‌هایی که برای حذف عوامل بیولوژیکی در گذشته انجام شده، روش ازناسیون برای تصفیه آب‌های معدنی است. براساس نتایج حاصل از تحقیق ژیان و همکاران (۱۳۸۷)، در دوز ppm ۵/۱ ازن، راندمان حذف دیاتومه‌ها ۹۳/۸۴٪ گزارش شده و تأثیر ازن بر روی دیاتومه‌ها به‌دلیل پوسته سیلیسی آن‌ها به سختی انجام گرفته است. معمارزاده و همکاران (۱۳۸۸) با کانی گارنت سه‌لایه‌ای اقدام به بررسی راندمان حذف عوامل بیولوژیکی در تصفیه‌خانه اصفهان کردند. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داد که میانگین درصد حذف دیاتومه‌ها، روتیفر و نماتد به ترتیب ۹۷/۸٪، ۹۷/۶٪، ۹۶/۵٪ است. (Dehghani et al., 2013) تاثیرات اشعه ماوراء بنفش (UV) را روی نماتدها بررسی کردند. این روش دارای محدودیت‌هایی از قبیل کدورت و دما دارد؛ به این‌صورت که با افزایش کدورت از NTU ۹ به NTU ۲۵ راندمان حذف نماتدها از ۱۰۰٪ به ۶۶٪ رسیده است و هم‌چنین با افزایش دما از ۲۵ به ۴۵ سانتیگراد راندمان حذف از ۱۸/۵٪ به ۸۹ ٪ می‌رسد.

در مطالعه دیگری که درخصوص حذف نماتدها به‌روش فیلترهای شنی نوع تند انجام شد، اندازه منافذ موثر فیلتر بین ۰/۴۵ و ۰/۷۵ بود که باعث حذف نماتد بین ۵۵ تا ۶۰٪ شد (Seth et al., 1968). در مطالعه Sournia (1982) غیرفعال شدن یک پروتئاز به‌دست آمده از سودوموناس فلورسنس بررسی شد. پروتئاز پس از ۲۰ پالس و در میدان‌الکتریکی با شدت ۱۸ kV/cm و عصاره مخمر تا ۸۰٪ غیرفعال شد. البته، سرعت غیرفعال شدن پس از ۹۸ پالس و شدت میدان الکتریکی ۱۴ kV/cmدر شیر ۶۰٪ بود. نتایج نشان داد که فعالیت فسفاتاز قلیایی با استفاده از ۷۰ پالس با شدت میدان‌الکتریکی ۱۸/۸ kV/cm به‌میزان ۶۰٪ در شیر خام و شیر ۲٪ چربی و به‌میزان ۶۵ ٪ در شیر بدون چربی کاهش می‌یابد.

Ferrer (2007) از PEF به‌عنوان شبیه‌سازی برای تصفیه نوشیدنی‌های حاوی آب پرتقال و هویج در غلظت‌های مختلف استفاده کردند. نتایج نشان داد که در شدت میدان کم درآب هویج، سطح آلودگی اولیه بر تعداد نهایی از میکروارگانیسم‌ها، مهم‌ترین پارامتر مؤثر است. برای شدت میدان متوسط یا بالاتر، مهم‌ترین عامل تعیین تعداد نهایی از میکروارگانیسم‌ها بود که در شدت میدان (۲۰ کیلو ولت) درصد زیادی میکروارگانیسم‌های آب‌هویج از بین رفتند.

در تحقیقی باکتری‌های کشنده گرم مثبت (مونوسیتوژنز، استافیلوکوکوس اورئوس و لیستریا) و یک گرم منفی (اشرشیاکلی) باکتری در شیر توسط میدان‌های الکتریکی پالسی (PEF) ازمایش شدند و با استفاده از رسانه‌های غیرانتخابی و گزینشی و سینتیکی و PEF کشندگی آن‌ها مورد مطالعه قرارگرفت. نتایج تحقیق دیگری نشان‌داد که میدان الکتریکی پالسی یک‌روش نوین غیرحرارتی برای حفظ مواد غذایی است (Ji et al., 2022; Anderson et al., 2021).

Karandish et al. (2018) فاضلاب بیمارستانی را با فناوری PEF تصفیه کردند. راندمان غیرفعال‌سازی باکتری‌ها با موفقیت با واکنش زنجیره‌ای پلیمراز بلادرنگ (PCR) بررسی شد. نتایج نشان داد که بخش عمده‌ای از جمعیت باکتریایی را می‌توان به‌طور موثر با درمان PEF غیرفعال کرد. علاوه‌بر این نتایج نشان‌داد که فعالیت‌های نوکلئاز طبیعی برخلاف درمان حرارتی تحت‌تاثیر PEF قرار نمی‌گیرد.

در یکی از مطالعات اخیر آب آلوده به باکتری اشریشیاکلی (E.coli) و حذف این میکروارگانیزم به‌عنوان شاخص آلودگی آب‌های آشامیدنی و درجه تصفیه پساب فاضلاب بهداشتی با استفاده از ایجاد میدان الکتریکی پالسی بررسی شد (Ji et al., 2022). در این تحقیق با استفاده از دستگاه PEF در محدوده ۱ تا ۱۳ کیلو ولت (Kv/Cm) با فرکانس ۵۰۰ هرتز در بازه زمانی ۳ تا ۶۰ دقیقه با استفاده از آزمایش MPN/100 ml (محتمل‌ترین تعداد کلی فرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) به‌صورت ۹ لوله‌ای بررسی شد. نتایج این بررسی در دمای ۲۰ ^{o}C نشان داد که کمترین راندمان حذف آلودگی باکتری‌های کلیفرمی، مربوط به ولتاژ ۱ kV با زمان تماس ۱ دقیقه با راندمان صفر درصد و بیشترین راندمان حذف، مربوط به ولتاژkV ۱۳ زمان تماس ۳۰ دقیقه با راندمان ۹۹/۸٪ است.

روش‌های زیادی در زمینه تصفیه بیولوژیکی آب انجام گرفته است و با توجه به معایب این فرآیندها مانند استفاده از مواد شیمیایی، زمان ماند بالا و غیره، در حال‌حاضر بیشتر توجهات به‌سمت فرآیندهای نوین تصفیه بیولوژیکی معطوف شده است. استفاده از پالس الکتریکی نه تنها روشی نو و جدید بوده بلکه باعث کاهش استفاده از مواد شیمیایی و منعقدکننده‌ها می‌شود.

هدف از مطالعه حاضر بررسی و از بین‌بردن عوامل بیولوژیکی از قبیل دیاتومه‌ها، کلروفیسه، نماتد و غیره است. در این راستا با طراحی و ساخت یک دستگاه پایلوت میدان الکتریکی پالسی مطابق شکل ۱ این موضوع بررسی می‌شود، به این‌صورت که پساب حاصل از شستشوی معکوس فیلترها (Waste Filter Backwash) با جریان الکتریکی متفاوت از ۱ تا ۱۳ kV از پایلوت ساخته شده به شکل لوله، به قطر ۳ اینچ عبور داده شده و در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری انجام و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌های انجام کار در آزمایشگاه بیولوژیکی

۲-۱- نحوه جمع‌آوری و انتقال نمونه به آزمایشگاه

تمامی نمونه‌های زئوپلانکتون و فیتوپلانکتون توسط نمونه‌بردار مجرب آزمایشگاه بیولوژیکی به‌روش نمونه‌برداری ساده در ظرف پلاستیکی یا پلی‌اتیلنی ۱۰ لیتری که قبلا شستشو داده و آماده نمونه‌برداری شد، از خروجی پساب شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب (طبق قانون نمونه باید جزئی از کل باشد)، جمع‌آوری و اطلاعات اولیه خواص فیزیکی و شیمیائی نمونه پساب شامل pH، EC، دمای نمونه، عمق نمونه‌برداری، زمان نمونه‌برداری، کدورت نمونه، فصل نمونه‌برداری و تاریخ نمونه‌برداری بر روی برچسب مخصوص ضدآب ثبت و بلافاصله برای بررسی بیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شد. کار نمونه‌برداری مهم بوده و باید توسط نمونه‌بردار ماهر انجام شود. نمونه‌برداری در فصل بهار به‌مدت سه ماه با رعایت تواتر نمونه‌برداری، به‌صورت روزانه نمونه‌برداری و مورد بررسی و آزمایش قرارگرفت (Osouleddini et al., 2019).

۲-۱-۱- نکات ضروری در نمونه برداری

رعایت نکات زیر در نمونه برداری ضروری است:

الف) نمونه باید جزئی از کل باشد؛

ب) چنان‌چه نمونه پساب حاوی کلر آزاد باقی‌مانده یا دیگر هالوژن‌ها باشد، باید یک ماده احیاکننده تیوسولفات سدیم ($Na_2S_2O_3$) اضافه شود. تیوسولفات سدیم ماده کلرزدای مناسبی است که می‌تواند تمام هالوژن‌های باقی‌مانده را خنثی کرده و از اثر باکتری‌کشی کلر در طول تحقیق (Bactercidal) جلوگیری کند. درصورت وجود کلر در پساب باید از تیوسولفات در ظرف نمونه‌برداری به حجم ۱۲۰ میلی‌لیتری و یا معادل آن برای حجم‌های مختلف استفاده نمود. ۱۰ میلی‌لیتر از محلول ۱۰ درصد تیوسولفات می‌تواند نمونه‌ای حاوی ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کلر آزاد باقی‌مانده به حجم ۱۰ لیتر را خنثی نماید؛

پ) جنس ظرف نمونه‌برداری پلاستیکی یا پلی‌اتیلنی باشد؛

ت) ظرف نمونه‌برداری پس از شستشو با دترجنت و آب‌کشی با آب شهری، در پایان با آب مقطر آب‌کشی می‌شوند (Karimnezhad et al., 2023)؛

ث) پس از نمونه‌برداری، فضای خالی در بالای ظرف (حداقل ۲/۵ سانتی‌متر) برای هم‌زدن و مخلوط‌کردن باید درنظر گرفته‌شود؛

ج) برای پیش‌گیری از آلودگی با نمونه‌های حاوی عوامل بیماری‌زا، موارد بهداشتی و گندزدائی توسط نمونه‌بردار باید رعایت شود؛

چ) ظروف نمونه‌برداری نیازی به آب‌کشی اولیه با نمونه نداشته و مستقیما از نمونه پر می‌شود؛

ح) حجم نمونه‌ای که بتوان تمام آزمایش‌های بیولوژیکی را بر روی آن انجام داد نباید از ۱۰ لیتر کمتر باشد؛

خ) آزمایش‌های میکروبیولوژیکی باید بلافاصله پس از نمونه‌برداری انجام شود. چنانچه نتوان نمونه‌ها را ظرف ۳ تا ۴ ساعت به آزمایشگاه تحویل داد، حتما در کول‌باکس در دمای ۴ تا ۸ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به آزمایشگاه نگهداری شود؛

د) دمای تمام نمونه‌های آب‌سطحی، آشامیدنی و فاضلاب‌ها باید طی حداکثر ۶ ساعت زمان انتقال به آزمایشگاه زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود. درصورت نیاز به نگهداری بیش از ۲۴ ساعت باید از محلول فرمالدئید یا لوگل استفاده نمود (Osouleddini et al., 2018).

۲-۲- ابزار و لوازم مورد نیاز آزمایش

دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل یک دستگاه Pulsed Electric Field (PEF) است که توسط محققین طراحی و ساخته شد و منبع تغذیه آن (kv ۱ تا ۱۳) با فرکانس ۵۰۰ Hz توسط شرکت متنا ساخته شد (شکل ۱). آب دیونایز برند متاسو، سیستم وکیوم فیلتر هولدر برند SHIN SAENG برای صاف‌سازی و آماده‌سازی نمونه، یک دستگاه میکروسکوپ نوری مدل BA Motic 300، لام سدویک رافتر S52 کد ۰۲ B00417 کمپانی Graticules Opticsانگلیس ابعاد سل ۵۰mm×۲۰×۱ در خط‌کشی‌های ۱ میلی‌متری مدرج شده که هر ۱ میلی‌لیتر آن معادل ۱۰۰۰ میکرولیتر برای شمارش تعداد عوامل بیولوژیکی است و ابعاد کلی آن 76×40 mm و ضخامت ۲ mm است، استفاده شدند. هم‌چنین از کاغذ صافی مارک MN آلمان با پو سایز ۰/۸ میکرون برای شمارش عوامل بیولوژیکی و پورسایز ۳ میکرون برای شمارش نماتدها، پنس برای جابجائی فیلترهای کاغذی، پیپت ۱ میلی‌لیتری برای برداشت آب مقطر و شستن سطح فیلتر کاغذی

استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغلیظ و شمارش نمونه‌ها در آزمایشگاه و شناسائی آن

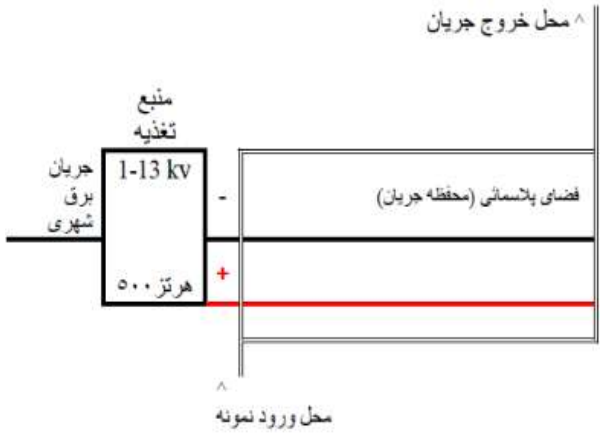
یک لیتر از نمونه همگن تحت‌تاثیر قرار داده‌شده در میدان الکتریکی از محفظه پلاسما سیستم PEF به‌منظور بررسی عوامل بیولوژیکی برداشته شده و با سیستم تغلیظ‌کننده عوامل بیولوژیکی به‌روش فیلتر غشائی تحت خلاء (دستگاه وکیوم فیلتر هولدر) تغلیظ شد. برای بررسی فیتوپلانکتون‌ها ۱ لیتر از نمونه از صافی واتمن مش ۰/۸ و زئوپلانکتون‌ها از صافی واتمن مش ۳ میکرون در مرحله صاف‌سازی استفاده شد، تا یک‌سری میکروارگانیزم‌ها روی آن جمع‌آوری شود. نمونه‌ها قبل از وارد شدن به چمبر فیلتراسیون، باید خوب به‌هم‌زده تا همگن شود. سپس به‌کمک پنس گوشه کاغذ صافی را گرفته و آن‌را از سطح فیلتراسیون برداشته و به جدار داخلی بشر ۵۰ میلی‌لیتری که قبلا شسته شده و با آب مقطر آبکشی و خشک شده است، چسبانده می‌شود. از یک سمپلر یا پیپت استاندارد ۱/۲ میلی‌لیتر، آب مقطر با فشار روی کاغذ ریخته و سطح فیلتر شستشو داده شد، سپس آرام‌آرام با حرکت رفت و برگشتی با نوک پیپت سطح فیلتر ساب شد. ۱ میلی‌لیتر از آب را کشیده در یک گوشه لام سدویک رافتر که قبلا با شوینده شستشوی و خشک شده، انتقال داده شد. لامل روی لام را یک چرخش ۴۵ درجه داده شد که این امر باعث پخش یکنواخت آب در داخل لام می‌شود و اجازه نمی‌دهد حباب در داخل لام تشکیل و حضور داشته باشد. لام بیولوژیکی دارای ۱۰۰۰ خانه یک میلی مترمکعب در ردیف‌های ۵۰ در ۲۰ میلی‌متر تقسیم شده شد. لام تهیه شده به‌مدت ۱۵ دقیقه زمان ماند برای ته‌نشین شدن فیتوپلاکتون‌ها (شکل ۲) و زئوپلانکتون‌ها که حتما حضوردارند کنار گذاشته شده و بعد مورد ارزیابی قرارگرفت. سپس با میکروسکوب نوری و بعد با عدسی شماره ۴، لام اسکن و بعد با عدسی شیئی ۱۰ لام ملاحظه و بررسی کیفی انجام شد. درصورت نیاز به بررسی دقیق‌تر از عدسی ۱۰۰ با روغن امرسیون (Oil immersion) استفاده می‌شود. جدول ۱ پارامترهای مورد بررسی و واحد گزارش‌دهی تعداد عوامل بیولوژی در حجم نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای مورد بررسی و واحد گزارش‌دهی هرکدام از عوامل بیولوژیکی

ردیف	پارامترهای بیولوژیک پساب تصفیه‌خانه آب		
	عنوان آزمایش		واحد
۱	شمارش دیاتومه‌ها	فیتوپلانکتون‌ها	۱۰۰ cc
۲	شمارش کلروفیسه‌ها		۱۰۰ cc
۳	شمارش سیانوفیسه‌ها		۱۰۰ cc
۴	شمارش پروتوزوآ	رئوپلانکتون‌ها	۱۰۰۰ cc
۵	شمارش روتیفرها		۱۰۰۰ cc
۶	شمارش کرستاسه‌ها		۱۰۰۰ cc
۷	شمارش نماتد		۱۰۰۰ cc
۸	شمارش سایر موجودات زنده		۱۰۰۰ cc

۳-۲- فرآیند میدان الکتریکی پالسی (PEF)

اجزای تشکیل‌دهنده این دستگاه شامل: مخزن اولیه؛ پمپ تغذیه؛ منبع تغذیه ولتاژ بالا (High voltagh) در محدوده ۱ تا ۱۳ کیلوولت بر سانتی‌متر با فرکانس ۵۰۰ هرتز و محفظه واکنش متحدالمحور اعمال جریان High voltagh بود، که دارای محل ورود و خروج جریان پساب است. داخل محفظه واکنش PEF که یک محیط پلاسما و متشکل از الکترودهائی از جنس تیتانیوم با قطب مثبت و منفی با فاصله معین از هم‌دیگر در داخل لوله‌ای از جنس PVC با قطر ۳ اینچ تعبیه شد. ترتیب قرارگرفتن الکترود نیز در نابودی میکروارگانیسم‌ها مؤثر است (Ferrer et al., 2007). هم‌چنین در این دستگاه نکات ایمنی لازم از جمله آب‌بند نمودن محفظه جریان پلاسما و عایق‌کاری جریان الکتریکی و برقراری سیم ارت[۳] نیز رعایت شد. شمای کلی دستگاه PEF در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- شمای کلی دستگاه PEF

در این تحقیق پساب نمونه‌برداری شده بلافاصله به مخزن اولیه مجهز به‌هم‌زن با حجم ۵۰ لیتر به‌عنوان مخزن همگن‌ساز

وارد شده، پس از یکنواخت‌سازی نمونه، توسط پمپ به محفظه پلاسمائی منتقل شد. سپس به‌ترتیب از محدوده ۱ تا ۱۳ کیلوولت با دامنه ۱ کیلوولت با فرکانس ثابت ۵۰۰ Hz در زمان‌های متفاوت (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) به‌صورت جریان قالبی، در محیط پلاسمائی اعمال جریان شده و نمونه‌های مطابق برنامه پس از اعمال جریان خاص به‌ترتیب مثلا ۱ کیلوولت و زمان تماس ۱۰ دقیقه، و ۱ کیلوولت و زمان تماس ۲۰ دقیقه و غیره اقدام شد. پس از سپری شدن ولتاژ و مدت زمان موردنظر، مقدار ۱ لیتر از حجم نمونه به‌دست آمده برداشته شد و به‌داخل چمبر سیستم وکیوم فیلتر هولدر خالی شده و عمل صاف‌سازی توسط فیلتر خاص موردنظر انجام شد. اجرام ته‌نشین شده در سطح فیلتر به حجم ۱ میلی‌لیتر تغلیظ شده و به‌داخل لام بیولوژیک منتقل شده، در زیر میکروسکوپ روند تغییرات موجودات بیولوژیکی، قبل و بعد از اعمال جریان PEF در ولتاژ و زمان‌های متعدد زیر میکروسکوپ تحرکات و تاثیرات مورد بررسی و پایش قرارگرفت. نتایج براساس تغییر ولتاژ و مدت زمان آن‌ها ثبت شد. پس از هر بار آزمایش، محیط داخلی پلاسما با درجنت شستشوی و آبکشی می‌شد. این سیستم با تخریب دیواره سلولی[۴] و انعقاد پروتئین موجب از بین‌رفتن عوامل بیولوژیکی شد.

شکل ۲- فیتوپلانکتون‌ها (بخش خودپرورد پلانکتون‌ها عمدتاً شامل جلبک‌های معلق‌اند که معمولا نزدیک سطح آب در منطقه نورزی، زندگی می‌کنند)

بدین‌ترتیب کمترین راندمان حذف برای روتیفر ۱ تا ۱۰ کیلو ولت (kV)، برای نماتد ولتاژهای ۱ تا ۸کیلو ولت (kV)، برای دیاتومه‌ها ۱ تا ۴ کیلوولت، برای کلروفیسه ۱ تا ۳ کیلوولت و برای سیانوفیسه‌ها ۱ تا ۵ کیلوولت که برابر صفر است و بیشترین راندمان حذف روتیفر در ولتاژ ۱۳ تا ۱۱ کیلوولت با متوسط راندمان ۲۰ درصد، نماتد در ولتاژ ۱۳ تا۹ کیلوولت با متوسط راندمان ۲۵ درصد، دیاتومه با توجه به طیف گستردگی در ولتاژ بین ۱۳ تا ۵ کیلو ولت با متوسط راندمان ۸۵ درصد، کلروفیسه در ولتاژ ۱۳ تا ۹ کیلو ولت با راندمان ۹۰ درصد و سیانوفیسه ۱۳ تا ۶ کیلو ولت با راندمان ۹۰ درصد به‌دست آمد (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۲- ولتاژ موثر بر عوامل بیولوژیکی با عبور از ولتاژ ۱ تا ۱۳ کیلوولت و بازه زمانی ۱۰ تا ۶۰ دقیقه

عامل بیولوژیکی	سیانوفیسه	کلروفیسه	دیاتومه	نماتد	روتیفر
ولتاژ برحسب (kV)	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳
زمان تماس (Min)	۳۰ تا ۶۰	۳۰ تا ۶۰	۳۰ تا ۶۰	۶۰	۶۰
اثرات (٪) متوسط (Ave)	۸۰ تا ۹۰ (۸۵)	۸۰ تا ۹۰ (۸۵)	۷۰ تا ۸۰ (۷۵)	۲۰ تا ۳۰ (۲۵)	۲۰

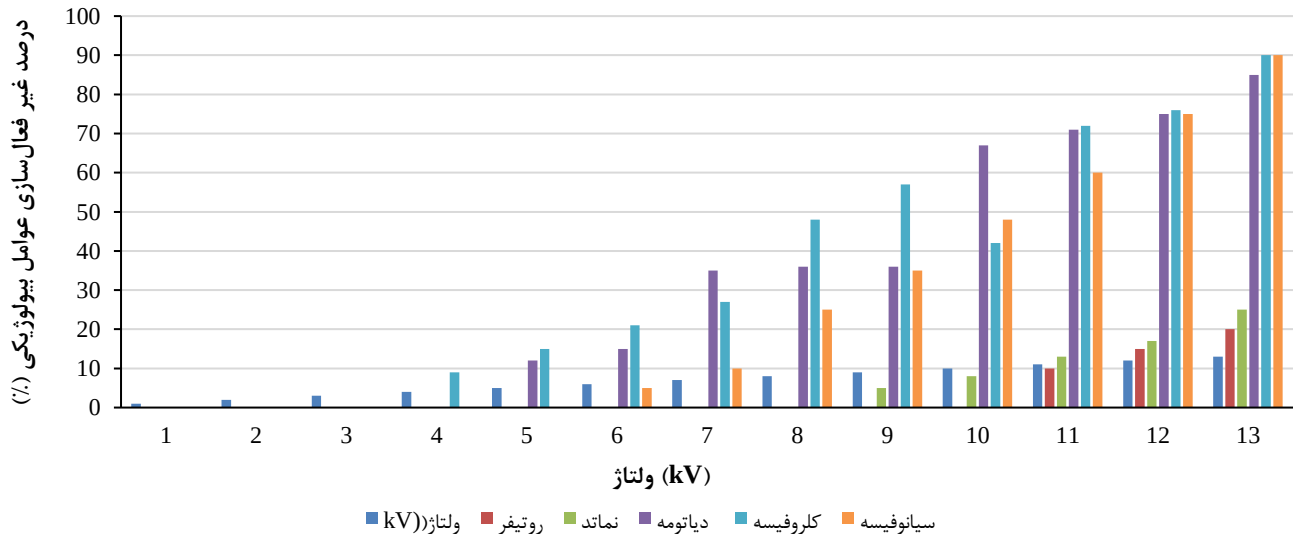
جدول ۳- راندمان حذف آلودگی بیولوژیکی در ولتاژهای ۱ تا ۱۳ کیلوولت

ولتاژ (کیلوولت)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
درصد غیرفعال‌سازی روتیفر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۵	۲۰
درصد غیرفعال‌سازی نماتد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۸	۱۳	۱۷	۲۵
درصد غیرفعال‌سازی دیاتومه	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۵	۳۵	۳۶	۳۶	۶۷	۷۱	۷۵	۸۵
درصد غیرفعال‌سازی کلروفیسه	۰	۰	۰	۹	۱۵	۲۱	۲۷	۴۸	۵۷	۴۲	۷۲	۷۶	۹۰
درصد غیرفعال‌سازی سیانوفیسه	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۱۰	۲۵	۳۵	۴۸	۶۰	۷۵	۹۰

جدول ۲ این اثرات را در ولتاژهای ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهد. میزان ولتاژ PEF به بزرگی و کوچکی احجام عوامل بیولوژیکی و گیاهی و جانوری بستگی دارد. تاثیرات کلی دستگاه PEF بر روی عوامل بیولوژیکی قابل‌قبول است، به‌طوری‌که عوامل کلروفیسه و دیاتومه‌ها در ولتاژ پایین‌تری نسبت به سایر عوامل بیولوژیکی موجود در منابع آب از قبیل نماتدها، کروستاسه‌آ و روتیفرها در برابر میدان الکتریکی دستگاه تضعیف یا حتی غیرمتحرک می‌شود و هم‌چنین نماتدها که دارای بافت سلولی است پس از ورود به ولتاژ ۹ تا ۱۳ کیلوولت تحت‌تاثیر PEF قرارگرفته و غیرفعال و غیرمتحرک می‌شوند.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این بررسی بیولوژیکی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه به‌صورت کیفی با ولتاژهای متفاوت در دامنه ۱ تا ۱۳ کیلوولت با بازه ۱ کیلوولت با فرکانس ثابت ۵۰۰ هرتز در زمان‌های متفاوت ، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) در معرض تماس PEF قرارگرفته و سپس در زیر میکروسکوپ اثرات آن بررسی و ارزیابی کیفی شد. این بررسی کیفی نشان داد محدوده ۱ تا ۶ کیلوولت در زمان‌های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه، تاثیر خیلی کمی روی عوامل بیولوژیکی موجود در پساب از جمله کلروفیسه و دیاتومه داشته و تاثیر غیرفعال‌سازی PEF بر روی عوامل بیولوژیکی از قبیل نماتدها و روتیفرها در محدوده ۱۰-۱۳ کیلوولت اتفاق می‌افتد. این تحقیق نشان‌داد که در سیستم PEF، نوع عوامل بیولوژی، مقدار ولتاژ، زمان تماس و درصد غیر فعال‌سازی عوامل بیولوژی در روتیفرها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۰ درصد، نماتدها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۵ درصد، دیاتومه‌ها؛ ۱۱ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۷۵ درصد، کلروفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد و سیانوفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد در غیر فعال‌سازی آن‌ها موثر بوده است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که عمده این تاثیرات کیفی توسط دستگاه PEF در زمان بالای ۵۰ دقیقه و در ولتاژ بالای۶ کیلوولت اتفاق می‌افتد. در کل از نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که این روش برای غیر فعال‌سازی کامل نماتدها و سایر موجودات آزادزی به ادامه آزمایش با ولتاژهای بالای ۱۳ کیلوولت نیاز دارد (شکل ۳).



شکل ۳- راندمان غیرفعال‌سازی عوامل بیولوژیکی (٪) در ولتاژهای ۱ تا ۱۳ کیلو ولت (kV)

از مزایای روش PEF می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش هزینه‌های مربوط به خرید (انبارش، تهیه و تزریق) مواد گندزدایی برای آب؛
- تهیه و نصب و بهره‌برداری از آن آسان است؛
- عدم ایجاد محصولات جانبی حاصل[5] از این روش برای آب آشامیدنی؛
- این روش کم هزینه‌تر از سایر روش‌های گندزدائی نهایی است (درصورت رسیدن به مرحله بهره‌برداری)؛
- صرفه‌جویی در حوزه اقتصاد، گرما، انرژی و زمان.

در این تحقیق، هدف از اعمال PEF در فرایند تصفیه پساب، حذف این عوامل بیولوژیکی نبوده، بلکه هدف اصلی غیرفعال نمودن بار بیولوژیکی است تا این عوامل مهم بیولوژیکی از قبیل

نماتدها و روتیفرها غیرفعال شده در سایر فرایند تصفیه از قبیل فرایند انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی از آب یا پساب جدا شوند. این روش با توجه به میزان کارائی بالا، به‌عنوان بهترین روش برای کاهش آلودگی میکروبی پساب‌های شهری برای دفع در آب‌های پذیرنده و آبیاری زمین‌های کشاورزی پیشنهاد می‌شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Asterionella
2- Escherichia coli (E-coli)
3- Earth cable
4- Cellwall
5- By product

۶- مراجع

عروجی، ن.، تکدستان، ا.، عظیمی، ع ا.، و کریمی، ف.، (۱۳۹۷)، "اثرغلظت پارانیتروفنل موجود در فاضلاب بر کارایی فرایند تصفیه بیولوژیکی هوازی و میزان لجن مازاد دفعی"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۳)، ۱۷-۲۸، https://doi.org/10.22112/jwwse.2018.122189.1075.

فریدی راد، ف.، قلی‌نژاد، م.، تبریزی، ف.، و سلابرزی، ن.، (۱۴۰۰)، "بررسی حذف نماتد توسط واحدها و یکان‌های تصفیه‌خانه آب شرب پردیس"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۶(۲)، ۲۷-۳۷، https://doi.org/10.22112/jwwse.2021.242138.1218.

ژیان، ح.، (۱۳۸۷)، " استفاده از روش ازناسیون برای تصفیه آب‌های معدنی"، *انسان و محیط زیست*، ۷(۲۰)، ۱-۵۳، https://civilica.com/doc/1965686.

معمارزاده، م.، نجفی، پ.، و افیونی، م.، (۱۳۸۸)، "بررسی راندمان استفاده از کانی گارنتدرصافی سه لایه‌ای در تصفیه‌خانه آب اصفهان"، *سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست*، تهران، ایران، https://civilica.com/doc/68347.

Alavian, A., Osouleddini, N., and Hakimi, L., (2024), "Biochar and vermicompost modulated Pb toxicity in summer savory (Satureja Hortensis L.) plants through inducing physiological and biochemical changes", *Arabian Journal of Chemistry*, 17(2), 105547, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105547.

Anderson, S., Barton, A., Clayton, S., Dutkiewicz, S., and Rynearson, T., (2021), "Marine phytoplankton functional types exhibit diverse responses to thermal change", *Nature Communications*, 12(1), 6413, https://doi.org/10.1038/s41467-021-26651-8.

Dehghani, M.H., Jahed, G.-R., and Zarei, A., (2013), "Investigation of low-pressure ultraviolet radiation on inactivation of Rhabitidae Nematode from water", *Iranian Journal of Public Health*, 42(3), 314.

El-Hag, A.H., Jayaram, S.H., and Griffiths, M.W., (2006), "Inactivation of naturally grown microorganisms in orange juice using pulsed electric fields", *IEEE Transactions on Plasma Science*, 34(4), 1412-1415, https://doi.org/10.1109/TPS.2006.878382.

Ferrer, C., Rodrigo, D., Pina, M., Klein, G., Rodrigo, M., and Martínez, A., (2007), "The Monte Carlo simulation is used to establish the most influential parameters on the final load of pulsed electric fields E. coli cells", *Food Control*, 18(8), 934-938, https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.05.009.

Ji, F., Sun, J., Sui, Y., Qi, X., and Mao, X., (2022), "Microbial inactivation of milk by low intensity direct current electric field: Inactivation kinetics model and milk characterization", *Current Research in Food Science*, 5 1906-1915, https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.015.

Karandish, F., and Mousavi, S.-S., (2018), "Climate change uncertainty and risk assessment in Iran during twenty-first century: evapotranspiration and green water deficit analysis", *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1), 777-791, https://doi.org/10.1007/s00704-016-2008-2.

Karimnezhad, K., Moghimi, A., Adnan, R., and Abniki, M., (2023), "An alternative method of dispersive solid-phase extracting Hg (II) from environmental aqueous solutions using carboxylic functionalized carbon nanotubes", *Micro & Nano Letters*, 18(1), e12150, https://doi.org/https://doi.org/10.1049/mna2.12150.

Ma, L., (2022), "High voltage pulsed electric field technology to kill bacteria or pathogens in sewage", *Academic Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 13-25, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127382.

Osouleddini, N., Moradi, M., Khosravi, T., Khamotian, R., and Hooshmand, Sh., (2018), "The iron modification effect on performance of natural adsorbent scoria for malachite green dye removal from aquatic environments: modeling, optimization, isotherms, and kinetic evaluation", *Desalination and Water Treatment*, 123, 348-357, https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22658.

Osouleddini, N., Tajik, L., and Moradi, M., "Degradation of amoxicillin by persulfate activated with Fe_3O_4/GO nanocomposite in aqueous solution" *Desalination and Water Treatment*, 153, 392-401, https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23970.

Poniewozik, M., and Lenard, T., (2022), "Phytoplankton composition and ecological status of lakes with cyanobacteria dominance", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3832, https://doi.org/10.3390/ijerph19073832.

Seth, A., George, M., Bewtra, J., and Sharma, V., (1968), "Nematode removal by rapid sand filtration", *Journal-American Water Works Association*, 60(8), 962-968, https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1968.tb03629.x.

Shirkavand, B., Abniki, M., Rahmani, Z., Esmaili Salmi,

R., and Rezaei Behbahani, P., (2023), “The process of removing paratoleic acid by advanced oxidation process from the effluent of terephthalic acid production in textile fiber production industries”, *Journal of Textile Science and Technology*, 12(1), 17-26, https://doi.org/20.1001.1.21517162.1402.12.1.2.1.

Singh, G.L., Dudheria, G., Kumar, H.A., Kruthika, S., Palati, M., and Banerjee, S., (2016), “Application of pulsed electric field for food preservation”, *International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C)*, Kollam, India, IEEE, (pp. 1-4).

Sournia, A., (1982), “Form and function in marine phytoplankton”, *Biological Reviews*, 57(3), 347-394, https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1982.tb00702.x.

Wang, B., Luo, L., Mei, L., and Zeng, H., (2024), “Temporal and spatial distribution of Phytoplankton and role of environment factors in the Shending River backwater in the Danjiangkou reservoir area”, *Water*, 16(2), 326, https://doi.org/10.3390/w16020326.

Yadav, K., Bharti, L., and Chaubey, A.K., (2023), “Role of Entomopathogenic nematodes in organic farming and sustainable development”, In: K. Rehman Hakeem (Ed.), *Organic Fertilizers - New Advances and Applications*, (pp. 358), Rijeka, Croatia, https://doi.org/intechopen.1001578.

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 3, PP. 51-61, Autumn 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2024.424267.1381

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، صفحات ۵۱-۶۱، پاییز ۱۴۰۳

Research Paper

Application of Nanowire Cu for Removal of Methyl Orange from Synthetic Wastewater Using Ultrasonic Waves: Response-Surface Methodology

Saeid Khodadoust[1], Mehri Ebadi[2*] and Fatemeh Zeraatpisheh[3]

1- Associate Professor, Chemistry Department, Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.
2- MSc Student, Chemistry Department, Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.
3- Assistant Professor, Chemistry Department, Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.
* Corresponding Author, Email: khodadoust@bkatu.ac.ir

Received: 01/01/2024
Revised: 08/05/2024
Accepted: 14/05/2024
© IWWA

Abstract

In this study, copper nanowire (NW-Cu) was used as an adsorbent to remove hazardous azo dye (methyl orange). Copper nanowires were characterized with transmission electron microscopy (TEM). The effect of related factors such as pH, sonication duration, dye concentration and adsorbent amount on methyl orange dye removal was tested. To optimize the absorption process, the response surface method and the central composite design using three levels and four effective factors were used. The highest removal percentage (89.1) was obtained in optimal conditions of 16 mg/L dye concentration, pH = 6, 16 minutes of sonication time and 18 mg of absorbent. After optimization, kinetics and isotherms were studied. The results of isotherm, kinetics and thermodynamic studies showed that the adsorption is done using the Langmuir isotherm model with a correlation coefficient of 0.991 and the quasi-quadratic kinetics model with a correlation coefficient of 0.999. Copper nanowire can be used as an effective and cost-effective adsorbent to remove methyl orange from industrial wastewater.

Keywords: Copper nanowires, Methyl orange, Ultrasound, Central composite design, Isotherm.

مقاله پژوهشی

کاربرد نانو سیمهای مس برای حذف متیل اورانژ از پساب سنتزی با استفاده از امواج فراصوت: متدولوژی سطح-پاسخ

سعید خدادوست[1*]، مهری عبادی[2] و فاطمه زراعت‌پیشه[3]

۱- دانشیار گروه شیمی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء، بهبهان، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شیمی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء، بهبهان، ایران.
۳- استادیار گروه شیمی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء، بهبهان، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: khodadoust@bkatu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در این مطالعه از نانوسیم‌های مس (NW-Cu) به‌عنوان جاذب برای از بین‌بردن رنگزای خطرناک آزو (متیل اورانژ) استفاده شده است. ریزساختار نانو سیم‌های مس با تکنیک میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) بررسی شد. تأثیر عوامل مرتبط مانند: pH، مدت زمان امواج فراصوت، غلظت رنگزا و مقدار جاذب بر حذف متیل اورانژ مورد آزمایش قرارگرفت. برای بهینه‌سازی فرایند جذب از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی با بهره‌گیری از سه سطح و چهار عامل موثر استفاده شد. بالاترین درصد حذف (۸۹/۱) در شرایط بهینه ۱۶ ppm غلظت رنگزا، ۱۶ دقیقه زمان امواج فراصوت و ۱۸ میلی گرم جاذب به‌دست آمد. نتایج ایزوترم و سینتیک انجام شده نشان‌داد که جذب به‌کمک مدل ایزوترم لانگمویر با ضریب همبستگی ۰/۹۹۱ و مدل سینتیکی شبه درجه دوم با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹ انجام می‌شود. نانو سیم‌های مس می‌تواند به‌عنوان یک جاذب مؤثر و مقرون به‌صرفه برای حذف متیل اورانژ از فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرارگیرد.

کلمات کلیدی: نانوسیم‌های مس، متیل اورانژ، امواج فراصوت، طرح مرکب مرکزی، هم‌دما.

۱- مقدمه

در سالیان اخیر با پیشرفت صنایع مختلف، آلودگی آب به‌یک مشکل در سطح جهانی تبدیل شده است. مهم‌تر از همه فاضلاب‌های حاوی رنگ‌زاهای مصنوعی است که به‌عنوان مواد اولیه صنایع مختلف مانند نساجی،کاغذ، پلاستیک، چرم، مواد غذایی و دارویی استفاده می‌شود و به‌طور مستقیم و بدون هیچ گونه تصفیه‌ای وارد محیط می‌شود. بیشتر مواد رنگی به‌دلیل این‌که دارای ساختار شیمیایی پایداری هستند، می‌توانند برای مدت‌زمان طولانی در محیط طبیعی وجود داشته باشند. مصرف بیش از حد رنگ‌زاها باعث آسیب مستقیم به کبد، دستگاه گوارش وسیستم عصبی مرکزی انسان می‌شود (Wan et al., 2017, Erek Sen and Mine Senol, 2023). به‌دلیل تخلیه پساب‌های رنگی ناشی از صنایع نساجی، صنایع دارویی، صنایع رنگ‌رزی و دیگر صنایع، آب‌های سطحی و زیرزمینی دچار آلودگی شده‌اند. آب آلوده به رنگ نیز می‌تواند وارد چرخه مواد غذایی موجودات شود و اختلالات فتوتیپی و ژنوتیپی ایجاد کند (Ahlawat et al., 2020). مواد رنگی پایداری طولانی‌مدتی در محیط دارند و در نتیجه تهدید بزرگی برای محیط‌زیست و سلامت انسان است (Wan et al., 2017).

رنگ‌زاهای آزو به‌وسیله جفت‌شدن یک ترکیب دی‌آزونیوم با یک آمین آروماتیک تهیه می‌شوند وگروهی از رنگ‌زاهای فعال هستند که حدود ۶۰-۷۰ درصد از کل رنگ‌های مورد استفاده در صنایع را تشکیل می‌دهند (Rauf et al., 2011). این رنگ‌زاها با الیاف‌های نساجی مانند کتان پیوند کووالانسی برقرار می‌کنند که به‌علت ساختار کمپلکس شیمیایی آن‌ها مولکول‌های پایداری هستند و در برابر عوامل اکسید کننده و هضم هوازی بسیار پایدارند. بنابراین تصفیه فاضلاب‌های حاوی این رنگ‌زاها توسط فرایندهای متداول بیولوژیکی و فیزیکی شیمیایی به سختی انجام می‌شود (Darwish et al., 2019; Tolke et al., 2024). وجود یک یا چند گروه آزو (N=N) در ساختار شیمیایی از ویژگی‌های شاخص این رنگزاها است (Hajati et al., 2014). برای حذف رنگ‌ها از فاضلاب‌های صنعتی تکنیک‌های متعددی از جمله فناوری فیلتراسیون، تصفیه شیمیایی، روش الکتروشیمیایی، روش اکسایش پیشرفته، تصفیه زیستی و جذب سطحی وجود دارد. از میان این روش‌ها فرایند جذب از روش‌های موثر در حذف رنگ‌زاها به شمار می‌رود (Gupta, 2009; Crini, 2005).

ساز و کار عملکرد امواج فراصوت به پدیده حفره‌زایی مربوط می‌شود که در توده مایع حباب‌های بسیار ریزی ایجاد می‌شود و هنگامی‌که به اندازه بحرانی برسند، این حباب‌ها منفجر شده و انرژی زیادی آزاد می‌کنند. انفجار حباب‌ها اغتشاشات و تلاطم‌های گرداب‌گونه در مایع ایجاد می‌کند که انتقال جرم افزایش می‌یابد. در مجاورت ذرات جامد انفجار حباب‌ها نامتقارن است و جریانی از مایع به سطح ذرات کشیده می‌شود و باعث سایش، شکستگی و تخریب آن می‌شود (Shotipruk et al., 2001).

در روش‌های بهینه‌سازی چندعاملی، اثر متغیرها بر روی سیستم به‌طور هم‌زمان اعمال و بررسی می‌شود. این روش، یک روش سریع و کم هزینه بوده، سیستم به‌طور کامل همراه با جزئیات مطالعه می‌شود، نسبت به روش بهینه‌سازی تک‌عاملی هزینه و زمان کمتری مصرف می‌کند و تعداد آزمایش‌های آن بسیار کمتر است. روش‌های بهینه‌سازی هم‌زمان نسبت به روش تک‌عاملی که تنها ماکزیمم فرعی را پیدا می‌کند و بستگی به شرایط اولیه دارد، برهمکنش بین عامل‌ها را نیز بررسی و نقطه بهینه اصلی را مشخص می‌کند (Khodadoust et al., 2015; Ghadami et al., 2024).

Baig et al. (2020) از نانو ذرات اکسید نیکل به‌عنوان جاذب برای حذف رنگ‌های آزو و خطرناک از محلول‌های آبی استفاده کردند. تأثیر عوامل مرتبط مانند pH، مدت زمان تماس، غلظت اولیه، مقدار جاذب و دما بر حذف رنگ آزو مورد آزمایش قرارگرفت. هم‌چنین در این تحقیق هم‌دمای ترمودینامیکی و سینتیکی مورد مطالعه قرارگرفت و برای بهینه‌سازی فرایند جذب از روش سطوح پاسخ و از مدل Box-Behnken استفاده شد.

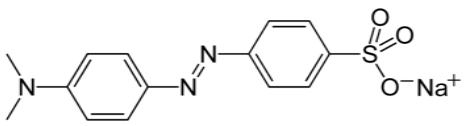
Zafar et al. (2019) از نانو ذرات اکسید روی برای حذف رنگ‌زای متیل اورانژ استفاده کردند. در این مطالعه، جاذب به‌کار رفته بازده قابل‌توجهی برای از بین‌بردن رنگ‌زای متیل اورانژ نشان‌داد و با استفاده از ۰/۳گرم نانوذرات اکسید روی، حداکثر بازده حذف در pH=۶ به‌دست آمد. فرایند جذب نیز از مدل لانگمویر و سینتیک آن از مدل جنبشی شبه مرتبه درجه دوم پیروی می‌کرد. Robati et al. (2016) حذف دو رنگ قرمز بازی و متیل اورانژ را به کمک اکسید گرافن مورد بررسی قراردادند و تاثیر پارامترهایی مانند، pH، مدت زمان تماس، غلظت اولیه رنگ و دما مورد مطالعه و بهینه سازی قرارگرفت. Mokhtari et al. (2016) نانوذرات سولفید مس بر کربن فعال (CuS-NP-AC) را سنتز کردند. این نانوذرات به‌کمک طیف‌سنج UV-Vis، BET، XRD، FESEM، مورد مطالعه قرارگرفتند و اثر پارامترهای pH، غلظت اولیه رنگ متیل‌اورانژ، مقدار دوز جاذب و مدت زمان تماس مورد بررسی قرارگرفتند. جذب رنگ متیل اورانژ از مدل لانگمویر و سینتیک آن از مدل شبه مرتبه دوم پیروی می‌کرد (رهدار و

همکاران، ۱۳۹۹؛ علی‌محمدی و همکاران، ۱۴۰۲).

در این پژوهش کاربرد نانو سیم های مس برای حذف متیل اورانژ از آب‌های محیطی مورد بررسی قرارگرفته و از روش بهینه‌سازی طرح مرکب مرکزی برای به‌دست آوردن مقادیر بهینه متغیرها استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

متیل اورانژ با فرمول شیمیایی ($CH_{14}N_3NaO_3S$) یک رنگ سنتزی آزو است. این رنگ نام‌های مختلفی دارد که در آیوپاک به نمک سدیم ۴-دی متیل آمینو آزو بنزن-۴- سولفونیک اسید نام‌گذاری می‌شود. متیل اورانژ جامد و پودری نارنجی رنگ با وزن مولکولی ۳۲۷/۳۳ گرم بر مول است که انحلال خوبی در آب گرم دارد اما قابلیت حل‌شدن در اتانول را ندارد. ساختار این ترکیب در شکل ۱ نشان داده‌شده است (Chen et al., 2011). متیل اورانژ، استون، هیدروکسید سدیم، کلریدریک اسید و دیگر مواد مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه و مورد استفاده قرارگرفت. دستگاه‌ها و تجهیزات استفاده‌شده در این پژوهش شامل ترازوی دیجیتال (XBPrecisa 220 A)، حمام فراصوت با توان ۲۰ کیلو هرتز (XUBA3)، pH متر (BP3001)، گرم‌کن و همزن مغناطیسی، طیف‌سنجی فرابنفش و مرئی (UV-Vis) آون (Froilabo AIR Performance)، سانتریفیوژ، میکروسکوپ الکترونی عبوری میدانی (TEM) بودند.



شکل ۱- ساختار رنگزای متیل اورانژ

۲-۱- سنتز نانوسیم‌های مس

نانوسیم‌های مس (Cu-NWs) براساس واکنش مخلوط نیترات مس $Cu(NO_3)_2$ با هیدرازین N_2H_4 در محیط‌های آبی به‌شرح زیر سنتز شدند: ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول NaOH (۷ مول بر لیتر) و ۷/۵ میلی‌لیتر محلول آبی نیترات مس (۰/۱ مول بر لیتر) در یک بالن شیشه‌ای با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر با یکدیگر مخلوط شد. سپس ۱/۹۵ میلی‌لیتر اتیلن دی‌آمین ۹۹ درصد و ۰/۷۵ میلی‌لیتر محلول هیدرازین (۲/۸ مول بر لیتر) به‌ترتیب به بالن شیشه‌ای اضافه شد. مخلوط واکنش به‌مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب حرارت داده‌شد. درنتیجه رنگ مخلوط بعد از ۳۸ دقیقه از آبی به برنز تغییر پیدا کرد که تشکیل نانوسیم‌های مس را تایید می‌کند. در مرحله بعد، ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول تازه تهیه‌شده (NW-Cu) با ۳۰ گرم کربن فعال در یک بالن ۲۵۰ میلی‌لیتری به‌مدت ۴ ساعت توسط یک همزن مغناطیسی، همزده شد که باعث تشکیل رسوب NW-Cu بر روی کربن فعال می‌شود (NW-Cu-AC). رسوب تهیه‌شده را صاف کرده و در آب مقطر دو بار تقطیر شده، شسته می‌شود. بعد از خشک‌کردن به‌مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، به‌کمک یک هاون به‌طور همگن پودر و در دمای اتاق نگه‌داری شد (Sun et al., 2014).

۲-۲- آماده‌سازی محلول مادر

برای تهیه محلول ppm ۵۰ رنگ‌ها، ۵ میلی‌گرم از ماده خالص رنگ را در آب ۲ بار تقطیر حل‌کرده و در بالن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول‌های استاندارد بعدی با رقیق‌نمودن حجم مشخصی از این محلول مادر تهیه شد. در مدت زمان طولانی به‌دلایل تخریب و تغییر غلظت رنگ، محلول‌های مادر از این رنگ به‌صورت روزانه تهیه شدند.

۲-۳- بررسی میزان حذف رنگ توسط نانو سیم‌های مس

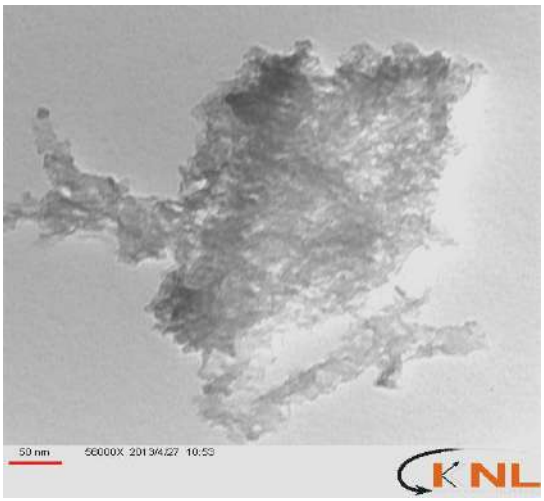
غلظت‌های مشخصی در حجم‌های ۵۰ میلی‌لیتر (ppm ۵) از محلول مادر (ppm ۵۰) تهیه شد، سپس pH آن توسط دستگاه pH متر با کمک NaOH و HCl ۰/۰۱ مولار تنظیم شد. جذب محلول قبل از اضافه‌کردن جاذب در طول موج ماکزیمم (۴۶۴ نانومتر) توسط دستگاه UV-Vis قرائت شد. سپس مقداری معین از جاذب نانوسیم مس (NW-Cu) به هریک از محلول‌ها اضافه شد. مقدار جاذب در هر آزمایش با یکدیگر متفاوت بود. محلول در حمام فراصوت برای رسیدن به تعادل در مدت‌زمان مشخص قرار داده‌شد و بعد از سانتریفیوژ کردن با سرعت ۲۵۰۰ دور بر دقیقه و در مدت‌زمان ۲۰ دقیقه و بعد از ته‌نشین شدن جاذب محلول شفافی به‌دست آمد که جذب بعد آن توسط دستگاه UV-Vis خوانده و با استفاده از اختلاف جذب قبل و بعد از افزودن جاذب درصد حذف محاسبه شد. آزمایش‌ها در ۲۶ مرحله طراحی و انجام شد. پس از بهینه‌سازی عوامل مختلف مانند: غلظت رنگ، pH و مقدار جاذب، مدت‌زمان امواج فراصوت و استفاده از طرح مرکب مرکزی نقطه بهینه تعیین شد. درنتیجه هم‌دماهای جذب و مدل‌های سینتیکی بررسی و با هم مقایسه شد.

۳- بحث

۳-۱- بررسی ریزساختار نانوسیم مس

تصویر TEM مربوط به نانوسیم مس با بزرگ‌نمایی ۵۶۰۰۰x

در شکل ۲ نشان داده‌شده است. میانگین قطر ذرات ۵۰ نانومتر است.



شکل ۲- تصویر TEM مربوط به نانو سیم‌های مس

۳-۲- مراحل طراحی آزمایش برای بررسی حذف رنگ متیل اورانژ با جاذب NW-Cu

تکنیک طراحی آزمایش با استفاده از نرم افزار Statistica 7.0 اجرا شد و برای طراحی آزمایش، روش پاسخ سطح و طرح مرکب مرکزی به‌کار برده شد. با استفاده از طرح مرکب مرکزی آزمایش‌ها در چهار عامل و سه سطح انجام شد و پارامترهای مؤثر مانند: pH ، مقدار جاذب، زمان فراصوت و غلظت متیل اورانژ مورد مطالعه قرارگرفتند. سطوح به‌کار رفته برای هر عامل تعداد کل آزمایش‌ها و نتایج آن‌ها را توسط طرح مرکب مرکزی در جدول ۱ نشان داده‌شده است و درصد حذف رنگ برای دست‌یابی به‌یک مدل صحیح و هم‌چنین یک معادله تئوری با توانایی برازش داده‌های تجربی به‌کار برده شد.

جدول ۱- طراحی آزمایش براساس طرح مرکب مرکزی با ۴ عامل موثر و پاسخ‌های درصد حذف متیل اورانژ

پارامترها	سطوح				
	+۲	+۱	۰	-۱	-۲
غلظت متیل اورانژ (ppm) (X_1)	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰
pH (X_2)	۱۰	۸	۶	۴	۲
مقدار جاذب (میلی‌گرم) (X_3)	۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴
مدت‌زمان امواج فراصوت (دقیقه) (X_4)	۱۶	۱۳	۱۰	۷	۴
ردیف	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**	**درصد حذف**
۱	۱۵	۴	۸	۷	۵۱/۱۵
۲	۱۵	۴	۸	۱۳	۶۷/۶۴
۳	۱۵	۴	۱۶	۷	۶۸/۳۵
۴	۱۵	۴	۱۶	۱۳	۷۴/۲۳
۵	۱۵	۸	۸	۷	۴۲/۶۰
۶	۱۵	۸	۸	۱۳	۶۳/۱۶
۷	۱۵	۸	۱۶	۷	۶۲/۳۱
۸	۱۵	۸	۱۶	۱۳	۷۳/۲۱
۹	۲۵	۴	۸	۷	۲۶/۲۶
۱۰	۲۵	۴	۸	۱۳	۴۲/۷۸
۱۱	۲۵	۴	۱۶	۷	۵۱/۸۷
۱۲	۲۵	۴	۱۶	۱۳	۵۸/۳۵
۱۳	۲۵	۸	۸	۷	۱۱/۵۵
۱۴	۲۵	۸	۸	۱۳	۳۲/۵۵
۱۵	۲۵	۸	۱۶	۷	۳۸/۰۹
۱۶	۲۵	۸	۱۶	۱۳	۵۸/۶۶
۱۷	۱۰	۶	۱۲	۱۰	۷۵/۵۵
۱۸	۳۰	۶	۱۲	۱۰	۲۶/۶۳
۱۹	۲۰	۲	۱۲	۱۰	۳۶/۹۴
۲۰	۲۰	۱۰	۱۲	۱۰	۲۳/۵۰
۲۱	۲۰	۶	۴	۱۰	۲۸/۰۵
۲۲	۲۰	۶	۲۰	۱۰	۷۹/۲۸
۲۳	۲۰	۶	۱۲	۴	۴۹/۲۳
۲۴	۲۰	۶	۱۲	۱۶	۸۲/۳۶
۲۵ مرکزی	۲۰	۶	۱۲	۱۶	۶۲/۶۲
۲۶ مرکزی	۲۰	۶	۱۲	۱۰	۶۳/۵۳

۳-۳- آنالیز واریانس

از آنالیز واریانس برای مشخص‌کردن پارامترهای مؤثر بر روش حذف متیل اورانژ استفاده و نتایج مربوط به آنالیز واریانس داده‌ها در جدول ۲ آورده شده است. در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد وقتی که مقدار p از ۰/۰۵ کمتر باشد، تأثیر معنی‌داری بر روی پاسخ دارد. زمانی یک اثر معنی‌دار است که پاسخ (سیگنال) از خطای تصادفی (نویز) آن بزرگ‌تر است. در این مطالعه حد معنی‌دار انتخاب‌شده α=۰/۰۵ در یک سطح اطمینان مشخص (۰/۹۵درصد) است. اگر p عدم برازش مدل‌ها از این مقدار بیشتر باشد بیانگر مطلوب‌بودن این مدل است. پس p عدم برازش باید از ۰/۰۵ بیشتر باشد. با توجه به مقادیر p در جدول آنالیز واریانس (جدول ۲)، پارامترهایی مانند: pH، جاذب، زمان فراصوت، غلظت متیل اورانژ و توان دوم پارامترها معنی‌دار است. مقدار p برای عدم برازش این طرح ۰/۱۴۸ است که بیانگر مناسب‌بودن این مدل است و براساس آن معادله (۱) به‌دست آمد.

$$\%\,Re = 62.07 - 11.68\,X_1 - 3.56\,X_2 + 10.41\,X_3 + 8.28\,X_4 - 2.39\,X_1^2 - 7.61\,X_2^2 + 2.52\,X_1X_2 \quad (1)$$

پارامترهای رابطه (۱) در جدول‌های ۱ و ۲ تعریف شده اند.

با توجه به معادله (۱) که ارتباط بین پاسخ‌ها و جمله‌های مؤثر را نشان می‌دهد، ضرایب مثبت و منفی موجود بیانگر سهم هریک از این پارامترها در میزان حذف رنگ‌زا است. هرچقدر که این ضریب مثبت و بزرگ باشد، سهم پارامتر در روند حذف بیشتر است و اگر ضریب پارامتر منفی باشد، نشان می‌دهد که آن پارامتر سهم کمتری در فرایند حذف دارد. ضریب تعیین (R^2) برای پاسخ درصد حذف متیل اورانژ برابر با ۰/۹۸۳ است، که بیان می‌کند چند درصد این تغییرات توسط مدل آماری تعریف می‌شود. R^2 تعدیل‌یافته که تصحیح مقدار R^2 برای اندازه نمونه و تعداد عبارت‌های داخل جدول، برابر با ۰/۹۸۳ است. اگر عبارت‌های داخل جدول و اندازه نمونه کم باشد، R^2 تعدیل یافته از مقدار R^2 ضریب تعیین کمتر است و مقدار R^2 زمانی که به ۱۰۰ نزدیک باشد، پاسخ را بهتر پیش‌بینی می کند و اعتبار مدل پیشنهادی بیشتر است.

جدول ۲- آنالیز واریانس درصد حذف متیل اورانژ با کمک NW-Cu (ANOVA)

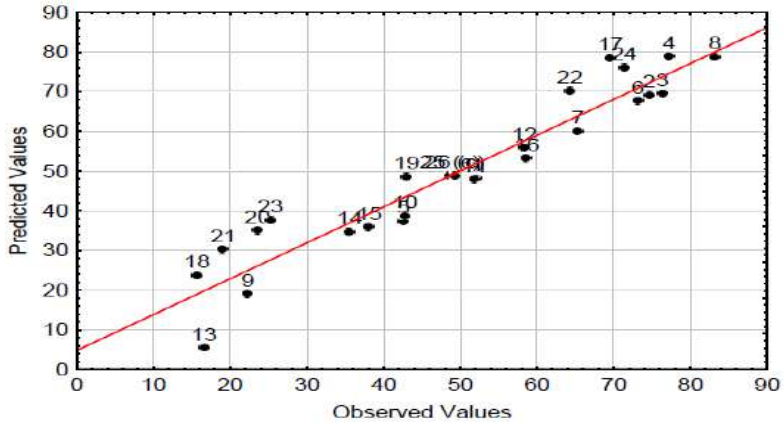
منبع	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعا ت	ضریب فیشر	احتمال ضریب
X_1	۳۲۷/۵۳۹	۱	۳۲۷/۵۳۹	۵۶۱۶/۴۹۴	۰/۰۰۸۴۹۴
X_2	۳۰۳/۷۳۹	۱	۳۰۳/۷۳۹	۵۲۰/۸۱۵	۰/۰۲۷۸۷۸
X_3	۲۶۰۰/۸۳۴	۱	۲۶۰۰/۸۳۴	۴۴۵۹/۵۹۳	۰/۰۰۹۵۳۲
X_4	۱۶۴۴/۴۰۸	۱	۱۶۴۴/۴۰۸	۲۸۱۹/۶۳۰	۰/۰۱۱۹۸۸
X_1^2	۱۰۰/۰۵۰	۱	۱۰۰/۰۵۰	۱۷۱/۵۵۴	۰/۰۴۸۱۱
X_2^2	۱۰۱۱/۲۷۲	۱	۱۰۱۱/۲۷۲	۱۷۳۴/۰۰۶	۰/۰۱۵۲۸۵
X_3^2	۵۳/۴۸۰	۱	۵۳/۴۸۰	۹۱/۷۰۱	۰/۰۶۶۲۴۰
X_4^2	۲/۸۹۳	۱	۲/۸۹۳	۴/۹۶۰	۰/۲۶۸۶۸۱
$X_1\,X_2$	۲۰/۹۷۶	۱	۲۰/۹۷۶	۳۵/۹۶۸	۰/۱۰۵۱۸۳
$X_1\,X_3$	۱۰۱/۴۰۵	۱	۱۰۱/۴۰۵	۱۷۳/۸۷۷	۰/۰۴۸۱۸۷
$X_1\,X_4$	۷/۲۰۹	۱	۷/۲۰۹	۱۲/۳۶۱	۰/۱۷۶۴۱۱
$X_2\,X_3$	۱۹/۰۱۰	۱	۱۹/۰۱۰	۳۲/۵۹۵	۰/۱۱۰۳۸۷
$X_2\,X_4$	۴۷/۸۱۷	۱	۴۷/۸۱۷	۸۱/۹۹۱	۰/۰۷۰۰۲۳
$X_3\,X_4$	۵۹/۰۵۹	۱	۵۹/۰۵۹	۱۰۱/۲۶۸	۰/۰۶۳۰۵۵
عدم برازش	۱۵۸/۸۰۱	۱۰	۱۵/۸۸۰	۲۷/۲۲۹	۰/۱۴۸۱۳۹
خطای خالص	۰/۳۵۸	۱	۰/۳۵۸		
کل تصحیح شده	۹۵۸۷/۵۱۸	۲۵			

۴-۳- بررسی باقی‌مانده‌ها

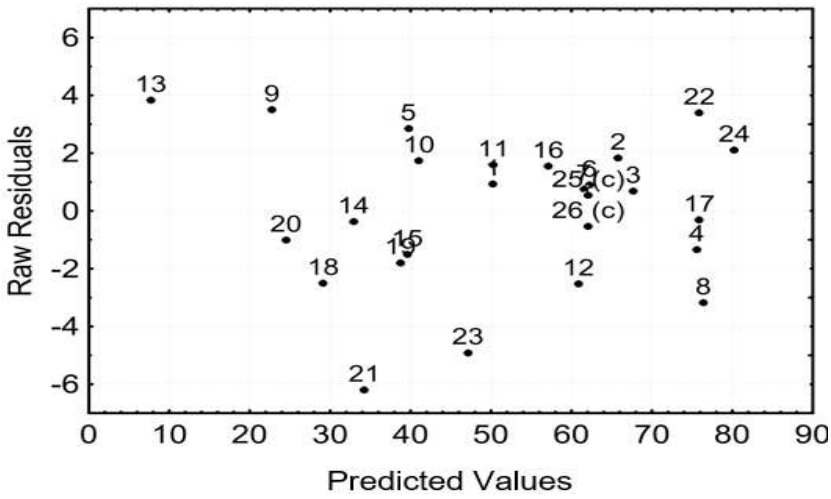
باقی‌مانده یا همان خطای تصادفی در پیش‌بینی با اختلاف موجود بین مقدار مشاهده شده و مقدار پیش‌بینی شده با مدل برابر است (رابطه (۲)) که این مقدار باید برای یک مدل آماری صحیح، کوچک و توزیع آن نیز نرمال باشد.

$$R_i = y_i - \hat{y}_i \quad (۲)$$

که y_i: پاسخ مشاهده شده و $\hat{y}_i$: پاسخ پیش‌بینی شده با مدل است. با توجه به شکل ۳ که همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر آزمایش را نشان می‌دهد، قرارگرفتن باقی‌مانده بر یک خط راست نشان‌دهنده این است که بین مقادیر آزمایشگاهی و مدل، توافق خوبی وجود دارد و باقی‌مانده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و دقت این مدل را تأیید می‌کند. هم‌چنین با توجه به شکل ۴ خطا از نوع تصادفی است و خطای سیستماتیکی وجود ندارد، زیرا باقیمانده‌ها از حد مجاز خود خارج نشده‌اند و بین باقی‌مانده‌ها روند مشخصی وجود ندارد که در این نمودار صحت مدل تایید می‌شود.



شکل ۳- نمودار همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر آزمایشی برای پاسخ درصد حذف متیل اورانژ

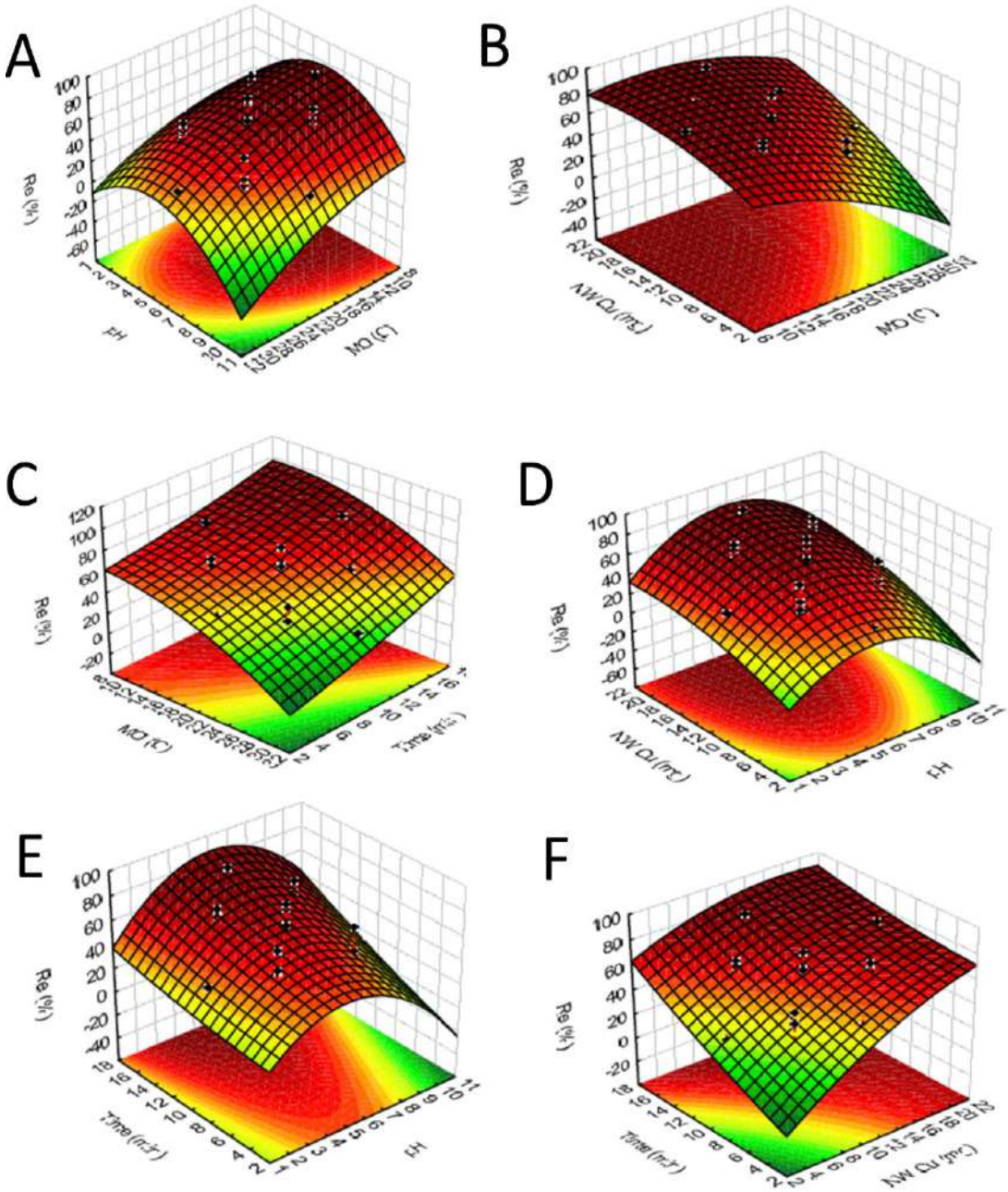


شکل ۴- نمودار باقی‌مانده‌ها نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده بر پاسخ درصد حذف متیل اورانژ

۳-۵- تفسیر نمودارهای پاسخ-سطح حذف متیل اورانژ

نمودارهای پاسخ-سطح مربوط به برهمکنش میزان پارامترهای موثر در روند حذف رنگ متیل اورانژ در شکل‌های F۵-A۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل A۵ که برهمکنش میان پارامترهای pH و غلظت رنگ را نشان می‌دهد، با کاهش غلظت رنگ و کاهش pH درصد حذف و جذب سطحی افزایش‌یافته، زیرا در غلظت‌های پایین رنگ، نسبت مولکول‌های رنگ به جایگاه‌های فعال جاذب کم است و درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش غلظت رنگ مکان‌های فعال جاذب اشباع می‌شوند و درصد حذف رنگ کم می‌شود (Baig et al., 2020). با توجه به این‌که رنگ متیل اورانژ یک رنگ آنیونی است، در pH پایین چون مقدار (OH^-) کاهش و مقدار H^+ افزایش می‌یابد، سطح جاذب مثبت می‌شود و رنگ متیل اورانژ که یک رنگ آنیونی است جذب می‌شود. هم‌چنین درصد حذف افزایش می‌یابد و با بیشتر شدن pH چون سطح جاذب منفی می‌شود، نیروی دافعه بین گروه های OH و رنگ آنیونی متیل اورانژ ایجاد شده و درصد حذف کم می‌شود. با افزایش مقدار جاذب و کاهش غلظت رنگ درصد حذف افزایش می‌یابد، چون زمانی که مقدار جاذب زیاد باشد، جایگاه های فعال بیش‌تری برای حذف وجود دارد و بازده حذف افزایش می‌یابد (Zafar et al., 2019). افزایش

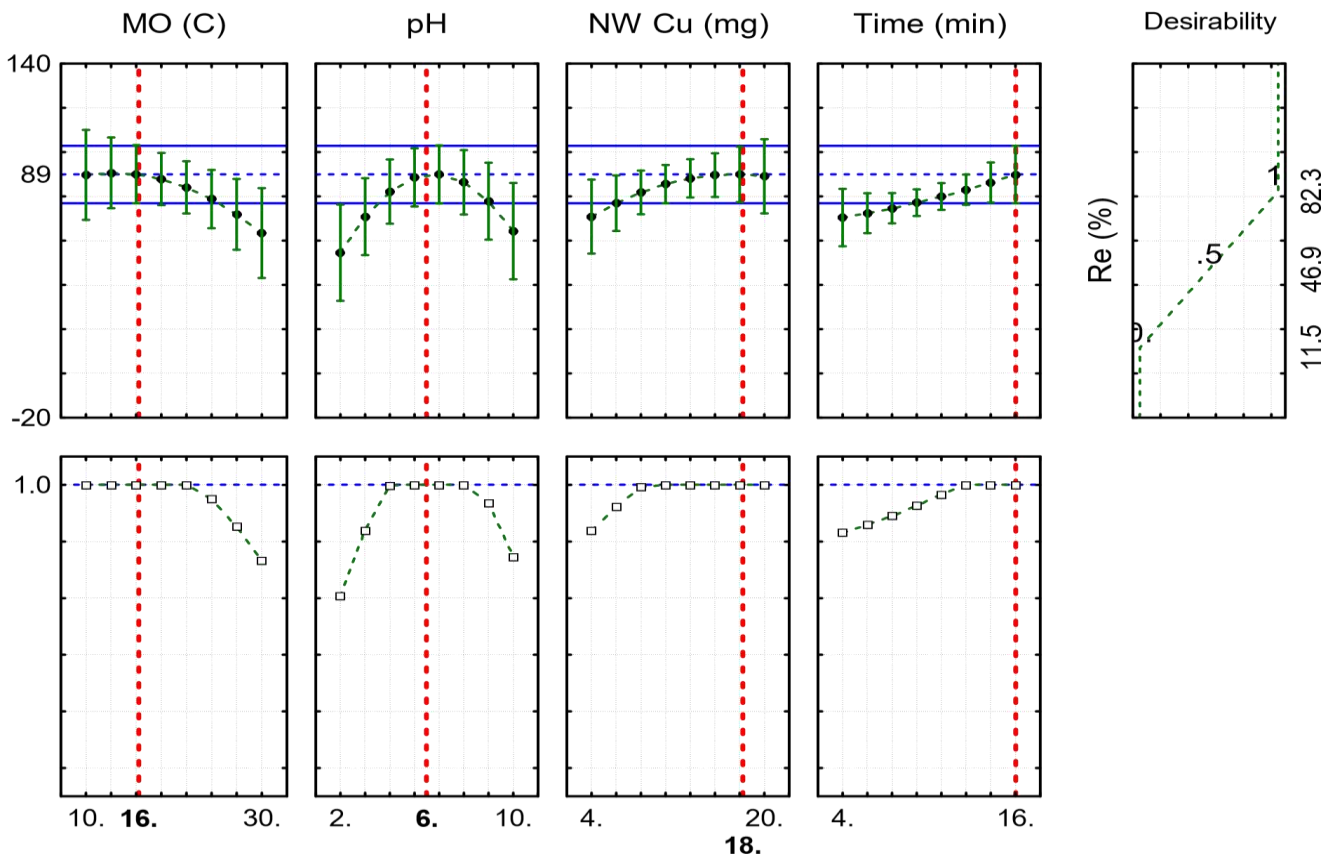
زمان امواج فراصوت باعث زیادشدن فرصت برهمکنش میان جاذب و مولکول‌های رنگ شده و باعث پخش‌شدن زیاد جاذب در محلول می‌شود. درنتیجه مراکز فعال بیشتری از سطح جاذب برای حذف فراهم می شود. بنابراین نتیجه می‌شود که درصد حذف با افزایش مقدار جاذب و زمان فراصوت افزایش و با کاهش pH و غلظت رنگ نیز افزایش می‌یابد (Khodadoust et al., 2024).



شکل ۵- منحنی‌های پاسخ-سطح درصد حذف رنگ متیل اورانژ در مقابل: A) pH و غلظت رنگ؛ B) مقدار جاذب و غلظت رنگ؛ C) مدت زمان امواج فراصوت و غلظت رنگ؛ D) مقدار جاذب و pH؛ E) مدت زمان امواج فراصوت و pH؛ F) در مقابل مدت زمان امواج فراصوت و مقدار جاذب.

۳-۶- بهینه‌کردن سطوح پاسخ در بررسی عوامل تاثیرگذار بر درصد حذف رنگ متیل اورانژ با کمک جاذب NW-Cu

شکل ۶ شرایط بهینه برای حذف رنگ متیل اورانژ را به‌کمک جاذب NW-Cu نشان می‌دهد. طبق نتایج به‌دست آمده، بالاترین درصد حذف برای رنگ متیل اورانژ ۸۲/۳ و کمترین درصد حذف رنگ ۱۱/۵ است. غلظت بهینه رنگ متیل اورانژ ppm ۱۶، مقدار جاذب ۱۸ میلی‌گرم، مدت زمان امواج فراصوت ۱۶ دقیقه و pH بهینه ۶ با درصد حذف ۸۹/۱ است. مقدار تابع مطلوبیت در این شرایط ۱ است که بیانگر بیشترین مطلوبیت این شرایط است.



شکل ۶- تعیین نقطه بهینه برای درصد حذف رنگ متیل اورانژ با کمک جاذب NW-Cu

۳-۷- هم‌دماهای جذبی در حذف رنگ متیل اورانژ

قابلیت جذب ماده جاذب، به غلظت ماده جذب شونده و دما بستگی دارد و تابعی از غلظت ماده جذب‌شونده در دمای ثابت است که تابع نتیجه را هم‌دمای جذب سطحی می‌گویند. چهار مدل هم‌دمای جذب سطحی وجود دارد که ضرایب این هم‌دماها از طریق آزمایش به‌دست می‌آید. برای تحلیل داده‌های تجربی و توصیف تعادل در جذب، مدل‌های کلاسیک جذب سطحی مانند لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دوبینین - رادوشکویچ به‌کار می‌رود. این مدل‌ها دیدگاهی راجع به ساز و کار جذب، خواص سطحی، تمایل جذب و توصیف داده‌های تجربی جذب را ارائه می‌دهند. برای بهینه‌کردن شرایط و طراحی سیستم‌های جذب ایجاد یک ارتباط مناسب بین منحنی‌های تعادل بسیار حائز اهمیت است. این هم‌دماهای جذب با نیروهای ضعیف مانند واندروالس شروع می‌شوند و توسط نیروهای قوی مانند یونی، کووالانسی و فلزی خاتمه می‌یابند. این نیروهای کووالانسی به‌عنوان نیروهای جذب سطحی به‌شمار نمی‌روند و نه تنها در سطح بلکه در توده مایع نیز واکنش شیمیایی اعمال می‌کنند. زمانی‌که بین سطح جاذب ومواد جذب شونده اختلاف دما افزایش یابد، انرژی گرمایی به‌عنوان نیروی محرکه عمل می‌کند و فرایند جذب سریع‌تر است. ملاک اندازه‌گیری میزان جذب‌شونده بر روی جاذب برای جذب‌شونده گازی برحسب فشار و برای جذب‌شونده مایع برحسب غلظت است و میزان جذب‌سطحی در دمای ثابت اندازه‌گیری می‌شود. نمودارهای جذبی مختلف با درنظر گرفتن ضریب همبستگی آن‌ها ترسیم شده و همچنین نوع معادله مربوط به جذب و اطلاعات مربوط به فرایند جذب مانند ثابت‌های مربوط به هریک از این مدل‌های هم‌دما و ظرفیت جاذب برای جذب را می‌توان تعیین کرد. با به‌دست آوردن ضریب همبستگی مربوط به هریک از این هم‌دماها می‌توان تعیین‌کرد که کدام منحنی جذبی دارای مطابقت بیشتری با داده‌های تجربی فرایند جذب است.

در نمودار لانگمویر جذب آنالیت بر روی سطح جاذب به‌صورت تک‌لایه است و برهمکنشی بین مولکول‌های جذب‌شونده انجام نمی‌گیرد، جاذب سطح یکنواختی دارد و هر مکان تنها قادر به جذب یک مولکول است. خطی بودن نمودار C_e/q_e برحسب C_e بیانگر این است که فرایند جذب بر روی سطح جامد از مدل لانگمویر پیروی می‌کند. درنتیجه ثابت‌های مدل لانگمویر و شیب خط را می‌توان محاسبه نمود. در هم‌دمای فروندلیچ جذب روی سطوح ناهمگن انجام می‌شود. در این مدل مقدار ماده جذب‌شونده به غلظت آن در محلول و دما بستگی دارد و ابتدا موقعیت‌هایی که پیوند قوی‌تری دارند پر می‌شوند و با کامل‌تر شدن مراکز جذب بر روی جاذب انرژی جذب کاهش می‌یابد. بهترین هم‌دما مطابق

با داده‌های تجربی به‌وسیله رگرسیون خطی و ضرایب همبستگی تعیین می‌شود. در این قسمت مقادیر جذب در حجم ۵۰ میلی لیتر و در غلظت‌های ۱۰-۳۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ متیل اورانژ با مقدار جاذب ۱۸ میلی‌گرم و pH=۶ به‌دست آمد. مقادیر بهینه سایر متغیرها بررسی و نمودارهای جذبی تعادلی از لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دوبینین-رادوشکوویچ بر روی این داده‌ها اعمال شد. نتایج موردنظر شامل معادله خط و ضریب همبستگی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان‌داد که جذب رنگ متیل اورانژ بر روی جاذب نانوسیم NW-Cu از هم‌دمای لانگمویر تبعیت می‌کند، زیرا ضریب همبستگی بالایی دارد و جذب رنگ به‌صورت تک لایه است.

جدول ۳- پارامترهای به‌دست آمده از هم‌دماهای جذبی برای حذف رنگ متیل اورانژ با کمک جاذب نانوسیم NW-Cu در غلظت‌های مختلف و سایر شرایط بهینه

هم‌دما	معادله	مولفه	زمان (دقیقه)	مقدار جاذب (میلی گرم)
			۱۶	۱۸
لانگموئیر	$\frac{C_e}{qe} = \frac{1}{(k_a Q_m)} + \frac{C_e}{Q_m}$	Q_m (mg g^{-1})	۱۲۳/۴۵	
		K_a (L mg^{-1})	۳/۶۸۱	
		R^2	۰/۹۹۲	
فرندلیچ	$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$	$1/n$	۰/۲۹۵	
		K_f (L mg^{-1})	۸۳/۲۱	
		R^2	۰/۸۵۸	
تمکین	$q_e = B_1 ln\, k_T + B_1 ln C_e$	K_T (L mg^{-1})	۱۰۰/۳۷	
		R^2	۰/۹۲۴	
دوبینین - رادوشکویچ	$q_e = q_s Exp(-\beta\varepsilon^2)$	Q_s (mg g^{-1})	۱۰۰/۰۸	
		R^2	۰/۶۶۷	

۳-۸- سینتیک‌های جذبی

برای به‌دست آوردن اطلاعاتی در مورد عوامل تأثیرگذار بر سرعت واکنش و ارزیابی سینتیک، فرایند جذب ضروری است. در این فرایند مولکول‌های جذب‌شونده از فاز محلول به سطح جاذب منتقل شده و به منافذ درونی سطح جاذب نفوذ می‌کنند. مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم به‌طور گسترده برای فرایند حذف استفاده می‌شوند. در فرایندهای جذب سطحی زمانی که نفوذ از داخل یک لایه انجام شود، از سینتیک مرتبه اول پیروی می‌کند و زمانی که جذب شیمیایی تعیین‌کننده سرعت (مرحله کند) و کنترل‌کننده فرایندهای جذب سطحی باشد، از سینتیک مرتبه دوم تبعیت می‌کند. برای تعیین و شناسایی ساز و کار جذب سطحی و برای طراحی به‌منظور تهیه جاذب‌های جدید، روش‌های سینتیکی به‌ویژه مدل نفوذ درون ذره‌ای به‌کار گرفته می‌شود. در این روش میزان جذب و حذف متناسب با جذر زمان است که ضریب نفوذ یا ثابت نفوذ به توان ۱/۲ با رسم q_t براساس جذر زمان از روی شیب، به‌عنوان ثابت سرعت نفوذ درون ذره‌ای به‌دست می‌آید. برای این منظور بررسی‌های سینتیکی مربوطه برای حذف رنگ متیل اورانژ در غلظت ppm ۱۶ برای ۱۸ میلی‌گرم جاذب نانوسیم NW-Cu و مدت زمان امواج فراصوت ۵-۲۰ دقیقه در شرایط بهینه همه متغیرها انجام شد.

مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و دوم، الوویچ و نفوذ درون ذره‌ای بر روی داده‌های تجربی اعمال شد. منحنی‌های سینتیکی درجه یک و دو رسم‌شده و از روی ضریب همبستگی و نزدیکی مقادیر تجربی q_e با q_e محاسبه شده می‌توان پیش‌بینی کرد که فرایند جذب‌سطحی از کدام‌یک از معادلات سینتیکی تبعیت می‌کند. درنتیجه ثابت سرعت فرایند جذب محاسبه می‌شود. معادلات مربوط به پارامترهای سینتیکی حذف رنگ متیل اورانژ بر روی جاذب نانوسیم در جدول ۴ آورده شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که ظرفیت جذب با افزایش میزان ماده جذب‌شونده به‌دلیل این‌که جایگاه‌های فعال سطح جاذب اشغال‌شده، افزایش می‌یابد. درصورتی‌که مقدار حاصل از عرض از مبدا نزدیک به مقدار تجربی نباشد، جذب از سینتیک مرتبه اول پیروی نمی‌کند. ثابت سرعت شبه مرتبه دوم (k_2) با افزایش غلظت ماده جذب‌شونده و کاهش نسبت جایگاه‌های فعال جاذب به مقدار جذب‌شونده و رقابت زیاد ماده جذب‌شونده کاهش می‌یابد. هم‌چنین برای جذب محدودیت ایجادشده و سرعت انتقال ماده جذب‌شونده به سطح جاذب کم و ضخامت لایه ارزی افزایش می‌یابد. با توجه به

اطلاعات به‌دست آمده از مدل‌های سینتیکی و با توجه به ضرایب همبستگی تعیین شده آن‌ها (R^2) و تطابق داده‌ها نتیجه‌گیری می‌شود که حذف رنگ توسط جاذب نانوسیم به‌کار رفته در این آزمایش از سینتیک درجه دوم پیروی می‌کند.

جدول ۴- پارامترهای به‌دست آمده از سینتیک‌های جذبی برای حذف رنگ متیل اورانژ با کمک جاذب نانو سیم‌های NW-Cu در غلظت ppm ۱۶ و زمان‌های ۵-۲۰ دقیقه و سایر شرایط بهینه

مدل	معادله	مولفه	زمان (دقیقه)	مقدار جاذب (میلی گرم)
			۱۶	۱۸
شبه مرتبه اول	$q_t = q_e\ (1 - Exp(-k_1 t))$	$K_1\ (min^{-1})$	۰/۲۴۴	
		$q_e\ (cal)\ (mg\ g^{-1})$	۱۹/۳۱	
		R^2	۰/۷۴۸	
شبه مرتبه دوم	$q_t = \frac{q_e^2 K_2 t}{(q_e K_2 t + 1)}$	R^2	۰/۹۹۹	
نفوذ درون ذره‌ای	$q_t = K_{diff}\ t_2^1 + C$	R^2	۰/۷۳۰	
ایلویچ	$q_t = \frac{1}{\beta}\ ln(\alpha\beta)\ + \frac{1}{\beta}\ ln\ (t)$	R^2	۰/۷۰۷	

۴- نتیجه‌گیری

تامین آب آشامیدنی سالم برای انسان و دیگر موجودات زنده یک مسئله جدی در سرتاسر جهان است. در سالیان اخیر به‌دلیل فعالیت‌های انسان و صنعتی‌شدن جهان، منابع آبی سطحی و زیرسطحی با موادی مانند رنگ‌زاها، فلزات سنگین، داروها و انواع مواد شیمیایی آلوده شده‌اند و کیفیت آب آشامیدنی را تحت‌تاثیر قرار داده‌اند. در بین رنگ‌زاهای مختلف متیل اورانژ به‌دلیل حلالیت در آب به‌عنوان شاخص pH مورد استفاده قرار می‌گیرد و ممکن است مستقیما وارد بدن انسان شود. میکروارگانیسم‌های روده رنگ آزو را به آمین‌های معطر متابولیزه می‌کنند و باعث جهش‌زایی کشنده می‌شوند. به‌همین سبب در این پژوهش برای حذف رنگ‌زای متیل اورانژ از روش جذبی با کمک از نانوذرات فلزی استفاده شد. جاذب‌های نانو به‌دلیل مساحت سطح بالای آن‌ها، اندازه محدود، چگالی زیاد و جداسازی آسان برای حذف رنگ از فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق ابتدا نانوسیم‌های مسی (NW-Cu) سنتز شد و برای حذف رنگ‌زای متیل اورانژ مورد استفاده قرارگرفت.

در گام بعدی تأثیر عوامل موثر در بازده حذف مانند: pH، مدت‌زمان تماس، غلظت اولیه و مقدار جاذب بر درصد حذف رنگ مورد آزمایش قرارگرفت. بررسی این پارامترها توسط طرح مرکب مرکزی انجام شد. روش‌های سطوح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که برای بهبود و بهینه‌سازی شرایط آزمایش به‌کار گرفته‌شده است. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز واریانس، مقدار p برای عدم برازش مدل در این مطالعه ۰/۱۴۸ حاصل شده است که نشانگر مناسب‌بودن مدل ارائه‌شده است. تفسیر نمودارهای پاسخ سطح نشان می‌دهد که با کاهش غلظت رنگ درصد حذف رنگ و جذب سطحی افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش مقدار جاذب جایگاه‌های فعال بیشتری برای حذف وجود دارد و بازده حذف افزایش می‌یابد. زمان رسیدن به تعادل نیز با افزایش زمان فراصوت کاهش چشم‌گیری می‌یابد. در شرایط بهینه ppm ۱۶ غلظت رنگ‌زای متیل اورانژ، اسیدیته ۶، ۱۸ میلی‌گرم جاذب نانوسیم‌های مس و ۱۶ دقیقه زمان فراصوت، بالاترین درصد حذف رنگ ۸۹/۱ به‌دست آمد. نتایج هم‌دما و سینتیک نشان می‌دهد که حذف رنگ متیل اورانژ با کمک جاذب NW-Cu از هم‌دمای لانگمویر و مدل سینتیک شبه درجه دوم پیروی می‌کند.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این پژوهش از دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان به‌دلیل حمایت مالی از این پژوهش تشکر می‌کنند.

۶- مراجع

رهدار، س.، احمدی، ش.، آرامش، ز.، و رهدار، ع.، (۱۳۹۹)، "سنتز و ارزیابی کارایی نانوذره اکسید آهن پوشش داده‌شده با Sio_2 در حذف رنگ اسید بلو ۹۲ از محلول‌های آبی: مطالعه سنتیک و ایزوترم"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۵(۱)، ۲۳-۳۲، https://doi.org/10.22112/JWWSE.2020.165041.1132.

علی‌محمدی، ف.، قبادی‌نژاد، ز.، و برقعی، س.م.، (۱۴۰۲)،

"بهینه‌سازی شرایط رنگ‌زدایی رنگ Reactive Red 194 از پساب سنتتیک توسط کپک بومی Trametes species"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، (آماده انتشار)، https://doi.org/10.22112/JWWSE.2024.420674.1377.

Ahlawat, W., Kataria, N., Dilbaghi, N., Hassan, A.A., Kumar, S., and Kim, K.H., (2020), "Carbonaceous nanomaterials as effective and efficient platforms for removal of dyes from aqueous systems", *Environmental Research*, 181, 108904, https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108904.

Baig, U., Uddin, M.K., and Gondal, M.A., (2020), "Removal of hazardous azo dye from water using synthetic nano adsorbent: Facile synthesis, characterization, adsorption, regeneration and design of experiments", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 584, 124031, https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124031.

Chen, Z.X., Jin, X.Y., Chen, Z., Megharaj, M., and Naidu, R., (2011), "Removal of methyl orange from aqueous solution using bentonite-supported nanoscale zero-valent iron", *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(2), 601-607, https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.057.

Crini, G., (2005), "Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment", *Progress in Polymer Science*, 30(1), 38-70, https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2004.11.002.

Darwish, A.A.A., Rashad, M., and AL-Aoh, H.A., (2019), "Methyl orange adsorption comparison on nanoparticles: isotherm, kinetics, and thermodynamic studies", *Dyes and Pigments*, 160, 563-571, https://doi.org/10.1016/J.DYEPIG.2018.08.045.

Erek Şen, N., and Mine Şenol, Z., (2023), "Effective removal of Allura red food dye from water using cross-linked chitosan-diatomite composite beads", *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126632, https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126632.

Ghadami, F., Valian, M., Atoof, F., Dawi, E.A., Miranzadeh, M.B., Mahdi, M.A., Salavati-Niasari, M., (2024), "Response surface methodology for optimization of operational parameters to remove tetracycline from contaminated water by new magnetic Ho_2MoO_6/Fe_2O_3 nano adsorbent", *Results in Engineering*, 21, 101746, https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101746.

Gupta, V.K. (2009) , "Application of low-cost adsorbents for dye removal, A review", *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313-2342, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017.

Hajjaji, M., and El Arfaoui, H. (2009), "Adsorption of methylene blue and zinc ions on raw and acid-activated bentonite from Morocco", *Applied Clay Science*, 46(4), 418-421, https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.09.010.

Khodadoust, S., Ghaedi, M., Sahraei, R., and Daneshfar, A., (2014), "Application of experimental design for removal of sunset yellow by copper sulfide nanoparticles loaded on activated carbon", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 2663-2670, https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.10.053.

Khodadoust, S., Pirayesh, F., Zeraatpisheh, F., (2024), " Solid-phase extraction of losartan and chlordiazepoxide from biological samples using sponge-activated carbon", *Separation Science Plus*, 7, 2024, 2300096, https://doi.org/10.1002/sscp.202300096.

Rauf, M.A., Meetani, M.A., and Hisaindee, S., (2011), "An overview on the photocatalytic degradation of azo dyes in the presence of TiO_2 doped with selective transition metals", *Desalination*, 276(1-3), 13-27, https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.071.

Robati, D., Mirza, B., Rajabi, M., Moradi, O., Tyagi, I., Agarwal, S., and Gupta, V.K., (2016), "Removal of hazardous dyes-BR 12 and methyl orange using graphene oxide as an adsorbent from aqueous phase", *Chemical Engineering Journal*, 284, 687-697, https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.131.

Shotipruk, A., Kaufman, P.B., and Wang, H.Y., (2001), "Feasibility study of repeated harvesting of menthol from biologically viable menthaxpiperata using ultrasonic extraction", *Biotechnology Progress*, 17(5), 924-928, https://doi.org/10.1021/bp010074u.

Sun, L., Zhang, R., Wang, Y., and Chen, W., (2014), "Plasmonic Ag@AgCl nanotubes fabricated from copper nanowires as high-performance visible light photocatalyst", *ACS Applied Materials & Interfaces* 6, 17, 14819-14826, https://doi.org/10.1021/am503345p.

Tolkou, A.K., Tsoutsa, E.K., Katsoyiannis, I.A., and Kyzas, G.Z., (2024), "Simultaneous removal of anionic and cationic dyes on quaternary mixtures by adsorption onto banana, orange and pomegranate peels", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 685, 133176, https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.133176.

Wan, X., Zhan, Y., Long, Z., Zeng, G., and He, Y., (2017), "Core@ double-shell structured magnetic halloysite nanotube nano-hybrid as efficient recyclable adsorbent for methylene blue removal", *Chemical Engineering Journal*, 330, 491-504, https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.07.178.

Zafar, M.N., Dar, Q., Nawaz, F., Zafar, M.N., Iqbal, M., and Nazar, M.F., (2019), " Effective adsorptive removal of azo dyes over spherical ZnO nanoparticles", *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1), 713-725, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.06.002.

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 3, PP. 62-67, Autumn 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2024.429757.1383

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، صفحات ۶۲-۶۷، پاییز ۱۴۰۳

Technical Note

Controlling the Electrical Conductivity of Water by Changing the Design of the Plasma Reactor

Fatemeh Baharlounezhad[1*], Mohammad Ali Mohammadi[2], Targol Naghibzadeh[3], Mohammad Sadegh Zakerhamidi[2]

1- Assistant Professor, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Professor, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- MSc, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
* Corresponding Author, Email: f.baharlou@tabrizu.ac.ir

Received: 12/12/2023
Revised: 14/05/2024
Accepted: 25/05/2024
© IWWA

Abstract

Many methods and technologies including atmospheric cold plasma are being developed to control and modify water components such as electrical conductivity (EC) in order to manage and use water optimally. With this approach, plasma reactors were designed to control water electrical conductivity using oxygen atmospheric pressure discharge on the water surface. The results of measuring EC changes, after plasma exerting compared to before plasma by changing the reactor's design and the plasma interaction time with the water surface at 1-10 min during 1 min intervals showed that electrical conductivity decreased on the anode side of the anodic and cathodic plasmas in the two-vessel reactor in the short time of 1 min. In the following, the process changed and EC enhanced by increasing plasma exerting. In the single-vessel reactor, from 1-10 min, EC change was increasing, which was more in the cathodic plasma than the anodic plasma. In the two-vessel reactor of anodic plasma, the increase of changes was higher on the anode side than on the cathode side to 3 min and then reversed. In the two-vessel reactor of cathodic plasma, the increase of changes was higher on the cathode side than the anode side to 7 min and then reversed.

Keywords: Water, Plasma, Reactor, Electrical conductivity.

مقاله ترویجی (یادداشت فنی)

کنترل هدایت الکتریکی آب با تغییر طراحی راکتور پلاسمایی

فاطمه بهارلونژاد[۱*]، محمدعلی محمدی[۲]، ترگل نقیب‌زاده[۳] و محمدصادق ذاکرحمیدی[۲]

۱- استادیار دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- استاد دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: f.baharlou@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

روش‌ها و فناوری‌های بسیاری برای کنترل و یا اصلاح مؤلفه‌های آب هم‌چون هدایت الکتریکی (EC) با هدف مدیریت و استفاده بهینه از آن از جمله پلاسمای سرد اتمسفری در حال توسعه هستند. با این رویکرد، راکتورهای پلاسمایی، برای کنترل هدایت الکتریکی آب با استفاده از تخلیه تابان فشار اتمسفری گاز اکسیژن بر روی سطح آب طراحی شدند. با تغییر طراحی راکتور پلاسمایی و برهمکنش پلاسما با سطح آب در مدت‌زمان ۱ تا ۱۰ دقیقه در بازه‌های زمانی ۱ min، نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات EC پس از اعمال پلاسما در مقایسه با حالت قبل از اعمال نشان داد که هدایت الکتریکی در مدت‌زمان کوتاه ۱ min در سمت آند پلاسماهای آندی و کاتدی در راکتور دو ظرف با افت مواجه شد. در ادامه با افزایش زمان اعمال پلاسما، روند تغییر کرده و EC افزایش یافت. در راکتور تک‌ظرف از ۱ تا ۱۰ دقیقه، تغییر EC به‌صورت افزایشی مشاهده شد که برای پلاسمای کاتدی بیش از پلاسمای آندی بود. در راکتور دو ظرف پلاسمای آندی، افزایش تغییرات تا زمان ۳ min در سمت آند بیش از کاتد و در ادامه معکوس بود. در راکتور دو ظرف پلاسمای کاتدی، افزایش تغییرات تا زمان ۷ min در سمت کاتد بیش از آند و در ادامه معکوس بود.

کلمات کلیدی: آب، پلاسما، راکتور، هدایت الکتریکی.

۱- مقدمه

هدایت الکتریکی یک شاخص غلظت نمک و نشانگر غلظت الکترولیت محلول است (Ding et al., 2018). مؤلفه هدایت الکتریکی که ارتباط نزدیکی با تعداد کل آنیون‌ها یا کاتیون‌های محلول دارد و به‌طور معمول متناسب با مقدار کل جامدات محلول است، به‌عنوان معیاری برای قابلیت گذردهی الکتریسیته محلول آبی ارائه می‌شود. هدایت الکتریکی محلول آبی، به‌عنوان عاملی مهم شناخته شده است که می‌تواند در برهمکنش با پلاسما، بر خصوصیات تخلیه الکتریکی و تشکیل گونه‌های فعال تأثیرگذار باشد، که بیشتر برای محاسبه غلظت کلی اجزای آب یونیزه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hamdan et al., 2020). هدایت الکتریکی آب، اغلب در طول زمان دچار تغییر نمی‌شود، درنتیجه، هرگونه تغییر در هدایت آب ممکن است نشانه‌ای از آلودگی بالقوه، ناشی از فعل و انفعالات شیمیایی در آب باشد. هدایت الکتریکی آب می‌تواند تحت تأثیر دما (T) و جامدات محلول معدنی نیز قرار گیرد (Mandal et al., 2014).

پلاسماها به‌عنوان سیستم‌های گازی شبه خنثی چند ذره‌ای با بار کل صفر تعریف می‌شوند که شامل غلظت کافی از الکترون‌های آزاد، یون‌های مثبت و منفی، گونه‌ها و رادیکال‌های برانگیخته در مخلوط با سایر خنثی‌ها از جمله اتم‌ها و مولکول‌ها هستند که به‌دلیل وجود ذرات باردار آزاد، رسانای الکتریکی هستند. پلاسماها می‌توانند در محدوده بسیار وسیعی از دما و فشار وجود داشته باشند. پلاسماها را می‌توان در فشار اتمسفر یا پایین‌تر، با جفت‌کردن انرژی به یک محیط گازی به روش‌های مختلفی از جمله مکانیکی، حرارتی، شیمیایی، تشعشعی، هسته‌ای، اعمال ولتاژ، تزریق امواج الکترومغناطیسی و یا با ترکیبی از این روش‌ها برای تفکیک مولکول‌های جزء گازی به مجموعه‌ای از یون‌ها، الکترون‌ها، مولکول‌های گاز خنثی و سایر گونه‌ها تولید کرد (Vijay et al., 2008). یکی دیگر از طبقه‌بندی‌های معمول سیستم‌های پلاسما، به‌صورت پلاسماهای حرارتی و غیر حرارتی (سرد) است که در پلاسماهای سرد دمای گونه‌های مختلف پلاسما یکسان نیستند (Meichsner et al., 2013). بر این اساس، امروزه راکتورهای پلاسمایی متنوعی متناسب با نیازهای موجود طراحی می‌شوند که هریک در جایگاه خود می‌تواند نقش مؤثری را در صنایع مختلف ایفا نمایند. فناوری پلاسماهای حرارتی در دهه‌های گذشته به‌دلیل توجه روزافزون در زمینه‌هایی از جمله هوافضا، میکروالکترونیک، سنتز، تصفیه مواد زائد، برشکاری، جوشکاری و پاشش تکامل یافته‌اند. اخیراً، پلاسماهای فشار اتمسفری غیرحرارتی نیز برای انواع کاربردهای صنعتی و پزشکی هم‌چون ضدعفونی، درمان سلول‌های سرطانی، تولید ازن، تصفیه آب و فاضلاب، حذف ترکیبات آلی فرار و اصلاح سطح پلیمری به‌منظور بهبود خواصی همانند ترشوندگی مورد مطالعه قرارگرفته‌اند (D' Angola et al., 2022).

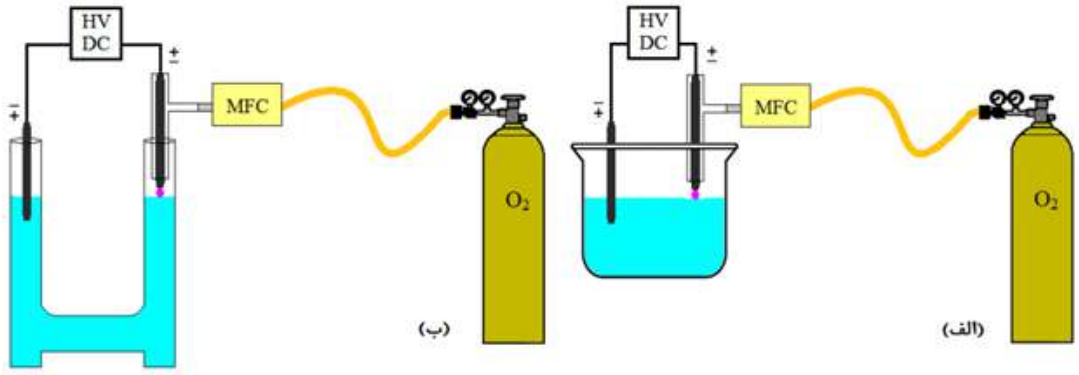
برهمکنش پلاسماها با مایعات، یک حوزه تمرکز با اهمیت در زمینه فناوری پلاسما به‌شمار می‌آید. سطح مشترک برهمکنش پلاسماها با مایعات، یک محیط فوق‌العاده فعال و واکنش‌پذیر با مقیاس‌های متعددی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی است که توسط الکترون‌ها، یون‌های اتمی و مولکولی، شبه پایدارها، فوتون‌ها، نور فرابنفش و رادیکال‌های تولیدی توسط پلاسما ایجاد می‌شود. انتقال این گونه‌ها به محلول می‌تواند یون‌ها و مولکول‌های محلول جدیدی تولید کند و طیف وسیعی از فرآیندهای شیمیایی را در فاز مایع القا نماید (Kim and Kim, 2021). این سطح مشترک، قابل مقایسه با سیستم‌های الکتروشیمیایی معمول با الکترود جامد در داخل مایع است (Rumbach and Go, 2017). با توجه به این قابلیت در برهمکنش پلاسماها با مایعات، با طراحی چهار نوع راکتور پلاسمای سرد اتمسفری گاز اکسیژن، چگونگی تغییرات هدایت الکتریکی آب در طی برهمکنش با پلاسمای اکسیژن برای مدت‌زمان ۱-۱۰ دقیقه در بازه‌های زمانی min ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

شکل ۱، راکتورهای آزمایشی مورد استفاده برای برهمکنش هر یک از پلاسماهای آندی و کاتدی با آب را با دو طراحی متفاوت نشان می‌دهد. پلاسماهای تولیدی مابین سطح آب و نوک الکترودهای آند و کاتد به‌عنوان پلاسماهای به‌ترتیب آندی و کاتدی معرفی می‌شوند. طراحی راکتورها به دو صورت تک ظرف پیرکس در قسمت (الف) و دو ظرف مجزای پیرکس با یک لوله رابط در قسمت (ب) انجام شد. ظروف به حجم mL ۲۰۰ از آب مقطر پر شدند.

مشخصات آب مورد نظر در جدول ۱ ارائه شده است. از دو میله تنگستنی به قطر mm ۲ به‌عنوان الکترود استفاده شد. در طول آزمایش یکی از الکترودها در داخل آب قرارگرفت. الکترود دیگر بیرون از مایع، به‌گونه‌ای داخل لوله‌ای از جنس پیرکس تعبیه شد که انتهای آن به اندازه cm ۰/۵ بیرون از لوله و به اندازه cm ۰/۵ بالاتر از سطح آب قرارگرفت. گاز اکسیژن با دبی sccm ۵۰ از قسمت بالایی لوله پیرکس جریان یافت و پلاسما با اعمال

یک اختلاف پتانسیل بالا، ۸ Kv، توسط یک منبع تغذیه DC مابین نوک الکترود و سطح آب تولید شد. فرآیند تخلیه الکتریکی توسط گاز اکسیژن برای هر راکتور در دو حالت پلاسمای آندی و کاتدی برای زمان‌های ۱-۱۰ دقیقه در بازه‌های زمانی ۱ min انجام شد. طیف‌سنجی گسیلی پلاسمای اکسیژن برای تعیین دما و چگالی پلاسما توسط طیف سنج TIDA (UCS-G400) ساخت شرکت تکسان انجام‌شد. اندازه‌گیری کل جامدات محلول (TDS) و EC هر نمونه با TDS متر و EC متر رومیزی (cond7310) شرکت WTW و pH هر نمونه با pH متر (HI2002) شرکت هانا صورت‌گرفت. اندازه‌گیری سختی آب با کیت سختی‌سنج آب شرکت واهب انجام شد. کدورت آب با کدورت سنج (2020We) شرکت لاموت تعیین شد.



شکل ۱- چیدمان راکتورهای آزمایشی: الف) تک ظرف؛ و ب) دو ظرف مجزای مرتبط با یک لوله رابط

جدول ۱- مشخصات آب پر کننده راکتور

شاخص	pH	هدایت الکتریکی EC (µS/cm)	کل جامدات محلول TDS (ppm)	کدورت Turb (NTU)	سختی TH (ppm/$CaCo_3$)
مقدار	۶/۷۵	۳۱	۱۵	۰	۰

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین دما و چگالی پلاسما

برای تعیین دمای پلاسما، از روش استاندارد نمودار بولتزمن استفاده شد. رابطه (۱)، رابطه مورد نظر برای رسم نمودار بولتزمن است (Baharlounezhad et al., 2023).

$$ln\frac{I_{ji}\lambda_{ji}}{A_{ji}g_j} = -\frac{E_j}{k_BT} + C \qquad (۱)$$

که I_{ij} و λ_{ij}: به‌ترتیب شدت و طول موج مربوط به انتقال از تراز i به j برحسب (nm)، g_j: وزن آماری حالت مربوطه، A_{ji}: احتمال انتقال برحسب (s^{-1})، E_j: انرژی تراز بالاتر برحسب (eV)، kB : ثابت بولتزمن ((J/K) ۱۰$^{-۲۳}$ × 0.38 = 1 kB)، $T(K)$: دما و C: مقدار ثابتی هستند. داده‌های اتمی خطوط طیفی (O I) در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- داده‌های اتمی خطوط انتخابی (Wiese et al., 1996) (O I)

	انرژی تراز بالاتر E_j(eV)	وزن آماری (g_j)	احتمال انتقال × ۱۰^{۸} $A_{ji}(s^{-1})$	طول موج (nm)
O I	۱۱/۹۳۰۲۸۷	۳	۲/۳۸	۱۱۳۱/۶۵۱
	۱۲/۰۷۸۵۴۵	۵	۱/۵۶	۹۲۶/۰۹۴
	۱۲/۰۸۶۹۳۹	۷	۱/۶۶	۹۲۰/۴۹
	۱۴/۱۲۳۷۰۲	۹	۳/۰۹	۳۹۵/۳۴۸۶

پهن‌شدگی استارک خط طیفی بالمر هیدروژن H_β برای اندازه‌گیری چگالی الکترون با تجزیه و تحلیل عرض کامل در نیم بیشینه (FWHM) مورد استفاده قرارگرفت. رابطه (۲) مربوط به FWHM در پهن‌شدگی استارک برای تعیین چگالی الکترون n_e است (Baharlounezhad et al., 2023).

$$\Delta\lambda_{stark} = 4.8(nm) \times \left(\frac{n_e}{10^{23}(m^{-3})}\right)^{0.68116} \quad (۲)$$

که n_e: در واحد (m^{-3}) محاسبه شد. پهن‌شدگی استارک $\Delta\lambda_{stark}(nm)$ از طریق رابطه (۳) به پهن‌شدگی لورنتس $\Delta\lambda_{Lorentz}(nm)$ و وان‌در والس $\Delta\lambda_{Vander\ Waals}$ (nm) مربوط می‌شود (Baharlounezhad et al., 2023).

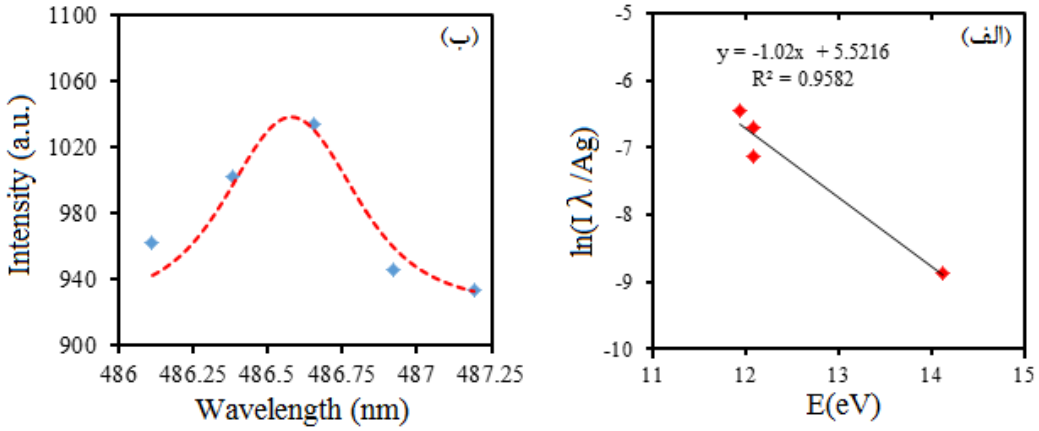
$$\Delta\lambda_{Lorentz} = \Delta\lambda_{stark} + \Delta\lambda_{Vander\ Waals} \quad (۳)$$

پهن‌شدگی وان‌در والسی توسط رابطه (۴) تعیین می‌شود که P=۱ atm و T=۳۰۰ ^{o}K دمای گاز به‌تقریب هستند.

$$\Delta\lambda_{Vander\ Waals} = (3.6)\left(\frac{P}{T_g^{0.7}}\right) \quad (۴)$$

که P=۱ atm و T=۳۰۰ ^{o}K دمای گاز به‌تقریب هستند.

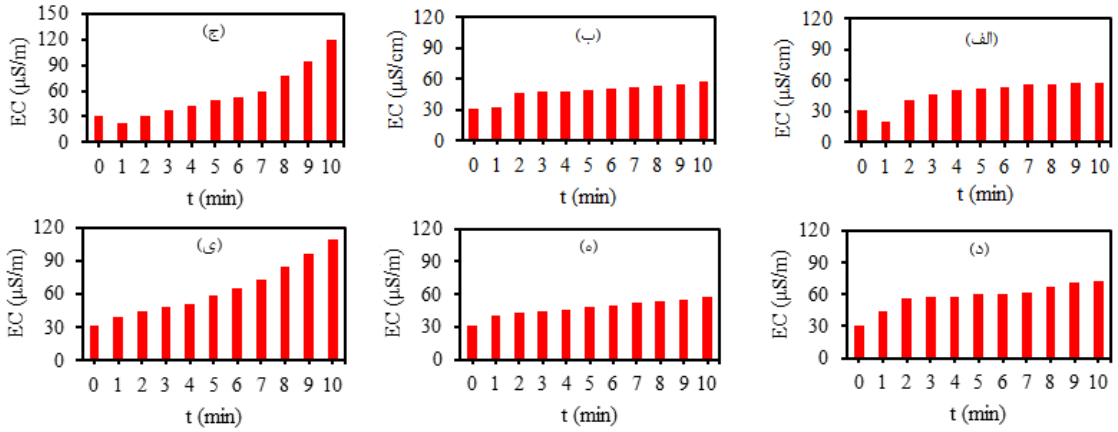
پهن‌شدگی لورنتس را می‌توان از طریق برازش طیف‌های آزمایشی با نمایه ویت یافت که ازطریق برهم‌نهی پهن‌شدگی‌های لورنتزی و گاوسی حاصل می‌شود. شکل ۲-الف نمونه نمودار بولتزمن خطوط طیفی (O I) برای محاسبه دمای الکترون از طیف‌سنجی گسیلی پلاسمای اکسیژن در ولتاژ ۸ kV را نشان می‌دهد. دمای پلاسمای سرد فشاری اتمسفری اکسیژن در تخلیه تابان برابر با ۰/۹۸ eV محاسبه شد. شکل ۲-ب نیز برازش معمول تابع ویت نمایه تجربی H_β را در ولتاژ ۸ kV نمایش می‌دهد. چگالی پلاسمای سرد فشاری اتمسفری اکسیژن در تخلیه تابان برابر با $۱/۵۳\times۱۰^{۲۱}\ m^{-۳}$ به‌دست آمد.



شکل ۲- الف) نمودار بولتزمن حاصل از خطوط طیفی (O I) در ولتاژ ۸kV و ب) برازش معمول تابع ویت نمایه تجربی H_β حاصل از خطوط طیفی (O I) در ولتاژ ۸ Kv

۳-۲- بررسی هدایت الکتریکی

تغییرات هدایت الکتریکی برای پلاسماهای آندی و کاتدی در طراحی‌های تک ظرف و دو ظرف برای زمان‌های ۱-۱۰ دقیقه نسبت به زمان قبل از اعمال پلاسما در بازه‌های زمانی ۱ min، در شکل ۳ نمایش داده شده است. این تغییرات در طراحی تک‌ظرف برای آب موجود در تک‌ظرف و در طراحی دو ظرف برای آب موجود در هریک از قسمت‌های آند و کاتد به‌طور مجزا اندازه‌گیری شدند.



شکل ۳- تغییرات هدایت الکتریکی آب پس از برهمکنش با پلاسمای اکسیژن برای راکتورهای دو ظرف مجزا: الف) آند پلاسمای آندی؛ ب) کاتد پلاسمای آندی؛ ج) آند پلاسمای کاتدی؛ د) کاتد پلاسمای کاتدی و تک‌ظرف: ه) پلاسمای آندی؛ ی) پلاسمای کاتدی برای زمان‌های ۱-۱۰ دقیقه.

همان‌گونه که از شکل‌های ۳-الف و ۳-ج مشخص است با تخلیه الکتریکی اکسیژن در راکتور به‌ترتیب پلاسمای آندی و کاتدی دو ظرف به‌مدت min ۱، هدایت الکتریکی در سمت آند در مقایسه با زمان قبل از اعمال پلاسما با افت مواجه شد که این کاهش در پلاسمای آندی بیش از پلاسمای کاتدی بود. مطابق با شکل‌های ۳-ب و ۳-د این تغییرات در سمت کاتد هر دو حالت پلاسمای آندی و کاتدی به صورت افزایشی مشاهده شد. این افزایش برای پلاسمای آندی ناچیز و برای پلاسمای کاتدی چشمگیر بود. هدایت الکتریکی در راکتور پلاسمای آندی و کاتدی تک‌ظرف نیز پس از اعمال پلاسما افزایش یافت.

تغییرات هدایت الکتریکی برای زمان min ۲ اعمال پلاسما در هر دو سمت پلاسمای آندی در شکل‌های ۳-الف و ۳-ب به‌صورت افزایشی مشاهده شد. تغییرات EC در آند پلاسمای کاتدی در شکل ۳-ج منفی و در کاتد آن در شکل ۳-د مثبت به‌دست آمد. هدایت الکتریکی در راکتور پلاسمای تک ظرف آندی و کاتدی به‌ترتیب در شکل ۳-ه و ۳-ی در زمان min ۲ در مقایسه با زمان min ۱ افزایش داشت. مطابق با شکل‌های ۳-الف-۳ی می‌توان مشاهده کرد که روند تغییرات هدایت الکتریکی در زمان‌های بالاتر از min ۲۲ به‌تقریب افزایشی بود. در راکتور پلاسمای تک‌ظرف، افزایش تغییرات برای پلاسمای کاتدی شکل ۳-ی بالاتر از پلاسمای آندی شکل ۳-ه به‌دست آمد. در پلاسمای آندی دو ظرف در شکل‌های ۳-الف و ۳-ب، افزایش تغییرات EC در زمان ۱ تا ۳ دقیقه در سمت آند بیش از کاتد و در ۴ تا ۱۰ دقیقه برعکس مشاهده شد. در پلاسمای کاتدی دو ظرف در شکل‌های ۳-ج و ۳-د، افزایش تغییرات EC تا زمان min ۷ در سمت کاتد بیش از آند و پس از آن در سمت آند بیش از کاتد بود.

با توجه به نتایج حاصل، این تحقیق امکان استفاده از قابلیت پلاسمای فشار اتمسفری در کنترل هدایت الکتریکی برای به‌کارگیری در زمینه‌های کاربردی متنوع را نشان می‌دهد. برای مثال می‌توان از تغییرات EC حاصل، در بحث کشاورزی و یا تصفیه آب استفاده کرد (صیادی شهرکی و صیادی شهرکی، ۱۳۹۸؛ چوپان و همکاران، ۱۳۹۷). آزمایش هدایت الکتریکی، برای موفقیت در سیستم‌های تولید کشاورزی ضروری است و EC بهینه، مخصوص هر محصول است که به شرایط محیطی بستگی دارد (Le Bot et al., 1998; Sonneveld and Voogt, 2009). در محلول آبی، EC با تعداد و ماهیت یون‌های فعال در محلول ارتباط مستقیمی دارد.

در تحقیق حاضر، افزایش مقادیر EC آب به‌دلیل تشکیل یون‌ها و گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن (ROS, RNS) از جمله یون‌های نیتریت (NO_2^-)، نیترات (NO_3^-)، آمونیوم (NH_4^+) و تجمع مقادیر بالاتر آن‌ها با تولید اعمال پلاسما بر سطح آب است که تاثیر به‌سزایی در افزایش رشد گیاهان دارند Hou et al., (2021). آب آبیاری با EC نامناسب می‌تواند برای گیاهان نامطلوب باشد، زیرا امکان کوددهی و جذب مؤثر مواد مغذی توسط گیاه را مختل می‌سازد و می‌تواند به گیاهان آسیب رساند. با استفاده از راکتور پلاسمایی می‌توان علاوه‌بر کنترل هدایت آب، با غنی ساختن آب از گونه‌های مورد نیاز برای رشد گیاه، نیاز به کوددهی را نیز حذف نمود. از سوی دیگر افزایش قابل‌توجه هدایت الکتریکی می‌تواند بر کیفیت آب (به‌طور خاص آب شرب) تأثیر منفی بگذارد و نشان‌دهنده ورود آلودگی به آب باشد. زیرا هرچه EC بیشتر باشد، به این معنا است که میزان ناخالصی‌ها از جمله مواد محلول، مواد شیمیایی و مواد معدنی در آب بیشتر است. هر فعالیت انسانی که مواد شیمیایی غیر آلی و باردار ناشی از پساب خانگی و یا صنعتی را به روان‌آب‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی اضافه سازد موجب تغییر و افزایش هدایت الکتریکی آب می‌شود. درنتیجه با کاهش هدایت الکتریکی بسیار بالای آب، میزان ناخالصی کمتر شده و کیفیت آب بالا می‌رود Mendoza et al., (Ige et al., 2019; 2018).

برطبق موارد مذکور و پیشرفت‌های اخیر در کاربرد فرآیندهای پلاسما در سیستم‌های نمک‌زدایی و تصفیه آب می‌توان با طراحی مناسب راکتورهای پلاسمایی، امکان پاک‌سازی انواع آب‌های آلوده را نیز فراهم ساخت (Mihiri Ekanayake et al., 2021). از مزایای استفاده از راکتور پلاسمایی برای کنترل هدایت الکتریکی آب، می‌توان به عدم کاربرد هرگونه ماده شیمیایی و عدم و یا حداقل تولید مواد جانبی (در بسیاری از موارد دارای قابلیت کاربرد) در طول کارکرد راکتور و برهمکنش پلاسما با آب اشاره کرد که آن‌را از لحاظ معیارهای محیط‌زیستی به عنوان روشی سبز معرفی می‌نماید.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از فناوری برهمکنش پلاسمای سرد اکسیژن با سطح آب در فشار اتمسفر و تغییر در طراحی راکتور تولید پلاسما، امکان کنترل هدایت الکتریکی آب برای به‌کارگیری در زمینه‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان دادند که نوع طراحی راکتور پلاسمایی و زمان اعمال پلاسما می‌توانند موجب افزایش، کاهش و یا به‌طور هم‌زمان افزایش در یک سوی راکتور و کاهش در سوی دیگر هدایت الکتریکی آب با گونه‌های فعال تولید

شده در پلاسما بدون استفاده از هیچ‌گونه ماده شیمیایی دیگر شوند.

۵- مراجع

صیادی شهرکی، ف.، و صیادی شهرکی، ع.، (۱۳۹۸) "شبیه‌سازی هدایت الکتریکی دشت بهبهان با استفاده از مدل‌های ANN و ANN-PSO"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۴(۱)، ۳۴-۴۱.
https://doi.org/10.22112/jwwse.2019.160050.1126.

چوپان، ی.، خاشعی سیوکی، ع.، شهیدی، ع.، (۱۳۹۷) " ارزیابی اثرات فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه" *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۲)، ۶۱-۶۸.
https://doi.org/10.22112/jwwse.2018.126795.1078.

Baharlounezhad, F., Mohammadi, M.A., and Zakerhamidi, M.S., (2023), "Plasma synthesis of ammonia by asymmetric electrode arrangement", *Materials and Manufacturing Processes*, 38(2), 159-169, https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2105875.

D'Angola1, A., Colonna, C., and Kustova, E., (2022), "Editorial: Thermal and non-thermal plasmas at atmospheric pressure", *Frontiers in Physics*, 10, 852905, https://doi.org/10.3389/fphy.2022.852905.

Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D. and Yu, J., (2018), "Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (Brassica campestris L. ssp. Chinensis) in a hydroponic system", *PLOS ONE*, 13(8), e0202090, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202090.

Hamdan, A., Profili, J., and Cha, M.S., (2020), "Microwave plasma jet in water: Effect of water electrical conductivity on plasma characteristics", *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 40, 169-185, https://doi.org/10.1007/s11090-019-10034-5.

Hou, C.Y., Kong, T.K., Lin, C M., and Chen, H.L., (2021), "The effects of plasma-activated water on heavy metals accumulation in water Spinach", *Applied Sciences*, 11(11), 5304, https://doi.org/10.3390/app11115304.

Ige, E.O., Arun, R.K., Singh, P., Gope, M., Saha, R., Chanda, N., and Chakraborty, S., (2019), "Water desalination using graphene oxide-embedded paper microfluidics", *Microfluidics and Nanofluidics*, 23(6), 80, https://doi.org/10.1007/s10404-019-2247-5.

Kim, S., and Kim, C-H., (2021), "Applications of Plasma-Activated Liquid in the Medical Field", *Biomedicines*, 9(11), 1700, https://doi.org/10.3390/biomedicines9111700.

Le Bot, J., Adamowicz, S., and Robin, P., (1998), "Modelling plant nutrition of horticultural crops: A review", *Scientia Horticulturae*, 74(1-2), 47-82, https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00082-X.

Meichsner, J., Schmidt, M., Schneider, R., and Wagner, H.E., (2013), *Nonthermal plasma chemistry and physics*, CRC Press, Taylor & Francis Group.

Mendoza, R.M.O., Dalida, M.LP., Kan, Ch.Ch., Wan, M.W., (2018), "Groundwater treatment by electrodialysis: Gearing up toward green technology". *Desalination and Water Treatment*, 127, 178-183. https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22929.

Mihiri Ekanayake, U.G., Barclay, M., Seo, D.H., Park, M.J., MacLeod, J., O'Mullane, A.P., Motta, N., Shon, H.K., and Ostrikov, K.K., (2021), "Utilization of plasma in water desalination and purification", *Desalination*, 500, 114903, https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114903.

Rumbach P., and Go, D.B., (2017), "Perspectives on plasmas in contact with liquids for chemical processing and materials synthesis", *Topics in Catalysis*, 60, 799-811, https://doi.org/10.1007/s11244-017-0745-9.

Sonneveld, C., and Voogt, W., (2009), "Crop response to an unequal distribution of ions in space and time plant nutrition of greenhouse crops", *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*, 159-172, https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6_8.

Wiese, W.L., Fuhr, J.R., and Deters, T.M., (1996), *Atomic transition probabilities of carbon, nitrogen, and oxygen: A critical data compilation*, American Chemical Society, New York.

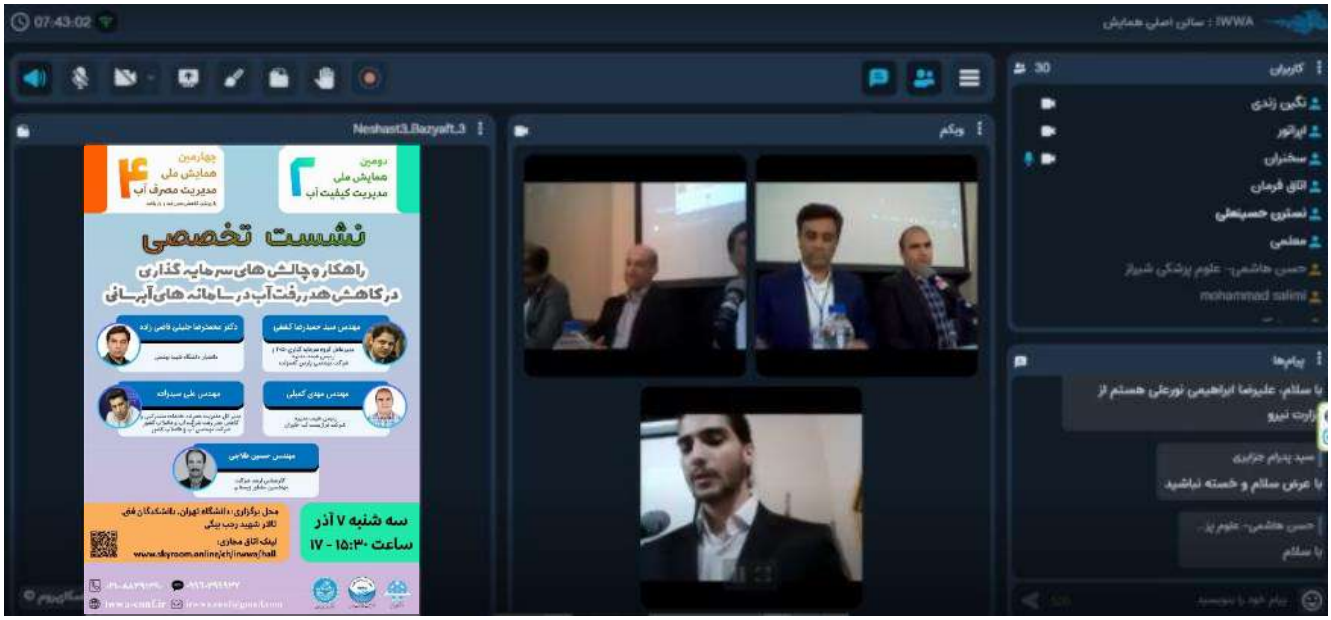
Vijay Nehra, V., Kumar A., and Dwivedi, H.K., (2008), "Atmospheric non-thermal plasma sources", *International Journal of Engineering*, 2(1), 53-68.

Yusupov, D. I., Kulikov, Y. M., Gadzhiev, M. Kh., Tyuftyaev A. S., and Son, E. E., (2016). "High-pressure ignition plasma torch for aerospace testing facilities". *Journal of Physics: Conference Series*, 774, 012185. https://doi.org/10.1088/1742-6596/774/1/012185

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

نشست تخصصی راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی
(دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت، ۷ تا ۹ آذرماه ۱۴۰۲، دانشگاه تهران)

لینک فیلم نشست: https://www.aparat.com/v/o2089me?playlist=8441236



دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده (دانشیار دانشگاه شهیدبهشتی، مدیر نشست)
مهندس علی سیدزاده (مدیرکل مدیریت مصرف، خدمات مشترکین و کاهش هدررفت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)
مهندس حسین طلاچی (کارشناس ارشد شرکت مهندسین مشاور زیستاب)
مهندس سید حمیدرضا کشفی (مدیرعامل گروه سرمایه‌گذاری ۲۰۵۰ و رییس هیئت مدیره شرکت مهندسی پارس کنسولت)
مهندس مهدی کمیلی (رییس هیئت مدیره شرکت فرازیست آب خاوران)

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:

بسم الله الرحمن الرحیم خدمت حضار محترم سلام عرض می‌کنم. از طرف خودم و انجمن خیرمقدم می‌گویم حضور عزیزان را. هم‌چنین از اعضای محترم نشست که دعوت ما را قبول کردند تشکر می‌کنم. همان‌طور که می‌دانید موضوع نشست بررسی راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های توزیع آب است. امروز در جلسه در مورد بحث کمبود آب و شرایط کشور صحبت شد. من از این صحبت‌ها استفاده می‌کنم با توجه به بحث کمبود آبی که در کشور داریم و راه‌کارهای مختلفی که مطرح است. طبیعتا یکی از این راه‌کارها بحث کاهش هدررفت آب در شبکه‌های آبرسانی است. روی موضوعات مختلف، دوستان نظرات موافق و مخالفی دارند. اما در زمینه کاهش هدررفت فکر نمی‌کنم کسی نظر مخالف داشته باشد. مقدار هدررفت در کشور ما که کم آب هستیم قابل‌ملاحظه است. مثال واضح این است که ما الان از دریای عمان آب را شیرین کرده و برای شهرهای مختلف می‌خواهیم بفرستیم و تا مشهد ببریم. جلسه‌ای چند روز پیش برگزار شد و در آن‌جا گزارش شد هر یک مترمکعب آبی که ما به اصفهان می‌رسانیم حدود ۲۵۰ هزار تومان هزینه‌ش می‌شود و این آب زمانی که به مشهد می‌رسد حدود ۴ یورو هزینه‌اش است. سوالی که در رابطه با هزینه‌ای که الان داریم می‌پردازیم وجود دارد این است که آیا کاهش هدررفت گزینه بهتری نیست؟ گزینه ارزان‌تری نیست؟ و صدماتی که به محیط‌زیست می‌زند کمتر نیست؟ جواب روشن است که باید هدررفت‌ها کاهش پیدا کند. اما ما می‌دانیم برای کاهش هدررفت‌ها باید سرمایه‌گذاری انجام شود اما در کشور یا حتی

خارج، کشورهایی هستند که سرمایه‌گذارند. سرمایه‌گذاری انجام می‌دهند به شرط این‌که راه‌کارهای قانونی این اقدام فراهم شود. مثلث کارفرما، سرمایه‌گذار و شرکت‌های مشاور و پیمانکار باید بتوانند مشکل کاهش هدررفت را حل کنند. یک‌سری مشکلات فنی، حقوقی و مشکلات قراردادی دارد و شرایط را باید برای آن فراهم کنیم.

در خدمت آقای مهندس کشفی هستیم و پستی که الان دارند و در شرکت مهندسی معاون بهره‌برداری بودند و سال‌ها مدیر دفتر تجهیز منابع و سرمایه‌گذاری‌های بخش غیردولتی بودند. لذا از نظرات ایشان استفاده می‌کنیم در موضوع سرمایه‌گذاری برای آب و فاضلاب. اما چون بحث ما کاهش هدررفت آب است خدمت آقای مهندس سیدزاده هستیم که مدیر دفتر مدیریت مصرف هستند و سال‌ها در این زمینه کار کرده‌اند که از تجربیاتشان استفاده خواهیم کرد تا بدانیم پروژه‌هایی که در کشور کم و بیش انجام شده به‌چه صورت است. تعداد پروژه‌هایی که ما برون‌سپاری کردیم در بخش کاهش هدررفت، من فکر می‌کنم از تعداد انگشتان یک دست کمتر بوده. یکی از این پروژه‌ها پروژه I1 مشهد است که خدمت آقای مهندس قادری هستیم که راجع به تجربیاتی که در این پروژه به‌دست آمده توضیحاتی بدهند. طبیعتاً این سرمایه‌گذاری‌های پیچیده با شرایطی که دارد نیاز به مدل‌های سرمایه‌گذاری دارد که در این زمینه خدمت آقای مهندس طلاچی هستیم که متخصص مدل‌های سرمایه‌گذاری هستند و از نظراتشان استفاده خواهیم کرد. هرکدام از عزیزان حدود پنج دقیقه صحبت می‌کنند و بعد ما خدمت حضار هستیم که سوالاتشان را بپرسند و از نظراتشان استفاده کنیم. اگر اجازه بدهید ابتدا خدمت آقای مهندس سیدزاده باشیم. ایشان در مورد وضعیت هدررفت آب در کشور توضیحاتی خواهند داد و بعد بحث را ادامه خواهیم داد.

مهندس علی سیدزاده:

بسم‌الله الرحمن الرحیم. عرض سلام و ادب و احترام دارم خدمت حضار محترم. خوشحال هستم خدمت شما هستم تشکر می‌کنم از انجمن آب و فاضلاب ایران و دانشگاه تهران بابت همایش علمی امروز که خدمت شما از صبح بودیم. تشکر می‌کنم از آقای دکتر جلیلی قاضی‌زاده. خوشحال هستم که در خدمت دوست و برادر بزرگوارم آقای مهندس کشفی هستم که سالیان سال در شرکت مهندسی اقدامات بسیار مفیدی انجام دادند. قطعا در حضور ایشان صحبت کردن در بحث سرمایه‌گذاری زیره به کرمان بردن است. اما استفاده خواهیم کرد از نظرات و تجربیات جناب آقای مهندس کشفی. با توجه به وقتی که در اختیارم قرارداده شده است. اما مطلب خیلی زیاد است و وقت بیشتری را می‌طلبد. انشاالله فردا هم کارگاه مجازی این حوزه خواهد بود که آن‌جا من ابعاد بحث هدررفت و سرمایه‌گذاری در آن را بیشتر باز خواهم کرد. ولی امروز خیلی مختصر من ابتدا وضعیت هدررفت آب در کشور ایران را تشریح می‌کنم. انشاءالله در ادامه خدمت شما خواهیم بود. از مجموع ۸ میلیارد و ۸۵۰ میلیون مترمکعب آب ورودی به شبکه‌های توزیع در سطح شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی در جدولی که ملاحظه می‌فرمایید که جدول بالانس آب کشور است، چیزی در حدود دو میلیارد و ۷۷۰ میلیون مترمکعب آب بدون درآمد است. یعنی درآمدی از آن نصیب شرکت‌های آب و فاضلاب نمی‌شود. بعضاً مطلع هستید آب بدون درآمد سه جزء دارد: ۱) هدررفت واقعی؛ ۲) هدررفت ظاهری و ۳) مصارف مجاز بدون درآمد. هدررفت واقعی همان نشت از شبکه توزیع، خطوط انتقال، سرریز مخازن، نشت از مخازن و نشت از انشعابات مشترکین است که از این ۳۱/۳ درصد، ۱۵/۵درصد را به خود اختصاص داده است. اما از لحاظ حجم، یک میلیارد و سیصد و هفتاد و یک میلیون مترمکعب است. هدررفت ظاهری، مصارف غیرمجاز، استفاده‌های غیرمجاز، خطای مدیریت داده‌ها و سیستم و عدم دقت تجهیزات اندازه‌گیری یا کنترل‌های ما است. یعنی ما یک آبی را به‌دست مصرف‌کننده رساندیم ولی نتوانستیم اندازه‌گیری کنیم. هدررفت به‌صورت ظاهری یا غیرفیزیکی است. درآمدی نداشتیم ولی به‌صورت واقعی این هدر نرفته است. مصارف مجاز بدون درآمد مصارف فرایندی آتش‌نشانی‌ها، بک‌واش تصفیه‌خانه‌ها، مصارفی که در داخل شرکت‌های فاضلاب داریم. جامعه هدف ما در حوزه سرمایه‌گذاری در این بحث هدررفت ظاهری و واقعی است با حجم ۲ میلیارد ۷۰۰ میلیون مترمکعب و به‌ویژه در بخش هدررفت واقعی، در آن بخش‌هایی که ما می‌خواهیم آب معادل یا پساب معادل به صنعت بدهیم که انشالله در ادامه باز توضیحات بیشتری را ارائه خواهم کرد. خیلی مختصر موارد و بندهایی که ظرفیت‌های قانونی که در کشور ایجاد شده که موفق بوده یا نبوده باید آسیب شناسی شود. ماده ۱۴۲ قانون برنامه پنجم توسعه خرید تضمینی آب و پساب را مطرح کرده است. ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر که به وزارت

نیرو اجازه داده است که این خدمات را به سرمایه‌گذار واگذار کند. آب ناشی از صرفه‌جویی را خریداری کند. حدود اعتباری خارجی و داخلی که حالا خیلی مورد بحث امروز ما نیست. صندوق اعتبارات صندوق توسعه ملی و اخیرا بند "س" تبصره هشت قانون بودجه ۱۴۰۲ که موظف می‌کند وزارت نیرو را که این صنایع را به سمت این هدایت بکند که در زمینه کاهش هدررفت در شبکه‌های توزیع سرمایه‌گذاری کنند. از سال گذشته در این زمینه برنامه‌ریزی کردیم حدوداً ۹۰ مدل فنی و مالی را تهیه کردیم و به شرکت‌های آب و فاضلاب ابلاغ کردیم. ولی موانع متعددی دارد که قطعاً آقای مهندس کشفی توضیح خواهند داد. در حال‌حاضر در دو شهر اقلید فارس و کاشمر در خراسان رضوی در حال انعقاد قرارداد با صاحبان صنایع هستیم. از این ۹۰ مدل فقط این دو شهر را توانستیم آماده کنیم، علی‌رغم موانع متعدد، عدم تمایل صنایع، عدم ضمانت‌های لازم، عدم بستر نامناسب، بروکراسی پیچیده دولتی و اداری، پیچیدگی شبکه‌های توزیع، نامشخص بودن هدررفت در شبکه‌های توزیع و مباحث دیگری که من در ادامه توضیح خواهم داد. من تا همین قسمت بسنده می‌کنم انشاالله در ادامه خدمت شما عزیزان خواهم بود. فردا انشاالله مفصل‌تر مباحث را باز خواهم کرد. متشکرم.

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:

خیلی ممنون. من فقط یک اشاره کنم وقتی متوسط هدررفت مثلا ۳۰ درصد است این مقدار متوسط است. طبیعتا برخی شهرها بیشتر هستند و برخی کمتر. لذا پتانسیل خیلی زیادی برای کاهش هدررفت آب وجود دارد. خدمت آقای مهندس کشفی هستیم.

مهندس سید حمیدرضا کشفی:

بسم الله الرحمن الرحیم. عرض سلام دارم خدمت حضار محترم و خوشحال هستم از این‌که فرصتی پیش آمد که در خدمت شما بزرگواران باشم و دوستان خودم را پس از مدت‌ها زیارت کنم. دوستان فرمودند جناب آقای دکتر مطالبشان را این‌که هدررفت آب چقدر است؟ استاندارد جهانی چقدر است؟ استاندارد جهانی چقدر باید باشد؟ و به‌نظر می‌آید این را ما باید در یک پلیگون بزرگتری در جامعه آب کشور ببینیم. این‌که از کل آب کشور چقدر هدر می‌رود؟ این‌که شما در کنار ۸ میلیارد، ۹۲ میلیارد دیگر را می‌گذارید و راجع به ۱۰۰ میلیارد صحبت می‌کنید، آبی که در قسمت کشاورزی هدر می‌رود می‌تواند معنا پیدا کند. در مورد کاهش هدررفت به‌نظر می‌آید که به این‌ها باید در یک ظرف پرداخته شود. فارغ از اعداد و رقم‌ها که آقای مهندس سیدزاده هر سال زحمت می‌کشند و بالانس آب کشور را با زحمت تهیه می‌کنند. به این دلیل می‌گویم به زحمت، چون بحث اندازه‌گیری در هدررفت بسیار مهم است که این عددها چقدر قابل اتکا و اطمینان است. مهم‌ترین موضوع این است که باید چگونه عمل کنیم؟

هدف مثلا ۵ درصد است، در برنامه توسعه پنجم در مورد کاهش یا هر عددی. چگونه به این هدف برسیم و هزینه‌هایمان را چطور مدیریت کنیم و پوکه‌ریزی را چگونه انجام دهیم. برمی‌گردد به تکنولوژی انجام کار که دنیا به یک مدل خاص رسیده است و آن مدل هم مدلی است که در بحث "مدیریت نتیجه‌محور" قراردادهای PBC (performance base contract) یعنی قراردادهای مبتنی بر عملکرد را ایجاد کرده و همه هزینه‌ها و پرداخت‌ها را براساس قراردادهای نتیجه محور انجام می‌دهد که مثلاً کدام شرکت و با کدام تکنولوژی مثلاً آن‌قدر آب را برای ما ذخیره بکند. نشت را پیدا کرده و نشت‌یابی را به‌نحوی انجام بدهد که ظرف دو سال آینده به‌طور مثال فلان مقدار به سبد آب آن شهر اضافه می‌شود.

پیاده‌سازی این قرارداد به‌نظر من از همه چیز مهم‌تر است. سالیان سال آقای مهندس سیدزاده و همکاران محترم در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و اساتید دیگری مانند آقای دکتر جلیلی قاضی‌زاده تلاش می‌کنند که به لحاظ علمی و هم به لحاظ عملی بودجه بگیرند که بتوانند این هدررفت کشور را مدیریت کنند. اما واقعیت این است که بودجه‌ریزی در این بخش به‌نظر می‌آید که اگر براساس قرارداد نتیجه محور نباشد نه تنها بیهوده است بلکه اتلاف پول در کنار اتلاف آب است. یادم می‌آید نشریه‌ای به‌نام OP204 توسط همکاران ما در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور تدوین شد. شاید حدود سال ۹۸ یا ۹۹، آن نشریه دستورالعمل بسیار مترقی در رابطه با این‌که چگونه بتوانیم هدررفت را نتیجه محور مدیریت کنیم ارائه می‌کند. من به همین موضوع بسنده می‌کنم با توجه به وقتی که در اختیار ما قرار دادند ولی مجدد تاکید می‌کنم که نکته اساسی در کاهش هدررفت نه پول است نه دیتا. این دوتا حتما مهم هستند اما مهم‌تر از همه این‌ها متدولوژی و پیاده‌سازی انجام کار به‌نحوی است که علم در

کنار بودجه تخصیص داده شده منتج به نتیجه خوبی شود. متشکرم.

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:

خیلی ممنون از شما. دوستانی که به‌صورت مجازی در جلسه شرکت دارند نیز می‌توانند در پایان بحث سوالات خود را بپرسند. در خدمت جناب آقای مهندس کمیلی هستیم که در رابطه با تجربه مشهد برای ما صحبت کنند.

مهندس مهدی کمیلی:

به‌نام خدا. سلام عرض می‌کنم خدمت اساتید و همکاران و بزرگواران حاضر در جلسه و دوستانی که به‌صورت مجازی ما را می‌بینند. واقعیت ماجرا این است که من در مقابل بزرگانی که در اینجا هستند احساس خجالت می‌کنم که در رابطه با این موضوعات صحبت کنم.

در مورد پروژه I1 مشهد یک‌سری موارد بود که ما به عینه درگیر آن‌ها بودیم. من این فرصت را مغتنم می‌شمارم و درمورد مواردی در این خصوص صحبت می‌کنم. اگر فرصت داشته باشم مدیریت زمان بکنم حرف‌هایم را خلاصه بکنم. در دو حوزه می‌خواهم صحبت کنم. یکی بحث ساختاری در واقع چالش‌های ساختاری قراردادهای کاهش هدررفت است و دیگری بحث چالش‌های فنی. از چالش‌های ساختاری شروع می‌کنم چون به فضای این جلسه نزدیک‌تر است. یکی از چالش‌هایی که در قراردادهای کاهش هدررفت در حوزه شبکه توزیع وجود دارد و عموما قرداد از نوع سرمایه گذاری است در زمینه کاهش هدررفت. هدف این است که قراردادهای سرمایه‌گذاری در کشور ما سابقه به نسبت خوبی دارد. تجربه همکاران در شرکت‌های مشاور و هم‌چنین در بدنه کارفرمایی خوب است. شناخت مناسبی نسبت به قراردادهای سرمایه‌گذاری وجود دارد. اما جنس قراردادهای سرمایه‌گذاری در حوزه هدررفت شبکه توزیع بسیار سن کمی دارد و به‌خاطر نوع چالش‌های شبکه توزیع، نوع درگیری‌های طرفین و حل و فصل مشکلات در شبکه توزیع متفاوت است از چیزی که در تصفیه خانه یا در واقع آب شیرین‌کن اتفاق می‌افتد. بنابراین نیاز است که قراردادهایی که در این حوزه بسته شده یا مثل I1 مشهد به اتمام رسیده و هدف خود را گرفته با موفقیت آسیب‌شناسی شود. به لحاظ چارچوب قراردادی وظایف طرفین (سرمایه‌پذیر و سرمایه‌گذار) و یک مقداری شناخت هر دو طرف نسبت به مواردی که به‌وجود آمده است. دومین موضوع این است که همان‌طور که آقای مهندس کشفی گفتند قراردادهای عملکرد محور و کلاً قراردادهای سرمایه‌گذاری که بهترین نوع آن‌ها قراردادهای سرمایه‌گذاری عملکرد محور است که در دنیا به‌عنوان یک هدف و بهترین نوع قرارداد بهینه شده است و دنیا به‌سمت آن حرکت کرده است. اما واقعیت ماجرا این است که ما نه به‌خاطر این‌که این نوع قراردادها در دنیا به نتیجه خوبی رسیده است به سمت آن می‌رویم. واقعیت این است که دولت در ایران به لحاظ مشکلات بودجه‌ای به سراغ این قراردادها آمده و خیلی هم اعتقادی به عملکرد محور بودن آن ندارد. بیشتر نگاه او به تامین سرمایه است. گواه این ماجرا این است که سیستم‌های سرمایه‌پذیر کارفرمایی می‌خواهند با همان روند و روش خودشان هم‌چنان بهره‌برداری و استفاده از شبکه و راهبری کار انجام شود منتها بار مالی‌اش را می‌خواهند به سرمایه‌گذار منتقل کنند. این نگاه همه‌جا وجود ندارد اما نگاه عمومی است. یعنی حداقل در شهر مشهد ما خیلی این موارد را می‌دیدیم که فقط در بحث مالی می‌گفتند سرمایه‌گذار تامین مالی بکند. اما این‌که اختیار عمل داشته باشند و براساس روش خود پیش بروند خیلی آزادی عمل داده نمی‌شود. یکی از معضلات سرمایه‌گذاری در حوزه کاهش هدررفت یا به‌عبارتی بزرگترین معضل، انحصار بازار فروش است. ما در حوزه هدررفت وقتی کار می‌کنیم فقط و فقط حق فروش به شرکت آب و فاضلاب را داریم. به‌نوعی بازار فروش آب فقط به شرکت آب و فاضلاب است و وقتی شما در یک بازاری فقط یک خریدار دارید مجبورید براساس میل خریدار اقدام بکنید و این به‌نوعی می‌تواند مثل انحصار در تولید، یک آسیب درازمدتی را داشته باشد. پیشنهاد من این است که اجازه فروش در بازار آب حداقل حالا که در بازار پساب وجود دارد، اما در بازار آب وجود ندارد، این اجازه فروش داده شود.

پیشنهاد من این است که این اجازه فروش داده شود به سرمایه‌گذارها که حتی تولید داخل را و بحث صادرات را اجازه داشته باشند. من فکر می‌کنم ۵ دقیقه تمام شد ولی مهم‌ترین نکته این است که بازده سرمایه‌گذاری در بخش کاهش هدررفت نسبت به بازارهای دیگری که شرکت‌های پیمانکاری می‌توانند به آن ورود کنند بسیار کمتر است. این دلیل عمده در واقع پاشنه آشیل قراردادهای سرمایه‌گذاری می‌تواند باشد. در سال گذشته در پروژه I1 آنالیز کرده بودیم شاخص CPI، نرخ ارز چه افزایشی داشته است و نرخ ملک چه افزایشی در شهر تهران داشته است و

هم‌چنین نرخ طلا چه افزایشی داشته است. با اختلاف بسیار فاحشی کمترین مقدار افزایش مربوط به شاخص CPI بود. نسبت به بازارهای دیگر مثل مسکن و طلا، بازار بهتری برای یک سرمایه‌گذار بود و این باعث می‌شود که سرمایه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها در این زمینه مقداری ضعیف و محدود به دارایی‌های شرکت‌های پیمانکاری شود. بنده صحبت‌های خودم را در این‌جا تمام می‌کنم و در خدمت شما هستم.

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:

خیلی ممنون از آقای مهندس کمیلی. من می‌خواهم در رابطه با مباحث فنی دیدگاه‌های عملکرد محور صحبت کنم. اول این‌که بحث هدررفت فقط هدررفت واقعی نیست و این‌که بیشتر روی بحث نشت و غیره است. در صورتی‌که ما هدررفت‌های ظاهری را داریم، بحث کنتورها را داریم. بحث جلوگیری از انشعابات و مصارف غیرمجاز را داریم.

اتفاقا چند تجربه در کشور داشتیم که کاهش هدررفت‌های ظاهری وقتی که به پیمانکاران خصوصی سپرده می‌شوند خیلی موفق بوده است. به‌خاطر این‌که آن ملاحظات که شما شاید در شهرها و روستاها داشته باشید، در بخش خصوصی وجود ندارد. اما در بحث هدررفت واقعی وقتی که ما براساس عملکرد محور کار می‌کنیم باید عملکرد پیمانکار را هم اندازه‌گیری کنیم. روش اندازه‌گیری کاهش هدررفت‌ها معمولاً دو روش است. یکی روش حجم-زمان است که یک نشت را وقتی می‌خواهیم تحلیل کنیم یک ظرفی قرار می‌دهیم و با کرنومتر زمان پر شدن آن را اندازه‌گیری می‌کنیم. البته این کار خیلی سختی است و عدم قطعیت زیادی دارد. یا رابطه اریفیس که استفاده می‌کنیم و بحث بعدی اندازه‌گیری جریان شبانه است. با استفاده از جریان شبانه این اندازه‌گیری را انجام بدهیم. برای این‌که شما یک قرارداد موفق داشته باشید اول باید شبکه را کاملاً بشناسید. مقدار هدررفت خود را بشناسید. باید اندازه‌گیری‌های دقیقی داشته باشید. یک پیمانکار نمی‌تواند بیاید با اندازه‌گیری‌های تقریبی و خطا مثلا قرارداد ببندد و برای این‌کار جلو نمی‌آید. در بحث اندازه‌گیری جریان شبانه می‌رسیم به بحث زون‌بندی که این زیرساخت‌ها را باید شبکه داشته باشد تا قرارداد موفق باشد. هدف ما از قرارداد این نیست که یک پیمانکار را بیاوریم و او ضرر بکند. پس بنابراین در قراردادهای عملکرد مبنا باید شما اول شبکه را بشناسید. مقدار نشت‌ها را بدانید. اگر در یک شبکه مثلا نشت خیلی کمی وجود دارد این را به پیمانکار بدهیم، پیمانکار متضرر می‌شود. مسئله بعد این است که روش‌های اندازه‌گیری که ما داریم پیچیده هستند و تابع فشار هستند. مثلا شما وقتی که لوله‌ای را می‌خواهید باز کنید و خاک را از روی آن برمی‌دارید جریان تغییر می‌کند. وقتی که نشت‌ها را تعمیر می‌کنید فشارها تغییر می‌کند. فشارها که تغییر می‌کند نشت‌های جدیدی به‌وجود می‌آید. لذا تجربه‌ای که ما در کشور داشتیم این است که اگر شما ۱۰۰ واحد مقدار نشت را کم کنید حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد آن برمی‌گردد داخل مخزن و بقیه به‌علت افزایش فشار، نشت‌های جدید حاصل می‌کند و یا این‌که باعث افزایش مصرف می‌شود. بنابراین این‌جا کارفرما اول باید زیرساخت‌ها را فراهم کند. اندازه‌گیری دقیقی داشته باشد. مسئله بعد موضوع نشت اقتصادی است. ما در هر پروژه‌ای باید مقدار اقتصادی نشت‌ها را درنظر بگیریم. چون کاهش نشت‌ها همراه با هزینه است. به هرحال دنبال این نیستیم که به هر قیمتی هدررفت را کاهش بدهیم. مقدار نشت اقتصادی در شهرهای مختلف متفاوت است. در یک پروژه‌ای در مشهد این را مطالعه کردیم و عددهایش را درآوردیم. برای هدررفت ظاهری هم این‌ها را داریم. مثلا بحث تعویض کنتور جنبه اقتصادی دارد که باید کارفرما قبلا این‌ها را تحقیق کرده باشد و یک پروژه‌ای را آماده بکند و در اختیار پیمانکار قرار بدهد. این چند نکته را عرض کردم که یک مقداری بحث‌های فنی هم صحبت شود. برمی‌گردیم به ساده‌ترین روش اندازه‌گیری نشت که جریان شبانه است. جریان شبانه تابعی از مصرف شبانه است که در این زمینه بازهم خیلی اعداد دقیقی نداریم. بحث دیگری که در کشور متاسفانه درگیر آن هستیم بحث کاهش فشار در شبکه است که شرکت آب و فاضلاب آن‌قدر فشار آب را کم کرده است که همه مردم مجبور شده‌اند پمپ و مخزن بگذارند. این موضوع نیز باعث به‌هم خوردگی جریان شبانه است. من منتظر هستم نظرات آقای طلاچی را هم بشنوم.

مهندس حسین طلاچی:

به‌نام خدا. با سلام خدمت حضار محترم. صحبت‌های آقای دکتر قاضی‌زاده بیشتر صحبت‌هایی بودند که من می‌خواستم انجام بدهم و بیشتر مطالب را توضیح دادند. در رابطه با تدوین یک مدل مالی برای طرح‌های کاهش هدررفت دنبال این هستیم که هزینه تمام شده استحصال آب و کاهش هدررفت را به‌دست آوریم. صحبت‌های آقای دکتر در خصوص بخش فنی کار که به‌نوعی

نشان‌دهنده هزینه‌های طرح است را عنوان کردند. بحث تعویض کنتورها و یا بحث نشت‌یابی لوله‌ها و صحبت‌های دیگری داشتند. بحث این بود که ما اندازه کاهش هدررفت اقتصادی‌مان تا کجاست؟ شاید بشود هدررفت را به صفر رساند که مطمئناً هزینه خیلی بالایی خواهد داشت و از صرفه اقتصادی رد خواهد شد. در مورد دستورالعمل بند پ در صفحه ۸ قانون بودجه در بحث واگذاری طرح‌های کاهش هدررفت به متقاضیان و سرمایه‌گذارانی که می‌خواستند از بحث کاهش هدررفت استفاده کنند. این پروژه‌ها به سرمایه‌گذار واگذار می‌شود در طول دوره بهره‌برداری که برخی از نشت‌یابی‌ها در طول دوره واگذاری برعهده سرمایه‌گذار گذاشته می‌شود. همان‌طور که آقای مهندس سیدزاده گفتند ما حدود ۹۰ شهر را مدل‌های مالی‌شان را در قالب بند "پ" تبصره ۸ ارزیابی کردیم. در این دستورالعمل گفته است که در بخش‌هایی که ۳۰ درصد واگذاری آب به سرمایه‌گذار اگر دارای صرفه مالی نیست امکان دارد میزان واگذاری آن در صورت ارائه گزارش توجیهی و تا جایی‌که سرمایه‌گذار مشارکت کند را افزایش بدهیم و از ۳۰ درصد هم بالاتر ببریم. در این مدل هایی که بررسی شد براساس میزان هدررفتی که وجود دارد با توجه به این‌که ۳۰ درصد از کاهش هدررفت واقعی به سرمایه‌گذار می‌تواند واگذار شود هزینه‌های تمام شده متفاوتی برای یک مترمکعب آب برآورد شده است. در بخش‌هایی که احتمال کاهش هدررفت آب بالاتر بود، قیمت تمام شده پایین‌تر بود و بخش‌هایی که هدررفت واقعی و ظاهری در حال‌حاضر کم است و انجام اقدامات، مقدار کمی آب را تولید می‌کند قیمت تمام شده بالا به‌دست آمد. می‌توانم بگویم از حدود ۲۰ هزارتومان برای هر مترمکعب تا ۲۰۰ هزارتومان در شهرهای مختلف متفاوت بوده است.

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:

خیلی متشکرم آقای طلاچی. خدمت حضار محترم هستیم تا سوالات به ترتیب مطرح شود.

سوال ۱: سلام عرض می‌کنم خدمت تمامی دوستان و اعضای محترم پنل. پرهیزگار هستم مدیرعامل شرکت سپنتا. شرکت ما دارای گرید مشاور، پیمانکار و بهره‌بردار آب است. تمام ایده‌مان این بوده است که حرکات خیلی خوبی انجام شده است در این چند سال نشت‌یابی و بهره‌برداری‌هایش انجام شده است. ایده این بود که ما از یک شرکت صرفاً بهره‌بردار به یک مدیریت تبدیل بشویم. فرض کنید ما سرمایه‌گذار هستیم و این پول را داریم. من می‌خواهم مثلاً ۲۰۰ میلیارد در این شهر هزینه کنم. از کجا بفهمم که به ازای یک درصد از این ترم چقدر باید هزینه کنم؟ هر شهری با دیگری فرق دارد. ما وقتی مطالعات را انجام می‌دهیم فرض کنید با نشت‌یابی بتوانیم ۴۰ را به ۳۰ برسانیم. اما می‌تواند اگر مدیریت فشار و کارهای فنی انجام نشود دوباره به‌جای اول خود برگردد. ما با یک‌جایی قرارداد بستیم و گفتیم شما پولی که به ما می‌دهید را تلف می‌کنید چون فشار در شبکه شما بالاست. فشار شما بالای ۷ بار است. شما فشار ۱۳ بار را تجربه می‌کنید. این نشت با فشاری که وجود دارد ۱۰۰٪ برمی‌گردد.

باید با قوانین و موارد دیگر سعی کنیم شرکت‌هایی که در این زمینه فعالیت می‌کنند جان بگیرند. من نا امید می‌شوم. تمام امید و آرزویم را گذاشتم در شرکتی که مدیریت می‌کنم و ما به‌طور کلی عملکردمحور هستیم. مثلاً من هیچ‌گونه پولی از تو نمی‌خواهم. نشت‌یابی انجام می‌دهم. بعد شما چه چیزی را لمس می‌کنید. چه چیزی کاهش پیدا می‌کند؟ بحث بودجه است. بحث من در این است که وقتی در یک مناقصه بهره‌برداری شرکت می‌کنم عملا شرکتی برنده می‌شود که پول بدهد و عملا کاری انجام نمی‌دهد. در آن‌جا جایگاه من که در کنار این قضیه بخواهم مطالعه کنم و ببینم هنگامی که دارم بهره‌برداری می‌کنم چه کاری انجام دهم تا نشت را کاهش دهم، شکستگی را کاهش دهم. فهرست‌بها طوری نوشته شده است که من هر چقدر حادثه‌ام بیشتر باشد پول بیشتری می‌گیرم. من اگر تلاش کردم در این راستا که شکستگی‌ها را کاهش بدهم جایگاه من چیست؟ مشاور قوی به سمت کارهای کم درآمد نمی‌رود. به‌عنوان مثال کاری را من برای مدیریت فشار با ۳۰-۴۰ تومان انجام می‌دهم، اما کار شبکه که شرکت مشاور انجام بدهد ۵۰۰ میلیون پول می‌گیرد و خیلی راحت به او می‌دهند. درصورتی‌که مدیریت فشار بسیار کار سخت‌تری است. خواهش من از افرادی که سیاست‌گذار هستند این است که سعی کنیم ببریم به سمتی که شرکت‌هایی که تلاش می‌کنند هم‌زمان هم با دید فنی و هم با دید عملی که بعد از اتمام کارشان یک تغییر ایجاد کرده باشند، یک جایگاهی را داشته باشند. این شرکت به مرور شکل می‌گیرد. وقتی که من شکل گرفتم زمانی که رفتم در یک شهری یکی دو سال بهره‌برداری کنم بعد از چند سال کار کردن قشنگ متوجه می‌شوم که مثلاً اگه ۴۰ را به ۳۰ برسانم چه هزینه‌ای دارد. ۳۵ را به ۳۰ برسانم چه هزینه‌ای دارد و این‌ها با هم مقایسه می‌شوند و کاملا هم مطالعه دقیقی شود. ولی اگر شبکه دست خودم نباشد و دست اتفاقات باشد، بعد از یک سال این به‌جای اول برمی‌گردد. من که سرمایه‌گذاری می‌کنم در حوزه بهره‌برداری باید خودم بهره‌برداری کنم تا ببینم چه بلایی سر من می‌آید. سعی کنیم شرکت‌هایی که شکستگی‌ها را کم می‌کنند و نشت را کاهش می‌دهند

جایگاهی هم در بهره‌برداری داشته باشند تا در چندسال شرکت‌های درستی شکل بگیرند و مشاور هم بیاید در این زمینه کار بکند. این‌گونه سرمایه‌گذار هم می‌تواند اعتماد کند. شرکت‌های مشاور فقط در تئوری موضوع هستند و وارد گود نمی‌شوند. بنابراین این دو باید باهم ترکیب شوند.

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:
خیلی ممنون. در بعضی از شهرها واقعاً پیمانکاران به‌خاطر این‌که هرچه حادثه و شکستگی بیشتر باشد پول بیشتری را دریافت می‌کنند و متاسفانه خودشان حادثه ایجاد می‌کنند که ضرر نکنند. این هم یک مکانیزم است. یک نکته‌ای که وجود دارد در کاهش هدررفت این است که این کاهش به‌صورت غیرخطی است. یعنی این‌که شما اگر ۴۰ درصد را به ۳۵ درصد برسانید خیلی راحت‌تر از این است که شما ۳۵ درصد را به ۳۰ درصد برسانید و الی آخر.

سوال ۲: سلام وقت بخیر. مولایی هستم کارشناس طرح تصفیه‌خانه‌ها در شرکت طوس آب. من با توجه به این‌که محور همایش مدیریت مصرف آب است و نشست قبلی هم در رابطه با لزوم استفاده از پساب بود. می‌خواستم عرض کنم که تمام آب‌ها چه بحث نشت آب باشد چه بحث پساب‌ها باشد برمی‌گردد به آبخوان‌ها و همان حوزه‌ای که دارد استفاده می‌شود و دوباره قابل استفاده است. ما فقط تعریف‌ها را عوض کردیم. اگر ما جلوی نشت آب را می‌گیریم داریم کمک می‌کنیم هزینه‌ای که صرف شده برای تصفیه آب کمتر شود. باز هم مدیریت مصرف آب از نظر من انجام نشده است. بالاخره ما با بحران مواجه هستیم و باید روش‌هایی را برای تامین آب داشته باشیم. البته باید کاهش هم داشته باشیم، مثلاً در بخش کشاورزی. این‌که ما بیاییم و تعریف آب را عوض کنیم و بگوییم ما اجازه نمی‌دهیم آب وارد زمین بشود و قبل از این‌که وارد زمین بشود دوباره آن را استفاده می‌کنیم به‌نظر من مدیریت مصرف آب باید تعریف بشود. یک سوالی هم خانم مهندس آخر جلسه قبل پرسیدند که چرا ما می‌رویم سراغ نمک‌زدایی از آب دریا. نمک‌زدایی آب دریا با منابع دیگری که به‌صورت غیرمتعارف تعریف می‌شود تفاوت دارد. این‌که شما از آب‌های داخل کشور استفاده نمی‌کنید ولی از آب‌های آزاد استفاده می‌کنید که تا حالا این آب داخل کشور وجود نداشته است. شما وقتی دارید هدررفت را کاهش می‌دهید انگار که از این جیب به آن جیب می‌کنید. ولی وقتی نمک‌زدایی از آب دریا انجام می‌دهید انگار که از یک‌جای دیگر، از یک نفر دیگر دریافت می‌کنید و این باعث می‌شود که در بحث تامین آب خیلی به کشور کمک کند. این‌که چگونه می‌تواند این دو مدیریت، مصرف آب را کاهش بدهد سوال من است.

سوال ۳: بسم الله الرحمن الرحیم. مدیر شبکه توزیع آبفای استان سمنان هستم. همه ما می‌دانیم که اصلا انتخاب سرمایه‌گذار در کشور فرایند بسیار طولانی دارد. قانون بودجه درآمد و هزینه دولت را در یک سال تعیین می‌کند. موضوع بعدی این‌که اگر خودمان بخواهیم در یک شهری سرمایه‌گذاری کنیم، مثلا اگر در یک شهری هیچ عددی در مورد میزان هدررفت وجود ندارد چگونه می‌توانیم سرمایه‌گذاری کنیم. در استان خودمان پروژه‌های سرمایه‌گذاری روی نمک‌زدایی انجام شده است. آن‌جا سرمایه‌گذار آمد و گفت که این حجم آب وجود دارد، منتها شور است و شما سرمایه‌گذاری کنید و یک سامانه نمک‌زدایی درست کنید و این مقدار آب را به ما بدهید و ما این مقدار از شما می‌خریم و با این شرط که خرید تضمینی است، سرمایه‌گذارها سرمایه‌گذاری کردند. چه‌طور توقع داریم که یک سرمایه‌گذار بیاید در پروژه‌های کاهش هدررفت سرمایه‌گذاری بکند و به او بگوییم هرچقدر آب ذخیره کردید مطابق با آن پول می‌گیرید. اولین سوال شاید این باشد که چقدر آب قابل ذخیره است؟ یعنی آیا این عدد را داریم؟ به‌هر صورت جدول بالانس که آقای مهندس کشفی گفتند که این عدد چقدر قابل اتکا است؟ این اولین چالش است. ما فراخوان دادیم هم پارسال و هم امسال اما هیچ‌کس جلو نیامد و وقتی هم می‌آیند اولین سوالشان این است که مثلاً در شهر سمنان یا شاهرود مقدار عددی چقدر باید باشد؟ خیلی ممنون و متشکر.

سوال ۴: در تکمیل سوالات آقای مهندس ما اگر همین بحث را ترکیب کنیم با مشترکین من فکر می‌کنم که مشکل حل شود. نصف مشکلات ما این است که دیتاهایی که داریم از مشترکین است، یعنی از قبوض و قرائت‌های کنتور می‌بینیم. از این طریق است که ما آب بدون درآمد را محاسبه می‌کنیم. مصرف از این طریق گرفته می‌شود. من مثلا در استان خودمان می‌بینم که ۶۰ درصد از مردم زیر الگو مصرف می‌کنند. چنین چیزی امکان ندارد. یک جای کار می‌لنگد. بنابراین باید برویم یک بخشی از خدمات مشترکین را بدهیم به بخش خصوصی و بخش خصوصی بیاید یک بخشی از درآمد را بردارد. این بخش می‌آید هم آب بدون درآمد را محاسبه می‌کند و هم تعویض کنتور را انجام می‌دهد. یعنی ترغیب می‌شود این کارها را انجام بدهد تا آب افزایش پیدا کند و آب افزایش یافته درصدی از درآمد برای خودش است. اگر سرمایه‌گذاری در این قسمت یعنی ترکیب آب بدون درآمد و مشترکین باشد من فکر می‌کنم بهتر جواب بدهد تا این‌که

به‌صورت تنها فقط بخواهیم آب بدون درآمد را محاسبه کنیم. خیلی ممنون و متشکر.

مهندس سید حمیدرضا کشفی:

فکر می‌کنم این صحبت‌هایی که انجام شد بحثی است که در قراردادها بسیار مهم است. در یک سایت بسته مثل تصفیه‌خانه، مثل آب شیرین‌کن یا هر سایتی که شناخته شده است، یک فیزیکال کانفیدنسی در حد ۱۰- ۱۵ درصد می‌تواند وجود داشته باشد. این وقتی است که راجع به یک شبکه‌ای دارید صحبت می‌کنید که خودمان از آن شناخت کافی نداریم. یعنی با کنتورهایی داریم کار می‌کنیم که دبی استارتشان مثلاً عدد ناجور است. از بحث کنتور بگیرید تا موارد دیگر که مربوط به شناخت شبکه است و در واقع شناخت کافی وجود ندارد و حالا زمانی که سرمایه‌گذار بخواهد در واقع آن بعد شناخته نشده بودن فیزیکی به ۴۰ یا ۵۰ درصد میل کند مدل مالی روی این سیستم بگذارد یا نمی‌گذارد یا آن‌قدر گران می‌گذارد که دیگر از حیظ انتفاع برای خریدار خارج خواهد شد. این مسئله بسیار مهم است. ولی هر دو بزرگوار در فرمایشاتشان راه‌حل را هم گفتند. یعنی این‌که ما نیاز به یک پلتفرم داریم. پلتفرمی که تمام دیسیپلین مربوط به شبکه را در اختیار داشته باشد. یعنی وقتی یک قبض را شرکت آب و فاضلاب سمنان صادر می‌کند که روی آن نوشته جناب آقای فلانی این واحد پلتفرمی باشد که آن پلتفرم وقتی مصرف بالا است بازرسی انجام بدهد که این پر مصرف بودن را بعضاً با تعویض کنتور و ابزار کاهنده مصرف کاهش بدهد. بنابراین ما باید یک مدیریت جامع برای شبکه بگذاریم که بتوانیم رصد کنیم آن شبکه را و اندازه‌گیری کنیم و درآمدش را حساب کنیم. این کار بزرگی است اما سخت نیست و تمرکز بیشتری می‌خواهد که شبکه را یک‌جا در اختیار یک سرمایه‌گذار قرار بدهیم تا بتواند همه اجزای آن را رصد کند و بعد از چند سال بتواند آن را تغییر بدهد.

مهندس علی سیدزاده:

در تکمیل فرمایشات آقای مهندس کشفی، درست می‌فرمایید. یک مقدار وظیفه ما در بخش کارفرما سنگین است. قطعاً ویژگی‌های شبکه توزیع آن‌قدر زیاد است که نمی‌شود برای هر شبکه نسخه خاصی داشته باشد. قطعاً در شبکه‌ای که فشار بالا است و فرسوده است فعالیت نشت‌یابی در واقع باعث بازگشت مقدار نشت خواهد شد. چه ایرادی دارد؟ باید این مطالعه انجام شود وگرنه سرمایه‌گذاری رو به شکست خواهد رفت. در پروژه‌هایی که سرمایه‌گذار واگذار شد در نهایت به این‌جا رسید که چرا با توجه به هزینه‌های انجام شده، از منابع کمتر برداشت نشده است. در شبکه، بازسازی انجام نشده و ارتقای هیدرولیکی پیدا نکرده است. مسئولی که این قضیه را نمی‌داند که بحث هدررفت در شبکه بسیار تخصصی و پیچیده است و نمی‌شود به‌صورت ساده به آن نگاه کرد. دوست عزیز فرمودند مدیریت مصرف یکی این‌که ما آب تصفیه‌شده شور را داریم وارد شبکه می‌کنیم. در واقع آبی که تصفیه‌شده و با هزار و یک زحمت وارد لوله‌ها شده به زمین هدایت می‌شود و این خود، مدیریت مصرف در شبکه است. بعضا هم فشار بیشتر باعث مصرف بیشتر می‌شود. بنابراین مدیریت فشار مصارف را کم خواهد کرد. رابطه مستقیم فشار و نشت هم باعث خواهد شد که نشت و کاهش هدررفت داشته باشیم. پیرو سوالی که آقای مهندس پرسیدند قطعا در موضوعات سرمایه‌گذاری ما باید شبکه را کاملا کالیبره و ایزوله کنیم. یک دوره با عنوان دوره فرصت باید تعریف بکنیم. به توافق برسیم که با یک جدول بالانسی در واقع کار را انجام بدهد. یک تلورانسی هم درنظر بگیریم مثلاً اگر ۴ درصد تلورانس داشت مورد قبول سرمایه‌گذار خواهد بود. در سرمایه‌گذاری باید بخشی را برای سرمایه‌گذار درنظر گرفت که اگرچه نشت کم شد یا کم نشد، به او پرداخت شود و بخشی هم منوط کنیم به کاهش نشت که نکته مهمی است که قابل‌توجه قرار بگیرد.

مهندس مهدی کمیلی:

من فکر می‌کنم که تجربه پروژه I1 مشهد تقریبا دغدغه‌های دوستان را پوشش می‌داد. ای کاش فرصت بود که این پروژه را ارائه می‌کردیم. این‌که ما به یک سرمایه‌گذار بگوییم بیا و کاهش هدررفت انجام بده در I1 مشهد تمامی خدمات شرکت آب و فاضلاب به غیر از قرائت قبوض به‌دلیل محدودیت حاکمیتی که وجود داشت، به سرمایه‌گذارها واگذار شد، حتی بخش فاضلاب. سرکار خانم گفتند بحث مشترکین نظارت بر کنتورهایی که زیر استاندارد مصرف دارند مصرف می‌کنند، بررسی آن‌ها و تعویض کنتورهایی که به ناگهان مصرفشان تغییر پیدا می‌کند مخصوصاً در اشل‌های بزرگ و نشت‌یابی که خیلی خوب است. ولی نشت‌یابی تنها همان‌طور که دوستان هم گفتند مثل نگه‌داشتن یک فنر است. مقدار کاهش هدف در پروژه I1 در ۵ سال به زیر ۱۰ درصد رسید. یک سال به‌خاطر مشکلات با سرمایه‌گذار، پروژه تعطیل شد. به ناگاه هدررفتی که کاهش پیدا کرده بود افزایش پیدا کرد فقط و فقط به‌خاطر این‌که کار کاهش هدررفت را رها کردیم و نگه نداشتیم. به‌نظر من از همه مهم‌تر این است که پروژه‌های کاهش هدررفت باید ادامه‌دار باشد وگرنه برمی‌گردد به نقطه اول. یک تجربه بین‌المللی در آلمان که از سال ۱۹۹۰، ۹ درصد کاهش هدررفت داشتند و طی ۳۰ سال تلاش در سال

۲۰۲۰ به ۴/۹ رسیدند و نمودارش تا حدی سینوسی بود و به‌سمت ۵ درصد حرکت می‌کرد. موضوع اساسی این است که پروژه‌های کاهش هدررفت باید تبدیل به یک استراتژی بشوند. این‌که فهرست بهایی وجود دارد که براساس اتفاق به پیمانکار پرداخت انجام می‌شود، براساس تعداد شیفت هم انجام می‌شود. در مشهد براساس شیفت پرداخت می‌کنند. این‌گونه نیست که در همه شهرها صرفا به این‌صورت باشد که افزایش اتفاق درآمد بیشتری داشته باشد. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:

من به دوستان توضیح بدهم در رابطه با سوالات. مثلا می‌گویند که در بوشهر روند کاهشی بوده و بعد افزایشی شده. عرض کردیم وقتی نشت‌ها را می‌گیریم، فشار شبکه بالا می‌رود و می‌تواند باعث افزایش هدررفت شود نسبت به حالت قبلی. دوم این‌که افزایش فشار باعث افزایش مصرف هم می‌شود و می‌بینیم که آن‌قدر در تولید کاهش پیدا نکردیم. مورد سه، در شهرهایی که جیره‌بندی هستند ساعت جیره‌بندی هم خیلی مهم است. وقتی شما ۸ ساعت جیره‌بندی دارید و این ۸ ساعت به ۴ ساعت می‌رسد، نشت‌ها دو برابر می‌شود. بله می‌خواستیم به پیچیدگی‌هایی که آقای مهندس گفتند اشاره کنیم. در بحث سرمایه‌گذاری لازم نیست که سرمایه هم از بیرون بیاید. ما فقط شاید عملیات را به پیمانکار خارجی بسپاریم. لزوما به معنای این نیست که هر پیمانکاری که بیاید یک سرمایه هم بیاورد. گفتند که خیلی از مشترکین، مصرف زیر الگو داشتند. بحث الگوی مصرف است که چه‌قدر است؟ در شهرهای مختلف که توسط شرکت مهندسی روی آن مطالعه می‌کنند. در دنیا مدیریتی که می‌گویم مدیریت مصرف، شامل مدیریت مصرف و مدیریت هدررفت‌ها می‌شود. شما یک مثال خطرناکی زدید. گفتید که وقتی نشت اتفاق می‌افتد وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. نشت زمینی این‌طور لزوما نیست لوله‌های آب بالای لوله فاضلاب هستند و می‌تواند وارد لوله فاضلاب شود. آبی که نشت پیدا می‌کند می‌تواند در سطح خاک بیاید و در اثر موبینگی باز تبخیر شود.

سوال ۵: آیا عدم قطعیت در جدول بالانس درنظر گرفته می‌شود؟

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده:

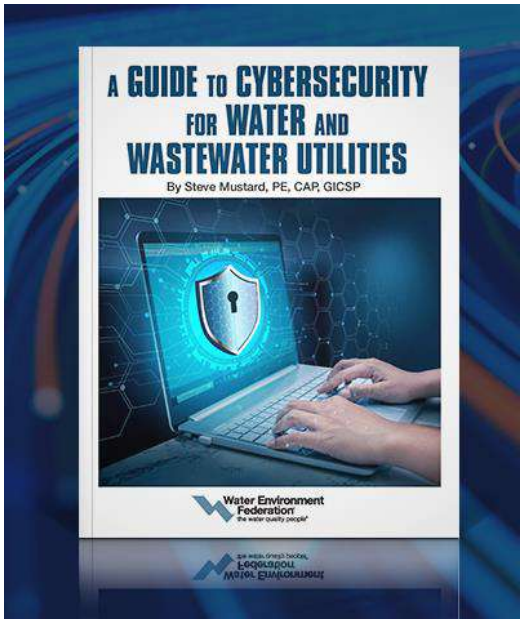
بحث خیلی مفصلی است. زمان نداریم توضیح بدهیم. برای محاسبه هدررفت سه تا روش داریم که جدول بالانس فقط یک روش است. جریان شبانه و روش مولفه‌ای را هم داریم.

در پایان از حضور کلیه اعضای محترم پنل و هم‌چنین شرکت‌کنندگان محترم به‌صورت حضوری و مجازی تشکر می‌کنم.

راهنمای امنیت سایبری برای شرکت‌های آب و فاضلاب

زمان انتشار: سال ۲۰۲۴

ناشر: فدراسیون محیط‌زیست آب (WEF)



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

ویژگی‌های کلیدی:

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

فهرست مطالب:

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

اطلاعات بیشتری از این راهنما در لینک زیر موجود است:

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

رتبه اول مسابقه پایان‌نامه برتر سال ۱۴۰۳ در مقطع دکتری
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)

دانشکده: مهندسی عمران، آب و محیطزیست

عنوان: تعیین محل نارسایی‌های گزارش نشده در شبکه های توزیع آب به‌روش شبیه‌سازی هیدرولیکی

نگارش: رضا معاشری

استاد راهنما: دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده

تاریخ دفاع : ۱۴۰۳/۰۵/۱۰

چکیده

رخداد نارسایی هیدرولیکی، یکی از مشکلات اصلی در شبکه‌های توزیع آب محسوب می‌شود. نشت و گرفتگی از جمله مهم‌ترین دلایل وقوع این رویداد هستند. روش‌های فیزیکی زیادی برای مکان‌یابی نارسایی‌های هیدرولیکی وجود دارد؛ اما این روش‌ها، پر هزینه و زمان‌بر بوده و نیاز به نیروی متخصص دارند. در این رساله، فرآیندی مبتنی بر شبیه‌سازی هیدرولیکی و بر پایه رویکرد واسنجی، جهت تعیین محل نارسایی‌ها در شبکه‌های توزیع آب پیشنهاد شده است. مبنای اصلی این رویکرد، مقایسه نتایج مقادیر فشار یا دبی‌های شبیه‌سازی‌شده (خروجی مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب موردمطالعه) و نتایج میدانی متناظر (در نتیجه انجام عملیات میدانی فشار یا دبی‌سنجی) می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، کمینه کردن اختلاف بین دو نتایج مذکور با هدف اصلی مکان‌یابی نارسایی‌های هیدرولیکی صورت می‌گیرد؛ فرآیند کمینه کردن نیز به صورت یک مساله بهینه‌سازی دارای تابع هدف تعریف می‌شود. در این رساله، به‌منظور کمینه کردن تابع هدف، الگوریتم‌های فراکاوشی متعددی پیاده‌سازی شدند. نتایج به‌کارگیری شاخص‌های مختلف و پیاده‌سازی آزمون مجموع رتبه ویلکاکسون، حاکی از برتری الگوریتم ترکیبی ژنتیک-ازدحام ذرات (PSOGA) بر دیگر الگوریتم‌های مطالعه‌شده بود. همچنین در این رساله، جهت پهنه‌بندی یک شبکه توزیع آب و مکان‌یابی پرنشت‌ترین ناحیه موجود، دو روش مختلف خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک (GA) و شاخص اعتبار اصلاح‌شده دیویس-بولدین (DB) با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، توسعه داده شد. از آن‌جایی که مدل‌های هیدرولیکی دارای عدم قطعیت در خصوص پارامترهای مختلف نظیر ضرایب زبری لوله‌ها می‌توانند باشند، لذا در این رساله دو رویکرد شامل فرآیند شبیه‌سازی مونت‌کارلو و واسنجی هم‌زمان مورد استفاده قرارگرفتند؛ نتایج پیاده‌سازی این دو رویکرد در شبکه‌های مختلف موردمطالعه، حاکی از برتری رویکرد واسنجی همزمان در خصوص زمان محاسباتی و صحت نشت‌یابی بود. در خصوص مکان‌یابی گرفتگی‌های هیدرولیکی که محل بالقوه آن‌ها مشخص نیست نیز روشی ارائه شد که با معرفی مفهومی تحت عنوان شیرهای مجازی و با به‌کارگیری الگوریتم ترکیبی ازدحام ذرات - جستجوی هارمونی (PSOHS) محل و مقدار گرفتگی‌های موجود به‌صورت دقیق یافت شدند. نتایج اجرای بیش از هزار سناریوی نارسایی هیدرولیکی در شبکه‌های مرجعی نظیر هانوی، پولاکیس و بالرما، حاکی از آن بود که فرآیند پیشنهادی در این رساله، قادر به مکان‌یابی نشت‌ها و گرفتگی‌ها با درصد موفقیت بالای ۹۹ درصد است. فرآیند پیشنهادی بر روی دو شبکه واقعی نیز پیاده‌سازی شده و محل نارسایی آن‌ها به درستی تعیین گردید. از دیگر دستاوردهای این رساله، ارائه رویکردی صریح مبتنی بر فرمول‌بندی معادلات هیدرولیکی شبکه، جهت تعیین محل و مقدار نشت‌های موجود است. روش‌های پیشنهادی در این رساله در حل مشکلات ناشی از وقوع نارسایی‌های هیدرولیکی در شبکه‌های توزیع آب، می‌توانند کمک شایانی نماید.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی هیدرولیکی، نارسایی، نشت، گرفتگی، عدم قطعیت، واسنجی، الگوریتم فراکاوشی.

رتبه اول مسابقه پایان‌نامه برتر سال ۱۴۰۳ در مقطع کارشناسی ارشد
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)

دانشکده: مهندسی شیمی

عنوان: تصفیه آب‌های آلوده به آلاینده‌های آلی با به‌کارگیری فرآیندهای جذب-تخریب توسط نانوماده بنیان Kbi_6O_9Br

نگارش: نوید گروهی

استاد راهنما: پروفسور محمد حقیقی

تاریخ: ۱۴۰۲/۰۵/۲۴

چکیده

در این پایان‌نامه جذب و تخریب نوری آلاینده‌های‌رنگی مختلف شامل کریستال‌ویوله، ائوزین‌وای، رودامین‌بی و اسید اورانژ ۷ توسط نانوفتوکاتالیست نوین Ag_2CrO_4/Bi_2O_3-KBi_6O_9Br با ساختار اتصال‌ناهمگون Double Z-scheme و سنتزشده به روش احتراقی-رسوبی، تحت تابش نور شبیه‌سازی‌شده به نورخورشید مورد ارزیابی قرارگرفته است. جهت بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی نانوفتوکاتالیست‌های سنتزشده از تکنیک‌های مختلفی همچون XRD، FESEM، TEM، BET-BJH، DRS و PL استفاده شده است. آنالیز XRD تاییدکرد که در این نانوفتوکاتالیست‌ها، فازهای کریستالی مورد نظر بدون هیچ ناخالصی‌ای تشکیل شده‌اند. طبق آنالیزهای FESEM و TEM مورفولوژی سوزن-مانند و بیضوی Bi_2O_3-KBi_6O_9Br و توزیع نانوذرات کروی نقره‌کرومات روی سطح آن مشاهده گردید. نتایج BET-BJH نشان‌داد که $Ag_2CrO_4(25\%)/Bi_2O_3$-KBi_6O_9Br، به‌عنوان نمونه منتخب، دارای سطح‌ویژه ۷٫۳۳ m^2/g، حفرات مزو و ماکرو با قطر میانگین ۱۰ nm و حجم کل حفرات ۰٫۰۱۸ cm^3/g می‌باشد. باتوجه به آنالیز DRS، دو لبه جذب نوری برای نانوفتوکاتالیست $Ag_2CrO_4(25\%)/Bi_2O_3$-KBi_6O_9Br مشاهده شد که گویای تشکیل ساختار ناهمگون و توانایی مناسب جذب نور مرئی توسط این نمونه می‌باشد. آنالیز PL نیز کاهش بازترکیبی حاملان بار را نشان‌داد. نتایج حاصل از تست‌های رآکتوری مشخص‌کرد که مقدار ۱ g/L از نانوفتوکاتالیست $Ag_2CrO_4(25\%)/Bi_2O_3$-KBi_6O_9Br در مدت ۲۴۰ دقیقه فعالیت تحت تابش نور شبیه‌سازی‌شده به نورخورشید توانایی حذف آلاینده‌های کریستال‌ویوله، اسید اورانژ ۷، رودامین‌بی و ائوزین‌وای با غلظت‌های اولیه ۱۰ mg/L، به‌ترتیب به‌میزان ۹۵٫۱، ۹۴٫۲، ۹۸٫۰ و ۸۹٫۶٪ می‌باشد. در ادامه تاثیر تغییر پارامترهای عملیاتی مختلف نظیر غلظت اولیه آلاینده‌ها و میزان بارگذاری فتوکاتالیست بر راندمان فرآیند فتوکاتالیستی نیز بررسی گردید. بعلاوه پایداری نمونه $Ag_2CrO_4(25\%)/Bi_2O_3$-KBi_6O_9Br پس از ۵ بار استفاده متوالی ۲۴۰ دقیقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت که کاهش ۴درصدی راندمان از ۹۵٫۱ به ۹۱٫۱٪ نشان از پایداری مطلوب این نانوفتوکاتالیست دارد. به‌طورکلی، نتایج به‌دست آمده نشان داد که کامپوزیت کردن دو نیمه‌رسانای Bi_2O_3-KBi_6O_9Br و Ag_2CrO_4 و ایجاد ساختار اتصال‌ناهمگون باعث بهبود خصوصیات ماده و عملکرد فتوکاتالیستی نمونه می‌شود.

واژگان کلیدی: تصفیه آب، فتوکاتالیست، نانوتکنولوژی، اکسیداسیون پیشرفته، اتصال ناهمگون، آلاینده آلی، کریستال ویوله، اسید اورانژ، رودامین بی، ائوزین وای، Ag_2CrO_4/Bi_2O_3-KBi_6O_9Br

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

- برگزاری جلسه هشتم شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۳ (۱۸ مهرماه)
- برگزاری جلسه دهم شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۱۸ مهرماه)
- برگزاری جلسه هفتم کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۱۸ مهرماه)
- برگزاری جلسه نود و سوم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۵ مهرماه)
- برگزاری چهل و هفتمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "نمک‌زدایی آب در ایران، وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌ها" (۲۵ مهرماه)
- ادامه انجام مصاحبه‌های پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب (مهرماه)
- جلسه هماهنگی با ارگان‌های استان اصفهان (۱ آبانماه)
- انجام مصاحبه مطبوعاتی با رئیس و دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۲ آبان‌ماه)
- برگزاری جلسات نهم تا یازدهم شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۳ (۱، ۵، ۱۶ آبان‌ماه)
- برگزاری جلسات یازدهم تا چهاردهم شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۲، ۱۶، ۲۳، ۲۶ آبان‌ماه)
- برگزاری جلسات هشتم تا یازدهم کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۲، ۱۶ ، ۲۳، ۲۶ آبان‌ماه)
- برگزاری چهل و هشتمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "شبکه‌های توزیع آب هوشمند با رویکرد پایش شبکه آب و مدل‌های داده مبنا" (۱۶ آبان ماه)
- ادامه انجام مصاحبه‌های پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب (آبان‌ماه)
- چاپ آگهی برگزاری مجامع عمومی عادی و فوق‌العاده انجمن در سال ۱۴۰۲ در روزنامه رسمی (آبان‌ماه)
- برگزاری جلسه نود و چهارم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۸ آبان‌ماه)
- برگزاری جلسه پانزدهم شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۳ آذرماه)
- برگزاری جلسه دوازدهم شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۳ (۴ آذرماه)
- برگزاری جلسه دوازدهم کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۴ آذرماه)
- امضای تفاهم نامه با انجمن هوش مصنوعی (۶ آذرماه)
- برگزاری پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۶، ۷، ۸ آذرماه)
- تقدیر از برندگان مسابقه پایان‌نامه برتر در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری (۷ آذرماه)
- تقدیر از پیشکسوتان برگزیده دانشگاه و صنعت (۷ آذرماه)
- تقدیر از دبیر تخصصی و داوران برگزیده نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۷ آذرماه)
- برگزاری نمایشگاه جانبی کنگره ۱۴۰۳ (۶ و ۷ آذرماه)
- برگزاری برنامه بازدید از تصفیه خانه فاضلاب جنوب اصفهان (۷ آذرماه)
- برگزاری جلسه نود و پنجم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۸ آذرماه)
- برگزاری چهل و نهمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "تعیین محل نشت‌ها در شبکه‌های توزیع آب به‌روش شبیه‌سازی هیدرولیکی" (۲۸ آذرماه)
- برگزاری چهل و نهمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "تعیین محل نشت‌ها در شبکه‌های توزیع آب به‌روش شبیه‌سازی هیدرولیکی" (۲۸ آذرماه)
- ادامه انجام مصاحبه‌های پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب (آذرماه)

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

۱۰۳

IWWA Newsletter

Vol. 9, No. 103, October 2024

سال نهم، شماره صد و سه، مهر ۱۴۰۳

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- فناوری‌های جدید
- معرفی کتاب
- معرفی نرم‌افزار
- معرفی استاندارد

همکاران این شماره:

دکتر مسعود تابش

دکتر جعفر یزدی

زهرا علیزاده

محمدرضا مسعودی مقدم

سلمان اسپهبدی‌نیا

تغییرات اقلیمی؛ زنگ خطری برای

سخن اول:

با فرارسیدن ۲۴ اکتبر (مصادف با ۲ آبان)، روز جهانی مبارزه با تغییرات اقلیمی، هرستی ارزشمند فراهم است تا به تأثیرات تغییرات اقلیمی بر شبکه‌های انتقال و توزیع آب توجه شود. افزایش دما، تغییر الگوهای بارندگی و شدت یافتن خشکسالی و سیلاب‌ها، منابع آب و زیرساخت‌های توزیع را تحت فشار قرار می‌دهند و در صورت نبود تدابیر مناسب، می‌توانند دسترسی پایدار به آب آشامیدنی را مختل کنند. برای مواجهه با این چالش‌ها، ارتقای تاب‌آوری شبکه‌های توزیع و تصفیه آب از اولویت‌های مهم است. استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های هوشمند مدیریت آب و نیزارهای پیش‌بینی دشت و تخریب می‌تواند به پیشگیری از آسیب‌ها کمک کند. همچنین، طراحی زیرساخت‌هایی با مقاومت بالا و بهره‌گیری از مواد نوین در ساخت این شبکه‌ها می‌تواند شبکه‌های توزیع را در برابر شرایط اقلیمی متغیر و حوادث ناگهانی مانند سیلاب‌ها مقاوم‌تر سازد. در کشوری مانند ایران که با بحران کم‌آبی و خشکسالی‌های مکرر مواجه است، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تصفیه آب و بازچرخانی در کنار تقویت زیرساخت‌های شبکه‌های توزیع، راهکاری اساسی برای حفظ منابع آبی و تأمین پایدار آب است. روز جهانی مبارزه با تغییرات اقلیمی، هشداری دوباره و تأکیدی موکد بر اثرات مخرب تغییرات اقلیمی است و ضرورت توجه فوری به بهبود و مقاوم‌سازی سیستم‌های توزیع و تصفیه آب را بیش از پیش گوشزد می‌کند.

مسابقه شماره ۸۶

سوال: با توجه به تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر شبکه‌های توزیع و تصفیه آب، به نظر شما کدام راهبرد در افزایش تاب‌آوری شبکه‌های آب در برابر این تغییرات مؤثرتر است؟

۱. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین تصفیه و بازچرخانی آب

۲. بهبود زیرساخت‌های فیزیکی شبکه‌های توزیع

۳. استفاده از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت بحران و پیش‌بینی بلند

لطفا پاسخ خود را به آدرس ایمیل ccnap.iwwa@gmail.com تا ۳۰ آذرماه ۱۴۰۳ ارسال فرمایید. در قسمت subject ایمیل، عنوان مسابقه را وارد کنید. به قید قرعه هدیه‌ای به یکی از دوستان مشارکت کننده اعطا می‌شود.

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

۱۰۴

IWWA Newsletter

Vol. 9, No. 104, November 2024

سال نهم، شماره صد و چهار، آبان ۱۴۰۳

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- فناوری‌های جدید
- معرفی کتاب
- معرفی نرم‌افزار
- معرفی استاندارد

همکاران این شماره:

دکتر مسعود تابش

دکتر جعفر یزدی

زهرا علیزاده

محمدرضا مسعودی مقدم

سلمان اسپهبدی‌نیا

علم در خدمت آب: مسیری برای آینده‌ای پایدار

سخن اول:

در دنیای امروز، علم نه تنها ابزاری برای کشف ناشناخته‌ها، بلکه راهی برای تحقق آرزوهای بشر در جهت رفاه و توسعه پایدار است. ۱۰ نوامبر مصادف با ۱۹ آبان، روز جهانی علم در خدمت صلح و توسعه، یادآور این است که علم می‌تواند پلی باشد میان چالش‌های پیچیده جهانی و راهکارهای مبتنی بر دانش که ما را به سوی آینده‌ای پایدار هدایت می‌کند. در حوزه آب و فاضلاب که یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های زندگی شهری و روستایی است، به کارگیری فناوری‌های نوین و پژوهش‌های علمی می‌تواند دسترسی به آب سالم و مدیریت پایدار منابع آبی را بهبود بخشد. شبکه‌های توزیع آب و سیستم‌های تصفیه فاضلاب به عنوان ستون‌های اساسی بهداشت عمومی و محیط زیست، بیشتری هستند که در آن علم و دانش به شکل عملیاتی و ملموس نمود می‌یابند. این روز فرصتی است تا نقش بی‌بدیل علم را در مواجهه با بحران‌های آبی و ضرورت هم‌افزایی جهانی برای حفظ منابع حیاتی، دوباره به یاد آوریم و با تعمیق ارتباط میان دانش و عمل، مسیری روشن برای آینده‌ای پایدار ترسیم کنیم.

مسابقه شماره ۸۴

با توجه به اهمیت روز جهانی "علم در خدمت صلح و توسعه" و متن آن در مورد صنعت آب و فاضلاب، کدام اقدام بیشترین تاثیر را در پایداری شبکه‌های توزیع آب شهری دارد؟

۱. سرمایه‌گذاری در پروژه‌های فناوری کاهش تلفات آب

۲. همکاری بین‌المللی و تبادل دانش

۳. ترویج استانداردهای مهندسی و نظارتی

لطفا پاسخ خود را به آدرس ایمیل ccnap.iwwa@gmail.com تا ۲۰ دی ماه ۱۴۰۳ ارسال فرمایید. در قسمت subject ایمیل عنوان مسابقه را وارد کنید. به قید قرعه هدیه‌ای به یکی از بهتران مشارکت کننده اعطا می‌شود.

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

۱۰۵

IWWA Newsletter

Vol. 9, No. 105, December 2024

سال نهم، شماره صد و پنجم، آذرماه ۱۴۰۳

سخن اول:

پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، به یاری خداوند متعال و با تلاش و همت انجمن آب و فاضلاب ایران و با همکاری دانشگاه اصفهان و شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان در روزهای نهم تا هفتم آذرماه ۱۴۰۳ با موفقیت برگزار شد. برای بهره‌مندی بهتر مخاطبان، برنامه‌ها و رویدادهای متنوع همایش در روز اول و دوم بصورت حضوری و با پوشش مجازی از طریق پلتفرم اسکای روم برگزار گردید. در مراسم افتتاحیه، هفت سخنران کلیدی همین خوش‌آمدگویی و معرفی فعالیت‌های همایش، به ارائه نظرات ارزشمند خود در حوزه علوم و مهندسی آب و فاضلاب پرداختند. در این افتتاحیه، از پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران نیز رونمایی شد که مورد توجه خاص شرکت‌کنندگان قرار گرفت. در کنگره ۱۴۰۳، سه نشست تخصصی با عناوین «فرونشست زمین، چالش‌ها و راهکارها»، «کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب» و «مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب» برگزار شد و در پایان نشست دوم، تفاهم نامه همکاری فی‌مابین انجمن آب و فاضلاب و انجمن هوش مصنوعی ایران منعقد شد. در کنار برگزاری این نشست‌ها، حضور پرشور شرکت‌های مطرح در حوزه مهندسی آب و فاضلاب در نمایشگاه جانبی از دیگر نقاط قوت این همایش به شمار می‌آید. در بخش مقالات، از مجموع ۴۵۲ مقاله دریافتی، ۴۰۶ مقاله پذیرفته شد که شامل ۳۱۰ مقاله پوستری و ۱۰۶ مقاله شفاهی بود. همه این مقالات، در روز دوم همایش در ۱۷ جلسه و در طول ۲ سالن، بصورت مجازی ارائه شدند. همچنین، در این کنگره نیز مشابه سالهای قبل، سه کلینیک صنعت در سه محور عدم‌درفت، بازیافت و کیفیت آب و ۲۱ کارگاه آموزشی با موفقیت برگزار شد. در مراسم اختتامیه که در روز دوم همایش برگزار شد، پس از گزارش دبیر علمی همایش، ضمن تقدیر از پیشکسوت برگزیده دانشگاه جناب آقای دکتر ناصر طالب‌زاده‌نجی و پیشکسوت صنعت، جناب آقای مهندس سیدحسین مرتضوی، برندگان نهمین دوره مسابقه پایان‌نامه برتر، مقالات برتر کنگره، حامیان و عرضه برتر و همچنین اعضای دبیرخانه و کمیته‌های اجرایی اقدام و از اینرو تجلیل بعمل آمد. مشروح گزارش کنگره را در این شماره مطالعه فرمایید.

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- فناوری‌های جدید
- معرفی کتاب
- معرفی نرم‌افزار
- معرفی استاندارد
- نیازهای آبزیان
- اعضای حقوقی
- آیین‌نامه‌ها
- آگهی مناقصات

همکاران این شماره:

دکتر مسعود تابش

دکتر جعفر یزدی

زهرا علیزاده

محمدرضا مسعودی مقدم

سلمان اسپهبدی‌نیا

مسابقه شماره ۸۸

سوال: به نظر شما، با توجه به برگزاری همایش امسال، چه بخشی نیاز به تقویت بیشتر در همایش‌های مشابه بعدی دارد؟

الف- مدیریت زمان‌بندی برنامه و برگزاری به موقع بخش‌های برنامه‌ریزی شده

ب- بهبود محتوای نشست‌های تخصصی و دعوت از افراد خبره متناسب با نشست‌ها

ج- تغییر زمان‌بندی برنامه‌ها و نحوه ارائه مقالات بصورت حضوری جای ارائه مجازی

لطفا پاسخ خود را به آدرس ایمیل ccnap.iwwa@gmail.com تا ۲۱ بهمن ماه ۱۴۰۳ ارسال فرمایید. در قسمت subject ایمیل، عنوان مسابقه را وارد کنید. به قید قرعه هدیه‌ای به یکی از دوستان مشارکت کننده اعطا می‌شود.

پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران در تاریخ ۶ تا ۸ آذرماه سال ۱۴۰۳ از سوی انجمن آب و فاضلاب ایران و با همکاری دانشگاه اصفهان و شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان برگزار شد. آن‌چه در پیش رو دارید خلاصه‌ای از روند برگزاری و برنامه‌های اجراشده در کنگره است.

شورای سیاست گذاری همایش:

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

- دکتر مسعود تابش «رئیس شورای سیاست‌گذاری»
- دکتر رامتین معینی «دبیر علمی»
- دکتر شروین جمشیدی «دبیر اجرایی»
- مهندس زهره صهبایی «نماینده شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان»
- مهندس آسیه سادات ملاباشی «نماینده شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان»
- مهندس سارا احمدی «نماینده شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان»
- مهندس سعید شمسایی «نماینده شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان»

تشکیل دبیرخانه و تهیه و ارسال ارسال فراخوان:

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 مهندسین 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 پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، سیویلیکا، همایش‌های ایران (Symposia)، ایران کنفرانس و کنفرانس‌یاب قرارداده 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: فرونشست زمین و چالش های آن
۲- تامین، تصفیه، انتقال، توزیع و بازچرخانی آب
۳- جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و رواناب
۴- بهره‌برداری از تاسیسات آب و فاضلاب و خدمات مشترکین
۵- چالش های کمی و کیفی نمک زدایی و انتقال آب دریا

۶- فناوری‌های نوین در صنعت آب و فاضلاب
۷- هوشمندسازی و مدیریت مصرف آب و انرژی و سازگاری با کم آبی
۸- مدیریت منابع آب و استفاده از آب‌های نامتعارف
۹- تاب‌آوری تاسیسات آب و فاضلاب و پدافند غیرعامل
۱۰- بهره‌وری، مهندسی ارزش و مدیریت منابع انسانی و مالی
۱۱- آموزش و رویکردهای اجتماعی و فرهنگی در مدیریت آب شهری
۱۲- تدوین استانداردها، ضوابط و تجارب بومی در صنعت آب و فاضلاب
۱۳- اقتصاد آب و پساب، بازار و تجارت آلودگی

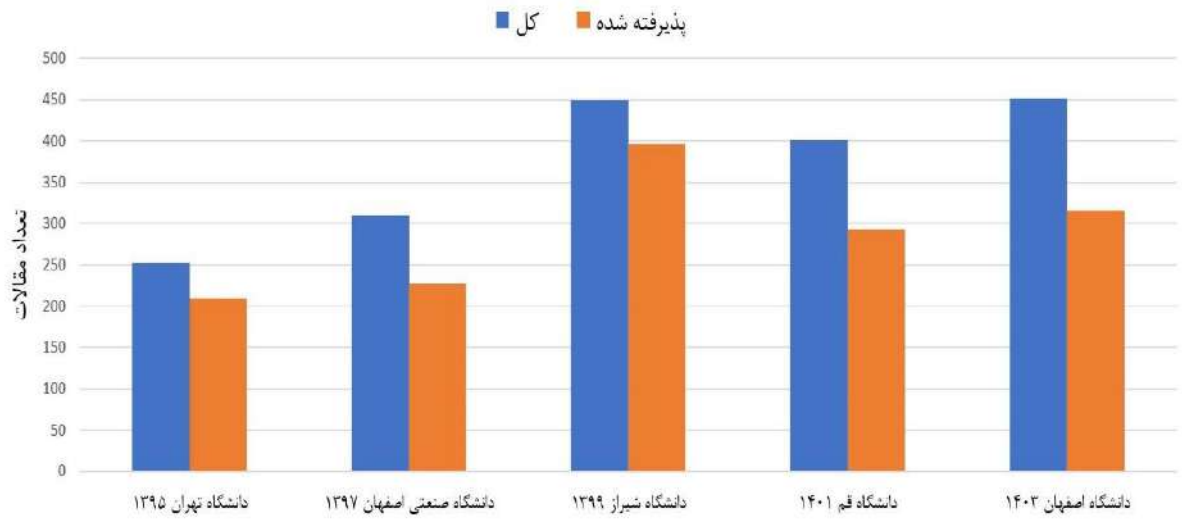
کمیته‌های علمی و اجرایی:

کمیته علمی کنگره مشتمل بر ۸۵ 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 عهده‌دار بودند. کمیته اجرایی همایش نیز با مشارکت حدود ۱۵ نفر مسئول و ۶۱ نفر عضو کمیته‌ها از دانشجویان فعال دانشگاه اصفهان تشکیل شد و با برگزاری بیش از ۱۲ جلسه برای برنامه‌ریزی و هماهنگی، توانست در طول برگزاری کنگره فضای مناسبی را برای استفاده شرکت‌کنندگان فراهم نماید.

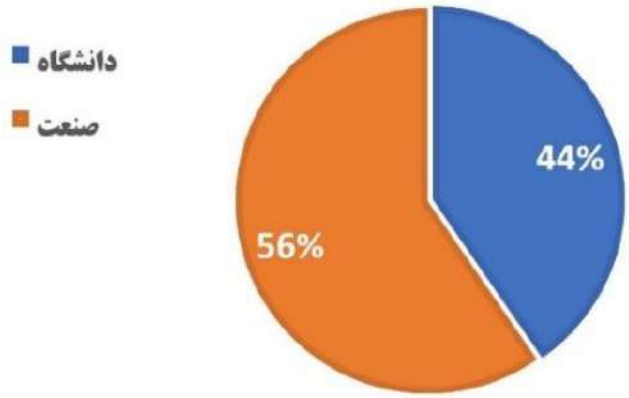
مقالات:

مقالات بسیاری در مدت‌زمان مشخص‌شده به سایت کنگره ارسال و به‌دلیل شرایط خاص و مشکل اینترنت، مهلت ارسال مقالات ۲ بار تمدید شد. در پایان مهلت ارسال مقالات، در مجموع ۴۵۲ مقاله به دبیرخانه کنگره ارسال شد که از این تعداد ۳۱۶ مقاله پذیرفته شد. از این تعداد، ۲۱۰ مقاله به‌صورت پوستر و ۱۰۶ مقاله به‌صورت شفاهی ارائه شد. مقالات شفاهی که دربرگیرنده محورهای کنگره بودند با ۱۷ جلسه در طول ۲ سانس در روز سوم کنگره (۸ آذرماه) ارائه شدند. مقالات پوستری نیز با توجه به برنامه از پیش اعلام‌شده به‌صورت الکترونیکی

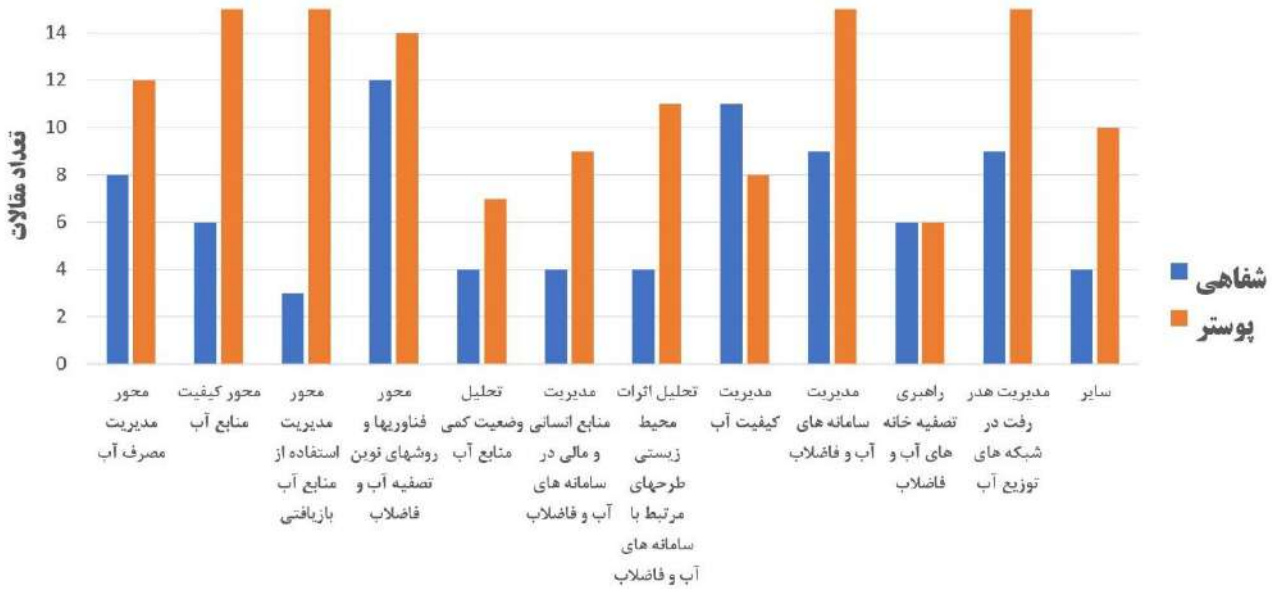
از طریق سایت همایش و پنل اسکای روم به‌طور هم‌زمان طی سه روز در ۵ محور ارائه شدند. اطلاعات آماری مقالات در شکل‌های ۱ تا ۵ ارائه شده‌اند.



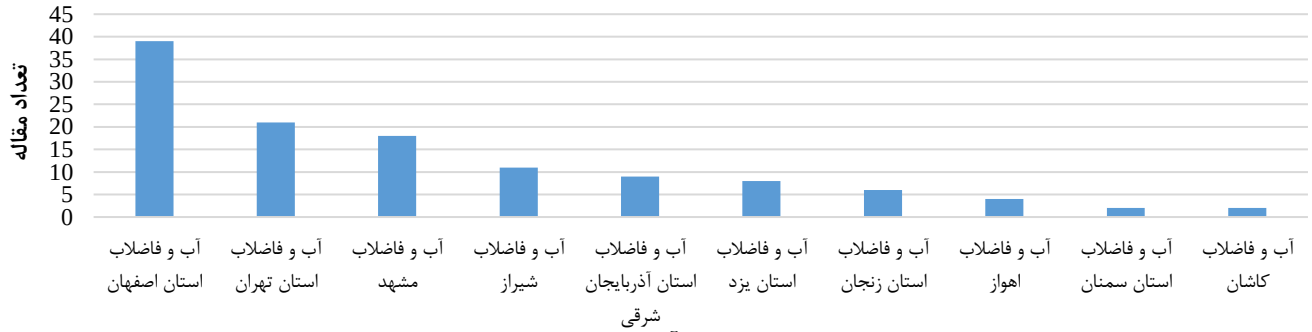
شکل ۱- تعداد مقالات ارسالی و پذیرش‌شده در پنج کنگره



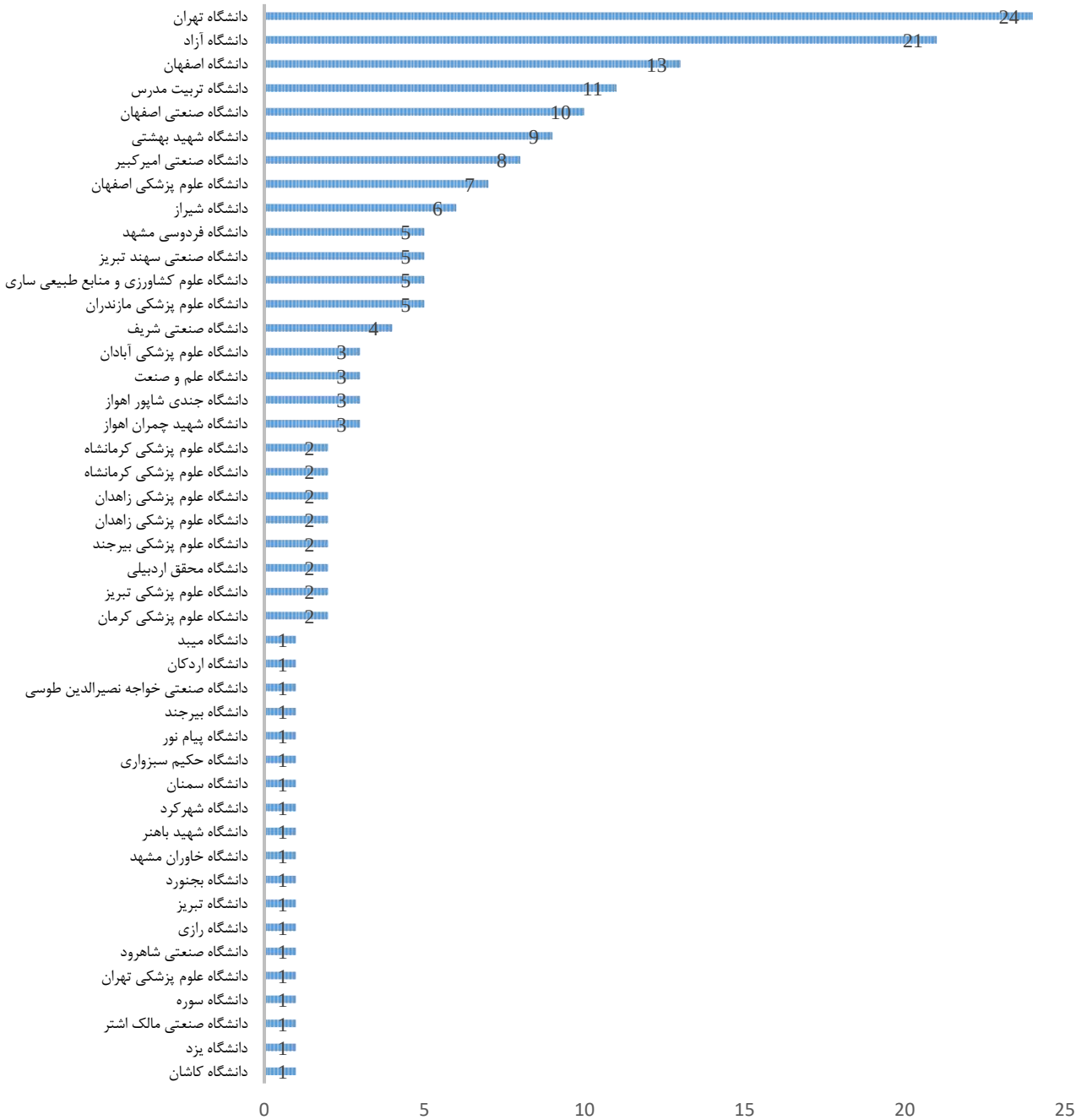
شکل ۲- توزیع مقالات پذیرفته‌شده به‌تفکیک



شکل ۳- توزیع مقالات پوستری و شفاهی به‌تفکیک موضوع



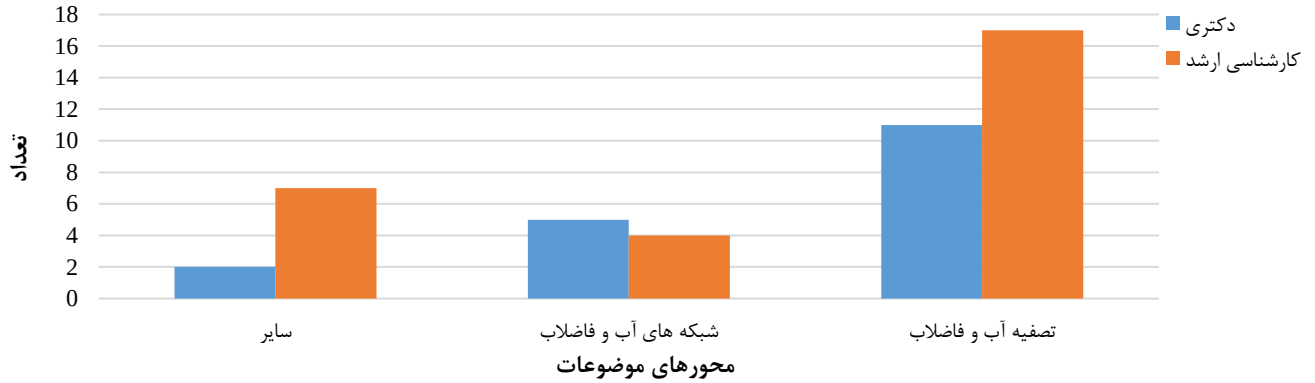
شکل ۴- تعداد مقالات پذیرفته‌شده در شرکت‌های آب و فاضلاب مراکز استان‌ها



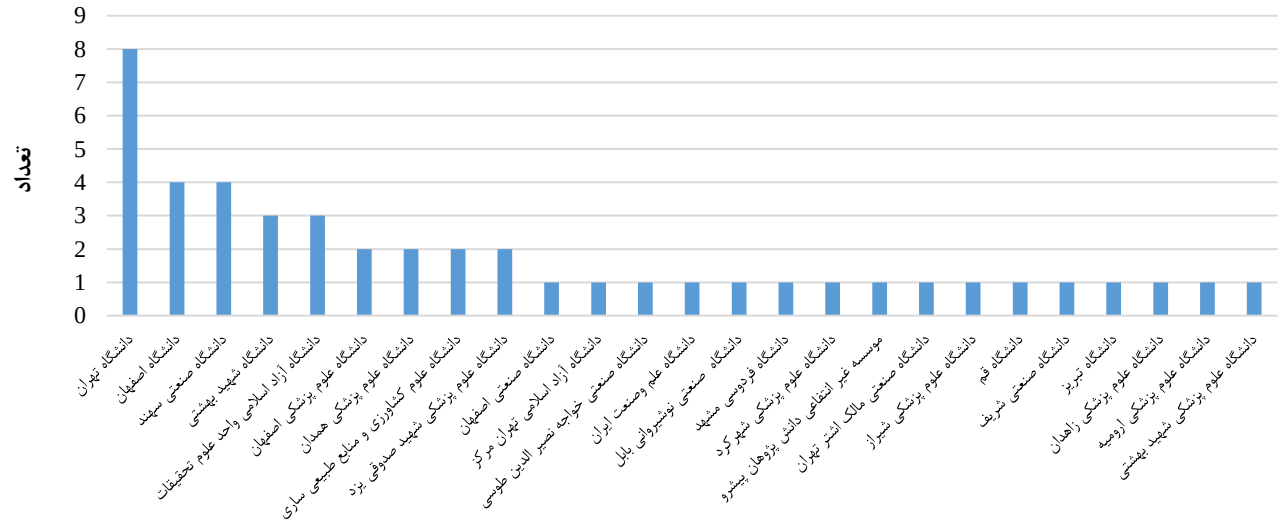
شکل ۵- توزیع مقالات دانشگاه‌ها

تقدیر از برگزیدگان مسابقه انتخاب پایان‌نامه برتر در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا

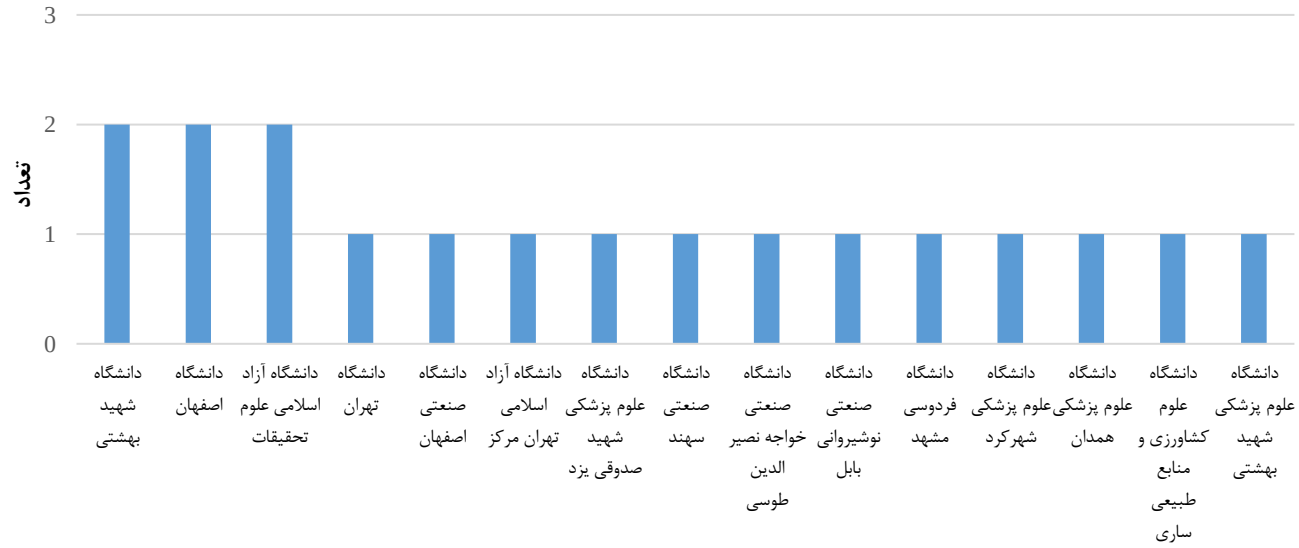
پایان‌نامه‌های دریافتی شامل ۲۸ پایان نامه کارشناسی ارشد و ۱۸ رساله دکتری بودند که اطلاعات تفکیکی پایان‌نامه‌ها در شکل‌های ۶ تا ۹ ارائه شده است.



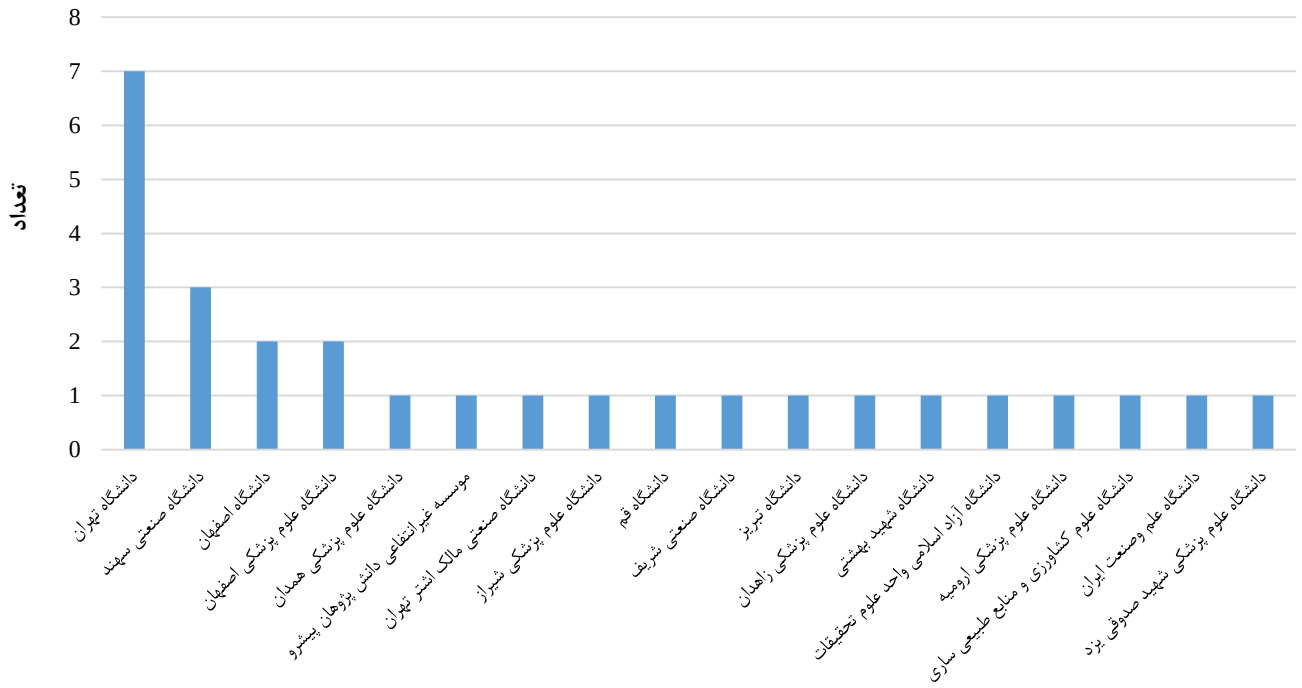
شکل ۶- تعداد پایان‌نامه‌های دریافتی به تفکیک محور و مقطع تحصیلی



شکل ۷- تعداد پایان‌نامه‌های دریافتی به تفکیک دانشگاه



شکل ۸- تعداد پایان‌نامه‌های مقطع دکتری دریافتی به تفکیک دانشگاه



شکل ۹- تعداد پایان‌نامه‌های مقطع کارشناسی ارشد دریافتی به تفکیک دانشگاه

هیأت داوران:

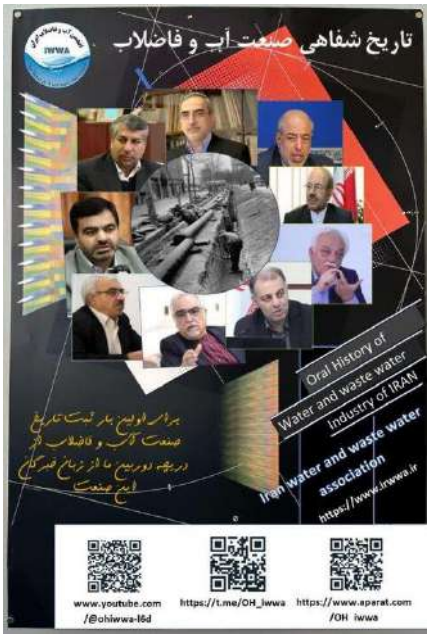
هیأت داوران شامل اساتید دانشگاه و متخصصین صنعت (سازمان‌ها و ادارات دولتی و یا از متخصصین بخش خصوصی اعم از شرکت‌های مشاور و یا پیمانکاری سراسر کشور) انتخاب شدند. هر مقاله حداقل برای ۲ داور ارسال شد. به‌طور متوسط هر داور ۶ مقاله را داوری کرد.

مراسم افتتاحیه:

در مراسم افتتاحیه، ابتدا برگزارکنندگان کنگره از جمله جناب آقای دکتر هادی امیری (معاون پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان)، جناب آقای مهندس ناصر اکبری (رئیس هیأت مدیره و مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان) و جناب آقای دکتر تابش (رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران) ضمن عرض خیر مقدم و خوش‌آمدگویی، سخنان خود را بیان نمودند. هم‌چنین، از پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب توسط انجمن آب و فاضلاب ایران رونمایی شد. در ادامه، جناب آقای مهندس اسماعیلی مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب کاشان به‌عنوان حامی ویژه سخنرانی خود را ارائه نمودند. سپس پیام سرکار خانم دکتر شینا انصاری (معاونت محترم ریاست جمهوری و ریاست سازمان حفاظت محیط‌زیست) توسط سرکار خانم دکتر مرجان شاکری (سرپرست اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان اصفهان) قرائت شد. جناب آقای مهندس شیشه‌فروش (معاون استاندار اصفهان) نیز دیدگاه‌های خود را در رابطه با اهمیت این کنگره و به‌خصوص بحث فرونشست در اصفهان ارائه کردند. در بخش پایانی، جناب آقای دکتر صفوی (معاون پژوهش و فناوری دانشگاه صنعتی اصفهان) در رابطه با مسئله فرونشست زمین، راه‌کارها و چالش‌های آن سخنرانی نمودند.

رونمایی از پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران:

با توجه به لزوم ثبت و ضبط خاطرات، تجارب و دستاوردهای دست اندرکاران حوزه آب و فاضلاب از جمله اساتید دانشگاه، مدیران شرکت‌های آب و فاضلاب و صنعتگران (شامل مشاوران، پیمانکاران و سازندگان)، انجمن آب و فاضلاب ایران از ابتدای سال ۱۴۰۳ پروژه تدوین تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب کشور را آغاز کرده است. در این پروژه که هم‌زمان با برگزاری پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران در دانشگاه اصفهان رونمایی شد، مصاحبه‌های تصویری با اساتید، مدیران و صنعتگران تأثیرگذار انجام می‌شود. این مصاحبه‌ها به تدریج در کانال‌های آپارات، یوتیوب و تلگرام تاریخ شفاهی بارگذاری می‌شود. هم‌چنین پس از تدوین مصاحبه‌ها، کتاب جامع تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب در فاز دوم این پروژه منتشر خواهد شد.



نشست‌های تخصصی در روز اول، بعد از مراسم افتتاحیه و در روز دوم قبل از مراسم اختتامیه برگزار شدند که جزئیات آن‌ها به شرح جدول زیر است.

نشست‌های تخصصی

ردیف	عنوان نشست	اعضای نشست
۱	فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها	دکتر حمیدرضا صفوی، دکتر علی بیت اللهی، دکتر اکبر قاضی‌فرد، دکتر محمد کوشافر، دکتر بهرام نادی، مهندس سعیده موسوی‌پور، مهندس سعید شمسایی
۲	کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب	دکتر الهام فراهانی، دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، دکتر سید عباس جعفری، دکتر مهران صفایانی، دکتر سحر راکعی، مهندس سارا احمدی
۳	مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب	دکتر احمدرضا محمدی ده‌چشمه، مهندس سید مرتضی احتشامی، دکتر افشین تکدستان، دکتر مسعود طاهریون، دکتر مهتاب باغبان، مهندس سید محمد موسوی

شایان ذکر است موضوعات کلینیک صنعت که در روز دوم و سوم کنگره برگزار شد، مطابق جدول زیر است.

برنامه کلینیک صنعت

موضوع	متخصصان
کیفیت آب و پساب	دکتر افشین ابراهیمی، دکتر مهتاب باغبان، دکتر زهرا اکبری، دکتر فهیمه امیری
طراحی و بهره‌برداری از شبکه توزیع آب و مدیریت مصرف	دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، دکتر ستار صالحی، دکتر کاوه حریری اصلی، مهندس علی سیدزاده، مهندس سارا احمدی
تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی	دکتر علی دهنوی، دکتر حسین نایب و مهندس سید محمد موسوی

مراسم اختتامیه:

در مراسم اختتامیه پس از ارائه گزارش جناب آقای دکتر رامتین معینی (دبیر محترم علمی)، جناب آقای دکتر ناصر طالب‌بیدختی (استاد محترم دانشگاه شیراز) سخنرانی نمودند. سپس طی مراسمی از پیشکسوتان نمونه دانشگاه و صنعت (آقایان دکتر ناصر طالب‌بیدختی و مهندس سیدحسین مرتضوی)، برندگان نهمین دوره مسابقه پایان‌نامه برتر، مقالات برتر کنگره، حامیان و غرفه برتر و هم‌چنین اعضای دبیرخانه و کمیته‌های اجرایی تقدیر شد. همچنین جناب آقای دکتر سجاد انتشاری (عضو اندیشکده حکمرانی دانشگاه اصفهان) سخنرانی نمودند.

پیشکسوتان برگزیده دانشگاه و صنعت

دکتر ناصر طالب بیدختی (استاد دانشگاه شیراز)

مهندس سیدحسین مرتضوی
(شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان)

برندگان نهمین دوره مسابقه پایان نامه برتر (سال ۱۴۰۳)

مقطع	نام و نام خانوادگی	عنوان رساله/پایان نامه	دانشگاه	استاد راهنما	سال دفاع
دکتری	رضا معاشری	تعیین محل نارسایی‌های گزارش نشده در شبکه‌های توزیع آب به‌روش شبیه‌سازی هیدرولیکی	دانشگاه شهید بهشتی	دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده	۱۴۰۳
	سعید محمدزاده نقارچی	مطالعه عددی-تجربی یک مدل شبکه واقعی توزیع آب به‌روش آنالیز جریان گذرا بر مبنای دیماند پالسی و کنترل بلادرنگ (RTC) فشار	دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل	دکتر روزبه شفقت	۱۴۰۰
	محبوبه حاجی علی	حذف داروی تتراسایکلین از آب‌های آلوده توسط فوتوراکتور سلول سوختی با کامپوزیت چندجزئی ZnO/Bi2MoO6/MIL-101 بر پایه شیشه رسانا (فوتوآند) و اکسید مس بر پایه توری مسی (فوتو کاتد)	دانشگاه اصفهان	دکتر مهرداد فرهادیان	۱۴۰۱
کارشناسی ارشد	نوید گروهی	تصفیه آب‌های آلوده به آلاینده‌های آلی با به‌کارگیری فرآیندهای جذب-تخریب توسط نانوماده KBi6O9Br-بنیان	دانشگاه صنعتی سهند	دکتر محمد حقیقی	۱۴۰۲
	محمد رجبی	تعیین مکان سنسورهای فشار به‌منظور کالیبراسیون و نشت‌یابی در شبکه توزیع آب به‌کمک روش خوشه‌بندی چندنمایی و تحلیل حساسیت کلی	دانشگاه تهران	دکتر مسعود تابش	۱۴۰۲
	مهری سمندری	بررسی راندمان حذف آنتی بیوتیک‌های آموکسی سیلین و سفالکسین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری (مطالعه موردی در شهر اصفهان)	دانشگاه علوم پزشکی اصفهان	دکتر حسین موحدیان	۱۴۰۰

هم‌چنین دبیر تخصصی برگزیده و ۲ نفر از داوران برگزیده نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب که از سوی انجمن آب و فاضلاب ایران منتشر می شود، مورد تقدیر قرار گرفتند.

دبیر تخصصی برگزیده

دکتر عباس اکبرزاده
عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات آب

داوران برگزیده

دکتر مهدی دینی

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

دکتر جابر سلطانی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

شایان ذکر است در ادامه مراسم اختتامیه، از برگزیدگان مقالات، حامیان مالی و غرفه‌های برتر به‌شرح زیر تقدیر شد.

برندگان مقالات برتر

ردیف	عنوان مقاله	نویسندگان
۱	بررسی و انتخاب مناسب‌ترین روش بازسازی شبکه‌های فاضلاب فرسوده بتنی شهر بندرعباس به‌وسیله روش تحلیل سلسله مراتبی AHP	فرزانه نصرتی، محمدصادق روحانی
۲	بررسی رفتار هیدرولیکی در خط انتقال فاضلاب تحت شیب‌های متفاوت و عمق پایین‌دست ثابت	مریم ثابتی، علی مژدهی‌فرد، عادل ایران‌نژاد
۳	رتبه‌بندی پارامترهای موثر بر سامانه‌های جمع‌آوری آب باران با استفاده از هوش مصنوعی	رضا هدایتی مرزونی، محمدجواد امامی اسکاردی، سیده یاسمن سمائی
۴	تعیین دوره بهینه قرائت کنتورهای آب (مطالعه موردی استان اصفهان)	آسیه‌سادات ملاباشی، سید محمدحسین صالح، مسعود باقری، الهام امینی، محسن رحیمی، سیدمحمد موسوی
۵	بهینه‌سازی چندهدفه شیرهای فشارشکن در شبکه توزیع آب شهری با استفاده از الگوریتم NSGA-II (مطالعه موردی: شبکه توزیع آب شهری نجف‌آباد)	سید پدرام جزائری فارسانی، رامتین معینی
۶	تاثیر انواع مدل‌سازی بردار متغیر تصمیم در بهینه‌سازی چندهدفه روش طراحی دینامیکی شبکه‌های توزیع آب	محمدمهدی ریاحی، امین ابراهیم بخشی‌پور، کارلو جودیچیانی، انریکو کریاکو، علی حقیقی
۷	بررسی مدل‌های برآورد نشت زمینه در شبکه‌های آبرسانی	بیتا سادات حیدری، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، ایمان مصلحی
۸	برنامه‌ریزی بازسازی شبکه‌های توزیع آب با توسعه مدل SAM برای تحلیل داده‌های حجیم (Big Data) تاریخچه حوادث (مطالعه موردی: شبکه توزیع آب شهر قمصر)	ستار صالحی، علی آبیاتی، محمد رجبی، مسعود خاندایی
۹	بررسی تاثیر رهبری مشارکتی و فرهنگ سازمانی حمایتی بر رضایت شغلی و بهره‌وری نیروی انسانی (شرکت آب و فاضلاب استان زنجان)	سهیلا علوی، زهرا مهدی‌پور
۱۰	Evaluation of the Biodegradability of Furfural-Containing Wastewater Using a Pilot-Scale Upflow Anaerobic Sludge	علی منتظری، الهام عبداله‌زاده شرقی، بابک بنکدارپور، مهرداد عدل
۱۱	ارزیابی تأثیر پارامترهای تصفیه‌خانه فاضلاب با استفاده از هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، در نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی	مهسا دهقان، وحید نورانی
۱۲	بررسی فرایند تجزیه ترکیب آنتی باکتریال از آب توسط PMS در حضور نانوکاتالیزور حاوی MOF	ملیحه مؤذنی، افشین ابراهیمی
۱۳	بررسی اثر تغییرات پارامترهای مربوط به هواگرم‌کن خورشیدی دومسیره بر میزان تولید آب در آب شیرین‌کن خورشیدی کوپل‌شده با هوا گرمکن	کامیار محمدی، پریسا آذری، آرش میرعبدالله لواسانی، نادر رهبر
۱۴	کاربرد ضایعات پلاستیکی در سنتز نانوذرات بر پایه کربن و بررسی تحلیلی تاثیر نوع نانوجاذب بر راندمان حذف فلز سنگین کروم از محیط های آبی	سپیده صحراگرد، علی نقی زاده، سبحان مرتضوی درازکلا
۱۵	Facile synthesis of g-C3N4-x for the effective destruction/removal of organic pollutants from water	حسنا رضایی، هانی صیاحی
۱۶	حذف آهن و منگنز به روش کوپلینگ هوادهی بشقابی و تزریقی (مطالعه موردی: مجتمع قلعه عجب‌شیر استان آذربایجان شرقی)	الناز زهتاب لطفی، علی رستمی ایرانق، حمید حربی

حامیان برتر

شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

مدیر عامل: مهندس ناصر اکبری

شرکت آب و فاضلاب کاشان

شرکت آب و فاضلاب کاشان

مدیر عامل: مهندس یاسر اسماعیلی

شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی

شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی

مدیر عامل: مهندس محمد اشرفی

غرفه‌های برتر

شرکت سازه‌های فعال آب

شرکت دانش بنیان فرآیند ارقام پرداز

کارگاه‌های آموزشی

از بعدازظهر روز دوم تا انتهای روز سوم ۲۱ کارگاه آموزشی توسط خبرگان دانشگاه و صنعت به‌شرح زیر ارائه شد.

ردیف	عنوان کارگاه	مدرس	مدت (ساعت)
۱	مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب	دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، مهندس محسن داودی سرشت، مهندس رحیم رنجبریان	۴
۲	فناوری‌های نوین نشت‌یابی و روش‌های پیشرفته پیش‌گیری از نشت	دکتر فاطمه فرشی	۳
۳	پکیج‌های نوین تصفیه فاضلاب با رویکرد بازیافت آب	دکتر مهرداد فرهادیان	۴
۴	کشت و تشخیص باکتری کلستردیوم پرفرنجنس	دکتر هوشیار اکبری	۳
۵	توسعه شیرین‌سازی آب دریا و انتقال به فلات مرکزی، فرصت‌ها و چالش‌ها	دکتر احمد شانه‌ساززاده، دکتر حسین اردلان	۳
۶	مدیریت هوشمند فشار در شبکه‌های توزیع آب (ارائه تجربیات شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان)	مهندس محمد صالح ابراهیمی، دکتر رامتین معینی	۳
۷	آشنایی با فعالیت‌های کنترل کیفیت داخلی و نمودارهای کنترلی در آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب	مهندس الهام یزدانی	۲
۸	ارتقای شبکه‌های آبرسانی براساس دستورالعمل‌های OP310 و OP210	مهندس علیرضا رحمت‌پناه	۱/۵
۹	تجارب شستشو و اولویت‌بندی شبکه‌های فاضلاب جهت ترمیم و بازسازی	مهندس سید محمد رضوی، مهندس علیرضا کامرانیان	۱/۵
۱۰	کدگذاری شبکه فاضلاب طبق استاندارد WRC	مهندس سید محمد رضوی، مهندس علیرضا کامرانیان، مهندس آزاده قاسمی، مهندس علی عزیزی	۱/۵

۱۱	اهمیت آزمون‌های مولکولی در تشخیص انواع آلودگی‌های میکروبی و ویروسی آب	دکتر هوشیار اکبری	۳
۱۲	کمینه‌سازی و کاهش لجن مازاد تصفیه‌خانه متداول فاضلاب شهری و صنعتی با استفاده از فرایند OSA به‌همراه تجربیات جهانی	دکتر افشین تکدستان	۲
۱۳	جمع‌آوری، تصفیه و دفع لجن فاضلاب	دکتر محمدباقر میران زاده	۱/۵
۱۴	آموزش برخی الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراکاوشی، یادگیری ماشین و تئوری گراف در مدیریت شبکه‌های توزیع آب شهری	دکتر سید پدرام جزائری فارسانی، دکتر رامتین معینی	۴
۱۵	فلومتری و باران‌سنجی در شبکه‌های فاضلاب، تله‌متری و تحلیل داده‌ها	مهندس حمیدرضا فولادی، مهندس افشین علیخانی	۱/۵
۱۶	مدیریت منابع آب و استفاده از آب‌های نامتعارف	دکتر زهرا جمشیدزاده	۳
۱۷	ارتقای تصفیه‌خانه فاضلاب آب متداول آب شهری و روستایی به‌منظور کاهش و حذف آلاینده‌های مختلف آلی و سمی از آب آشامیدنی	دکتر افشین تکدستان	۲
۱۸	شیوهای مختلف استفاده مجدد از پساب به‌عنوان منبع آب شیرین جهت مصارف مختلف شهری و صنعتی	دکتر افشین تکدستان	۲
۱۹	رهیافت بازچرخانی پساب در بازیابی و پایداری منابع آب	دکتر پژمان طاهری قزوینی	۱/۵
۲۰	نکات کلیدی آئین‌نامه عملیاتی شرکت‌های آب و فاضلاب	مهندس سیدمحمد موسوی	۱/۵
۲۱	یکپارچه‌سازی سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و مدل هیدرولیکی، چرا و چگونه؟	مهندس محمدرضا کریمی	۲

نمایشگاه جانبی:

نمایشگاه جانبی این کنگره در غرفه‌های مختلف برگزار شد. شرکت‌کنندگان در نمایشگاه عبارت بودند از:

انجمن آب و فاضلاب ایران، دانشگاه اصفهان، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی، شرکت آب و فاضلاب کاشان، شرکت مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، نهاد علم‌آفرینی و نوآفرینی پیشران، شرکت مهندسین مشاور زایندآب، شرکت سازه‌های فعال آب، شرکت ازن آب، شرکت تصفیه آب اکسیر، شرکت دانش‌بنیان فرآیند ارقام‌پرداز، شرکت دانش‌بنیان کامپوزیت صنعت قائم، شرکت تحقیقات پیشرفته

بازدید:

در روز دوم کنگره (چهارشنبه ۷ آذرماه) بازدیدی از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان صورت‌گرفت.

حامیان معنوی و علمی کنگره:

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 علوم، تحقیقات و فناوری	وزارت نیرو	استانداری اصفهان	جمهوری اسلامی ایران وزارت صنعت، معدن و تجارت	جمهوری اسلامی ایران وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان Regional Water Company of Esfahan www.esrw.ir		مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب		اتحادیه انجمن‌های علوم آب Water Science Association Union
اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان	اتاق بازرگانی صنایع، معادن و کشاورزی اصفهان	سازمان صنایع کوچک و شهرکهای صنعتی ایران		شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان

حامیان مالی کنگره					
شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی	شرکت آب و فاضلاب کاشان	شرکت آب و فاضلاب مشهد	مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	شرکت آب و فاضلاب استان فارس
صنایع واکیوم پارس	مهندسین مشاور آبران	پریاک	مهندسین مشاور پارس آرین آب	Persia Optimized Designing	مهندسین مشاور زایندآب
زعدآب RADAB	شرکت رشاب طرح	شرکت دریارود جنوب			

سامانه‌های اطلاع‌رسانی کنگره		
مؤسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام ISC	Sponsored and Indexed by CIVILICA We Respect the Science	همایش های ایران Symposia
کنفرانس یاب www.conferenceyab.ir	ایران کنفرانس، مرجع همایش های داخلی و خارجی	

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
		راه‌کارهای 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 شفیعی)	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 یونسیان، 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/W8P7J?playlist=35547113
		کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب (دکتر سیدحسین سجادی‌فر)	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 ۲۵،۰۰۰ 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://aparat.com/v/epxDt
		سیستم‌های آبی پایدار و تاب‌آور (دکتر راضیه فرمانی)	https://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

		بازچرخانی آب‌های خاکستری در ساختمان‌های بلندمرتبه و مجتمع‌های مسکونی جدید در قالب مباحث الزامی جهت ساخت مسکن (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)	https://www.aparat.com/v/IFHhK?playlist=737673
		مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب شهری (دکتر سیدامیرهوشنگ آیتی)	https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673
		طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر امین ابراهیم بخشی پور)	https://aparat.com/v/D7BvT
		چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع آب (دکتر مهدی دینی)	https://www.aparat.com/v/rKPvH/
		مدلسازی سیلاب و زهکشی شهری- اهمیت و رویکردها و مقدمه‌ای بر مدل TU-FLOW و کاربردهای آن (دکتر حامد توکلی‌فر، دکتر دانکن کیتس)	ttps://www.aparat.com/v/jTbgx/
		کاربرد متدولوژی ارزش برای بهبود پروژه‌های بزرگ آب و آبفا (دکتر کامران امامی)	https://www.aparat.com/v/Nig5q/
		آلودگی منابع آب و خاک به آرسنیک و روش‌های پالایش آن (دکتر بهمن یارقلی)	https://www.aparat.com/v/AxQw3
		مدل‌های داده‌محور و برخط پیش‌بینی سیلاب در سیستم‌های جمع‌آوری آب باران شهری (مهندس فرزاد پیاده)	https://www.aparat.com/v/kdcZC
		پیل سوختی میکروبی به‌عنوان یک راه‌حل پایدار برای تصفیه فاضلاب: از تحقیق تا کاربرد (دکتر علیرضا ولی پور مرندی)	https://www.aparat.com/v/cQevG
		بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب: وضعیت موجود، چالشها و فرصتهای پیش‌رو (دکتر مسعود طاهریون)	https://www.aparat.com/v/zNPCU
		اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب‌های شهری: از مدل‌سازی تا رویکردهای مدیریتی مبتنی بر توسعه پایدار (دکتر یاسر طهماسبی بیرگانی)	https://aparat.com/v/AOrNB
		نبرد شبکه های متمرکز و غیرمتمرکز جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی (مهندس سینا حصارکزازی)	https://aparat.com/v/5SVaJ
		مدیریت ناترازی تولید و مصرف آب با تکیه بر مدیریت مصرف آب (دکتر عباس اکبرزاده)	https://www.aparat.com/v/Q3SCk
		واکاوی تجربه کشور چین در حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت مصرف آب (دکتر بنفشه زهرایی)	https://www.aparat.com/v/Onls2
		ضربه آبی، چرا و چگونه؟ از مفاهیم تا اجرا (مهندس ابوالفضل رضایی راد)	https://www.aparat.com/v/TtlmP
		پکیج‌های تصفیه فاضلاب؛ معیارهای طراحی و روش ساخت (مهندس حمیدرضا خسروجردی)	https://www.aparat.com/v/ieWtp
		سپتاژ، یک معضل محیط‌زیستی کشور، چالش‌ها،	https://aparat.com/v/DcoFP

		راه‌حل‌ها (دکتر ذبیح اله یوسفی)	
		قدرت تحول آفرین سنجش از دور و هوش مصنوعی (دکتر احد نظرپور)	https://aparat.com/v/Fvb7q
		مطالعه ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs) در رودخانه کارون و تصفیه‌خانه فاضلاب (دکتر علی اکبر بابائی)	https://www.aparat.com/dashboard/videostat/185Cp
		بررسی انواع میکرو پلاستیک‌ها و استر فتالات‌ها در فاضلاب و نقش واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب در حذف آن‌ها (مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب اهواز) (دکتر افشین تکدستان)	https://aparat.com/v/n5B73
		معرفی نسل جدید مواد اولیه PE100-RD مناسب جهت لوله و اتصالات پلی‌اتیلنی مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری انتقال آب با گندزداهای پایه کلر (دکتر غلامرضا پیرچراغی، مهندس حمیدرضا شمسی و مهندس علیرضا صحاف امین)	https://www.aparat.com/v/JL0OZ
		چرخه معیوب آب بدون درآمد و مکانیسم نشت آب شناخت و راهکار (مهندس محمدرضا عزیزی)	https://www.aparat.com/v/XIujP
		مدل یادگیری ماشین ارتقا یافته توسط فیزیک مسئله برای مدل‌سازی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب (دکتر علی حقیقی)	https://www.aparat.com/v/yas7w5j
		ارتقای عملکرد تصفیه خانه های فاضلاب به کمک ابزار مدل‌سازی و استراتژی‌های کنترل هوشمند (مهندس علی خواجویان)	https://www.aparat.com/v/vrwl09a
		نحوه طراحی، نگهداری و تعمیرات و تعویض شیرآلات شبکه‌های توزیع آبرسانی شهری (مهندس روح الله توکلی)	https://www.aparat.com/v/qxu7o4r
		چالش‌های مدل‌سازی شبکه توزیع آب در شرکت‌های آب و فاضلاب (مهندس محمدامین غیبی)	https://www.aparat.com/v/rbq7l7e
		کاربرد مدل پویایی سیستم در مدیریت و برنامه‌ریزی آب شهری (مهندس صادق دانش پژوه)	https://aparat.com/v/ckv6314
		نمک‌زدایی آب در ایران: وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌ها (دکتر مسعود طاهریون)	https://www.aparat.com/v/iojt09e
		شبکه‌های توزیع آب هوشمند با رویکرد پایش شبکه آب و مدل‌های داده مبنا (مهندس محمد رجبی)	https://www.aparat.com/v/xpl25f3
		تعیین محل نشت‌ها در شبکه‌های توزیع آب به‌روش شبیه‌سازی هیدرولیکی (دکتر رضا معاشری)	https://aparat.com/v/nqkqc80
		بررسی نوسانات جریان در شبکه‌های توزیع آب شهری با وجود مخازن ذخیره آب داخل ساختمان‌ها (دکتر رامتین مظاهری)	https://www.aparat.com/v/znmnpnv/
۲	نشست‌های	سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035

	تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320
		هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526
		بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران	https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788
		چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب	https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111
		تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب	https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646
		استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری	https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246
		چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آتی نیرو در حوزه آب	https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054
		نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب	https://www.aparat.com/v/LxjEw?playlist=879646
		کاهش تلفات واقعی	https://www.aparat.com/v/s3lwQ?playlist=879646
		تلفات ظاهری آب	https://www.aparat.com/v/nBNj5?playlist=879646
		مدیریت مصرف آب	https://www.aparat.com/v/PO35T?playlist=879646
		نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور	https://www.aparat.com/v/xyr2O?playlist=879646
		مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی	https://www.aparat.com/v/dVKvu?playlist=879646
		مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود	https://www.aparat.com/v/hEXdv?playlist=879646
		دستاوردها و چالش های استفاده از آب‌های نامتعارف	https://www.aparat.com/v/Ax3cG?playlist=879646
		نمک‌زدایی آبهای شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور	h https://www.aparat.com/v/xyr2O
		رویکردهای برنامه ایمنی آب	https://www.aparat.com/v/BFhCa
		نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب	https://www.aparat.com/v/LxjEw
		چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی	https://www.aparat.com/v/Lzf1g
		تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد	https://www.aparat.com/v/B5Lle
		چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز	https://www.aparat.com/v/41JAS
		بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب	https://aparat.com/v/jBUwJ
		مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب	https://aparat.com/v/eotT5
		راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی	https://aparat.com/v/qOUfQ
		نشست تخصصی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها	https://aparat.com/v/ylr1g40
		نشست تخصصی کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب	https://aparat.com/v/wjprm10
		نشست تخصصی مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب	https://aparat.com/v/cawfci9
۳	اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۵)	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/hcuQk?playlist=5771644
		نشست تخصصی اول؛ سیاست‌های تأمین آب شرب در ایران	https://www.aparat.com/v/j2lAK?playlist=5771644
		نشست تخصصی دوم؛ سیاست‌های صنعت جمع‌آوری فاضلاب و بازیافت پساب	https://www.aparat.com/v/LajYD?playlist=5771644
		نشست تخصصی سوم؛ تأثیر مسائل اجتماعی، فرهنگی و مشارکت جامعه در مدیریت مصرف آب	https://www.aparat.com/v/6LBfm?playlist=5771644
		مراسم اختتامیه	https://www.aparat.com/v/hr4Un?playlist=5771644
۴	اولین	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/AmjKX

	همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	نشست تخصصی اول؛ مدیریت مصرف آب	https://www.aparat.com/v/PO35T
		نشست تخصصی دوم؛ تلفات ظاهری آب	https://www.aparat.com/v/nBNj5
		نشست تخصصی سوم؛ کاهش تلفات واقعی	https://www.aparat.com/v/s3lwQ
		مراسم اختتامیه	https://www.aparat.com/v/wmjDk
۵	دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی (۱۳۹۷)	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/SAOxw
		نشست تخصصی اول؛ مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود	https://www.aparat.com/v/hEXdv
		نشست تخصصی دوم؛ مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم‌آبی	https://www.aparat.com/v/dVKvu
		نشست تخصصی سوم؛ دستاوردها و چالش های استفاده از آب‌های نامتعارف	https://www.aparat.com/v/Ax3cG
		مراسم اختتامیه	https://www.aparat.com/v/pYO7g
۶	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۳۹۸)	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/SHiuG
		نشست تخصصی اول؛ چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب	https://www.aparat.com/v/tn4E9
		نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب	https://www.aparat.com/v/DZzYX
		نشست تخصصی سوم؛ استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری	https://www.aparat.com/v/t1iaZ
		مراسم اختتامیه	https://www.aparat.com/v/nQ2Ez
۷	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/V7BNT
		نشست تخصصی اول؛ سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	https://www.aparat.com/v/6OhwE
		نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/IXWfd
		نشست تخصصی سوم؛ هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/7JxVU
		نشست تخصصی چهارم؛ بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران	https://www.aparat.com/v/lSgM7
		کلینیک صنعت اول؛ شبکه‌های توزیع آب	https://www.aparat.com/v/cGUn1
		کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب	https://www.aparat.com/v/ntsvY
		کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه فاضلاب و بازیافت آب	https://www.aparat.com/v/Fz5wu
		کلینیک صنعت چهارم؛ شبکه های جمع آوری فاضلاب	https://www.aparat.com/v/lKLRc
		مراسم اختتامیه	https://www.aparat.com/v/yLp7u
۸	اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/FWHLM
		نشست تخصصی اول؛ نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور	https://www.aparat.com/v/xyr2O
		نشست تخصصی دوم؛ رویکردهای برنامه ایمنی آب	https://www.aparat.com/v/BFhCa
		نشست تخصصی سوم؛ نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب	https://www.aparat.com/v/LxjEw
		کلینیک صنعت اول؛ محور شبکه‌های توزیع آب و کاهش	https://www.aparat.com/v/5c82a

	مدیریت مصرف آب (۱۴۰۰)	هدررفت	
		کلینیک صنعت دوم؛ محور بازیافت آب	https://www.aparat.com/v/KnEdF
		کلینیک صنعت سوم؛ محور کیفیت آب	https://www.aparat.com/v/A5wkz
		مراسم اختتامیه	https://www.aparat.com/v/OgGXj
۹	چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱)	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/OB57I
		نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی	https://www.aparat.com/v/Lzf1g
		نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد	https://www.aparat.com/v/B5Lle
		نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز	https://www.aparat.com/v/41JAS
		کلینیک صنعت اول؛ محور کیفیت آب	https://www.aparat.com/v/16VTE
		کلینیک صنعت دوم؛ محور شبکه‌های توزیع و هدررفت آب	https://www.aparat.com/v/PupUv
		کلینیک صنعت سوم؛ محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب	https://www.aparat.com/v/hr8Qs
		مراسم اختتامیه	https://www.aparat.com/v/nRdX3
		پیام آقای مهندس محمودیان	https://aparat.com/v/kIHYq
		کارگاه ایمنی آب	https://aparat.com/v/Uaun9
۱۰	دومین همایش ملی کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۴۰۲)	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/dashboard/videostat/UwoCu
		سخنرانی جناب آقای دکتر مهدی قاسمیه	https://www.aparat.com/dashboard/videostat/YHGs3
		سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تابش	https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Q5jre
		سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تجریشی	https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Ovg0e
		سخنرانی سرکار خانم دکتر سمیه رفیعی	https://aparat.com/v/Zz6aS
		مراسم تجلیل از پیشکسوتان برگزیده	https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Gs89r
		نشست تخصصی اول؛ بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب	https://aparat.com/v/jBUwJ
		نشست تخصصی دوم؛ مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب	https://aparat.com/v/eotT5
		نشست تخصصی سوم؛ راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی	https://aparat.com/v/qOUfQ
		کلینیک صنعت اول؛ طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب و مدیریت مصرف	https://aparat.com/v/GDMw7
		کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب و پساب	https://aparat.com/v/HuZRi
		کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی	https://www.aparat.com/v/nCJ0p
		مراسم اختتامیه	https://aparat.com/v/j90wr
۱۱	پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۳)	مراسم افتتاحیه	https://aparat.com/v/fhttc6r
		نشست تخصصی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها	https://aparat.com/v/ylr1g40
		نشست تخصصی کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب	https://aparat.com/v/wjprm10
		نشست تخصصی مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب	https://aparat.com/v/cawfci9
		مراسم اختتامیه	https://aparat.com/v/iyzomj1

کنفرانس های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکنندگان	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
اولین همایش ملی هیدرولوژی و منابع آب ایران	دانشگاه شهید چمران اهواز	اهواز	۲۳ تا ۲۴ بهمن‌ماه ۱۴۰۳	https://irhwr.scu.ac.ir/fa/
پنجمین همایش ملی کم آبیاری و استفاده از آب های نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک	دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه زابل	دانشگاه زابل	۲۷ تا ۲۸ بهمن‌ماه ۱۴۰۳	https://ncdi5.uoz.ac.ir/
پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت و سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب	انجمن آب و فاضلاب ایران		آذرماه ۱۴۰۴	https://iwwa-conf.ir/

کنفرانس های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
14th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse	Cape Town, South Africa	16 – 20 March 2025	https://iwareuse2025.com/
7th IWA Specialist Group Conference Advanced Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment and Recycling	Frankfurt am Main, Germany	8 – 10 April 2025	https://iwa-aop.org/
Joint Conference: 6th International Conference on Economics, Statistics and Finance and 10th Leading Edge Conference for Strategic Asset Management (LESAM)	Pafos, Cyprus	28 – 30 April 2025	https://iwacyprus2025.com/index.php
IWA Resource Recovery Cluster Conference – Supported	Leeuwarden, Netherlands	19 – 23 May 2025	https://www.wetsus.nl/iwa-rr-2025/
11th Microbial Ecology and Water Engineering (MEWE) Conference: Managing Water Microbiomes	Atlanta/United States of America	03 - 05 Jun 2025	http://www.mewe11.org
22nd Health-Related Water Microbiology Conference	Amersfoort, Netherlands	15 – 20 June 2025	https://watermicro2025.nl/
7th IWA International Conference on eco-Technologies for Wastewater Treatment	Stockholm, Sweden	23 – 26 June 2025	https://www.ecostp2025.org/
14th IWA Specialist Group for Instrumentation, Control, and Automation (ICA)	Oslo/Norway	30 Jun - 02 July 2025	iwa-ica2025.net
13th Urban Drainage Modelling Conference	Innsbruck, Austria	15 – 19 September 2025	http://www.udm2025.org/
The 19th IWA Conference on Sludge Management - Toward Material Cycle and Low Carbon Society	Kyoto/Japan	21-24 October 2025	Iwa-19th-sludgemanagement.jp

یادوارهٔ

پروفسور ناصر رازقی

آخرین مهلت ثبت‌نام: ۲۰ بهمن‌ماه ۱۴۰۳

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۲۵ بهمن‌ماه ۱۴۰۳

مرحله دوم: به صورت تشریحی

(متعاقباً اعلام می‌شود)

داوطلبان می‌توانند 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: فرآیندهای 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.

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۱۰۰ هزار تومان

سایرین: ۱۵۰ هزار تومان

علاقه‌مندان می‌توانند برای کسب اطلاعات بیشتر به وبسایت انجمن آب و فاضلاب ایران مراجعه کنند و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند.

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

irwwa.ir
info@irwwa.ir

مهلت ارسال ایده
۳۰ بهمن‌ماه ۱۴۰۳

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

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

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

لطفا برای دریافت فایل فرمت و فرم اصالت ایده به سایت انجمن به نشانی irwwa.ir مراجعه کرده و پس از تکمیل، فایل‌ها را به ایمیل

iwwa.competitions@gmail.com

ارسال فرمایید.

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

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب
انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
Iran Water & Wastewater Association
Oral History of
Water and waste water
Industry of IRAN
Iran water and waste water
association
https://www.irwwa.ir
برای اولین بار ثبت تاریخ
صنعت آب و فاضلاب از
دریچه دوربین ما از زبان خبرگان
این صنعت
www.youtube.com
/@ohiwwa-l6d
https://t.me/OH_iwwa
https://www.aparat.com
/OH iwwa

نام شرکت	سطح عضویت	لوگو
مهندسین مشاور آبساران	الماسی	
شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	الماسی	
شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی	الماسی	
مهندسین مشاور طرح و تحقیقات اصفهان	الماسی	
شرکت آب و فاضلاب کاشان	الماسی	
فرآیند ارقام پرداز	الماسی	
شرکت آب و فاضلاب مشهد	طلایی	
فناور ایمن لوتوس	طلایی	
شرکت مهندسی خطوط لوله توانا	طلایی	

مهندسی مشاور طوس آب	نقره‌ای	
مهندسین مشاور پارس آرین آب	نقره‌ای	
پویاک	نقره‌ای	
صنایع وکیوم پارس	نقره‌ای	
مهندسین مشاور آبران	نقره‌ای	
خدمات مهندسی برق و الکترونیک رعدآب	نقره‌ای	
رشاب طرح	نقره‌ای	
بهینه طراحی پرشیا	نقره‌ای	
زایندآب	نقره‌ای	
مهندسین مشاور یکم	برنزی	
آبان بسپار پارسیان	برنزی	
فراگیر انرژی و پالایش مادیار	برنزی	

خط لوله هامون (هپیکو)	برنزی	هپیکو Hapico
سنجش افزار آسیا	برنزی	S.A.A Sanjesh Afzar Asia Co. Ltd.
آب و فاضلاب فارس	برنزی	وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور شرکت آب و فاضلاب استان فارس
شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی	برنزی	شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی
مهندسین مشاور آینده میترا	برنزی	مهندسین مشاور آینده میترا
شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مپنا	برنزی	گروه مپنا شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مپنا
شرکت مهندسین مشاور آب‌سو	برنزی	آب‌سو شرکت مهندسین مشاور آب سو
شرکت مهندسی فن آوران خرد راد	برنزی	FANAVARAN KHERAD RAD Industrial company شرکت مهندسی فن آوران خرد راد
شرکت فرآیند زیست	برنزی	فرآیند زیست ثبت: ۸۴۲۶۶
شرکت دریارود جنوب	برنزی	

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

حق عضویت اعضای حقیقی

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

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۵۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۳۰۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۶۰۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۹۰۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبا: IR930180000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

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

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

جدول مزایای اعضای حقوقی طرح جدید

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

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

- درج آگهی در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (تمام صفحه، معادل ۲ میلیون تومان اعتبار و نیم صفحه معادل ۱ میلیون تومان اعتبار)؛
- استفاده از کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی (متناسب با هزینه کارگاه و تعداد شرکت‌کنندگان معرفی‌شده از سوی شرکت از اعتبار کسر می‌شود)؛
- شرکت در همایش‌های انجمن (متناسب با هزینه شرکت در همایش و تعداد شرکت‌کنندگان معرفی‌شده از سوی شرکت از اعتبار کسر می‌شود)؛
- امکان اجاره غرفه نمایشگاهی که هم‌زمان با همایش‌های انجمن برگزار می‌شوند (متناسب با متراژ غرفه از اعتبار کسر می‌شود)؛
- صدور گواهی شرکت در وبینار (صدور هر گواهی برای شرکت‌کنندگان معرفی‌شده از سوی شرکت معادل ۵۰ هزار تومان اعتبار است)؛

* لازم به ذکر است که پس از اتمام اعتبار، اعضای محترم حقوقی کماکان می‌توانند مطابق با روال گذشته، از تخفیفات و مزایای عضویت به‌شرح زیر بهره‌مند شوند.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

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

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 منحصرا 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، حتما 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 صرفا 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 و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

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

- فایل word مقاله بدون نام نویسندگان، که شامل کلیه اجزا و محتویات مقاله است و شکل‌ها و جدول‌ها در جای خود جانمایی شده‌اند.
- فایل pdf مقاله بدون نام نویسندگان که شامل کلیه اجزا و محتویات مقاله است و شکل‌ها و جدول‌ها در جای خود جانمایی شده‌اند.
- فایل مشخصات نویسندگان.
- فایل حق چاپ (Copy Right): نامه‌ای است که نویسندگان با مضمون تعهد ارسال مقاله فقط برای مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب تهیه می‌کنند و با امضای کلیه مولفین با ترتیبی که قرار است چاپ شود، ارسال می‌نمایند (نمونه این نامه در زمان ثبت مقاله در قسمت نامه به سردبیر قابل رویت است).
- فایل تعارض منافع (Conflict of Interests): نامه‌ای است که نویسندگان با مضمون تعهد به رعایت کلیه اصول اخلاق نشر ارسال می‌نمایند (نمونه این نامه در زمان ثبت مقاله در قسمت نامه به سردبیر قابل رویت است).

❖ **نرم‌افزار حروف‌چینی**: نرم‌افزار Microsoft Word 2013 یا بالاتر

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

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

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

❖ **چکیده فارسی:**

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

❖ **چکیده انگلیسی:** باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ **واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:**

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

❖ **متن مقاله:**

متن کامل مقاله در دو فایل جداگانه شامل یک فایل ورد با قلم نازک B Nazanin با اندازه ۱۲ برای زبان فارسی و قلم Times New Roman با اندازه ۱۰ برای زبان انگلیسی و با فاصله بین خطوط ۱/۵ سانتیمتر به‌صورت تک‌ستونی و یک فایل با فرمت pdf ارائه می‌شود. فایل word مقاله، یک مقاله کامل و شامل تمامی اجزای ضروری است و با جانمایی درست شکل‌ها و جدول‌ها ارائه می‌شود. در فایل pdf، مقاله به‌صورت 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 به‌طور 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، بخش قدردانی در انتهای مقاله و قبل از بخش مراجع نوشته می‌شود. بخش‌های مختلف متن و همه صفحات و همین‌طور تمام سطرها به‌ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند.

- معادل انگلیسی کلمات فارسی که نیاز به توضیح به‌زبان اصلی دارد، وقتی برای اولین‌بار در مقاله به‌کار می‌روند، به‌صورت 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 به‌همراه کاربرگ داده‌های نمودار نیز ضروری است. در فایل pdf مقاله، تمامی شکل‌ها و جدول‌ها در محل خودشان در متن مقاله جانمایی می‌شوند.

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

❖ **مراجع:**

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

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

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

در نگارش انواع مراجع از فرمت زیر استفاده شود:

- **مقاله فارسی:**

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

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 Resources Management*, 31(9), 2561-2578, https://doi.org/10.1007/s11269-018-2011-8.

- **مقاله منتشر نشده:**

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

- **کتاب:**

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

- **بخشی از کتاب:**

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

- **موسسه به‌جای نویسنده:**

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

- **مقالات کنفرانسی:**

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

- **پایان‌نامه:**

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:

براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۳ به مجله ارسال می شود باید مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ چهار میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۳۱۰۱-۰۹۹۰-۸۳۷۰-۵۸۵۹ به‌نام انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه دانشگاه (کد ۱۸۶) واریز و فیش آن را به‌همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 9, No. 3, Autumn 2024

License from Ministry of Science, Research and Technology of Iran: No. 3/18/290129 on 6 March 2017.

License from Ministry of Culture and Islamic Guidance: No. 86092 on 20 January 2020.

Concessionaire:	**Iran Water and Wastewater Association (IWWA)**
Director-in-Charge:	**Tabesh, M. (Ph.D.)**
Editor-in-Chief:	**Haghighi, A. (Ph.D.)**

Editorial Board:

Farmani, R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Exeter (UK)
Giustolisi, O. (Ph.D.): Professor, University of Bari (Italy)
Jalili Ghazizadeh, M.R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Nazif, S. (Ph.D.): Associate Professor, University of Tehran
Rashidi Mehrabadi, A. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Safavi, H.R. (Ph.D.): Professor, Isfahan University of Technology
Sajadifar, S.H. (Ph.D.): Tehran Water and Wastewater Engineering Company and Assistant Professor, Islamic Azad University
Sarrafzadeh, M.H. (Ph.D.): Professor, University of Tehran and Chairholder of UNESCO Chair on Water Reuse
Savic, D. (Ph.D.): Professor, University of Exeter (UK)
Tabesh, M. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Takdastan, A. (Ph.D.): Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Science
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:

Amini, H. (Ph.D.): Managing Director, National Water and Wastewater Engineering Company (NWWEC)
Ghane, A.A. (M.Sc.): The head of the Coordination Center of Water and Wastewater Knowledge, Industry, Market, Scientific Vice Presidency
Ghannadi, M. (M.Sc.): Director General of the Office of Research, Development and Industry Relations, NWWEC
Honari, H. (M.Sc.): Retired Faculty Member, Tehran University of Medical Science
Salamat, A. (Ph.D.): Director General of the Office of Energy and Control System, NWWEC

Editorial Staff:	**Akhtari, N.**
Graphic Designer:	**Shahangian, S.A. (Ph.D.)**
Page Setting:	**Akhtari, N.**
Publisher:	**Iran Water and Wastewater Association (IWWA)**
Address:	**No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran**
Tel:	**+98 21 88956097**
Fax:	**+98 21 88391390**
Print ISSN:	**2588-3941**
Online ISSM:	**2588-396X**
E-Mail:	**info@jwwse.ir**

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

انجمن آب و فاضلاب ایران

ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 9, No. 3, Autumn 2024

Preface (Introducing the Project of Preparing Oral History of Iran's Water and Wastewater Industry) 2
Dr. Massoud Tabesh

Papers

Identifying and Investigating the Factors Affecting Household Water Consumption with the Hybrid Approach of FDelfi, FDelphi and FTopsis 4
Habibollah Dadashi Divkolaei, Ali Sorayaei and Seyed Ali Nabavi Chashmi

Daily Urban Water Consumption Prediction and Optimization of Pumping Station Operation Hours: A Case Study of Najaf Abad 17
Pedram Jazayeri, Hamidreza Safavi, Mohamadreza Nazemizadeh, Mohamad Saleh Ebrahimi, and Alireza Rahmatpanah

Optimizing Conditions for the Decolorization of Reactive Red 194 in Synthetic Wastewater by Native Fungus Trametes Species 29
Fatemeh Alimohammadi, Zahra Ghobadi Nezhad and Seyyed Mehdi Borghei

The Effect of Pulsed Electric Field (PEF) in Deactivating Biological Factors in the Wastewater Process of Conventional Water Treatment Plants 42
Noushin Osouleddini, Mohammad Ali and Mohammad Abdollahzadeh

Application of Nanowire Cu for Removal of Methyl Orange from Synthetic Wastewater Using Ultrasonic Waves: Response-Surface Methodology 51
Saeid Khodadoust, Mehri Ebadi and Fatemeh Zeraatpisheh

Controlling the Electrical Conductivity of Water by Changing the Design of the Plasma Reactor 62
Fatemeh Baharlounezhad, Mohammad Ali Mohammadi, Targol Naghibzadeh, Mohammad Sadegh Zakerhamidi

General Section

Roundtable (Specialized Session on Investment Solutions and Challenges in Reducing Non Revenue Water in Water Supply Systems) 68
Book Presentation 77
Best Thesis 78
IWWA News 80