



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴

انجمن آب و فاضلاب ایران

- ۲ پیشگفتار (عوامل موثر بر تشدید تنش آبی در کشور)
دکتر بنفشه زهرایی
- مقالات علمی
- ۳ بررسی میزان میکروپلاستیک‌ها در پساب و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب و کارایی واحدها در حذف میکروپلاستیک‌ها
معصومه طاهریان، افشین تکدستان، رضا دهبندی، نعمت‌الله جعفرزاده حقیقی فرد و محمدجواد محمدی
- ۱۱ مطالعه کمی و کیفی استفاده مجدد از زهاب زهکش‌های نواحی غربی منتهی به دریای خزر و مرکزی در استان گلستان
منیره فغانی و محمد نوری
- ۱۹ بررسی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن خورشیدی ترکیب‌شده با هواگرم‌کن با تغییر پارامترهای مربوط به هواگرم‌کن خورشیدی دومسیره
پریسا آذری، آرش میرعبداله لواسانی، نادر رهبر و کامیار محمدی
- ۲۹ مکان‌یابی نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از رویکرد واسنجی توسط الگوریتم بهینه‌سازی ملخ و خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک
رضا معاشری، رضا احمدی کهنعلی و محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده
- ۴۷ امکان‌سنجی راه‌کارهای کاهش مصرف آب در نیروگاه‌های حرارتی: مطالعه موردی نیروگاه شهید مدحج اهواز حسین ساسانی و شهرزاد احسان‌منش
- ۵۷ بررسی شرایط بهینه رشد و امکان‌سنجی حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن با استفاده از ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در محیط آبی
ریحانه فلاح، رویا مافی غلامی، امید توکلی و حمید مقیمی
- مطالب عمومی
- ۶۸ گزارش کنگره
ایده برتر
- ۸۲ معرفی کتاب
- ۹۰ اخبار انجمن
- ۹۱

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۱۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴

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

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر علی حقیقی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه



دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران
دکتر تیکو تانیمبو: دانشیار، دانشگاه ویت واتر سراند، ژوهانسبورگ، آفریقای جنوبی
دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
دکتر افشین تکدستان: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز
دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی
دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی
دکتر دراکان ساویچ: استاد، دانشگاه اگزتر، لندن
دکتر سید حسین سجادی فر: شرکت آب و فاضلاب تهران و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی
دکتر محمدحسین صرافزاده: استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران و رئیس کرسی یونسکو در باز یافت آب

دکتر حمیدرضا صفوی: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
دکتر ناصر طالب بیدختی: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شیراز
دکتر راضیه فرمائی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان
دکتر اوراز یو گیوستولوسی: استاد، دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا
دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران
دکتر منوچهر وثوقی: استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف
دکتر جعفر یزدی: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

دکتر هاشم امینی: مدیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
مهندس علی اصغر قانع: رئیس کانون هم‌هنگی دانش، صنعت، بازار آب و فاضلاب، معاونت علمی ریاست جمهوری
مهندس مجید قنادی: مدیر دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
مهندس حمیدرضا هنری: عضو هیئت علمی بازنشسته دانشگاه علوم پزشکی تهران

شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

ناهید اختری
ناهید اختری، دکتر سید احمدرضا شاهنگیان
انجمن آب و فاضلاب ایران
تهران، خیابان طالقانی، بین وصال و قدس، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷
۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷
۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰
2588-3941
2588-396X
info@jwvse.ir

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:



عوامل موثر بر تشدید تنش آبی در کشور



بنفشه زهرایی، استاد و رئیس موسسه آب دانشگاه تهران

تصور بسیاری از مدیران و کارشناسان صنعت آب این بوده است که با توجه به سهم اندک مصارف آب شهری نسبت به کل مصارف آب و توان‌مندی‌های کشور در طراحی و اجرای زیرساخت‌های تامین، توزیع و تصفیه آب و فاضلاب، تنش‌های آبی در سطحی که امروز تجربه می‌کنیم در شهرها و به‌خصوص کلان‌شهرهای کشور رخ نخواهد داد. این اشتباه محاسباتی عمدتاً به دلیل شناخت ناکافی از چند نقطه ضعف اساسی نظام حکمرانی کشور است:

- ناتوانی یا عدم وجود اراده سیاسی برای محدود کردن توسعه شهرهای بزرگ و به‌خصوص کلان‌شهرها، باعث شده که حد و مرزی برای رشد افقی و عمودی اکثر شهرهای بزرگ وجود نداشته باشد. کمبود منابع مالی شهرداری‌ها در شهرهای بزرگی نظیر تهران از طریق فروش تراکم متحرک تامین می‌شود که خود عامل رشد عمودی این شهرها است. حریم شهرها به رسمیت شناخته نمی‌شود و رشد افقی به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم زمینه‌ساز افزایش جمعیت خود شهرها یا جمعیت حاشیه‌نشین آن‌ها شده است. در مواردی که آبخوان‌ها منبع اصلی تامین آب شهر هستند، توسعه سایر بخش‌های مصرف‌کننده آب و رقابت بین بخش‌های مختلف در دسترسی به منابع آب زیرزمینی محدود در این آبخوان‌ها، منجر به تشدید فشار بر این منابع و کاهش آبدی قابل ملاحظه چاه‌ها شده است.
- عدم شناخت از شدت اثرات پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بر منابع و مصارف آب باعث شده، اثرات آن در کاهش جریان ورودی به سدها و کاهش تغذیه آبخوان‌ها و افزایش مصارف آب حقیر شمرده شده و برنامه‌ریزی مناسبی برای سازگاری با تغییر اقلیم انجام نشود. افزایش قابل‌ملاحظه دما به‌خصوص در فصل بهار باعث شده دوره زمانی استفاده از

تجهیزات تهویه مطبوع که بعضاً مصرف‌کننده آب نیز هستند، طولانی‌تر شود و هم‌چنین مصارف آب بهداشتی و فضای سبز افزایش قابل‌ملاحظه‌ای پیدا کنند. این غفلت راهبردی باعث شده که تاکنون حتی یک گزارش جامع در مورد اثرات تغییر اقلیم بر منابع و مصارف آب ایران تهیه نشده باشد.

- عدم صدور پروانه‌های بهره‌برداری از منابع آب سطحی و سامان ندادن وضعیت حق‌آبه‌بران از این منابع، باعث شده اکثر سدهای کشور با کاهش قابل‌توجه جریان ورودی مواجه باشند. تا زمانی که ساماندهی بهره‌برداران مجاز و غیرمجاز از منابع آب سطحی صورت نگیرد، باید انتظار داشت اثر تجمعی تغییر اقلیم و رشد برداشت‌های مجاز و غیرمجاز آب سطحی در حوضه‌های آبریز سدهای تامین‌کننده آب شهرها، منجر به کاهش منابع آب قابل‌تامین شهرها شود.
- بی‌توجهی به تدوین و اجرایی کردن استانداردهای مرتبط با مدیریت مصرف آب از جمله مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان و استانداردهای برچسب آب لوازم خانگی آب‌بر، منجر شده شهروندان از حداقل ابزارهای مدیریت مصرف آب بی‌بهره باشند. نظیر همین چالش در بخش انرژی نیز وجود داشته ولی پس از بروز آثار منفی ناترازی انرژی، تدوین و اجرایی کردن استانداردهای مدیریت مصرف انرژی، به‌سرعت در دستور کار قرار گرفت. این تغییر رویکرد، حتی با روند کندتری در بخش آب مشاهده نمی‌شود.
- در کنار تمام موارد ذکر شده، افت کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی ناشی از کاهش تغذیه و افزایش ورود آلاینده‌ها به این منابع، فشار مضاعفی را بر سیستم‌های تامین و تصفیه وارد خواهد کرد. ضعف در برخورد با آلوده‌کنندگان منابع آب و خاک، به‌زودی مشکلات کیفیت آب را که تاکنون در سایه کم‌آبی کمتر به آن‌ها توجه شده، در مرکز توجه در بسیاری از شهرهای کشور قرار خواهد داد.
- تا زمانی که نظام حکمرانی کشور، توجه کافی به این نقاط ضعف نداشته باشد، باید انتظار داشته باشیم، تنش‌های آبی در شهرها رو به گسترش باشد. در این میان، از بازخورد مصرف‌کننده نیز نباید غافل بود. تجربه گسترش استفاده از مخازن ذخیره آب و دستگاه‌های تصفیه خانگی خود می‌تواند باعث رشد پیش‌بینی نشده در مصارف آب شهری باشد.

Review Paper

مقاله مروری

Investigating the Amount of Microplastics in Wastewater Treatment Plant Effluent and Sludge and the Efficiency of Units in Removing Microplastics

بررسی میزان میکروپلاستیک‌ها در پساب و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب و کارایی واحدها در حذف میکروپلاستیک‌ها

Masoume Taherian¹, Afshin Takdastan^{2*}, Reza Dehbandi^{3,4}, Nematolah Jafarzadeh Haghhighifard² and Mohammadjavad Mohammadi⁵

معصومه طاهریان^۱، افشین تکدستان^{۲*}، رضا دهبندی^{۳،۴}، نعمت‌الله جعفرزاده حقیقی فرد^۲ و محمدجواد محمدی^۵

1- M.Sc. Student, Student Research Committee, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.

2- Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

۲- استاد مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست‌محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.

3. Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran.

۳- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران.

4. School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham, UK.

۴- دانشکده جغرافیا، علوم زمین و محیط‌زیست، دانشگاه بیرمنگهام، اجباستون، بیرمنگهام، انگلستان.

5- Assistant Professor, Environmental Technologies Research Center, Medical Basic Sciences Research Institute, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

۵- استادیار مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست‌محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.

*Corresponding Author, Email: afshin_ir@yahoo.com

*نویسنده مسئول، ایمیل: afshin_ir@yahoo.com

Received: 17/01/2024

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

Revised: 01/10/2024

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

Accepted: 10/11/2024

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

The aim of this paper is to investigate the quantitative and qualitative characteristics of microplastics in the effluent and sludge of municipal wastewater treatment plants (WWTPs), as well as the removal efficiency of individual treatment units in eliminating microplastics from wastewater. In this review study, based on global experience and an assessment of recent and reliable international and Iranian studies, relevant articles published between 2011 and 2023 were searched in the SID, ScienceDirect, Google Scholar, and Scopus databases using the keywords wastewater, microplastics, wastewater treatment plant, sewage sludge, and treatment units. According to the reviewed studies, the lowest reported removal efficiency was 73% (188 MPs/L in influent wastewater and 50 MPs/L in effluent), while the highest removal efficiency reached 97.8% (69 MPs/L in influent wastewater and 1.73 MPs/L in effluent). In addition, the average microplastic removal efficiencies achieved by grit chambers, primary sedimentation, and secondary sedimentation were 44.95%, 52.9%, and 73.73%, respectively. The lowest and highest concentrations of microplastics in treated sludge were 510 and 4.95×10^5 particles per kilogram of dry sludge weight, respectively. Based on the findings, the main mechanisms responsible for microplastic removal from wastewater include screening, surface adsorption, sedimentation, and attachment to biological aggregates, depending on the polymer type.

هدف از این مقاله بررسی کمی و کیفی میکروپلاستیک‌ها در پساب و لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و کارایی هریک از واحدهای تصفیه‌خانه در حذف آن‌ها از پساب است. در این مطالعه مروری، با توجه به تجربیات جهانی و بررسی مطالعات معتبر و جدید خارجی و ایرانی مقالات مرتبط در پایگاه‌های داده Scopus، Google scholar، Science direct، SID و Scopus با کلمات کلیدی پساب، میکروپلاستیک، تصفیه‌خانه فاضلاب، لجن فاضلاب و واحدهای تصفیه‌خانه بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۳ جستجو شدند. براساس مطالعات مختلف، کم‌ترین راندمان حذف ۷۳٪ (۱۸۸ MPs/L) در فاضلاب ورودی و ۵۰ MPs/L (در پساب خروجی) و بالاترین راندمان ۹۷/۸٪ (۶۹ MPs/L) در فاضلاب ورودی و ۱/۷۳ MPs/L (در پساب خروجی) به‌دست آمد. هم‌چنین میانگین حذف میکروپلاستیک‌ها توسط دانه‌گیر ۴۴/۹۵٪، ته‌نشینی اولیه ۵۲/۹٪ و ته‌نشینی ثانویه ۷۳/۷۳٪ حاصل شد. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان میکروپلاستیک لجن تصفیه‌شده به‌ترتیب ۵۱۰ و 4.95×10^5 ذره در هر کیلوگرم وزن خشک لجن بود. باتوجه به نتایج تحقیقات، مهم‌ترین مکانیسم‌های حذف میکروپلاستیک، غربال کردن، جذب سطحی، ته‌نشینی و جذب به توده بیولوژیکی بسته به نوع پلیمر از پساب است.

Keywords: Effluent, Microplastics, Wastewater Treatment Plant, Sewage Sludge and Treatment Plant Units.

کلمات کلیدی: پساب، میکروپلاستیک، تصفیه‌خانه فاضلاب، لجن فاضلاب و یکان‌های تصفیه‌خانه.

فاضلاب، در لجن فاضلاب یافت می‌شوند (طاهریان و تکدستان، ۱۴۰۲).

میکروپلاستیک‌ها هم‌چنین می‌توانند به‌عنوان یک لایه خاص عمل نمایند که مجموعه‌ای از گونه‌های بیماری‌زا / باکتریایی متمایز را جذب و انتقال داده و تداوم ژن‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی را در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب افزایش می‌دهند. در مطالعه‌ای دیگر، حضور میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب شهر ساری، به‌عنوان یکی از منابع احتمالی ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط‌زیست، بررسی شد (پطروودی و همکاران، ۱۴۰۱). نتایج نشان داد در هر گرم وزن خشک حدود $16 \pm 128/81$ میکروپلاستیک وجود دارد که از این میزان $15/3 \pm 112/66$ میکروفاایبر و $1/93 \pm 16/15$ میکروذره بودند. از این‌رو فیضی و همکاران (۱۴۰۲)، مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه در تهران انجام دادند. هدف از انجام این تحقیق، بررسی میزان انتشار ذرات میکروپلاستیک از تصفیه‌خانه فاضلاب در منطقه ۲۲ شهر تهران بود. پس از تصفیه به‌طور متوسط $2/15$ ذره میکروپلاستیک در هر لیتر فاضلاب یافت شد. بنابراین، میلیاردها میکروپلاستیک هر سال از طریق کاربردهای پساب و لجن فاضلاب در محیط‌زیست رها می‌شوند. وجود میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست و بلع آن‌ها توسط جانوران می‌تواند عواقب محیط‌زیستی و بهداشتی به‌دنبال داشته باشد و درنهایت سبب بروز پیامدهای مختلفی برای سلامت انسان و ارگانسیم شود (طاهریان و تکدستان، ۱۴۰۱). از جمله این عواقب برای انسان می‌توان به بروز اختلال در کار غدد درون‌ریز و اختلال در کار غدد جنسی اشاره نمود. هم‌چنین انواع میکروپلاستیک‌ها از طریق مکانیسم جذب، واجذب و جذب سطحی و هم‌چنین هوازگی و بالابودن نسبت سطح به حجم قادر به انتقال بسیاری از آلاینده‌های آلی سمی پایدار هستند. هدف از این مطالعه، فراوانی میکروپلاستیک‌ها در پساب و لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری است.

۲- تهنشینی اولیه

براساس مطالعات شناسایی‌شده، به‌طور متوسط ۷۲ درصد (محدوده ۳۲-۹۳ درصد) ذرات میکروپلاستیک در مرحله پیش‌تصفیه و تصفیه اولیه فاضلاب حذف شدند. در مطالعه‌ای که توسط Ren et al. (2020) در تصفیه‌خانه فاضلابی در چین صورت گرفت، مشخص شد که نرخ حذف میکروپلاستیک‌ها در طی فرآیند تصفیه اولیه فاضلاب حدود $35/6$ درصد بود. فناوری تهنشینی اولیه عمدتاً ذرات قابل‌ته‌نشینی از جمله

امروزه، بین عوامل مختلفی که به‌عنوان منابع آلوده‌کننده محیط به‌شمار می‌روند، پلاستیک‌ها و مشتقات آن در جایگاه خاصی قرار دارند. بخش اعظمی از این پلاستیک‌ها در ابعاد میکرو و نانو هستند. به‌همین دلیل، میلیاردها تن از این ترکیبات که به‌سادگی زیست‌تخریب‌پذیر نبوده و در برابر تجزیه بیولوژیکی بسیار مقاوم‌اند، وارد محیط زیست شده‌اند (طاهریان و تکدستان، ۱۴۰۲). در دهه‌های اخیر، آلودگی منابع آبی به میکروپلاستیک‌ها یکی از نگرانی‌های محیط‌زیستی است (تکدستان و همکاران، ۱۴۰۰). میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان نوعی آلاینده محیطی نوظهور که اندازه‌ای کم‌تر از ۵ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۱ میکرومتر دارند، اخیراً بر روی انواع زیرلایه‌ها در جهان شناسایی شده‌اند. میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه را می‌توان در محیط‌های مختلف از جمله دریاچه‌ها، فاضلاب‌ها، اعماق دریا، رودخانه‌ها، آب آشامیدنی، آب‌های سطحی و رسوبات دریایی یافت (طاهریان و تکدستان، ۱۴۰۱).

برخی از ذرات میکروپلاستیک اولیه به‌کاررفته در لباس، کیسه‌های پلاستیکی و بطری‌هایی که در مدت‌زمان طولانی در معرض سایش، هوازگی، اشعه فرابنفش خورشید، تجزیه زیستی یا تخریب مکانیکی قرارداشتند، تخریب شده و میکروپلاستیک‌های ثانویه را تشکیل دادند. اغلب، مقدار زیادی از ایاف و ذرات پلاستیکی، خصوصاً در طی فرآیندهای شست‌وشوی پارچه و البسه از طریق فاضلاب خانگی یا سیستم‌های زهکشی به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌رسند که ممکن است در آب‌ها تخلیه شوند یا توسط لجن پراکنده شوند (علویان پطروودی و هاشمی، ۱۴۰۰).

براساس بسیاری از مطالعات صورت‌گرفته، میکروپلاستیک‌هایی که دانسیته بالاتری دارند، از فاضلاب حذف و در لجن واحدهای مختلف، تهنشین شده و تجمع می‌یابند. از این‌رو، بیش‌ترین حذف میکروپلاستیک‌ها را در لجن واحدهای مختلف یک تصفیه‌خانه فاضلاب می‌توان یافت. بخش قابل‌توجهی از ذرات در مراحل تصفیه اولیه و ثانویه حذف می‌شوند و وارد لجن می‌شوند. لجن، پرحجم‌ترین زائده تصفیه‌خانه است که انواع آلاینده‌های نوظهور از جمله میکروپلاستیک‌ها از طریق تهنشینی و جذب سطحی در خلال تصفیه وارد لجن تصفیه‌خانه می‌شوند (طاهریان و تکدستان، ۱۴۰۲). نرخ حذف، تحت تأثیر ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها مانند اندازه، شکل و تراکم است. بر همین اساس، اکثر میکروپلاستیک‌های حذف‌شده در طی تصفیه

نگهداری هیدرولیک، هوادهی) نیز ممکن است بر بهبود مکانیسم مؤثر حذف MP تأثیر بگذارد (Acarer, 2023). در فرآیندهای بی‌هوازی، به دلیل سرعت ته‌نشینی بالاتر MPsهای بزرگ (1/0-5 میلی‌متر) در مقایسه با MPهای کوچک (> 0/1 میلی‌متر)، میکروپلاستیک‌های بزرگ با راندمان بالاتر با مکانیسم ته‌نشینی حذف می‌شوند (شریفی و همکاران، 1402).

در حوض هوادهی، میکروارگانیزم‌ها مواد پلیمری خارج‌سلولی را ترشح می‌کنند که چسبناک و لزج هستند و می‌توانند باعث چسبیدن میکروارگانیزم‌ها به یکدیگر و تشکیل لخته‌هایی برای جذب و تجزیه مواد آلی شوند. این لخته‌ها مواد پلاستیکی مانند ذرات و الیاف را نیز جذب می‌کنند و در نهایت به دلیل افزایش جرم آن‌ها با مواد متصل شده در حوض ته‌نشینی ثانویه، ته‌نشین می‌شوند. فراوانی میکروپلاستیک به تدریج از ته‌نشینی اولیه به سمت ته‌نشینی ثانویه کاهش می‌یابد. از طرفی در مطالعات مختلف، فراوانی پس از فرآیندهای تصفیه ثانویه از عدم شناسایی تا $10^3 \times 7/86$ ذره در لیتر (مقدار متوسط: $10^2 \times 4/67$ ذره در هر لیتر؛ مقدار متوسط: $6/90$ ذرات در هر لیتر) متغیر بود که منجر به کاهش فراوانی $20/45\%$ تا $95/45\%$ شد. از آنجا که حجم کل لجن در تصفیه‌خانه مورد مطالعه $7/95 \times 10^7$ لیتر تخمین زده شد، غلظت جامدات نظری در لجن معادل $34/3$ برابر میانگین بار ورودی روزانه پردازش شده در نظر گرفته شد. با این حال، نمونه لجن فعال برگشتی فقط حاوی یک قطعه پلاستیکی قابل مشاهده بود که نشان‌دهنده راندمان حذف 95 درصدی در طول تصفیه اولیه بود. در یک مطالعه انتقادی که در رابطه با حذف میکروپلاستیک در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب توسط Liu et al. (2021) انجام گرفت، مشخص شد پس از مرحله دوم که همان تصفیه ثانویه است، کاهش بیشتری تا حدود $20/45$ - $95/45\%$ از میکروپلاستیک‌ها مشاهده شد. در مطالعه Acarer et al. (2023)، اشاره شد که راندمان حذف MP در مخزن ته‌نشینی ثانویه $76/5\%$ بود.

4- تغلیظ لجن

مطالعه‌ای توسط هاشمی و همکاران (1400) در رابطه با میکروپلاستیک‌های موجود در تصفیه‌خانه فاضلاب ساری انجام شد و محاسبات آن نشان داد، روزانه به طور متوسط حدود 642 میلیون میکروپلاستیک وارد مخزن تغلیظ‌کننده لجن شدند که پس از آگیری به حدود 599 میلیون کاهش یافت که حدود 6 درصد آن وارد سوپرناتانت شد. آگیری، حجم مایع لجن را نیز حدود 90% کاهش می‌دهد. نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش

میکروپلاستیک‌های معلق را حذف می‌کند. بیش‌تر میکروپلاستیک‌های شناور به لخته‌ها چسبیده و باهم رسوب می‌کنند؛ این میکروپلاستیک‌ها با لجن اولیه مخلوط می‌شوند.

در مطالعه‌ای که بر روی حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در دنیا انجام شده بود، فراوانی میکروپلاستیک پس از فرآیندهای تصفیه اولیه از $0/22$ ذره در لیتر تا $10^4 \times 1/26$ ذره در لیتر متغیر بود. به طوری که فراوانی آن‌ها $4/06$ - $98/96\%$ در مقایسه با فراوانی میکروپلاستیک‌ها در ورودی کاهش یافت (Jiang et al., 2020). لجن واحدهای مختلف تصفیه‌خانه در جداسازی میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب بود. فراوانی عمده میکروپلاستیک‌ها به‌ازای هر گرم وزن خشک لجن اولیه نشان می‌دهد که فرآیند ته‌نشینی فیزیکی در تصفیه اولیه، بخش قابل توجهی از میکروپلاستیک‌ها که چگالی بالاتر از آب یا اندازه بزرگ داشتند را حذف می‌کند (Ahmed et al., 2024). در نتیجه، این نوع میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب جدا شده و به‌همراه مواد جامد قابل ته‌نشینی که از مواد آلی یا معدنی تشکیل شده‌اند، وارد لجن در مخزن ته‌نشینی اولیه می‌شوند. جامدات آلی غیرقابل ته‌نشینی و میکروپلاستیک‌های سبک یا کوچک که در مخزن ته‌نشینی اولیه قابل جداسازی نیستند، وارد هوادهی می‌شوند (پطروودی و هاشمی، 1398).

بر اساس مطالعات صورت‌گرفته میزان حذف پلیمرهایی از جمله PE, PS و PET در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، با افزایش چگالی افزایش یافت و راندمان حذف 92 ، $87/8$ ، $94/8$ و $96/4$ درصد برای PE, PP, PS و PET به ترتیب به دست آمد. از سوی دیگر، تجمع آلاینده‌ها یا تشکیل بیوفیلم بر روی سطح MP نیز می‌تواند باعث افزایش چگالی میکروپلاستیک‌ها مستقل از ساختار پلیمری و موقعیت متفاوت MP در ستون آب نسبت به آن چه انتظار می‌رود، شود و راندمان حذف متفاوت از حد انتظار به دست آید (Acarer, 2023).

3- ته‌نشینی ثانویه

میکروپلاستیک‌های کوچک‌تری که از ته‌نشینی اولیه عبور کردند و وارد حوض هوادهی شدند، در آنجا با اکسیژن و لجن که عمدتاً حاوی میکروارگانیزم‌ها است، ترکیب می‌شوند و متعاقباً برای ته‌نشین شدن وارد حوض ته‌نشینی ثانویه می‌شوند. در بیوراکتورهایی که تصفیه بیولوژیکی انجام می‌شود، MP با دو مکانیسم اصلی حذف می‌شوند: اتصال MPs به ارگانیزم‌ها یا لجن به دلیل ساختار آب‌گریز و رسوب MPs. نوع فرآیند تصفیه بیولوژیکی (بی‌هوازی/هوازی) و شرایط خاص فرآیند تصفیه (زمان

Liu et al (2019) مطالعه‌ای با عنوان انتقال و سرنوشت میکروپلاستیک‌ها در طی فرآیند لجن فعال معمولی در یک تصفیه‌خانه فاضلاب چین انجام دادند. هدف از این مطالعه، بررسی انتقال و سرنوشت ذرات MPs در یک WWTP براساس فرآیند لجن فعال مرسوم بود. نتایج نشان داد که فراوانی MPs در پساب به شدت کاهش یافته است (از 1 nL^{-1} در ورودی به $0.64/4$ در پساب با نرخ حذف 36.4%).

میکروپلاستیک‌های حذف‌شده عمدتاً به لجن منتقل و ذخیره شدند و فراوانی MPs در لجن آبیگری $31/240 \pm 4/3 \text{ ng-l}$ (لجن خشک) با اندازه متوسط $222/6 \mu\text{m}$ بود. کسر بیش‌تر میکروبیید و فوم در لجن $17/1\%$ و $12/9\%$ نشان می‌دهد که MP با اندازه کوچک‌تر (به ترتیب اندازه متوسط $90/3$ و $240/1$ میکرومتر) در فاضلاب مستعد جذب و انتقال به لجن هستند. پلی‌آمید (نایلون) با $54/8\%$ درصد براساس طیف رامان، جزء پلاستیکی اصلی فاضلاب بود که نشان می‌داد ذرات MPs عمدتاً از فاضلاب تخلیه‌شده توسط شستن لباس‌ها و صنایع تولید و فراوری پلیمر و به دنبال آن محصولات مراقبت شخصی منشاء می‌گیرند (Liu et al., 2019).

وجود تعداد بالای MPs در لجن واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب نشان‌دهنده نقش اصلی این فرآیندها در جداسازی میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب است. بررسی نقش فرآیندهای تصفیه لجن نشان داد که فرآیند حذف TSS در حوض ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی MLSS در حوض ته‌نشینی ثانویه و همچنین فرآیندهای تغلیظ و آبیگری نقش مهمی در کاهش تعداد MPs در پساب نهایی دارد. بنابراین، دانستن نقش این فرآیندها که منجر به جداسازی تعدادی از میکروپلاستیک‌ها از پساب دفعی می‌شود، می‌تواند به مدیریت بهتر پساب دفعی و کاهش میزان ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط کمک نماید. براساس نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات صورت‌گرفته، با وجود کارایی تصفیه‌خانه‌ها در حذف نسبتاً خوب میکروپلاستیک‌ها از پساب، تعداد زیادی MP به دلیل حجم بالای پساب تولیدی در روز وارد محیط می‌شوند.

بنابراین تحقیقات آینده باید بر اهمیت نقش پساب تخلیه‌شده تمرکز کند. از این رو می‌توان با ارتقای سیستم‌های تصفیه فاضلاب و همچنین واحدهای تصفیه‌خانه به منظور افزایش کارایی حذف میکروپلاستیک‌ها (سیستم‌های تصفیه فاضلاب برای حذف آلاینده میکروپلاستیک طراحی نشده‌اند) تصفیه‌خانه را برای حذف این آلاینده راهبری کرد. ایجاد استراتژی‌های کاهش و برنامه‌های پاکسازی و پایش محیط‌زیستی در تمام نقاط به‌ویژه

سریع سانتریفیوژها، بیش‌تر آب را از جامدات موجود در لجن جدا کرده و ماده‌ای به‌نام جامد زیستی ایجاد می‌کند. سپس آب استخراج‌شده از فرآیند، برای پردازش مجدد به ابتدای تصفیه‌خانه بازگردانده می‌شود. کیک بیوسالید تقریباً 25 تا 27% درصد وزنی جامد، وزن دارد. بر این اساس می‌توان به اهمیت فراوان آب دفع‌شده از فرآیندهای تصفیه لجن در بازگشت تعداد زیادی میکروپلاستیک‌ها به ابتدای فرآیند تصفیه ثانویه (مخزن هوادهی) اشاره کرد. فرآیندهای تصفیه پیشرفته، مانند فیلتراسیون، برای کاهش بیش‌تر میکروپلاستیک‌ها در آب دفع‌شده و همچنین محدودکردن بار اضافی واردشده به تصفیه‌خانه ممکن است به کاهش تعداد میکروپلاستیک‌ها در لجن و پساب نهایی WWTP نیز کمک نماید. علاوه بر این، مقایسه تعداد میکروپلاستیک‌ها در لجن اولیه و ثانویه تأیید می‌کند که اکثر میکروپلاستیک‌ها در ته‌نشینی اولیه از فاضلاب ورودی جدا شده‌اند. این یافته با مطالعات قبلی که بیانگر نقش بیش‌تر ته‌نشینی اولیه در جداسازی میکروپلاستیک‌ها نسبت به رسوب ثانویه است، مطابقت دارد (Alvim et al., 2020; Talvitie et al., 2017).

۵- هاضم لجن

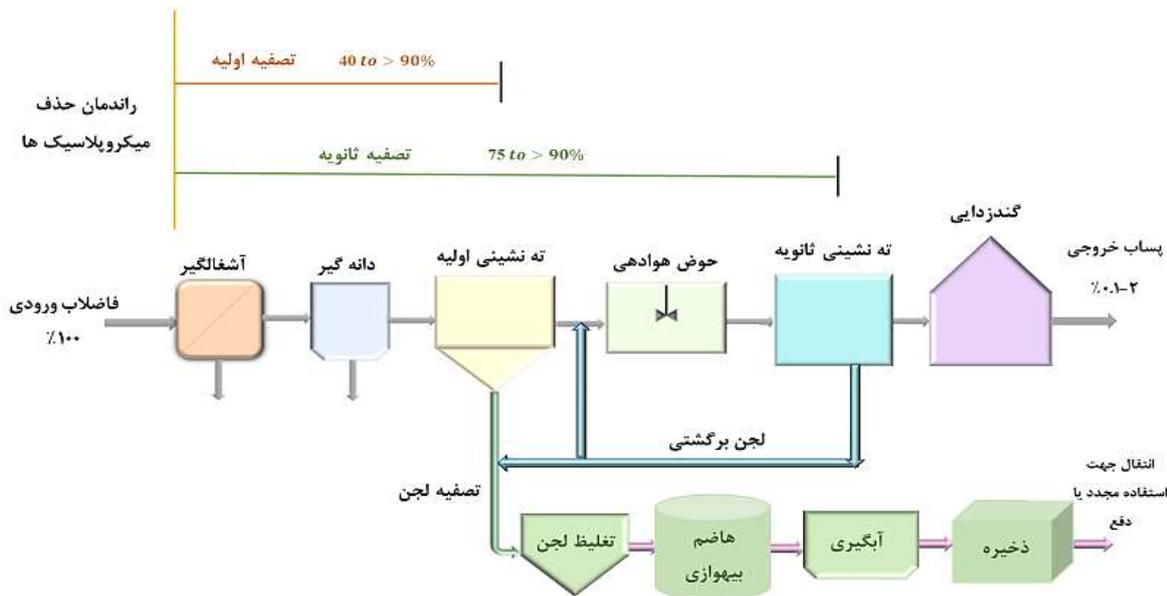
تحقیقات محدودی در مورد تعداد میکروپلاستیک‌ها در لجن تثبیت‌شده، صورت‌گرفته است. در این رابطه Lares et al. (2018)، در مطالعه خود بر روی تعداد میکروپلاستیک‌ها در یک WWTP در فنلاند، حدود 171 میکروپلاستیک در هر گرم لجن خشک هضم‌شده را شمارش کردند. مقایسه تعداد میکروپلاستیک‌ها در لجن هضم‌شده (خروجی مخزن هضم هوازی) و در لجن تغلیظ (خروجی مخزن تغلیظ‌کننده لجن یا ورود به مخزن هضم هوازی) در مطالعات نشان می‌دهد که فرآیند هضم، تأثیر زیادی بر تعداد میکروپلاستیک‌ها نداشته است. براساس مطالعه هاشمی و همکاران (۱۳۹۸) در تصفیه‌خانه فاضلاب ساری، نتایج نشان داد که در هر گرم از لجن خشک حدود 238 ذره میکروپلاستیک وجود دارد.

۶- میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب

بسیاری از ذرات میکروپلاستیک بنابه دلایلی از جمله دانسیته سنگین‌تر، ته‌نشینی ثقیلی، جذب سطحی و تماس بین‌ذره‌ای در لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، تجمع می‌یابند. شکل ۱ راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه را نشان می‌دهد (شکل ۱ اقتباس شده از مقاله مرجع و با اندکی اصلاحات است).

مفید باشد. جدول ۱ مطالعات انجام شده بر تعداد میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نقاط مختلف را نشان می‌دهد.

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، در درازمدت بسیار کارآمد هستند. هم‌چنین اتخاذ راه‌کارهایی برای کاهش ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط از جمله بازیافت پلاستیک‌ها تا حد امکان می‌تواند بسیار



شکل ۱- راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب (Reddy and Nair, 2022)

جدول ۱- مطالعات انجام شده بر روی تعداد میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نقاط مختلف

ردیف	نوع تصفیه‌خانه	اندازه میکروپلاستیک	روش شناسایی	کشور	تعداد میکروپلاستیک‌ها (particles kg ⁻¹ d.w.a and w.wb)	مرجع
۱	اولیه و ثانویه	۱۰۰ تا ۸۰۰ میکرومتر	Visual inspection and FT-IR	چین	۲۴۰۳۰	Liu et al. (2019)
۲	اولیه و ثانویه	--	FT-IR	هند	۸۳۰	Patil et al. (2023)
۳	اولیه و ثانویه	۵۰۰ تا ۱۰۰ میکرومتر	ATR-FTIR	مراکش	۸۷/۵۹ ± ۲۶/۲۰ تا ۱۱/۲۷ ± ۷/۰۲	Hajji et al. (2023)
۴	اولیه و ثانویه	۲۷۰ میکرومتر تا ۵۰ میلی‌متر	FESEM-EDX	ایران	۶۳۵-۵۴۰	گنجی (۱۴۰۱)
۵	اولیه و ثانویه	--	FT-IR	ایران	۱۲۸/۸۱ ± ۱۶/۷۴	علویان پطرودی و هاشمی (۱۳۹۸)

کیلومتر مکعب در سال تخلیه می‌شود. بنابراین پساب‌ها از عوامل مهم در انتقال این آلاینده‌های نوظهور به محیط زیست هستند. مطالعه‌ای در رابطه با وقوع، ویژگی‌ها و حذف میکروپلاستیک‌ها در دو تصفیه‌خانه فاضلاب انجام شد که نشان داد میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب از ۱۸۸ MPs/L به ۵۰ MPs/L در پساب کاهش یافته است. هم‌چنین فراوانی در تصفیه‌خانه فاضلاب دیگری (ورودی‌های شهری و صنعتی) بیش‌تر بود و میانگین مقدار ۵۱۹ MPs/L در ورودی و ۸۶ MPs/L در پساب را ثبت کرد (Hajji et al., 2023). مطالعه دیگری توسط حضرتی و همکاران (۱۴۰۰)، در ایران انجام شد که در رابطه با وجود و توزیع ذرات میکروپلاستیک در میکروپلاستیک‌ها و فاضلاب در تصفیه‌خانه فاضلاب بود. در این مطالعه نمونه‌ها از ۴ ایستگاه در مراحل مختلف تصفیه تصفیه‌خانه فاضلاب جمع‌آوری شدند و نتایج بیان کردند که تعداد میکروپلاستیک‌ها از ۹/۲ (ایستگاه ۱-

۷- حذف ذرات میکروپلاستیک توسط تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

تخلیه میکروپلاستیک‌ها به محیط زیست با فاضلاب تصفیه‌شده، به یک نگرانی بزرگ در سراسر جهان تبدیل شده است. پساب تصفیه‌خانه فاضلاب، به‌عنوان منبع بالقوه میکروپلاستیک در محیط آبی شناسایی شده است. با وجود تعداد اندک میکروپلاستیک‌های شمارش شده در پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها و با توجه به حجم زیادی از این پساب که سالانه به محیط‌های آبی تخلیه می‌شوند، مقادیر بالایی از میکروپلاستیک‌ها به ماتریس‌های محیطی مختلف راه پیدا می‌کنند. پساب خانگی و شهری تولیدشده در سطح جهان بالغ بر ۳۶۰ کیلومتر مکعب در سال تخمین زده می‌شود که ۱۹۰ کیلومتر مکعب در سال (۵۲/۸٪) در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تصفیه می‌شود، سپس ۱۴۹

(2022).

مطالعه دیگری در ایران انجام شد که نتایج آن بیان کرد، تعداد میکروپلاستیک‌ها در ورودی و پساب به ترتیب $147/5 \pm 843/2$ و $3/14 \pm 11/13$ ذره در لیتر بود. علی‌رغم حذف مؤثر میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه، به‌طور متوسط سالانه $10^{11} \times 4/47$ و $10^{11} \times 1/03$ میکروپلاستیک از طریق پساب این تصفیه‌خانه به آب‌های دریافت‌کننده تخلیه می‌شود. این بدان معنا است که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توانند یکی از منابع اصلی در محیط‌زیست باشند و باید تلاش شود تا کارایی تصفیه‌خانه‌ها افزایش یابد و آن‌ها به فناوری‌های پیشرفته مجهز شوند (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲). جدول ۲ راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب سراسر دنیا را نشان می‌دهد.

جدول ۲- راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

ردیف	محل	ظرفیت تصفیه‌خانه (m ³ /day)	تعداد میکروپلاستیک‌های ورودی (MP/L)	نوع تصفیه	تعداد میکروپلاستیک‌های پساب (MP/L)	راندمان حذف میکروپلاستیک (%)	مرجع
۱	اسپانیا	۳۵۰۰۰	۱۳/۰۴	حذف روغن و گریس/لجن فعال	$0/31 \pm 0/06$	۹۰/۳	Bayo et al. (2020)
۲	اسپانیا	۴۵۰۰۰	171 ± 42	تصفیه بیولوژیکی/ A2O	$10/7 \pm 5/2$	۹۳/۷	Edo et al. (2020)
۳	استرالیا	۴۸ ML/d	$11/80 \pm 1/10$	پیش‌تصفیه/تصفیه‌اولیه و ثانویه/گندزدایی با UV	$5/23 \pm 0/25$ و $2/7 \pm 0/11$	۷۶/۶۱	Raju et al. (2020)
۴	ترکیه	۸۷۵۰۰	$135/2 \pm 28$	لجن فعال	$8/5 \pm 4/7$	۹۳/۷	Üstün et al. (2022)
۵	چین	--	$0/7-8/72$	A/O (W1) و A/A/O (W2)	$0/07-0/78$	۸۹/۲-۹۳/۶	Zhang et al. (2021)
۶	ایران	۲۲۰۰۰	۵۲/۴۸	لجن فعال متعارف	۲/۲	۹۵	Darvishi et al. (2022)
۷	ایران	۶۰۰۰	۵/۱۵	--	۰/۸۹	۸۲/۷۱	فیضی و همکاران (۱۴۰۱)

۸- نتیجه‌گیری

کوچک‌تر پس از حذف $64/4\%$ (شامل $31/4 \pm 240/3$ ذره در هر گرم وزن خشک) و 72% (شامل 510 تا 760 ذره در هر کیلوگرم وزن مرطوب) در طی فرآیندهای تصفیه وارد لجن شده‌اند. همچنین بر اساس مطالعات انجام‌شده در مناطق مختلف جهان میزان میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، در ورودی از مقادیر 180 ، 188 ، 519 و $9/2$ به ترتیب به 53 ، 50 ، 86 و $0/84$ در پساب کاهش یافت. با این حال به دلیل تخلیه حجم زیادی از پساب، روزانه میلیون‌ها میکروپلاستیک از این تصفیه‌خانه‌ها آزاد می‌شوند. با توجه به نسبت سطح به حجم بالا، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در جذب و انتقال آلاینده‌ها به‌ویژه ترکیبات آلی پایدار و فلزات سنگین نقش مهمی داشته باشند. همچنین ورود

فاضلاب ورودی) به $0/84$ MP/L (ایستگاه ۴-پساب تصفیه‌شده نهایی) در طول فرآیند تصفیه فاضلاب کاهش یافت. این مطالعه نشان داد که علی‌رغم حذف مقادیر بالای میکروپلاستیک‌ها در پساب نهایی تصفیه‌خانه، به دلیل حجم بالای این پساب ($2/828 \times 10^8$ ، لیتر در روز) مقدار قابل توجهی میکروپلاستیک ($2/419 \times 10^7$ ذره میکروپلاستیک) روزانه وارد محیط‌های آبی می‌شود که ممکن است سلامت ماهی‌ها و موجودات آبی و در نهایت سلامت جمعیت محلی را تهدید نماید.

در مطالعه دیگری، مشخص شد که ورودی دارای میانگین $4/3 \pm 180$ MP/L بود و در پساب نهایی به $0/31 \pm 5/3$ MP/L کاهش یافت. علی‌رغم این کاهش قابل توجه، براساس محاسبات صورت گرفته، این WWTP روزانه $2/3 \times 10^9$ میکروپلاستیک از طریق پساب نهایی و $1/61 \times 10^{10}$ ذره در روز از طریق لجن خشک‌شده در محیط آزاد می‌کند (Oveisy et al.,).

مطالعات بسیاری در رابطه با فراوانی حضور میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در دنیا انجام شده است. بخش بزرگی از میکروپلاستیک‌های جذب‌شده توسط تصفیه‌خانه‌های فاضلاب احتمالاً به فاز لجن منتقل می‌شوند که منجر به غلظت بالای میکروپلاستیک‌های مشاهده‌شده در این نوع ماتریس می‌شود. مکانیسم‌های مختلفی وجود دارد که از طریق آن‌ها این ذرات ممکن است در محیط رها شوند، که در آن لجن فاضلاب ممکن است یک مسیر آزادسازی بسیار مهم را نشان دهد. براساس مطالعات مختلف، میکروپلاستیک‌ها خصوصاً با اندازه‌های

طاهریان، م.، و تکدستان، ا.، (۱۴۰۱)، "خطرات زیست محیطی ناشی از میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان حامل و ناقل انتقال انواع آلاینده‌های آلی سمی پایدار در محیط‌های آبی و شناسایی سازوکارهای انتقال آلاینده‌ها"، *چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران*، قم، ایران.

<https://doi.org/civilica.com/doc/1630946>.

طاهریان، م.، و تکدستان، ا.، (۱۴۰۲)، "بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و کارایی واحدها در حذف آن‌ها از پساب"، *دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت*، تهران، ایران.

<https://doi.org/civilica.com/doc/1975477>.

طاهریان، م.، و تکدستان، ا.، (۱۴۰۲)، "لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان منبع میکرو پلاستیک‌ها و خطرات ناشی از رهاسازی آن‌ها"، *دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت*، تهران، ایران.

<https://doi.org/civilica.com/doc/1975478>.

فیضی، ف.، حمیدیان، ا.، اخباری‌زاده، ر.، و جنوبی، م.، (۱۴۰۱)، "بررسی حضور آلودگی میکروپلاستیک در تصفیه‌خانه منطقه ۲۲ شهر تهران"، *نشریه محیط‌زیست طبیعی*، ۷۵(۱)، ۶-۱.

<https://doi.org/10.22059/jne.2021.294850.1876>.

گنجی، ف.، کمائی، ح.، و غایب‌زاده، م.، (۱۴۰۱)، "بررسی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری زاهدان"، *چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران*، قم، ایران.

Acarer, S., (2023), "Microplastics in wastewater treatment plants: sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interactions with pollutants", *Water Science and Technology*, 87(3), 685-710, <https://doi.org/10.2166/wst.2023.022>.

Ahmed, S.F., Islam, N., Tasannum, N., Mehjabin, A., Momtahn, A., Chowdhury, A.A., Almomani, F., and Mofijur, M., (2024), "Microplastic removal and management strategies for wastewater treatment plants", *Chemosphere*, 347, 140648, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140648>.

Alavian Petroody, S.S., and Hashemi, S.H., (2020), "Occurrence and characterization of microplastics in urban wastewater, a case study: Sari wastewater treatment plant", *Modares Civil Engineering Journal*, 19(6), 145-154, <http://doi.org/mcej.modares.ac.ir/article-16-35717-en.html>.

Alvim, C.B., Bes-Piá, M., and Mendoza-Roca, J.A., (2020), "Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants", *Chemical Engineering Journal*, 402, 126293, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126293>.

Bayo, J., Olmos, S., and Lopez-Castellanos, J., (2020), "Microplastics in an urban wastewater treatment plant:

میکروپلاستیک‌ها از طریق پساب و لجن به محیط‌های آبی و زمین‌های کشاورزی می‌تواند سبب افزایش نگرانی‌های محیط‌زیستی شود؛ بنابراین انجام پژوهش‌های بیشتر در زمینه منابع انتشار میکروپلاستیک‌ها و تعیین سهم آن‌ها، به‌ویژه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، و ارتباط آن‌ها با مقادیر مشاهده‌شده در محیط‌های آبی، رسوبات و جانداران ضروری است. همچنین اتخاذ روش‌های مدیریتی جامع برای کاهش مصرف پلاستیک‌ها و حذف هرچه بیشتر آن‌ها از پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و در نتیجه جلوگیری از ورود این آلاینده‌های نوظهور به محیط‌زیست می‌تواند به مقدار زیادی از اثرات مخرب میکروپلاستیک‌ها بکاهد. بنابراین لازم است پروتکل‌هایی برای دفع مناسب لجن نهایی و پساب تهیه شود تا از رهاسازی باقی‌مانده MPs در محیط جلوگیری شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در آینده، راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در سایر روش‌های تصفیه فاضلاب بررسی شود و مطالعه بر روی نانوپلاستیک‌ها در فاضلاب و لجن سیستم‌های مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب انجام گیرد.

۹- قدردانی

مقاله حاضر به‌عنوان بخشی از کلیات طرح تحقیقاتی پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز با شماره طرح ETRC-0119 است. بدینوسیله نویسندگان از دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز برای حمایت مالی از این پژوهش تشکر می‌نمایند.

۱۰- مراجع

پطردی، س.، و هاشمی، ح.، (۱۳۹۸)، "بررسی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ساری"، *دومین کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط‌زیست و توسعه پایدار*، تهران، ایران.

<https://doi.org/civilica.com/doc/1007553>.

پطردی، س.، و هاشمی، ح.، (۱۴۰۰)، "تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مسیری برای ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط‌زیست: بررسی لجن و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب ساری"، *نشریه مهندسی عمران/امیرکبیر*، ۵۳(۹)، ۳۷۵۱-۳۷۶۲.

<https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18097.6766>.

درویشی، غ.ر.، احتشامی، م.، مهرداد، ن.، و عابدینی، ر.، (۱۴۰۲)، "بررسی روش تشخیص و جداسازی میکروپلاستیک‌های موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بر پایه ایجاد اختلاف چگالی و تعیین سهم فرایند تصفیه در حذف ذرات"، *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۷(۴)، ۳۳۲-۳۴۲.

<https://doi.org/10.22038/jreh.2022.61041.1452>.

- 128179, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128179>.
- Petroody, S.S.A., Hashemi, S.H., and van Gestel, C.A., (2021), "Transport and accumulation of microplastics through wastewater treatment sludge processes", *Chemosphere*, 278, 130471, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130471>.
- Raju, S., Carbery, M., Kuttykattil, A., Senthirajah, K., Lundmark, A., Rogers, Z., Suresh, S., Evans, G., and Palanisami, T., (2020), "Improved methodology to determine the fate and transport of microplastics in a secondary wastewater treatment plant", *Water Research*, 173, 115549, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115549>.
- Reddy, A.S., and Nair, A.T., (2022), "The fate of microplastics in wastewater treatment plants: An overview of source and remediation technologies", *Environmental Technology and Innovation*, 28, 102815, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102815>.
- Ren, P., Dou, M., Wang, C., Li, G., and Jia, R., (2020), "Abundance and removal characteristics of microplastics at a wastewater treatment plant in Zhengzhou". *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 36295-36305, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09611-5>.
- Sharifi, H., Movahedian Attar, H., and Bina, B., (2023), "Occurrence and removal of microplastics in a municipal wastewater treatment plant with conventional activated sludge process: A case study in Isfahan, Iran", *Environmental Health Engineering And Management Journal*, 10(1), 59-66, <http://doi.org/10.34172/EHEM.2023.07>.
- Takdastan, A., Niari, M.H., Babaei, A., Dobaradaran, S., Jorfi, S., and Ahmadi, M., (2021), "Occurrence and distribution of microplastic particles and the concentration of Di 2-ethyl hexyl phthalate (DEHP) in microplastics and wastewater in the wastewater treatment plant", *Journal of Environmental Management*, 280, 111851, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111851>.
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., and Koistinen, A., (2017), "How well is microlitter purified from wastewater? A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant", *Water Research*, 109, 164-172, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>.
- Üstün, G.E., Bozdaş, K., and Can, T., (2022), "Abundance and characteristics of microplastics in an urban wastewater treatment plant in Turkey", *Environmental Pollution*, 310, 119890, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119890>.
- Zhang, L., Liu, J., Xie, Y., Zhong, S., and Gao, P., (2021), "Occurrence and removal of microplastics from wastewater treatment plants in a typical tourist city in China", *Journal of Cleaner Production*, 291, 125968, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125968>.
- The influence of physicochemical parameters and environmental factors", *Chemosphere*, 238, 124593, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124593>.
- Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., and Rosal, R., (2020), "Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge", *Environmental Pollution*, 259, 113837, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113837>.
- Hajji, S., Ben-Haddad, M., Abelouah, M.R., De-la-Torre, G.E., and Alla, A.A., (2023), "Occurrence, characteristics, and removal of microplastics in wastewater treatment plants located on the Moroccan Atlantic: The case of Agadir metropolis", *Science of the Total Environment*, 862, 160815, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160815>.
- Hajji, S., Ben-Haddad, M., Abelouah, M.R., De-la-Torre, G.E., and Alla, A.A., (2023), "Sludge drying and dewatering processes influence the abundance and characteristics of microplastics in wastewater treatment plants", *Chemosphere*, 339, 139743, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139743>.
- Jiang, J., Wang, X., Ren, H., Cao, G., Xie, G., Xing, D., and Liu, B., (2020), "Investigation and fate of microplastics in wastewater and sludge filter cake from a wastewater treatment plant in China", *Science of the Total Environment*, 746, 141378, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141378>.
- Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpää, M., and Sillanpää, M., (2018), "Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology", *Water Research*, 133, 236-246, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049>.
- Liu, K., Wang, X., Wei, N., Song, Z., and Li, D., (2019), "Accurate quantification and transport estimation of suspended atmospheric microplastics in megacities: Implications for human health", *Environment International*, 132, 105127, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105127>.
- Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z., and Zhang, T., (2021), "A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms", *Environment International*, 146, 106277, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106277>.
- Oveysi, N., Rafiee, M., Rahmatpour, A., Nejad, A.S., Hashemi, M., and Eslami, A., (2022), "Occurrence, identification, and discharge of microplastics from effluent and sludge of the largest WWTP in Iran-South of Tehran", *Water Environment Research*, 94(8), 10765, <https://doi.org/10.1002/wer.10765>.
- Patil, S., Kamdi, P., Chakraborty, S., Das, S., Bafana, A., Krishnamurthi, K., and Sivanesan, S., (2023), "Characterization and removal of microplastics in a sewage treatment plant from urban Nagpur, India", *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 47, <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10680-x>.
- Petroody, S.S.A., Hashemi, S.H., and van Gestel, C.A., (2020), "Factors affecting microplastic retention and emission by a wastewater treatment plant on the southern coast of Caspian Sea", *Chemosphere*, 261,



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Quantitative and Qualitative Study of the Reuse of Drainage Effluents in the Western Areas Leading to the Caspian and Central Seas in Golestan Province

مطالعه کمی و کیفی استفاده مجدد از زهاب زهکش‌های نواحی غربی منتهی به دریای خزر و مرکزی در استان گلستان

Monireh Faghani^{1*} and Mohammad Nouri²

1- PhD Graduate in Water Science and Engineering-Irrigation and Drainage, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Structures and Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

*Corresponding Author, Email: monir.faghani@yahoo.com

منیره فغانی^{۱*} و محمد نوری^۲

۱- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آب-آبیاری و زهکشی،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۲- استادیار گروه سازه و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و خاک،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: Monir.faghani@yahoo.com

Received: 20/01/2025

Revised: 20/04/2025

Accepted: 26/05/2025

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

Iran is among the countries grappling with water scarcity due to climate change and drought. One potential solution to mitigate water shortage issues is the reuse of agricultural drainage water. In this study, samples were collected from 11 main drainage systems in Golestan province during the 2024-2025 agricultural year to investigate the potential for reusing drainage effluents for agricultural and industrial purposes. The necessary parameters for classifying water quality for agricultural use (based on the Wilcox classification) and industrial use (based on the Langelier and Ryznar indices) were measured and calculated. The results indicated that, in terms of salinity for agricultural land use according to the Wilcox classification, the water quality fell into the "very saline" category. Based on the Langelier and Ryznar indices, the water was supersaturated (indicating a tendency for CaCO₃ deposition) and was found to be slightly scale-forming and moderately corrosive. Consequently, utilizing these water sources for agriculture requires management practices such as leaching and annual salinity monitoring. For industrial applications, controlling the scaling and corrosive processes within the network is necessary.

Keywords: Drainage, Water Quality, Wilcox Classification, Langelier Index, Ryznar Index.

چکیده

ایران یکی از کشورهای است که به واسطه تغییرات اقلیمی و بروز پدیده خشکسالی با مشکلات کم‌آبی مواجه شده است. یکی از راه‌کارهایی که می‌تواند در تعدیل مشکلات کم‌آبی راه‌گشا باشد، استفاده مجدد از زهاب کشاورزی است. در این تحقیق، به منظور بررسی استفاده مجدد از زهاب زهکش‌ها در مصارف کشاورزی و صنعتی از ۱۱ زهکش اصلی در استان گلستان در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ نمونه‌برداری انجام شد. پارامترهای مورد نیاز برای طبقه‌بندی رده آب در مصارف کشاورزی (طبقه‌بندی ویلکوکس) و مصارف صنعتی (شاخص لانژلیه و رایزنر) اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب به لحاظ شوری و مصرف در اراضی کشاورزی با توجه به طبقه‌بندی ویلکوکس در رده خیلی شور قرار داشته و از نظر شاخص لانژلیه و رایزنر برای مصارف صنعتی به ترتیب فوق‌اشباع (تمایل به رسوب CaCO₃)، نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده بوده است. با توجه به نتایج، برای استفاده از این آب‌ها در مصارف کشاورزی نیاز به تمهیدات مدیریتی و پایش سالانه شوری از جمله آب‌شویی و برای استفاده در مصارف صنعتی نیاز به کنترل فرآیند خوردگی در شبکه است.

کلمات کلیدی: زهاب، کیفیت آب، طبقه‌بندی ویلکوکس، شاخص لانژلیه، شاخص رایزنر.

فرزاد کیا و همکاران (۱۳۹۵)، نشان داده شد که آب شرب در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان ملک‌شاهی نیز خورنده است. (Agatemor and Okolo (2008) نشان دادند که آب مورد بررسی با توجه به شاخص‌های لائزلیه^۲ و رایزنر^۳ خاصیت خورندگی داشته است. همچنین با توجه به مطالعات Shyam and Kalwania (2010) در کشور هند، آب‌های زیرزمینی مورد بررسی دارای کیفیت خورندگی بوده‌اند.

در مطالعه‌ای که توسط شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۵)، در ۴۷ روستای سروآباد صورت‌گرفت پارامترهای شیمی فیزیک و برخی اندیس‌های مربوط به رسوب‌گذاری از جمله شاخص لائزلیه، رایزنر و پوکوریوس محاسبه شدند. طبق شاخص لائزلیه در برخی نواحی آب تمایل به خورندگی (انحلال کربنات کلسیم) از خود نشان داد درحالی‌که برخی نقاط تمایل به رسوب‌دهی کربنات-کلسیم داشت. در پژوهشی با استناد به نتایج پژوهش‌های کاربردی، استفاده پایدار از منابع آب شور زهکش‌ها بررسی شد (کیانی، ۱۴۰۲). بدین منظور دو گیاه زراعی زمستانه (گندم) و تابستانه (ذرت) انتخاب و کاربرد آب شور از نظر تأثیر در عملکرد، بهره‌وری آب و همچنین توزیع شوری در نیمرخ خاک مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان‌داد برای گیاهان زمستانه که باران بخشی از نیاز آبی گیاهان را مرتفع می‌کند، استفاده از آب شور زهکش‌ها اگرچه منجر به اندکی کاهش عملکرد می‌شود، اما با صرفه‌جویی در آب شیرین، تأثیر مثبتی در افزایش تولید نهایی و درآمد کشاورزان دارد؛ همچنین برای گیاه تابستانه مانند ذرت نشان داده است که با تمهیدات و روش‌های خاص مدیریتی، امکان استفاده از منابع شور زهکش‌ها وجود دارد.

دخیلی و همکاران (۱۴۰۳) میزان فسفات زهاب خروجی چند زهکش در ملاثانی (یکی از شهرستان‌های استان خوزستان) را اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان‌داد میزان فسفات در زهاب زهکش‌های اندازه‌گیری شده خیلی کم‌تر از استاندارد ملی (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) است.

پاپن و همکاران (۱۴۰۰) اثرات سطوح مختلف کود اوره در شرایط آبیاری با زهاب مزارع نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک و کیفیت دانه گیاه کینوا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در کلیه سطوح شوری، افزایش کود اوره باعث کاهش میزان سدیم دانه کینوا می‌شود و تأمین نیتروژن کافی می‌تواند یک راه‌کار فیزیولوژیکی مناسب برای افزایش تحمل گیاه کینوا به تنش شوری باشد. همچنین با توجه به ماهیت شوریست گیاه کینوا، در مدیریت آبیاری یک در میان، افزایش شوری خاک تا حد متوسط باعث بهبود شرایط رشد و کیفیت دانه کینوا می‌شود.

ریزش‌های جوی ناشی از گردش آب در طبیعت به سطح زمین باعث به‌وجود آمدن سیلاب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی می‌شود. جریان‌های سطحی به‌نوبه خود به یکدیگر پیوسته و رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهند که بیش‌ترین مصرف صنعت، کشاورزی و شرب را دربردارند. عواملی چون رشد جمعیت و افزایش روزافزون نیازهای گوناگون آبی، سهم برخورداری بشر از این نعمت الهی را مستمراً کاهش می‌دهد. کیفیت آب به‌دلایل فعالیت‌های انسان و ورود آلاینده‌های مختلف به آب تغییر نموده که نهایتاً بر سلامتی انسان تأثیر سوء داشته و کاربری آن را در بخش‌های گوناگون توسعه اعم از کشاورزی، صنعت و غیره به‌شدت محدود می‌کند. از این‌رو کنترل کیفیت منابع آبی برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در ارتباط با شرایط محیطی و کاربری آن می‌تواند کمک مؤثری در ارتقای سطح سلامت انسانی و نیز افزایش کارایی آن در بخش‌های کشاورزی و صنعتی نماید. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) کیفیت ساروق تکاب بر اساس شاخص ویلکوکس^۱ را بررسی و پهنه‌بندی کردند که پراکنش نقاط در این دیگرام نشان‌دهنده کلاس خیلی خوب و خوب برای انواع خاک‌ها و محصولات کشاورزی بود.

Sundaray et al. (2009) در تحقیقی بر روی کیفیت رودخانه ماهانادی در هند برای مصارف کشاورزی، از روابط ریاضی و نمودار ویلکوکس استفاده نمودند که بر این اساس تمامی نمونه‌های نواحی مختلف در دسته‌بندی عالی تا خوب قرار داشت که برای تمام خاک‌ها و نیز محصولات حساس به شوری مناسب بود.

داودی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی که درخصوص بررسی پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستایی شهرستان تایباد انجام دادند، نشان‌دادند که از نظر اکثر شاخص‌ها، آب منطقه در وضعیت مطلوب قرار نداشت. مطالعات مختلفی در کشور به‌منظور تعیین پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب در منابع آب شرب و شبکه توزیع انجام شده است که می‌توان به مطالعات حسینی (۱۳۸۸)، در مورد بررسی شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب شهرستان جوانرود و ملکوتیان و همکاران (۱۳۹۱)، در ارتباط با رسوب‌گذار بودن و یا خورنده بودن با توجه به موارد آب شرب شهر کرمان اشاره نمود.

نتایج حاصل از مطالعه رضایی کلانتری و همکاران (۱۳۹۲)، با عنوان بررسی کیفیت و تعیین اندیس‌های پایداری منابع آب شرب روستاهای استان قم نشان داد که وضعیت آب در بخش‌های مورد مطالعه در محدوده خورنده است. در پژوهش

براساس نتایج به دست آمده، کیفیت زهاب دشت مذکور مطلوب بوده و می توان از آن در چرخه آبیاری به صورت مختلط با آب کانال برای آبیاری محصولات زراعی مقاوم به شوری مانند گندم و جو پائیزه و پنبه تابستانه استفاده نمود. هدف از این تحقیق، بررسی و پایش کمی و کیفی زهاب ۱۱ زهکش برای آبیاری اراضی زراعی و کاربرد آن در صنعت در استان گلستان است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- معرفی ایستگاه های پایش منتخب

نمونه برداری از ۱۱ زهکش اصلی در نواحی غربی منتهی به دریای خزر و مرکزی به عنوان ایستگاه های پایش منتخب آب های نامتعارف در استان گلستان انجام شد که موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مذکور به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- مشخصات کلی ایستگاه

کد ایستگاه	موقعیت مکان نمونه برداری	X	Y
P ₁	زهکش سقرتپه صفایشان	۲۳۹۲۲۰	۴۱۱۰۱۹۰
P ₂	زهکش آلاکل	۲۳۸۲۴۵	۴۱۱۷۸۴۶
P ₃	زهکش کانال قارقی	۲۳۸۲۹۵	۴۱۰۱۵۱۵
P ₄	زهکش کانال قره کیله	۲۳۷۹۴۳	۴۱۰۰۲۱۹
P ₅	رودخانه گرگانرود	۲۳۷۳۴۱	۴۰۹۷۵۲۰
P ₆	زهکش سیدآباد	۲۴۰۹۷۴	۴۰۹۵۶۵۰
P ₇	زهکش اورکت حاجی	۲۴۲۸۳۴	۴۰۸۸۷۲۱
P ₈	زهکش حاشیه جاده آق قلا به اینچه برون	۲۷۵۴۲۵	۴۱۰۷۷۵۸
P ₉	زهکش مزرعه نمونه ارتش	۲۷۶۲۰۶	۴۱۱۱۰۳۱
P ₁₀	زهاب سد گلستان و فاضلاب کارخانه صباح	۲۲۷۹۵۶	۴۱۳۱۷۲۴
P ₁₁	زهکش قزلن قرق	۲۲۴۳۲۲	۴۱۳۱۶۹۴

سدیم (SAR) در نظر گرفته می شود (جدول ۲). در واقع به علت این که سدیم بر روی ریشه گیاهان تجمع می یابد و باعث جلوگیری از جذب و تنفس ریشه می شود، در این طبقه بندی اثر جذب سدیم (SAR) لحاظ می شود که می توان آن را از رابطه (۱) به دست آورد (Wilcox, 1955).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

با توجه به جدول ۳، در طبقه بندی و یلکوکس رده های آب به چهار گروه با کیفیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب تقسیم می شود و در مجموع باعث به وجود آمدن ۱۶ رده مختلف آبی می شوند (Wilcox, 1955).

برونی و همکاران (۱۳۹۹)، کیفیت زهاب های کشاورزی کشت و صنعت غرب کارون را بررسی کردند. تمامی این زهکش ها به لحاظ شوری، دارای کیفیت بد و در گروه C4 قرار گرفتند که راه کار عملی پیشنهادی برای استفاده از زهاب اراضی غرب کارون، استفاده از روش تلفیق آن ها با آب با کیفیت بهتر، نظیر آب رودخانه کارون و یا آب سایر رودخانه های استان بود.

کرمان نژاد و همکاران (۱۴۰۳) در استفاده مجدد از زهاب مزارع نیشکر در منطقه جنوب غربی ایران، به این نتیجه رسیدند که نانو زغال زیستی فعال مغناطیسی باگاس نیشکر می تواند به عنوان جاذبی با راندمان بالا و ارزان قیمت برای حذف سدیم از محیط های آبی استفاده شود. از آن جایی که در فصول زراعی، بخشی از پساب جاری در کانال های انتقال، توسط کشاورزان منطقه، از طریق موتور پمپ به مزارع پمپاژ می شوند.

رحیمیان و خوش نواز کومله (۱۴۰۱) کیفیت زهاب دشت دهستان عقیلی از توابع شهرستان گتوند را مورد بررسی قرار دادند.

در این پژوهش پس از نمونه برداری و محاسبه پارامترهای مورد نیاز، به منظور بررسی این زهاب در مصارف کشاورزی از طبقه بندی و یلکوکس و همچنین برای مصارف صنعتی از دو شاخص لانژلیه و رایزنر استفاده شد.

۲-۲- طبقه بندی و یلکوکس

در طبقه بندی آب برای مصارف کشاورزی، علاوه بر تعیین خواص شیمیایی آب، عوامل مختلفی از قبیل جنس خاک، وضعیت آبکشی زمین، مقدار آب آبیاری، درجه حرارت محیط، عناصر شیمیایی موجود در خاک و همچنین نوع گیاه مورد کشت، باید مورد مطالعه قرار گیرد. این طبقه بندی براساس دیاگرام و یلکوکس است که توسط وزارت کشاورزی آمریکا ارائه شد. در این طبقه بندی دو عامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب

جدول ۲- معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی (Wilcox, 1955)

رده	SAR (mgr/li)	رده	EC (ds/m)	کیفیت آب	ردیف
S1	<۱۰	C1	<۲۵۰	عالی	۱
S2	۱۸-۱۰	C2	۲۵۰-۷۵۰	خوب	۲
S3	۲۶-۱۸	C3	۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط	۳
S4	>۲۶	C4	>۲۲۵۰	نامناسب	۴

جدول ۳- رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس (Wilcox, 1955)

رده آب	نوع کیفیت آب برای کشاورزی	ردیف
C1S1	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر	۱
C2S1, C2S2, C1S2	کمی شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب	۲
C3S3, C3S2, C3S1, C2S3, C1S3	شور- برای کشاورزی با اعمال تمهیدات	۳
C4S1, C4S2, C4S3, C4S4, C3S4, C2S4, C1S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی	۴

است (Antony et al, 2011). این شاخص تأثیر پارامترهایی نظیر کلسیم، قلیائیت کل، جامدات محلول و دما را در محاسبه مقادیر pH اشباع (pHs) نشان می‌دهد. وضعیت آب برای مقادیر مختلف شاخص لانژلیه در جدول ۴ مشخص شده است. pH آب در شرایط اشباع کربنات کلسیم با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

۲-۳- شاخص لانژلیه (LSI)

شاخص لانژلیه در واقع یک شاخص برای ارزیابی کیفی پتانسیل آب در تشکیل رسوب کربنات کلسیم است. کربنات-کلسیم یکی از عمده‌ترین مواد معدنی موجود در آب بوده که به‌عنوان مهم‌ترین عنصر مسئول تشکیل رسوبات شناخته شده

جدول ۴- تقسیم‌بندی وضعیت آب بر اساس شاخص لانژلیه (LSI)

شرح حالت	مقدار اندیس
آب فوق‌اشباع بوده و تمایل به رسوب CaCO_3 دارد	>۰
آب از CaCO_3 اشباع بوده و تمایل به ایجاد یا تجزیه CaCO_3 ندارد	۰
آب زیر اشباع بوده و تجزیه CaCO_3 جامد انتظار می‌رود	<۰

۲-۴- شاخص رایزنر (RSI)

این شاخص نوع اصلاح‌شده شاخص لانژلیه است که برخلاف نوع لانژلیه مقادیر آن مثبت است. وضعیت آب برای مقادیر مختلف شاخص رایزنر در جدول ۵ مشخص شده است. شاخص رایزنر با استفاده از رابطه (۴) تعیین می‌شود (Marangou and Savvides, 2001)

$$RSI = 2pH_S - pH \quad (4)$$

$$pH_S = [(9.3 + \log A + \log B) - (\log C - \log D)] \quad (2)$$

که pH_S : pH آب اشباع از کربنات کلسیم، A: مقادیر TDS آب (میلی‌گرم بر لیتر)، B: دمای آب (درجه سلسیوس)، C: سختی کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم) و D: قلیائیت آب (میلی-گرم بر لیتر کربنات کلسیم) است. پس از تعیین pH_S مقادیر شاخص لانژلیه از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود (پیری‌علم و همکاران، ۱۳۸۷).

$$LSI = pH - pH_S \quad (3)$$

جدول ۵- تقسیم‌بندی وضعیت آب بر اساس شاخص رایزنر (RSI)

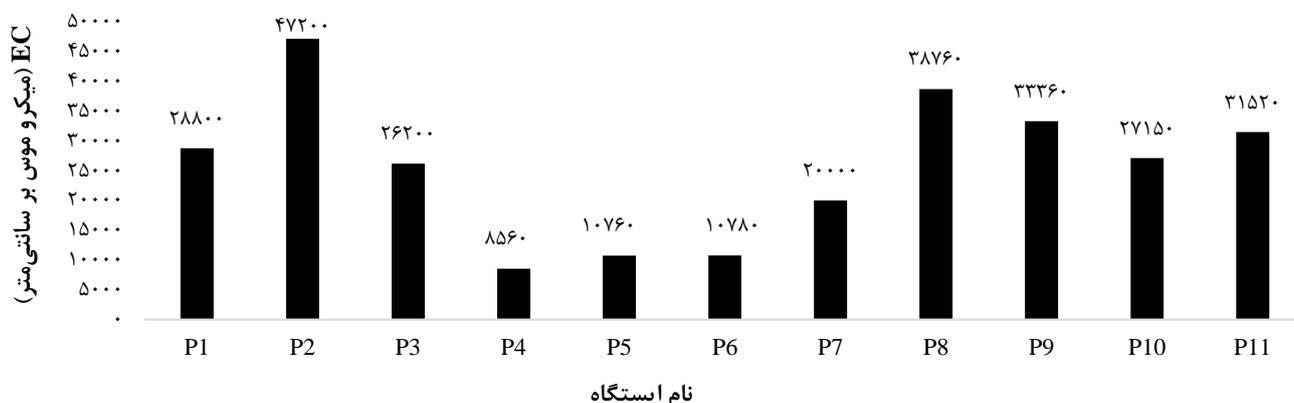
شرح حالت	مقدار اندیس
آب رسوبدهی زیادی دارد	<۴
آب نسبتاً رسوبده و کمی خورنده است	۵-۶
آب خاصیت خورندگی و رسوبدهی ندارد	۶-۶/۵
آب خاصیت خورندگی داشته و رسوبدهی کم است	۶/۵-۷
آب خاصیت خورندگی شدید دارد	>۸

۳- نتایج و بحث

برابر ۸۵۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر و مربوط به ایستگاه P₄ (خروجی قره‌کیله) و حداکثر EC برابر ۴۷۲۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و مربوط به ایستگاه P₂ (خروجی آلاگل) و میانگین EC در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۲۱۴۱۱ میکروموس بر سانتی‌متر بوده است.

۳-۱- نتایج براساس طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی

مطابق شکل ۱، حداقل EC در نمونه‌های اندازه‌گیری شده،



شکل ۱- مقادیر EC در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در سال ۱۴۰۲

الی (P₁₁) در رده آبی خیلی‌شور- مضر برای کشاورزی قرار گرفتند. درواقع این رده آبی و تفاوت در مقدار EC، به‌دلیل استفاده زارعین از کود و سموم‌های مختلف با دوز متفاوت در فصل کشت و زرع است.

هم‌چنین با توجه به نسبت جذب سدیم (SAR) در جدول ۶، ایستگاه P₈ (حاشیه جاده آق‌قلا به اینچه برون) دارای بیش‌ترین نسبت جذب سدیم (SAR) و به غیر از ایستگاه P₆، کلاس همه ایستگاه‌ها C4-S4 بوده است. درنهایت با توجه به جدول طبقه‌بندی ویلکوکس (جدول ۲)، تمامی ۱۱ ایستگاه (P₁)

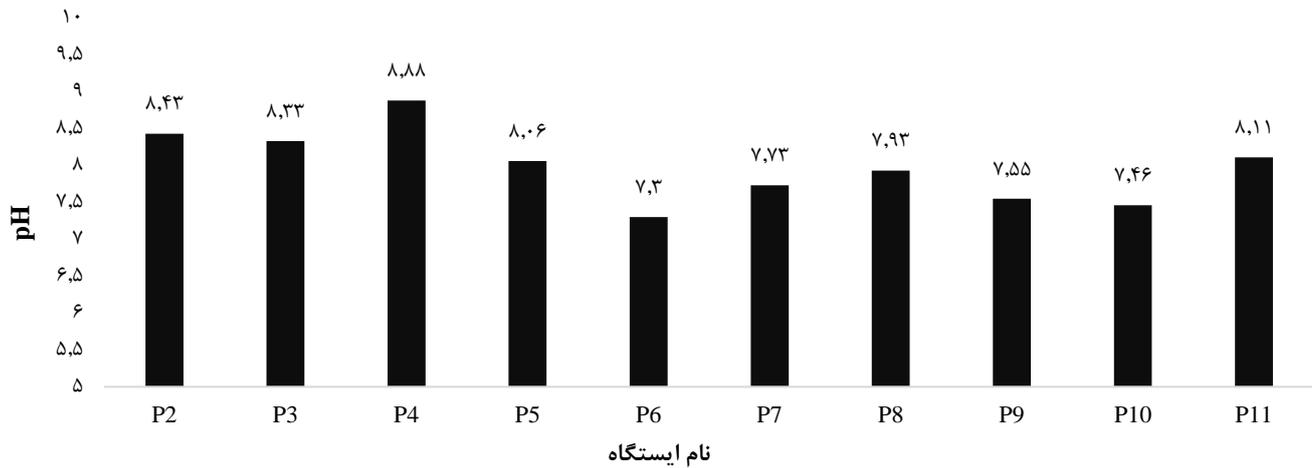
جدول ۶- طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر SAR و EC برای مصارف کشاورزی

کانال‌های زهکش				
کد ایستگاه	SAR	EC (μ mho/cm)	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
P ₁	29.31	28800	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₂	38.3	47200	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₃	34.9	26200	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₄	10.62	8560	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₅	13.71	10760	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₆	7.93	10780	C4-S3	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₇	44.4	36000	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₈	51.74	38760	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₉	45.94	33360	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₁₀	30.06	27150	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی
P ₁₁	25.7	31520	C4-S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی

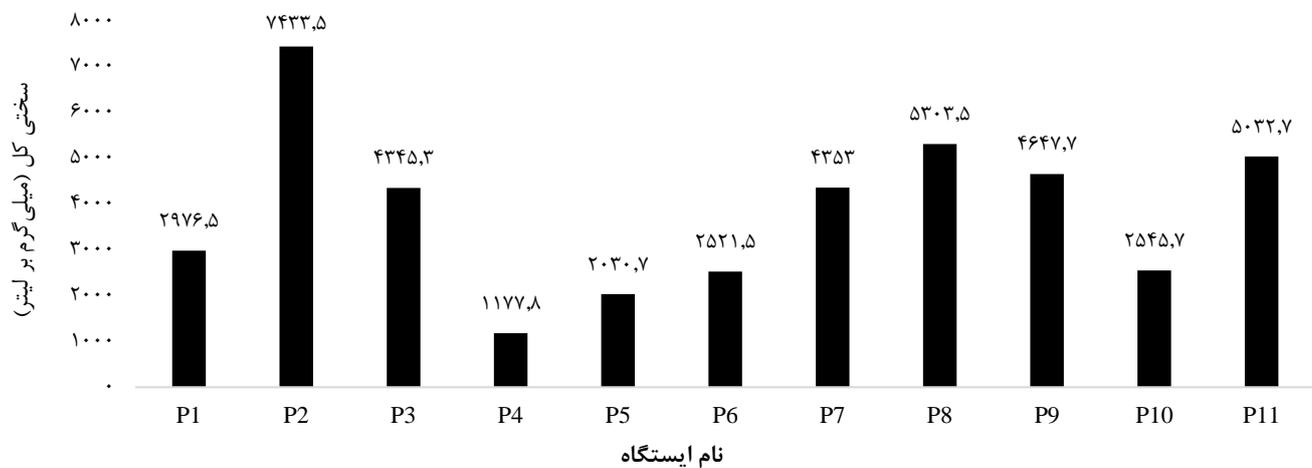
(زهکش چپاقلی) با مقدار ۷/۳ و حداکثر آن مربوط به ایستگاه P₄ (خروجی قره‌کیله) با مقدار ۸/۸ و میانگین pH کل ایستگاه‌ها برابر با ۸ است. به‌لحاظ بررسی میزان سختی آب، تمامی ایستگاه‌های (P₁ الی P₁₁) کاملاً سخت بوده و ایستگاه P₂ (آلاگل) بیش‌ترین سختی را به خود اختصاص داده است (شکل ۳).

۳-۲- نتایج براساس شاخص لانزلیه و رایزنر برای مصارف صنعتی

با توجه به مقدار pH در تمامی ۱۱ ایستگاه (شکل ۲)، حداقل pH آب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده، مربوط به ایستگاه P₆



شکل ۲- مقادیر pH در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در سال ۱۴۰۲



شکل ۳- مقادیر سختی کل در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در سال ۱۴۰۲

هم‌چنین با توجه به جدول ۷ و با در نظر گرفتن ضریب لانه‌زایی، کیفیت آب به دلیل مصارف صنعتی در تمامی ایستگاه‌های هدف، ریزنر نیز وضعیت نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده است. فوق‌اشباع بوده و تمایل به رسوب CaCO_3 دارد و براساس ضریب

جدول ۷- بررسی کیفیت آب در ایستگاه‌های نمونه برداری شده به لحاظ مصارف صنعتی

ایستگاه‌های منتخب							
کیفیت آب براساس RSI	کیفیت آب بر اساس LSI	RSI	LSI	pH	pHs	کد محل	ردیف
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.38	1.42	8.22	6.8	P ₁	۱
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.17	1.63	8.43	6.8	P ₂	۲
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.72	1.08	7.88	6.8	P ₃	۳
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.67	1.03	7.73	6/7	P ₄	۴
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.74	1.16	8.06	6.9	P ₅	۵
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.70	0.8	7.3	6.5	P ₆	۶
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.16	1/54	8/24	6/7	P ₇	۷
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.07	1.43	7.93	6.5	P ₈	۸
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.65	0.95	7.55	6.6	P ₉	۹
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.34	1.06	7.46	6.4	P ₁₀	۱۰
نسبتاً رسوب‌ده و کمی خورنده	آب فوق‌اشباع و تمایل به رسوب CaCO_3	5.49	1.31	8.11	6.8	P ₁₁	۱۱

آذری، ع.، ناظمی، س.، کاکاوندی، ب.، و رستگار، ا.، (۱۳۹۴)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری منابع آب شرب شهر شاهرود با استفاده از شاخص های پایداری"، *مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار*، ۲۲(۶)، ۹۴۴-۹۵۴.

برونی، ل.، کشکولی، ح.ع.، و خدادادی دهکردی، د.، (۱۳۹۹)، "بررسی کیفیت زهاب های غرب کارون بر اساس استاندارد ویلکاکس و ارزیابی امکان استفاده از آن ها در کشاورزی"، *نشریه علمی علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز*، ۸(۲۲)، ۲۹-۴۵.

پیری علم، ر.، شمس خرم آبادی، ق.ا.، شاه منصور، م.ر.، و فرزاد کیا، م.، (۱۳۸۷)، "تعیین پتانسیل خوردگی یا رسوب گذاری آب آشامیدنی شبکه های توزیع شهر خرم آباد با استفاده از اندیس های خوردگی"، *فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان*، ۱۰(۳)، ۷۹-۸۶.

حسین زاده، ا.، رحیمی، ن.، رحمانی، ع.ر.، و عزتی، ل.، (۱۳۹۰)، "بررسی کیفیت شاخه راست رودخانه ساروق تکاب بر اساس شاخص ویلکاکس و پهنه بندی آن توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۲۳(۱۰۳)، ۷۷-۸۷.

حسینی، ه.، شیرمحمدی، م.، امینی، ح.، و شفیعی، ش.، (۱۳۸۸)، "بررسی شاخص های خوردگی و رسوب گذاری آب شرب مناطق غرب کشور (مطالعه موردی شهرستان جوانرود)"، *دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران*.

کیانی، ع.ر.، (۱۴۰۲)، "استفاده پایدار از منابع آب شور زهکش ها برای تولید برخی گیاهان زراعی"، *مجله علمی شورورزی*، ۱، ۳-۱۰.

کرمان نژاد، جلیل.، ترابی پوده، ح.، قنبری عدیوی، ا.، و شاهی نژاد، ب.، (۱۴۰۳)، "حذف سدیم از زهاب کشاورزی با استفاده از زغال زیستی"، *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۲۸۵-۳۰۴.

ساقی، م.ح.، صمدی، م.ت.، رحمانی، ع.، و میرزایی، س.، (۱۳۸۹)، "بررسی کیفیت آب رودخانه سیلوار براساس شاخص OWQI با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS"، *شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز*.

دخیلی، م.، ظهیری، ج.، چراغی، م.، و مرادی، ش.، (۱۴۰۳)،

آب های شور زهکش ها برای مناطقی که با کمبود منابع آب شیرین مواجه هستند، فرصتی برای افزایش تولید، ایجاد کسب و کار با رعایت حفظ مسائل زیست محیطی و پایداری منابع است. نوع مدیریت بسته به منطقه، فصل رشد، حد شوری، نوع گیاه و روش آبیاری متفاوت خواهد بود. در مناطقی که دوره رشد گیاهان در آن ها منطبق با بارش های جوی باشد، از منابع آب شور با اطمینان بیشتر می توان استفاده نمود. در این پژوهش با توجه به طبقه بندی ویلکاکس، در همه ایستگاه ها شوری آب زیاد بوده و به منظور استفاده در مزارع کشاورزی نیازمند رعایت موارد و تمهیدات خاص از جمله پایش سالانه شوری خاک مانند آب شویی و زهکشی خاک، کاربرد آب شور-کم شور به صورت یک در میان در شیارهای مجاور در گیاهان تابستانه، کاربرد متناوب آب شور-شیرین در طی فصل و کشت گیاهان با درجه تحمل مختلف در تناوب یکدیگر است (کیانی، ۱۴۰۲). در واقع هر چند که بهره روری از آب کاربردی در شرایط استفاده از آب زهکش نسبت به کشت دیم و آبیاری با آب شیرین کاهش می یابد، اما با در نظر گرفتن هزینه های تأمین آب شور و غیرشور و تفاوت در ارزش این دو نوع آب، طبیعتاً بهره روری آب در استفاده از آب شور زهکش افزایش خواهد یافت. هم چنین با توجه به عدد شاخص لانژلیه و رایزر در ایستگاه های هدف، کیفیت آب در تمامی ۱۱ ایستگاه کمی خورنده بوده است. فرآیند خوردگی علاوه بر آسیب به تأسیسات آبی و مسائل اقتصادی، ممکن است باعث ورود فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، مس و روی از دیواره لوله به آب شود که می تواند اثرات بهداشتی خاصی ایجاد کند. بنابراین کنترل فرآیند خوردگی در شبکه امری ضروری است (آذری و همکاران، ۱۳۹۴). بدین منظور برای کنترل فرآیند خوردگی می توان از روش هایی نظیر رنگ آمیزی لوله ها، به کارگیری لوله های مقاوم پلی اتیلنی به جای لوله های فلزی و آزبست-سیمانی، پوشش دادن لوله ها، نگهداری مناسب، اجرای حفاظت کاتدی برای لوله های فلزی، تنظیم pH و تزریق مواد بازدارنده به شبکه توزیع استفاده نمود.

- 1- Wilcox
- 2- Langelier Saturation Index
- 3- Ryznar Stability Index

Mahanadi river estuarine system, India: A case study", *Environmental Monitoring and Assessment*, 155(1), 227-243, <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0431-2>.
Shyam, R., and Kalwania, G.S., (2010), "Corrosiveness and scaling potential of ground water from Sikar city, Rajasthan (India)", *Journal of ENatura Conscientia*, 1(3), 223-239.
Wilcox, L.V., (1955), "Classification and use of irrigation waters", US DA, Circular 969, Washington DC, 367.



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

"بررسی میزان فسفات زهاب اراضی کشاورزی برای استفاده مجدد در آبیاری"، چهارمین همایش ملی صنعت و تجاری‌سازی کشاورزی برای استفاده مجدد در آبیاری، ۱-۵.
پاپن، پ.، معزی، ع.ا.، چرم، م.، و رهنما، ا.، (۱۴۰۰)، "بررسی تأثیر کاربرد کود اوره و زهاب مزرعه نیشکر بر برخی خصوصیات خاک، عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی در بذر گیاه کینوا"، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۱(۲)، ۷۱-۹۰.

رحیمیان، ف.، و خوش‌نواز کومله، ص.، (۱۴۰۱)، "ارزیابی استفاده از سیستم مدیریت جامع زهکشی در مزرعه (IFDM) به منظور حفاظت از منابع آب در دشت عقیلی (شمال شهرستان شوشتر)"، فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب، ۴(۱۰)، ۱-۱۵.

رضایی کلانتری، ر.، آذری، ع.، احمدی، ا.، و احمدی جبلی، م.، (۱۳۹۲)، "بررسی کیفیت و تعیین اندیس‌های پایداری منابع آب شرب روستاهای استان قم"، فصلنامه علمی پژوهشی بهداشت در عرصه، ۱(۳)، ۹-۱۶.

شاه‌محمدی، س.، نوری، ا.، طاهرنسب، س.، و شاهمرادی، ب.، (۱۳۹۵)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع تأمین‌کننده آب شرب روستاهای شهرستان سروآباد و پهنه‌بندی با GIS"، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، سنندج، کردستان.

فرزادکیا، م.، و عسکری، ا.، (۱۳۹۵)، "بررسی وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی"، مجله راه‌آورد سلامت، ۲(۱)، ۲۱-۲۸.
ملکوتیان، م.، فاتحی‌زاده، ع.، و میدانی، ا.، (۱۳۹۱)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب شبکه توزیع شهر کرمان"، طلوع بهداشت، ۱۱(۳)، ۱-۱۰.

Antony, A., Low, J.H., Gray, S., Childress, A.E., Le-Clech, P., and Leslie, G. (2011), "Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review", *Journal of Membrane Science*, 383(1), 1-16, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.08.054>.

Agatemor, C., and Okolo, P.O., (2008), "Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin", *Journal of Environmentalist*, 28(3), 379-84, <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9152-2>.

Marangou, V.S., and Savvides, K., (2001), "First desalination plant in Cyprus-product water aggressivity and corrosion control", *Desalination*, 138(1-3), 251-258, [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00271-5](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00271-5).

Sundaray, S.K., Nayak, B.B., and Bhatta, D., (2009), "Environmental studies on river water quality with reference to suitability for agricultural purposes:

Research Paper

مقاله پژوهشی

Investigation of the Effect of Changes in Parameters of the Double Pass Solar Air Collector on the Water Production Rate in the Solar Still Coupled with the Air Heater

بررسی میزان تولید آب در آب شیرین کن خورشیدی ترکیب شده با هواگرم کن با تغییر پارامترهای مربوط به هواگرم کن خورشیدی دو مسیره

Parisa Azari^{1*}, Arash Mirabdollah Lavasani², Nader Rahbar³ and Kamyar Mohammadi⁴

پریسا آذری^{۱*}، آرش میرعبدالله لواسانی^۲، نادر رهبر^۳ و کامیار محمدی^۴

1- PhD in Mechanical Engineering, Water and Wastewater Company of Zanjan, Zanjan, Iran.

۱- دکترای مهندسی مکانیک، شرکت آب و فاضلاب استان زنجان، زنجان، ایران.

2- Department of Mechanical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران.

3- Energy and Sustainable Development Research Center, Islamic Azad University, Semnan Branch, Semnan, Iran.

۳- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان، سمنان، ایران.

4- MSc in Mechanical Engineering, Water and Wastewater Company of Zanjan, Zanjan, Iran.

۴- کارشناسی ارشد مکانیک، شرکت آب و فاضلاب استان زنجان، زنجان، ایران.

*Corresponding Author, Email: parisaazari@gmail.com

*نویسنده مسئول، ایمیل: parisaazari@gmail.com

Received: 18/01/2025

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹

Revised: 18/03/2025

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸

Accepted: 13/05/2025

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

In this work, a solar still is thermally coupled with a double pass solar air heater with a V-grooved absorber plate to enhance the overall thermal efficiency and freshwater productivity. A mathematical model is developed to evaluate the influence of key air-heater design and operating parameters on the performance of the active solar desalination system. The conventional configuration of the solar still is modified by incorporating a dedicated duct beneath the basin to facilitate the passage of heated air. The hot air discharged from the solar air heater flows through this duct and increases the temperature of the basin water, thereby intensifying the evaporation process. The effects of absorber plate tilt angle, V-groove height, absorber-glass spacing, air-heater length, and air mass flow rate on the freshwater yield are systematically investigated. The results reveal that reducing the inlet air mass flow rate from 0.059 to 0.015 kg/m²·s leads to a 61% enhancement in freshwater production, mainly due to the increased heat transfer from the heated air to the basin water. In contrast, variations in the other examined parameters exhibit no appreciable impact on the productivity of the solar still.

در این مقاله برای افزایش میزان بازدهی و تولید آب در آب شیرین کن‌ها، یک آب شیرین کن خورشیدی تقطیری با یک هواگرم کن خورشیدی دومسیره با صفحه جاذب دنداندار کوپل شده است. اثر تغییر پارامترهای مختلف هواگرم کن بر میزان تولید آب در آب شیرین کن خورشیدی فعال، با استفاده از مدل سازی ریاضی مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار آب شیرین کن به گونه‌ای تغییر داده شده که محفظه‌ای برای عبور هوای گرم در زیر تشتک آب شیرین کن در نظر گرفته شود و از هوای گرم خروجی از هواگرم کن برای افزایش دمای آب درون تشتک آب شیرین کن استفاده شود. در این مطالعه اثر زاویه صفحه جاذب، ارتفاع دندانهای V شکل جاذب، فاصله بین جاذب و شیشه در هواگرم کن، طول هواگرم کن و دبی جرمی هوا در میزان تولید آب در آب شیرین کن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش نرخ دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم کن از ۰/۰۵۹ تا ۰/۰۱۵ کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، نرخ تولید آب به دلیل انتقال گرمای بیش تر از هوای گرم شده در هواگرم کن به آب درون تشتک آب شیرین کن، ۶۱٪ افزایش می‌یابد. همچنین افزایش یا کاهش سایر پارامترهای ذکر شده، اثر محسوسی را بر روی میزان تولید آب در آب شیرین کن نخواهد داشت.

Keywords: Solar Still, Double Pass Solar Air Collector, Water Production, Air Mass Flow Rate.

کلمات کلیدی: آب شیرین کن خورشیدی، هواگرم کن دومسیره، تولید آب، دبی جرمی، هوا.

آذری و همکاران (۱۴۰۱) در یک کار تحقیقاتی، طراحی و ساخت آب‌شیرین‌کن خورشیدی ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی دومسیره با صفحه جاذب دندانه‌دار را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان تولید آب ۱۷۰ درصد نسبت به آب‌شیرین‌کن معمولی بالاتر است.

صمیمی و مقدم (۱۴۰۳)، آب‌شیرین‌کن شیب‌دار از نوع پله‌ای را از نظر اثر پارامترهای ساختاری مانند ارتفاع پله‌ها، فاصله بین پله‌ها و فاصله بین صفحه جاذب و سطح کندانسور بر روی میزان تولید آب بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که پارامترهای یادشده اثر زیادی را بر میزان تولید آب دارند.

Tei et al. (2024) یک آب‌شیرین‌کن جدید که در آن از ماسه به‌عنوان مواد ذخیره انرژی حرارتی محسوس استفاده شده بود، بررسی کرد. وجود ماسه درون تشتک، سبب افزایش دما شد و تولید آب را در طول شب زیاد کرد. نتایج نشان داد که بازده انرژی و انرژی با وجود ماسه افزایش داشته است.

Abdelgaied et al. (2023) با هدف افزایش میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن‌های مخروطی، طراحی و ساخت آب‌شیرین‌کن مخروطی با پوشش شفاف با زوایای مختلف نسبت به افق را بررسی کردند. زوایای پیشنهادی آن‌ها برای آب‌شیرین‌کن مخروطی ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه بود. نتایج نشان داد که میزان تولید آب در زاویه ۳۰ درجه به ترتیب ۱۶/۸۳ درصد و ۵۵/۲۶ درصد نسبت به حالت با زاویه ۴۵ درجه و ۶۰ درجه افزایش داشته است.

یک مطالعه تجربی توسط Sai and Reddy (2024) برای مشاهده اثر بازتابنده‌های ثانویه تخت بر روی آب‌شیرین‌کن‌های شیب‌دار با پارتیشن انجام شد. آب‌شیرین‌کن ساخته شده در این مطالعه دارای ۱۰ پارتیشن با ظرفیت کل ۳۵ کیلوگرم آب ورودی و مساحت ۱/۳۲ مترمربع بود. محققان بازده حرارتی را در زوایای بازتاب مختلف بررسی کردند. با اضافه کردن بازتابنده ثانویه به آب‌شیرین‌کن، میزان تولید آب ۱۰/۱۷ درصد افزایش یافت.

افشاری (۱۴۰۴) در یک کار تحقیقاتی یک گرم‌کن خورشیدی و کندانسور را با یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی کوپل کرده و بازدهی آن را با آب‌شیرین‌کن معمولی مقایسه کرد. یافته‌های او نشان داد که میزان تولید آب در این سیستم ۱۴۴/۷ درصد بیش‌تر از آب‌شیرین‌کن‌های معمولی است. Zakaria et al. (2025) نیز تازه‌ترین اقدامات پژوهشی انجام‌شده در زمینه آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی را مرور کردند.

Chang et al. (2025) یک آب‌شیرین‌کن مخروطی را که مجهز به یک متمرکزکننده خورشیدی بود و با آب‌خنک‌کاری می‌شد، مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تطابق خوبی بین

کاهش نزولات جوی و خشکسالی‌های اخیر، مسئولان را بر آن داشته تا اقداماتی را در راستای مدیریت مصرف و استفاده از شیوه‌های نوین برای تولید و انتقال و توزیع آب به انجام برسانند. همچنین استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، به‌عنوان یک راه‌حل بدیع برای تأمین انرژی به‌منظور تولید آب با ماهیت سازگار و پایدار و حفظ محیط‌زیست است. در این میان، محققان نیز با ارائه ایده‌ها و طرح‌های مختلف در این مسیر گام‌های مهمی برداشته و اقدامات ارزنده‌ای انجام داده‌اند. از طرفی با توجه به کمبود منابع آبی در کره زمین و به‌منظور تأمین آب مناسب و بهداشتی، استخراج آب از منابع آب‌های شور از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. منابع آب نامتعارف، جایگزین‌هایی هستند که برای منابع آب شیرین موجود در کره زمین، معرفی شده‌اند. یکی از مهم‌ترین منابع آب نامتعارف، آب‌های شور و لب‌شور به‌شمار می‌آیند (صراف‌زاده، ۱۳۹۶). لذا استفاده از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی تقطیری، با توجه به پاک بودن و در دسترس بودن انرژی خورشیدی باید در اولویت قرار گیرد (هاشم‌پور و همکاران، ۱۴۰۳). محققان اقدامات مختلفی را برای بالا بردن بازده تولید آب در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی تقطیری انجام داده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Abdullah (2013) در یک کار تحقیقاتی، عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی معمولی و آب‌شیرین‌کن خورشیدی پله‌ای را مقایسه کرد. در طرح او از هوای گرم برای افزایش دمای آب درون تشتک آب‌شیرین‌کن و بر روی سطح شیشه نیز از آب برای خنک‌کاری شیشه استفاده شده بود. هواگرم‌کن استفاده شده از نوع لوله‌ای با طول ۲ متر بود. نتایج نشان داد که میزان تولید آب ۱۱۲ درصد نسبت به آب‌شیرین‌کن معمولی افزایش داشته است.

Eltawil and Omara (2014) برای افزایش عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی تبخیری از سلول‌های فتوولتاییک و هوای گرم استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند که عملکرد سیستم در حالت استفاده از کندانسور و کلکتور هوا ۶۰ درصد بهبود می‌یابد. Poblete et al. (2016) اثر چندین عامل تأثیرگذار در عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی کوپل‌شده با کلکتور خورشیدی از جمله گرمایش تشتک آب‌شیرین‌کن، جنس پوشش، تأثیر استفاده از آینه و استفاده از سیستم خارج‌کننده هوا را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که وجود خروجی هوا برای خارج کردن هوای درون آب‌شیرین‌کن سبب تضعیف عملکرد آب‌شیرین‌کن خواهد شد.

از جمله طول هواگرم‌کن، دبی هوای ورودی به هواگرم‌کن، زاویه صفحه جاذب، فاصله بین جاذب و شیشه و ارتفاع دندانه‌های صفحه جاذب هواگرم‌کن بر روی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی با استفاده از مدل‌سازی ریاضی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول ۱ مقایسه اقدامات انجام‌شده در زمینه آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی ارائه شده است.

داده‌های تجربی و مدل‌سازی وجود دارد. نرخ تولید آب $37/63 \frac{g}{15 min}$ و اختلاف بین نتایج تجربی و محاسبات تئوری $19/6$ درصد بود.

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شد که اقدامات محققین برای بررسی تأثیر هواگرم‌کن خورشیدی بر بازده آب‌شیرین‌کن خورشیدی بسیار اندک بوده است؛ لذا در این مقاله اثر تغییر برخی از پارامترهای مهم هواگرم‌کن‌های خورشیدی

جدول ۱- مقایسه اقدامات انجام‌شده در زمینه آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی

نام محققان - سال	موضوع تحقیق	درصد افزایش تولید آب
Abdullah (2013)	بررسی اثر استفاده از هواگرم‌کن خورشیدی با طول ۲۰ متر بر میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن	۱۱۲
Eltawil and Omara (2014)	استفاده از سلول‌های فتوولتائیک و هوای گرم برای افزایش بازده آب‌شیرین‌کن خورشیدی	۶۰
Abdelgaied et al. (2023)	بررسی اثر زوایای مختلف در آب‌شیرین‌کن خورشیدی مخروطی بر بازده تولید آب	۵۵/۲۶
Sai and Reddy (2024)	مشاهده اثر بازتابنده‌های ثانویه تخت بر روی آب‌شیرین‌کن‌های شیب‌دار با پارتیشن	۱۰/۱۷
Afshari (2025)	بررسی تولید آب در آب‌شیرین‌کن خورشیدی کوپل‌شده با گرم‌کن خورشیدی و کندانسور	۱۴۴/۷
Azari et al. (2021)	بررسی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن خورشیدی ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی	۱۷۰

خورشیدی در شکل ۱ نشان داده شده است. جنس انتخاب‌شده برای ساخت بدنه آب‌شیرین‌کن از گالوانیزه با ضخامت $0/0006$ متر و ضخامت شیشه هر دو سیستم $0/002$ متر بود. مساحت تشتک آب‌شیرین‌کن $0/4$ مترمربع و سطح هواگرم‌کن $0/5$ مترمربع بود. کف تشتک آب‌شیرین‌کن و هم‌چنین صفحه جاذب در هواگرم‌کن برای جذب تشعشع بیش‌تر با رنگ سیاه‌رنگ آمیزی شد. ارتفاع دندانه‌های V شکل جاذب هواگرم‌کن $1/5$ سانتی‌متر و زاویه مربوط به هر دندانه 120 درجه بود. برای انتقال هوای گرم از هواگرم‌کن به آب‌شیرین‌کن، یک محفظه در بخش زیرین آب‌شیرین‌کن در نظر گرفته‌شد که با استفاده از لوله‌هایی که به‌خوبی عایق شده، هوای گرم را از هواگرم‌کن به محفظه عبور هوا در زیر آب‌شیرین‌کن انتقال می‌داد. برای جمع‌آوری آب تقطیرشده در انتهای بخش شیب‌دار آب‌شیرین‌کن، یک سینی کوچک در نظر گرفته‌شد که آب تولیدشده را به‌سمت بطری مخصوص جمع‌آوری آب تازه هدایت می‌کرد.

۲- بیان مسئله

طراحی و ساخت آب‌شیرین‌کن خورشیدی ساده و آب‌شیرین‌کن خورشیدی ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی، از اقدامات صورت‌گرفته در این تحقیق است. هم‌چنین مدل‌سازی ریاضی هر دو آب‌شیرین‌کن نیز انجام شده و اثر پارامترهای مختلف بر روی میزان تولید آب مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله پارامترهایی که باید اثر آن‌ها را بر میزان کارایی و نحوه عملکرد آب‌شیرین‌کن ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی مورد بررسی قرار داد، می‌توان به مشخصات هواگرم‌کن مانند ارتفاع دندانه‌های جاذب، فاصله بین جاذب و شیشه، دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم‌کن، زاویه صفحه جاذب و طول کلکتور اشاره نمود که بر روی دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن تأثیر گذاشته و بالطبع سبب ایجاد تغییر در عملکرد آب‌شیرین‌کن خواهد شد؛ لذا در این مقاله به‌طور دقیق‌تری تأثیر پارامترهای مربوط به هواگرم‌کن بر روی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن خورشیدی بررسی شده است. شایان ذکر است پیش‌بینی می‌شود که پارامترهای دیگری از جمله شرایط محیطی مانند رطوبت نسبی و سرعت وزش باد و ... و برخی پارامترهای فیزیکی دیگر مانند جنس و نوع صفحه جاذب هواگرم‌کن نیز بر عملکرد سیستم تأثیرگذار باشند که در این پژوهش به‌دلیل محدودیت و جلوگیری از طولانی شدن مطلب از ارائه آن‌ها صرف‌نظر شده است.



شکل ۱- سیستم آزمایشگاهی شامل آب‌شیرین‌کن خورشیدی ساده و آب‌شیرین‌کن ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی (آذری و همکاران، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱)

۳- شرح دستگاه

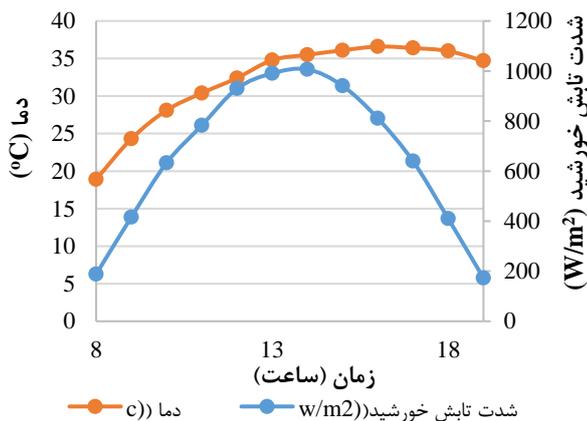
تصویر آب‌شیرین‌کن خورشیدی ترکیب‌شده با هواگرم‌کن

۴- معادلات حاکم

که \dot{m} : تولید آب برحسب T_w , kg, دمای آب در آب شیرین کن برحسب $(^{\circ}C)$, T_g : دمای شیشه در آب شیرین کن $(^{\circ}C)$, h_{fg} : گرمای نهان تبخیر آب و h_{evp} : ضریب انتقال حرارت تبخیر برحسب $\frac{J}{kg}$ هستند.

۵- نتایج حاصل از آزمایش ها و مدل سازی

آزمایش های مربوط به بررسی میزان تولید آب و بازدهی آب شیرین کن خورشیدی ترکیب شده با هواگرم کن در ۸ روز بین روزهای ۲۰ تا ۳۱ مردادماه ۱۳۹۹ انجام شد. برای بررسی عملکرد آب شیرین کن با استفاده از مدل سازی ریاضی، از داده های آب و هوایی در ۳۱ مردادماه استفاده شد. نمودار تشعشع خورشید و دمای هوای محیط برای روز ۱۳۹۹/۰۵/۳۱ در شکل ۲ ارائه شده است. مشاهده می شود که شدت تابش خورشید از ۱۷۳ تا ۱۰۰۷ وات بر مترمربع تغییر کرده و در ساعت ۱۴ به حداکثر مقدار خود می رسد. هم چنین دمای هوای محیط از $18/9^{\circ}C$ تا $36/6^{\circ}C$ در طول آزمایش تغییر می کند.



شکل ۲- نمودار تغییرات تشعشع خورشید و دمای هوای محیط برای روز ۱۳۹۹/۰۵/۳۱

۵-۱- اثر تغییرات پارامترهای مربوط به هواگرم کن خورشیدی بر میزان تولید آب در آب شیرین کن ترکیب شده با هواگرم کن

تغییرات برخی پارامترهای مهم هواگرم کن خورشیدی ممکن است بر روی بازده و کارایی آب شیرین کن ترکیب شده با هواگرم کن خورشیدی تأثیرگذار باشد؛ لذا در این تحقیق از روش مدل سازی ریاضی سیستم آب شیرین کن برای بررسی این موضوع استفاده شده است. در میان پارامترهای مختلفی که بر روی دمای هوای خروجی از هواگرم کن اثرگذارند، ارتفاع دندانهای V شکل جاذب $(H_{g,ac})$ ، فاصله بین جاذب و شیشه $(H_{c,ac})$ ، دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم کن (\dot{m}_{ac}) ، زاویه صفحه جاذب (θ) و طول

در این تحقیق فرض شده که هوای مرطوب گاز ایده آل و اشباع بوده و دستگاه بدون نشتی بخار است. هم چنین به دلیل وجود شرایط اشباع در محفظه آب شیرین کن، فرض می شود که میزان تبخیر و تقطیر برابر بوده و از انتقال جرم صرف نظر شده است. رابطه موازنه انرژی برای شیشه، آب و صفحه زیرین آب شیرین کن ترکیب شده با هواگرم کن خورشیدی براساس ضرایب انتقال حرارت به صورت زیر است (آذری و همکاران، ۱۴۰۱):

$$\alpha_g I + h_1(T_w - T_g) = h_2(T_g - T_a) \quad (1)$$

که α_g : ضریب جذب شیشه، $I(t)$: شدت تابش خورشید برحسب $(\frac{W}{m^2})$ ، T_g : دمای شیشه برحسب $(^{\circ}C)$ ، T_w : دمای آب $(^{\circ}C)$ و T_a : دمای هوای محیط $(^{\circ}C)$ است. موازنه انرژی برای صفحه زیرین آب شیرین کن فعال:

$$\tau_p I + h_4(T_p - T_f) = h_3(T_p - T_w) \quad (2)$$

که T_p : دمای صفحه زیرین، T_f : دمای سیال، T_w : دمای آب بر حسب $(^{\circ}C)$ بوده و T_p : ضریب انتقال حرارت تابشی در صفحه زیرین است. موازنه انرژی برای آب:

$$\tau_w I A_p + h_3 A_p (T_p - T_w) + Q_{ac} = M_w C_w \frac{dT_w}{dt} + h_1 A_g (T_w - T_g) \quad (3)$$

که T : دمای صفحه زیرین برحسب $(^{\circ}C)$ و τ_w : ضریب انتقال حرارت تابشی آب است.

در روابط (۱) الی (۳)، h_1, h_2, h_3, h_4 ضرایب انتقال حرارت جابه جایی در سیستم آب شیرین کن خورشیدی برحسب $\frac{W}{m^2 k}$ هستند. هم چنین Q_{ac} گرمای ورودی از هواگرم کن خورشیدی به آب شیرین کن برحسب وات بوده و از رابطه (۴) محاسبه می شود.

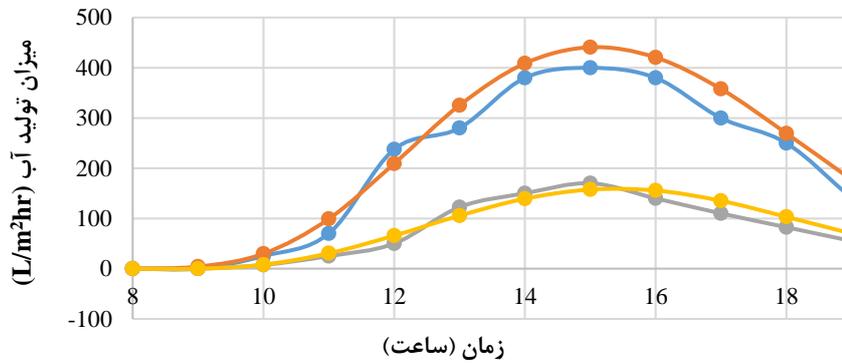
$$Q_{ac} = 2m_{ac} C_{p,air} (T_f - T_a) \quad (4)$$

که T_f : دمای هوای خروجی از هواگرم کن، T_a : دمای هوای محیط برحسب $(^{\circ}C)$ ، m_{ac} : دبی جرمی هوا در هواگرم کن برحسب $\frac{kg}{m^2 s}$ و $C_{p,air}$: گرمای ویژه هوا برحسب $\frac{J}{kg^{\circ}C}$ است. هم چنین میزان تولید آب در آب شیرین کن با رابطه (۵) محاسبه می شود (رهبر و اصفهانی، ۱۳۹۲).

$$\dot{m} = (h_{evp}(T_w - T_g)/h_{fg}) \times 3600 \quad (5)$$

ساده ۰/۹۸۹ لیتر بر مترمربع در روز و برای آب شیرین کن ترکیب شده با هواگرم کن ۲/۴۶۷ لیتر بر مترمربع در روز است که نشان دهنده ۱۵۰٪ افزایش تولید در آب شیرین کن فعال است. خطای متوسط بین نتایج تجربی و تئوری حدود ۱۰٪ است.

کلکتور (L) پارامترهای بسیار مهمی هستند. در شکل ۳ میزان تولید آب در ساعات مختلف برای آب شیرین کن ساده و ترکیب شده با هواگرم کن براساس نتایج تجربی و مدل سازی نشان داده شده است. میزان تولید متوسط آب در روزهای آزمایش بر مبنای نتایج تجربی برای آب شیرین کن

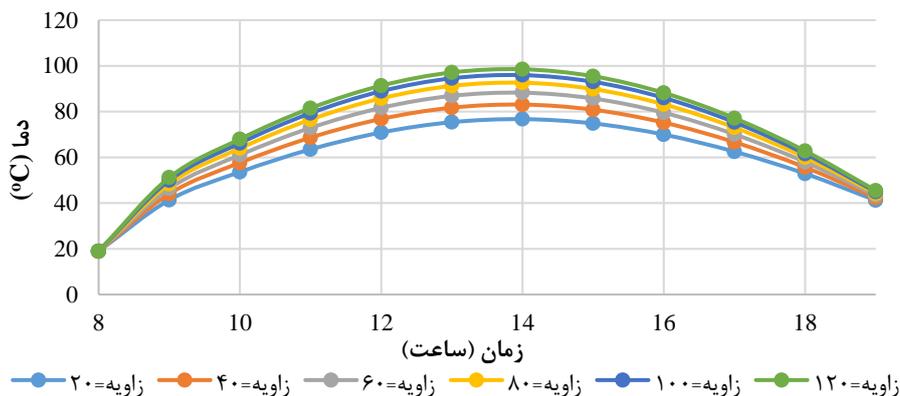


شکل ۳- مقایسه بین نتایج تجربی و تئوری برای تولید آب در آب شیرین کن ساده و آب شیرین کن ترکیب شده با هواگرم کن خورشیدی

ساعت ۱۴ به حداکثر مقدار خود می رسد و پس از آن به دلیل کاهش شدت تابش خورشید روند کاهشی دارد. با افزایش زاویه صفحه جاذب از ۲۰ درجه تا ۱۲۰ درجه، مقدار متوسط دمای هوای خروجی از هواگرم کن، ۲۵ درصد افزایش می یابد؛ زیرا افزایش زاویه صفحه جاذب سبب افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی شده و انتقال حرارت به هوای درون هواگرم کن افزایش می یابد. با افزایش زاویه (θ)، انتقال حرارت تابشی از جاذب به سطوح هواگرم کن افزایش یافته و دمای هوای خروجی از کلکتور افزایش پیدا می کند.

۲-۵- اثر زاویه صفحه جاذب بر روی میزان تولید آب شیرین کن

با استفاده از مدل سازی ریاضی، اثر زاویه صفحه جاذب بر روی میزان تولید آب در آب شیرین کن ترکیب شده با هواگرم کن خورشیدی بررسی شد. شکل ۴ دمای هوای خروجی از هواگرم کن خورشیدی را برای زاویه های مختلف صفحه جاذب دنداندار برای روز ۱۳۹۹/۰۵/۳۱ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود دمای هوای خروجی از هواگرم کن با زمان افزایش یافته و در



شکل ۴- تغییرات دمای هوای خروجی از هواگرم کن برای زوایای مختلف صفحه جاذب

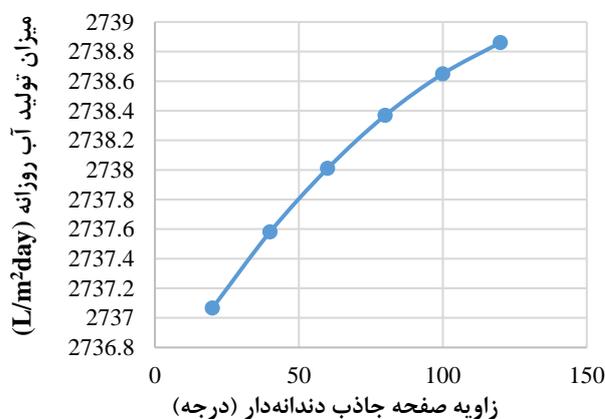
در میزان تولید آب مشاهده نمی شود. این امر به دلیل افزایش ناچیز دمای هوای خروجی از هواگرم کن با افزایش زاویه (θ) است. بنابراین به دلیل کم بودن اثر تغییر زاویه صفحه جاذب بر ضریب انتقال حرارت هدایتی و بالطبع آن تغییر ناچیز دمای هوای

در شکل ۵ اثر زاویه صفحه جاذب دنداندار بر روی میزان تولید آب در آب شیرین کن فعال نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش زاویه (θ) میزان تولید آب روزانه ۰/۰۷ درصد افزایش داشته که قابل اغماض بوده و تغییرات زیادی

با تغییر ارتفاع دندانه‌های صفحه جاذب ($H_{g,ac}$) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن تا ظهر افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش ارتفاع دندانه‌ها از ۰/۱۵ متر تا ۰/۲ متر، یک کاهش ۱۰/۴ درصدی در دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن مشاهده می‌شود. این کاهش ناشی از کاهش انتقال حرارت از جاذب به هوای درون هواگرم‌کن است.

تغییرات میزان آب تولیدشده در آب‌شیرین‌کن برحسب تغییرات ارتفاع دندانه صفحه جاذب هواگرم‌کن در شکل ۷ نشان داده شده است. با افزایش ارتفاع دندانه ($H_{g,ac}$) از ۰/۱۵ متر تا ۰/۲ متر میزان تولید آب ۰/۳ درصد کاهش یافته است. میزان تأثیر ارتفاع دندانه‌های صفحه جاذب بر روی میزان تولید آب به دلیل تغییرات ناچیز دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن با تغییر ارتفاع دندانه‌های جاذب، کم است که علت این امر نیز به دلیل کاهش انتقال حرارت به هوای درون کانال با افزایش ارتفاع دندانه‌های صفحه جاذب است؛ زیرا افت فشار ناشی از افزایش بیش از حد ارتفاع دندانه‌ها در کاهش انتقال حرارت موثر است.

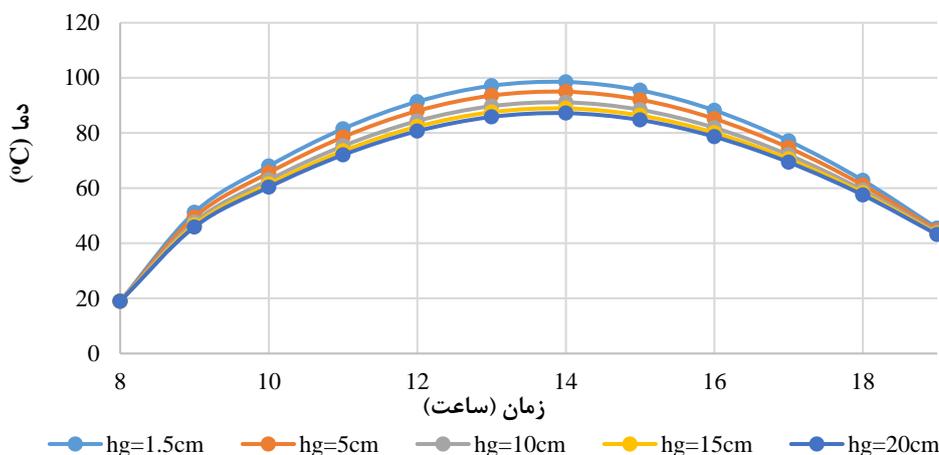
خروجی از هواگرم‌کن با تغییر زاویه جاذب، افزایش قابل توجهی در دمای آب درون تشتک آب‌شیرین‌کن و نرخ تولید آب رخ نمی‌دهد.



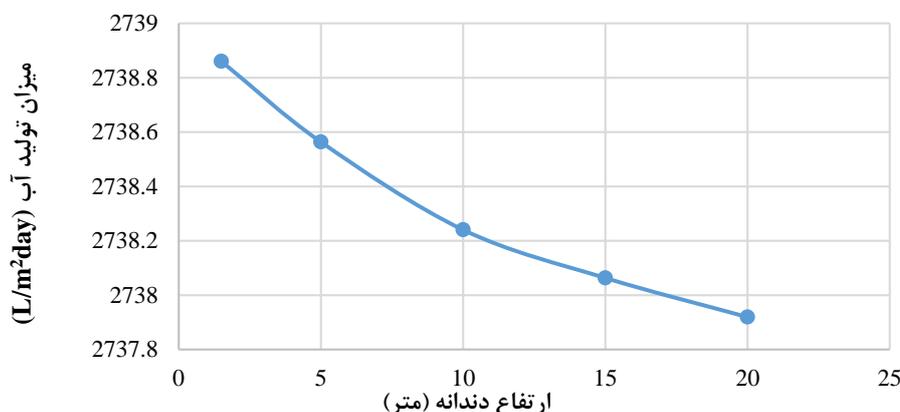
شکل ۵- تغییرات میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن با تغییر زاویه استقرار صفحه جاذب در هواگرم‌کن خورشیدی

۳-۵- اثر ارتفاع دندانه‌های ۷-شکل صفحه جاذب بر روی میزان تولید آب‌شیرین‌کن

در شکل ۶ تغییرات دمای خروجی از هواگرم‌کن خورشیدی



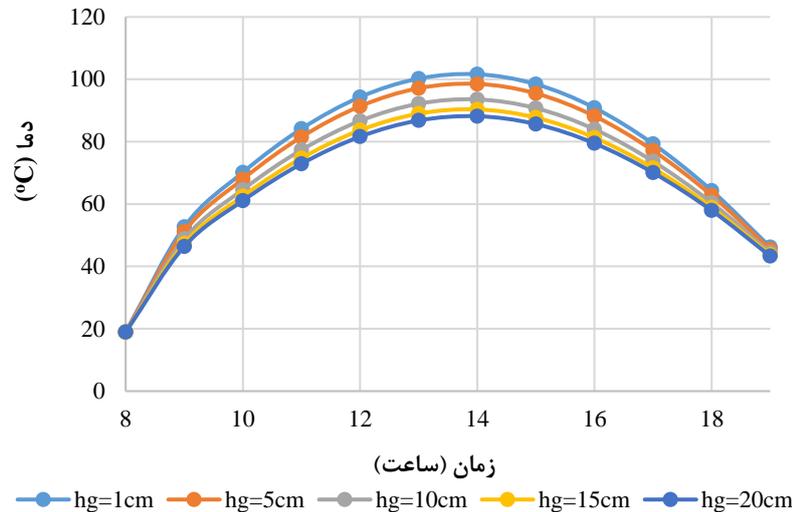
شکل ۶- تغییرات دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن با تغییر ارتفاع دندانه‌های صفحه جاذب



شکل ۷- تغییرات میزان تولید آب‌شیرین‌کن با تغییر ارتفاع دندانه‌های جاذب هواگرم‌کن H_g

بیشینه خود می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد. فاصله بین شیشه و جاذب از ۰/۱ متر تا ۰/۲ متر تغییر کرده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله بین شیشه و جاذب ($H_{c,ac}$)، دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن ۱۲٪ کاهش می‌یابد. این کاهش ناشی از افت ناچیز ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بین شیشه و جاذب در اثر افزایش فاصله بین شیشه و جاذب است.

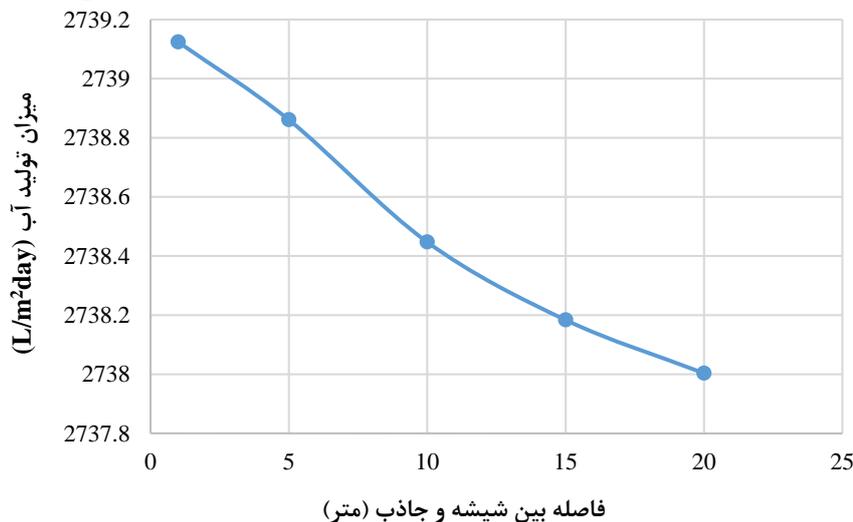
۴-۵- اثر میزان فاصله بین جاذب و شیشه در هواگرم‌کن خورشیدی بر روی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن
در شکل ۸ دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن برای فواصل مختلف بین شیشه و جاذب نشان داده شده است. براساس نتایج، دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن تا ظهر افزایش یافته و به مقدار



شکل ۸- تغییرات دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن با تغییر فاصله بین شیشه و جاذب در هواگرم‌کن خورشیدی

۰/۰۴ درصد کاهش می‌یابد. این تغییرات ناچیز به دلیل تغییرات بسیار کم عدد رینولدز و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی در اثر تغییر ناچیز دمای هوای خروجی با افزایش ($H_{c,ac}$) است.

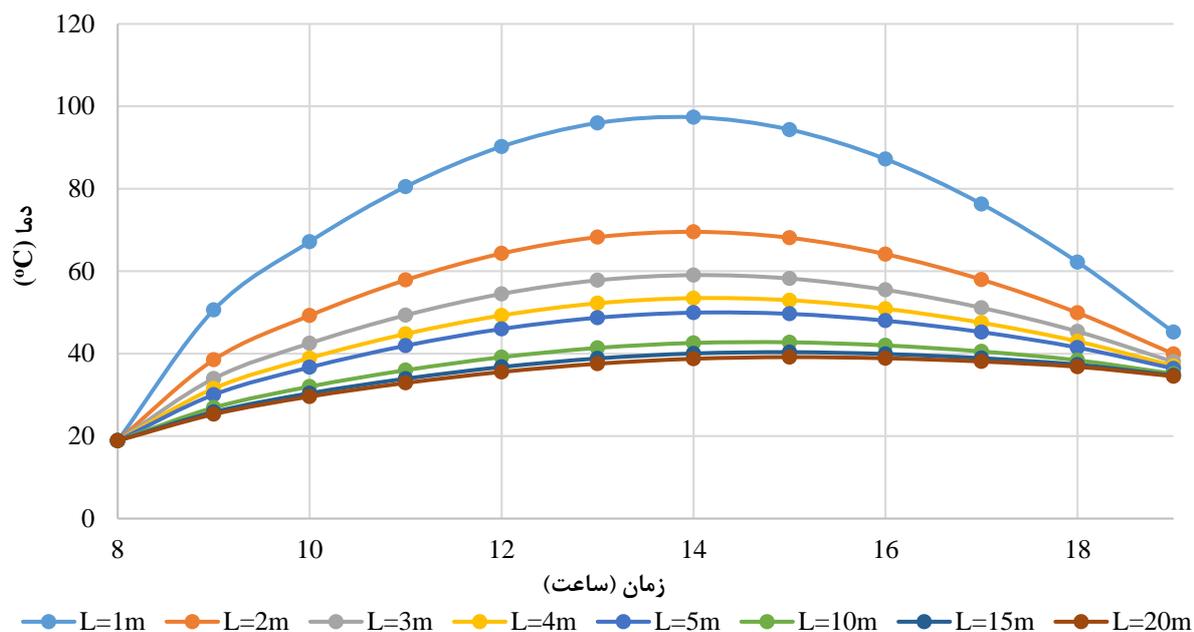
شکل ۹ اثر تغییر فاصله بین شیشه و جاذب را بر روی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن نشان می‌دهد. با افزایش فاصله بین شیشه و جاذب ($H_{c,ac}$) از ۰/۱ متر تا ۰/۲ متر، میزان تولید آب



شکل ۹- تغییرات میزان تولید آب‌شیرین‌کن با تغییر فاصله بین شیشه و جاذب در هواگرم‌کن $H_{c,ac}$

افزایش طول هواگرم‌کن از ۱ متر تا ۲۰ متر دمای هوای خروجی از آن ۴۳٪ کاهش یافته است؛ بنابراین با افزایش طول هواگرم‌کن ضریب انتقال حرارت هدایتی بین شیشه و هوا کاهش یافته و طبق معادلات مربوطه دمای هوای خروجی کاهش می‌یابد.

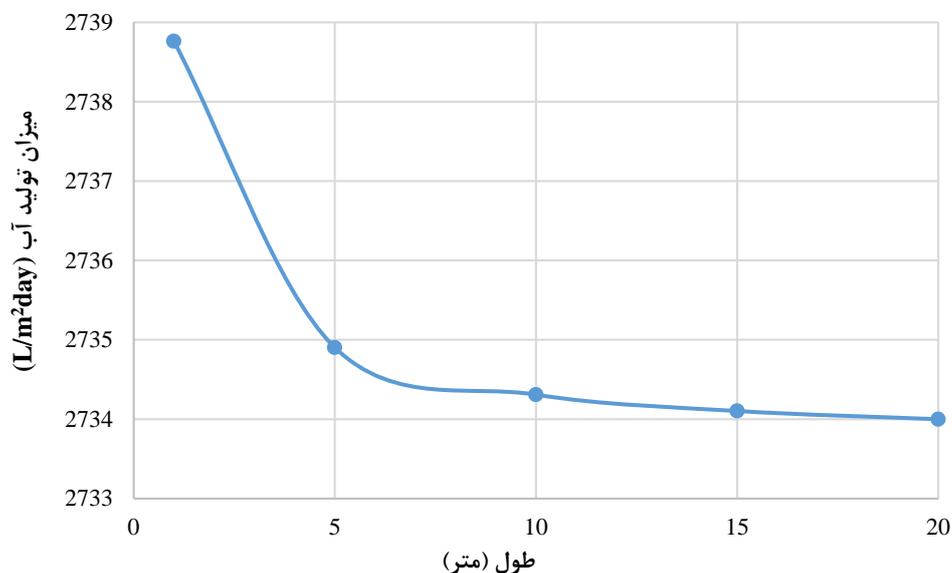
۵-۵- اثر طول هواگرم‌کن بر میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن
تغییرات دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن با تغییر طول آن در شکل ۱۰ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با



شکل ۱۰- تغییرات دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن برحسب طول هواگرم‌کن

زیرا دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن در طول آن دارای افت بوده و میزان انتقال حرارت از هواگرم‌کن به آب درون تشتک کاهش یافته و سبب کاهش میزان تولید آب شده است.

شکل ۱۱ تغییرات میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن جدید برحسب طول هواگرم‌کن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش طول کلکتور، میزان تولید آب ۰/۱۴ درصد کاهش می‌یابد؛

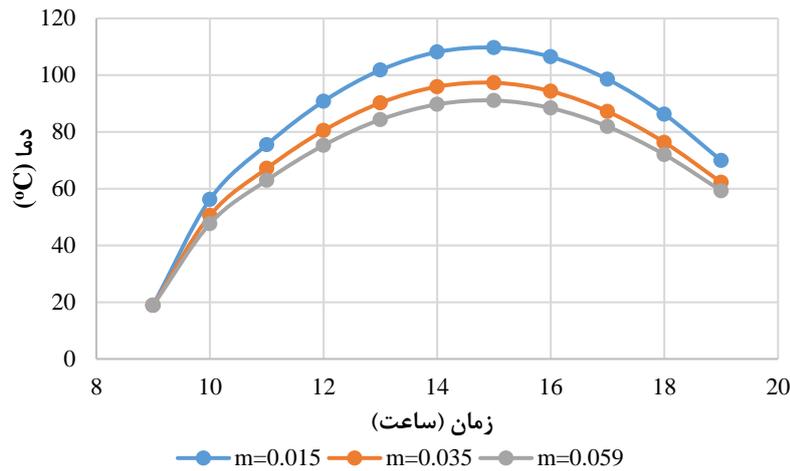


شکل ۱۱- تغییرات میزان تولید آب‌شیرین‌کن با تغییر طول هواگرم‌کن

ورودی از ۰/۱۵ تا ۰/۰۵۹ کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن ۲۵ درصد کاهش یافته است. این امر به دلیل افزایش ضریب انتقال حرارت بین سطوح هواگرم‌کن و هوای درون کلکتور است. افزایش دبی هوای ورودی به مقادیر بیش از ۰/۰۵۹ کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، اثر قابل توجهی بر روی دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن ندارد.

۵-۶- اثر دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم‌کن در میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن

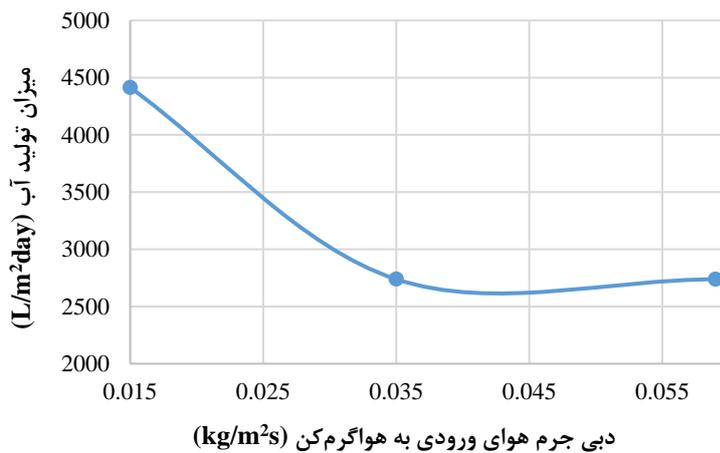
دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن برای سه دبی جرمی مختلف هوای ورودی به هواگرم‌کن در شکل ۱۲ ارائه شده است. بیشینه دمای هوا در ساعت ۱۴ برای دبی هوای ورودی ۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه است. با افزایش دبی جرمی هوای



شکل ۱۲- تغییرات دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن بر حسب دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم‌کن

کم هوا و کاهش تولید آنتروپی است که در اثر افزایش دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن که به کانال زیرین آب‌شیرین‌کن جدید وارد می‌شود، بوده و سبب افزایش اختلاف دما بین آب و شیشه می‌شود، بنابراین میزان تولید آب افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۳ اثر دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم‌کن بر روی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن نشان داده شده است. با کاهش نرخ دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم‌کن از ۰/۰۵۹ تا ۰/۰۱۵ کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، نرخ تولید آب ۶۱٪ افزایش می‌یابد. این پدیده به دلیل افزایش دمای آب در دبی‌های جرمی



شکل ۱۳- تغییرات میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن جدید بر حسب دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم‌کن

۶- نتیجه‌گیری

آب ۱۴٪ درصد کم شده است.

- با افزایش دبی جرمی هوای ورودی به هواگرم‌کن، دمای هوای خروجی از آن ۲۵٪ کاهش داشته و میزان تولید آب ۶۱٪ در آب‌شیرین‌کن فعال کاهش می‌یابد.

- با افزایش زاویه دندانه‌های صفحه جاذب هواگرم‌کن در آب‌شیرین‌کن فعال بین ۲۰ و ۱۲۰ درجه، دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن ۲۵٪ افزایش داشته؛ درحالی‌که میزان تولید آب فقط ۰/۰۷ درصد افزایش یافته است.

۷- پیشنهادها برای کارهای آینده

نتایج حاصل از این تحقیق، افق جدیدی را در بررسی و مدل‌سازی ترمودینامیکی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی به خصوص آب‌شیرین‌کن‌های ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی گشوده که لازم است تحقیقات وسیع‌تری برای عمق‌بخشیدن به آن و

- با افزایش ارتفاع دندانه‌های جاذب هواگرم‌کن، دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن ۱۰/۴ درصد کاهش یافته؛ درحالی‌که میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن جدید ۰/۰۳ درصد کاهش داشته است.

- با افزایش فاصله بین شیشه و جاذب در هواگرم‌کن، دمای هوای خروجی از هواگرم‌کن ۴۳٪ کاهش داشته و میزان تولید

- <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28297>.
- Azari, P., Lavasani, A. M., Rahbar, N., and Yazdi, M.E., (2022), "Performance enhancement of a solar still using a V-groove solar air collector, Experimental study with energy, exergy, enviroeconomic, and exergoeconomic analysis", *Environmental Science and Pollution Research*, 29(37), 56885-56885, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21397-2>.
- Azari, P., Mirabdollah Lavasani, A., Rahbar, N., and Eftekhari Yazdi, M., (2022), "Combination of a v-grooved solar collector with a single slope solar still: Performance evaluation, mathematical modeling, and economic analysis", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(15), 8731-8753, <https://doi.org/10.1177/09544062221081297>.
- Chang, Z., Yang, J., Chu, Y., Hou, J., and Su, Y., (2025), "Energy, exergy and economic analysis of a novel immersion tapered solar still for combination with solar concentrator", *Desalination*, 601, 118560, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.118560>.
- Eltawil, M.A., and Omara, Z.M., (2014), "Enhancing the solar still performance using solar photovoltaic, flat plate collector and hot air", *Desalination*, 349, 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.06.021>.
- Poblete, R., Salihoglu, G., and Salihoglu, N.K., (2016), "Investigation of the factors influencing the efficiency of a solar still combined with a solar collector", *Desalination and Water Treatment*, 57(60), 29082-29091, <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1202872>.
- Rahbar, N., and Esfahani, J.A., (2013), "Productivity estimation of a single-slope solar still: Theoretical and numerical analysis", *Energy*, 49, 289-297, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.023>.
- Sai, P.V., and Reddy, K.S., (2024), "Theoretical and experimental investigations of inclined solar still using secondary reflectors on east-west for enhanced distillate yield", *Applied Thermal Engineering*, 236, 121836, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121836>.
- Samimi, M., and Moghadam, H., (2024), "Investigation of structural parameters for inclined weir-type solar stills", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 190, 113969, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113969>.
- Tei, E.A., Hameed, R.M. S., Ilyas, M., and Athikesavan, M.M., (2024), "Experimental investigation of inclined solar still with and without sand as energy storage materials", *Journal of Energy Storage*, 77, 109809, <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109809>.
- دستیابی به نتایج دقیق‌تر صورت‌گیرد. به‌عنوان مثال می‌توان موارد زیر را برای ادامه کار در این زمینه پیشنهاد داد:
- بررسی تأثیر جنس و نوع بدنه آب‌شیرین‌کن و هواگرم‌کن بر کارایی سیستم؛
 - بررسی اثر استفاده از مواد تغییردهنده فاز در زیر هواگرم‌کن بر روی میزان تولید آب در آب‌شیرین‌کن؛
 - بهینه‌سازی آب‌شیرین‌کن‌های ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی؛
 - بررسی شیب شیشه به‌صورت هم‌زمان در آب‌شیرین‌کن و هواگرم‌کن بر ساختار جریان درون آب‌شیرین‌کن و ضرایب انتقال حرارت جابه‌جایی و تبخیر؛
 - بررسی بیش‌تر در مورد تأثیر شرایط محیطی و حرارتی در کارایی آب‌شیرین‌کن ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی؛
 - بررسی تأثیر تغییر ارتفاع محل استقرار آب‌شیرین‌کن خورشیدی ترکیب‌شده با هواگرم‌کن خورشیدی بر کارایی سیستم؛
 - بررسی امکان استفاده از سیستم فتوولتائیک برای تأمین برق فن مربوط به هواگرم‌کن خورشیدی در آب‌شیرین‌کن ترکیب‌شده با هواگرم‌کن.

۸- مراجع

- هاشم‌پور، ف.، پرداختی، ع.، و جمشیدی، ش.، (۱۴۰۳)، "برآورد پیامدهای محیط‌زیستی تجمعی سامانه‌های نمک‌زدایی برمبنای شاخص‌های ReCiPe مورد استفاده در ارزیابی چرخه حیات"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۹(۱)، ۱۹-۳۱، <http://doi.org/10.22112/jwwse.2023.364061.1328>
- صراف‌زاده، م.ح.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های نمک‌زدایی از آب دریا با در نظر گرفتن ویژگی‌های بومی در نقاط مختلف دنیا"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۲(۱)، ۲۸-۳۷، <http://doi.org/10.22112/jwwse.2017.89834.1030>.
- Abdelgaied, M., Attia, M.E.H., Arıcı, M., and Abdel-Aziz, M.M., (2023), "Performance enhancement of a conical solar still by optimizing inclination angle", *Solar Energy*, 264, 112001, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112001>.
- Abdullah, A.S., (2013), "Improving the performance of stepped solar still", *Desalination*, 319, 60-65, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.04.003>.
- Azari, P., Lavasani, A.M., Rahbar, N., and Yazdi, M.E., (2022), "The effect of air flow on solar stills performance: A review", *Desalination and Water Treatment*, 256, 1-17,



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Leak Localization in Water Supply Networks through a Calibration Approach Using the Grasshopper Optimization Algorithm and K-means Clustering Integrated with the Genetic Algorithm

مکان‌یابی نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از رویکرد واسنجی توسط الگوریتم بهینه‌سازی ملخ و خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک

Reza Moasheri¹, Reza Ahmadi Kohanali² and Mohammadreza Jalili Ghazizadeh^{3*}

رضا معاشری^۱، رضا احمدی کهنعلی^۲ و محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده^{۳*}

1- Ph.D. Graduate, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

۱- دانش‌آموخته دکتری تخصصی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

2- M.Sc. Graduate, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

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

3- Associate Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

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

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

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

Received: 14/01/2024

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

Revised: 28/05/2024

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸

Accepted: 14/07/2024

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

This paper presents a model-based methodology for leak localization in water distribution networks using the Grasshopper Optimization Algorithm (GOA). The approach calibrates a hydraulic model by minimizing the discrepancy between simulated and field pressure measurements. Two distinct methodologies are proposed: The first method accurately locates leaks by assuming a predetermined number of simultaneous leaks. The second method, designed for scenarios where the number of leaks is unknown, integrates the K-means clustering technique with a Genetic Algorithm (GA) to partition the network into zones. A novel strategy is introduced to determine the optimal number of these zones, with the primary goal of identifying the zone most susceptible to leakage. The proposed methodology was tested on the Poulakis and Balerna benchmark networks under 2000 leakage scenarios. Results indicate that the success rate of the first method decreases as the number of simultaneous leaks increases. Overall, the second method outperforms the first, demonstrating the potential to achieve 99% accuracy in leak localization. The framework outlined in this study shows significant promise for effective leakage management in water supply systems.

در این مقاله، روشی مبتنی بر به‌کارگیری مدل هیدرولیکی، برای تعیین محل یا محدوده نشت‌های یک شبکه آبرسانی پیشنهاد شده است که از الگوریتم جدید بهینه‌سازی ملخ (GOA) استفاده می‌کند. این روش براساس مقایسه نتایج داده‌های شبیه‌سازی شده و میدانی فشار، عمل می‌نماید. روش پیشنهادی شامل دو رویکرد مختلف است؛ در رویکرد اول، با فرض مشخص بودن تعداد نشت‌های موجود، محل آن‌ها به‌صورت دقیق شناسایی می‌شود. در رویکرد دوم، بدون نیاز به آگاهی از وجود تعداد نشت‌های هم‌زمان موجود، پهنه‌بندی شبکه مورد مطالعه توسط روش خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک (GA)، صورت می‌گیرد. در این راستا نیز راهبرد جدیدی برای دستیابی به تعداد پهنه‌های بهینه پیشنهاد شده است. هدف اصلی در استفاده از رویکرد دوم، مکان‌یابی پرنشت‌ترین پهنه موجود است. روش پیشنهادی بر روی دو شبکه مرجع پولاکیس و بالرما تحت ۲۰۰۰ سناریوهای مختلف نشت، پیاده‌سازی شد. نتایج نشان داد که در رویکرد اول با افزایش تعداد نشت‌های هم‌زمان، درصد موفقیت آن کاهش می‌یابد. به‌صورت کلی نیز رویکرد دوم بر رویکرد اول پیشنهادی ارجحیت داشته و قابلیت دستیابی به صحت ۹۹ درصدی مکان‌یابی نشت را دارا است. روش ارائه‌شده در این مقاله، می‌تواند نقش زیادی در کاهش نشت شبکه‌های آبرسانی داشته باشد.

Keywords: Leak Detection, Grasshopper Optimization Algorithm, Genetic Algorithm, Water Supply Networks, K-means Clustering.

کلمات کلیدی: نشت‌یابی، الگوریتم بهینه‌سازی ملخ، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های آبرسانی، خوشه‌بندی K-means.

(2019). این بدان معنا است که وقوع نشت در شبکه‌های آبرسانی منجر به کاهش کارایی شرکت‌های آب و فاضلاب خواهد شد. لذا به دلیل آسیب‌ها و هزینه‌های مرتبط ذکر شده، عملیات نشت‌یابی و تشخیص نشت‌های موجود در یک شبکه آبرسانی، یک نگرانی مهم برای دولت‌ها و سرمایه‌گذاران مختلف محسوب می‌شود. از جمله روش‌های رایج نشت‌یابی می‌توان به روش‌های صوتی، استفاده از گاز ردیاب، روش ترموگرافی، استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین، استفاده از اشعه نفوذپذیر در زمین، نشت‌یابی ماهواره‌ای و استفاده از سگ‌های نشت‌یاب اشاره کرد (Hamilton and Charalambous, 2020).

روش‌های مذکور به روش‌های فیزیکی نشت‌یابی معروف هستند. نشت می‌تواند با اجرای این روش‌ها تشخیص داده شده و برطرف شود، اما این امر مستلزم انجام کاری سخت و استفاده از تجهیزات گران و پیشرفته است. در مقابل، تکنیک‌ها یا روش‌های نشت‌یابی با رویکرد شبیه‌سازی - میدانی قرار دارند که کم‌هزینه و کم‌زحمت‌تر بوده و می‌توانند بسیار کارآمد باشند. از طرفی، این تکنیک‌ها به چند نفر که غالباً با استفاده از یک سامانه، به نظارت مستمر بر روی خطوط لوله فعالیت می‌کنند، نیاز ندارد (Zaman et al., 2020). از جمله رایج‌ترین روش‌های نشت‌یابی با رویکرد شبیه‌سازی - میدانی عبارتند از: نشت‌یابی با استفاده از فرآیند واسنجی هیدرولیکی و نشت‌یابی به کمک شبکه‌های عصبی. در ادامه برخی از مهم‌ترین مطالعات مرتبط ارائه شده است.

(2011) Tabesh et al. واسنجی هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) را بررسی کردند. شبکه مورد مطالعه آن‌ها شامل ۱۶ لوله، ۱۲ گره و یک مخزن آب بود. در این پژوهش، با پارامترهای تنظیمی مختلف، ضریب زبری لوله‌ها و مصارف گره‌ها و قطر لوله‌ها، واسنجی شبکه آب مورد مطالعه در ۴ زمان مختلف (حداقل مصرف، حداکثر مصرف، مصرف معمولی و شرایط آتش‌نشانی) مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری میدانی آن‌ها شامل فشارسنجی در ۴ گره مختلف شبکه بود. نتایج آن‌ها نشان داد که انجام عمل واسنجی شبکه در زمانی که دبی لوله‌ها زیاد است (یعنی شرایط آتش‌نشانی) دارای کم‌ترین خطا و در حالت حداقل مصرف دارای بیش‌ترین خطا است. در ادامه با در نظرگیری نشت شبکه در فرآیند شبیه‌سازی در مدل هیدرولیکی شبکه، خطای واسنجی شبکه در زمان حداقل مصارف مشترکین، کاهش یافت.

فغفور مغربی و همکاران (۱۳۹۲) مقدار و موقعیت نشت را در گره‌های شبکه با استفاده از واسنجی هیدرولیکی توسط GA و

به‌صورت کلی، در طول ۴۰ سال گذشته مصرف آب در دنیا در هر سال به میزان تقریباً ۱٪ افزایش پیدا کرده است؛ البته تمرکز چنین افزایش مصرفی، در کشورهای کم‌درآمد و هم‌چنین کشورهای در حال توسعه بوده است (UN-Water, 2023). آبرسانی ثابت و دارای اطمینان، موضوع مهمی در مقوله امنیت جهانی محسوب می‌شود. شبکه‌های آبرسانی، زیرساخت مهمی برای تحویل آب با کمیت، کیفیت و فشار قابل‌قبول به مشترکین هستند (Ferreira et al., 2023). به‌منظور تهیه و در اختیار‌گذاری بخش قابل‌توجهی از آب مورد نیاز، انرژی و هزینه‌های زیادی صرف انتقال، تصفیه و توزیع آن می‌شود. در مقابل بخشی از این آب به دلیل ایجاد نشت در شبکه‌های آبرسانی تلف شده و به مصرف‌کننده نهایی یا مشترکین منتقل نمی‌شود. تقریباً یک‌سوم کل آب استحصال‌شده برای مصارف شهری، به‌علت نشت و ترکیبگی لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی از دست می‌رود و در سامانه‌های درآمد و تأمین مالی گنجانده نمی‌شود. از سوی دیگر، براساس تخمین‌های انجام‌شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA)^۱، مقدار متوسط نشت حدود ۱۰ هزار گالن آب در سال به‌ازای هر خانوار بوده و این سبب می‌شود که حدود یک تریلیون گالن آب تصفیه‌شده در سراسر کشور به‌دلیل نشت تلف شود (US-EPA, 2020). هزینه‌های مرتبط با یک نشت کوچک در یک شبکه آبرسانی نیز حدود ۶۴ هزار دلار برآورد شده است (Slowey, 2019).

به‌صورت کلی، نشت یک چالش چندوجهی است که هم‌ایمنی تأمین آب و هم استفاده کارآمد از منابع آب و انرژی برای حمل و نقل را به خطر می‌اندازد و در نتیجه منجر به خسارات اقتصادی و مشکلات محیط‌زیستی می‌شود (Wu et al., 2023). از سوی دیگر، یکی از شاخص‌های ارزیابی شبکه‌های آبرسانی، مقدار آب بدون درآمد (NRW)^۲ است. این شاخص به سه گروه اصلی تلفات واقعی، تلفات ظاهری و مصارف مجاز بدون درآمد تقسیم می‌شود (Sousa et al., 2015).

مقادیر آب بدون درآمد برآوردشده برای کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به‌ترتیب ۱۵٪ و ۳۵٪ از حجم کل سالیانه ورودی به سامانه است؛ به‌نحوی که در پنج کشور در حال توسعه در آسیا، میانگین آب بدون درآمد حدود ۳۰٪ و در بازه ۴۰-۶۵٪ است (Kanakoudis and Tsitsifli, 2012).

نشت از شبکه‌های آبرسانی بخش مهمی از آب تلفات واقعی را تشکیل می‌دهد (Sadr-Al-Sadati and Jalili Ghazizadeh,

در خطوط لوله توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)^۸ پیشنهاد کردند. در این روش، ضریب زبری داری و ویسباخ لوله‌ها با استفاده از اطلاعات مربوط به عدد رینولدز و زبری نسبی (e/D) توسط یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه تخمین زده شده و به همراه داده فشار، به عنوان داده‌های ورودی شبکه عصبی اصلی استفاده می‌شود. خروجی‌های آن نیز شامل محل نشت است.

Hu et al. (2021) در روشی ابتدا یک شبکه آبرسانی را توسط الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی به چندین ناحیه تقسیم کردند. در ادامه توسط شبکه‌های عصبی پیچشی کامل دارای چند مقیاس، محدوده‌های دارای نشت را یافتند. (Fallahi et al. (2021) روشی برای نشت‌یابی شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی پیش‌خور ترکیبی ارائه دادند. این روش قادر به تشخیص یک نشت در شبکه بوده و تغییرات ساعتی دبی نشت در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز را در برمی‌گیرد. روش مذکور بر روی شبکه پولاکیس، پیاده‌سازی شد.

Li et al. (2021) الگوریتمی براساس فرآیند تجزیه و تحلیل بیزین مبتنی بر مدل، برای یافتن مقدار و محل نشت در شبکه‌های آبرسانی ارائه کردند. آن‌ها روش پیشنهادی خود را برای یافتن دو و سه نشت هم‌زمان در دو شبکه تحلیلی مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. معاشری و همکاران (۱۴۰۰) روشی را به منظور نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از الگوریتم ترکیبی PSOGA ارائه دادند. در روش پیشنهادی، عدم قطعیت در ضرایب زبری لوله‌ها با استفاده از رویکرد واسنجی هم‌زمان قابل‌اعمال است. آن‌ها روش پیشنهادی خود را در یک شبکه تمام حلقوی پیاده‌سازی کردند. نتایج اجرای سناریوهای مختلف نشان داد که روش ارائه‌شده قادر به دست‌یابی به نرخ موفقیت بالای ۹۰٪ در شناسایی پرنشت‌ترین ناحیه شبکه مورد مطالعه است.

Wu et al. (2022) برای تشخیص و پیش‌بینی سطح نشت از الگوریتم XGBoost و به منظور مدل سازی هیدرولیکی از نرم‌افزار ایپانت^۹ استفاده کردند. برای مدل‌سازی و انجام عملیات نشت‌یابی، سناریوهایی تعریف شده و نتایج حاصل از الگوریتم XGBoost با نتایج حاصل از شبکه عصبی back-propagation مقایسه شد. نتایج نشان داد که الگوریتم XGBoost در مکان‌یابی نشت موفق عمل می‌کند. (Snider et al. (2023) یک مدل مکان‌یابی نشت را با استفاده از مدل طبقه‌بندی جنگل تصادفی و الگوریتم مسئله حداکثر پوشش ارائه کردند. در این پژوهش ادعا شده است که این مدل در مقایسه با سایر پیش‌بینی‌های خوشه‌بندی و یادگیری ماشینی، فضای جستجو را بیش از ۳۵٪ کاهش می‌دهد.

الگوریتم کلونی مورچه‌ها (ACO)^۴ یافتند. شبکه مطالعاتی آن‌ها، شبکه معروف پولاکیس (Poulakis et al., 2003) بود. آن‌ها در سه سناریوی مختلف نشت، کارایی روش پیشنهادی خود را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که الگوریتم ACO عملکرد بهتری نسبت به GA در یافتن نشت‌های شبکه دارد.

Faghafur Maghrebi et al. (2014) روشی برای تعیین مقدار و محل نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی پیشنهاد دادند. در این پژوهش به منظور بهبود فرآیند آموزش شبکه عصبی، از الگوریتم خفاش استفاده شده بود. داده‌های مشاهداتی آن‌ها از نوع فشار و شبکه مورد مطالعه آن‌ها، پولاکیس بود. روش نام‌برده در سه مثال در شبکه عصبی متعارف و شبکه عصبی بهبودیافته با الگوریتم خفاش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از الگوریتم خفاش، نتیجه بهتری از الگوریتم‌های متعارف آموزش شبکه عصبی دارد. (Sousa et al. (2015) روشی برای شناسایی نشت در شبکه‌های آبرسانی با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA)^۵ و نظریه گراف^۶ پیشنهاد دادند. تابع هدف در این الگوریتم مجموع قدرمطلق اختلاف فشارهای میدانی از فشارهای شبیه‌سازی شده (نتایج تحلیل هیدرولیکی) است. الگوریتم پیشنهادی بر شبکه‌ای با یک مخزن، ۱۰۰ گره، ۱۲۹ لوله و ۲۹ حلقه پیاده‌سازی شد.

عطاری و فغفور مغربی (۱۳۹۷) پژوهشی در ارتباط با نشت‌یابی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه دادند. در روش مذکور با تولید داده‌های آموزشی و اعمال آن به شبکه عصبی مصنوعی، شبکه قادر خواهد بود که با دریافت فشار گره(ها)، موقعیت و مقدار دقیق نشت گرهی را تعیین کند. شبکه مورد مطالعه آن‌ها، شبکه پولاکیس بود. در این شبکه، تولید داده‌های آموزشی در حالت دو نشت هم‌زمان و با اعمال نشت فرضی برابر ۱۰٪ مصرف گرهی در برخی گره‌های شبکه انجام شده و برداشت میدانی از نوع فشار گرهی بود. نتایج نشان داد که این روش علاوه بر تعیین موقعیت نشت، در اکثر مواقع مقدار نشت گرهی را با خطای متوسط ۱۵٪ شناسایی می‌کند.

Moasheri and Jalili-Ghazizadeh (2020) روشی برای واسنجی هم‌زمان زبری لوله‌ها و نشت‌های مدل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی ارائه دادند. نشت به عنوان مصرف اضافی گرهی تلقی شده و بعد از گروه‌بندی لوله‌ها به منظور تعیین زبری هر گروه لوله، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری (ICA)^۷، اختلاف فشار و دبی‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، کمینه شده است.

Pérez-Pérez et al. (2021) رویکردی برای شناسایی نشت

موجود است.

بدین منظور از الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA)^{۱۱} استفاده می‌شود. براساس اطلاعات نویسندگان مقاله، این الگوریتم برای نخستین بار در موضوع نشت‌یابی مورد استفاده قرار گرفته است. روش پیشنهادی، دارای دو رویکرد مختلف است؛ در رویکرد اول تعداد نشت‌های موجود، جزء فرض‌های مورد نیاز مسئله است و با اجرای الگوریتم، محل نشت‌های موجود تعیین می‌شود. اما با توجه به مواردی که به آن اشاره شده، رویکرد جدید دوم نیز در این خصوص، برای نخستین بار ارائه شده است. در رویکرد دوم تعداد نشت‌های هم‌زمان ممکن، جزء داده‌های معلوم و مورد نیاز نیست؛ در این رویکرد پهنه‌بندی شبکه و خوشه‌بندی گره‌های آن توسط GA صورت گرفته و آن‌گاه بعد از اجرای الگوریتم نشت‌یابی، پرنشت‌ترین ناحیه موجود در شبکه مورد مطالعه شناسایی می‌شود. رویکرد جدید ارائه شده برای خوشه‌بندی یک شبکه آبرسانی، از جمله نوآوری‌های این پژوهش است.

فرآیند گزارش پرنشت‌ترین ناحیه به‌جای یک نقطه دقیق از محل نشتی‌ها، می‌تواند تأثیر عدم قطعیت‌های موجود در مدل هیدرولیکی نظیر ضرایب زبری لوله‌ها، مصارف گرهی و غیره، بر نتایج را کاهش دهد و از دیدگاه بهره‌برداری از شبکه‌های آبرسانی، مفید و قابل توجه است. از سوی دیگر، در این روش برخلاف اکثر مطالعات پیشین که تحلیل هیدرولیکی در آن‌ها به‌صورت استاتیک (یعنی تصمیم‌گیری تنها بر اساس داده‌های میدانی نظیر فشار در یک زمان مشخص در شبانه‌روز) صورت گرفته است، تحلیل هیدرولیکی یک شبکه آبرسانی به‌صورت پویا (که در آن‌ها از سری زمانی داده‌های میدانی در طول شبانه‌روز استفاده می‌شود) انجام می‌گیرد. بررسی تأثیر شرایط هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی بر روی نتایج، نیز به‌عنوان یکی دیگر از نوآوری‌های این پژوهش است. هم‌چنین روش پیشنهادی در این مقاله بر روی ۲۰۰۰ سناریوی مختلف نشت و بر روی دو شبکه مختلف پیاده‌سازی شده و نتایج آن تحلیل شده است.

۲- مواد و روش انجام کار

در این مقاله، یک رویکرد مبتنی بر واسنجی برای یافتن محل یا محدوده نشت‌های موجود در یک شبکه آبرسانی ارائه شده است. روند انجام کار بدین صورت است که در ابتدا باید مدل هیدرولیکی شبکه مورد مطالعه ساخته شود، لذا در این مرحله مجموعه‌ای از داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی هیدرولیکی لازم است. از سوی دیگر، براساس نتایج فشارسنجی میدانی از شبکه و کنترل

نصیری دهج و همکاران (۱۴۰۴) روشی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کپک مخاطی (SMA)^{۱۰} برای مکان‌یابی نشت‌های یک شبکه آبرسانی ارائه دادند. روش پیشنهادی در پانزده سناریوی مختلف وجود تنها یک نشت در شبکه‌های مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفته و توانسته بود محل دقیق آن‌ها را پیدا کند.

درخصوص روش‌های نشت‌یابی با رویکرد شبیه‌سازی - میدانی می‌توان اذعان نمود که روش‌های پیشنهادی براساس شبکه‌های عصبی قادر به یافتن محل نشت‌های کوچک نبوده و نیازمند داده‌های زیادی برای آموزش شبکه هستند؛ از طرف دیگر، در صورتی که این داده‌ها جامع نباشند، سبب بروز خطا در پاسخ خروجی خواهند شد (Moasheri and Jalili-Ghazizadeh, 2020).

هم‌چنین بسیاری از روش‌های ارائه شده نسبت به تعداد نشت‌های هم‌زمان موجود در شبکه، محدودیت دارند؛ درحالی‌که تعداد نشت‌های هم‌زمان موجود در یک شبکه آبرسانی می‌تواند نامشخص باشد. از سوی دیگر، بسیاری از روش‌های پیشین برای یافتن محل دقیق نشت‌ها طراحی شده‌اند؛ با این پیش فرض که وقوع نشت تنها در محل گره‌های شبکه اتفاق می‌افتد. درحالی‌که اولاً در واقعیت، امکان وقوع نشت در هر قسمتی از شبکه وجود دارد و ثانیاً به دلیل آن‌که الگوریتم‌های فراکاوشی لزوماً قادر به دست‌یابی به بهینه‌ترین پاسخ ممکن نیستند، ممکن است محل برآوردی نشت با این الگوریتم‌ها، با محل دقیق آن‌ها فاصله زیادی داشته باشد. از سوی دیگر، به دلیل آن‌که چنین روش‌هایی مستقیم از مدل هیدرولیکی شبکه (در تکنیک استفاده از روش‌های واسنجی) یا غیرمستقیم (در تکنیک استفاده از شبکه‌های عصبی) استفاده می‌کنند و بسیاری از پارامترهای مدل هیدرولیکی در شبکه‌های واقعی می‌توانند دارای عدم قطعیت باشند، دست‌یابی به محل دقیق نشت‌ها، فرآیندی سخت و در بسیاری از موارد شاید غیرممکن باشد.

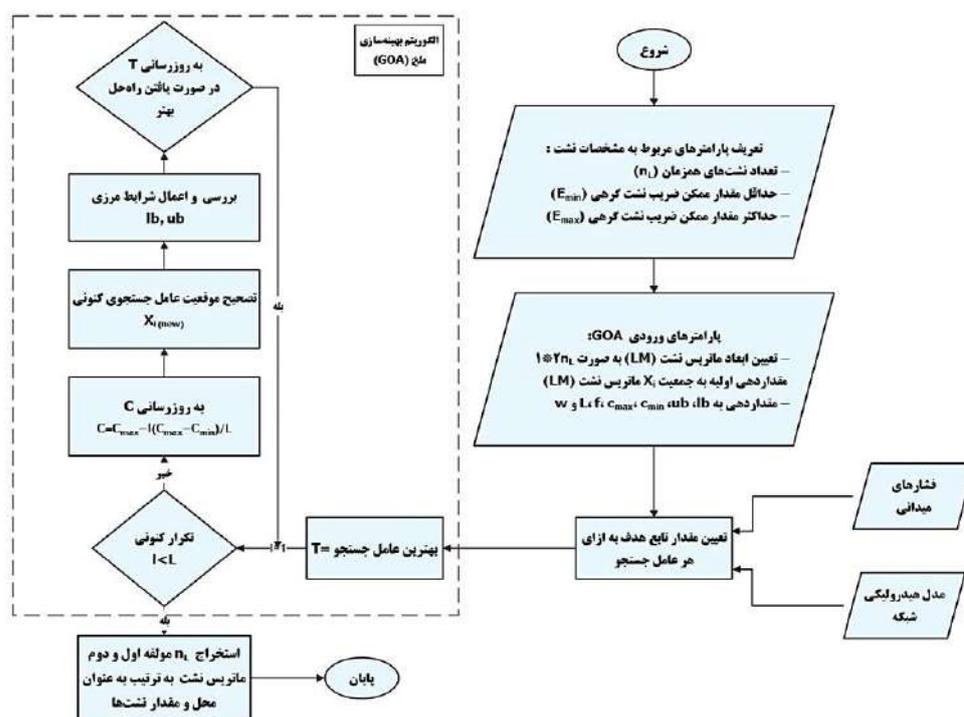
در مطالعه حاضر، یک روش جدید با استفاده از فرآیند واسنجی برای مکان‌یابی نشت‌های یک شبکه آبرسانی پیشنهاد شده است. در این روش، فرض می‌شود که در مدل هیدرولیکی شبکه، نشت‌های موجود اعمال نشده است و اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده فشار (خروجی مدل هیدرولیکی) و داده‌های متناظر میدانی فشار (در نتیجه انجام عملیات فشارسنجی میدانی) ناشی از پارامتر نشت است. به عبارت دیگر، مبنای اصلی این روش، مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و میدانی فشار و تلاش برای کمینه کردن اختلاف بین آن داده‌ها، با هدف مکان‌یابی نشت‌های

ژنتیک، استفاده می‌شود؛ بدین صورت که گره‌های شبکه براساس معیار فاصله اقلیدسی در خوشه‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند و لذا تعداد متغیر تصمیم تولیدی و فضای جستجو نیز به اندازه تعداد خوشه‌ها یا گروه‌های گرهی موجود در شبکه آبرسانی مورد مطالعه است. در رویکرد دوم هنگامی که پرنش‌ترین ناحیه به‌درستی تشخیص داده شده باشد، الگوریتم پیشنهادی عملکرد صحیحی را از خود نشان داده است. لازم به ذکر است، از آنجایی که ممکن است درخصوص مقادیر بسیاری از پارامترهای مختلف مدل هیدرولیکی نظیر ضرایب زبری لوله‌ها، تراز هیدرولیکی مخازن و غیره عدم قطعیت وجود داشته باشد و این عدم قطعیت‌ها روی نتایج خروجی الگوریتم نشت‌یابی اثر بگذارند، گزارش پرنش‌ترین ناحیه به‌جای یک نقطه دقیق از نشت‌ها، می‌تواند از جمله مزایای رویکرد دوم روش پیشنهادی باشد؛ این رویکرد، در زمینه بهره‌برداری از شبکه‌های آبرسانی بسیار کاربردی و قابل توجه است.

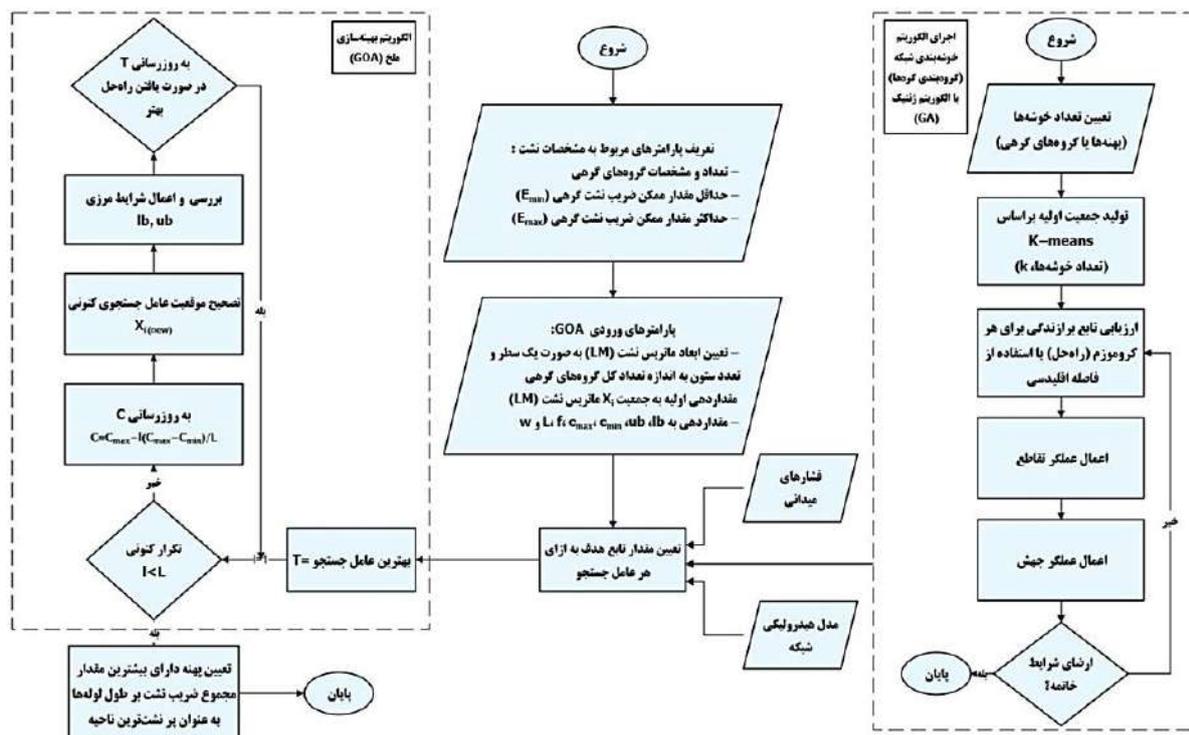
در این پژوهش، مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه‌های مورد مطالعه توسط نرم‌افزار ایپانت انجام شده و روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزار متلب^{۱۲} کدنویسی شده است. برای ارتباط پویا بین دو نرم‌افزار مذکور، از تولکیتی استفاده شده که نخستین‌بار توسط Eliades et al. (2016) معرفی شده است. داده‌ها از متلب به ایپانت و بالعکس ارسال شده تا مسئله بهینه‌سازی حل و محل نشت‌ها گزارش شود.

صحت داده‌ها، مجموعه‌ای از داده‌های میدانی در دسترس هستند. درواقع، هدف آن است که نشت‌های موجود شبکه به‌گونه‌ای مکان‌یابی شوند که اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و میدانی فشار، کمینه شود؛ به‌صورت دقیق‌تر، هدف کمینه‌کردن تابع هدف توسط الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA)، با انتخاب پارامتر ضرایب نشت گرهی (پارامتر E در رابطه (۲)) به‌عنوان پارامتر تنظیمی، است.

روش پیشنهادی شامل دو رویکرد مختلف برای نشت‌یابی است؛ در رویکرد اول (شکل ۱) تعداد نشت مشخص و جزو مفروضات اولیه مسئله به‌شمار می‌رود و لذا الگوریتم با فرض معلوم بودن تعداد نشت مشخص، ضرایب نشت را به گره‌ها اختصاص می‌دهد و نشت‌ها را مکان‌یابی می‌کند. در این رویکرد، تعداد متغیر تصمیم، به اندازه دو برابر تعداد کل نشت‌ها بوده و فضای جستجو به اندازه تمام گره‌های شبکه است. در این رویکرد، هنگامی نتایج خروجی الگوریتم صحیح است که دقیقاً تمام مکان‌های نشتی به‌درستی مکان‌یابی شده باشند. در رویکرد دوم (شکل ۲)، تعداد نشت جزو فرض‌های اولیه حل مسئله نیست و الگوریتم پس از گروه‌بندی گره‌ها (پهنه‌بندی شبکه)، ضرایب نشت را به گروه‌ها تخصیص می‌دهد و پرنش‌ترین محدوده موجود در شبکه را گزارش می‌کند. منظور از پرنش‌ترین محدوده، محدوده‌ای است که مجموع ضرایب نشت گرهی به‌ازای واحد طول لوله‌های موجود در آن ناحیه یا پهنه، بیشینه باشد. در رویکرد دوم، به‌منظور انجام پهنه‌بندی شبکه، از روش خوشه‌بندی K-means با الگوریتم



شکل ۱- روندنمای کلی مراحل انجام کار در رویکرد اول نشت‌یابی



شکل ۲- روندنمای کلی مراحل انجام کار در رویکرد دوم نشت‌یابی

شبکه، $P_{sim,t,nh}$: هد فشاری شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار در گره دارای فشارسنج n در زمان t ام، و $P_{obs,t,nh}$: هد فشاری مشاهده شده میدانی در گره دارای فشارسنج n در زمان t ام هستند.

۲-۲- شبیه‌سازی نشت

برای شبیه‌سازی نشت در شبکه، از رابطه نشت-فشار (رابطه (۲)) استفاده می‌شود.

$$Q_L = EP^2 \quad (2)$$

که Q_L : دبی نشت، E : ضریب نشت، P : فشار آب و L : توان نشت است. واحد تمامی کمیت‌های ذکر شده مطابق سیستم بین‌المللی SI و توان نشت بدون بعد است. در روش پیشنهادی، معلوم بودن توان نشت از جمله فرض‌های مسئله به‌شمار می‌رود.

همان‌طور که مطرح شد، متغیر تصمیم در مسئله اصلی بهینه‌سازی این پژوهش (رابطه (۱))، ضرایب نشت گرهی است. دلیل یافتن ضریب نشت به‌جای دبی نشت، این است که به‌دلیل نوسانات فشار در شبکه، مقدار فشار و در نتیجه مقدار دبی نشت در ساعات مختلف شبانه‌روز متفاوت است. در لوله‌های صلب، تغییرات ضریب نشت (ضریب E در رابطه (۲)) با فشار قابل‌صرفه‌نظر کردن است؛ لذا در پژوهش حاضر با فرض صلب

لازمه ذکر است که تعداد و محل فشارسنج‌ها در یک شبکه آبرسانی، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در نتایج داشته باشد؛ مطالعات متعددی در این خصوص توسط پژوهشگران زیادی در سراسر جهان صورت گرفته است (Ferreira et al., 2022; Khorshidi et al., 2020; Rajabi and Tabesh, 2024). در این مقاله، فرض شده است که در شبکه‌های آبرسانی مورد مطالعه، تعدادی فشارسنج از قبل نصب شده است و روش پیشنهادی تنها مکان‌یابی نشت‌ها، با تعداد و آرایش فشارسنج‌های موجود را بررسی می‌کند.

۲-۱- تابع هدف

تابع هدف شامل کمینه کردن اختلاف داده‌های شبیه‌سازی شده و میدانی فشار است که به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$Cost = \sum_{t=1}^T \left(\frac{\sum_{nh=1}^{NH} |P_{sim,t,nh} - P_{obs,t,nh}|}{NH} \right) \quad (1)$$

که $Cost$: تابع هزینه (یا تابع هدف)، t : شمارشگر زمان، T : تعداد کل زمان‌هایی که داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده است، nh : شمارشگر فشارسنج‌های شبکه، NH : تعداد کل فشارسنج‌های

(۴) از GA استفاده می‌شود. از جمله مزایای چنین رویکردی، کارایی بالای آن نسبت به الگوریتم K-means متعارف، در خوشه‌بندی مجموعه داده‌های بزرگ و پیچیده و قابلیت همگرا شدن آن به نقطه بهینه جهانی هنگام کمینه کردن تابع هدف (رابطه (۴)) است. هم‌چنین استفاده از GA سبب کاهش زمان انجام محاسبات خوشه‌بندی می‌شود؛ به گونه‌ای که این کاهش بالغ بر ۹۶٪ نیز گزارش شده است (Damos et al., 2024). لذا با توجه به مزایای ذکرشده، در این پژوهش به منظور گروه‌بندی گره‌ها یا پهنه‌بندی شبکه از روش خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. معیار خوشه‌بندی نیز فاصله هندسی گره‌ها از یکدیگر است. فلوچارت کلی این فرآیند در شکل ۲ آورده شده است.

یکی از گام‌های مهم در پیاده‌سازی رویکرد دوم پیشنهادی، تعیین تعداد خوشه‌ها یا گروه‌های گرهی یا پهنه‌ها (k) است. در روش پیشنهادی، ابتدا شبکه آبرسانی مورد مطالعه برای تعداد مختلف گروه‌های گرهی (۲، ۳، ... و k)، خوشه‌بندی یا پهنه‌بندی می‌شود. در ادامه تعداد زیادی سناریوی عمدی نشت در مدل هیدرولیکی شبکه ایجاد می‌شود؛ سپس به‌ازای هر پیکره‌بندی ممکن از گروه‌های گرهی، با اجرای سناریوهای نشت‌یابی، درصد موفقیت الگوریتم برای شناسایی پرنشت‌ترین ناحیه تعیین می‌شود. در نهایت، تصمیم‌گیری درخصوص تعداد پهنه‌های مورد نظر صورت می‌گیرد. بدیهی است هر چقدر تعداد گروه‌های گرهی کم‌تر باشد، درصد موفقیت الگوریتم در یافتن پرنشت‌ترین ناحیه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، با افزایش تعداد گروه‌های گرهی، هرچند درصد موفقیت الگوریتم نشت‌یابی کاهش می‌یابد، ولی مساحت ناحیه گزارش‌شده به‌عنوان پرنشت‌ترین ناحیه کاهش یافته و این سبب کم شدن هزینه‌های مربوط به مکان‌یابی دقیق نشت‌ها توسط روش‌های فیزیکی خواهد شد. لازم‌به‌ذکر است با توجه به ویژگی‌های هیدرولیکی هر شبکه آبرسانی، باید فرآیند فوق برای آن شبکه صورت گرفته و آنگاه درخصوص تعداد گروه‌های گرهی آن تصمیم‌گیری نمود.

۲-۴- الگوریتم ژنتیک (GA)

از میان تمام الگوریتم‌های موجود فراکاوشی، الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتمی است که از فرآیند تکامل زیستی الهام گرفته و به‌خوبی شناخته شده است. GA از تئوری بقای داروین تقلید می‌کند. این الگوریتم توسط Holland, (1992) معرفی شد. المان‌های پایه GA، شامل کروموزوم‌ها، انتخاب برانندگی و عملگرهای الهام‌گرفته زیستی است. عملگرهای اشاره شده شامل

بودن لوله‌های شبکه، ضریب نشت به‌عنوان یک پارامتر تنظیمی مستقل از فشار، در یک مسئله واسنجی در نظر گرفته شده است. رویکرد مذکور نیز یکی از نوآوری‌های این پژوهش است.

۲-۳- خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک (GA)

فرآیند خوشه‌بندی یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در زمینه داده‌کاوی و یادگیری ماشین است. روش‌های بسیاری درخصوص خوشه‌بندی وجود دارند؛ روش خوشه‌بندی K-means یکی از قوی‌ترین الگوریتم‌های موجود در زمینه خوشه‌بندی است. این روش در مسائل مختلفی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج رضایت‌بخشی را به ارمغان آورده است (Wang et al., 2024). خوشه‌بندی، شامل تقسیم مجموعه داده‌های موجود به k خوشه، یافتن حداقل مجموع مربعات خطا بین مجموعه داده‌ها و میانگین یک خوشه و درنهایت تخصیص هر داده به نزدیک‌ترین مرکز خوشه موجود است. به‌صورت ریاضی، در صورتی که مجموعه داده‌های موجود با $X = \{x_i\}$ نمایش داده شوند که در آن $i=1,2,\dots,n$ (تعداد کل داده‌های موجود) باشد، در خوشه‌بندی X به "k" خوشه $C = \{c_j\}$ که در آن $j=1,2,\dots,k$ تقسیم‌بندی می‌شود و مجموع خطای مربعات هر خوشه $(J(C_k))$ از رابطه (۳) به‌دست آورده می‌شود (Ikotun et al., 2023):

$$J(C_k) = \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad (3)$$

در الگوریتم K-means، هدف این است که مجموع خطای مربعات هر خوشه، کمینه شود؛ به‌عبارت دیگر، هدف کمینه کردن رابطه (۴) است (Ikotun et al., 2023):

$$J(C) = \sum_{y=1}^k \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad (4)$$

درخصوص مسئله مورد بررسی، مجموعه داده‌های موجود، شامل گره‌های شبکه مورد مطالعه است. باید توجه شود K-means اساساً یک الگوریتم خوشه‌بندی ساده است که بر اساس جامعه آماری موجود، در تلاش برای یافتن k خوشه‌های غیرهمسان است. در واقع نام دیگر الگوریتم K-means، الگوریتم لوید^{۱۳} است که یک الگوریتم کاوشی بوده و مبتنی بر تکرار است و عملیات خوشه‌بندی نقاط و تبدیل آن‌ها به گروه‌هایی با یک مرکز را انجام می‌دهد. از سوی دیگر در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در زمینه ترکیب K-means با GA انجام شده است (Damos et al., 2024)؛ در این رویکرد برای کمینه کردن رابطه

یک از کروموزوم‌های منتخب جهش (با تعداد کل n_m که در آن $n_m = p_m \cdot n_{pop}$ ؛ n_{pop} برابر تعداد کل اعضای جمعیت یا تعداد کل کروموزوم‌های موجود)، به صورت تصادفی انتخاب شده و مقدار آن‌ها بر اساس رابطه (۷) تغییر می‌یابد.

$$r_m^d = x_m^d + \text{sigma} \cdot N(0, 1),$$

$$\text{sigma} = \text{delta} (x_{\max}^d - x_{\min}^d) \quad (7)$$

$$; (m = 1, \dots, n_m)$$

که u : شماره مؤلفه‌هایی از n_m کروموزومی است که قرار است دچار جهش شوند؛ delta : درصدی از عرض فضای جستجو، x_{\min}^d و x_{\max}^d به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار ممکن بعد از d ام کروموزوم x_m و $N(0, 1)$: یک عدد تصادفی است که از توزیع نرمال استاندارد ایجاد می‌شود. در نتیجه اعمال عملگر جهش، n_m کروموزوم جدید تولید می‌شود (جمعیت جهش یافتگان).

در مورد موضوع این پژوهش، هر کروموزوم به معنای هر مقدار در نظر گرفته شده برای مختصات جغرافیایی مرکز خوشه‌ها است. یعنی هر کروموزوم دارای ماتریس با k سطر و ۲ ستون است. معیار برازندگی کروموزوم‌ها مقدار تابع هدف (رابطه (۴)) است؛ بدین معنی که در بین دو کروموزوم موجود، کروموزومی نسبت به دیگری برتری دارد که مقدار تابع هدف مورد نظر به‌زای آن، کم‌تر از دیگری است.

۲-۵- الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA)

GOA یکی از جدیدترین الگوریتم‌های فراکاوشی بهینه‌سازی است که توسط Saremi et al. (2017) ارائه شده است. این الگوریتم جدید در بهینه‌سازی مسائل مختلفی استفاده شده و نتایج رضایت‌بخشی گرفته شده است (Aghsami et al., 2024; Thamaraimanalan and Ramalingam, 2024). از سوی دیگر، بر اساس اطلاعات نویسندگان این مقاله، GOA برای نخستین بار است که در حوزه نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی به‌کار گرفته می‌شود. الگوریتم پیشنهادی از لحاظ ریاضیاتی رفتار گروه‌های ملخ در طبیعت را برای حل مسائل بهینه‌سازی مطابق رابطه (۸) مدل‌سازی می‌کند.

$$\bar{b}_i^d = c \left(\sum_{j=1}^{GH} c \frac{ub_d - lb_d}{2} s \left(\left| \frac{b_j^d - b_i^d}{d_{ij}} \right| \right) \frac{b_j - b_i}{d_{ij}} \right) + Td \quad (8)$$

که b_j^d, b_i^d و \bar{b}_i^d : به ترتیب موقعیت کنونی ملخ λ_m و λ_m و موقعیت جدید ملخ λ_m در d امین بعد، ub_d و lb_d : به ترتیب کران

انتخاب، جهش و تقاطع است. هر کروموزوم به معنای پاسخی از مسئله بهینه‌سازی است و بعد آن نیز به اندازه تعداد ابعاد پاسخ مورد نظر است.

در عملگر تقاطع، اجزای هر دو کروموزوم انتخاب شده (در نقش والد)، تغییر می‌یابند تا فرزندان حاصل شود. بدین منظور ابتدا (p_c) درصد از کل جمعیت موجود انتخاب می‌شود که در آن p_c احتمال تقاطع نامیده می‌شود. در این پژوهش، از چرخ انتخاب رولت (RWS)^{۱۴} برای فرآیند انتخاب در این عملگر، استفاده شده است. در این روش احتمال انتخاب کروموزوم‌هایی که بهتر هستند (از نظر مقدار تابع هدف)، بیش‌تر است. برای این موضوع رابطه (۵)، به منظور محاسبه احتمال متناظر با مقدار تابع هدف استفاده شده است.

$$P_i = \frac{\frac{-\beta \cdot \text{Cost}_i}{\max(\text{Cost})}}{\sum(P_i)} \quad (5)$$

که β : ضریب فشار انتخاب^{۱۵} و Cost_i : برابر مقدار تابع هدف به‌زای کروموزوم λ_m است. سپس با فرض این‌که $X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \\ \vdots & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} \end{bmatrix}$ و $\hat{X} = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} \\ \vdots & \vdots \\ x'_{k1} & x'_{k2} \end{bmatrix}$ دو والد انتخاب شده باشند (هر دو کروموزومی که به‌عنوان والد انتخاب شده‌اند)، کروموزوم‌های فرزندان Y_1 و Y_2 ، با استفاده از رابطه (۶) حاصل می‌شوند.

$$\begin{cases} Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ \vdots & \vdots \\ y_{k1} & y_{k2} \end{bmatrix} \\ \hat{Y} = \begin{bmatrix} y'_{11} & y'_{12} \\ \vdots & \vdots \\ y'_{k1} & y'_{k2} \end{bmatrix} \end{cases} = \begin{cases} y_{vz} = \alpha_{vz} x_{vz} + (1 - \alpha_{vz}) x'_{vz} \\ y'_{vz} = \alpha_{vz} x'_{vz} + (1 - \alpha_{vz}) x_{vz} \end{cases} \quad (6)$$

$$\alpha_{vz} \sim U(-\gamma, 1 + \gamma); \quad v = 1, 2, \dots, k$$

$$z = 1, 2$$

که α_{vz} : به‌عنوان ضرایب موجود در بردار برش (α) و γ : نیز عدد مثبتی است. در نتیجه انجام عملگر تقاطع، n_c کروموزوم جدید تولید می‌شود (جمعیت فرزندان). در عملگر جهش، رابطه (۷) به برخی از بعدهای کروموزوم‌ها، اعمال می‌شود. برای اعمال عملگر جهش، ابتدا p_m درصد از کروموزوم‌های نسل موجود به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. در ادامه $nmu = \lfloor mu \times D \rfloor$ برابر mu درصدی از تعداد مؤلفه‌های هر کروموزوم است که قرار است عملگر جهش روی آن‌ها پیاده‌سازی شود و D شامل بعد هر کروموزوم بوده که در مسئله حاضر برابر $2k$ است) مؤلفه از هر

همگرایی، برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است. توان نشت نیز در هر دو شبکه ثابت و برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. برای ایجاد این سناریوها، نشت مورد نظر در مدل هیدرولیکی شبکه مورد نظر اعمال شده و بعد از مدل سازی هیدرولیکی شبکه، نتایج فشار در نقاطی که به عنوان محل های مجهز به فشارسنج در نظر گرفته شده اند، به عنوان داده های میدانی به الگوریتم نشت یابی منتقل شده است. با توجه به تعداد زیاد سناریوهای نشتی، از سامانه رایانش موازی دانشگاه (سرمد) شهید بهشتی، برای پیاده سازی روش پیشنهادی بهره گرفته شده است.

۳-۱- شبکه پولاکیس

شماتیک شبکه پولاکیس در شکل ۳ آورده شده است. در این شبکه، طول لوله های افقی و عمودی به ترتیب برابر ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متر، ضریب هیزن-ویلیامز هر لوله (که صلب در نظر گرفته شده است) برابر ۱۳۰ بوده و دارای ۲۰ حلقه، ۳۰ گره، ۵۰ لوله و یک مخزن (با ارتفاع سطح آب برابر ۱۰۰ متر) است. قطر هر لوله در شکل ۳ نمایان است. دبی متوسط مصرف در تمامی گره های این شبکه برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. محل پایش فشار (استخراج داده های میدانی و شبیه سازی شده) نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. در خصوص الگوی ساعتی مصرف مشترکین، فرض شده است که ضریب مصرف از ساعت ۱۲ شب تا ۶ صبح برابر ۰/۵، از ساعت ۶ صبح تا ۱۲ ظهر برابر ۱/۰، از ساعت ۱۲ ظهر تا ۶ بعدازظهر برابر ۲ و از ساعت ۶ بعدازظهر تا ۱۲ شب برابر ۱/۵ است.

۳-۱-۱- رویکرد اول در شبکه پولاکیس

در رویکرد اول فرض بر آن است که تعداد نشت موجود در شبکه از قبل مشخص است و الگوریتم با فرض تعداد معلوم نشت ها و تولید متغیر تصمیم به تعداد مکان و مقدار آن ها، نشت را مکان یابی می کند. در این حالت ۱۰۰۰ سناریوی نشت شامل یک، دو، سه، چهار و پنج نشت فرضی همزمان، هر کدام به تعداد ۲۰۰ سناریو، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. انتخاب محل نشت ها هم کاملاً تصادفی (توسط تابع randi نرم افزار متلب) و با در نظرگیری احتمال یکسان برای همه گره های شبکه، انجام گرفته است. براساس تحلیل آماری مقدار متوسط نشت های مورد مطالعه (شکل (۴))، پارامترهای حداقل، حداکثر، انحراف از معیار، میانگین، چارک اول و چارک سوم به ترتیب حدود ۵/۱۸، ۱۹/۵۶، ۴/۴۳، ۱۲/۹۲، ۸/۸۵ و ۱۶/۷۴ درصد کل دبی ورودی به شبکه پولاکیس بوده است.

بالا و پایین در d آمین فاصله، d_{ij} فاصله بین i آمین و j آمین ملخ، \hat{T}_d : بهترین راه حل کشف شده در d آمین بعد و c : یک ضریب کاهش (رابطه (۹)) و GH : تعداد ملخ ها را مشخص می کند.

$$c = c_{\max} - l \frac{c_{\max} - c_{\min}}{L} \quad (9)$$

که c_{\max} و c_{\min} : مقدار بیشینه و کمینه ضریب c ، l : شماره تکرار کنونی و L : تعداد کل تکرار را نشان می دهند. s : تابعی برای تعریف نمودن قدرت نیروی اجتماعی برای جاذبه و یا دافعه بین ملخ ها است (رابطه (۱۰)).

$$s(r) = fe^{\frac{-r}{w}} - e^{-r} \quad (10)$$

که f : نشان دهنده شدت جاذبه و w : مقیاس طولی جاذبه هستند.

در خصوص موضوع این پژوهش، هر ملخ به منزله یک ماتریس نشت (LM) است. بدین معنی که:

- در رویکرد اول نشت یابی به روش پیشنهادی، هر ملخ به مفهوم ماتریسی دارای یک سطر و $2n_L$ ستون است ($d=2n_L$) که در آن n_L تعداد نشت های همزمان موجود است؛ n_L مؤلفه اول آن نشان دهنده محل نشت ها و n_L مؤلفه دیگر بیانگر مقدار ضرایب نشت متناظر با n_L مؤلفه اول است.
- در رویکرد دوم، هر ملخ به مفهوم ماتریسی دارای یک سطر و G ستون است ($d=G$) که در آن G تعداد کل گروه های گرهی بوده و مقدار هر درایه از این ماتریس، بیانگر مجموع ضرایب نشت گره های گروه متناظر است.

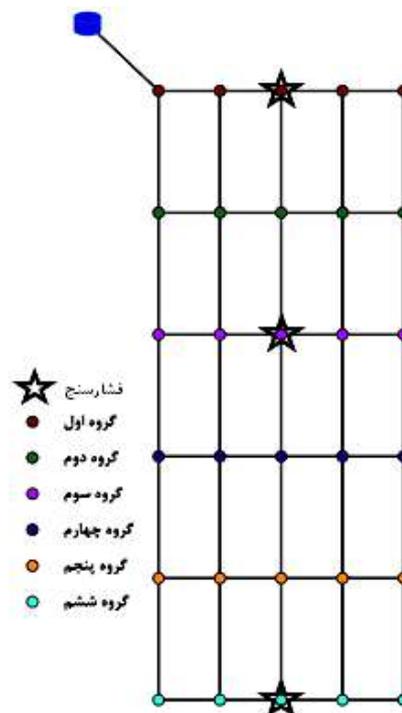
۳- نتایج و بحث

در ادامه صحت سنجی روش پیشنهادی بر روی شبکه های مرجع پولاکیس و بالرما، در حالات استفاده از رویکرد اول و دوم انجام شده است. در هر یک از شبکه های مورد مطالعه، ۱۰۰۰ سناریوی مختلف نشت و پاسخ های نهایی بررسی شدند. لازم به ذکر است که به دلیل ماهیت جستجوی تصادفی الگوریتم های فراکاوشی نظیر GOA، برای مکان یابی نشت ها در هر سناریو، سه بار روش پیشنهادی اجرا شده و نتایج مربوط به تکراری که کمترین مقدار تابع هدف (رابطه (۱)) حاصل شده، مورد استفاده قرار گرفته است. در هر یک از دو شبکه، تعداد تکرار لازم در GOA برای رسیدن به

هرچند با افزایش تعداد نشت‌های ممکن در شبکه، قابلیت رویکرد اول برای تشخیص صحیح مکان‌های نشت کاهش یافته است؛ این احتمالاً به دلیل افزایش فضای جستجوی مورد نیاز توسط الگوریتم است. یعنی الگوریتم باید در حالت n نشت هم‌زمان، پاسخ صحیح را از فضای جستجویی با تعداد $\binom{N}{n}$ (تعداد کل گره‌های شبکه) داده بیابد و بدیهی است که با افزایش تعداد n ، درصد موفقیت آن کاهش یابد. به صورت کلی نیز صحت رویکرد اول در مکان‌یابی نشت‌های شبکه پولاکیس برابر $60/2$ درصد بوده است.

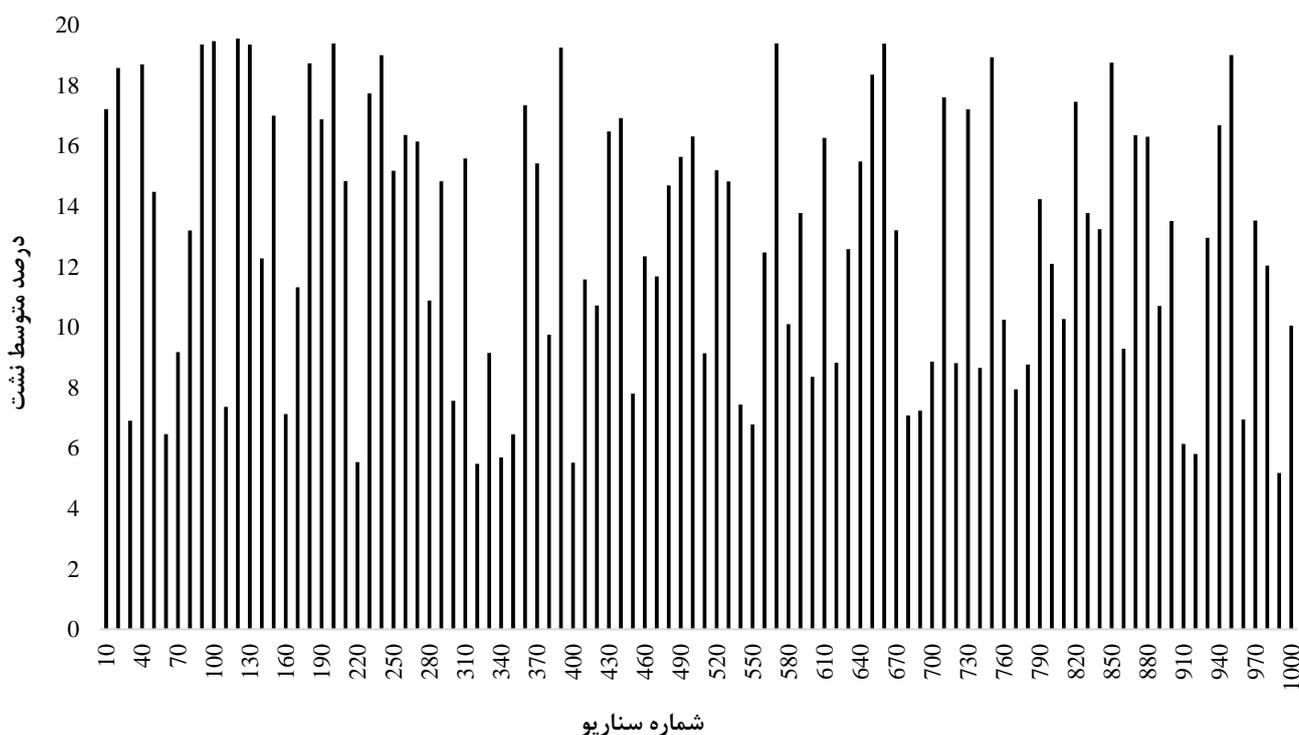
۳-۱-۲- رویکرد دوم در شبکه پولاکیس

یکی از محدودیت‌های رویکرد اول آن است که تعداد نشت‌های موجود در شبکه آبرسانی مورد مطالعه باید معلوم باشد؛ درحالی‌که در شبکه‌های آبرسانی واقعی، تعداد نشت‌های هم‌زمان ممکن نامعلوم است. از سوی دیگر براساس نتایج (شکل ۵) دیده شد که تعیین محل دقیق نشت‌ها با افزایش تعداد نشت‌های هم‌زمان ممکن کاهش می‌یابد؛ لذا در رویکرد دوم، به جای تعیین محل دقیق نشت‌ها، پرنشت‌ترین ناحیه موجود تعیین می‌شود. این هدف از دیدگاه بهره‌برداری بسیار مهم است؛ زیرا با اطلاع از چنین ناحیه‌ای در شبکه می‌توان عملیات نشت‌یابی فیزیکی را در مقیاسی کوچک‌تر (نسبت به کل شبکه) انجام داد و این سبب کاهش هزینه‌های نشت‌یابی خواهد شد.

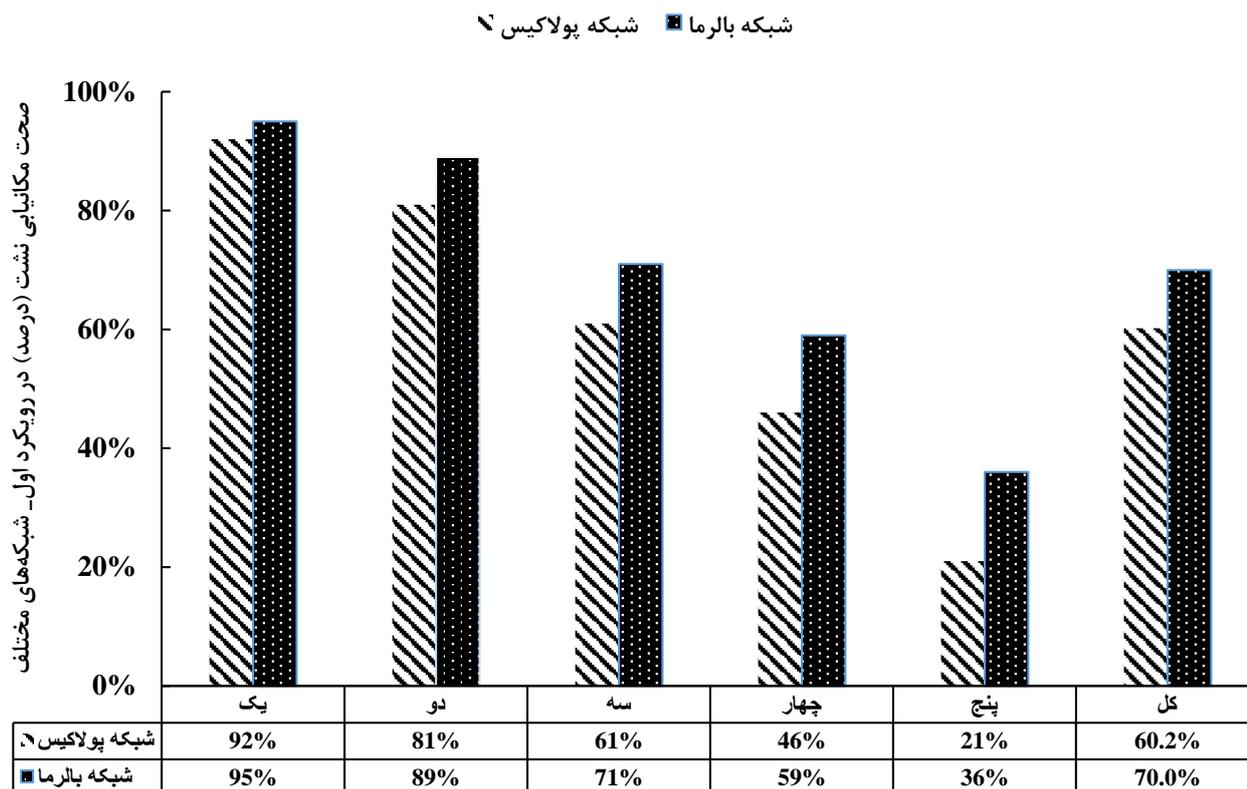


شکل ۳- شبکه پولاکیس

خلاصه نتایج مربوط به پیاده‌سازی سناریوهای فوق در شکل ۵ ارائه شده است. براساس این شکل، مشاهده می‌شود که صحت رویکرد اول در مکان‌یابی یک، دو، سه، چهار و پنج نشت هم‌زمان در شبکه پولاکیس به ترتیب ۹۲، ۸۱، ۶۱، ۴۶ و ۲۱ درصد بوده است. براساس نتایج، الگوریتم صحت قابل‌توجهی (بالای ۹۰ درصد) در سناریوهای دارای یک نشت در شبکه داشته است؛



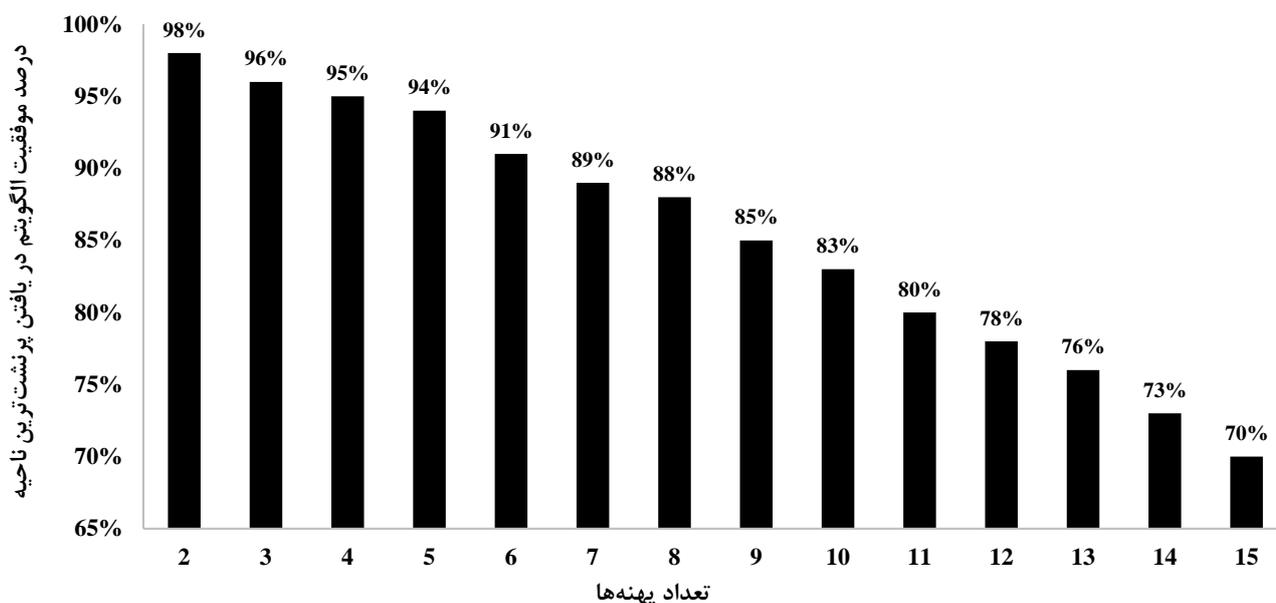
شکل ۴- درصد متوسط نشت‌های مطالعه‌شده در سناریوهای مختلف، شبکه پولاکیس



شکل ۵- خلاصه نتایج مربوط به پیاده‌سازی رویکرد اول نشت‌یابی در شبکه‌های مورد مطالعه

گره‌های گروه تقسیم کرده و ضریب نشت نهایی هر گره را گزارش می‌کند. خلاصه انجام چنین اقدامی در شبکه پولاکیس در شکل ۶ ارائه شده است. در این شکل، درصد موفقیت الگوریتم در تعداد گره‌های گرهی برابر ۲ تا ۱۵ به ترتیب ۹۸ درصد تا ۷۰ درصد بوده است.

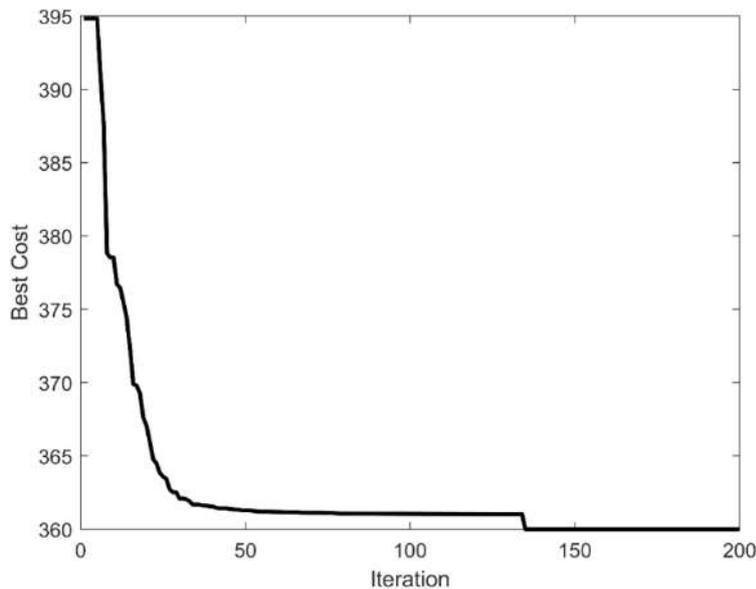
در این روش گروه‌بندی گره‌ها براساس معیار فاصله و براساس روش خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک (بخش ۲-۳) انجام شده است. به این ترتیب گره‌هایی که فاصله کمتری دارند در یک گروه قرار گرفته و به آن‌ها ضریب نشت یکسانی تعلق می‌گیرد. مدل پس از تخصیص ضرایب نشت به گروه‌های مسئله و کمینه کردن تابع هدف، ضریب نشت هر گروه را بر تعداد



شکل ۶- خلاصه نتایج مربوط به درصد موفقیت الگوریتم در یافتن پر نشت‌ترین ناحیه در شبکه پولاکیس

کم‌تر از ۹۰٪ باشد. براساس توضیحات بیان‌شده، تعداد پهنه‌ها یا گروه‌های گرهی برابر ۶ در شبکه پولاکیس انتخاب می‌شود. پهنه‌های مختلف شبکه در این حالت، با رنگ‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. به‌ازای چنین پیکره‌بندی از شبکه، درصد موفقیت الگوریتم در یافتن پرنش‌ترین ناحیه، برابر ۹۱٪ بوده است. نمودار همگرایی خروجی روش K-means در شبکه پولاکیس در تعداد پهنه برابر ۶، در شکل ۷ ارائه شده است.

براساس شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد گروه‌های گرهی، درصد موفقیت الگوریتم در یافتن پرنش‌ترین ناحیه کاهش می‌یابد؛ از طرف دیگر، افزایش تعداد گروه‌های گرهی منجر به کاهش هزینه‌های نشت‌یابی، برای مکان‌یابی دقیق نشت در ناحیه هدف خواهد شد. پیشنهاد ارائه‌شده در این مقاله، انتخاب تعداد گروه‌های گرهی از شبکه مورد مطالعه است که به‌ازای آن پیکره‌بندی، درصد موفقیت الگوریتم در یافتن پرنش‌ترین ناحیه حداقل ۹۰٪ بوده و به‌ازای تعداد گروه‌های گرهی بیش‌تر از آن،



شکل ۷- نمودار همگرایی خوشه‌بندی با روش K-means در شبکه پولاکیس در حالت k=6

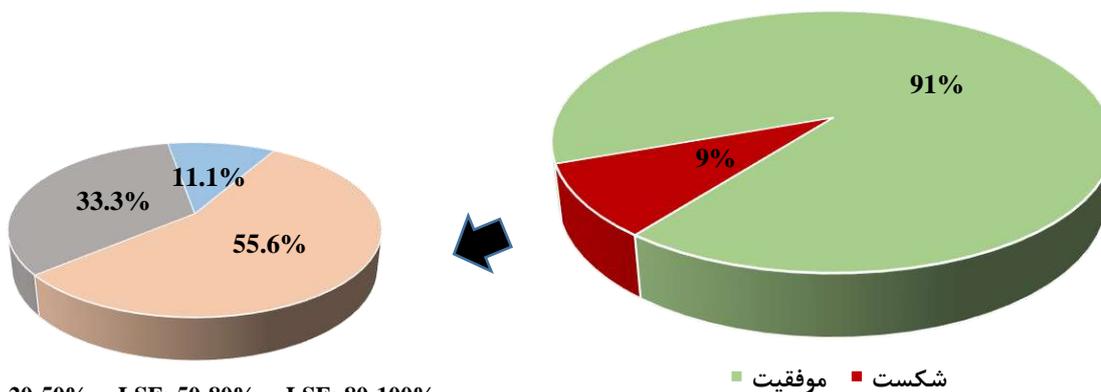
که LSF_i : بیانگر تغییرات مقدار واقعی نشت در سناریوی i ام، $TE_{min,i}$ و $TE_{max,i}$: به‌ترتیب مقدار (درصد) حداکثر و حداقل مجموع ضرایب واقعی نشت در بین دسته‌ها در سناریوی i ام است.

به‌صورت کلی پارامتر LSF، بیانگر اختلاف بیش‌ترین از کم‌ترین مجموع ضرایب واقعی نشت گرهی بین دسته‌های شبکه مورد مطالعه است. هر چقدر این اختلاف بیش‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که مقدار نشت پهنه‌های گروه‌های گرهی، تفاوت زیادی با هم دارند و اگر این اختلاف کم‌تر باشد، یعنی مقدار واقعی کل نشت گروه‌های گرهی، تفاوت زیادی با هم ندارند (توزیع مقدار کل نشت در شبکه، یکنواخت‌تر است)؛ بنابراین انتظار می‌رود که فرآیند شناسایی ناحیه‌ای که مقدار نشت‌های آن بیشینه است، کار سخت‌تری باشد. خلاصه تحلیل آماری این پارامتر حاکی از آن است که حداقل پارامتر LSF در بین ۱۰۰۰ سناریو برابر ۲۰ درصد و حداکثر آن برابر ۱۰۰ درصد است.

۳-۱-۲-۱- تحلیل بیش‌تر روی پاسخ پیشنهادی (k=6)

در این قسمت، تحلیل بیش‌تری روی نتایج ۱۰۰۰ سناریوی بررسی‌شده درحالتی که گره‌های شبکه به ۶ گروه تقسیم‌بندی شده (شکل ۶) انجام شده است. در این راستا، پارامتری تحت‌عنوان پارامتر نوسان مکانی مقدار کل نشت (LSF)^{۱۶} تعریف شده است. برای تعیین این پارامتر، مجموع ضرایب واقعی نشت گرهی در هر گروه گرهی محاسبه می‌شود. منظور از ضریب واقعی نشت، ضریب نشتی است که در هنگام ایجاد سناریوهای مورد بررسی (برای شبیه‌سازی سناریو) در مدل هیدرولیکی در نظر گرفته شده است. سپس دو مقدار حداکثر و حداقل مجموع ضرایب واقعی نشت گرهی پهنه‌های مورد نظر به مجموع ضرایب واقعی نشت کل شبکه، به‌دست آورده می‌شود. در ادامه مقدار پارامتر LSF در هر سناریو، براساس رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$LSF_i = TE_{max,i} - TE_{min,i} \quad (11)$$



شکل ۸- خلاصه نتایج برآورد میزان موفقیت الگوریتم با استفاده از رویکرد دوم در یافتن پرنشترین ناحیه شبکه پولاکیس و تحلیل عدم موفقیت‌های آن در گروه‌بندی پیشنهادی ($k=6$)

ناحیه را با درصد موفقیت برابر ۹۹٪ مکان‌یابی نماید.

۳-۲- شبکه بالرما

شبکه آبیاری شهر بالرما در استان آلمریا^{۱۷} (موجود در کشور اسپانیا) قرار دارد. این شبکه دارای ۴ مخزن آب، ۴۴۳ گره و ۴۵۴ لوله (که صلب فرض شده‌اند) و ۸ حلقه و متوسط دبی مصرف این شبکه حدود ۱/۱۵ مترمکعب بر ثانیه است. شماتیک این شبکه و محل پایش فشار در شکل ۹ ارائه شده است. الگوی مصرف آب این شبکه، همانند الگوی مصرف آب شبکه پولاکیس در نظر گرفته شده است.

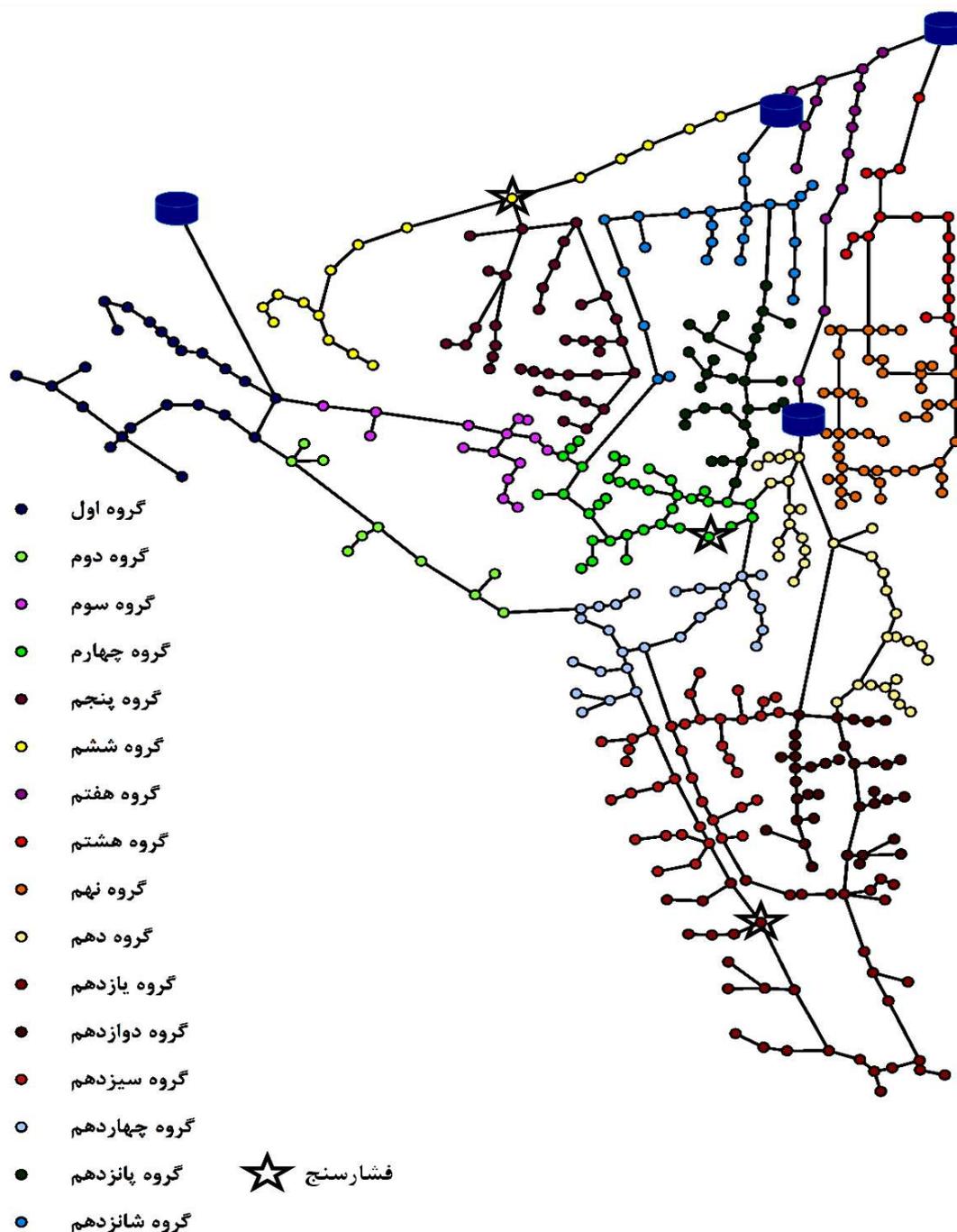
۳-۲-۱- رویکرد اول در شبکه بالرما

در این رویکرد، ۱۰۰۰ سناریوی نشت شامل یک، دو، سه، چهار و پنج نشت فرضی هم‌زمان (هر کدام به تعداد ۲۰۰ سناریو) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. انتخاب محل و مقدار نشت‌ها، تصادفی و با در نظرگیری احتمال یکسان برای همه گره‌های شبکه، صورت گرفته است. پارامترهای آماری حداقل، حداکثر، انحراف از معیار، میانگین، چارک اول و چارک سوم مربوط به مقدار متوسط نشت در سناریوهای بررسی شده، به ترتیب حدود ۵/۰۷، ۱۹/۹۴، ۴/۳۲، ۱۲/۰۱، ۷/۸۲ و ۱۶/۱۸ درصد کل دبی ورودی به شبکه بالرما بوده است. نتایج مربوط به پیاده‌سازی سناریوهای نشت، در شکل ۵ آورده شده است. براساس این شکل مشاهده می‌شود که درصد موفقیت این رویکرد (در مکان‌یابی نشت‌ها) در سناریوهای دارای یک، دو، سه، چهار و پنج نشت هم‌زمان به ترتیب ۹۵، ۸۹، ۷۱، ۵۹ و ۳۶ درصد بوده است. لذا هر چند الگوریتم، صحت قابل توجهی (۹۵٪) در سناریوهای دارای یک نشت داشته است، اما با افزایش تعداد نشت‌های ممکن در شبکه، قابلیت رویکرد اول برای تشخیص صحیح مکان‌های نشت

در ادامه، تمام سناریوهای مورد بررسی با توجه به مقدار پارامتر LSF به سه دسته تقسیم می‌شوند و درصد عدم موفقیت الگوریتم پیشنهادی در هر بازه LSF، نسبت به تمام عدم موفقیت‌ها در یافتن پرنشترین ناحیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن در شکل ۸ با نمودار دایره‌ای نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش اختلاف مقدار نشت بین گروه‌های گرهی، توانایی الگوریتم در یافتن پرنشترین ناحیه، افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، درصد زیادی از عدم موفقیت‌های الگوریتم، مربوط به سناریوهایی است که پارامتر LSF در آن‌ها کم‌تر از سناریوهای دیگر است؛ یعنی در سناریوهایی که توزیع مقدار واقعی کل نشت در گروه‌های گرهی، یکنواخت‌تر از بقیه سناریوها است، توانایی الگوریتم در یافتن پرنشترین ناحیه کاهش یافته است. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، چنین رفتاری قابل پیش‌بینی بود. قبلاً بیان شده بود که از ۱۰۰ درصد سناریوهایی بررسی شده، الگوریتم موفق شده بود که تنها در ۹۱٪ از آن‌ها، پرنشترین ناحیه را شناسایی کند. به عبارت دیگر نتوانسته بود که در ۹ درصد از سناریوها، آن را شناسایی نماید. براساس شکل ۸، مشاهده می‌شود که حدود ۵۵/۶ درصد از کل عدم موفقیت‌ها در شناسایی پرنشترین ناحیه، مربوط به سناریوهایی است که پارامتر LSF آن‌ها در اولین بازه از تقسیم‌بندی قرار دارد؛ یعنی سناریوهایی که در آن‌ها، نوسانات مقدار کل نشت در گروه‌های مختلف، کم است (حدوداً بین ۲۰ تا ۵۰ درصد). این سناریوها، ۵٪ از کل سناریوهای بررسی شده را شامل می‌شود. در حالی که حدود ۱۱/۱ درصد از کل عدم موفقیت‌ها در شناسایی پرنشترین ناحیه (که حدود ۱ درصد از کل سناریوهای بررسی شده را تشکیل می‌دهد)، مربوط به سناریوهایی است که پارامتر LSF آن‌ها در بازه حدود ۸۰ تا ۱۰۰٪ قرار دارد؛ این بدین معنا است که رویکرد دوم می‌تواند پرنشترین

برابر ۰/۰۰۱۷ متر/متر است؛ درحالی‌که مقدار فوق برای شبکه بالرما حدود ۰/۰۰۵۰ متر/متر است؛ زیاد بودن شیب خط انرژی سبب تغییرات بیش‌تر فشار آب حاکم بر شبکه و در نتیجه وقوع پدیده‌هایی نظیر نشت می‌شود. در این زمینه نیز افزایش حدود ۲/۹ برابر شیب خط انرژی در شبکه بالرما نسبت به شبکه پولاکیس، موجب افزایش صحت نشت‌یابی با رویکرد اول روش پیشنهادی شده است.

کاهش‌یافته است؛ مهم‌ترین علت آن افزایش داده‌های فضای جستجوی الگوریتم، با افزایش تعداد نشت‌های هم‌زمان در شبکه است. به‌صورت کلی نیز صحت رویکرد اول در مکان‌یابی نشت‌های شبکه بالرما برابر ۷۰ درصد بوده است. نکته قابل‌توجه دیگر آن است که صحت رویکرد اول در تشخیص مکان نشت‌ها در شبکه بالرما، بیش‌تر از شبکه پولاکیس بوده است (به‌صورت کلی حدود ۱۰٪)؛ یکی از مهم‌ترین دلایل آن، وضعیت هیدرولیکی حاکم بر شبکه بالرما است. متوسط شیب خط انرژی در شبکه پولاکیس

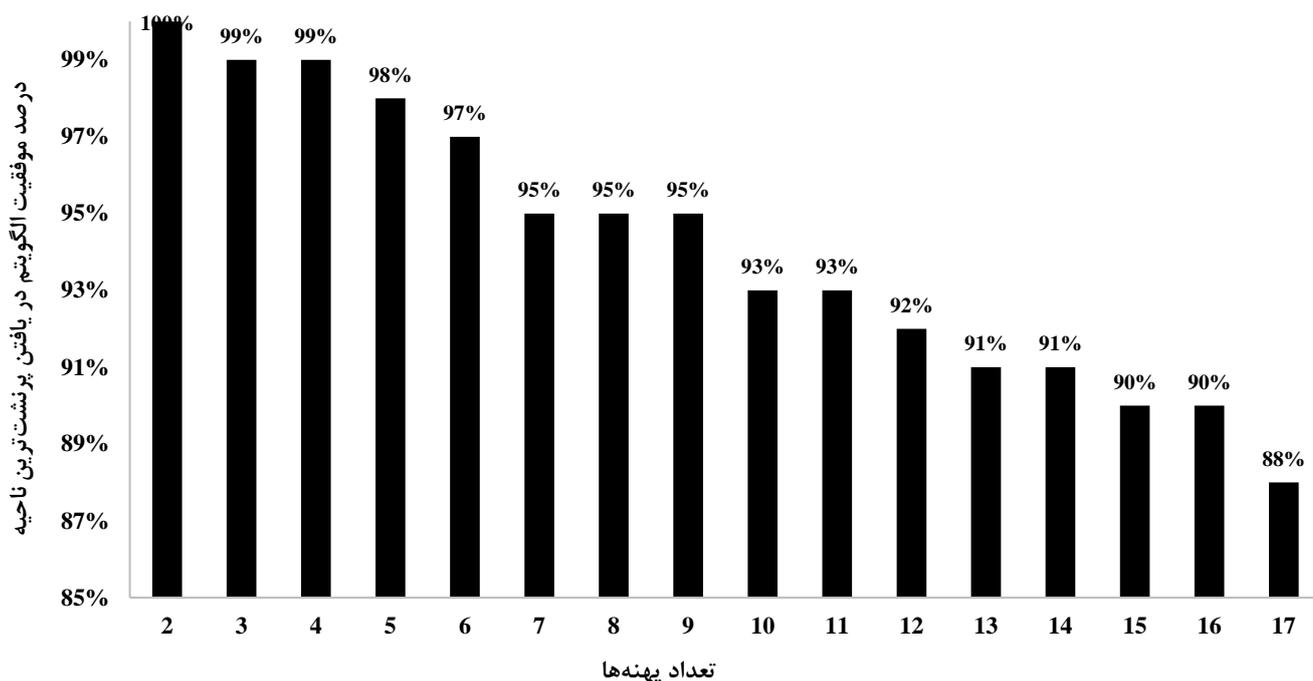


شکل ۹- شبکه بالرما

۳-۲-۲- رویکرد دوم در شبکه بالرما

این حالت پیکره‌بندی پهنه‌های مذکور به رنگ‌های مختلف در شکل ۹ قابل مشاهده است. نکته قابل توجه دیگر آن است که در حالت تعداد پهنه‌های برابر ۶، درصد موفقیت روش پیشنهادی در نشت‌یابی شبکه بالرما برابر ۹۷٪ و در شبکه پولاکیس برابر ۹۱٪ بود. علت آن نیز همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد، زیاد بودن متوسط شیب خط انرژی در شبکه بالرما نسبت به شبکه پولاکیس است که سبب می‌شود تغییرات فشار ناشی از نشت، تأثیر بیش‌تری روی کاهش فشارهای شبکه داشته باشد و در نتیجه شناسایی آن آسان‌تر باشد.

در شکل ۱۰، خلاصه نتایج مربوط به درصد موفقیت رویکرد دوم روش پیشنهادی در مکان‌یابی پرنش‌ترین ناحیه براساس ۱۰۰۰ سناریوی بررسی‌شده، ارائه شده است. براساس نتایج مشاهده می‌شود که در حالت تعداد گروه‌های گرهی برابر ۲ ($k=2$)، درصد موفقیت الگوریتم ۱۰۰ درصد بوده است. از طرف دیگر، در تعداد پهنه‌های برابر ۱۶ و ۱۷، درصد موفقیت الگوریتم برای تشخیص ناحیه هدف به ترتیب ۹۰ و ۸۸٪ برآورد شده؛ برای شبکه بالرما تعداد گروه‌های گرهی برابر ۱۶ انتخاب شده است. در

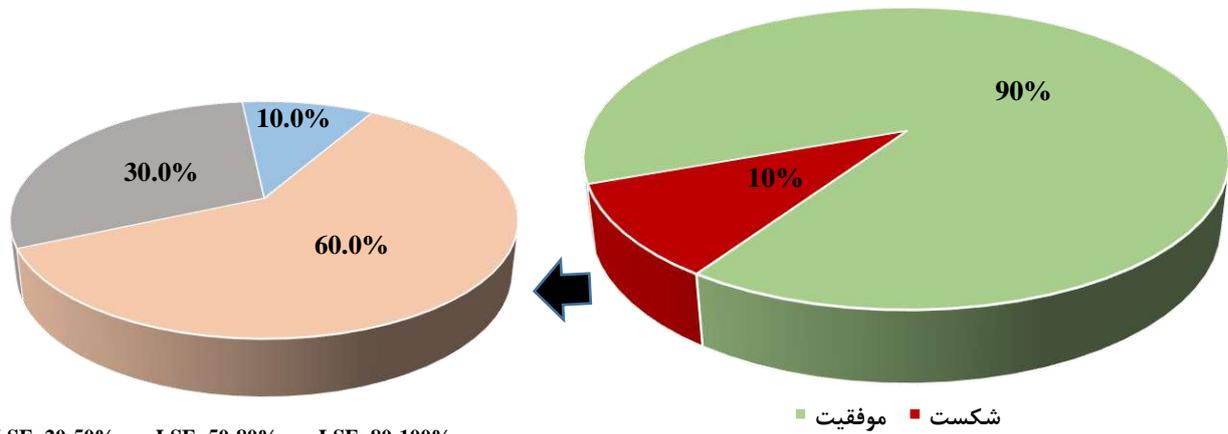


شکل ۱۰- خلاصه نتایج مربوط به درصد موفقیت الگوریتم در یافتن پرنش‌ترین ناحیه در شبکه بالرما

شناسایی نشت ۱۰٪ از سناریوها، ناموفق بود. براساس شکل ۱۱، مشاهده می‌شود که ۶۰٪ از کل عدم موفقیت‌های این الگوریتم در شناسایی پرنش‌ترین ناحیه، مربوط به سناریوهایی است که مقدار پارامتر LSF آن‌ها پایین است؛ یعنی سناریوهایی که در آن‌ها، نوسانات مکانی مقدار کل نشت در پهنه‌های مختلف، کم است (بین ۲۰-۵۰٪). این سناریوها، ۶٪ از کل سناریوهای بررسی‌شده را شامل می‌شود. درحالی‌که ۱۰٪ از کل عدم موفقیت‌ها در شناسایی پرنش‌ترین ناحیه (۱٪ از کل سناریوهای بررسی‌شده)، مربوط به سناریوهایی است که پارامتر LSF آن‌ها در بازه حدود ۸۰-۱۰۰٪ قرار دارد. این بدان معنی است که در صورت بالابودن پارامتر LSF در شبکه مورد مطالعه، الگوریتم پیشنهادی قادر به شناسایی پرنش‌ترین ناحیه با درصد موفقیت ۹۹٪ است.

۳-۲-۲-۱- تحلیل بیش‌تر روی پاسخ پیشنهادی ($k=16$)

در این قسمت، تحلیل بیش‌تری درخصوص قابلیت نشت‌یابی روش پیشنهادی، برای وضعیتی که شبکه بالرما به ۱۶ گروه مطابق با شکل ۹ تقسیم‌بندی شده باشد، ارائه شده است. تمام سناریوهای مورد بررسی با توجه به مقدار پارامتر LSF (حداقل و حداکثر به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۰۰ درصد) به ۳ دسته تقسیم‌بندی شده و درصد عدم موفقیت الگوریتم پیشنهادی در هر بازه LSF، نسبت به تمام عدم موفقیت‌ها در یافتن پرنش‌ترین ناحیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن در شکل ۱۱ با نمودار دایره‌ای نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بین ۱۰۰۰ سناریوی بررسی‌شده، الگوریتم موفق شده بود که در ۹۰٪ از آن‌ها، پرنش‌ترین ناحیه را شناسایی کند. به عبارت دیگر در



شکل ۱۱- خلاصه نتایج برآورد میزان موفقیت الگوریتم با استفاده از رویکرد دوم در یافتن پرنش‌ترین ناحیه شبکه بالرما و تحلیل عدم موفقیت‌های آن در گروه‌بندی پیشنهادی ($k=16$)

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش مبتنی بر واسنجی برای یافتن نشت‌های یک شبکه آبرسانی پیشنهاد شده است که از الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA) استفاده می‌کند. مبنای اصلی این روش، مقایسه نتایج فشارهای شبیه‌سازی شده (خروجی مدل هیدرولیکی) و فشارهای متناظر اندازه‌گیری شده (براساس فرآیند فشارسنجی میدانی) در تعدادی از نقاط شبکه، با هدف یافتن محل یا محدوده نشت‌های موجود است. در روش پیشنهادی دو رویکرد مختلف استفاده و مورد بررسی قرار گرفته است. در رویکرد اول، تعداد نشت‌های هم‌زمان موجود در شبکه، از جمله فرض‌های اولیه مسئله است و الگوریتم پیشنهادی محل دقیق نشت‌ها را شناسایی می‌کند. در رویکرد دوم نیاز به در دسترس بودن تعداد نشت‌های موجود نیست و روش ارائه شده پس از پهنه‌بندی شبکه (و در نتیجه گروه‌بندی گره‌ها) توسط روش خوشه‌بندی K-means با الگوریتم ژنتیک (GA)، پرنش‌ترین محدوده موجود در شبکه را گزارش می‌کند.

روش پیشنهادی در شبکه‌های آبرسانی پولاکیس و بالرما تحت ۲۰۰۰ سناریوی مختلف وجود نشت مورد ارزیابی قرار گرفت. در خصوص به‌کارگیری رویکرد اول نشت‌یابی در شبکه پولاکیس، نتایج نشان داد که درصد موفقیت تعیین محل دقیق نشت در سناریوهای دارای یک، دو، سه، چهار و پنج نشت هم‌زمان به ترتیب ۹۲، ۸۱، ۶۱، ۴۶ و ۲۱ درصد بوده است. لذا مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد نشت‌های هم‌زمان ممکن در شبکه، درصد موفقیت به‌کارگیری رویکرد اول کاهش یافته است. علت آن، افزایش فضای جستجوی الگوریتم با افزایش تعداد نشت‌های هم‌زمان ممکن است. درصد موفقیت کلی آن نیز ۶۰/۲ درصد بوده

است. نتایج اعمال رویکرد دوم، نشان داد که در حالت تقسیم شبکه پولاکیس به ۶ پهنه، الگوریتم پیشنهادی توانست در ۹۱٪ کل سناریوها، پرنش‌ترین ناحیه را به‌درستی تشخیص دهد. با تحلیل دقیق‌تر، مشخص شد که درصد بسیار زیادی از عدم موفقیت‌ها ناشی از پایین بودن پارامتر نوسان مکانی نشت (LSF) در شبکه بود. نتایج نشان داد در صورتی که این پارامتر در بازه ۸۰-۱۰۰ باشد، الگوریتم پیشنهادی می‌تواند با درصد موفقیت ۹۹٪، پرنش‌ترین ناحیه را به‌درستی مکان‌یابی نماید. در خصوص شبکه بالرما، نتایج به‌کارگیری رویکرد اول حاکی از آن بود که درصد موفقیت الگوریتم در سناریوهای دارای یک نشت، ۹۵٪ بوده و با افزایش تعداد نشت‌های هم‌زمان به پنج عدد، درصد موفقیت آن به ۳۶٪ کاهش پیدا کرد؛ به‌صورت کلی نیز در ۷۰٪ کل سناریوها موفق عمل کرده است. نتایج پیاده‌سازی رویکرد دوم در شبکه بالرما و در حالتی که کل شبکه توسط الگوریتم خوشه‌بندی ارائه شده به ۱۶ پهنه تقسیم‌بندی شده باشد، نشان داد که الگوریتم پیشنهادی دارای موفقیتی برابر با ۹۰٪ در مکان‌یابی پرنش‌ترین ناحیه بوده است. همچنین قابلیت دستیابی به موفقیت ۹۹ درصدی را در صورت بالابودن (در بازه ۸۰-۱۰۰٪) پارامتر LSF در سناریوهای نشت مورد مطالعه دارد. لذا رویکرد دوم پیشنهادی در این مقاله بر رویکرد اول ارائه شده ارجحیت دارد. نتیجه دیگر آن بود که زیاد بودن مقدار متوسط شیب خط انرژی در شبکه بالرما (با مقدار ۰/۰۵۰ متر در متر) نسبت به شبکه پولاکیس (با مقدار ۰/۰۱۷ متر در متر)، سبب افزایش حدود ۱۰ درصدی موفقیت الگوریتم نشت‌یابی شده است. روش پیشنهادی ارائه شده در این مقاله، می‌تواند مورد استفاده بهره‌برداران شرکت‌های آب و فاضلاب قرار گیرد.

۵- تشکر و قدردانی

از منابع و پشتیبانی مرکز محاسبات رایانش موزی دانشگاه (سرمد) شهید بهشتی تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- United States Environmental Protection Agency
- 2- Non-Revenue Water
- 3- Genetic Algorithm
- 4- Ant Colony Algorithm
- 5- Simulated Annealing
- 6- Graph Theory
- 7- Imperialist Competitive Algorithm
- 8- Multi-layer Perceptron
- 9- Epanet
- 10- Slime Mould Algorithm
- 11- Grasshopper Optimization Algorithm
- 12- Matlab
- 13- Lloyd's Algorithm
- 14- Roulette Wheel Selection
- 15- Selection Pressure
- 16- Leakage Spatial Fluctuation
- 17- Almeria

۷- مراجع

Aghsami, A., Sharififar, S., Moghaddam, N.M., Hazrati, E., and Jolai, F., (2024), "A bi-objective mixed-integer non-linear programming model with Grasshopper optimization algorithm for military-based humanitarian supply chains", *Decision Analytics Journal*, 10(2024), 100409, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100409>.

Damos, M.A., Zhu, J., Li, W., Khalifa, E., Hassan, A., Elhabob, R., Hm, A., and Ei, E., (2024), "Enhancing the K-means algorithm through a Genetic Algorithm based on survey and social media tourism objectives for tourism path recommendations", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(2), 40, <https://doi.org/10.3390/ijgi13020040>.

Eliades, D.G., Kyriakou, M., Vrachimis, S., Polycarpou, M.M., (2016), "EPANET-MATLAB toolkit: An open-source software for interfacing EPANET with MATLAB", *14th International Conference on Computing and Control for the Water Industry (CCWI)*, 8, The Netherlands.

Faghafur Maghrebi, M.F., Aghaebrahimi, M.R., Taherian, H., and Attari, M., (2014), "Determining the amount and location of leakage in water supply networks using a neural network improved by the Bat optimization algorithm", *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 4(3), 322-327.

Fallahi, H., Jalili Ghazizadeh, M., Aminnejad, B., Yazdi, J., (2021), "Leakage detection in water distribution networks using hybrid feedforward artificial neural networks", *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 70(5), 637-653, <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.140>.

Ferreira, B., Antunes, A., Carriço, N., Covas, D., (2022), "Multi-objective optimization of pressure sensor location for burst detection and network calibration", *Computers and Chemical Engineering*, 162, 107826, <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107826>.

Ferreira, B., Antunes, A., Carriço, N., Covas, D., (2023), "NSGA-II parameterization for the optimal pressure sensor location in water distribution networks", *Urban Water Journal*, 20(6), 738-750, <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2209553>.

Hamilton, S. and Charalambous, B., (2013), *Leak detection: Technology and Implementation*, 112, IWA Publishing.

Holland, J.H., (1992), *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An introductory analysis with applications to biology*, Control and Artificial Intelligence, MIT Press.

Hu, X., Han, Y., Yu, B., Geng, Z., and Fan, J., (2021), "Novel leakage detection and water loss management of urban water supply network using multiscale neural networks", *Journal of Cleaner Production*, 278, 123611, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123611>.

Ikotun, A.M., Ezugwu, A. E., Abualigah, L., Abuhaija, B., and Heming, J., (2023), "K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data",

عطاری، م.، و فغفور مغربی، م.، (۱۳۹۷)، "روش نوین نشت‌یابی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۹(۱)، ۱۴-۲۶.

<https://doi.org/10.22093/wwj.2017.45360.2095>.

فغفور مغربی، م.، حسن‌زاده، ی.، و یزدانی، س.، (۱۳۹۲)، "کالیبراسیون مدل‌های شبکه توزیع آب شهری با استفاده از روش بهینه‌یابی کلونی مورچه‌ها"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۴(۱)، ۱۰۱-۱۱۱.

https://www.wwjournal.ir/article_2344.html?lang=fa.

معاشری، ر.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، تشیعی، م.، منوچهری، پ.، و محمودی سوره، ا.، (۱۴۰۰)، "توسعه یک رویکرد مبتنی بر کالیبراسیون-بهینه‌سازی برای مکان‌یابی نشت‌های یک شبکه آبرسانی با در نظرگیری عدم قطعیت ضرایب زبری لوله‌ها"، *اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب*، دانشگاه تهران، تهران.

نصیری دهج، م.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، جباری، ابراهیم.، و معاشری، ر.، (۱۴۰۴)، "یافتن محل و مقدار نشت در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم SMA"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، (آماده انتشار)، <https://doi.org/10.22112/jwwse.2023.390328.1358>.

- localization model using a maximum coverage search area algorithm", In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1136(1), 012042, IOP Publishing.
- Sousa, J., Ribeiro, L., Muranho, J., and Sá Marques, A., (2015), "Locating leaks in water distribution networks with Simulated Annealing and Graph Theory", *Procedia Engineering*, 119, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.854>.
- Tabesh, M., Jamasb, M., and Moeini, R., (2011), "Calibration of water distribution hydraulic models: A comparison between pressure dependent and demand driven analyses", *Urban Water Journal*, 8(2), 93-102, <https://doi.org/10.1080/1573062X.2010.548525>.
- Thamaraimanalan, T., and Ramalingam, S., (2024), "Hybrid Artificial Neural Network-based Grasshopper optimization algorithm for anomaly detection in wireless body area networks", *IETE Journal of Research*, 70(4), 3738-3752, <https://doi.org/10.1080/03772063.2024.2305845>.
- UN-Water., (2023), "Partnerships and cooperation for water", UNESCO, UN World Water Development Report.
- US-EPA., (2020), "Fix a leak week", <https://www.epa.gov/watersense/fix-leak-week>.
- Wang, Z., Hou, S., and Guo, W., (2024), "Inventory management of battery swapping and charging stations considering uncertainty", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 155, 109528, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109528>.
- Wu, J., Ma, D., and Wang, W., (2022), "Leakage identification in water distribution networks based on XGBoost algorithm", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 148(3), 04021107, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.109810>.
- Wu, Y., Ma, X., Guo, G., Huang, Y., Liu, M., Liu, S., Zhang, J., and Fan, J., (2023), "Hybrid method for enhancing acoustic leak detection in water distribution systems: Integration of handcrafted features and deep learning approaches", *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 1366-1376, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.011>.
- Zaman, D., Tiwari, M. K., Gupta, A. K., and Sen, D., (2020), "A review of leakage detection strategies for pressurised pipeline in steady-state", *Engineering Failure Analysis*, 109, 104264, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104264>.
- Information Sciences, 622, 178-210, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139>.
- Kanakoudis, V., and Tsitsifli, S., (2012), "Urban water services public infrastructure projects: Turning the high level of the NRW into an attractive financing opportunity using the PBSC tool", *Desalination and Water Treatment*, 39(1-3), 323-335, <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.669182>.
- Khorshidi, M.S., Nikoo, M.R., Taravatroy, N., Sadegh, M., Al-Wardy, M., and Al-Rawas, G.A., (2020), "Pressure sensor placement in water distribution networks for leak detection using a hybrid information-entropy approach", *Information Sciences*, 516, 56-71, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.12.043>.
- Li, J., Wu, Y., Zheng, W., and Lu, Ch., (2021), "A model-based Bayesian framework for pipeline leakage enumeration and location estimation", *Water Resources Management*, 35(13), 4381-4397, <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02955-8>.
- Moasheri, R., and Jalili-Ghazizadeh, M., (2020), "Locating of probabilistic leakage areas in water distribution networks by a calibration method using the imperialist competitive algorithm", *Water Resources Management*, 34(1), 35-49, <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02388-4>.
- Pérez-Pérez, E.J., López-Estrada, F.R., Valencia-Palomo, G., Torres, L., Puig, V., and Mina-Antonio, J.D., (2021), "Leak diagnosis in pipelines using a combined artificial neural network approach", *Control Engineering Practice*, 107, 104677, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104677>.
- Poulakis, Z., Valougeorgis, D., and Papadimitriou, C., (2003), "Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework", *Probabilistic Engineering Mechanics*, 18(4), 315-327, [https://doi.org/10.1016/S0266-8920\(03\)00045-6](https://doi.org/10.1016/S0266-8920(03)00045-6).
- Rajabi, M., and Tabesh, M., (2024), "Pressure sensor placement for leakage detection and calibration of water distribution networks based on multiview clustering and global sensitivity analysis", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 150(5), 04024010, <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6262>.
- Sadr-Al-Sadati, S.A., and Jalili Ghazizadeh, M., (2019), "The experimental and numerical study of water leakage from high-density", *Polymer Testing*, 74, 274-280, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.01.014>.
- Saremi, S., Mirjalili, S., and Lewis, A., (2017), "Grasshopper optimisation algorithm :Theory and application", *Advances in Engineering Software*, 105, 30-47, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.01.004>.
- Slowey, K., (2019), "Leak detection tech can save contractors the cost of water waste and damage", <https://www.constructiondive.com/news/leak-detection-tech-can-save-contractors-the-cost-of-water-waste-and-damage/558967/>.
- Snider, B., Lewis, G., Chen, A., Vamvakeridou, L., and Savić, D., (2023) "A flexible, leak crew focused



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Feasibility Study of Water Consumption Reduction Strategies in Thermal Power Plants: A Case Study of Shahid Madhej Power Plant

امکان‌سنجی راه‌کارهای کاهش مصرف آب در نیروگاه‌های حرارتی: مطالعه موردی نیروگاه شهید مدحج اهواز

Hossein Sasani^{1*} and Shahrzad Ehsanmanesh²

1- Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- M.Sc. Student., Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*Corresponding Author, Email: h.sasani@scu.ac.ir

Received: 09/04/2025

Revised: 15/09/2025

Accepted: 27/09/2025

© IWWA

Abstract

Thermal power plants are major consumers of freshwater, exacerbating environmental and operational challenges in water-scarce regions. This study evaluates strategies to reduce water consumption at the Shahid Madahj Ahvaz Power Plant in Iran. The results indicate a current consumption rate of approximately 3 m³ per MWh, which exceeds the national average of 2.2 m³/MWh for Iranian thermal power plants. An analysis of water loss identified the following distribution: evaporation (54%), discharge (30%), leakage and overflow (15%), and drift (1%). Three mitigation strategies were evaluated: increasing cycles of concentration, treating blowdown with reverse osmosis, and installing anti-drift louvers. The implementation of a combined approach demonstrated a potential reduction in water consumption of up to 35%, achieving a rate of 2 m³/MWh. This improvement would yield annual savings of over 2.4 million cubic meters of water and reduce water supply costs by 22 billion Iranian tomans. The findings provide a practical framework for water conservation in similar power plants, particularly in arid and semi-arid regions.

Keywords: Thermal Power Plant, Cooling Tower, Water Consumption Reduction, Reverse Osmosis, Cycles of Concentration.

حسین ساسانی^{۱*} و شهرزاد احسان‌منش^۲

۱- استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: h.sasani@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

نیروگاه‌های حرارتی از مصرف‌کنندگان عمده آب شیرین هستند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند ایران، چالش‌های محیط‌زیستی و بهره‌برداری را تشدید می‌کنند. این پژوهش با هدف بررسی امکان‌سنجی کاهش مصرف آب در نیروگاه شهید مدحج اهواز انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف آب این نیروگاه در حدود ۳ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت تولید برق است که از میانگین نیروگاه‌های حرارتی ایران (۲/۲ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت) بیش‌تر است. تحلیل منابع اتلاف آب نشان داد که ۵۴٪ از طریق تبخیر، ۳۰٪ از طریق تخلیه، ۱٪ در اثر پرتاب و ۱۵٪ ناشی از نشست و سرریز از دست می‌رود. سه راه‌کار شامل افزایش چرخه غلظت، تصفیه آب تخلیه با اسمز معکوس و تعویض لوورهای ضدپاشش بررسی شدند که اجرای ترکیبی آن‌ها توانست مصرف آب نیروگاه را تا ۳۵٪ و معادل ۲ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت کاهش دهد. این کاهش معادل صرفه‌جویی سالانه بیش از دو میلیون و چهارصد هزار مترمکعب آب و ۲۲ میلیارد تومان هزینه تأمین آب است. یافته‌های این پژوهش می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای کاهش مصرف آب در نیروگاه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: نیروگاه حرارتی، برج خنک‌کننده، کاهش مصرف آب، اسمز معکوس، چرخه غلظت.

به‌طور میانگین ۲۵۰۰۰ مترمکعب در روز آب مصرف می‌شود (اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۴۰۲). در این راستا، مطالعات متعددی به ارزیابی راه‌کارهای کاهش مصرف آب در نیروگاه‌های حرارتی پرداخته‌اند. پژوهشی در چین با تحلیل الگوی مصرف ۳۴۵ نیروگاه نشان داد که سیستم‌های خنک‌کننده چرخشی اگرچه رایج هستند، اما مصرف آب بالایی دارند. در مقابل، سیستم‌های خشک تا ۷۵٪ صرفه‌جویی آبی ایجاد می‌کنند، هرچند هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهند (Shao et al., 2017).

تحقیق دیگری نیز نشان داد که نیروگاه‌های مناطق خشک تا ۸۴٪ آب شیرین محلی را مصرف می‌کنند و راه‌کارهایی مانند استفاده از آب‌های بازیافتی یا سیستم‌های هیبریدی می‌تواند این وابستگی را کاهش دهد (Pan et al., 2018).

در نیروگاه‌های حرارتی، نمک‌زدایی جریان تخلیه برج‌های خنک‌کننده روشی متداول اما پرهزینه برای احیای آب بازیافتی محسوب می‌شود. براساس تحلیل‌های اقتصادی با در نظر گرفتن بهای یارانه‌ای برق در ایران، کم‌ترین هزینه نمک‌زدایی مربوط به شهرهای مجاور خلیج فارس و دریای عمان است (۴۳۲ هزار ریال به‌ازای هر مترمکعب)؛ درحالی‌که با فاصله‌گرفتن از سواحل جنوبی و در مناطق کویری مانند بیرجند، این رقم معادل ۱۰۲۶ هزار ریال برآورد شده است (فدایی تهرانی و ابارشی، ۱۴۰۳)؛ البته تلفیق انرژی‌های تجدیدپذیر با این‌گونه فناوری‌ها می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را تا ۵۰٪ کاهش دهد (ایرجی و نجفی، ۱۴۰۴).

هم‌چنین در یک مطالعه اقتصادی بر روی یک نیروگاه حرارتی مشخص شد که استفاده هم‌زمان از آب‌شیرین‌کن‌های حرارتی و اسمز معکوس، در دبی‌های بالاتر از ۸۰۰ مترمکعب بر ساعت برای آب دریا، از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر بوده و به افزایش بازدهی تولید برق کمک می‌کند (پرهیزکار و پورعلی، ۱۳۹۶).

البته فناوری اسمز معکوس منجر به تولید شورابه با املاح بالا می‌شود که دفع آن به محیط‌زیست نیازمند رعایت استانداردهای تخلیه است. بنابراین در سال‌های اخیر توجه محققین بر روی مطالعه و ارزیابی فرآیندهای نمک‌زدایی بدون پساب یا تخلیه پساب صفر مایع (ZLD) بیش‌تر شده است (رمضانی و همکاران، ۱۴۰۴).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این‌گونه سامانه‌ها می‌تواند پیامدهای محیط‌زیستی فرآیند اسمز معکوس را تا حدود ۸۰ درصد کاهش دهد (هاشم‌پور و همکاران، ۱۴۰۳). در مطالعه دیگری نیز دو راه‌کار بازیافت پساب تخلیه و نمک‌زدایی آب جبرانی به‌منظور افزایش چرخه غلظت مقایسه شده و مشخص

نیروگاه‌های حرارتی، به‌عنوان تأمین‌کنندگان اصلی انرژی الکتریکی، به‌دلیل وابستگی زیاد به آب شیرین برای خنک‌سازی، یکی از عوامل تشدید بحران جهانی آب محسوب می‌شوند. این مسئله در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که با محدودیت‌های ذاتی منابع آبی مواجه‌اند، پیچیدگی بیش‌تری یافته و پایداری عملیاتی این تأسیسات را با مخاطرات فزاینده‌ای روبه‌رو ساخته است. یافته‌های پژوهش‌های اخیر، نشان می‌دهد که توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب و اجرای طرح‌های اضطراری تأمین و مدیریت منابع، سه راه‌کار اصلی برای سازگاری با کم‌آبی به‌شمار می‌روند (حراقی و همکاران، ۱۴۰۳).

در این میان، نیروگاه شهید مدحج به‌عنوان یکی از نیروگاه‌های کلیدی حرارتی ایران در استان خوزستان، نمونه‌ای بارز از مصرف بالای آب در بخش نیروگاهی است. داده‌های عملیاتی نشان می‌دهد که نیروگاه شهید مدحج به‌طور متوسط ۳ مترمکعب آب به‌ازای هر مگاوات ساعت برق مصرف می‌کند. این مقدار در مقایسه با میانگین نیروگاه‌های حرارتی ایران با برج خنک‌کننده تر (۲/۲ مترمکعب بر مگاوات ساعت) بیانگر مصرف بالاتر آب در این نیروگاه است (موسوی رینه و یوسفی، ۱۳۹۹).

هم‌چنین برآوردها حاکی از آن است که کل مصرف آب در زنجیره تولید برق ایران طی یک سال بیش از یک میلیارد مترمکعب است. به‌طور متوسط، نیروگاه‌های کشور برای تولید هر کیلووات ساعت برق حدود ۱/۵ لیتر آب به‌صورت مستقیم و پیش از مرحله نیروگاه حدود ۲/۵ لیتر آب به‌صورت غیرمستقیم مصرف می‌کنند؛ بنابراین مجموعاً مصرف آب در کل زنجیره تولید برق معادل ۴ لیتر به‌ازای هر کیلووات ساعت برآورد می‌شود (تهامی‌پور و اسماعیل‌زاده، ۱۴۰۲). علاوه بر این، تخلیه فاضلاب‌های تصفیه‌نشده حاوی آلاینده‌های شیمیایی به اکوسیستم‌های آبی، آلودگی منابع و تخریب زیستگاه‌های طبیعی را تشدید می‌کند (Meramo and González-Delgado, 2023). چنین چالش‌هایی، همراه با الزامات سخت‌گیرانه محیط‌زیستی، لزوم به‌کارگیری فناوری‌های نوین و راهبردهای مدیریتی پایدار را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است (Nihalani and Mishra, 2020).

در صنعت نیروگاهی، به‌ویژه در نیروگاه‌های با برج خنک‌کننده تر، حجم قابل‌توجهی از آب مصرف می‌شود. به‌عنوان نمونه، در نیروگاه شهید منتظر قائم (دارای چهار واحد بخار ۶۲۵ و سه واحد سیکل ترکیبی ۳۰۰ مگاوات و شش واحد گازی ۶۹۸ مگاوات)،

کاهش مصرف آب در برج‌های خنک‌کننده نیروگاه شهید مدحج، گامی نوین در این راستا خواهد بود و می‌تواند مبنایی برای تحقیقات آینده در زمینه بهینه‌سازی مصرف آب نیروگاه‌های حرارتی فراهم سازد.

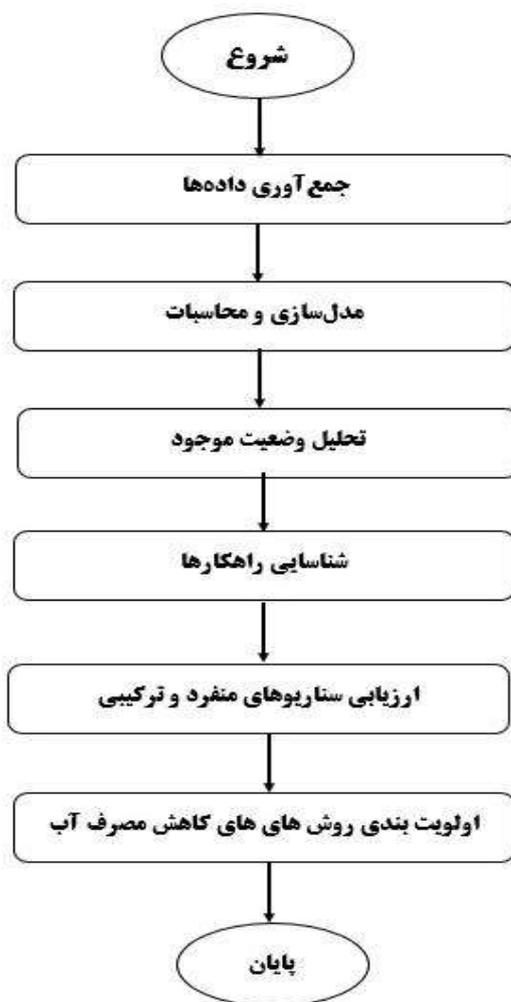
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- چارچوب روش تحقیق

به‌منظور ارائه تصویری جامع از فرآیند پژوهش در شکل ۱، چارچوب روش تحقیق این مطالعه به‌صورت فلودیگرام نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مراحل تحقیق شامل جمع‌آوری داده‌ها، مدل‌سازی و محاسبات، تحلیل وضعیت موجود، شناسایی راه‌کارها، ارزیابی سناریوهای منفرد و ترکیبی و در نهایت اولویت‌بندی روش‌های کاهش مصرف آب است. این چارچوب مبنای اجرای مراحل بعدی تحقیق در نیروگاه شهید مدحج اهواز قرار گرفته است.

شد که بازیافت پساب تخلیه در برج‌های با چرخه‌های غلظت بالاتر از ۳، ۱۳٪ صرفه‌جویی در مصرف آب به‌همراه دارد و علاوه‌بر بازدهی بیشتر، هزینه‌های کم‌تری نسبت به گزینه دوم دارد (Muller et al., 2024).

مطالعه دیگری، نشان داد که برج هیبریدی مرطوب/خشک نه‌تنها مصرف آب را کاهش می‌دهد، بلکه از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه است (دهقانی و احمدی‌کیا، ۱۳۹۶). علاوه‌بر این، پژوهش دیگری با ارائه مدل نرم‌کننده آهک، کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب را از طریق بازچرخانی ۹۰۰ تا ۱۵۰۰ مترمکعب آب در ساعت امکان‌پذیر دانسته است (Biedunkova et al., 2024). باوجود مطالعات متعددی که در زمینه بهینه‌سازی مصرف آب نیروگاه‌ها انجام شده است، تاکنون پژوهشی که به‌صورت جامع و هم‌زمان اثربخشی ترکیب چهار راه‌کار تصفیه پساب جریان تخلیه با اسمز معکوس، افزایش چرخه غلظت، نصب قطره‌گیرها، و جایگزینی لوورهای ضدپاشش، را در یک نیروگاه خاص ارزیابی کند، انجام نشده است. این مطالعه، با تمرکز بر امکان‌سنجی

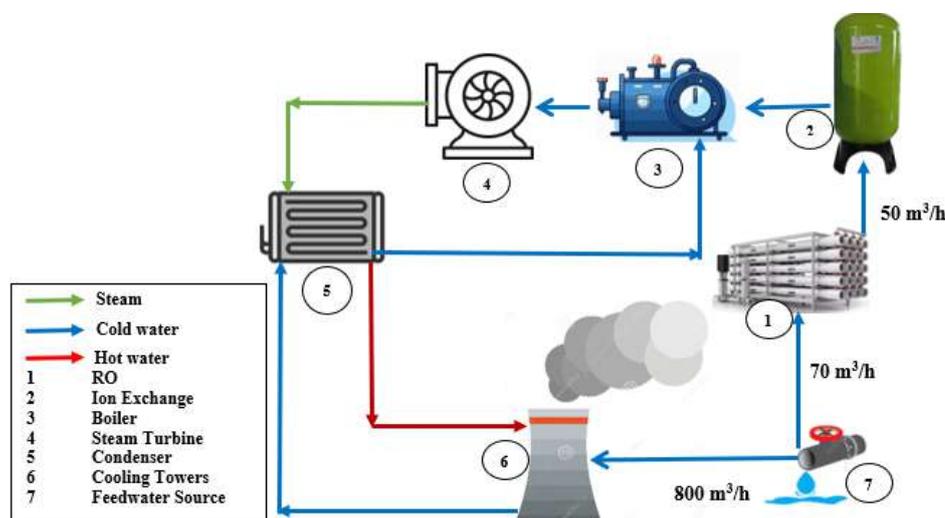


شکل ۱- روندنمای مراحل انجام تحقیق حاضر

۲-۲- معرفی نیروگاه شهید مدحج اهواز

نیروگاه شهید مدحج اهواز با ظرفیت تولیدی حدود ۸۰۰ مگاوات، متشکل از واحدهای گازی و بخاری است. آب مورد نیاز نیروگاه از خط انتقال آبی که منبع آن در شهر شوشتر است، تأمین می‌شود. با توجه به کیفیت مطلوب این آب (جدول ۱)، معادل ۷۰ مترمکعب بر ساعت به واحد نمک‌زدایی (اسمز معکوس و رزین‌های تبادل یونی) هدایت می‌شود. سپس ۵۰ مترمکعب بر ساعت آب دمین تولید شده که به‌عنوان آب تغذیه وارد بویلر می‌شود. بخار تولیدشده وارد توربین شده تا برای جریان الکتریسته استفاده شود. پس از عبور از توربین، در کندانسور

میعان یافته و مجدداً به بویلر برمی‌گردد. به‌منظور خنک کردن این جریان بخار، در حدود ۳۰۰۰۰ مترمکعب در ساعت آب از سمت برج‌های خنک‌کننده به کندانسور انتقال داده می‌شود. این جریان در کندانسور، گرمای جریان بخار را دریافت می‌کند و به‌عنوان آب گرم مجدداً به برج‌های خنک‌کننده برمی‌شود. در آن‌جا با استفاده از تماس با جریان هوا در حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد، خنک شده و مجدداً به کندانسور انتقال می‌یابد. در این برج‌ها، بخش قابل‌توجهی نیز به‌صورت تبخیر تلف می‌شود که برای جبران آن، ضروری است از منبع تأمین آب، جریانی تحت عنوان آب جبرانی وارد برج‌ها شود. در شکل ۲ دیاگرام جریان گردش آب در نیروگاه شهید مدحج، نشان داده شده است.



شکل ۲- دیاگرام جریان آب در نیروگاه شهید مدحج

۲-۳- ویژگی‌های برج خنک‌کننده نیروگاه شهید مدحج

برج‌های خنک‌کننده نیروگاه از نوع گردش مجدد باز بوده و به‌عنوان بزرگ‌ترین برج‌های خنک‌کننده تر در ایران شناخته می‌شوند. هر برج به ۹ فن سه‌فاز با ولتاژ ۳۸۰ ولت مجهز است که

با ایجاد جریان هوای معکوس، انتقال حرارت بین آب گرم و محیط را تسهیل می‌کنند. این فرآیند علاوه بر کاهش دمای آب ورودی به کندانسور، نقش مهمی در حفظ خلأ سیستم و افزایش راندمان چگالش بخار دارد. ابعاد هر برج ۱۸×۲۱×۱۱۰ متر (طول×عرض×ارتفاع) است.

جدول ۱- کیفیت آب خام ورودی به نیروگاه شهید مدحج

پارامتر	واحد	مقدار
بی‌کربنات	mg/L as CaCO ₃	۱۸۵/۳
نیترات	mg/L	۷
کلراید	mg/L	۳۱۸/۹
کلسیم	mg/L	۱۲۶/۶
منیزیم	mg/L	۳۵/۹
سدیم	mg/L	۱۹۶/۳
پتاسیم	mg/L	۲/۵
pH	-	۷/۸
TDS	mg/L	۱۰۱۰
EC	μmhos/cm	۱۷۱۷
کدورت	NTU	۰/۳
کل جامدات معلق	mg/L	۰/۴

۲-۴- مدل‌سازی جریان‌ها در برج خنک‌کننده

در برج‌های خنک‌کننده، جریان آب ورودی (آب جبرانی) بخشی از نیاز آبی سیستم را تأمین می‌کند. بخشی از این آب به‌صورت تبخیر و دریافت از بخش فوقانی برج از دست می‌رود و بخش دیگری تحت‌عنوان جریان تخلیه از بخش زیرین برج خارج می‌شود تا از افزایش غلظت آلاینده‌ها در آب جلوگیری شود. بر این اساس، کل میزان آب جبرانی مورد نیاز سیستم با استفاده از معادله موازنه جرم مطابق معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$MU = ER + BD + DR + L \quad (1)$$

که MU : مقدار کل آب جبرانی مورد نیاز سیستم (m^3/d)، ER : میزان تبخیر (m^3/d)، BD : میزان تخلیه (m^3/d)، DR : میزان تلفات دریافت (m^3/d) و L : سایر تلفات سیستم (m^3/d) است.

آب جبرانی معمولاً با استفاده از دبی‌سنج‌ها اندازه‌گیری می‌شود. در صورت عدم وجود دبی‌سنج، می‌توان مقدار آب جبرانی را با استفاده از تعداد چرخه‌های غلظت (CR) و میزان تغییرات دما تخمین زد که مطابق معادله تجربی (۲) محاسبه می‌شود (Qasim and Zhu, 2017):

$$MU = \frac{\Delta T \cdot CR}{548(CR - 1)} RR \quad (2)$$

که CR : تعداد چرخه‌های غلظت (نسبت بین مقدار مواد جامد محلول در آب در گردش به مقدار آن‌ها در آب جبرانی)، ΔT : تغییر دمای ایجادشده توسط برج خنک‌کننده (درجه سانتی‌گراد)، RR : نرخ جریان آب در گردش، بر حسب مترمکعب در ساعت (m^3/h) و MU : مقدار کل آب جبرانی مورد نیاز سیستم (m^3/d) است.

این رابطه امکان محاسبه مقدار آب جبرانی لازم را براساس نرخ تبخیر و تعداد چرخه‌های غلظت فراهم می‌کند. چرخه‌های غلظت نشان‌دهنده تعداد دفعاتی است که آب در سیستم خنک‌کننده قبل از تخلیه گردش می‌کند. این پارامتر نقش کلیدی در طراحی و بهره‌برداری بهینه برج‌های خنک‌کننده دارد و این مقدار با نسبت غلظت یک یون در آب خنک‌کننده نسبت به همان یون در آب جبرانی تعریف می‌شود که از معادله (۳) محاسبه می‌شود:

$$CR = \frac{C_{CW}}{C_{MU}} \quad (3)$$

که C_{CW} : مقدار مواد محلول در آب در گردش برج خنک‌کننده (mg/L)، C_{MU} : مقدار مواد محلول در آب جبرانی که برای جایگزینی تلفات سیستم تأمین می‌شود (mg/L) و CR : تعداد

چرخه‌های غلظت است.

بخش دیگر تلفات آب، مقدار آبی است که در اثر تبخیر، از بالای برج خنک‌کننده خارج می‌شود. با استفاده از معادله (۴) می‌توان این بخش را محاسبه نمود (Seneviratne, 2007):

$$ER = \frac{EK \times C_p \times RR \cdot \Delta T}{L_E} \quad (4)$$

که R : نرخ جریان تبخیر، بر حسب مترمکعب در ساعت (m^3/h)، EK : ضریب تبخیر ($0.75-0.85$)، C_p : گرمای ویژه آب، برابر با $4/2$ کیلوژول بر کیلوگرم بر درجه سانتی‌گراد ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)، L_E : گرمای نهان تبخیر آب، برابر با 2431 کیلوژول بر کیلوگرم (kJ/kg) و RR : نرخ جریان در گردش بر حسب مترمکعب در ساعت (m^3/h) است.

جریان بلودان یا تخلیه (BD) نیز یکی از پارامترهای مهم در محاسبات است. این جریان به مقدار آبی اطلاق می‌شود که به‌صورت عمدی از سیستم خارج می‌شود تا غلظت مواد جامد محلول در محدوده مطلوب باقی بماند. بدین منظور معادله‌های (۵) و (۶) برای محاسبه جریان تخلیه ارائه می‌شود:

$$MU \times C_{MU} = BD \times C_{CW} \quad (5)$$

که C_{MU} : مقدار مواد محلول در آب جبرانی که برای جایگزینی تلفات سیستم تأمین می‌شود (mg/L)، C_{CW} : مقدار مواد محلول در آب در گردش برج خنک‌کننده (mg/L) و MU : مقدار کل آب جبرانی مورد نیاز سیستم (m^3/d) است.

$$BD = \frac{MU}{CR} \quad (6)$$

که MU : مقدار کل آب جبرانی مورد نیاز سیستم (m^3/d)، BD : جریان بلودان یا تخلیه (m^3/d) و CR : تعداد چرخه‌های غلظت است.

بنابراین، با توجه به معادله موازنه جرم ارائه‌شده در معادله (۱) و محاسبه جریان‌های جبرانی (MU)، تبخیر (ER) و تخلیه (BD) می‌توان مجموع تلفات ناشی از دریافت (DR) و نشت (L) را با استفاده از معادله (۷) تعیین نمود:

$$DR + L = MU - ER - BD \quad (7)$$

۲-۵- وضعیت موجود مصرف آب در برج‌های خنک‌کننده

در جدول ۲ مصارف آب در برج‌های خنک‌کننده نیروگاه شهید مدحج نشان داده شده است. تبخیر، عملکرد اصلی برج خنک‌کننده است و روشی است که حرارت را از سیستم برج خنک‌کننده حذف می‌کند. تلفات تبخیر به‌طور متوسط حدود ۱٪

توسط جریان باد انتقال پیدا کرده و از بخش فوقانی برج‌ها به‌همراه بخار آب خارج می‌شود. معمولاً نرخ پرتاب کم‌تر از ۱ درصد کل آب مورد نیاز نیروگاه برآورد می‌شود (Zhai and Rubin, 2010). بدین ترتیب می‌توان آخرین سهم تلفات یعنی نشت یا سرریز را نیز تعیین نمود. مشاهدات به‌عمل‌آمده از بهره‌برداری نیروگاه، نشان‌دهنده سرریز شدن جریان دائمی و قابل‌توجهی آب از برج‌ها است. براساس معادله (۸)، این تلفات حدود ۱۱۷ مترمکعب در ساعت بوده که مقدار قابل‌ملاحظه‌ای است. بنابراین تبخیر، تخلیه، پرتاب و نشت مهم‌ترین منابع اتلاف آب در این نیروگاه هستند که به‌ترتیب ۵۳، ۳۰، ۱ و ۱۶ درصد آب جبرانی را به خود اختصاص می‌دهند. بدین ترتیب طبق جدول ۲، نیروگاه شهید مدح با مصرف ۳ مترمکعب آب به‌ازای هر مگاوات ساعت، بیش از مصرف آب نیروگاه‌های مشابه در ایران (۲/۲ مترمکعب آب بر مگاوات - ساعت) مصرف می‌نماید. البته مصرف آب نیروگاه‌های مشابه تحت‌تأثیر فناوری‌های خنک‌سازی، شرایط اقلیمی و اختلاف دمای خنک‌سازی، متفاوت است؛ اما به‌طور متوسط مصرف آب نیروگاه‌های مبتنی بر چرخه رانکین در حدود ۲ مترمکعب بر مگاوات ساعت، گزارش شده است (Guerras and Martín, 2020; Zhai and Rubin, 2010).

جدول ۲- مصارف آب در برج‌های خنک‌کننده نیروگاه شهید مدح

ردیف	مشخصه	واحد	مقدار
۱	توان تولیدی واحدهای بخار	MW	۲۹۰
۲	آب کل در گردش	m ³ /h	۳۰۰۰۰
۳	مصرف آب برج‌های خنک‌کننده	m ³ /h	۸۰۰
۴	نسبت آب مصرفی به توان تولیدی	m ³ /MWh	۳
۵	تغییر دما	°C	۱۰
۶	نرخ جریان تبخیر (میانگین دو روش)	m ³ /h	۴۳۵
۷	چرخه‌های غلظت	-	۳/۳
۸	نرخ جریان پرتاب	m ³ /h	۶
۹	نرخ جریان تخلیه	m ³ /h	۲۴۲
۱۰	نرخ جریان نشت یا سرریز	m ³ /h	۱۱۷

۳- نتایج و بحث

آب جبرانی مجموع تبخیر، تخلیه، نشت و پرتاب است. تبخیر در برج خنک‌کننده تابع عملکرد برج خنک‌کننده است و به‌راحتی قابل‌کاهش نیست. با این‌وجود، گزینه‌هایی نظیر تبدیل برج مرطوب به برج‌های هیبریدی و استفاده از فناوری نانو سیالات در مطالعات پیشین به‌منظور کاهش تلفات تبخیر بررسی شده‌اند (Costa et al., 2014; Pozzobon et al., 2016)؛ که با توجه به

برای هر ۷ درجه سانتی‌گراد کاهش دما در آب است (Deziani et al., 2017). با این توضیحات، براساس این مقادیر و جریان آب در گردش ۳۰۰۰۰ مترمکعب در ساعت، انتظار می‌رود، مقدار تلفات ناشی از تبخیر برای برج‌های خنک‌کننده که ۱۰ درجه دمای آب را کم می‌کنند، معادل ۴۲۹ مترمکعب در ساعت باشد. این درحالی است که مطابق با معادله (۲) کل تبخیر انجام‌شده از برج‌ها معادل ۴۴۱ مترمکعب در ساعت تعیین می‌شود (جدول ۲). بنابراین، با توجه به درصد اختلاف ۳ درصدی نتیجه هر دو روش، مقادیر تعیین‌شده بسیار نزدیک به هم است که نشان‌دهنده کارایی هر دو روش در تخمین نرخ تبخیر است.

بخش دوم تلفات آب مربوط به نرخ تخلیه است که برای حذف غلظت‌های بالای مواد جامد حل‌شده مانند کلسیم، منیزیم، کلرید، سیلیکا از سیستم برج خنک‌کننده انجام می‌شود. وقتی آب تبخیر می‌شود، مواد جامد حل‌شده باقی می‌مانند و غلظت کل مواد جامد حل‌شده (TDS) در آب برج خنک‌کننده افزایش می‌یابد. غلظت‌های بالا می‌توانند باعث تشکیل رسوب شوند یا به خوردگی منجر شوند که موجب کاهش کارایی و خرابی سیستم می‌شود. غلظت TDS با حذف یعنی برداشت بخشی از آبی که دارای غلظت بالای TDS است و جایگزینی آن با آب تازه، کنترل می‌شود. براساس معادله (۶) و مطابق جدول ۲ نرخ جریان تخلیه هر دو برج، معادل ۲۴۲ مترمکعب در ساعت است که در حدود ۵۶ درصد مقدار تبخیر است. این درحالی است که در برج‌های خنک‌کننده مرطوب، در حدود ۲۰ درصد نرخ تبخیر از طریق تخلیه به هدر می‌رود (EPA, 2017). این اختلاف بالا می‌تواند ناشی از چرخه غلظت پایین در جریان آب در گردش برج‌های خنک‌کننده باشد. بخش سوم تلفات آب مربوط به پدیده پرتاب (دریفت) است که بیانگر مقدار آبی است که می‌تواند به‌صورت مه یا قطرات آب از برج خنک‌کننده خارج شود. نرخ تلفات پرتاب تابعی از پیکربندی برج، طراحی قطره‌گیرها، نرخ جریان هوا از میان برج و میزان بارگذاری آب است. با این‌وجود، معمولاً برای برآورد مقدار این اتلاف، درصدی از آب در گردش در نظر گرفته می‌شود. سیستم‌های با بازدهی پایین آن‌هایی هستند که مقادیر بین ۰/۰۸ تا ۰/۰۲ درصد تولید می‌کنند، درحالی‌که سیستم‌های با بازدهی بالا عملکردی با سطح کم‌تر از ۰/۰۸ درصد را ارائه می‌دهند (Meroney, 2006). از آن‌جا که مصرف آب نیروگاه شهید مدح بالا است، به‌طور محافظه‌کارانه، این نرخ معادل ۰/۰۲ درصد جریان آب در گردش، در نظر گرفته می‌شود. مطابق با این تحلیل، در حدود ۶ مترمکعب در ساعت (معادل ۰/۷ درصد مصرف آب نیروگاه)، قطرات آب ناشی از عملیات خنک‌کردن در برج‌ها

غلظت، برای کنترل pH و جلوگیری از رسوب‌گذاری، افزایش تزریق مواد شیمیایی تنظیم‌کننده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

۳-۲- بازچرخش جریان تخلیه

از آن‌جاکه برای نمک‌زدایی آب‌های لب‌شور، فرآیند اسمز معکوس (RO) از نظر اقتصادی و فنی بر سایر روش‌های حرارتی برتری دارد (Ghaffour et al., 2013) در این مطالعه، از این فرآیند برای تصفیه جریان تخلیه استفاده می‌شود. این سیستم با بهره‌گیری از ممبران‌های مناسب برای آب‌های لب‌شور و واحدهای پیش‌تصفیه، TDS را تا کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌دهد. مطابق با جدول ۴، چنان‌چه تصفیه جریان تخلیه و بازچرخش آن به ورودی برج‌های خنک‌کننده در دستور کار قرارگیرد، با در نظر گرفتن بازدهی ۸۰ درصد برای سیستم نمک‌زدایی با روش اسمز معکوس، در حالت موجود که چرخه غلظت ۳/۳ است، کل آب مورد نیاز نیروگاه از مقدار ۳ به ۲/۳۳ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت کاهش می‌یابد که صرفه‌جویی قابل توجهی است (۲۴٪). اگر تلفیق دو روش (افزایش COC تا مقدار ۶ و بازچرخش جریان تخلیه) در نظر گرفته شود، این شاخص به ۲/۲۴ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت کاهش می‌یابد.

جدول ۳- تأثیر افزایش COC بر کاهش مصرف آب جبرانی

ردیف	مشخصه	واحد	مقدار		
۱	COC	-	۳/۳	۴	۵
۲	TDS آب تخلیه	mg/L	۳۳۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰
۳	کاهش آب جبرانی	%	-	۷/۱	۱۲/۹
۴	آب جبرانی جدید	m ³ /h	۸۰۰	۷۴۳	۶۹۷
۵	آب مورد نیاز نیروگاه	m ³ /MWh	۳/۰۰	۲/۸۰	۲/۶۴
۶	نرخ جریان تخلیه	m ³ /h	۲۴۲	۱۸۶	۱۱۲

جدول ۴- تأثیر تصفیه و بازچرخش جریان تخلیه بر کاهش مصرف آب

ردیف	مشخصه	واحد	۳/۳COC =	۶COC =
۱	نرخ جریان تخلیه	m ³ /h	۲۴۲	۱۱۲
۲	خروجی واحد نمک‌زدایی جریان تخلیه با ریکاوری ۸۰ درصد	m ³ /h	۱۹۴	۸۹
۳	آب جبرانی پس از بازچرخش خروجی نمک‌زدایی	m ³ /h	۶۰۶	۵۸۰
۴	نشست یا سرریز	m ³ /h	۱۱۷	۱۲۳
۵	نسبت آب مصرفی به توان تولیدی پس از بازچرخش	m ³ /MWh	۲/۳۳	۲/۲۴
۶	TDS فاضلاب نمک‌زدایی	mg/L	۱۶،۵۰۰	۳۰،۰۰۰
۷	نرخ جریان فاضلاب نمک‌زدایی	m ³ /h	۴۸	۲۲

خنک‌کننده عمدتاً در اثر پدیده پاشش رخ می‌دهد. در این زمینه، استفاده از لوورهای ضدپاشش می‌تواند نقش مهمی در کاهش این

نیاز به سرمایه‌گذاری بالا و انجام تحقیقات در مقیاس پایلوت در این تحقیق بررسی نمی‌شوند. همچنین، تلفات ناشی از پرتاب، کم‌تر از ۱٪ بوده و بدین ترتیب از دستور کار این تحقیق خارج می‌شود. بنابراین سه گزینه افزایش چرخه غلظت، کاهش تلفات سرریز و بازچرخش جریان تخلیه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱- افزایش چرخه غلظت (COC)

مطابق با معادله (۶) تلفات ناشی از تخلیه، تابعی از چرخه غلظت است که باید در سیستم حفظ شود. چرخه غلظت برای سیستم خنک‌کننده به کیفیت آب جبرانی بستگی دارد. درصد مصرف آب خنک‌کننده که می‌تواند با افزایش تعداد سیکل‌های غلظت صرفه‌جویی شود، در معادله (۸) ارائه شده است (Seneviratne, 2007).

$$POC = 100 \times \frac{(CR_n - CR_i)}{CR_i(CR_n - 1)} \quad (8)$$

که CR_n و CR_i : به ترتیب چرخه غلظت قبل و بعد از افزایش و POC : نیز درصد آب صرفه‌جویی شده ناشی از افزایش COC هستند.

از آن‌جا که برج‌ها می‌توانند در چرخه غلظت ۳ تا ۷، عملکرد مناسبی داشته باشند (Guerras and Martín, 2020)، لذا افزایش چرخه غلظت می‌تواند میزان تخلیه آب را کاهش دهد و منجر به کاهش آب جبرانی شود. در نیروگاه شهید مدحج، مقدار چرخه غلظت حدود ۳/۳ است. مطابق جدول ۳ چنان‌چه چرخه غلظت به ۴، ۵، ۶ افزایش یابد، نرخ آب جبرانی به ترتیب حدود ۷، ۱۳ و ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. بدین ترتیب، در بیش‌ترین مقدار چرخه غلظت، آب جبرانی مورد نیاز از ۸۰۰ به ۶۶۹ مترمکعب در ساعت و کل آب مورد نیاز نیروگاه از ۳ به ۲/۵۵ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت، کاهش پیدا می‌کند. البته با افزایش چرخه

۳-۳- کاهش تلفات سرریز

بررسی‌های میدانی نشان داده است که سرریزهای برج‌های

لوورها، میزان کاهش تلفات چقدر خواهد بود، نیز به بررسی بیش‌تری نیاز دارد. زیرا علاوه بر پدیده سرریز، نشت از اتصالات، شیرهای کنترل و خطوط لوله‌کشی نیز بر هدررفت آب مؤثر است. با این‌وجود در این مطالعه، در یک سناریوی محافظه‌کارانه، اثر تعویض لوورها، در حدود ۵۰ درصد برای کاهش این نوع تلفات در نظر گرفته می‌شود. مطابق جدول ۵، در وضعیت موجود با اجرای این روش، آب جبرانی، به ۷۴۱ مترمکعب در ساعت (حدود ۰.۷٪) کاهش می‌یابد.

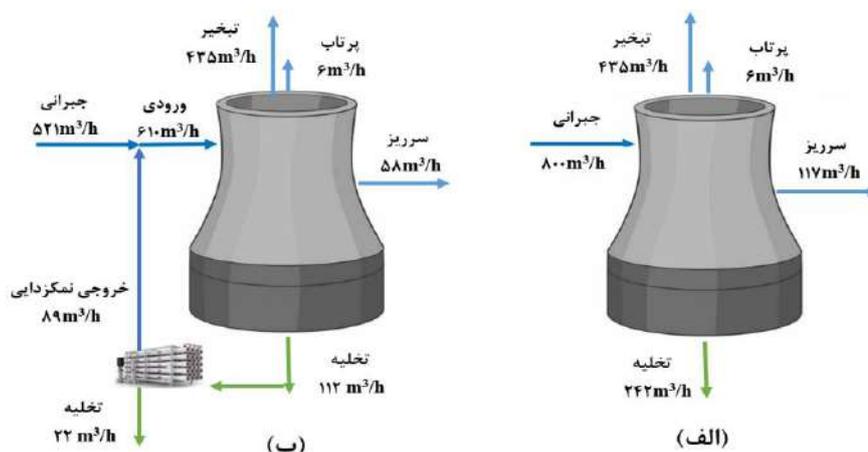
نوع اتلاف داشته باشد. این لوورها با هدایت مجدد قطرات آب به داخل برج، از هدررفت ناشی از پاشش جلوگیری می‌کنند. مشاهدات حاکی از آن است که فرسودگی این لوورها در نیروگاه شهید مدحج منجر به افزایش چشمگیر پاشش آب شده و موازنه جرم انجام‌شده نشان می‌دهد که این پدیده باعث هدررفت آب به مقدار ۱۱۷ مترمکعب در ساعت (معادل ۱۵ درصد از آب جبرانی برج‌ها) می‌شود. بنابراین، تعویض لوورهای فرسوده می‌تواند در کاهش سهم این نوع از اتلاف آب، مؤثر باشد. این‌که با تعویض

جدول ۵- اثر بخشی اجرای هر سه گزینه در کاهش تلفات آب نیروگاه شهید مدحج

مبلغ صرفه‌جویی در سال (میلیارد تومان)	صرفه‌جویی (مترمکعب در سال)	کاهش حجم آب جبرانی (%)	مصرف آب (مترمکعب به مگاوات در ساعت)	آب جبرانی مورد نیاز (مترمکعب در ساعت)	روش کاهش مصرف آب
۱۰/۵۵	۱,۱۴۶,۷۶۴	۱۶/۴	۲/۵۵	۶۶۹	۱
۱۵/۶۳	۱,۶۹۸,۹۰۹	۲۴/۲	۲/۳۳	۶۰۶	۲
۴/۷۲	۵۱۲,۵۰۵	۷/۳	۲/۸۰	۷۴۱	۳
۱۷/۷۴	۱,۹۲۸,۲۶۲	۲۷/۵	۲/۲۴	۵۸۰	۱+۲
۱۵/۲۷	۱,۶۵۹,۲۶۹	۲۳/۷	۲/۳۵	۶۱۰	۱+۳
۲۰/۳۵	۲,۲۱۱,۴۱۴	۳۱/۶	۲/۱۳	۵۴۸	۲+۳
۲۲/۴۶	۲,۴۴۰,۷۶۷	۳۴/۸	۲/۰۴	۵۲۰	۱+۲+۳

(۲ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت) است. نسبت آب تخلیه برج‌های خنک‌کننده به نرخ تبخیر نیز از ۵۶ به ۲۶ درصد کاهش می‌یابد که نزدیک به مقدار متداول (۲۰ درصد) در ایالات متحده است (EPA, 2017). البته با بررسی دقیق‌تر پدیده نشت، سرریز و بهبود فرآیند نگهداری و تعمیرات می‌توان صرفه‌جویی بیش‌تری در آب مصرفی ایجاد نمود که بدین منظور باید بر روی کاهش تلفات ناشی از تبخیر تمرکز کرد. در شکل ۳، جریان‌های ورودی و خروجی برج‌های نیروگاه شهید مدحج نشان داده شده است. مطابق این شکل، در اثر اجرای هر سه روش، آب جبرانی از ۸۰۰ به ۵۲۱ مترمکعب در ساعت کاهش می‌یابد.

بدین ترتیب در صورت اجرای هر سه روش، آب مورد نیاز نیروگاه به کم‌ترین مقدار (معادل ۲ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت) کاهش می‌یابد. اجرای هر سه روش سالانه بیش از دو میلیون و چهارصد هزار مترمکعب آب و حدود ۲۲ میلیارد تومان صرفه‌جویی را در پی دارد که با در نظر گرفتن سرانه مصرف آب خانگی معادل ۱۵۰ لیتر به‌ازای هر نفر در روز، حجم آب صرفه‌جویی‌شده معادل آب مورد نیاز روزانه حدود ۴۴۰۰۰ نفر است. بدین ترتیب آب مصرفی نیروگاه از ۳ به ۲ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت (حدود ۳۵ درصد) کاهش می‌یابد که کم‌تر از میانگین مصرف نیروگاه‌های حرارتی مشابه ایرانی (۲/۲ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت) و نزدیک به مقدار متوسط ایالات متحده



شکل ۳- جریان‌های ورودی و خروجی برج‌ها، (الف): وضعیت موجود، (ب): بعد از اجرای روش‌های سه‌گانه

۵- قدردانی

نویسندگان این پژوهش از مؤسسه تحقیق و توسعه دانشمند به دلیل حمایت‌های ارزشمند و همچنین از مدیریت و کارکنان محترم نیروگاه شهید مدحج اهواز بابت همکاری صمیمانه و ارائه داده‌های عملیاتی مورد نیاز، صمیمانه قدردانی می‌نماید.

۶- مراجع

ایرجی، ف.، و نجفی، پ.، (۱۴۰۴)، "بررسی کاربرد منابع آب نامتعارف در تأمین پایدار آب: مزایا، محدودیت‌ها و راه‌کارهای اجرایی"، نشریه راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی، ۳(۱)، <https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1206427>، ۲۰-۱.

اسماعیل‌پور، م.، قهرمان‌افشار، م.، و قاسمی‌نژاد، ح.، (۱۴۰۲)، "بررسی مصرف آب در نیروگاه بخار شهید منتظر قائم و ارزیابی فنی-اقتصادی راه‌کارهای بازچرخانی زیرآب بویلرها"، شیمی و مهندسی شیمی / ایران، ۴۲(۴)، ۱۷۷-۱۸۹.

پرهیزکار، ف.، و پورعلی، ا.، (۱۳۹۶)، "بهینه‌سازی تولید هم‌زمان آب شیرین و توان در نیروگاه‌های حرارتی"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۲(۱)، ۳۸-۴۵، <https://doi.org/10.22112/jwwse.2017.87963.1029>.

تهامی‌پور زرنندی، م.، و اسماعیل‌زاده هنجی، ع.، (۱۴۰۲)، "ارزیابی پیوند آب-انرژی در صادرات و واردات برق ایران با استفاده از رویکرد آب مجازی"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۸(۳)، ۳۵-۴۶.

حراقی، م.، درویشی، ع.، و حراقی، م.، (۱۴۰۳)، "شناسایی و اولویت‌بندی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس (مطالعه موردی استان بوشهر)"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۹(۲)، ۱۷-۳۰، <https://doi.org/10.22112/jwwse.2023.366738.1331>.

رمضانی، م.، نظری، م.، و نظری، م.، (۱۴۰۴)، "مدل‌سازی ترمودینامیکی و اعتبارسنجی تجربی بلورساز تحت خلا با گردش اجباری در فرآیند نمک‌زدایی بدون پساب"، نشریه مهندسی مکانیک / امیرکبیر، ۵۷(۱)، ۲۵-۴۲، <https://doi.org/10.22060/mej.2025.23686.7799>.

فدائی‌تهرانی، م.، و ابارشی، م.، (۱۴۰۳)، "بررسی فنی،

براساس داده‌های عملیاتی و تحلیل‌های انجام‌شده در نیروگاه شهید مدحج، مشخص شد که میزان مصرف آب در بخش بخار نیروگاه معادل ۳ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت است. این مقدار بالاتر از میانگین مصرف آب نیروگاه‌های مشابه در ایران (۲/۲ مترمکعب به‌ازای هر مگاوات ساعت) بوده و در مقایسه با استانداردهای جهانی که کاهش مصرف آب تا حدود ۲ مترمکعب بر مگاوات ساعت را هدف‌گذاری کرده‌اند، بهینه نیست. تحلیل میزان اتلاف آب نشان می‌دهد که ۵۴٪ از آب مصرفی نیروگاه در اثر تبخیر، ۳۰٪ در اثر تخلیه، ۱٪ از طریق پرتاب و ۱۵٪ به دلیل نشت هدر می‌رود. بر این اساس، سه راه‌کار اصلی برای کاهش مصرف آب مورد بررسی قرار گرفتند: (۱) افزایش چرخه غلظت (COC؛ ۲) تصفیه آب تخلیه با روش اسمز معکوس (RO)؛ و (۳) تعویض لوورهای ضد پاشش.

نتایج نشان‌داد اجرای ترکیبی این روش‌ها می‌تواند مصرف آب نیروگاه را تا ۳۵٪ کاهش دهد که معادل صرفه‌جویی بیش از دو میلیون و چهارصد هزار مترمکعب آب در سال است. با این مقدار کاهش مصرف، می‌توان آب مورد نیاز روزانه ۴۴۰۰۰ نفر را تأمین نمود و از نظر اقتصادی نیز سالانه حدود ۲۲ میلیارد تومان در تأمین آب صرفه‌جویی کرد. با توجه به یافته‌های این مطالعه، تحقیقات آینده می‌توانند بر ارزیابی اقتصادی و محیط‌زیستی این راه‌کارها در نیروگاه‌های حرارتی متمرکز شوند. در این راستا، تحلیل چرخه حیات و روش‌های اقتصاد مهندسی می‌توانند برای بررسی تعیین دوره بازگشت سرمایه، هزینه‌های عملیاتی بلندمدت و تأثیرات محیط‌زیستی فناوری‌های پیشنهادی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، بررسی گزینه‌های مناسب مدیریت فاضلاب واحد اسمز معکوس می‌تواند به‌عنوان یک زمینه پژوهشی ارزشمند در راستای بهبود مدیریت مصرف آب و کاهش اثرات محیط‌زیستی در نیروگاه‌های حرارتی مورد توجه قرار گیرد. با وجود نتایج ارزشمند این تحقیق، برخی محدودیت‌ها نیز وجود دارد که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد. داده‌های مورد استفاده صرفاً به نیروگاه شهید مدحج اهواز مربوط بوده و تعمیم نتایج به سایر نیروگاه‌ها نیازمند بررسی‌های بیشتر است. علاوه بر این، بخشی از پارامترهای مدل‌سازی تحت فرض‌ها، ثابت در نظر گرفته‌شده و تحلیل اقتصادی نیز تنها بر مبنای هزینه آب و تجهیزات صورت پذیرفته است. از سوی دیگر، سناریوهای پیشنهادی صرفاً در قالب محاسبات و تحلیل‌های مقایسه‌ای ارزیابی شدند و اجرای پایلوت یا آزمایش‌های میدانی می‌تواند اعتبار نتایج را در آینده افزایش

- <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100373>.
- Meroney, R.N., (2006), "CFD prediction of cooling tower drift", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(6), 463-490, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2006.01.015>.
- Müller, S.I., Chapanova, G., Diekow, T., Kaiser, C., Hamelink, L., Hitsov, I.P., Wyseure, L., Moed, D.H., Palmowski, L., and Wintgens, T., (2024), "Comparison of cooling tower blowdown and enhanced make up water treatment to minimize cooling water footprint", *Journal of Environmental Management*, 367, 121949, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121949>.
- Nihalani, S.A., and Mishra, Y.D., (2020), "Water consumption management for thermal power plant", in: *Environmental Processes and Management: Tools and Practices*, Springer, Cham, 135-153, https://doi.org/10.1007/978-3-030-38152-3_9.
- Pan, S.Y., Snyder, S.W., Packman, A.I., Lin, Y.J., and Chiang, P.C., (2018), "Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus", *Water-Energy Nexus*, 1(1), 26-41, <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.002>.
- Pozzobon, J.C., Mantelli, M.B., and da Silva, A.K., (2016), "Experimental study of unstructured porous media inserts for water recovery in a reduced scale, crossflow cooling tower", *Applied Thermal Engineering*, 96, 632-639, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.039>.
- Qasim, S.R., and Zhu, G., (2017), *Wastewater treatment and reuse theory and design examples*, Volume 2: Post-Treatment, Reuse, and Disposal, CRC Press.
- Seneviratne, M., (2007), *A practical approach to water conservation for commercial and industrial facilities*, Elsevier, Amsterdam.
- Shao, W., Feng, J., Liu, J., Yang, G., Yang, Z., and Wang, J., (2017), "Research on the status of water conservation in the thermal power industry in China", *Energy Procedia*, 105, 3068-3074, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.639>.
- Zhai, H., and Rubin, E.S., (2010), "Performance and cost of wet and dry cooling systems for pulverized coal power plants with and without carbon capture and storage", *Energy Policy*, 38(10), 5653-5660, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.013>.
- محیط‌زیستی و اقتصادی نمک‌زدایی آب شور و تحلیل شرایط برای ایران"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۹(۱)، ۷۱-۸۵، <https://doi.org/10.22112/jwwse.2023.394456.1362>.
- موسوی رینه، س.م.، و یوسفی، ح.، (۱۳۹۹)، "بررسی رد پای آب در تولید برق با تأکید بر انرژی‌های تجدیدپذیر"، *اکوهیدرولوژی*، ۷(۴)، ۱۰۰۷-۱۰۱۹، <https://doi.org/10.22059/ije.2020.308067.1373>.
- هاشم‌پور، ف.، پرداختی، ع.، و جمشیدی، ش.، (۱۴۰۳)، "برآورد پیامدهای محیط‌زیستی تجمعی سامانه‌های نمک‌زدایی بر مبنای شاخص‌های ReCiPe مورد استفاده در ارزیابی چرخه حیات"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۹(۱)، ۱۹-۳۱، <https://doi.org/10.22112/jwwse.2023.364061.1328>.
- Biedunkova, O., Kuznietsov, P., and Korbutiak, V., (2024), "Evaluation of return cooling water reuse in the wet cooled power plant to minimise the impact of water intake and drainage", *Sustainable Chemistry for the Environment*, 7, 100151, <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100151>.
- Costa, C.A.S., Miranda, V., Mantelli, M.B.H., Da Silva, A.K., Modenesi, C.R., and Furlan, L.T., (2014), "Experimental study of flexible, unstructured metal foams as condensation structures", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 57, 102-110, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2014.04.012>.
- Dehaghani, S.T., and Ahmadikia, H., (2017), "Retrofit of a wet cooling tower in order to reduce water and fan power consumption using a wet/dry approach", *Applied Thermal Engineering*, 125, 1002-1014, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.069>.
- Deziani, M., Rahmani, K., Roudaki, S.M., and Kordloo, M., (2017), "Feasibility study for reduce water evaporative loss in a power plant cooling tower by using air to air heat exchanger with auxiliary fan", *Desalination*, 406, 119-124, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.12.007>.
- EPA, (2017), *Water efficiency management guide mechanical systems*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC., www.epa.gov/watersense/commercial-buildings.
- EPRI, (2008), *Water use for electric power generation*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA., <https://www.epri.com/research/products/000000000001014026>.
- Ghaffour, N., Missimer, T.M., and Amy, G.L., (2013), "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability", *Desalination*, 309, 197-207, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>.
- Guerras, L.S., and Martín, M., (2020), "On the water footprint in power production: Sustainable design of wet cooling towers", *Applied Energy*, 263, 114620, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114620>.
- Meramo, S., and González-Delgado, Á.D., (2023), "Exergy and economic optimization of heat-integrated water regeneration networks", *Energy Conversion and Management*: X, 18, 100373,



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Investigation of Optimal Growth Conditions of *Scenedesmus Obliquus* Microalgae and its Potential to Remove Polypropylene Microplastics from an Aqueous Environment

بررسی شرایط بهینه رشد و امکان سنجی حذف میکروپلاستیک پلی پروپیلن با استفاده از ریز جلبک سندسموس آبلیکوس در محیط آبی

Reyhane Fallah¹, Roya Mafigholami^{2*}, Omid Tavakoli³ and Hamid Moghimi⁴

1- Ph.D. Candidate, Faculty of Engineering, Islamic Azad University West Tehran Branch, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University West Tehran Branch, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

4- Associate Professor, Department of Microbiology, School of Biology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: Email: r.mafigholami@wtiau.ac.ir

ریحانه فلاح^۱، رویا مافی غلامی^{۲*}، امید توکلی^۳ و حمید مقیمی^۴
۱- دانشجوی دکترا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.
۲- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.
۳- استادیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴- دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده زیست‌شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول: ایمیل: r.mafigholami@wtiau.ac.ir

Received: 14/12/2024

Revised: 20/02/2025

Accepted: 03/03/2025

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

In the present study, the biological removal of polypropylene by the *scenedesmus obliquus* was investigated. The growth conditions of *scenedesmus* microalga were optimized in the first stage, and polypropylene microplastics in three different sizes were exposed to this species. The maximum percentage of polypropylene removal occurred at a size of 45 micrometers, with 29.27% of the polypropylene removed from the aqueous environment. The increase in the size of microplastics, due to optical obstruction and toxic effects, negatively impacts algae growth and reduces the efficiency of microplastic removal. The results indicate that the maximum growth rate of *scenedesmus* was achieved at a temperature of 29 degrees Celsius, a light intensity of 3500 lux, and a shaking speed of 160 rpm. After optimization, a temperature of 28 degrees Celsius, a light intensity of approximately 3500 lux, and a stirring speed of 167 rpm were selected as the optimal cultivation conditions for *scenedesmus*. Subsequently, the growth of the microalga under optimal conditions in the presence of polypropylene in three different sizes was conducted.

Keywords: Bioremoval, Microalgae, Microplastic, Polypropylene, *Scenedesmus Obliquus*.

چکیده

در مطالعه حاضر حذف زیستی میکروپلاستیک پلی پروپیلن توسط ریز جلبک سندسموس آبلیکوس مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور در مرحله اول، شرایط رشد این ریز جلبک بهینه‌سازی شده و میکروپلاستیک پلی پروپیلن در سه اندازه مختلف در معرض این گونه قرار گرفت. رشد ریز جلبک در شرایط بهینه و در حضور میکروپلاستیک پلی پروپیلن در سه اندازه متفاوت انجام شد. حداکثر درصد حذف میکروپلاستیک پلی پروپیلن در اندازه ۴۵ میکرومتر رخ داده و ۲۹/۲۷ درصد از پلی پروپیلن محیط آبی حذف شد. افزایش اندازه میکروپلاستیک به دلیل انسداد نوری و اثر سمیت باعث تأثیر منفی بر رشد جلبک شده و راندمان حذف میکروپلاستیک کاهش می‌یابد. نتایج بیانگر این است که حداکثر میزان رشد جلبک سندسموس در دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۳۵۰۰ لوکس و سرعت شیکر ۱۶۰ دور بر دقیقه حاصل شد و پس از بهینه‌سازی، دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد، شدت نور حدود ۳۵۰۰ لوکس و سرعت هم‌زدن ۱۶۷ دور بر دقیقه به‌عنوان نقطه بهینه کشت ریز جلبک سندسموس آبلیکوس انتخاب شد.

کلمات کلیدی: پلی پروپیلن، حذف زیستی، ریز جلبک، سندسموس آبلیکوس، میکروپلاستیک.

اولین بار از واژه میکروپلاستیک برای اشاره به ذرات ریزپلاستیکی با قطر کم‌تر از ۵ میلی‌متر استفاده کردند که به‌عنوان یک آلاینده جدید زیست‌محیطی پایدار، توجه زیادی را در سال‌های بعد به خود جلب کرد.

آلودگی توسط میکروپلاستیک‌ها در هر دو محیط آبی و خشکی در حال رشد است به‌دلایلی اعم از تجزیه‌پذیری ضعیف، امکان تجمع بالا، امکان جذب آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) و امکان بلعیده شدن توسط ماهی و سایر موجودات زنده، نگرانی جهانی را برانگیخته است (Hu et al., 2019). طبق پژوهشی بر روی میکروپلاستیک‌های شناور در شمال غربی دریای آدریاتیک، فراوان‌ترین پلیمرهای شناسایی‌شده شامل پلی‌اتیلن (۶۰ درصد)، پلی‌پروپیلن (۲۲ درصد)، اتیلن‌وینیل‌استات^۲ (۵ درصد) و پلی‌استایرن (۴ درصد) بودند (Vianello et al., 2018). براساس مطالعه‌ای دیگر، میکروپلاستیک‌های با چگالی کم‌تر مانند پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن، در نمونه‌های آب سطحی غالب بوده (به‌ترتیب ۲۵ و ۴۲ درصد) درحالی‌که پلیمرهای با چگالی بیش‌تر (یعنی پلی‌استرها و اکریلیک‌ها) معمولاً در آب‌های عمیق یافت می‌شدند (Erni-Cassola et al., 2019). سایر مطالعات نیز رایج‌ترین انواع میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده در جریان‌های آب سطحی را پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استر گزارش کرده‌اند (Park et al., 2020).

روش‌های مختلفی برای حذف میکروپلاستیک‌ها از محیط آبی در سال‌های اخیر پیشنهاد شده که عمده آن‌ها مبتنی بر روش‌های جداسازی و تخریب ساختار میکروپلاستیک‌ها است. بررسی پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از مطالعات در سال‌های اخیر بر فرآیندهای تغییر فاز، از جمله لخته‌سازی انعقادی، شناورسازی و فرآیندهای غشایی تمرکز کرده‌اند. برخی مطالعات نیز استفاده از مواد شیمیایی یا بیولوژیکی را گزارش کرده‌اند؛ مطالعات اندکی نیز حذف میکروپلاستیک‌ها با استفاده از تجزیه زیستی، اکسیداسیون مرطوب، فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته و هضم را مورد بررسی قرار داده‌اند (Rodríguez-Narvaez et al., 2021; Sutkar et al., 2023). اکثر روش‌های بررسی‌شده اساساً روش‌های بازیافت میکروپلاستیک بوده و عمدتاً ناکارآمد هستند. بنابراین، تجزیه زیستی پلاستیک می‌تواند به‌عنوان یک روش جایگزین مؤثر، سازگار با محیط‌زیست و نوآورانه استفاده شود (Chia et al., 2020).

تخریب زیستی به هرگونه تغییر شیمیایی یا فیزیکی در خواص مواد که حاصل از فعالیت بیولوژیکی است، اشاره دارد. به‌طورکلی، یک عامل بیولوژیکی از پلیمرهای آلی به‌عنوان

پلاستیک‌ها، پلیمرهای مصنوعی هستند که معمولاً از منابع پتروشیمی مشتق شده و امروزه طیف گسترده‌ای از محصولات را شامل می‌شود. به‌دلایل مختلفی اعم از سهولت ساخت، بی‌اثر بودن (شیمیایی، دمایی و مقاومت در برابر نور)، هزینه کم، استحکام بالا و مقاومت در برابر آب، استفاده از پلاستیک‌ها رو به گسترش است و به‌همین دلیل طی چند دهه گذشته افزایش شدید تولید پلاستیک، مشاهده شده است. بررسی‌ها بیانگر این است که با توجه به نرخ رشد جمعیت در جهان و میزان مصرف فعلی تا سال ۲۰۲۵، مقدار تولید پلاستیک در جهان به حدود ۵۰۰ میلیون تن در سال خواهد رسید (Alqattaf, 2020).

با وجود مزایای بسیار پلاستیک‌ها، افزایش تولید آن طی سال‌های اخیر موجب تولید انبوهی از زباله‌های پلاستیکی در محیط شده است که دوام، ماندگاری و سرعت پایین بازیافت آن‌ها موجب بروز معضلات محیط‌زیستی شده است. امروزه حضور این مواد در محیط‌زیست، به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور شناخته شده و در محیط‌های دریایی در سراسر جهان یافت می‌شوند. تاکنون وجود بیش از ۲۵۰۰۰۰ تن زباله پلاستیکی در دریاها تخمین زده شده است. این مقدار حدود ۶۰-۸۰ درصد از کل آلاینده‌هایی است که بشر به محیط‌های آبی وارد می‌کند. دوام پلاستیک‌ها سبب مقاومت بالای آن‌ها در برابر تخریب شده، بنابراین دفع زباله‌های پلاستیکی چالش بزرگی در سرتاسر جهان است (Kurtela and Antolović, 2019).

زباله‌های پلاستیکی در محیط‌های آبی براساس اندازه به دو گروه ماکروپلاستیک و میکروپلاستیک تقسیم می‌شوند. پس از ورود به محیط، این مواد پلاستیکی با روش‌های مختلف تخریب شده و استحکام ساختاری خود را از دست می‌دهند. تخریب گسترده پلاستیک‌ها در نهایت منجر به ایجاد قطعات و تکه‌های پلاستیک با اندازه میکروسکوپی می‌شود که میکروپلاستیک نامیده می‌شوند. میکروپلاستیک‌ها ریزذراتی هستند که دارای ابعادی در محدوده چند میکرومتر تا ۵۰۰ میکرومتر (۵/۰ میلی‌متر) هستند (Dris et al., 2015). در طی پژوهشی مشخص شد که پلاستیک‌های دفع‌شده به‌عنوان زباله احتمالاً منجر به غلظت‌های زیادی در سطح دریاها می‌شوند. طبق این تحقیق، اولین میکروپلاستیک در آمریکای شمالی در سواحل نیوینگلند شناسایی شد (Carpenter and Smith, 1972). از آن زمان به بعد، میکروپلاستیک‌ها در اکثر آب‌های بزرگ مانند اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها یافت می‌شوند. (Thompson et al. (2004)

خارج سلولی باعث ایجاد تجمع سلول‌های ریز جلبک در اطراف میکروپلاستیک شده و راندمان حذف را افزایش می‌دهد. از طرفی بررسی سایر مطالعات بیانگر نقش مؤثر مورفولوژی سلولی ریز جلبک سندسموس آلبیکوس در فرایند حذف میکروپلاستیک‌ها است (Cunha et al., 2019). مطالعه Carson et al. (2013) بر روی حذف میکروپلاستیک‌ها توسط ریز جلبک عنوان می‌کند که ریز جلبک‌ها پتانسیل بالایی برای حذف میکروپلاستیک‌ها داشته، با این حال ماهیت آب‌دوستی یا آب‌گریزی پلمیر سازنده پلاستیک بر راندمان حذف تأثیر دارد. مطالعات دیگری نیز حذف میکروپلاستیک‌های با چگالی کم توسط این ریز جلبک را بررسی کرده‌اند که بیانگر اثر مثبت ریز جلبک سندسموس بر حذف میکروپلاستیک‌ها است (Khatiwada et al., 2023; Jiang et al., 2024).

مطالعات در مورد تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها می‌تواند به درک بهتر راهکارهای کاهش میکروپلاستیک‌ها و حل معضل آلودگی محیط زیست کمک کرده و منجر به توسعه فناوری‌های جدید مرتبط با رفع آلودگی شود. در مطالعه حاضر حذف زیستی میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن توسط ریز جلبک سندسموس آلبیکوس مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور در مرحله اول شرایط رشد این ریز جلبک بهینه‌سازی شده و میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در سه اندازه مختلف در معرض این گونه قرار گرفت. میزان حذف میکروپلاستیک‌ها و همچنین اثر اندازه آن بر راندمان حذف زیستی توسط ریز جلبک بررسی شده و شرایط بهینه حذف مشخص شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد و تجهیزات

استوک جلبک سندسموس آلبیکوس از بانک ملی جلبک ایران تهیه شده و به‌منظور استفاده در طول آزمایش در محیط کشت BG-11 کشت داده شد. ترکیبات محیط کشت در جدول ۱ آورده شده و کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت Merck آلمان تهیه شد. پلی‌پروپیلن با استفاده از آسیاب سیاره‌ای به ابعاد میکرومتری متناسب با شرایط آزمایش آسیاب شده و برای استفاده در تست‌های حذف میکروپلاستیک مورد استفاده قرار گرفت. کلیه کشت‌ها در شرایط استریل و در انکوباتور شیکردار انجام شد.

سوبسترا^۳ برای رشد و منبع انرژی خود استفاده می‌کند و در نتیجه زیست‌توده بیولوژیکی به‌عنوان محصول نهایی فرآیند تجزیه زیستی تولید می‌شود (Chia et al., 2020). جلبک‌ها می‌توانند روی سطح پلاستیکی رشد و پلاستیک‌ها را تجزیه نمایند. پلیمرها به‌عنوان منبع کربنی برای انرژی و رشد آن‌ها استفاده شده و جلبک‌ها به‌خصوص ریز جلبک‌ها می‌توانند مواد پلاستیکی را از طریق سیستم‌های آنزیمی سنتز شده تجزیه کنند؛ در حالی که خود ریز جلبک‌ها از پلیمرهای پلاستیکی به‌عنوان منابع کربن استفاده می‌کنند (Priya et al., 2022). آنزیم‌های ریز جلبک‌ها که پیوندهای شیمیایی پلیمرهای پلاستیکی را ضعیف می‌کنند سبب تخریب ساختار پلاستیک‌ها می‌شود. عمدتاً تولید آنزیم‌های لیگنینولیتیک^۴ و آگروپلی‌ساکارید^۵ مهم‌ترین عامل تجزیه زیستی میکروپلاستیک توسط ریز جلبک‌ها است. از این‌رو استفاده از ریز جلبک‌ها برای تجزیه زیستی میکروپلاستیک به‌عنوان یک راه حل بالقوه در سال‌های اخیر ارائه شده است (Lagarde et al., 2016).

سندسموس آلبیکوس^۶ گونه‌ای از جلبک‌های سبز، در کلاس Chlorophyceae بوده که دارای ساختاری دوکی شکل با ابعاد حداکثر ۲۵ میکرومتر است. این گونه، اغلب به‌صورت کلنی‌های دو و چهارتایی در محیط کشت خود وجود دارد. سندسموس حاوی یک کلروپلاست منفرد در داخل سلول خود بوده و یک پیرنوئید در مرکز آن وجود دارد. این گونه به‌طور گسترده‌ای برای اهداف آبی پروری تولید شده و به‌دلیل محتوای بالای لیپید در ساختار سلولی خود در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Rai et al., 2013). این ریز جلبک عمدتاً در آب‌های شیرین یافت شده و قابلیت کشت در محیط کشت‌های Bold، BG-11 و BBM را دارد (Varshini et al., 2024; Xiong et al., 2016; Guedes et al., 2011). هم‌چنین به‌دلیل قابلیت فتوسنتزی این ریز جلبک، تأمین نور جهت رشد آن ضروری بوده و در مدت‌زمان ۱۶۰ تا ۱۷۰ ساعت تعداد سلول‌های آن دو برابر می‌شود (De Moraes and Costa, 2007). بررسی‌ها بیانگر این است که میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن بر روند رشد و فتوسنتز این گونه تأثیرگذار بوده و از طرفی سندسموس آلبیکوس توانایی حذف این نوع از میکروپلاستیک را دارد (Natarajan et al., 2022).

مطالعات (Cheng et al., 2022) بر روی حذف میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن و پلی‌لاکتید توسط ریز جلبک سندسموس آلبیکوس بیانگر راندمان بالای حذف این دو پلیمر توسط ریز جلبک بوده که به نقش محتوای پلیمری خارج سلولی^۷ در فرایند حذف میکروپلاستیک اشاره می‌کند. محتوای پلیمری

جدول ۱- اجزای شیمیایی محیط کشت BG-11
(Pandey et al., 2023)

غلظت (گرم بر لیتر)	ترکیب شیمیایی
۱/۵	NaNO ₃
۰/۰۷۵	MgSO ₄ .7H ₂ O
۰/۰۳۶	CaCl ₂ .2H ₂ O
۰/۰۲	Na ₂ CO ₃
۱/۰	Trace Metal Mixture
۰/۰۴	K ₂ HPO ₄
۰/۱۶	Citric acid
۰/۱۶	Ferric ammonium citrate

۲-۲- بهینه‌سازی شرایط رشد سندسموس

به‌منظور بررسی شرایط بهینه رشد جلبک سندسموس آبلیکوس، اثر سه پارامتر نور، دور شیکر و دما مورد بررسی قرار گرفت. کشت ریزجلبک در شرایط استریل و در ارلن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری انجام شده و درصد تلقیح به محیط کشت ۱۰٪ بود. pH محیط کشت بر روی ۷/۵ تنظیم و میزان رشد جلبک تحت اثر پارامترهای آزمایش بررسی شد. در مطالعه حاضر، اثر نور در محدوده ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ لوکس، دور شیکر در محدوده ۱۲۰ تا ۲۰۰ دور بر دقیقه و دما در محدوده ۲۶ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و بهینه شرایط رشد پس از انجام کشت جلبک مشخص شد (شکل ۱). بررسی رشد ریزجلبک براساس چگالی نوری در طول موج ۶۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد و حداکثر رشد (OD max) به‌عنوان پارامتر بهینه‌سازی در نظر گرفته شد.



شکل ۱- کشت ریزجلبک سندسموس در شیکر انکوباتور

۲-۳- بررسی اثر ریزجلبک سندسموس آبلیکوس بر حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن

پس از مشخص شدن شرایط بهینه رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس، حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن توسط این جلبک مورد بررسی قرار گرفت. میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در سه اندازه ۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ میکرومتر با غلظت یکسان (۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) به ارلن‌های کشت سندسموس اضافه شده و کشت ریزجلبک تحت شرایط بهینه به‌دست‌آمده از بخش قبل و در حضور میکروپلاستیک انجام شد. پس از فرایند حذف بیولوژیکی، نمونه‌های میکروپلاستیک و زیست‌توده جلبک با استفاده از فیلتر واتمن از محیط کشت جدا شده و زیست‌توده جلبک توسط نیتریک اسید هیدرولیز و از سیستم حذف شد. میکروپلاستیک‌های باقی‌مانده وزن شده و درصد حذف براساس غلظت اولیه محاسبه شد.

پیوندهای پلی‌پروپیلن، گروه عاملی و تغییرات ترکیب شیمیایی قبل و بعد از حذف با استفاده از آنالیز طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) تعیین و مورد بررسی قرار گرفت (-FTIR). آنالیز کروماتوگرافی نفوذ ژل (GPC) با استفاده از Agilent 1260 Infinity Binary LC مجهز به آرایه دیود (DAD VL+ 1260/G1315C) به‌همراه دو آشکارساز فلورسانس (FLD 1260/G1321B) برای بررسی وزن مولکولی پلی‌پروپیلن قبل و بعد از حذف میکروپلاستیک انجام شد.

۲-۴- طراحی آزمایش

به‌منظور بهینه‌سازی رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس، سه پارامتر نور، دور شیکر و دما در سه سطح در نظر گرفته شده و طراحی آزمایش با استفاده از روش Central Composite Design با سه نقطه مرکزی و آلفای ۱ انجام شد. سطوح پارامترهای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. پس از انجام طراحی آزمایش و مشخص شدن تست‌ها (جدول ۳)، کشت ریزجلبک انجام و نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار Design Expert Ver 10. تجزیه، تحلیل و بهینه‌سازی شد.

جدول ۲- پارامترهای طراحی آزمایش به‌منظور بهینه‌سازی رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس

سطح			پارامتر
$\alpha = +1$	0	$\alpha = -1$	
۳۲	۲۹	۲۶	دما (درجه سانتی‌گراد)
۳۵۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	شدت نور (لوکس)
۲۰۰	۱۶۰	۱۲۰	سرعت شیکر (دور بر دقیقه)

جدول ۳- جدول طراحی آزمایش به روش CCD

ردیف	دما (درجه سانتی‌گراد)	شدت نور (لوکس)	سرعت شیکر (دور بر دقیقه)
۱	۲۶	۱۵۰۰	۱۲۰
۲	۲۶	۱۵۰۰	۲۰۰
۳	۳۲	۲۵۰۰	۱۶۰
۴	۲۶	۲۵۰۰	۱۶۰
۵	۲۹	۲۵۰۰	۲۰۰
۶	۲۹	۳۵۰۰	۱۶۰
۷	۲۶	۳۵۰۰	۱۲۰
۸	۳۲	۳۵۰۰	۱۲۰
۹	۲۶	۳۵۰۰	۲۰۰
۱۰	۳۲	۱۵۰۰	۱۲۰
۱۱	۳۲	۳۵۰۰	۲۰۰
۱۲	۲۹	۲۵۰۰	۱۶۰
۱۳	۲۹	۲۵۰۰	۱۲۰
۱۴	۲۹	۲۵۰۰	۱۶۰
۱۵	۲۹	۱۵۰۰	۱۶۰
۱۶	۳۲	۱۵۰۰	۲۰۰
۱۷	۲۹	۲۵۰۰	۱۶۰

۳- نتایج و بحث

تعیین شده توسط طراحی آزمایش انجام شد.

حداکثر چگالی نوری هر کدام از کشت‌ها اندازه‌گیری شده و

نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

۳-۱- بهینه‌سازی رشد ریز جلبک سندسموس آبلیکوس

رشد ریز جلبک سندسموس با انجام ۱۷ کشت تحت شرایط

جدول ۴- نتایج چگالی نوری با هدف بررسی رشد ریز جلبک سندسموس آبلیکوس

ردیف	دما (درجه سانتی‌گراد)	شدت نور (لوکس)	سرعت شیکر (دور بر دقیقه)	حداکثر چگالی نوری
۱	۲۶	۱۵۰۰	۱۲۰	۰/۵۳
۲	۲۶	۱۵۰۰	۲۰۰	۰/۴۹
۳	۳۲	۲۵۰۰	۱۶۰	۰/۵۷
۴	۲۶	۲۵۰۰	۱۶۰	۰/۶۲
۵	۲۹	۲۵۰۰	۲۰۰	۰/۶۹
۶	۲۹	۳۵۰۰	۱۶۰	۰/۹۶
۷	۲۶	۳۵۰۰	۱۲۰	۰/۸۱
۸	۳۲	۳۵۰۰	۱۲۰	۰/۵۹
۹	۲۶	۳۵۰۰	۲۰۰	۰/۸۷
۱۰	۳۲	۱۵۰۰	۱۲۰	۰/۴۷
۱۱	۳۲	۳۵۰۰	۲۰۰	۰/۶۳
۱۲	۲۹	۲۵۰۰	۱۶۰	۰/۸۴
۱۳	۲۹	۲۵۰۰	۱۲۰	۰/۶۷
۱۴	۲۹	۲۵۰۰	۱۶۰	۰/۷۹
۱۵	۲۹	۱۵۰۰	۱۶۰	۰/۵۹
۱۶	۳۲	۱۵۰۰	۲۰۰	۰/۴۲
۱۷	۲۹	۲۵۰۰	۱۶۰	۰/۸۰

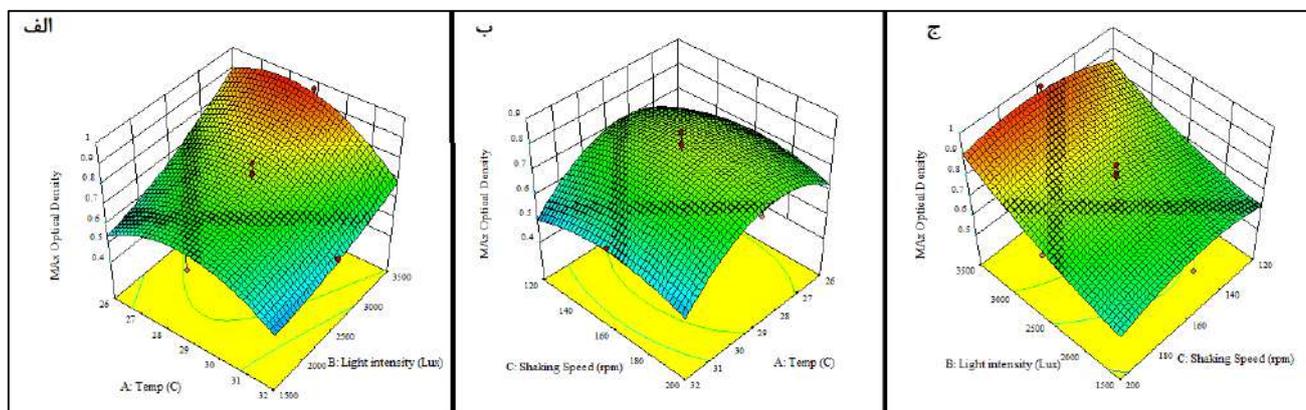
راندمان رشد شده و از طرفی شدت بالای هم‌زدن نیز موجب ایجاد تنش در محیط کشت ریزجلبک سندسموس آبلیکوس شده است (Miranda et al., 2012; Cordoba-Castro et al., 2012).

برای بررسی اثر برهم‌کنش پارامترهای آزمایش بر میزان رشد جلبک سندسموس، مدل‌سازی نتایج با استفاده از مدل Quadratic انجام شده و معادله رگرسیون مدل (Pvalue=۰/۰۰۱۳) با ضریب R² برابر با ۰/۹۴ به‌دست آمد.

$$OD = -14.44 + (0.97 \times A) + (0.00028 \times B) + (0.012 \times C) - (0.000014 \times AB) - (0.000003 \times AC) + (0.0000006 \times BC) - (0.016 \times A^2) + (0.00000003 \times B^2) - (0.00004 \times C^2) \quad (1)$$

که A: دما، B: شدت نور و C: سرعت شیکر است. با توجه به مدل‌سازی نتایج، نمودارهای سه‌بعدی برهم‌کنش پارامترهای آزمایش بر میزان رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در شکل ۲ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۴، نتایج بیانگر این است که حداکثر میزان رشد جلبک سندسموس در دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۳۵۰۰ لوکس و سرعت شیکر ۱۶۰ دور بر دقیقه حاصل شده و جلبک به حداکثر چگالی نوری ۰/۹۶ رسیده است. بررسی سایر مطالعات نیز بیانگر این است که دمای بهینه رشد سندسموس آبلیکوس در محدوده ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داشته و افزایش دما به بالاتر از ۳۰ درجه موجب افت میزان رشد می‌شود (Guedes et al., 2011; Zhang et al., 2019). از طرفی بررسی اثر نور بر میزان رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در سایر مطالعات بیانگر این است که افزایش شدت نور تأثیر مستقیمی بر نرخ رشد ریزجلبک داشته و افزایش شدت نور تا ۴۰۰۰ لوکس موجب افزایش نرخ رشد جلبک در مطالعات مشابه شده است. با این‌وجود شدت نورهای بالاتر به‌دلیل ایجاد شوک نوری به ریزجلبک باعث کاهش راندمان رشد سندسموس آبلیکوس می‌شود (Zhang et al., 2019; Gris et al., 2014). همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به‌نظر می‌رسد شدت پایین هم‌زدن به‌دلیل عدم ایجاد اختلاط مناسب در محیط کشت موجب کاهش



شکل ۲- بررسی تأثیر هم‌زمان پارامترهای الف) دما و شدت نور؛ ب) سرعت شیکر و دما؛ و ج) سرعت شیکر و شدت نور بر میزان رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس

به شکل‌های ۲-الف و ۲-ج، شدت نور بیش‌ترین تأثیر را نسبت به سایر پارامترها، بر افزایش راندمان رشد جلبک سندسموس آبلیکوس دارد.

تقریباً کلیه مطالعات بر شدت نور بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ لوکس برای رشد جلبک سندسموس آبلیکوس اتفاق نظر داشته و به نقش شدت نور در افزایش فتوسنتز اشاره کرده‌اند (Ahmad et al., 2001; Latiffi et al., 2017). با وجود این‌که نظریات متفاوتی در رابطه با مکانیسم‌های اثر نور بر فتوسنتز در مطالعات مختلف بیان شده اما به نظر می‌رسد تأثیر نور بر چرخه مصرف کربن، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر افزایش فتوسنتز و رشد جلبک

با توجه به شکل ۲-الف که بیانگر اثر هم‌زمان دما و شدت نور بر رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس است مشخص شد که افزایش شدت نور با افزایش رشد جلبک رابطه مستقیم داشته ولی افزایش دما، شیب اثر شدت نور را کاهش می‌دهد. از طرفی اثر دما بر میزان رشد، شکل زنگوله‌ای داشته و این افزایش تا حدود ۲۹ درجه، باعث افزایش راندمان رشد و دماهای بالاتر باعث کاهش راندمان رشد شده است. بررسی اثر هم‌زمان سرعت شیکر و دما (شکل ۲-ب) نیز بیانگر این است که افزایش سرعت شیکر تا ۱۶۰ دور بر دقیقه موجب افزایش راندمان رشد شده و سرعت‌های بالاتر رشد ریزجلبک سندسموس را کاهش می‌دهد. از طرفی با توجه

با توجه به نتایج به دست آمده، بهینه‌سازی تأثیر پارامترهای آزمایش بر رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس با استفاده از نرم‌افزار Design Expert انجام شد. برای بهینه‌سازی، کلیه پارامترهای آزمایش در محدوده مطالعه حاضر در نظر گرفته شده و بهینه‌سازی با هدف حداکثر چگالی نوری انجام شد. با توجه به جدول ۵، دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد، شدت نور حدود ۳۵۰۰ لوکس و سرعت هم‌زدن ۱۶۷ دور بر دقیقه به عنوان نقطه بهینه کشت ریزجلبک سندسموس آبلیکوس انتخاب شده و در این شرایط حداکثر چگالی نوری پیش‌بینی شده توسط مدل ۰/۹۶۲ گزارش شد.

است (Breuer et al., 2015). بررسی اثر دور شیکر در مطالعات مشابه بیانگر این است که سرعت هم‌زدن بر استرس هیدرودینامیکی و دسترسی‌پذیری مواد مغذی محیط کشت تأثیرگذار بوده و هم‌زدن بستر کشت با سرعت بهینه موجب افزایش راندمان رشد ریزجلبک می‌شود (Castrillo et al., 2013). براساس مطالعات (Bosco et al., 2012)، دور هم‌زدن بهینه موجب بهبود محیط مغذی ریزجلبک‌ها شده و با افزایش شار نفوذ از ته‌نشینی مواد مغذی و هم‌چنین سلول‌های جلبک جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر سایر مطالعات نشان می‌دهد که سرعت شیکر بیش از حد منجر به تنش برشی شده و بر یکپارچگی سلول جلبک تأثیر منفی می‌گذارد (Wang and Lan, 2018).

جدول ۵- بهینه‌سازی شرایط رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در محدوده پارامترهای آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Design Expert

پارامتر	دما (درجه سانتی‌گراد)	شدت نور (لوکس)	سرعت شیکر (دور بر دقیقه)	چگالی نوری
مقدار بهینه	۲۷/۹۹۳	۳۴۹۹/۳۷۱	۱۶۷/۰۴۹	۰/۹۶۲

آزمایش‌ها در هر اندازه سه بار تکرار شده و درصد حذف میانگین به عنوان نتیجه آزمایش گزارش شد. نتایج درصد حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن با استفاده از جلبک سندسموس آبلیکوس در جدول ۶ ارائه شده است.

۳-۲- امکان‌سنجی حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن

پس از مشخص شدن شرایط بهینه کشت ریزجلبک سندسموس آبلیکوس، رشد ریزجلبک در شرایط بهینه و در حضور میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در سه اندازه متفاوت انجام شد.

جدول ۶- درصد حذف زیستی میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در حضور ریزجلبک سندسموس آبلیکوس

ردیف	دمای کشت (درجه سانتی‌گراد)	سرعت شیکر (دور بر دقیقه)	شدت نور (لوکس)	اندازه میکروپلاستیک (میکرومتر)	درصد حذف
۱	۲۸	۱۶۷	۳۵۰۰	۴۵	۲۹/۳±۲۷/۰۶
۲				۷۵	۱۹/۲±۹۴/۵۱
۳				۱۰۵	۱۵/۱±۳۳/۹۶

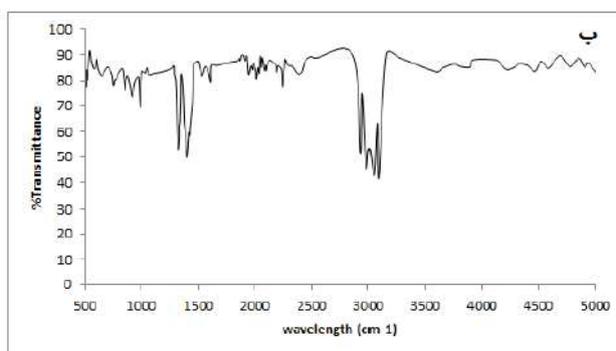
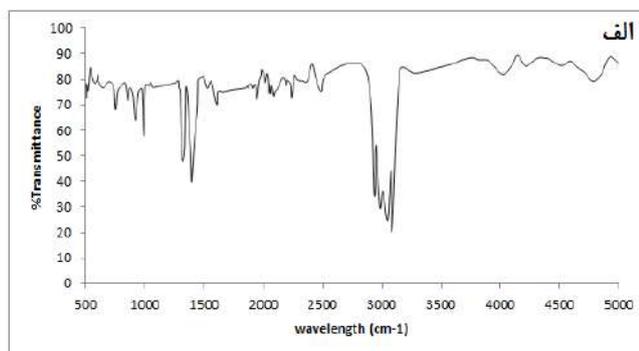
با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۶، حداکثر درصد حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در اندازه ۴۵ میکرومتر رخ داده که در این شرایط ریزجلبک سندسموس آبلیکوس توانست ۲۹/۲۷ درصد از پلی‌پروپیلن را از محیط آبی حذف کند. نتایج بیانگر این است که افزایش اندازه میکروپلاستیک تأثیر منفی بر میزان حذف زیستی آن داشته است. مطالعات نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌های با ابعاد بزرگ می‌توانند با مسدود کردن انتقال نور و تأثیرگذاری بر فتوسنتز، اثرات نامطلوبی ایجاد کنند؛ درحالی‌که نمونه‌های کوچک‌تر ممکن است با جذب روی سطوح جلبک، دیواره‌های سلولی را تخریب نمایند (Zhang et al., 2017). علاوه بر این، سمیت میکروپلاستیک‌ها می‌تواند وابسته به اندازه باشد و میکروپلاستیک‌های با اندازه بزرگ‌تر اثرات نامطلوب قابل‌توجهی ایجاد می‌کردند (Wang et al., 2023). از طرفی میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر استرس اکسیداتیو بیش‌تری ایجاد می‌کنند و بر عملکردهای سلولی تأثیر می‌گذارند (Li et al., 2023). برخلاف مطالعه حاضر، برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اثرات اندازه ذرات پلی‌پروپیلن بر راندمان حذف میکروپلاستیک معنی‌دار نبوده است (Lin et al., 2022)؛ بنابراین، درحالی‌که تأثیر خاص اندازه ذرات پلی‌پروپیلن بر حذف توسط ریزجلبک‌ها ممکن است متفاوت باشد، روند کلی نشان می‌دهد که ذرات بزرگ‌تر می‌توانند اثرات مضر بیش‌تری بر رشد و عملکرد ریزجلبک‌ها داشته باشند، که تأثیر منفی بر حذف میکروپلاستیک توسط ریزجلبک‌ها دارد (Cheng and wang, 2022). با این حال نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تأثیر منفی مسدودسازی نوری و اثر سمیت میکروپلاستیک با ابعاد بزرگ بر استرس اکسیداتیو میکروپلاستیک با ابعاد کوچک غلبه

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۶، حداکثر درصد حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در اندازه ۴۵ میکرومتر رخ داده که در این شرایط ریزجلبک سندسموس آبلیکوس توانست ۲۹/۲۷ درصد از پلی‌پروپیلن را از محیط آبی حذف کند. نتایج بیانگر این است که افزایش اندازه میکروپلاستیک تأثیر منفی بر میزان حذف زیستی آن داشته است. مطالعات نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌های با ابعاد بزرگ می‌توانند با مسدود کردن انتقال نور و تأثیرگذاری بر فتوسنتز، اثرات نامطلوبی ایجاد کنند؛ درحالی‌که نمونه‌های کوچک‌تر ممکن است با جذب روی سطوح جلبک، دیواره‌های سلولی را تخریب نمایند (Zhang et al., 2017). علاوه بر این، سمیت میکروپلاستیک‌ها می‌تواند وابسته به اندازه باشد و میکروپلاستیک‌های با اندازه بزرگ‌تر اثرات نامطلوب قابل‌توجهی ایجاد می‌کردند (Wang et al., 2023). از طرفی میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر استرس اکسیداتیو بیش‌تری ایجاد می‌کنند و بر عملکردهای سلولی تأثیر می‌گذارند (Li et al., 2023). برخلاف مطالعه حاضر، برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اثرات اندازه ذرات پلی‌پروپیلن بر راندمان حذف میکروپلاستیک معنی‌دار نبوده است (Lin et al., 2022)؛ بنابراین، درحالی‌که تأثیر خاص اندازه ذرات پلی‌پروپیلن بر حذف توسط ریزجلبک‌ها ممکن است متفاوت باشد، روند کلی نشان می‌دهد که ذرات بزرگ‌تر می‌توانند اثرات مضر بیش‌تری بر رشد و عملکرد ریزجلبک‌ها داشته باشند، که تأثیر منفی بر حذف میکروپلاستیک توسط ریزجلبک‌ها دارد (Cheng and wang, 2022). با این حال نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تأثیر منفی مسدودسازی نوری و اثر سمیت میکروپلاستیک با ابعاد بزرگ بر استرس اکسیداتیو میکروپلاستیک با ابعاد کوچک غلبه

گروهی از پیک‌ها را نشان داد که احتمالاً به دلیل کشش گروه‌های C-C پس از برهم‌کنش جلبک و میکروپلاستیک است (Hadiyanto et al., 2021). سایر مطالعات بیانگر این است که گروه‌های متیل پتانسیل ایجاد بریدگی‌های زنجیره‌ای و اتصال عرضی در حلقه‌های پلیمری پلی‌پروپیلن را داشته و ویژگی‌های آب‌گریز پلی‌پروپیلن را کاهش می‌دهند. مطالعه دیگری نشان داده است که ظهور پیک‌هایی در محدوده ۱۶۵۰ تا ۱۸۵۰ سانتی‌متر، مرتبط با گروه‌های کربونیل، می‌تواند به‌طور بالقوه باعث بریدگی‌های زنجیره‌ای و اتصال عرضی شود، درحالی‌که پیک‌های محدوده ۳۲۰۰ تا ۳۶۰۰ (CH) و ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ به‌وضوح بیانگر تخریب ساختار پلی‌پروپیلن هستند (Dmytryk et al., 2014; Dianratri et al., 2020).

کرده و راندمان حذف میکروپلاستیک با افزایش اندازه آن کاهش می‌یابد. بنابراین بالاترین راندمان حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن توسط ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در اندازه ۴۵ میکرومتر حاصل شد.

طیف FTIR پلی‌پروپیلن در شرایط بهینه، قبل و بعد از حذف زیستی در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از کاهش شدت ارتعاش باند CH در طول موج حدود ۳۰۰۰ پس از برهم‌کنش سندسموس و پلی‌پروپیلن است. علاوه بر این، در طول موج حدود ۱۳۵۰، اوج کاهش در پیک گروه متیل و متیلن پس از فرایند حذف مشاهده می‌شود. پیک شارپ متیلن نیز در طول موج حدود ۱۳۰۰ در پلی‌پروپیلن پیش از حذف مشاهده می‌شود که پس از حذف زیستی توسط ریزجلبک سندسموس آبلیکوس، شدت آن کاهش یافته است. علاوه بر این، طول موج حدود ۷۰۰-۹۰۰



شکل ۳- آنالیز FTIR میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در شرایط: الف) قبل و ب) بعد از حذف زیستی

میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر این بود که شدت نور بیش‌ترین تأثیر را بر راندمان رشد این ریزجلبک داشته و در شرایط بهینه حداکثر چگالی رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس ۰/۹۶۲ گزارش شد. در ادامه با بررسی حذف زیستی میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن در سه اندازه مختلف، نتایج حاکی از حذف ۲۹/۲۷ درصد پلی‌پروپیلن با اندازه ۴۵ میکرومتر توسط سندسموس آبلیکوس بود. با وجود این‌که مطالعات چندانی بر روی حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن توسط ریزجلبک‌ها به‌خصوص سندسموس آبلیکوس انجام نشده است، این نتایج با مطالعات انجام‌شده توسط Ansari et al. (2021) که حذف پلی‌پروپیلن توسط ریزجلبک *Acutodesmus Obliquus* را بررسی کردند، مطابقت دارد. این مطالعه به تأثیر منفی افزایش غلظت و اندازه میکروپلاستیک بر رشد جلبک و در نتیجه راندمان حذف میکروپلاستیک اشاره می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که برخی ریزگونه‌های ریزجلبک سندسموس توانایی بالایی در حذف میکروپلاستیک پلی‌استایرن داشته و

آنالیز ژل کروماتوگرافی بر روی نمونه بهینه (اندازه ۴۵ میکرومتر) نشان داد که میانگین وزن مولکولی پلی‌پروپیلن قبل از فرایند حذف با ریزجلبک ۴۲/۱۹ گرم بر مول بوده که نشان‌دهنده وزن مولکولی بالای پلی‌پروپیلن است و راندمان نسبتاً پایین حذف پلی‌پروپیلن توسط جلبک‌ها را در مقایسه با میکروپلاستیک‌های سبک‌تر توجیح می‌کند. وزن مولکولی ذرات میکروپلاستیک باقی‌مانده پس از فرایند حذف بیولوژیکی حدود ۲۰٪ کاهش یافت و به ۳۴/۸۷ گرم بر مول رسید. سایر مطالعات نیز کاهش وزن مولکولی را پس از برهم‌کنش میکروارگانیزم‌ها با سطح میکروپلاستیک گزارش کرده‌اند (Sivan, 2011; Mukherjee et al., 2015).

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف امکان‌سنجی حذف میکروپلاستیک پلی‌پروپیلن با استفاده از ریزجلبک سندسموس آبلیکوس انجام شده و شرایط بهینه رشد این ریزجلبک و راندمان حذف

اندازه ذرات و غلظت میکروپلاستیک‌ها بر فرآیند حذف زیستی نیازمند مطالعات بیش‌تری است.

۵- قدردانی

مطالعه حاضر بر اساس بخشی از نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده رساله دکترا با موضوع "امکان‌سنجی کاربرد بیوکاتالیست‌ها در هم‌افزایی فرآیند تجزیه بیولوژیکی زنجیره‌های پلی‌پروپیلن توسط میکروجلبک‌ها و سویه‌های میکروبی محیط همراه با بهینه‌سازی فرآیندها" نگارش شده و نویسندگان کمال تشکر را از همکاری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب و هم‌چنین بانک ملی جلبک ایران دارند.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Persistent Organic Pollutants
- 2- Ethylene-Vinyl Acetate
- 3- Substrate
- 4- Ligninolytic
- 5- Exopolysaccharide
- 6- Scenedesmus Obliquus
- 7- Extracellular Polymeric Substances

۷- مراجع

- Ahmad Latiffi, N.A., Radin Mohamed, R.M.S., Apandi, N.M., and Tajuddin, R.M., (2017), "Experimental assessment on effects of growth rates microalgae *Scenedesmus* sp. in different conditions of pH, temperature, light intensity and photoperiod", *Key Engineering Materials*, 744, 546-551, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.744.546>.
- Alqattaf, A., (2020), "Plastic waste management: Global facts, challenges and solutions", In *2020 Second International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs*, 51154, 1-7, <https://doi.org/10.1109/IEEECONF51154.2020.9319989>.
- Ansari, F.A., Ratha, S.K., Renuka, N., Ramanna, L., Gupta, S.K., Rawat, I., and Bux, F., (2021), "Effect of microplastics on growth and biochemical composition of microalga *Acutodesmus obliquus*", *Algal Research*, 56, 102296, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102296>.
- Bosco, M.B., Aleanzi, M.C., and Iglesias, A.Á., (2012), "Plastidic phosphoglycerate kinase from *Phaeodactylum tricornutum*: on the critical role of cysteine residues for the enzyme function", *Protist*, 163(2), 188-203, <https://doi.org/10.1016/j.protis.2011.07.001>.
- Breuer, G., Martens, D.E., Draaisma, R.B., Wijffels, R.H., and Lamers, P.P., (2015), "Photosynthetic efficiency and carbon partitioning in nitrogen-starved

مکانیزم حذف این میکروپلاستیک نیز مشابه پلی‌پروپیلن است. با این حال به دلیل ساختار پلیمری قوی پلی‌پروپیلن، راندمان حذف آن نسبت به سایر میکروپلاستیک‌ها پایین‌تر است (Cheng et al., 2022; Padervand et al., 2020). هم‌چنین پلی‌پروپیلن تأثیر منفی بیش‌تری نسبت به سایر پلاستیک‌ها بر رشد جلبک داشته که یکی از دلایل راندمان حذف پایین‌تر این میکروپلاستیک نسبت به سایر میکروپلاستیک‌ها است (Schiavo et al, 2021).

نتایج مطالعات در سرتاسر جهان، اهمیت بسیار زیاد میکروپلاستیک‌ها را در اکوسیستم‌های مختلف به‌خصوص آب شیرین نشان می‌دهد، زیرا این آلاینده‌های نوظهور به وفور در محیط‌های مختلف وجود دارند. به‌همین علت توجه محققان باید در زمینه شناسایی، طبقه‌بندی و نمونه‌برداری میکروپلاستیک‌ها متمرکز شود تا به دستورالعمل‌های رسمی و هماهنگ و روش‌های استاندارد در این زمینه منجر شود. هم‌چنین در زمینه حذف این آلاینده‌ها تحقیقات اندکی انجام شده است. بخش قابل‌توجهی از روش‌های بررسی‌شده توسط محققان برای حذف میکروپلاستیک‌ها در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده و روش‌های بسیار کمی برای اجرا در مقیاس صنعتی گزارش شده است. با این‌حال، مطالعات در مورد روش‌های تجزیه و حذف زیستی میکروپلاستیک‌ها می‌تواند به درک بهتر راه‌های کاهش میکروپلاستیک‌ها و حل معضل آلودگی محیط‌زیست کمک کرده و منجر به توسعه فناوری‌های جدید مرتبط با رفع این آلاینده شود. با این‌حال استفاده از ریزجلبک‌ها در حذف میکروپلاستیک در محیط‌های واقعی با چالش‌های زیادی روبه‌رو است. حضور میکروارگانیسم‌های رقابت‌کننده در محیط واقعی، عدم تفکیک انواع میکروپلاستیک‌ها از یکدیگر، نبود شرایط کنترل‌شده دما، نور، pH و هم‌چنین عدم کنترل برهم‌کنش میکروجلبک و میکروپلاستیک در محیط‌های آبی واقعی، از جمله مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو است. هم‌چنین انتخاب نوع گونه جلبک مورد استفاده متناسب با شرایط اقلیمی و شوری آب نیز در اجرای پروژه‌های حذف میکروپلاستیک در محیط‌های واقعی تأثیرگذار است. تلاش برای استفاده از ریزجلبک‌ها برای تبدیل میکروپلاستیک‌ها به متابولیت‌هایی مانند دی‌اکسیدکربن، آب و زیست‌توده از موضوعات نسبتاً جدید و نیازمند مطالعات بیش‌تری است. با توجه به تنوع پلاستیک‌های مورد بررسی، مطالعات تجزیه زیستی بیش‌تری با استفاده از جلبک‌ها باید انجام شود و بازده این فرآیندها مورد ارزیابی قرار گیرد. علاوه بر این، هنوز مکانیسم‌های تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط ریزجلبک‌ها به‌طور کامل مشخص نشده و نیاز به مطالعات بیش‌تری است. هم‌چنین بررسی تأثیر

- bioaccumulation and toxicity in *Scenedesmus acutus* (Chlorophyceae)", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48(1), 36-42, <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.2000>.
- Guedes, A.C., Amaro, H.M., Pereira, R.D., and Malcata, F.X., (2011), "Effects of temperature and pH on growth and antioxidant content of the microalga *Scenedesmus obliquus*", *Biotechnology Progress*, 27(5), 1218-1224, <https://doi.org/10.1002/btpr.649>.
- Gris, B., Morosinotto, T., Giacometti, G.M., Bertucco, A., and Sforza, E., (2014), "Cultivation of *Scenedesmus obliquus* in photobioreactors: Effects of light intensities and light-dark cycles on growth, productivity, and biochemical composition", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172, 2377-2389, <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0679-z>.
- Hadiyanto, H., Khoironi, A., Dianratri, I., Suherman, S., Muhammad, F., and Vaidyanathan, S., (2021), "Interactions between polyethylene and polypropylene microplastics and *Spirulina* sp. microalgae in aquatic systems", *Heliyon*, 7(8), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07676>.
- Hu, Y., Gong, M., Wang, J., and Bassi, A., (2019), "Current research trends on microplastic pollution from wastewater systems: A critical review", *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18, 207-230, <https://doi.org/10.1007/s11157-019-09498-w>.
- Jiang, J., Cai, X., Ren, H., Cao, G., Meng, J., Xing, D., Vollertsen, J., and Liu, B., (2024), "Effects of polyethylene terephthalate microplastics on cell growth, intracellular products and oxidative stress of *Scenedesmus* sp", *Chemosphere*, 348, 140760, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140760>.
- Khatiwada, J.R., Madsen, C., Warwick, C., Shrestha, S., Chio, C., and Qin, W., (2023), "Interaction between polyethylene terephthalate (PET) microplastic and microalgae (*Scenedesmus* spp.): Effect on the growth, chlorophyll content, and hetero-aggregation", *Environmental Advances*, 13, 100399, <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100399>.
- Kurtela, A., and Antolović, N., (2019), "The problem of plastic waste and microplastics in the seas and oceans: impact on marine organisms", *Croatian Journal of Fisheries*, 77(1), 51-56, <https://doi.org/10.2478/cjf-2019-0005>.
- Lagarde, F., Olivier, O., Zanella, M., Daniel, P., Hiard, S., and Caruso, A., (2016), "Microplastic interactions with freshwater microalgae: Hetero-aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type", *Environmental Pollution*, 215, 331-339, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.006>.
- Li, J., Zheng, X., Liu, X., Zhang, L., Zhang, S., Li, Y., Zhang, W., Li, Q., Zhao, Y., Chen, X., and Wang, X., (2023), "Effect and mechanism of microplastics exposure against microalgae: Photosynthesis and oxidative stress", *Science of the Total Environment*, 905, 167017, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167017>.
- Lin, X., Luo, L., Mao, Z., Wang, H., Chu, S., Wang, H., *Scenedesmus obliquus*", *Algal Research*, 9, 254-262, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.03.012>.
- Carpenter, E.J., and Smith Jr, K.L., (1972), "Plastics on the Sargasso Sea surface", *Science*, 175 (4027), 1240-1241, <https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240>.
- Carson, H.S., Nerheim, M.S., Carroll, K.A., and Eriksen, M., (2013), "The plastic-associated microorganisms of the North Pacific Gyre", *Marine Pollution Bulletin*, 75(1-2), 126-132, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.054>.
- Castriello, M., Lucas-Salas, L.M., Rodríguez-Gil, C., and Martínez, D., (2013), "High pH-induced flocculation-sedimentation and effect of supernatant reuse on growth rate and lipid productivity of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris*", *Bioresource Technology*, 128, 324-329, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.114>.
- Cheng, Y.R., and Wang, H.Y., (2022), "Highly effective removal of microplastics by microalgae *Scenedesmus* abundans", *Chemical Engineering Journal*, 435, 135079, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135079>.
- Chia, W.Y., Tang, D.Y.Y., Khoo, K.S., Lup, A.N.K., and Chew, K.W., (2020), "Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production", *Environmental Science and Ecotechnology*, 4, 100065, <https://doi.org/10.1016/j.ese.2020.100065>.
- Cunha, C., Faria, M., Nogueira, N., Ferreira, A., and Cordeiro, N., (2019), "Marine vs freshwater microalgae exopolymers as biosolutions to microplastics pollution", *Environmental Pollution*, 249, 372-380, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.046>.
- De Moraes, M.G., and Costa, J.A.V., (2007), "Biofixation of carbon dioxide by *Spirulina* sp. and *Scenedesmus obliquus* cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor", *Journal of Biotechnology*, 129(3), 439-445, <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2007.01.009>.
- Dianratri, I., Hadiyanto, H., Khoironi, A., and Pratiwi, W.Z., (2020), "The influence of polypropylene and polyethylene microplastics on the quality of spirulina sp. Harvests", *Food Research*, 4(5), 1739-1743, [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(5\).157](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(5).157).
- Dmytryk, A., Saeid, A., and Chojnacka, K., (2014), "Biosorption of microelements by *Spirulina*: towards technology of mineral feed supplements", *The Scientific World Journal*, 2014(1), 356328, <https://doi.org/10.1155/2014/356328>.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., and Tassin, B., (2015), "Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris", *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599, <https://doi.org/10.1071/EN14167>.
- Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M.I., and Christie-Oleza, J.A., (2019), "Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis", *Journal of Hazardous Materials*, 369, 691-698, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.067>.
- Gorbi, G., Corradi, M.G., Invidia, M., and Bassi, M., (2001), "Light intensity influences chromium

- Biotechnology*, 22(3), 422-426, <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.01.013>.
- Sutkar, P.R., Gadewar, R.D., and Dhulap, V.P., (2023), "Recent trends in degradation of microplastics in the environment: A state-of-the-art review", *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100343, <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100343>.
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., McGonigle, D., and Russell, A.E., (2004), "Lost at sea: Where is all the plastic?", *Science*, 304(5672), 838-838, <https://doi.org/10.1126/science.1094559>.
- Varshini, V., Anusha Gowri, R.V., Sandhya, S., Nirmal, L.A., and Jacob, S., (2024), "Cultivation of *Scenedesmus obliquus* NCIM 5526 in a sol-gel transition medium for lipid production", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-14, <https://doi.org/10.1007/s13762-024-06231-1>.
- Vianello, A., Da Ros, L., Boldrin, A., Marceta, T., and Moschino, V., (2018), "First evaluation of floating microplastics in the Northwestern Adriatic Sea", *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 28546-28561, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2812-6>.
- Wang, C., and Lan, C.Q., (2018), "Effects of shear stress on microalgae—A review", *Biotechnology Advances*, 36(4), 986-1002, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.03.001>.
- Wang, X., Zhao, Y., Zhao, L., Wan, Q., Ma, L., Liang, J., Li, H., Dong, J., and Zhang, M., (2023), "Effects of microplastics on the growth, photosynthetic efficiency and nutrient composition in freshwater algae *Chlorella vulgaris* Beij", *Aquatic Toxicology*, 261, 106615, <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106615>.
- Xiong, J.Q., Kurade, M.B., Abou-Shanab, R.A., Ji, M.K., Choi, J., Kim, J.O., and Jeon, B.H., (2016), "Biodegradation of carbamazepine using freshwater microalgae *Chlamydomonas mexicana* and *Scenedesmus obliquus* and the determination of its metabolic fate", *Bioresource Technology*, 205, 183-190, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.038>.
- Zhang, C., Chen, X., Wang, J., and Tan, L., (2017), "Toxic effects of microplastic on marine microalgae *Skeletonema costatum*: interactions between microplastic and algae", *Environmental Pollution*, 220, 1282-1288, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.005>.
- Zhang, Y., Ren, L., Chu, H., Zhou, X., Yao, T., and Zhang, Y., (2019), "Optimization for *Scenedesmus obliquus* cultivation: the effects of temperature, light intensity and pH on growth and biochemical composition", *Microbiology and Biotechnology Letters*, 47(4), 614-620, <https://doi.org/10.4014/mbl.1906.06005>.
- and Luo, S., (2022), "Effect of microplastics on the removal of nitrogen and phosphorus from synthetic piggery digestate by microalgae", *Polymers*, 14(20), 4349, <https://doi.org/10.3390/polym14204349>.
- Miranda, J.R., Passarinho, P.C., and Gouveia, L., (2012), "Pre-treatment optimization of *Scenedesmus obliquus* microalga for bioethanol production", *Bioresource Technology*, 104, 342-348, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.059>.
- Mukherjee, S., Chaudhuri, U.R., and Kundu, P.P., (2015), "Biotic oxidation of polyethylene using a bio-surfactant produced by *B. licheniformis*: A novel technique", *RSC Advances*, 5(92), 75089-75097, <https://doi.org/10.1039/C5RA13549D>.
- Natarajan, L., Soupam, D., Dey, S., Chandrasekaran, N., Kundu, R., Paul, S., and Mukherjee, A., (2022), "Toxicity of polystyrene microplastics in freshwater algae *Scenedesmus obliquus*: Effects of particle size and surface charge", *Toxicology Reports*, 9, 1953-1961, <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.10.013>.
- Padervand, M., Lichtfouse, E., Robert, D., and Wang, C., (2020), "Removal of microplastics from the environment, A review", *Environmental Chemistry Letters*, 18(3), 807-828, <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00983-1>.
- Pandey, S., Narayanan, I., Vinayagam, R., Selvaraj, R., Varadavenkatesan, T., and Pugazhendhi, A., (2023), "A review on the effect of blue green 11 medium and its constituents on microalgal growth and lipid production", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 109984, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109984>.
- Park, T.J., Lee, S.H., Lee, M.S., Lee, J.K., Park, J.H., and Zoh, K.D., (2020), "Distributions of microplastics in surface water, fish, and sediment in the vicinity of a sewage treatment plant", *Water*, 12(12), 3333, <https://doi.org/10.3390/w12123333>.
- Priya, A.K., Jalil, A.A., Dutta, K., Rajendran, S., Vasseghian, Y., Karimi-Maleh, H., and Soto-Moscoso, M., (2022), "Algal degradation of microplastic from the environment: Mechanism, challenges, and future prospects", *Algal Research*, 67, 102848, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102848>.
- Rai, S.K., (2013), "Occurrence of genus *Scenedesmus* Mayen (Chlorophyceae) from East Nepal", *Nepalese Journal of Biosciences*, 3(1), 26-37, <https://doi.org/10.3126/njbs.v3i1.41425>.
- Rodríguez-Narvaez, O.M., Goonetilleke, A., Perez, L., and Bandala, E.R., (2021), "Engineered technologies for the separation and degradation of microplastics in water: a review", *Chemical Engineering Journal*, 414, 128692, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128692>.
- Schiavo, S., Oliviero, M., Chiavarini, S., Dumontet, S., and Manzo, S., (2021), "Polyethylene, Polystyrene, and Polypropylene leachate impact upon marine microalgae *Dunaliella tertiolecta*", *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 84(6), 249-260, <https://doi.org/10.1080/15287394.2020.1860173>.
- Sivan, A., (2011), "New perspectives in plastic biodegradation", *Current Opinion in*



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



دانشگاه مهندسی عمران، آب و محیط زیست

سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب

و

پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب

با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت

۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



انجمن آب و فاضلاب ایران

سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب در تاریخ ۱۱ تا ۱۳ آذرماه سال ۱۴۰۴ از سوی انجمن آب و فاضلاب ایران و با همکاری دانشگاه شهید بهشتی برگزار شد. آنچه در پیش رو دارید خلاصه‌ای از روند برگزاری و برنامه‌های اجراشده در همایش است.

شورای سیاست‌گذاری همایش:

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

دکتر مسعود تابش « دبیر همایش و رئیس شورای سیاست‌گذاری »

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده « دبیر کمیته علمی »

دکتر جعفر یزدی « دبیر کمیته اجرایی »

تشکیل دبیرخانه و تهیه و ارسال ارسال فراخوان:

پس از انجام صحبت‌های مقدماتی بین انجمن و مسئولین محترم دانشکده مهندسی عمران دانشگاه شهید بهشتی در اردیبهشت ماه ۱۴۰۴، تفاهم‌نامه همکاری بین انجمن آب و فاضلاب ایران و معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی تهیه شد که در اواخر مرداد ماه به امضا رسید. ولی از ابتدای اردیبهشت ماه ساختار سازمانی نهایی همایش مشخص و شورای سیاست‌گذاری تشکیل شد و طی ۷ جلسه تا نیمه آذرماه نسبت به برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های لازم اقدام کرد. هم‌چنین دبیرخانه همایش در محل دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست پردیس شهید عباسپور دانشگاه شهید بهشتی از اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۴ شروع به کار کرد و طی ۱۶ جلسه برنامه‌ریزی و هماهنگی‌های لازم بین بخش‌های مختلف کمیته اجرایی انجام شد.

پس از آماده‌سازی‌های اولیه، از وب‌سایت همایش به نشانی www.iwwa-conf.ir رونمایی شده و اطلاعات مربوط به همایش به‌صورت روزانه تا روز همایش از طریق وب‌سایت، به اطلاع مخاطبان علاقه‌مند رسید. در حوزه اطلاع‌رسانی و تبلیغات، پس از طراحی و نهایی شدن پوستر همایش، اطلاع‌رسانی به‌تمامی معاونین پژوهشی دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و پژوهشی کشور، تمامی شرکت‌های آبفای استان‌ها و شهرستان‌ها و سازمان‌های آب منطقه‌ای استان‌ها، ادارات کل محیط‌زیست استان‌ها، وزارتخانه‌های نیرو، راه و شهرسازی، کشور، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، علوم تحقیقات و فناوری، و صنعت، معدن و تجارت و مهندسی مشاور و پیمانکاران کشور در زمینه‌های آب و فاضلاب از طریق ایمیل، دورنگار و سامانه یکپارچه اطلاع‌رسانی وزارت علوم صورت پذیرفت. هم‌چنین اطلاعات مربوط به همایش از طریق حدود ۱۰۰۰۰ ایمیل و پیامک در چندین نوبت ارسال شد. در این مرحله برای استفاده حداکثری از فضای مجازی برای معرفی همایش، به‌طور هم‌زمان اطلاعات مربوط به همایش در سایت‌های Symposia.Civilica.com، conferenceyab.ir و [ISC](http://ISC.com) نیز منتشر شد. کانال و گروه تلگرامی و واتس‌آپی همایش با عضویت صدها نفر در کنار شبکه‌های اجتماعی انجمن آب و فاضلاب ایران برای اطلاع‌رسانی اخبار همایش راه‌اندازی شده و مورد استفاده قرار گرفت.

محورهای همایش:

با توجه به رسالت همایش و اهداف آن، تلاش شد تا محورها به نحوی تبیین شوند که حوزه‌های مختلف دانش و فناوری مرتبط با کیفیت آب، مدیریت مصرف آب، کاهش هدررفت و توسعه بازیافت آب را با توجه به نیازها و چالش‌های موجود در کشور پوشش دهند. برای حصول این منظور ۴ محور در حوزه مدیریت مصرف، ۵ محور در حوزه کاهش هدررفت، ۹ محور در حوزه بازیافت آب و ۹ محور در حوزه مدیریت کیفیت آب و ۳ محور در حوزه مدیریت تامین و انتقال آب و ۱۰ محور در حوزه سیلاب‌های شهری و مدیریت رواناب‌های سطحی و در مجموع ۴۰ محور برای همایش تعریف شدند.

- ۳- مصارف مجاز بدون درآمد
- ۳-۱- مصارف آب در تاسیسات و تصفیه‌خانه‌ها
- ۳-۲- شستشوی شبکه و مخازن
- ۴- مدیریت هوشمند شبکه‌های توزیع آب
- ۴-۱- تله‌متری و اسکادا
- ۴-۲- مدل‌سازی و نرم‌افزارها
- ۴-۳- کاربرد GIS
- ۴-۴- مدیریت انرژی
- ۴-۵- مدیریت کیفیت
- ۵- کاهش مصرف و ارتقای بهره‌وری آب در بخش صنعت
- ۵-۱- به‌کارگیری فناوری پینچ آبی به‌منظور کاهش مصرف آب در صنایع
- ۵-۲- بهینه‌سازی شبکه آب و فاضلاب در صنایع
- ۵-۳- سنتز شبکه آب و فاضلاب صنایع (Water Network Synthesis)
- ۵-۴- نقش سیستم‌های کنترلی و ابزار دقیق در کاهش مصرف آب و پیشگیری از هدررفت در صنایع

ج) بازیافت

- ۱- پیوند آب-انرژی در بازیافت پساب
- ۱-۱- تحلیل چرخه عمر سیستم‌های بازیافت پساب
- ۱-۲- راه‌کارهای تولید انرژی در فرآیند بازیافت پساب
- ۱-۳- توسعه روش‌های با حداقل مصرف انرژی به‌منظور بازیافت پساب
- ۱-۴- الزامات پیاده‌سازی رویکرد کاهش، بازاستفاده و بازیافت (3R: Reduce, Reuse, Recovery) در صنایع
- ۲- فناوری‌های ساده و ارزان‌قیمت بازیافت پساب
- ۲-۱- توسعه فناوری‌های ساده بازیافت پساب در مناطق روستایی و جوامع کوچک
- ۲-۲- بومی‌سازی فرآیندهای ساده و ارزان‌قیمت بازیافت پساب
- ۳- پایش کمی و کیفی پساب بازیافتی
- ۳-۱- ابزارهای اندازه‌گیری جریان پساب
- ۳-۲- شاخص‌های کیفی در ارزیابی بازیافت پساب
- ۳-۳- دستورالعمل پایش کیفیت در بازیافت پساب
- ۳-۴- آیین‌نامه‌های پایش کمی و کیفی بازیافت پساب
- ۴- استفاده ایمن از پساب و کاهش ریسک آن
- ۴-۱- مخاطرات ناشی از استفاده از پساب
- ۴-۲- نقش آموزش و فرهنگ‌سازی در استفاده ایمن از پساب
- ۴-۳- تحلیل ریسک استفاده از پساب در مصارف مختلف و اولویت‌بندی گزینه‌های مصرف
- ۴-۴- روش‌های مدیریت ریسک استفاده از پساب
- ۵- مدیریت فاضلاب و پسماند حاصل از فرایندهای بازیافت
- ۵-۱- بازیافت پسماندهای جامد با ارزش
- ۵-۲- مصرف پسماند بازیافت به‌عنوان سوخت و ماده پرکننده
- ۵-۳- روش‌های تولید انرژی از فرآیند بازیافت پساب
- ۵-۴- روش‌های مدیریت فاضلاب تولیدی در فرآیند بازیافت پساب

۵-۵- راه کارهای دستیابی به حداقل پساب در فرایندهای تصفیه (Zero Liquid Discharge)

- ۶- مدیریت و بازیافت زهاب‌های کشاورزی
 - ۶-۱- مصارف ممکن برای زهاب‌های کشاورزی
 - ۶-۲- روش‌های مدیریت و بازیافت زهاب کشاورزی
 - ۶-۳- تحلیل اقتصادی و فنی گزینه‌های مصرف دوباره زهاب کشاورزی
 - ۶-۴- اثرات بازیافت زهاب کشاورزی بر کیفیت منابع آب، خاک و محصولات تولیدی
 - ۶-۵- بررسی روش طبیعی تصفیه پساب و شیرین‌سازی منابع آب لب‌شور برای مصرف کشاورزی
 - ۷- رویکردهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و حقوقی در مدیریت مصرف و استفاده از پساب
 - ۷-۱- تحلیل اقتصادی گزینه‌های مختلف بازیافت پساب
 - ۷-۲- چالش‌های اجتماعی در پذیرش استفاده دوباره از آب
 - ۷-۳- الزامات آموزش و فرهنگ‌سازی به‌منظور مصرف ایمن پساب
 - ۷-۴- الزامات قانونی در فرآیند بازیافت پساب و خلاءهای موجود
 - ۷-۵- نقش تعرفه در کاهش مصرف آب
 - ۷-۶- خلاءهای قانونی برای کاهش هدررفت ظاهری و واقعی
 - ۷-۷- نقش آموزش، فرهنگ و تبلیغات در کاهش مصرف آب
 - ۷-۸- چالش‌های اجتماعی در کاهش هدررفت آب
 - ۸- فناوری‌های نو در حوزه بازیافت
 - ۹- استانداردها و ضوابط کمی و کیفی آب و فاضلاب
 - ۹-۱- نقاط ضعف و قوت استانداردهای موجود
 - ۹-۲- بازنگری و بومی‌سازی استانداردها
 - ۹-۳- تدوین استانداردهای جدید

د) مدیریت کیفیت آب

- ۱- برنامه ایمنی آب
- ۲- ارزیابی و آسیب‌شناسی روش‌های جایگزین در مدیریت کیفیت آب (دستگاه تصفیه خانگی، آب بسته‌بندی، سیستم دوگانه و...)
- ۳- مدیریت و راهبری تصفیه‌خانه‌های آب
 - ۳-۱- چالش‌های تصفیه آب
 - ۳-۲- چالش‌های تصفیه‌خانه‌های آب ایران و روش‌های ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه‌ها
 - ۳-۳- روش‌ها و فناوری‌های نوین در تصفیه آب
 - ۳-۴- روش‌های نیترات زدایی، حذف فلزات سنگین و کاهش شوری، کدورت آب و حذف بو
- ۴- تاثیرات محیط‌زیستی پساب دستگاه‌های آب شیرین‌کن بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه محل تخلیه آن‌ها
- ۵- تاثیر تغییرات اقلیم بر کمیت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی
- ۶- مدیریت هوشمند کیفیت آب
 - ۶-۱- استفاده از سنسورها و سیستم‌های GIS و اسکادا
 - ۶-۲- استفاده از فن‌آوری‌های نوین در تصفیه و کنترل کیفیت و بهداشت آب و فاضلاب
 - ۶-۳- چالش‌های رویکردهای نوین استفاده از آب‌های نامتعارف، آب انبارها و آب‌های لب‌شور از نظر کیفیت آب
 - ۶-۴- مدل‌سازی کیفی شبکه‌های توزیع آب و منابع آب سطحی و زیرزمینی
 - ۷- پایش کیفی اکوسیستم‌ها

- ۱-۷- راه‌های جلوگیری از زوال کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی
- ۲-۷- استفاده از بیو سنسورها (موجودات زنده مانند قورباغه، جلبک و ماهی) در ورودی آب خام تصفیه‌خانه‌ها برای شناسایی سموم و مواد آلی آلاینده
- ۸- آلاینده‌های ویژه و نوظهور در آب آشامیدنی و پساب
- ۹- اقتصاد و کیفیت آب

ه) مدیریت تامین و انتقال آب

- ۱- بهره‌برداری، راهبری و نگهداری از تاسیسات استحصال آب
- ۱-۱- چالش‌های مدیریت و نگهداری چاه‌ها و منابع آب زیرزمینی
- ۲-۱- روش‌های نوین در تجهیز و بهینه‌سازی چاه‌ها
- ۲- مدیریت و بهینه‌سازی ایستگاه‌های پمپاژ
- ۱-۲- فناوری‌های نوین در الکتروپمپ‌ها و تجهیزات پمپاژ
- ۲-۲- مدیریت انرژی و کاهش هزینه‌های برق در ایستگاه‌های پمپاژ
- ۳-۲- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM) و پیشگويانه (PdM) در تاسیسات
- ۳- هوشمندسازی فرآیندهای تامین و انتقال آب
- ۱-۳- کاربرد سیستم‌های تله‌متری و اسکادا در مدیریت ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن
- ۲-۳- چالش‌ها و راهکارهای راهبری و بهره‌برداری از تاسیسات تامین و انتقال

و) سیلاب‌های شهری و مدیریت رواناب‌های سطحی

- ۱- طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های جمع‌آوری و هدایت رواناب شهری
- ۲- مدلسازی و پیش‌بینی سیلاب‌های شهری با ابزارهای نوین
- ۳- تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش فرکانس و شدت سیلاب‌های شهری
- ۴- راهکارهای پایدار مدیریت رواناب (BMPs, LID, SUDS)
- ۵- استفاده از فناوری‌های نوین در سنجش و پایش سیلاب
- ۶- اثرات محیط زیستی مدیریت ناصحیح رواناب و راهکارهای ترمیمی
- ۷- مدیریت یکپارچه منابع آب و برنامه‌ریزی شهری در برابر سیلاب‌ها
- ۸- برآورد خسارات اقتصادی ناشی از سیل و روش‌های افزایش تاب‌آوری شهری
- ۹- کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در پیش‌بینی و مدیریت سیلاب‌های شهری
- ۱۰- تجارب موفق بین‌المللی در مدیریت سیلاب شهری و بومی‌سازی آن در ایران

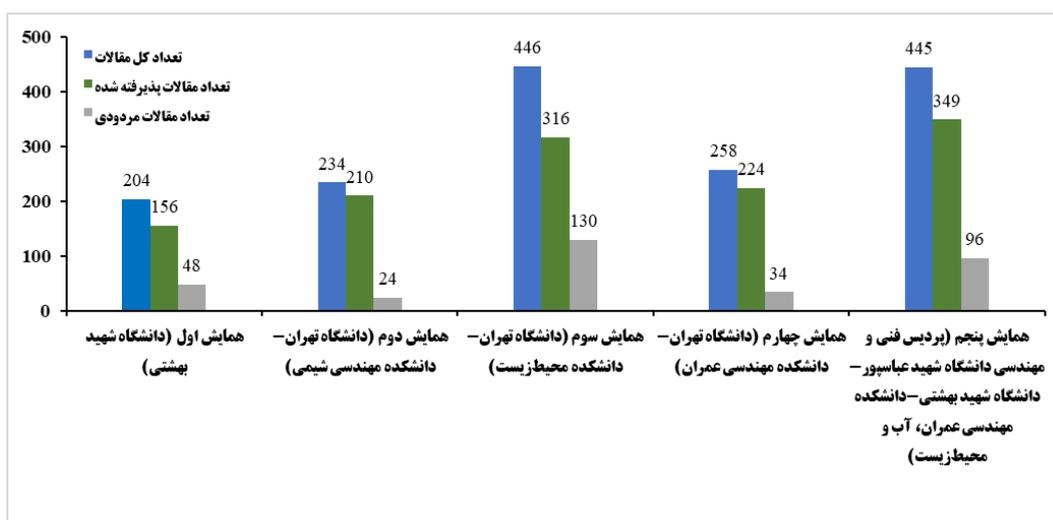
کمیته‌های علمی و اجرایی:

کمیته علمی همایش مشتمل بر ۷۰ نفر از اساتید و متخصصان صنعت آب و فاضلاب از سراسر کشور، با لحاظ کردن حوزه‌های مختلف دانش فنی با لحاظ نمودن محورهای کنگره ارزیابی مقالات را عهده دار بودند. کمیته اجرایی همایش نیز با مشارکت حدود ۱۵ نفر مسئول و ۴۹ نفر عضو کمیته‌ها از دانشجویان فعال دانشگاه شهید بهشتی و سایر دانشگاه‌ها تشکیل شد و با برگزاری بیش از ۱۵ جلسه برای برنامه‌ریزی و هماهنگی، توانست در طول برگزاری همایش فضای مناسبی را برای استفاده شرکت‌کنندگان فراهم نماید.

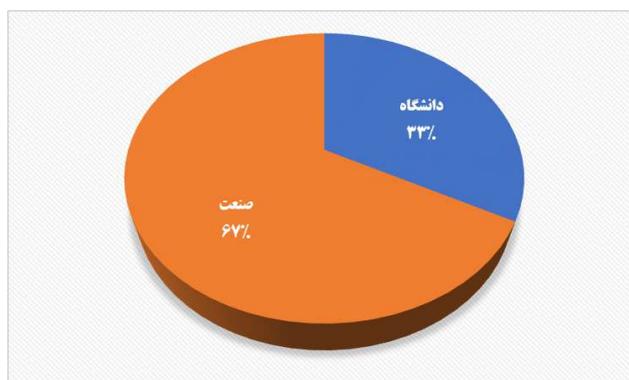
مقالات:

علیرغم دریافت مقالات قابل توجه در مهلت تعیین شده برای ارسال مقالات همایش، با توجه به استقبال شرکت‌کنندگان، مهلت ارسال مقالات ۳ بار تمدید شد. در پایان مهلت ارسال مقالات، مجموعاً ۴۴۵ مقاله به دبیرخانه همایش ارسال شد که از این تعداد ۳۴۹ مقاله در

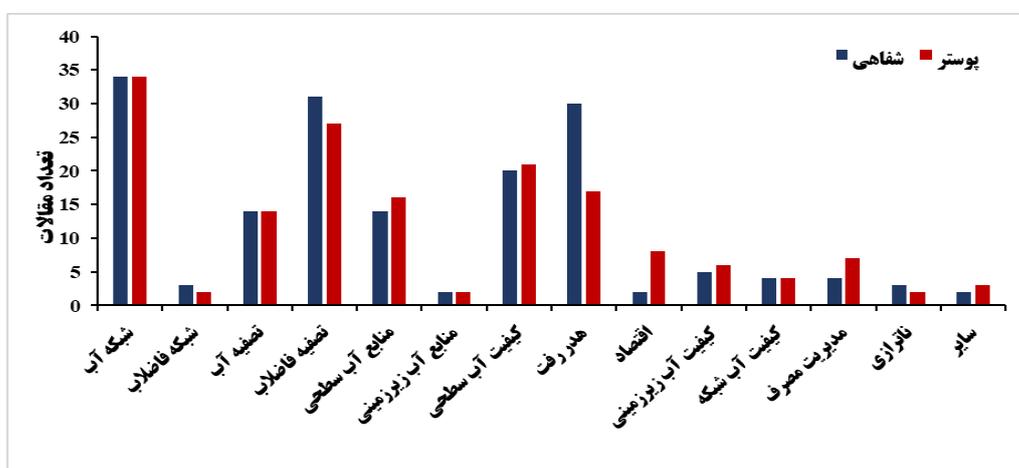
محورهای بیست و چهارگانه همایش پذیرفته شد. ۳۲ مقاله از میان آن‌ها به صورت شفاهی حضوری، ۱۳۸ مقاله به صورت شفاهی مجازی و ۱۷۹ مقاله به صورت پوستری مجازی در همایش ارائه شد. مقالات شفاهی حضوری در ۸ جلسه که در دو بازه زمانی در سه‌شنبه و چهارشنبه ۱۱ و ۱۲ آذرماه، که به صورت حضوری برگزار شدند، ارائه شدند. یک یا دو نفر از اعضا کمیته علمی مسئولیت مدیریت این جلسات را برعهده داشتند. ارائه مقالات شفاهی مجازی در طول سه روز برگزاری همایش و در قالب ۲۰ جلسه موازی برنامه‌ریزی شد و همچنین ارائه مقالات پوستری در طول سه روز برگزاری همایش و در قالب ۶ جلسه موازی برنامه‌ریزی شد. اطلاعات آماری مقالات در شکل‌های ۱ تا ۵ ارائه شده‌اند.



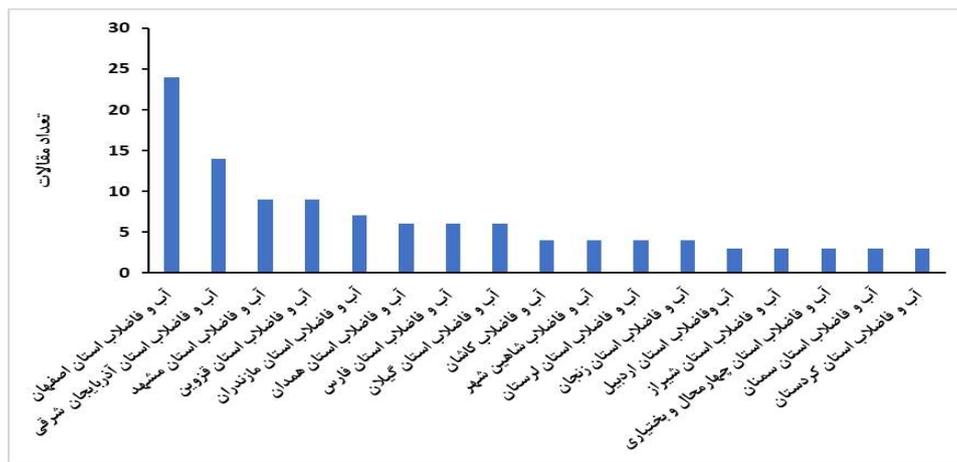
شکل ۱- تعداد مقالات ارسالی و پذیرش شده در چهار همایش تخصصی



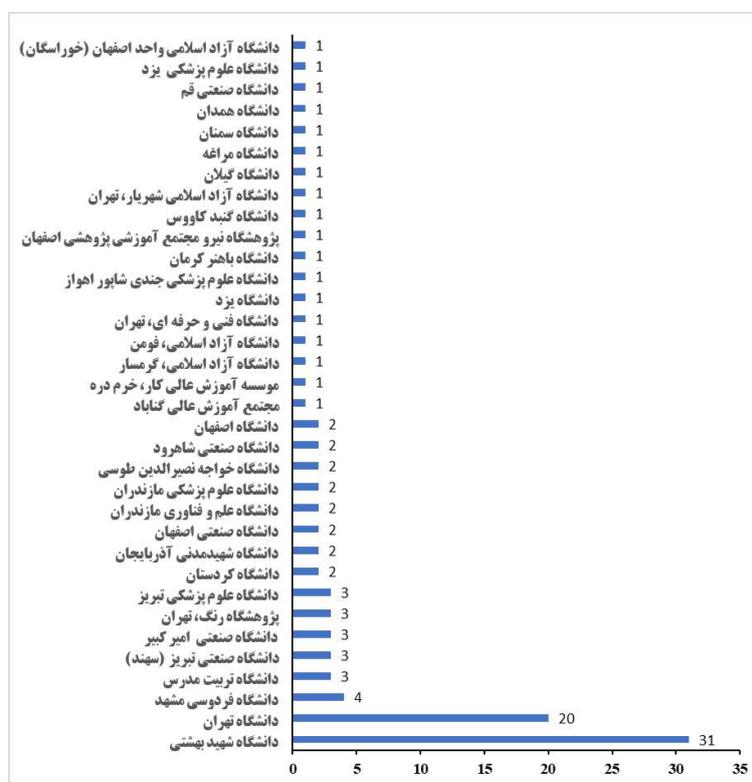
شکل ۲- تعداد مقالات پذیرفته شده از دانشگاه و صنعت



شکل ۳- توزیع مقالات پوستری و شفاهی به تفکیک موضوع



شکل ۴- تعداد مقالات پذیرفته شده در شرکت‌های آب و فاضلاب استان‌ها



شکل ۵- مشارکت دانشگاه‌های سراسر کشور در مقالات پذیرفته شده

هیئت داوران:

هیئت داوران شامل ۹۴ نفر، از بین اساتید دانشگاه‌های سراسر کشور و متخصصین سازمان‌ها و ادارات دولتی و یا از متخصصین بخش خصوصی اعم از شرکت‌های مشاور و یا پیمانکاری سراسر کشور انتخاب شدند که در داوری مقالات مشارکت نمودند. هر مقاله حداقل برای ۲ داور ارسال شد و به‌طور متوسط هر داور ۵ مقاله را داوری کرد.

مراسم افتتاحیه:

در ابتدای مراسم آقای دکتر جعفر یزدی دبیر اجرایی همایش گزارش از روند شکل‌گیری، برنامه ریزی و اقدامات انجام شده برای برگزاری شکوهمند همایش را ارائه کرد. سپس آقای دکتر آقامیری رئیس دانشگاه شهید بهشتی ضمن خیرمقدم به حضار و گرامیداشت شهدای دانشگاه در جنگ ۱۲ روزه براهمیت این همایش در شرایط بحران فعلی آب تاکید کرد. در ادامه آقای دکتر مسعود تابش، رئیس هیئت مدیره

انجمن آب و فاضلاب ایران و رئیس شورای سیاستگذاری همایش، گزارشی از فعالیت‌های انجمن و برنامه‌های آتی آن را ارائه و ویژگی‌های همایش‌های انجمن و برنامه‌های این همایش را تشریح کردند. اولین سخنران کلیدی همایش جناب آقای دکتر هاشم امینی رئیس هیئت مدیره و مدیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور بود که دیدگاه‌های خود در رابطه با بحران فعلی آب در کشور و اقدامات شرکت مهندسی را بیان کرد. در پایان آقای مهندس محسن اردکانی رئیس هیئت مدیره و مدیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب استا تهران بود که اقدامات این شرکت را در رابطه با مدیریت بحران آب تهران در سال ۱۴۰۴ به صورت مبسوط تشریح نمود. قابل ذکر است که سخنرانی کلیدی آقای دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده به دلیل فشردگی برنامه‌ها به بعدازظهر موکول شد.

نشست‌های تخصصی

اولین نشست تخصصی در روز اول بعد از مراسم افتتاحیه برگزار شد. نشست‌های دوم، سوم و چهارم نیز در بعدازظهر روز اول همایش، صبح و بعدازظهر روز دوم همایش، پیش از مراسم اختتامیه برگزار شدند. اطلاعات نشست‌ها به شرح زیر است:

ردیف	عنوان نشست	اعضای نشست
۱	تحلیل تاب‌آوری و درس‌آموخته‌های مدیریت تامین و توزیع آب در تابستان ۱۴۰۴	دکتر مسعود تابش، دکتر سید علی سیدزاده، دکتر ناصر اکبری، دکتر سعید سرآبادانی، دکتر مهدی شمس‌آبادی‌زاده، دکتر محمود ترک، دکتر سعید بشیری.
۲	مدیریت فشار و چالش‌های الزام استفاده از پمپ و مخزن در ساختمان‌ها	دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده، دکتر سید علی سیدزاده، دکتر سید محمد مهدی نوربخش، مهندس شهریار معالج، مهندس سارا احمدی، مهندس وحید دوستی، مهندس کاوه جمالی.
۳	ارزیابی ظرفیت و چالش‌های بازچرخانی در مدیریت تقاضای آب در تهران	دکتر عباس اکبرزاده، دکتر سید مسعود علویان صدر، مهندس عباسعلی مصرزاده، دکتر مهدی پیر هادی، دکتر شهرام دلفانی، دکتر غلامرضا شقاقی، مهندس احمدرضا طاهری اصل.
۴	از بی‌اعتمادی تا همبستگی (راه‌کارهای اجتماعی مدیریت مصرف آب)	دکتر زهرا سلطانی، دکتر نادرقلی ابراهیمی، دکتر فائزه خواجه‌زاده، دکتر بهنام بخشی، دکتر نرگس ظهراپی، دکتر محمد ارشدی، دکتر رسول محسن‌زاده.

سخنرانان مدعو و ارائه مقالات شفاهی حضوری

در این همایش تعداد ۲۸ مقاله به صورت شفاهی حضوری در ۴ سالن موازی در ظهر روز اول و صبح روز دوم ارائه شد. در ابتدای هر جلسه یک سخنران مدعو در موضوعات زیر سخنرانی کردند. همچنین تعداد ۱۳۸ مقاله به صورت شفاهی مجازی از طریق فیلم ویدئویی در ۸ اتاق موازی در تمام روزهای همایش ارائه شد. به علاوه، تعداد ۱۷۹ مقاله به صورت پوستر مجازی از طریق اسلاید در ۶ اتاق موازی در تمام روزهای همایش ارائه شد.

سخنرانان مدعو

ردیف	سخنران	موضوع
۱	دکتر نعمت حسنی	چالش و راهبردهای ژاپن در دستیابی به حداقل هدررفت واقعی آب شهری در جهان
۲	دکتر گاگیک بدلیانس قلی‌کندی	روش‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب و لجن با استفاده از فناوری‌های نوین برای راهبری پایدار تصفیه‌خانه‌ها
۳	دکتر سیدحسین سجادیفر	نقش بنیادین آب در تحقق اقتصاد چرخشی
۴	مهندس سیدعلی سیدزاده	بازار مبادله گواهی صرفه‌جویی آب در بورس انرژی
۵	دکتر ستار صالحی	تعیین شاخص‌های اثرگذار بر اولویت‌بندی بازسازی لوله‌های شبکه توزیع آب با ترکیب مدل هیدرولیکی چندگانه و مدل تصمیم‌گیری Fuzzy TOPSIS
۶	دکتر اویس ترابی	مخاطره بی‌آبی کلان‌شهر تهران
۷	دکتر حسین نایب	مروری بر چالش‌های کیفی آب شرب و صنعت کشور: عوامل و راه‌کارها
۸	مهندس آسیه‌سادات ملباشی	چالش‌های حوزه خدمات مشترکین و درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب

مراسم اختتامیه:

در این مراسم ابتدا گزارش علمی همایش توسط خانم دکتر جلیلی قاضی زاده، دبیر علمی، همایش ارائه شد. سپس آقای دکتر تابش

رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب در خصوص چگونگی انتخاب پیشکسوتان برگزیده دانشگاه و صنعت توسط هیئت مدیره انجمن توضیح دادند. در ادامه زندگینامه آقای دکتر گایک بدلیانس قلی کندی (پیشکسوت برگزیده دانشگاه) قرائت شد. همچنین ضمن معرفی آقای مهندس مرتضی توجه (بنیانگذار شرکت میراب) به عنوان پیشکسوت برگزیده صنعت، ایشان طی سخنانی گوشه هایی از زندگینامه خود را بیان کرده و توصیه های جالب توجهی خطاب به حاضران ارائه کردند.

پیشکسوتان برگزیده دانشگاه و صنعت



مهندس مرتضی توجه (بنیانگذار شرکت میراب)



دکتر گایک بدلیانس قلی کندی (استاد دانشگاه شهید بهشتی)

آن گاه آقای دکتر تابش رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب در خصوص تقدیر از سردبیر، دبیر تخصصی و داوران برگزیده نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب توضیح دادند. سپس برگزیدگان این سه بخش که توسط انجمن آب و فاضلاب ایران انتخاب شده اند به شرح زیر معرفی شدند.



داور برگزیده: دکتر اکبر شیرزاد
دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه



دبیر تخصصی برگزیده: دکتر سارا نظیف
دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران



داور برگزیده: دکتر فریبا رضوانی
استادیار گروه پژوهشی زیست فناوری صنعتی و محیط زیست سازمان
پژوهش های علمی و صنعتی ایران



داور برگزیده: دکتر بابک کاکاوندی
دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی البرز

تقدیر از برگزیدگان مسابقه پایان نامه برتر در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا

پایان نامه های دریافتی شامل ۲۴ پایان نامه کارشناسی ارشد و ۲۰ رساله دکتری بودند که اطلاعات تفکیکی پایان نامه ها در شکل های ۶ تا ۹ ارائه شده است.

برندگان دهمین دوره مسابقه پایان نامه برتر (سال ۱۴۰۴)

مقطع	محور	رتبه	نام و نام خانوادگی	عنوان	دانشگاه	استاد راهنما	زمان دفاع
کارشناسی ارشد	شبکه‌های آب و فاضلاب	۱	زهرا محمدپور	بومی سازی مدل عملیاتی ترکیبی تاب آوری بر پایه رویکرد کمی-کیفی بر مبنای مدل‌های توسعه یافته IRAM در شبکه‌های توزیع آب	دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران	دکتر محمد علی نکویی	شهریور ۱۴۰۳
		۲	مریم نصیری دهج	یافتن محل شکستگی در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از تحلیل داده‌های فشار	دانشگاه علم و صنعت	دکتر محمدرضا زاده و جلیلی قاضی دکتر ابراهیم جباری	اردیبهشت ۱۴۰۲
	تصفیه آب و فاضلاب	۱	محمد سپهر سلیمی	سنتر و بهینه‌سازی چارچوب‌های فلز-آلی بر پایه سرپوم جهت استفاده در فرایند تصفیه آب	مرکز تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان	دکتر حسین مولوی	شهریور ۱۴۰۳
		۲	مریم نوری کشتکار	ساخت و اصلاح غشای نانوفیلتراسیون برای حذف مؤثر آلاینده‌های دارویی از آب	دانشگاه صنعتی شریف	دکتر سید عباس موسوی و دکتر داریوش باستانی	بهمن ۱۴۰۲
دکتر	شبکه‌های آب و فاضلاب	۱	محمد مهدی ریاحی مدوار	نوسازی و علاج‌بخشی شبکه‌های آبرسانی فرسوده با استفاده از تکنیک فازبندی عملیات اجرایی و بهینه‌سازی چندهدفه	دانشگاه شهید چمران اهواز	دکتر علی حقیقی و دکتر انریکو کریاکو	شهریور ۱۴۰۳
		۲	سید پدram جزائری فارسانی	مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب شهری با رویکرد کمی-کیفی به منظور کاهش میزان نشت و بررسی تأثیر آن بر غلظت کلر باقیمانده	دانشگاه اصفهان	دکتر رامتین معینی	شهریور ۱۴۰۳
	تصفیه آب و فاضلاب	۱	پریسا آذری	مطالعه تجربی و مدل سازی ریاضی یک آب شیرین‌کن خورشیدی ترکیب شده با کلکتور خورشیدی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز	دکتر آرش میرعبداله لواسانی و دکتر نادر رهبر	مرداد ۱۴۰۱
		۲	وحید آقا بالائی مستان آباد	کاهش فتوکاتالیستی نیترات شورا به مصرف شده سیستم تبادل یونی با استفاده از نانو کامپوزیت مهندسی شده با هدف استفاده مجدد	دانشگاه تهران	دکتر مجید بغدادی و دکتر بهنوش امین زاده	بهمن ۱۴۰۲

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

برندگان مقالات برتر

ردیف	عنوان مقاله	نویسندگان	وابستگی سازمانی نویسندگان
۱	توسعه و اعتبارسنجی هم‌تای مجازی یک شبکه توزیع آب آزمایشگاهی برای تحلیل‌های هیدرولیکی و کیفی	علیرضا صدقاتی، سامان اسپهبدی‌نیا، زاهد مظفری نیاپور، محمد شاه‌سوندی و جعفر یزدی	دانشگاه شهید بهشتی
۲	مکان‌یابی نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از حل مستقیم معادلات هیدرولیکی	حانیه مهرشاد، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده و رضا معاشری	دانشگاه شهید بهشتی
۳	تعیین نواحی مجزای اندازه‌گیری شده در شبکه توزیع آب شهری با استفاده از تئوری گراف و خوشه‌بندی	سید پدram جزائری فارسانی و رامتین معینی	دانشگاه اصفهان
۴	تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی شکست لوله در شبکه‌های توزیع آب	محسن ستاری و همایون مطیعی	دانشگاه شهید بهشتی
۵	تحلیل شکست در شبکه آبرسانی و تعیین اولویت‌بندی اصلاح و بازسازی لوله‌ها با تکیه بر مدل تصمیم‌گیری بهترین-بدترین، منطق فازی و نتایج مدل هیدرولیکی WaterGEMS	علی آبیاتی، حمیدرضا صفوی، محمدحسین گلمحمدی، یاسر اسماعیلی و جواد پارسا	دانشگاه صنعتی اصفهان و شرکت آب و فاضلاب کاشان

ردیف	عنوان مقاله	نویسندگان	وابستگی سازمانی نویسندگان
۶	تحلیل تاب‌آوری تأسیسات آبرسانی شهری با رویکرد مدل تاس و قاپان (مطالعه موردی: شهر اسفراین)	مهدی خان احمدی، روح‌اله توکلی و احمد گنجی	شرکت آب و فاضلاب استان خراسان شمالی
۷	تحلیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رواناب شهری با مدل ArcSWAT (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ شهر تهران)	آروین مهبودی، شاهرخ سلطانی‌نیا و سید سعید اسلامیان	دانشگاه صنعتی اصفهان
۸	بررسی تجربی اتلاف آب و برآورد هزینه‌های اقتصادی تلفات آب در بخش خانگی (مطالعه موردی استان بوشهر)	مهرنوش دهقانیان، مصطفی سرخوش و مجتبی گلبنی مطلق	شرکت آب و فاضلاب استان بوشهر
۹	مقایسه سه روش اکسیداسیون پیشرفته برای تصفیه تکمیلی پساب‌های شهری: فنی، انرژی مصرفی و اقتصادی	شیمای مردانی، میترا حسینی نازوانی و صبا مجیدی	شرکت طرح و تحقیقات آب و فاضلاب اصفهان
۱۰	مدل‌سازی پیش‌بینی گرفتگی شبکه فاضلاب با استفاده از شبکه عصبی (MLP)، ارزیابی ریسک و نقش بحرانی اتصالات	علی سخاوتی، آرش احمدی و مهدی مختاری	دانشگاه خوارزمی و شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ تهران
۱۱	بررسی عملکرد دیدگاه اولری و لاگرانژی در مدل‌سازی عددی مکش ناگهانی آلودگی	میلاذ پایسته، احمد احمدی و علیرضا کرامت	دانشگاه صنعتی شاهرود
۱۲	بازیابی و اصلاح شیمیایی غشاهای RO مستعمل جهت تولید غشاهای اولترافیلتراسیون	هانیه هاشمی‌گازار، محمدرضا رضایی، ملیحه سبزرکار، محمود حاجیانی و مرتضی گل محمدی	دانشگاه بیرجند
۱۳	تحلیل مکانی و خوشه‌ای انشعابات غیرمجاز آب در نواحی حاشیه‌ای (مطالعه موردی: منطقه سه شرکت آب و فاضلاب مشهد)	حمد معصومی نژاد و عباس اسحاقیان	شرکت آب و فاضلاب مشهد

حامیان برتر

 وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (بازار تخصصی)  شرکت آب و فاضلاب کاشان	 شرکت آب و فاضلاب استان تهران
---	---

غرفه برتر



در انتها نیز از کادر اجرایی همایش تقدیر شد.

در ظهر روز اول و صبح روز دوم نیز برنامه کلینیک صنعت به شرح زیر برگزار شد.

برنامه کلینیک صنعت

موضوع	متخصصان
محور شبکه های توزیع آب و جمع آوری فاضلاب	دکتر عبدالمهدی میرسپاسی، مهندس حمیدرضا هنری، دکتر ستار صالحی
محور تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی	دکتر مجتبی فاضلی، دکتر مصطفی تیزقدم، دکتر زهرا اکبری

کارگاه‌های آموزشی

در طول همایش برگزاری ۲۰ کارگاه متنوع، متناسب با محورهای مختلف همایش توسط متخصصان و کارشناسان صنعت و دانشگاه برنامه‌ریزی شد.

ردیف	عنوان کارگاه	مدرس	مدت (ساعت)
۱	طراحی و سایزینگ دیزل ژنراتور برق اضطراری	فرهاد شریفی، حمیدرضا فولادی، عارف احمدی	۲
۲	فراتر از مرزهای رایج مهندسی آب و فاضلاب: بهره‌وری با AI	دکتر پژمان طاهری	۲
۳	معرفی تکنولوژی‌های جدید آنالیز میکروبی سریع و آسان در آب	سارا شهبازی	۲
۴	بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب	دکتر مهسا تهرانی واعظ تهرانی، دکتر مهدی هاشمی شهرکی	۲
۵	کلینیک تصفیه‌خانه‌های آب و سامانه RO	دکتر مهسا تهرانی واعظ تهرانی، دکتر مهدی هاشمی شهرکی	۲
۶	بازرسی و رفع مشکل فیلترهای شنی ثقلی تصفیه‌خانه‌های آب	دکتر مهسا تهرانی واعظ تهرانی، دکتر مهدی هاشمی شهرکی	۲
۷	مدیریت و تصفیه فاضلاب بیمارستانی با رویکرد حذف میکروآلاینده‌ها، داروها و آنتی‌بیوتیک‌ها	دکتر افشین تکدستان	۲
۸	چالش آلاینده‌های نوظهور در آب شرب: بررسی روش‌های تصفیه ویژه و نوین آب و اصلاح فرآیندهای تصفیه متداول موجود	دکتر افشین تکدستان	۲
۹	بازیابی آب از پساب در شرایط تنش آبی در کشور: راهکارهای فناورانه برای تأمین آب جهت مصارف مختلف شهری (غیر شرب و شرب)	دکتر افشین تکدستان	۲
۱۰	تصفیه و بازچرخانی پساب برای صنایع آب‌بر: نقش بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب در کاهش وابستگی به منابع آب شیرین کشور	دکتر افشین تکدستان	۲
۱۱	بررسی مشکلات راهبری و نگهداری فرآیندهای تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی به روش لجن فعال و ارایه راهکارهای پیشنهادی	دکتر افشین تکدستان	۲
۱۲	ارتقاء شبکه‌های آبرسانی بر اساس دستورالعمل‌های OP310	علیرضا رحمت پناه	۲
۱۳	دیریت هوشمند فشار در شبکه‌های توزیع آب (ارائه تجربیات شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان)	محمد صالح ابراهیمی	۲
۱۴	حرکت به سمت یکپارچه‌سازی مدل‌های هیدرولیکی و GIS، عبور از مدل‌های فراگیری موجود	محمدرضا کریمی بلمه	۲
۱۵	بهره‌برداری از تاسیسات آبرسانی	داورخواه ربانی	۲
۱۶	آزمون‌های بیولوژیکی آب	مهندس نوشین سهراب نیا	۲
۱۷	پایش کیفیت آب مخازن پشت سدها	مهندس نوشین سهراب نیا	۲
۱۸	کارگاه تنوری و عملی طراحی و پیاده‌سازی سیستم کنترل و مانیتورینگ (اسکادا)	غلامرضا مهرنوش	۴
۱۹	مبانی مدیریت پایداری و بکارگیری آن در طراحی و ساخت و ساز	حمید ناصری	۲
۲۰	نحوه انتخاب اصولی شیرهای هوا و شیرهای کنترلی	روح‌ا. توکلی	۲

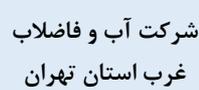
نمایشگاه حضوری:

نمایشگاه حضوری این همایش در غرفه‌های متعدد به صورت حضوری در سالن دانشکده مهندسی عمران در روز اول همایش برگزار شد. شرکت‌کنندگان در نمایشگاه عبارت بودند از: انجمن آب و فاضلاب ایران، شرکت بلندای صنعت جهان افراز، شرکت اکسیر تجارت، شرکت پارس آرین آب و دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی.

حامیان معنوی و علمی همایش

 همه با هم جهد کشاورزی	 جمهوری اسلامی ایران وزارت علوم، تحقیقات و فناوری	 جمهوری اسلامی ایران وزارت صنعت، معدن و تجارت	 وزارت نیرو	 جمهوری اسلامی ایران وزارت کشور
 وزارت نیرو مؤسسه تحقیقات آب	 دانشگاه تهران	 شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	 سازمان حفاظت محیط زیست	 جمهوری اسلامی ایران وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
 دانشگاه گیلان	 دانشگاه شیراز	 دانشگاه صنعتی اصفهان	 انجمن علمی مهندسی آب Water Science Association of Iran	 IWA IRAN International Water Association
 وزارت علوم، تحقیقات و فناوری مرکز آموزش عالی کشور	 دانشگاه سید جمال الدین آملی	 دانشگاه صنعتی خواجه نصیر	 دانشگاه صنعتی اصفهان	 دانشگاه اراک ۱۳۵۰

حامیان مالی همایش

 شرکت آفر	 بانک مسکن	 شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی	 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی	 وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (مادر تخصصی) شرکت آب و فاضلاب گلستان	 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب استان تهران
 RADAB مهندسی برق و الکترونیک	 POD Persia Optimized Designing شرکت همیشه طراحی پرسشیا	 مهندسين مشاور آبران	 معماری	 شرکت آب و فاضلاب تهران	 وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور شرکت آب و فاضلاب استان فارس
 شرکت آب منطقه ای استان مازندران	 شرکت آب منطقه ای تهران	 شرکت آب و فاضلاب غرب استان تهران	 مهندسين مشاور زاینده آید آب سهار خاص ZAYNODAR CONSULTING ENGINEERS CO.	 مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب فاضلاب	

حامیان رسانه‌ای همایش

 همایش های ایران symposia	 ISC Islamic World Science Citation Center	 Sponsored and Indexed by CIVILICA We Respect the Science
		 کنفرانس یاب www.conferenceyab.ir

رتبه اول ششمین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (محور کیفیت و بازیافت آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۳)



عنوان: سیستم فیلتر الیاف پیوسته پویا با شستشوی معکوس خودکار

نگارنده: مهدیه کلهری

کارشناس ارشد مهندسی عمران- آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه قم

چکیده

مقدمه

صنعت آب و فاضلاب کشور با چالش‌های متعددی از جمله افزایش جمعیت، کمبود منابع آب، آلودگی منابع آبی و نیاز روزافزون به تصفیه آب و پساب مواجه است. روش‌های سنتی تصفیه آب اغلب با محدودیت‌هایی از قبیل هزینه بالا، نیاز به فضای زیاد، راندمان پایین در حذف برخی آلاینده‌ها و مشکلات مربوط به شستشوی فیلترها روبرو هستند. در این راستا، توسعه فناوری‌های نوین و کارآمد تصفیه آب و پساب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ایده ارائه‌شده، پاسخی نوآورانه به چالش‌های موجود در زمینه تصفیه آب و پساب به‌شمار می‌رود. این سیستم با بهره‌گیری از ساختاری پویا (دینامیکی) و استفاده از نوار الیاف رشته‌ای نبافته، قادر است کدورت آب و ذرات معلق را با راندمان بالا و هزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه کاهش دهد.

زمینه شکل‌گیری ایده و طرح مسئله:

مشکلات مربوط به فیلترهای سنتی، از جمله گرفتگی سریع، نیاز به شستشوی دستی و راندمان پایین در شرایط مختلف، انگیزه‌ای برای طراحی این سیستم نوین بوده است. هدف اصلی، ارائه یک سیستم فیلتراسیون کارآمد، خودکار و با قابلیت اطمینان بالا برای تصفیه آب و پساب در مقیاس‌های مختلف (از خانگی تا صنعتی) است.

فرصت‌های ایجادشده برای حل مشکلات و ارتقای وضعیت موجود:

کاهش هزینه‌های تصفیه: استفاده از ساختار ساده و مواد اولیه در دسترس، منجر به کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری سیستم

می‌شود.

افزایش راندمان تصفیه: ساختار دینامیکی و قابلیت تنظیم فشرده‌گی الیاف، امکان حذف ذرات معلق با اندازه‌های مختلف را فراهم می‌کند.

شستشوی معکوس خودکار: این ویژگی، نیاز به دخالت دستی را کاهش داده و باعث افزایش طول عمر فیلتر و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

کاهش مصرف آب در شستشو: طراحی بهینه سیستم شستشوی معکوس، میزان آب مصرفی در این فرآیند را به حداقل می‌رساند.

کاربرد در مقیاس‌های مختلف: این سیستم قابلیت استفاده در مقیاس‌های مختلف، از تصفیه آب خانگی تا تصفیه پساب صنعتی را دارد.

سازگاری با شرایط مختلف آب و پساب: قابلیت تنظیم پارامترهای سیستم، امکان استفاده از آن را در شرایط مختلف آب و پساب فراهم می‌کند.

این ایده با ارائه یک راه‌کار نوین و کارآمد در زمینه تصفیه آب و پساب، می‌تواند نقش مهمی در حل چالش‌های صنعت آب و فاضلاب کشور ایفا کند و به ارتقای وضعیت موجود کمک شایانی نماید.

- ایده پیشنهادی

ارائه یک سیستم نوین و کارآمد برای تصفیه آب و پساب با استفاده از «سیستم فیلتر نوار الیاف رشته‌ای پویا با شستشوی معکوس خودکار» (Dynamic Filament Tow Filter System with Automatic Backwash) که با بهره‌گیری از ساختاری پویا

(دینامیکی) و الیاف رشته‌ای نبافته، قادر به حذف مؤثر کدورت، ذرات معلق و سایر آلاینده‌ها با راندمان بالا، هزینه پایین و قابلیت شستشوی معکوس خودکار است. این سیستم با طراحی نوآورانه خود، امکان تصفیه آب و پساب در مقیاس‌های مختلف (خانگی، صنعتی و شهری) و با شرایط کیفی متفاوت را فراهم می‌سازد.

ساختار دینامیکی: منظور از ساختار دینامیکی، استفاده از یک قطعه متحرک در سیستم است که با عبور جریان آب، الیاف فیلتر را فشرده می‌کند و فرآیند فیلتراسیون را به صورت پویا انجام می‌دهد. این امر باعث افزایش راندمان و جلوگیری از گرفتگی سریع فیلتر می‌شود.

الیاف رشته‌ای نبافته: استفاده از این نوع الیاف، سطح تماس بالایی را برای جذب آلاینده‌ها فراهم می‌کند و در عین حال، هزینه تولید و نگهداری سیستم را کاهش می‌دهد.

شستشوی معکوس خودکار: این ویژگی باعث می‌شود که سیستم به صورت خودکار و بدون نیاز به دخالت دستی، پس از مرحله جذب آلاینده‌ها، با معکوس شدن جریان در سیستم و کمک گرفتن از فشار هوا (اختلاط آب و هوا) فیلتر را شستشو داده و از تجمع آلاینده‌ها و کاهش راندمان جلوگیری کند. این امر همچنین باعث افزایش طول عمر فیلتر و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

قابلیت کاربرد در مقیاس‌های مختلف: طراحی این سیستم به گونه‌ای است که می‌توان آن را در مقیاس‌های مختلف، از تصفیه آب خانگی تا تصفیه پساب صنعتی و شهری، توسعه داده و مورد استفاده قرار داده شود. این امر باعث انعطاف‌پذیری بالای سیستم و کاربرد گسترده آن می‌شود.

- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی برای پیاده‌سازی و تحقق ایده «سیستم فیلتر نوار الیاف رشته‌ای پویا با شستشوی معکوس خودکار» شامل مراحل زیر است:

طراحی مفهومی و مدل‌سازی: در این مرحله، با استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی سه‌بعدی (مانند SolidWorks یا AutoCAD)، مدل دقیق سیستم شامل محفظه سیلندری، قطعه متحرک، نحوه اتصال الیاف و سیستم ورودی و خروجی آب طراحی می‌شود. همچنین، با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان سیالات (مانند ANSYS Fluent) رفتار جریان آب در داخل سیستم و نحوه فشرده شدن الیاف تحت تأثیر جریان بررسی و بهینه‌سازی می‌شود.

انتخاب مواد و ساخت نمونه اولیه: پس از طراحی مفهومی،

مواد مناسب برای ساخت اجزای مختلف سیستم انتخاب می‌شوند. برای محفظه می‌توان از موادی مانند پلیمرهای مقاوم، فولاد ضدزنگ یا PVC استفاده کرد. جنس الیاف Tow (مانند پلی‌استر، پلی‌پروپیلن یا نایلون) با توجه به نوع آب یا پساب موردنظر و اندازه ذرات معلق انتخاب می‌شود. پس از انتخاب مواد، نمونه اولیه سیستم ساخته و آزمایش‌های اولیه روی آن انجام می‌شود.

بهینه‌سازی طراحی و عملکرد: با انجام آزمایش‌های مختلف بر روی نمونه اولیه، پارامترهای مختلف سیستم مانند سرعت جریان آب، میزان فشرده‌گی الیاف، زمان شستشوی معکوس و میزان جریان هوا در شستشو بهینه می‌شوند. هدف از این مرحله، دستیابی به حداکثر راندمان تصفیه و حداقل مصرف آب و انرژی است.

طراحی سیستم کنترل خودکار: برای خودکارسازی فرآیند شستشوی معکوس، یک سیستم کنترل الکترونیکی طراحی می‌شود. این سیستم شامل حس‌گرهای فشار، شیرهای الکترونیکی و یک کنترل‌گر منطقی قابل برنامه‌ریزی (PLC) است. حس‌گرهای فشار، افت فشار در خروجی فیلتر را اندازه‌گیری می‌کنند و هنگامی که افت فشار از حد مشخصی بیشتر شود، سیستم کنترل، فرآیند شستشوی معکوس را به صورت خودکار آغاز می‌کند.

آزمایش‌های میدانی و ارزیابی عملکرد: پس از بهینه‌سازی سیستم در آزمایشگاه، آزمایش‌های میدانی در شرایط واقعی و با استفاده از آب یا پساب واقعی انجام می‌شود. در این مرحله، پارامترهای مختلف مانند کدورت، میزان ذرات معلق، BOD، COD و سایر آلاینده‌ها قبل و بعد از عبور از فیلتر اندازه‌گیری و عملکرد سیستم ارزیابی می‌شود.

پیش‌نیازها و زیرساخت‌های موردنیاز:

تخصص‌های موردنیاز: مهندسی مکانیک (طراحی و ساخت)، مهندسی شیمی (انتخاب مواد و فرآیندهای تصفیه)، مهندسی برق و الکترونیک (طراحی سیستم کنترل خودکار) و مهندسی محیط‌زیست (ارزیابی عملکرد و تأثیرات زیست‌محیطی).

تجهیزات و آزمایشگاه‌ها: آزمایشگاه مکانیک سیالات، آزمایشگاه شیمی، آزمایشگاه الکترونیک، تجهیزات اندازه‌گیری کدورت و سایر پارامترهای کیفی آب، نرم‌افزارهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی.

منابع مالی: برای تأمین هزینه‌های طراحی، ساخت نمونه اولیه، آزمایش‌ها و ثبت اختراع.

همکاری‌های صنعتی و دانشگاهی: برای بهره‌گیری از دانش و

تجربه متخصصین و دسترسی به تجهیزات و آزمایشگاه‌های پیشرفته.

- سخن آخر

در پایان، بار دیگر بر اهمیت و ضرورت ارائه راه‌کارهای نوین و کارآمد در صنعت آب و فاضلاب کشور تأکید می‌شود. چالش‌های فزاینده‌ای مانند کمبود منابع آب، آلودگی منابع موجود و نیاز روزافزون به تصفیه آب و پساب، لزوم توجه ویژه به توسعه فناوری‌های نوین در این حوزه را دوچندان کرده است.

«سیستم فیلتر نوار الیاف رشته‌ای پویا با شستشوی معکوس خودکار» نه تنها یک ایده نوآورانه، بلکه پاسخی عملی و مؤثر به این چالش‌ها است. این سیستم با بهره‌گیری از ساختار دینامیکی منحصربه‌فرد خود، قادر است مزایای قابل‌توجهی نسبت به روش‌های سنتی فیلتراسیون ارائه دهد:

- **بهبود راندمان تصفیه:** ساختار پویا (دینامیکی) و قابلیت تنظیم فشردگی الیاف، امکان حذف طیف وسیع‌تری از آلاینده‌ها و ذرات معلق را فراهم می‌کند و در نتیجه، کیفیت آب تصفیه‌شده بهبود می‌یابد.
- **کاهش هزینه‌های عملیاتی و نگهداری:** شستشوی معکوس خودکار، نیاز به دخالت انسانی و هزینه‌های مربوط به تعویض و شستشوی دستی فیلترها را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. هم‌چنین، استفاده از مواد اولیه در دسترس و ساختار ساده سیستم، هزینه‌های اولیه ساخت و راه‌اندازی را نیز کاهش می‌دهد.
- **افزایش طول عمر فیلتر:** شستشوی معکوس خودکار از تجمع آلاینده‌ها بر روی الیاف جلوگیری کرده و در نتیجه، طول عمر فیلتر و بازدهی آن را افزایش می‌دهد.
- **کاهش مصرف آب در شستشو:** طراحی بهینه سیستم شستشوی معکوس، میزان آب موردنیاز برای این فرآیند را به حداقل می‌رساند که در شرایط کم‌آبی کنونی، از اهمیت بالایی برخوردار است.
- **انعطاف‌پذیری و قابلیت توسعه و کاربرد در مقیاس‌های مختلف:** این سیستم به‌گونه‌ای طراحی شده است که می‌تواند در مقیاس‌های مختلف، از تصفیه آب خانگی و محلی تا تصفیه پساب‌های صنعتی و شهری، مورد استفاده قرار گیرد. این ویژگی، دامنه کاربرد وسیعی را برای این سیستم فراهم می‌کند.

علاوه بر جنبه‌های فنی و اقتصادی، این ایده از جنبه سلامت عمومی نیز حائز اهمیت است. با بهبود کیفیت آب تصفیه‌شده و

کاهش آلاینده‌های موجود در آن، می‌توان به حفظ سلامت جامعه و پیشگیری از بیماری‌های ناشی از آب آلوده کمک کرد.

سیستم پیشنهادی با ارائه ترکیبی نوآورانه از ساختار دینامیکی، استفاده از الیاف رشته‌ای و شستشوی معکوس خودکار با ارائه یک راه‌کار نوین، کارآمد، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست، می‌تواند نقش به‌سزایی در حل چالش‌های موجود در این حوزه داشته باشد. ساخت مدل اولیه، گواهی بر قابلیت اجرایی این ایده است و ما امیدواریم با حمایت و سرمایه‌گذاری مناسب، بتوانیم این سیستم را به مرحله تجاری‌سازی برسانیم و نقشی مؤثر در حفظ منابع آب و بهبود بهداشت عمومی ایفا کنیم.

- مراجع

- Altmann, J., Rehfeld, D., Träder, K., Sperlich, A., and Jekel, M., (2016), "Combination of granular activated carbon adsorption and deep-bed filtration as a single advanced wastewater treatment step for organic micropollutant and phosphorus removal", *Water Research*, 92, 131-139.
- Harrington, G.W., Xagorarakis, I., Assavasilavasukul, P. and Standridge, J.H., (2003), "Effect of filtration conditions on removal of emerging waterborne pathogens", *Journal of American Water Works Association*, 95, 95-104.
- Kiso, Y., Jung, Y.J., Ichinari, T., Park, M., Kitao, T., Nishimura, K. and Min, K.S., (2003), "Wastewater treatment performance of a filtration bio-reactor equipped with a mesh as a filter material", *Water Research*, 34, 4143-4150.
- Lee, J. and Song, D., (2021), "Upflow filtration system using fiber-ball filter media for the treatment of nonpoint pollution", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 43, 146-159.
- Lu, S., Liu, J., Li, S. and Biney, E., (2013), "Analysis of up-flow aerated biological activated carbon filter technology in drinking water treatment", *Environmental Technology*, 34, 2345-2351.
- Qin, W., Li, W.G., Zhang, D.Y., Huang, X.F., Song, Y., (2016), "Ammonium removal of drinking water at low temperature by activated carbon filter biologically enhanced with heterotrophic nitrifying bacteria", *Environmental Science and Pollution Research*, 23(5), 4650-4659.
- Seo, G.T., Moon, B.H., Lee, T.S., Lim T.J., and Kim, I.S., (2003), "Non-woven fabric filter separation activated sludge reactor for domestic wastewater reclamation", *Water Science and Technology*, 47(1), 133-138.
- Seo, G.T., Lee, T.S., and Park, Y.M., (2008), "Evaluation of tubular type non-woven fabric filter for solid-liquid separation in activated sludge reactor", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 30(2), 234-238.

رتبه دوم ششمین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (محور کیفیت و بازیافت آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۳)



عنوان: بازیافت مستقیم باتری‌های مستعمل قلیایی منگنز-روی (S-AZMB): توسعه غشای فتوکاتالیستی چند منظوره جدید مبتنی بر کامپوزیت $\text{TiO}_2@S\text{-AZMB}/\text{ZnTi-LDH}$ با خواص ضد رسوب و خود تمیز شونده تقویت شده

نگارندگان: مینا دولت‌شاه^۱ و علی اکبر زینتی‌زاده^۲

۱- دانشجوی دکتری شیمی کاربردی، گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲- استاد گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

- مقدمه

قرار گرفته است. دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) به دلیل فعالیت فتوکاتالیستی بالا، پایداری شیمیایی و غیرسمی بودن، از جمله مواد پرکاربرد برای اصلاح سطح غشا و کاهش گرفتگی به شمار می‌آید؛ اما محدودیت‌هایی مانند جذب نوری محدود (فقط در محدوده UV)، تشکیل توده‌های نانو، چسبندگی ضعیف به سطح غشا و حساسیت به شرایط اسیدی یا بازی، استفاده گسترده از آن را دشوار می‌سازد. به منظور غلبه بر این چالش‌ها، ترکیب TiO_2 با هیدروکسیدهای دولایه‌ای (LDH) و بهره‌گیری از منابع بازیافتی، رویکردی مؤثر برای افزایش عملکرد فتوکاتالیستی و پایداری غشاهای اصلاح‌شده ارائه می‌دهد. LDHها، به عنوان نانو ساختارهای دوعبده با ظرفیت تبادل آنیونی بالا و ساختار لایه‌ای منحصربه‌فرد، قابلیت بهبود خواص سطحی غشا، گسترش محدوده جذب نوری به ناحیه مرئی، افزایش جداسازی بارهای نوری و کاهش تجمع نانو ذرات TiO_2 را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، حضور گروه‌های هیدروکسیل و افزایش بار سطحی در LDHها به بهبود آب‌دوستی غشا و مقاومت در برابر گرفتگی منجر شده و نهایتاً باعث افزایش شار عبوری، بهبود عملکرد جداسازی و افزایش طول عمر غشا می‌شود (Vatanpour et al., 2024). در سال‌های اخیر، تمرکز بر اقتصاد چرخشی و بازیافت پسماندهای صنعتی، به ویژه باتری‌های قلیایی مستعمل (S-AZMB) که حاوی فلزات واسطه‌ای مانند روی و منگنز هستند، افزایش یافته است. استفاده مستقیم از این باتری‌ها، بدون نیاز به تصفیه پرهزینه، می‌تواند علاوه بر جلوگیری از آلودگی محیط‌زیستی، منابع فلزی

با توجه به افزایش آلودگی‌های ناشی از پساب‌های صنعتی و بحران کمبود منابع آب شیرین، توسعه فناوری‌های نوین و پایدار تصفیه آب به یک چالش حیاتی تبدیل شده است. تخلیه پساب‌های صنعتی بدون تصفیه مناسب اثرات مخربی بر اکوسیستم‌های آبی و سلامت انسان دارد و دستیابی به اهداف توسعه پایدار در مدیریت منابع آبی، کاهش آلودگی و بازیافت مواد زائد را ایجاب می‌کند. از میان فناوری‌های موجود، فرآیندهای غشایی به دلیل راندمان بالا، طراحی مدولار و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، به عنوان یک گزینه امیدبخش مطرح هستند؛ اما چالش‌هایی نظیر شار عبوری پایین و گرفتگی غشا کاربرد عملی آن‌ها را محدود می‌کند. اصلاح سطح غشاها برای افزایش آب‌دوستی و خواص ضدگرفتگی، به ویژه از طریق تلفیق با فناوری فتوکاتالیستی، راه‌کاری مؤثر محسوب می‌شود (Pandey et al., 2021; Dutta et al., 2024). در سال‌های اخیر، تلفیق جداسازی غشایی با فتوکاتالیست‌ها مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است، چرا که ویژگی خودتمیزشوندگی فتوکاتالیستی علاوه بر کاهش گرفتگی، عملکرد غشا را در بلندمدت حفظ می‌کند. با این حال، هنوز چالش‌های متعددی برای توسعه غشاهای فتوکاتالیستی با فعالیت بالا، آب‌دوستی مطلوب و پایداری مکانیکی مناسب وجود دارد (Alshabib et al., 2024).

در راستای بهبود عملکرد غشاهای تصفیه آب، تلفیق فتوکاتالیست‌های نیمه‌هادی با فناوری غشایی مورد توجه

ارزشمند را برای تولید مواد فتوکاتالیستی فراهم کرده و هزینه‌ها را کاهش دهد. مطالعات نشان می‌دهند که بازیافت فلزات از S-AZMB و استفاده از آنها در فتوکاتالیست‌ها، عملکرد فتوکاتالیستی را با بهبود تفکیک الکترون-حفره و افزایش نرخ انتقال الکترون ارتقا می‌دهد و از این‌رو نقش مهمی در توسعه پایدار و بهره‌وری منابع طبیعی ایفا می‌کند (Rizka et al., 2020). به‌طور کلی، توسعه غشاهای فتوکاتالیستی بازیافتی و چندمنظوره نه تنها می‌تواند مشکلات مربوط به گرفتگی و کاهش راندمان غشاهای پلیمری را برطرف کند، بلکه فرصتی برای همگرایی فناوری‌های نوین، مدیریت پسماندهای صنعتی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار در حوزه تصفیه آب و پساب صنعتی فراهم می‌آورد. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک مدل پیشرفته برای تصفیه پایدار آب، کاهش اثرات محیط‌زیستی پساب‌های صنعتی و بهبود وضعیت مدیریت منابع آبی مطرح شود.

- ایده پیشنهادی

هدف این پژوهش، توسعه و بهینه‌سازی غشاهای فتوکاتالیستی بر پایه $\text{TiO}_2@S\text{-AZMB}/\text{ZnTi-LDH}$ به منظور افزایش مقاومت در برابر گرفتگی، بهبود خاصیت خودتمیزشوندگی، ارتقای شار عبوری و افزایش کارایی حذف آلاینده‌ها از آب و پساب‌های صنعتی است. این تحقیق با بهره‌گیری از فلزات ارزشمند موجود در ضایعات باتری‌های قلیایی مستعمل (S-AZMB) و به‌کارگیری آن در یک کامپوزیت فتوکاتالیستی طرح Z، رویکردی نوآورانه و پایدار در زمینه اصلاح سطح غشاها و بهبود عملکرد فتوکاتالیستی در تصفیه آب ارائه می‌دهد که می‌تواند گامی مؤثر در کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش بهره‌وری منابع و دستیابی به اهداف توسعه پایدار باشد.

- روش پیشنهادی

در راستای تحقق ایده توسعه غشاهای فتوکاتالیستی مبتنی بر $\text{TiO}_2@S\text{-AZMB}/\text{ZnTi-LDH}$ یک رویکرد جامع و سیستماتیک برای سنتز، اصلاح سطح، شناسایی و ارزیابی عملکرد این غشاها ارائه شده است. فرآیند پیاده‌سازی این ایده در چهار مرحله اصلی انجام خواهد شد:

۱) تهیه کامپوزیت فتوکاتالیستی $\text{TiO}_2@S\text{-AZMB}/\text{ZnTi-LDH}$: برای به دست آوردن S-AZMB، باتری‌های قلیایی Zn-Mn مصرف شده جمع‌آوری می‌شود. سپس پوسته فلزی باتری‌ها به‌صورت مکانیکی برداشته شده سپس پودر نهایی آسیاب شده و خشک می‌شود. برای تهیه کامپوزیت $\text{TiO}_2@S\text{-AZMB}$ از فرآیند آنیلینگ استفاده می‌شود (Qu et al., 2015). در ادامه، کامپوزیت ZnTi-LDH با یک روش هیدروترمال ساده سنتز می‌شود (Zhao et al., 2020). سپس، یک روش خودآرایی ساده

برای سنتز کامپوزیت $\text{TiO}_2@S\text{-AZMB}/\text{ZnTi-LDH}$ استفاده می‌شود.

۲) ساخت غشاهای اصلاح شده سطحی: غشای اولترافیلتراسیون بکر از طریق روش تغییر فاز ساخته می‌شود. سطح غشاهای پوشش داده شده توسط یک لامپ UV با استفاده از روش UV-grafting اصلاح خواهند شد.

۳) شناسایی کامپوزیت فتوکاتالیستی و غشاهای فتوکاتالیستی: برای شناسایی فتوکاتالیست، از تکنیک‌های XRD، FE-SEM به همراه نقشه‌برداری EDX، FT-IR، تکنیک جذب-واجذبی N_2 ، UV-vis DRS، نمودارهای موت-شاتکی و طیف فوتولومینسانس (PL) و پتانسیل زتا استفاده می‌شود. برای ارزیابی غشاهای فتوکاتالیستی، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و اندازه‌گیری زاویه تماس ایستا استفاده می‌شود.

۴) ارزیابی عملکرد غشاهای فتوکاتالیستی: برای ارزیابی عملکرد غشاهای فتوکاتالیستی، از یک سیستم فیلتراسیون انتها بسته با بدنه پلکسی استفاده می‌شود. در این سیستم، گاز نیتروژن به عنوان نیروی محرکه و اختلاط مداوم جهت کاهش اثرات پلاریزاسیون به کار می‌رود. شار آب خالص از طریق توزین نمونه‌های تراوا در بازه‌های زمانی مشخص محاسبه می‌شود. مقاومت غشا در برابر گرفتگی از طریق تست فیلتراسیون سه مرحله‌ای ارزیابی می‌شود. خواص فتوکاتالیستی غشاها نیز با تخریب نوری آلاینده‌های رنگی (یک رنگ کاتیونی و یک رنگ آنیونی) تحت تابش نور در ناحیه مرئی بررسی می‌شود. همچنین، آزمایش‌های طولانی‌مدت تحت شرایط نور مرئی مداوم و تاریک به منظور ارزیابی پایداری و قابلیت استفاده مجدد غشاها انجام می‌شود.

- سخن آخر

ایده پیشنهادی بر توسعه غشاهای فتوکاتالیستی مبتنی بر $\text{TiO}_2@S\text{-AZMB}/\text{ZnTi-LDH}$ متمرکز است که با استفاده از ضایعات باتری‌های قلیایی مستعمل (S-AZMB)، راه‌کاری نوآورانه و پایدار برای بهبود تصفیه آب و پساب‌های صنعتی ارائه می‌دهد. ترکیب TiO_2 با هیدروکسیدهای دولایه‌ای و عناصر بازیافتی، باعث افزایش کارایی فتوکاتالیستی، گسترش طیف جذبی به نور مرئی، بهبود آبدوستی و ارتقای مقاومت در برابر گرفتگی می‌شود. این رویکرد علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری، به مدیریت پسماندهای صنعتی و کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی کمک می‌کند. ویژگی‌های خودتمیزشوندگی و مقاومت بالا، طول عمر غشا را افزایش داده و

نیاز به تعمیر و نگهداری را کاهش می‌دهد. این طرح با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و منابع بازیافتی، مدلی کارآمد و پایدار برای حل چالش‌های صنعت آب و فاضلاب ارائه می‌دهد.

- مراجع

- Alshabib, M., Baig, U., and Dastageer, M.A., (2024), "Super-hydrophilic and underwater super-oleophobic membranes with photocatalytic self-cleaning properties for highly efficient oil-water separation: A review", *Desalination*, 591(August), 118019, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.118019>.
- Dutta, S., Adhikary, S., Bhattacharya, S., and Roy, D., (2024), "Contamination of textile dyes in aquatic environment: Adverse impacts on aquatic ecosystem and human health, and its management using bioremediation", *Journal of Environmental Management*, 353(January), 120103, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120103>.
- Pandey A.K., Kumar, R.R., Laghari, I.A., Samykan, M., Kothari, R., Abusorrah, A.M., Sharma, K. and Tyagi, V.V., (2021), "Utilization of solar energy for wastewater treatment: Challenges and progressive research trends", *Journal of Environmental Management*, 297(May), 113300, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113300>.
- Rizka, P., Takei, T., and Kumada, N., (2020), "Novel ZnTi/C₃N₄/AgLDH heterojunction composite for efficient photocatalytic phenol degradation", *Journal of Solid State Chemistry*, 294(November), 121858, <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121858>.
- Qu, J., Feng, Y., Zhang, Q., Cong, Q., Luo, C., and Yuan, X., (2015), "A new insight of recycling of spent Zn-Mn alkaline batteries: Synthesis of Zn x Mn 1 Å x O nanoparticles and solar light driven photocatalytic degradation of bisphenol A using them", *Journal of Alloys and Compounds*, 622, 703-707, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.10.166>.
- Vatanpour, V., Camadan, I., Kara, N., Mehrabani, S.A.N., Feizpoor, S., Habibi-Yangjeh, A. and Koyuncu, I., (2024), "TiO₂/AgBr nanocomposite as a novel hydrophilic and photocatalytic modifier in the fabrication of polyethersulfone membrane for wastewater treatment", *Separation and Purification Technology*, 349(January), 127905, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127905>.
- Zhao Z., Shen, B., Hu, Z., Zhang, J., He, C., Yao, Y., Guo, S.Q. and Dong, F., (2020), "Recycling of spent alkaline Zn-Mn batteries directly: Combination with TiO₂ to construct a novel Z-scheme photocatalytic system", *Journal of Hazardous Materials*, 400(March), 123236, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123236>.

رتبه سوم ششمین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (محور کیفیت و بازیافت آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۳)



عنوان: ارائه روشی نوین جلوگیری از نفوذ روغن صنعتی مورد استفاده در پمپ‌های شافت و غلافی

نگارندگان: سید احسان طباطبائی و محسن عمادی

کارشناس ارشد مهندسی آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

چکیده

- مقدمه

تأمین آب شرب سالم و بهداشتی برای مشترکین یکی از وظایف اصلی و مهم شرکت‌های آب و فاضلاب است. با توجه به افزایش حداکثر مصرف آب و استفاده از چاه‌های مردمی و شهرداری‌ها برای تأمین منابع آب شهرو روستاها، اطمینان از سلامت و کیفیت آب امری بسیار مهم و حیاتی است. با توجه به این‌که این چاه‌ها اکثراً برای پمپاژ آب از نوع شافت و غلافی استفاده می‌نمایند و برای روان‌کاری در بخش فوقانی پمپ این چاه‌ها از روغن صنعتی استفاده می‌شود، این روغن عمدتاً وارد جریان آب شده و کیفیت آب را پائین می‌آورد.

- ایده پیشنهادی

با توجه اهمیت کمک به رفع تنش آبی با توجه به بحران آب به کمک استفاده از چاه‌های مردمی و شهرداری در زمان شرایط بحرانی و مشکل ورود روغن صنعتی به آب در این چاه‌ها که اغلب شافت و غلافی است ایده "استفاده از مکانیک سیل برای جلوگیری از نفوذ روغن صنعتی مورد استفاده در پمپ‌های شافت و غلافی" پیشنهاد شده است.

- روش پیشنهادی

به‌منظور حذف روغن مذکور در پمپ‌هایی که از روش شافت و غلاف استفاده می‌کنند چندین روش پیشنهاد شد. با توجه به اجرائی بودن پروژه نیاز بر آن بود که روش‌های پیشنهادی هم از نقطه‌نظر اجرائی و هم از نقطه‌نظر مالی قابل اجرا باشند. لذا پس از بررسی‌های لازم و مقایسه معایب و محاسن روش‌ها، یکی از روش‌هایی که از نظر اجرائی و اقتصادی به‌صرفه‌تر بود، انتخاب و

عملی شد و انواع روش‌های پیشنهادی که بررسی شد عبارتند از:
۱- چربی‌گیری (حذف روغن) به‌روش اسمز معکوس: در این روش با توجه به این‌که از فیلترها و دستگاه‌های گران‌قیمت استفاده می‌شود دارای هزینه انجام کار زیادی است.

۲- استفاده از روغن گیاهی به‌جای روغن صنعتی: این روش نیاز به بررسی و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه و بررسی مقاومت‌های حرارتی در حین اجرا دارد.

۳- جایگزین نمودن پمپ‌های شافت و غلافی با الکتروپمپ‌های شناور: در این روش هزینه پمپ شناور و هم‌چنین کابل مناسب (با توجه به این‌که مالکیت چاه متعلق به غیر است) اصلاً به‌صرفه نیست.

۴- استفاده از یک عدد واسطه که در آن از فیبرو فنر (Mechanical Seal) و دو عدد بوشن برنجی استفاده شده و در بین پمپ و اولین لوله مکش بعد از پمپ نصب می‌شود.

پس از بررسی روش‌های فوق، کم‌هزینه‌ترین روش که روش استفاده از فیبرو فنر است انتخاب شد. در این روش لوله‌های آب‌ده و شافت و غلاف موجود در چاه بالا آورده شد. پس از تعویض لوله‌های خراب و تعویض واشرهای لاستیکی روی بوشن‌های برنجی و لاستیک‌های نگه‌دارنده غلاف در بین لوله مکش و با استفاده از یک عدد واسطه حدود ۱۵ سانتی‌متری که در وسط آن یک عدد مکانیکال سیل (فیبرو فنر) و دو عدد بوشن برنجی نصب شده بود، مابین طبقه آخر پمپ و اولین لوله آب‌ده نصب شد.

- سخن آخر

پس از انجام روش فوق از نشت روغن بر روی سطح آب جلوگیری به‌عمل آمده و نتایج کیفی ناشی از آزمودن آب نشان از موفقیت

۲- کاهش حدود ۹۰ درصدی هزینه تبدیل الکتروپمپ‌های شافت و غلاف به الکتروپمپ‌های شناور؛

۳- عدم تغییر دبی آب خروجی چاه که موجب رضایتمندی مالکین چاه‌ها و ارتقای سطح همکاری ایشان با شرکت می‌شود؛

۴- عدم نیاز به تعویض شافت و غلاف و لوله‌های آب‌ده سالم موجود و در نتیجه کاهش هزینه مجدد در انجام طرح؛

۵- با توجه به تعدد چاه‌های مردمی و شهرداری در سطح شهر نسبت به چاه‌های در اختیار شرکت با اجرای این طرح کمک شایان توجهی در بحران‌ها به تقویت شبکه توزیع شهر می‌شود؛

۶- با توجه به آب‌بندی خروجی روغن موجب جلوگیری از کم کردن روغن و در نتیجه کاهش نیاز به اضافه نمودن روغن به دینام می‌شود.

- مراجع

London: HMSO, (1995), *Admiralty manual of seamanship*, Great Britain, Ministry of Defence (Navy).
 Garr, M., Jones, P.E., Dee, R.L. Sanks, (2008), *Pumping station design*, 3rd Edition, <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-513-5.X5001-X>
<http://mirabkesht.com/index.php>
blog.abayaran.com/choosing-water-pump-part2
<http://rooinkala.ir/tag>

این ایده می‌دهد. از سویی هزینه انجام این روش ۵ تا حداکثر ۱۰ درصد روش استفاده از الکتروپمپ شناور است که با توجه به شرایط اقتصادی، موقت بودن به کارگیری این گونه چاه‌ها و مالکیت غیر این چاه‌ها بسیار از منظر اقتصادی با اهمیت است.

بررسی کیفی و آزمایشگاهی

یکی از موارد بسیار با اهمیت در حذف روغن صنعتی در این روش این است که با توجه به مخلوط شدن ترکیبات عالی (روغن خروجی) با کلر، موجب ایجاد هالومتان‌ها در آب می‌شود که علاوه بر ایجاد سرطان با نقایص مادرزادی، مشکلات تولید مثلی و آسیب به کلیه‌ها، کبد و سیستم عصبی مرتبط است.

After implementing the Mechanical Seal method				Before implementing the Mechanical Seal method			
مقدار	واحد	عنوان آزمایش		مقدار	واحد	عنوان آزمایش	
۰/۹	NTU	کدورت	Turbidity	۱/۱۶	NTU	کدورت	Turbidity
۷/۷۳	-	اسیدی یا بازی	PH	۷/۸۱	-	اسیدی یا بازی	PH
۷۸۶	mg/lit	کل جامدات محلول	TDS	۹۸۷	mg/lit	کل جامدات محلول	TDS
۱۳۷۹	µS/cm	هدایت الکتریکی	EC	۱۴۹۴	µS/cm	هدایت الکتریکی	EC
Negative	MPN / 100 ml	کلی فرم گوآرشی	MPN	Negative	MPN / 100 ml	کلی فرم گوآرشی	MPN

بررسی اقتصادی

شایان ذکر است برای بررسی، به صورت نمونه یک چاه با عمق ۱۵۰ متر با لوله ۶ اینچ در نظر گرفته شده و در محاسبات سعی شد بهترین کیفیت لوازم موجود در بازار قیمت گرفته شود. با توجه به شرایط اقتصادی تمامی هزینه‌ها حدودی محاسبه شد که در نتیجه کاهش بیش ۹۰ درصدی هزینه‌ها مشهود است.

رفع مشکل به روش مکانیک سیل		جایگزینی با الکتروپمپ شناور	
مکانیک سیل الماس	در حدود ۵/۵ میلیون تومان	خرید الکتروپمپ شناور ۱۰۰ اسب	در حدود ۲۵۰ میلیون تومان
۲ عدد بوشن	در حدود ۱/۵ میلیون تومان	خرید کابل مسی ۲۵ متری یک میلیون	در حدود ۳۰۰ میلیون تومان
هزینه بالا آورد و جایگذاری الکتروپمپ	در حدود ۲۵ میلیون تومان	هزینه بالا آورد و جایگذاری الکتروپمپ	در حدود ۲۵ میلیون تومان
جمع کل هزینه	۲۲ میلیون تومان	جمع کل هزینه	۵۷۵ میلیون تومان

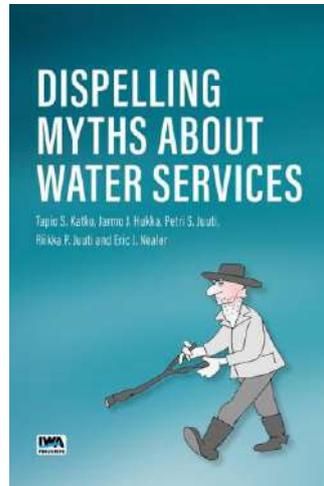
به صورت خلاصه می‌توان از موارد زیر به عنوان دستاوردهای اجرایی این ایده یاد کرد:

۱- به واسطه حذف روغن صنعتی از آب خروجی از چاه ارتقای قابل توجه کیفیت آب شرب و بهداشت عمومی و در نتیجه، رضایتمندی مشترکین؛

عنوان: باورهای غلط رایج در مورد خدمات تأمین آب و فاضلاب

ناشر: IWA

زمان انتشار: سال ۲۰۲۵



- هدف اصلی این کتاب، از بین بردن باورهای غلط رایج در مورد خدمات تأمین آب و فاضلاب است. نویسندگان اهداف زیر را دنبال می‌کنند:
- تشخیص واقعیت از خیال: کمک به مخاطبان مختلف، از جمله متخصصان آب، سیاست‌گذاران و علاقه‌مندان به محیط‌زیست، تا واقعیت را از خیال در مورد آب، که حیاتی‌ترین منبع است، تشخیص دهند.
 - ترویج خدمات پایدار: انتقال این پیام صریح که برای ایجاد خدمات آب پایدار، وجود قوانین مناسب، رهبری پاسخگو و ذی‌نفعان آگاه، همراه با سازمان‌های انعطاف‌پذیر و سیستم‌های فیزیکی قوی، حیاتی است.
 - افزایش آگاهی و ترویج تفکر انتقادی: رفع سوءتفاهم‌های عمومی و در عین حال طرح سؤالات مهم مرتبط با خدمات آب و تشویق به گفتگو در مورد اهمیت این خدمات.
- این کتاب ۲۱ تصور غلط رایج درباره تأمین آب و خدمات فاضلاب را مورد بررسی قرار می‌دهد. کارشناسان بین‌المللی با استفاده از بینش‌های جهانی، به نقد این باورها می‌پردازند و از زبان فنی تخصصی پرهیز می‌کنند. محتوای کتاب در چهار بخش اصلی ساماندهی شده است.
- ۱- منابع و استفاده از آب: (باورهای غلط ۱ تا ۴)؛ این بخش بر منشأ آب و محل استفاده آن متمرکز است.
 - ۲- خدمات آب به عنوان سیستم گردش خون جامعه: (باورهای غلط ۵ تا ۱۲)؛ این فصل به موضوعات زیرساختی و تکنولوژیکی می‌پردازد، مانند این‌که آیا آب بطری بهتر از آب لوله‌کشی است (باور غلط ۶)، یا آیا تصفیه‌خانه‌های فاضلاب آلوده‌کنندگان عمده هستند (باور غلط ۱۱).
 - ۳- قوانین خدمات آب (حکمرانی): (باورهای غلط ۱۳ تا ۱۷)؛ این بخش به مسائل نهادی و حکمرانی می‌پردازد، از جمله این باور که آب یک حق اساسی انسان است و بنابراین باید رایگان باشد (باور غلط ۱۴).
 - ۴- آینده خدمات آب: (باورهای غلط ۱۸ تا ۲۱)؛ این فصل به چالش‌های آینده و دیدگاه‌های بلندمدت اختصاص دارد.
- این اثر همچنین شامل بازتاب‌هایی از کارشناسان میهمان از چهار قاره مختلف است که دیدگاه‌های محلی خود را درباره این باورهای غلط ارائه می‌دهند. این کتاب برای مخاطبان گسترده‌ای کاربرد دارد، از جمله:
- متخصصان آب و فاضلاب و کارشناسان این بخش؛
 - سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان عمومی؛
 - علاقه‌مندان به محیط‌زیست؛
 - شهروندان و عموم مردم که به دنبال درک بهتر مسائل آب هستند؛
 - دانشجویان و دانش‌آموزان (سطح بالا).
- هدف کتاب این است که به هر کسی که علاقه‌مند به حکمرانی محلی و بین‌المللی و مدیریت خدمات آب است کمک کند تا واقعیت را از افسانه در مورد منابع حیاتی آب تفکیک کند. همچنین برای توسعه برنامه‌های آموزشی در دانشگاه‌ها، به‌ویژه در زمینه‌های حکمرانی، امور نهادی و مدیریت، توصیه می‌شود.
- اطلاعات بیشتری از این کتاب در لینک زیر موجود است:

<https://iwaponline.com/ebooks/book/981/Dispelling-Myths-about-Water-Services>

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه سوم سال ۱۴۰۴ به شرح زیر است:

- شرکت در جلسه کمیته تحقیقات شرکت مهندسی آب و فاضلاب (۲ مهرماه)
- مشارکت در برگزاری سمینار مدیریت تنش آبی در تهران (۱۶ مهرماه)
- برگزاری جلسات نهم و دهم شورای اجرایی همایش ۱۴۰۴ (۸ و ۲۲ مهرماه)
- تشکیل و برگزاری کارگروه‌های بررسی بحران آب (۲۳ مهرماه)
- برگزاری وبینار ۵۶ توسط Prof. Zoran Kapelan (۲۳ مهرماه)
- برگزاری وبینار ۵۷ توسط Prof. Neil S. Grigg (۳۰ مهرماه)
- برگزاری جلسه صد و چهارم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۳۰ مهرماه)
- انتشار خبرنامه شماره ۱۱۵ (۳۰ مهرماه)
- انتشار قسمت اول مصاحبه با آقای مهندس شفیعی در کانال‌های تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران (مهرماه)
- ادامه فعالیت کارگروه‌های بررسی بحران آب (آبان‌ماه)
- برگزاری جلسات یازدهم تا چهاردهم شورای اجرایی همایش ۱۴۰۴ (۶، ۱۳، ۲۰ و ۲۷ آبان‌ماه)
- برگزاری وبینار ۵۸ توسط مهندس علی آبیاتی (۲۸ آبان‌ماه)
- برگزاری جلسه صد و پنجم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۸ آبان‌ماه)
- انتشار خبرنامه شماره ۱۱۶ (۳۰ آبان‌ماه)
- انتشار قسمت دوم مصاحبه با آقای مهندس شفیعی در کانال‌های تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران (آبان‌ماه)
- کسب رتبه A در ارزیابی سال ۱۴۰۲ (آذرماه)
- برگزاری جلسات پانزدهم و شانزدهم شورای اجرایی همایش ۱۴۰۴ (۴ و ۹ آذرماه)
- برگزاری سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۱ تا ۱۳ آذرماه)
- کسب عنوان انجمن برتر در جشنواره پژوهش سال ۱۴۰۴ (۲۵ آذرماه)
- جلسات پایانی کارگروه‌های بررسی بحران آب (۲۵ آذرماه)
- برگزاری وبینار تخصصی ۵۹ توسط دکتر محمدمهدی ریاحی (۲۶ آذرماه)
- جلسه با انجمن مدیریت منابع آب (۲۶ آذرماه)
- برگزاری جلسه صد و ششم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۶ آذرماه)
- انتشار خبرنامه شماره ۱۱۶ (۳۰ آذرماه)
- انتشار نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، دوره ۱۰، شماره ۳، (۳۰ آذرماه)
- انتشار قسمت سوم مصاحبه با آقای مهندس شفیعی در کانال‌های تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب ایران (آذرماه)

منتشر شده					
ردیف	نام مصاحبه شونده	سمت	زمان مصاحبه	قسمت	مدت
۱	مهندس حمید چیت چیان	وزیر اسبق نیرو و نماینده اسبق مجلس شورای اسلامی	پائیز ۱۴۰۳	اول	2:30:06
۲	مهندس حمید چیت چیان	وزیر اسبق نیرو و نماینده اسبق مجلس شورای اسلامی	پائیز ۱۴۰۳	دوم	2:29:43
۳	مهندس مجید نامجو	وزیر اسبق نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	پائیز ۱۴۰۳	اول	1:57:41
۴	مهندس مجید نامجو	وزیر اسبق نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	پائیز ۱۴۰۳	دوم	1:21:15
۵	مهندس عباس شفیعی	معاون اسبق آب و فاضلاب وزارت نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	تابستان ۱۴۰۳	اول	1:53:55
۶	مهندس عباس شفیعی	معاون اسبق آب و فاضلاب وزارت نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	تابستان ۱۴۰۳	دوم	1:11:18
۷	مهندس عباس شفیعی	معاون اسبق آب و فاضلاب وزارت نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	تابستان ۱۴۰۳	سوم	1:35:34
۸	مهندس عباس شفیعی	معاون اسبق آب و فاضلاب وزارت نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	تابستان ۱۴۰۳	چهارم	1:28:21
در دست انتشار					
۱	مهندس عباس شفیعی	معاون اسبق آب و فاضلاب وزارت نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	تابستان ۱۴۰۳	قسمتهای ۵ تا ۶	حدود ۳ ساعت
۲	مهندس ستار محمودی	قائم مقام اسبق وزیر نیرو و مدیرعامل اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	تابستان ۱۴۰۳	در ۱۰ قسمت	جمعا حدود ۱۲ ساعت

لینک کانال آپارات: https://www.aparat.com/OH_iwwa

لینک کانال یوتیوب: www.youtube.com/@ohiwwa-16d

لینک کانال تلگرام: https://t.me/OH_iwwa

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

لینک آپارات	موضوع (ارائه دهنده)	رویداد	ردیف
	مباحث الزامی جهت ساخت مسکن (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)		
https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673	مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب شهری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)		
https://www.aparat.com/v/D7BvT	طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر امین ابراهیم بخشی پور)		
https://www.aparat.com/v/rKpVH/	چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع آب (دکتر مهدی دینی)		
https://www.aparat.com/v/jTbgx/	مدلسازی سیلاب و زهکشی شهری- اهمیت و رویکردها و مقدمه‌ای بر مدل TU-FLOW و کاربردهای آن (دکتر حامد توکلی‌فر، دکتر دانکن کیتس)		
https://www.aparat.com/v/Nig5q/	کاربرد متدولوژی ارزش برای بهبود پروژه‌های بزرگ آب و آبفا (دکتر کامران امامی)		
https://www.aparat.com/v/AxQw3	آلودگی منابع آب و خاک به آرسنیک و روش‌های پالایش آن (دکتر بهمن بارقلی)		
https://www.aparat.com/v/kdcZC	مدل‌های داده‌محور و برخط پیش‌بینی سیلاب در سیستم‌های جمع‌آوری آب باران شهری (مهندس فرزاد پیاده)		
https://www.aparat.com/v/cQevG	پیل سوختی میکروبی به‌عنوان یک راه‌حل پایدار برای تصفیه فاضلاب: از تحقیق تا کاربرد (دکتر علیرضا ولی‌پور مرنندی)		
https://www.aparat.com/v/zNPCU	بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب: وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو (دکتر مسعود طاهرپون)		
https://www.aparat.com/v/AOrNB	اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب‌های شهری: از مدل‌سازی تا رویکردهای مدیریتی مبتنی بر توسعه پایدار (دکتر یاسر طهماسبی بیرگانی)		
https://www.aparat.com/v/5SVaJ	نبرد شبکه‌های متمرکز و غیرمتمرکز جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی (مهندس سینا حصارکزاری)		
https://www.aparat.com/v/Q3Sck	مدیریت ناترازی تولید و مصرف آب با تکیه بر مدیریت مصرف آب (دکتر عباس اکبرزاده)		
https://www.aparat.com/v/OnIs2	واکاوی تجربه کشور چین در حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت مصرف آب (دکتر بنفشه زهرایی)		
https://www.aparat.com/v/TtlmP	ضربه آبی، چرا و چگونه؟ از مفاهیم تا اجرا (مهندس ابوالفضل رضایی‌راد)		
https://www.aparat.com/v/ieWtp	پکیج‌های تصفیه فاضلاب؛ معیارهای طراحی و روش ساخت (مهندس حمیدرضا خسروجردی)		
https://www.aparat.com/v/DcoFP	سپتاز، یک معضل محیط‌زیستی کشور، چالش‌ها، راه‌حل‌ها (دکتر ذبیح اله یوسفی)		
https://www.aparat.com/v/Fvb7q	قدرت تحول آفرین سنجش از دور و هوش مصنوعی (دکتر احد نظرپور)		
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/185Cp	مطالعه ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs) در رودخانه کارون و تصفیه‌خانه فاضلاب (دکتر علی اکبر بابائی)		

لینک آپارات	موضوع (ارائه دهنده)	رویداد	ردیف
https://aparat.com/v/n5B73	بررسی انواع میکرو پلاستیک‌ها و استر فتالات‌ها در فاضلاب و نقش واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب در حذف آن‌ها (مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب اهواز) (دکتر افشین تکدستان)		
https://www.aparat.com/v/JL0OZ	معرفی نسل جدید مواد اولیه PE100-RD مناسب جهت لوله و اتصالات پلی‌اتیلنی مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری انتقال آب با گندزاداهای پایه کلر (دکتر غلامرضا پیرچراغی، مهندس حمیدرضا شمس و مهندس علیرضا صحاف امین)		
https://www.aparat.com/v/XIujP	چرخه معیوب آب بدون درآمد و مکانیسم نشت آب شناخت و راهکار (مهندس محمدرضا عزیزی)		
https://www.aparat.com/v/yas7w5j	مدل یادگیری ماشین ارتقا یافته توسط فیزیک مسئله برای مدل‌سازی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب (دکتر علی حقیقی)		
https://www.aparat.com/v/vrw109a	ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به کمک ابزار مدل‌سازی و استراتژی‌های کنترل هوشمند (مهندس علی خواجه‌ویان)		
https://www.aparat.com/v/qxu7o4r	نحوه طراحی، نگهداری و تعمیرات و تعویض شیرآلات شبکه‌های توزیع آبرسانی شهری (مهندس روح الله توکلی)		
https://www.aparat.com/v/rbq717e	چالش‌های مدل‌سازی شبکه توزیع آب در شرکت‌های آب و فاضلاب (مهندس محمدامین غیبی)		
https://aparat.com/v/ckv6314	کاربرد مدل پویایی سیستم در مدیریت و برنامه‌ریزی آب شهری (مهندس صادق دانش پژوه)		
https://www.aparat.com/v/iojt09e	نمک‌زدایی آب در ایران: وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌ها (دکتر مسعود طاهریون)		
https://www.aparat.com/v/xpl25f3	شبکه‌های توزیع آب هوشمند با رویکرد پایش شبکه آب و مدل‌های داده مبنا (مهندس محمد رجبی)		
https://aparat.com/v/nqkqc80	تعیین محل نشت‌ها در شبکه‌های توزیع آب به روش شبیه‌سازی هیدرولیکی (دکتر رضا معاشری)		
https://www.aparat.com/v/znmnpnv/	بررسی نوسانات جریان در شبکه‌های توزیع آب شهری با وجود مخازن ذخیره آب داخل ساختمان‌ها (دکتر رامتین مظاهری)		
https://irwwa.ir	مسائل و چالش‌های کلیدی برای مدیریت شبکه‌های توزیع آب در شرایط عدم قطعیت (Prof. Maria Conceicao Cunha)		
https://aparat.com/v/oor14x9	مدل‌های شکست برای سیستم‌های آب شهری: قابلیت انتقال و عدم قطعیت‌ها (Dr-Ing. Bahnam Askari Lasaki)		
https://aparat.com/v/resx9a1	بازچرخش و استفاده مجدد از فاضلاب شهری و صنعتی در شهرک‌های صنعتی: رویکردها، چالشها، مقررات بین المللی و ملی، درجه تصفیه با توجه به نوع مصارف صنعتی (پروفیسور افشین تکدستان)		
https://aparat.com/v/xhd9r91	زیرساخت‌های آبی به عنوان یک سیستم تطبیقی پیچیده		

لینک آپارات	موضوع (ارائه دهنده)	رویداد	ردیف
	(Dr Manuel Herrera)		
https://aparat.com/v/sdcc10w	بهینه سازی راهبردهای ZLD و MLD برای بازیابی نمک با صرفه اقتصادی از پسابهای شور (Dr-Ing. Tobias Hogen)		
https://aparat.com/v/nmh54k3	زیرساخت آب شهری هوشمند: چالش‌ها و راه‌حل‌ها (Prof. Zoran Kapelan)		
https://aparat.com/v/ocu3l3r	زیرساختهای آب و فاضلاب: نوآوری در برنامه ریزی، بهره برداری و تنظیم مقررات (Prof. Neil S. Grigg)		
https://aparat.com/v/gaafv2j	تحلیل شکست در شبکه آبرسانی و تعیین اولویت‌بندی اصلاح و بازسازی لوله‌ها با تکیه بر مدل تصمیم‌گیری بهترین-بدترین، منطق فازی و نتایج مدل هیدرولیکی WaterGEMS (مهندس علی آبیانی)		
https://aparat.com/v/gxaqht	طراحی بهینه و اجرای مرحله بندی شده: رویکردی کارآمد برای نوسازی شبکه‌های توزیع آب فرسوده (دکتر محمد مهدی ریاحی)		
https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035	سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور		
https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320	تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526	هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788	بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111	چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646	تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246	استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054	چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آبی نیرو در حوزه آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw?playlist=879646	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/s3lwQ?playlist=879646	کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/nBNj5?playlist=879646	تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/PO35T?playlist=879646	مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/xyr2O?playlist=879646	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور	نشست‌های تخصصی	
https://www.aparat.com/v/dVKvu?playlist=879646	مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی	انجمن آب و فاضلاب	۲
https://www.aparat.com/v/hEXdv?playlist=879646	مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG?playlist=879646	دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		
h https://www.aparat.com/v/xyr2O	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	رویکردهای برنامه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی		
https://www.aparat.com/v/B5Lle	تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.aparat.com/v/41JAS	چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://aparat.com/v/jBUwJ	بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب		
https://aparat.com/v/eotT5	مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب		
https://aparat.com/v/qOUfQ	راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی		

ردیف	رویداد	موضوع (ارائه دهنده)	لینک آپارات
		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/j2IAK?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 همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/AmjKX
		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/hEXdy
		نشست تخصصی دوم؛ مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم‌آبی	https://www.aparat.com/v/dVKvu
		نشست تخصصی سوم؛ دستاوردها و چالش‌های 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	مراسم افتتاحیه	https://www.aparat.com/v/V7BNT
		نشست تخصصی اول؛ سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	https://www.aparat.com/v/6OhowE
		نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/IXWfd
		نشست تخصصی سوم؛ هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب	https://www.aparat.com/v/7JxVU

لینک آپارات	موضوع (ارائه دهنده)	رویداد	ردیف
	و فاضلاب	فاضلاب	
https://www.aparat.com/v/ISgM7	نشست تخصصی چهارم؛ بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت	ایران	
https://www.aparat.com/v/cGU1	منابع آب ایران	(۱۳۹۹)	
https://www.aparat.com/v/ntsvY	کلینیک صنعت اول؛ شبکه‌های توزیع آب		
https://www.aparat.com/v/Fz5wu	کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/IKLRc	کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه فاضلاب و بازیافت آب		
https://www.aparat.com/v/yLp7u	کلینیک صنعت چهارم؛ شبکه های جمع آوری فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/FWHLm	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/xyr2O	مراسم افتتاحیه	اولین	
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی اول؛ نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب	همایش ملی	
https://www.aparat.com/v/LxjEw	به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور	مدیریت	
https://www.aparat.com/v/5c82a	نشست تخصصی دوم؛ رویکردهای برنامه ایمنی آب	کیفیت آب	
https://www.aparat.com/v/KnEdF	نشست تخصصی سوم؛ نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب	و سومین	۸
https://www.aparat.com/v/A5wkz	کلینیک صنعت اول؛ محور شبکه‌های توزیع آب و کاهش هدررفت	همایش ملی	
https://www.aparat.com/v/OgGXj	کلینیک صنعت دوم؛ محور بازیافت آب	مدیریت	
https://www.aparat.com/v/OB57I	کلینیک صنعت سوم؛ محور کیفیت آب	مصرف آب	
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	مراسم اختتامیه	(۱۴۰۰)	
https://www.aparat.com/v/B5Lle	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/4IJAS	نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی	چهارمین	
https://www.aparat.com/v/16VTE	نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به	کنگره علوم	
https://www.aparat.com/v/PupUv	تجربه همدان و شهرکرد	و مهندسی	
https://www.aparat.com/v/hr8Qs	نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری	آب و	۹
https://www.aparat.com/v/nRdX3	در صنعت و فضای سبز	فاضلاب	
https://www.aparat.com/v/kIHYq	کلینیک صنعت اول؛ محور کیفیت آب	ایران	
https://www.aparat.com/v/Uaun9	کلینیک صنعت دوم؛ محور شبکه‌های توزیع و هدررفت آب	(۱۴۰۱)	
https://www.aparat.com/v/jBUwJ	کلینیک صنعت سوم؛ محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/eotT5	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/qOUfQ	پیام آقای مهندس محمودیان		
https://www.aparat.com/v/GDMw7	کارگاه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/HuZRi	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/nCJOp	سخنرانی جناب آقای دکتر مهدی قاسمیه	دومین	
https://www.aparat.com/v/j90wr	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تابش	همایش ملی	
	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تجریشی	کیفیت آب	
	سخنرانی سرکار خانم دکتر سمیه رفیعی	و چهارمین	
	مراسم تجلیل از پیشکسوتان برگزیده	همایش ملی	
	نشست تخصصی اول؛ بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و	مدیریت	
	مداخلات انسانی بر کیفیت آب	مصرف آب	
	نشست تخصصی دوم؛ مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام	با رویکرد	
	صنایع به استفاده از پساب	کاهش	
	نشست تخصصی سوم؛ راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در	هدررفت و	
	کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی	بازیافت	
	کلینیک صنعت اول؛ طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب و	(۱۴۰۲)	
	مدیریت مصرف		
	کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب و پساب		
	کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و		
	صنعتی		
	مراسم اختتامیه		

لینک آپارات	موضوع (ارائه دهنده)	رویداد	ردیف
https://aparat.com/v/fhttc6r	مراسم افتتاحیه	پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۳)	۱۱
https://aparat.com/v/ylr1g40	نشست تخصصی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها		
https://aparat.com/v/wjprm10	نشست تخصصی کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب		
https://aparat.com/v/cawfci9	نشست تخصصی مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/wyioho8	کلینیک صنعت-محور طراحی و بهره‌برداری از شبکه توزیع آب و مدیریت مصرف		
https://www.aparat.com/v/bxcbjtu	کلینیک صنعت - محور تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی		
https://aparat.com/v/iyzomj1	مراسم اختتامیه		

کنفرانس‌های داخلی

سایت کنفرانس	تاریخ برگزاری	محل برگزاری	برگزارکنندگان	عنوان کنفرانس
https://iwwa-conf.ir/	۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴	دانشگاه شهید بهشتی (پردیس شهید عباسپور)	انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشگاه شهید بهشتی	سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت
https://ireconf13.scu.ac.ir	۷ تا ۹ بهمن، ۱۴۰۴	دانشگاه شهید چمران اهواز	دانشگاه شهید چمران اهواز	سیزدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه

کنفرانس‌های خارجی

سایت کنفرانس	تاریخ برگزاری	محل برگزاری	عنوان کنفرانس
https://waterenergynexus.org/	17 Feb 2026	United Arab Emirates	Water Energy Nexus – Supported
https://iwa-wwtac-2026.sciencesconf.org/	22 - 24 Feb 2026	Italy Naples	6th IWA International Symposium on Water, Wastewater and Environment in Ancient Civilizations
https://www.iwabiofilmreactors26.com/event/bf5b8fcc-0e6b-4868-a194-17eac7f3aec1/summary	16 - 19 Mar 2026	Alabama / United States	Biofilms The International Water Association (IWA)
https://iwareuse2025.com/	16 - 20 Mar 2026	Cape Town /South Africa	14th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse
https://www.waterboard.lk/conference/iwa/	23 - 25 Mar 2026	Sri Lanka Ratmalana	IWA Water Safety Conference & Exhibition 2026
https://iwa-aop.org/	8-10 Apr 2026	Frankfurt /Germany	7th IWA Specialist Group Conference Advanced Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment and Recycling
http://www.waterloss2026.com/	25 - 28 Apr 2026	Brazil Rio de Janeiro	Water Loss 2026
https://wses2025.dryfta.com/	25-28 May 2026	Rotterdam /Netherlands	Congress Water Smart Economy & Society 2025 (WSSES2025)- Supported
https://www.micropol2026to.org/	31 May 2026 - 04 Jun 2026	Canada Toronto	14th Micropol and Ecohazard Conference 2026
https://www.wrrmod26.cat/	14 - 18 Jun 2026	Spain Barcelona	10th Water Resource Recovery Modelling Seminar



دانشگاه شهید بهشتی تهران

3rd National Conference on Water Quality Management & 5th National Conference on Water Consumption Management with Loss Reduction and Reuse Approach

2-4 Dec. 2025
Abbaspour School of Engineering
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran



انجمن آب و فاضلاب ایران

همایش ملی مدیریت کیفیت آب و همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت

۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴
پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور
دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محورهای همایش

- رویکردهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و حقوقی در مدیریت مصرف و استفاده از پساب
- تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی
- ارزیابی و آسیب‌شناسی روش‌های جایگزین در مدیریت کیفیت آب
- کاهش مصرف و ارتقای بهره‌وری آب در بخش صنعت
- سیلاب‌های شهری و مدیریت رواناب‌های سطحی
- فناوری‌های ساده و ارزان قیمت بازیافت پساب
- مدیریت و راهبردی تصفیه‌خانه‌های آب
- پیوند آب-انرژی در بازیافت پساب
- فناوری‌های نو در حوزه بازیافت
- مدیریت هوشمند کیفیت آب
- اقتصاد و کیفیت آب
- برنامه‌ایمنی آب
- هدررفت واقعی، ظاهری و مصارف مجاز بدون درآمد در شبکه‌های توزیع آب
- تأثیرات محیط‌زیستی پساب دستگاه‌های آب شربین‌کن بر کیفیت آب
- مدیریت فاضلاب و بسماند حاصل از فرایندهای بازیافت
- آلاینده‌های ویژه و نوظهور در آب آشامیدنی و پساب
- استانداردها و ضوابط کمی و کیفی آب و فاضلاب
- استفاده ایمن از پساب و کاهش ریسک آن
- مدیریت و بازیافت زهاب‌های کشاورزی
- مدیریت هوشمند شبکه‌های توزیع آب
- پایش کمی و کیفی پساب بازیافتی
- پایش کیفی اکوسیستم‌ها
- مدیریت مصرف آب

محور ویژه

- عوامل و چالش‌های ناترازی در بخش آب و تاثیر آن بر تاب‌آوری شهری



مهلت ارسال مقالات کامل: ۵ مهرماه ۱۴۰۴

۳۰ مهرماه ۱۴۰۴

۵ آبان‌ماه ۱۴۰۴



آدرس دبیرخانه: تهران، حکیمیه، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور،
دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست
تلفن: ۰۲۱-۷۷۳۲۸۱۶ / ۰۲۱-۷۷۳۲۸۱۶
تلفگرام / واتساپ / اینستا: ۰۹۹۱۸۹۱۴۷۵

iwwa-conf.ir
irwwa.conf@gmail.com
t.me/iwwa_conf
Instagram.com/irwwa.ir





فراخوان دهمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

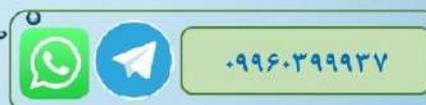
۱۰

ویژه دانش آموختگان سال‌های ۱۴۰۱ به بعد



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

از علاقه‌مندان دعوت می‌شود تا برای شرکت در مسابقه، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۴** با مراجعه به سایت انجمن به نشانی IRWWA.IR، اقدام به دریافت فرم شرکت در مسابقه نموده و پس از تکمیل، فرم مربوطه را همراه با فایل پایان نامه و مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود، به آدرس ایمیل مسابقات انجمن به نشانی "iwwa.competitions@gmail.com" ارسال نمایند. جوایز نفرات اول تا سوم در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، هم‌زمان با برگزاری "سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب" که از ۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴ در پردیس شهید عباسپور دانشگاه شهید بهشتی برگزار می‌شود، اعطا می‌شود.





ششمین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۴



یادواره

مهندس سیدعلی محمودیان

آخرین مهلت ثبت نام: **۲۴ بهمن ماه ۱۴۰۴**

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۳۰ بهمن ماه ۱۴۰۴

مرحله دوم: به صورت تشریحی

(متعاقباً اعلام می شود)

داوطلبان می توانند در **یک یا هر دو بخش** زیر، به انتخاب خود

در المپیاد شرکت کنند:

❖ گزینه اول: طراحی و بهره برداری شبکه های آب، فاضلاب و آب سطحی

❖ گزینه دوم: فرآیندهای تصفیه، طراحی و بهره برداری تصفیه خانه های

آب و فاضلاب

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

✚ برای اطلاع از آخرین تغییرات آیین نامه برگزاری المپیاد به سایت انجمن

مراجعه فرمایید.

✚ شرکت در المپیاد، برای عموم دانشجویان در تمامی مقاطع و متخصصین

صنعت آب و فاضلاب مجاز است.

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۱۵۰ هزار تومان

سایرین: ۲۰۰ هزار تومان



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

علاقه مندان می توانند برای کسب اطلاعات بیشتر به

وبسایت **انجمن آب و فاضلاب ایران** مراجعه کنند و یا

با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند.



مهلت ارسال ایده
۳۰ بهمن ماه ۱۴۰۴

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

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

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

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

iwwa.competitions@gmail.com

ارسال فرمایید.

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به وبسایت انجمن آب و فاضلاب

ایران مراجعه کنید و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایید.





تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب

Oral History of
Water and waste water
Industry of IRAN
Iran water and waste water
association
<https://www.irwwa.ir>

برابر اولین بار ثبت تاریخ
صنعت آب و فاضلاب از
دریچه دوربین ما از زبان خبرگان
ایستاد صنعت



[www.youtube.com
/@ohiwwa-l6d](https://www.youtube.com/@ohiwwa-l6d)

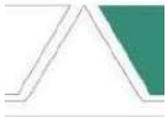


https://t.me/OH_iwwa



[https://www.aparat.com
/OH_iwwa](https://www.aparat.com/OH_iwwa)

لوگو	سطح عضویت	نام شرکت
 شرکت آب و فاضلاب استان تهران	الماسی	شرکت آب و فاضلاب استان تهران
 وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (با نام تخصصی) شرکت آب و فاضلاب کاشان	الماسی	شرکت آب و فاضلاب کاشان
 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی	الماسی	شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی
 شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی	الماسی	شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی
 بانک مسکن	الماسی	بانک مسکن
 شرکت میراب	الماسی	شرکت میراب
 آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir	الماسی	مهندسين مشاور آبساران
 وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (با نام تخصصی) شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	الماسی	شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان
 مهندسین مشاور طرح و تحقیقات اصفهان	الماسی	مهندسین مشاور طرح و تحقیقات اصفهان
 شرکت فرآیند ارقام پرداز	الماسی	فرآیند ارقام پرداز
 شرکت آب و فاضلاب قزوین	طلایی	شرکت آب و فاضلاب استان قزوین

<p>وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور</p>  <p>شرکت آب و فاضلاب استان فارس</p>	<p>طلایی</p>	<p>شرکت آب و فاضلاب استان فارس</p>
 <p>شرکت فناور ایمن لوتوس</p>	<p>طلایی</p>	<p>فناور ایمن لوتوس</p>
 <p>TAVANA</p>	<p>طلایی</p>	<p>شرکت مهندسی خطوط لوله توانا</p>
	<p>طلایی</p>	<p>شرکت پارس رهاب شبکوه</p>
 <p>UMMAB عمران میادین آب (سهامی خاص) عضو گروه متکو</p>	<p>طلایی</p>	<p>شرکت عمران میادین آب</p>
 <p>مهندسین مشاور پارس آراین آب</p>	<p>نقره‌ای</p>	<p>مهندسین مشاور پارس آراین آب</p>
 <p>پویاک</p>	<p>نقره‌ای</p>	<p>پویاک</p>
 <p>صنایع واكيموم پارس</p>	<p>نقره‌ای</p>	<p>صنایع و کیوم پارس</p>
<p>مهندسین مشاور</p>  <p>آبران</p>	<p>نقره‌ای</p>	<p>مهندسین مشاور آبران</p>
 <p>زعدآب</p>	<p>نقره‌ای</p>	<p>خدمات مهندسی برق و الکترونیک رعدآب</p>
 <p>Persia Optimized Designing شرکت بهینه طراحی پرشیا</p>	<p>برنزی</p>	<p>بهینه طراحی پرشیا</p>
 <p>مهندسین مشاور زاینده‌آب سهامی خاص ZAYANDAB CONSULTING ENGINEERS CO.</p>	<p>برنزی</p>	<p>زاینده‌آب</p>

 <p>شرکت آب و فاضلاب استان تهران</p>	برنزی	شرکت آب و فاضلاب غرب استان تهران
 <p>شرکت آب منطقه ای تهران</p>	برنزی	شرکت آب منطقه ای تهران
 <p>شرکت سهامی آب منطقه ای مازندران Regional Water Company of Mazandaran</p>	برنزی	شرکت آب منطقه ای مازندران
	برنزی	مهندسين مشاور يكم
 <p>هپیکو Hapico</p>	برنزی	خط لوله هامون (هپیکو)

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.

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

مبلغ (ریال)	نوع
۲۰۰۰۰۰۰۰	۱ صفحه در یک شماره
۴۰۰۰۰۰۰۰	۲ صفحه در یک شماره
۹۰۰۰۰۰۰۰	۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*
۱۲۰۰۰۰۰۰۰	۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

حق عضویت اعضای حقیقی

مبلغ (ریال)	نوع
۱۲۰۰۰۰۰	حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ (به‌ازای هر سال)
۳۵۰۰۰۰۰	حق عضویت دو ساله (۱۴۰۴ - ۱۴۰۵)
۶۰۰۰۰۰۰	حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۴ - ۱۴۰۷)
۲۰۰۰۰۰۰	حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۴ - ۱۴۰۵)
۲۰۰۰۰۰۰۰	عضویت دائمی

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

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

جدول مزایای اعضای حقوقی طرح جدید

الماسی (سالانه ۲۵) (میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۲۰) (میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۱۵) (میلیون تومان)	برنزی (سالانه ۱۰) (میلیون تومان)	سطح عضویت (مبلغ پرداختی)	مزایای عضویت
۱۵	۱۲	۸	۵	دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در ذیل جدول شرح داده شده است)	
*	*	*	*	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 همایش‌های سالانه انجمن در مدت زمان عضویت (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)	
*	*	*	*	امکان انتقال ۵۰٪ از اعتبار باقیمانده به سال بعد (در صورت تمدید عضویت)	
*	*	*	*	امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس پروژه‌ها و عملکرد محصولات و ...) مشترک با انجمن (پس از ارائه پروپوزال و انجام هماهنگی‌های لازم) در مدت زمان عضویت	
*	*	*	*	دریافت گواهی عضویت دوزبانه	
*	*	*	*	دریافت پرچم رومی‌زی انجمن آب و فاضلاب ایران	

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

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

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

عضو حقیقی	مزایای عضویت
٪۲۰	تخفیف شرکت در همایش‌های انجمن
٪۲۰	تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن
٪۲۰	تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن
٪۱۰	تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

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

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

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

❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013 یا بالاتر

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

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

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

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

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

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

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

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

❖ چکیده فارسی:

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

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

❖ متن مقاله:

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

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

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

❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

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

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

- در صورتی که در مقاله از عکس استفاده شده باشد، ارسال فایل اصلی آن الزامی است.

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

❖ معادلات:

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

❖ مراجع:

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

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

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

در نگارش انواع مراجع از فرمت زیر استفاده شود:

• مقاله فارسی:

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

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 به جای نویسنده:

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

• مقالات کنفرانسی:

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

• پایان نامه:

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

• سایت اینترنتی:

Burka, L.P., (2003), "A hypertext history of multiuser dimensions", Viewed 5 Dec. 2015, <http://www.ccs.neu.edu/>

دستورالعمل استفاده از هوش مصنوعی و مدل‌های زبانی

در تهیه مقالات

مقدمه

در جهان امروز که هوش مصنوعی و مدل‌های زبانی به‌طور گسترده در دسترس پژوهشگران و متخصصان قرار گرفته‌اند، نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب با هدف راهنمایی و حمایت از پژوهشگران، دستورالعملی را برای استفاده صحیح و

مسئولانه از این فناوری‌ها تهیه کرده است. این دستورالعمل، یک راهنمای جامع و توصیه‌ای است که به نویسندگان کمک می‌کند تا از مزایای هوش مصنوعی در پژوهش‌های خود بهره ببرند، بدون این‌که به اصالت و کیفیت علمی مقاله‌ها آسیبی وارد شود. مفاد این دستورالعمل به شرح زیر است:

۱- استفاده از هوش مصنوعی به‌عنوان دستیار پژوهشی و

ابزار ویرایش

- پژوهشگران می‌توانند از مدل‌های هوش مصنوعی برای بهبود کیفیت زبانی و نگارشی مقاله استفاده کنند. از این فناوری‌ها می‌توان برای ویرایش و تصحیح متن، بهبود وضوح و روانی نوشتار و همچنین سازمان‌دهی بخش‌های مختلف مقاله بهره گرفت.
- به‌کارگیری هوش مصنوعی به‌عنوان یک ابزار کمک‌رسان در مراحل ابتدایی نگارش مقاله و ساختار بندی محتوا نیز مورد پذیرش است. این مورد شامل تنظیم متن به‌صورت حرفه‌ای و استفاده از ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای جستجوی سریع منابع و مفاهیم مرتبط با موضوع پژوهش است.

۲- پرهیز از استفاده از هوش مصنوعی در تولید داده‌ها و

نتایج پژوهشی

- تولید داده‌های پژوهشی و انجام تحلیل‌های اصیل و دقیق علمی باید به‌طور کامل توسط پژوهشگران و با استفاده از روش‌های علمی و قابل‌اعتماد صورت گیرد. استفاده از مدل‌های زبانی و هوش مصنوعی برای تولید داده‌های فرضی، شبیه‌سازی داده‌ها و یا تولید نتایج پژوهشی که به‌صورت مستقل قابل تأیید نیستند، غیر قابل قبول است و ممکن است موجب گمراهی علمی شود.
- استخراج نتایج و انجام تحلیل‌های نهایی پژوهشی نیز باید تنها با ابزارهای تحقیقاتی و روش‌های معتبر علمی انجام شود. استفاده از هوش مصنوعی برای نتیجه‌گیری یا تفسیر یافته‌های پژوهشی پذیرفته نیست، چرا که امکان دارد به نتایجی غیرقابل اتکا منجر شود.
- نویسندگانی که از ابزارهای هوش مصنوعی به‌منظور نوشتن چکیده، تولید تصاویر، شکل‌ها و یا در جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده می‌کنند، باید در افشای مواد و روش‌های به‌کار رفته در مقاله شفاف باشند. یعنی این‌که چگونه و از کدام یک از ابزارهای هوش مصنوعی استفاده نموده‌اند.

۳- شفاف‌سازی در مورد استفاده از هوش مصنوعی

- در صورتی که از هوش مصنوعی در تهیه مقاله استفاده شده باشد، توصیه می‌شود نویسندگان در بخش «تقدیر و تشکر» یا در بخشی جداگانه مانند «استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی» به این موضوع اشاره کنند. این شفاف‌سازی به خوانندگان کمک می‌کند تا از جنبه‌هایی که هوش مصنوعی در تهیه مقاله کمک کرده است آگاه باشند و هم‌زمان اصول شفافیت علمی حفظ شود. به‌عنوان مثال، نویسندگان می‌توانند توضیح دهند که از هوش مصنوعی برای ویرایش زبانی، اصلاح نگارشی، یا ساختاربندی مقاله استفاده کرده‌اند و بخش‌هایی از مقاله که به‌واسطه ابزارهای هوش مصنوعی بهبود یافته است را به‌صورت مختصر معرفی کنند. این اقدام هم به پژوهشگران و هم به داوران اطمینان می‌دهد که تمامی داده‌ها و تحلیل‌های علمی به‌طور مستقل و توسط نویسندگان تهیه شده است.
- صحت، اعتبار و تناسب محتوا و هرگونه استناد ایجاد شده توسط هوش مصنوعی بررسی شود و هرگونه خطا یا تناقض اصلاح شود.

۴- استفاده از هوش مصنوعی در جستجوی منابع علمی

- از مدل‌های هوش مصنوعی می‌توان به‌عنوان یک ابزار کمک‌رسان در جستجوی منابع معتبر و علمی بهره برد. پژوهشگران مجازند از ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای یافتن مقالات و کتب مرتبط با موضوع پژوهش خود استفاده کنند به شرط آن‌که اصالت و اعتبار منابع انتخاب شده را به‌صورت دقیق بررسی نمایند.
- نویسندگان باید توجه داشته باشند که تنها از منابع معتبر علمی و پایگاه‌های داده‌ای قابل‌اعتماد استفاده کنند و از استناد به منابعی که ممکن است اعتبار علمی کافی نداشته باشند و یا به‌صورت مصنوعی توسط مدل‌های زبانی تولید شده باشند، بپرهیزند. بدین ترتیب، هوش مصنوعی تنها به‌عنوان ابزاری برای تسهیل جستجو و گردآوری منابع معتبر عمل می‌کند و اصالت منابع به دقت بررسی می‌شود.

۵- حفظ استقلال علمی پژوهشگران و اصالت تحقیقات

- پژوهشگران باید تمامی مراحل اصلی تحقیق، از جمله طراحی آزمایش، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل یافته‌ها و نتیجه‌گیری نهایی را به‌صورت مستقل و با دانش تخصصی خود انجام دهند. استفاده از هوش مصنوعی نباید به‌گونه‌ای باشد که نقش اصلی پژوهشگر در تولید علم و تحلیل علمی تحت تأثیر قرار گیرد.

- مدل‌های هوش مصنوعی موجود در حال حاضر کاملاً عینی یا واقعی نیستند. نویسندگانی که از هوش مصنوعی برای نوشتن تحقیقات خود استفاده می‌کنند باید تمام تلاش خود را برای اطمینان از صحت خروجی‌ها انجام دهند و منابع ارائه شده، منعکس کننده ادعاهای مطرح شده باشند.

۶- مسئولیت‌پذیری نویسندگان در برابر محتوا

- نویسندگان به‌عنوان مسئول اصلی محتوای علمی مقاله، وظیفه دارند که اطمینان حاصل کنند تمامی داده‌ها و تحلیل‌های ارائه‌شده اصیل و مستقل هستند. هوش مصنوعی نباید در تولید داده‌های علمی یا نتیجه‌گیری‌های پژوهشی جایگزین کار اصلی پژوهشگر شود و در صورت استفاده از هوش مصنوعی برای جنبه‌های پشتیبانی، لازم است شفافیت در این خصوص حفظ شود. نویسندگان مسئول محتوای دست‌نوشته خود هستند، حتی آن قسمت‌هایی که توسط یک ابزار هوش مصنوعی تولید شده است. در نتیجه باید در قبال هرگونه نقض اصول اخلاقی در انتشار آن پاسخگو باشند.

نتیجه‌گیری

این دستورالعمل با هدف حمایت از اصول علمی و حفظ اصالت پژوهش‌ها در نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب تنظیم شده است. ما به‌عنوان یک نشریه علمی، به کاربردهای مثبت و مسئولانه هوش مصنوعی به‌عنوان دستیار پژوهشی احترام می‌گذاریم و استفاده از این ابزارها را به شرط رعایت دقیق اصول علمی و تحقیقاتی توصیه می‌کنیم. از نویسندگان دعوت می‌شود که با رعایت این توصیه‌ها، ضمن بهره‌گیری از فناوری‌های جدید، بر اصالت و کیفیت پژوهش‌های خود تمرکز کنند تا مقالاتی با ارزش علمی بالا و دارای صحت و اعتبار منتشر شود.

❖ تذکر مهم:

براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۴ به مجله ارسال می‌شود باید مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ پنج 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. 10, No. 3, Autumn 2025

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 Yazdi, J. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
-------------------------	---



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
--	--

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



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 10, No. 3, Autumn 2025

Preface (Factors Affecting the Intensification of Water Stress in the Country) Dr. Banafsheh Zahraei	2
<u>Papers</u>	
Investigating the Amount of Microplastics in Wastewater Treatment Plant Effluent and Sludge and the Efficiency of Units in Removing Microplastics Masoume Taherian, Afshin Takdastan, Reza Dehbandi, Nematolah Jafarzadeh Haghhighifard and Mohammadjavad Mohammadi	3
Quantitative and Qualitative Study of the Reuse of Drainage Effluents in the Western Areas Leading to the Caspian and Central Seas in Golestan Province Monireh Faghani and Mohammad Nouri	11
Investigation of the Effect of Changes in Parameters of the Double Pass Solar Air Collector on the Water Production Rate in the Solar Still Coupled with the Air Heater Parisa Azari, Arash Mirabdollah Lavasani, Nader Rahbar and Kamyar Mohammadi	19
Leak Localization in Water Supply Networks through a Calibration Approach Using the Grasshopper Optimization Algorithm and K-means Clustering Integrated with the Genetic Algorithm Reza Moasheri, Reza Ahmadi Kohanali and Mohammadreza Jalili Ghazizadeh	29
Feasibility Study of Water Consumption Reduction Strategies in Thermal Power Plants: A Case Study of Shahid Madhej Power Plant Hossein Sasani and Shahrzad Ehsanmanesh	47
Investigation of Optimal Growth Conditions of Scenedesmus Obliquus Microalgae and its Potential to Remove Polypropylene Microplastics from an Aqueous Environment Reyhane Fallah, Roya Mafigholami, Omid Tavakoli and Hamid Moghimi	57
<u>General Section</u>	
Conference Report	68
Best Idea	82
Book Presentation	90
IWWA News	91