



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ششم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ششم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

۲

مقالات علمی

۴

بررسی روش‌های بهبود کیفیت بیوگاز تولیدی در فرآیند هضم بی‌هوازی
صبا کشت پور و مریم عباسی

۱۶

بررسی شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب تصفیه‌خانه پردیس
فرزانه فریدی‌راد و معصومه قلی‌نژاد

۲۵

بررسی کارایی واحد ته‌نشینی مجهز به صفحات بافل‌دار در حذف کدورت آب در شرایط سیلابی
عباس حسینی و نوید نوربخش

۳۶

تدوین روش تحلیل ریسک چندشاخصه استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف
جواد شفیعی نیستانک، عباس روزبهانی و سید ابراهیم هاشمی گرم دره

۴۷

حل عددی معادله جابه‌جایی-پراکندگی با روش عددی بدون شبکه پتروو-گالرکین
(مطالعه موردی: رودخانه مری‌پرن)
زکيه غلامی، مهدی یاسی، آرزو نازی قمشلو و مهدی مظاهری

۵۸

کاهش دامنۀ فشاری و ایجاد لایه هم‌فشار با کمک نصب شیرهای فشارشکن
عابدین ساجدی

مطالب عمومی

۶۷

مصاحبه

۷۰

میزگرد

۸۰

پایان‌نامه برتر

۸۲

معرفی کتاب

۸۴

گزارش فعالیت‌های انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

این نشریه دارای مجوز کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، به شماره ۱۲۹/۳/۱۸/۲۹۰ 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 حمیدرضا صفوی

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 تكدستان: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاپور اهواز

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

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

دکتر دراگان ساویچ: استاد، دانشگاه اگزتر، لندن

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

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

بازیافت آب

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

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

دکتر راضیه فرمانی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان

دکتر اورازیو گیوستولیسی: استاد، دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا

دکتر سیمین ناصری: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

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

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

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

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

ناهید اختری

ناهید اختری، مهندس سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

فرشیوه

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه



شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

چاپ:

پیشگفتار..... ۲

مقالات علمی

۴..... بررسی روش‌های بهبود کیفیت بیوگاز تولیدی در فرآیند هضم بی‌هوازی
صبا کشت‌پور و مریم عباسی

۱۶..... بررسی شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب تصفیه‌خانه پردیس
فرزانه فریدی‌راد و معصومه قلی‌نژاد

۲۵..... بررسی کارایی واحد ته‌نشینی مجهز به صفحات بافل‌دار در حذف کدورت آب در شرایط سیلابی
عباس حسینی و نوید نوربخش

۳۶..... تدوین روش تحلیل ریسک چندشاخصه استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف
جواد شفیعی نیستانک، عباس روزبهانی و سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره

۴۷..... حل عددی معادله جابه‌جایی-پراکندگی با روش عددی بدون شبکه پتروو-گالرکین
(مطالعه موردی: رودخانه مری‌پرن)
زکيه غلامی، مهدی یاسی، آرزو نازی قمشلو و مهدی مظاهری

۵۸..... کاهش دامنه فشاری و ایجاد لایه هم‌فشار با کمک نصب شیرهای فشارشکن
عابدین ساجدی

مطالب عمومی

۶۷..... مصاحبه

۷۰..... میزگرد

۸۰..... پایان‌نامه برتر

۸۲..... معرفی کتاب

۸۴..... گزارش فعالیت‌های انجمن



برنامه ایمنی آب، فرصت‌ها و چالش‌ها



دکتر حامد محمدی

مدیر گروه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE)،

دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان

دسترسی به آب سالم و ایمن یکی از شاخص‌های توسعه پایدار به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که در منشور حقوق بشر، این مقوله از حقوق اساسی انسان به‌شمار رفته است. آب به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین نیازهای انسان همواره مورد توجه بوده و کیفیت آن یکی از مباحث حائز اهمیت در سلامتی انسان است. مخاطرات مختلف طبیعی، انسان ساخت و عملکردی همواره بخش‌های مختلف سیستم تامین و توزیع آب شرب را تهدید نموده است. براساس آمار ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی، علی‌رغم دسترسی بیشتر جوامع به خدمات سلامت، سالانه حدود ۲ میلیون نفر در اثر بیماری‌های منتقله از آب جان خود را از دست می‌دهند. سازمان جهانی بهداشت، آب آشامیدنی غیر ایمن را یکی از نگرانی‌های عمده سلامت در جهان دانسته، و به‌عنوان یک ریسک فاکتور قابل پیشگیری و کنترل، که سبب بیماری و مرگ و میر به‌ویژه در جوامع در حال توسعه، معرفی نموده است.

در جهان امروز، ارزیابی و مدیریت جامع خطر، رویکردی قابل توجه برای شناسایی خطرات و تهدیدها، آنالیز آسیب‌پذیری، انتخاب اقدام اصلاحی مفید و موثر و درنهایت به‌عنوان نقشه راه برای توسعه، معرفی و محرز شده است. از آنجایی‌که روش‌ها و سیستم‌های کنترل و بازرسی سنتی، با رویکرد کنترل محصول نهایی، به‌دلیل گذشته‌نگر بودن آن و این امر که تنها منجر به تشخیص آلودگی شده، و نقشی در پیشگیری و کنترل و کاهش آلودگی تا حد قابل قبول ندارد و از طرفی این روش‌ها به لحاظ فنی و اقتصادی قابل توجه نیست، لذا سازمان جهانی بهداشت و انجمن بین‌المللی آب، "برنامه ایمنی آب" را به‌عنوان نقشه راه برای استفاده دولت‌ها و سازمان‌های متولی تامین و توزیع آب

آشامیدنی اجتماعات ارائه نمودند. گستره برنامه ایمنی آب از حوضه آبریز، سامانه‌های تصفیه و انتقال و توزیع آب تا مصرف‌کننده را دربر می‌گیرد. سه جزء ضروری این برنامه شامل ارزیابی سیستم از مبدا تا مقصد، پایش عملیاتی نظارت اجرایی و برنامه‌های مدیریتی موثر و هم‌چنین ارائه اسناد و مدارک و ارتباطات است. سازمان جهانی بهداشت (WHO) در سال ۲۰۰۴ در ویرایش سوم رهنمود کیفیت آب آشامیدنی، برنامه ایمنی آب (WSP) را به‌عنوان موثرترین روش برای اطمینان پایدار از ایمنی یک سیستم تامین آب آشامیدنی معرفی کرد که این راه‌کار مبتنی بر ارزیابی جامع خطر و مدیریت آن است. در سال ۲۰۰۹ در اجلاس اجرای برنامه ایمنی آب برای تضمین کیفیت و پایداری سیستم‌های تامین آب آشامیدنی در منطقه شرق مدیترانه (EMRO) بخش بهداشت، کشورهای منطقه را به‌عنوان مسئول توسعه و تسهیل اجرای برنامه ایمنی آب با هماهنگی سازمان‌ها و نهادها و تصمیم‌گیران موثر در مدیریت کیفیت آب، معرفی کرد. جمهوری اسلامی ایران روند توسعه و بهبود سیستم‌های تامین آب شرب اجتماعات کوچک و بزرگ را همواره سرلوحه اقدامات خود داشته و اقدامات مفید و موثری در این خصوص انجام داده است. براساس اسناد بالادستی، در سند چشم‌انداز و در برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی اول تا ششم، توجه لازم به این مقوله شده است. در سند چشم‌انداز تاکید بر ارزیابی و مدیریت خطر نمایان است. سند راهبرد ملی بهبود کیفیت آب شرب در سال ۱۳۹۰ تدوین شد. هدف هفتم این سند، همه سازمان‌های مسئول و تاثیرگذار در کیفیت آب آشامیدنی را ملزم نموده است که در اجرای برنامه ایمنی آب، مشارکت فعال داشته باشند. بخشنامه اجرای برنامه ایمنی آب در شرکت‌های آب و فاضلاب در فروردین ۱۳۹۳ ابلاغ و مقرر شد کلیه شرکت‌های آب و فاضلاب شهری به‌صورت سالانه در اجرای این برنامه مورد ارزیابی قرار گرفته و شرکت‌های برتر معرفی شوند. در این راستا، کمیته فنی برنامه ایمنی آب در سطح ملی و استانی و هم‌چنین کارگروه ممیزی برنامه ایمنی آب در سال ۱۳۹۹ تشکیل شدند. به لحاظ اجرایی، در سال ۱۳۸۶ اولین کارگاه منطقه‌ای WSP برگزار و در سال ۱۳۸۹ نیز اولین پایلوت آن اجرا شد. براساس گزارشات مندرج در رپورتال مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، تاکنون در ۱۳۴ شهر از استان‌های مختلف کشور این برنامه اجرا شده که از بین آن‌ها، ۱۰ شهر موفق به دریافت گواهینامه شده‌اند. مانند دیگر کشورها، این برنامه نیز با چالش‌هایی روبرو بوده است. برای بررسی دقیق چالش‌ها، به پژوهش‌های متعددی نیاز است. براساس تجربیات به‌دست آمده و هم‌چنین یافته‌های پژوهش‌های دانشجویی و نشست‌های

علاوه بر موارد فوق، چالش‌های دیگر کشورها توسط سازمان جهانی بهداشت منتشر شده و در دسترس است. از سوی دیگر، برنامه ایمنی آب فرصت‌هایی را نیز ایجاد کرده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- برنامه ایمنی آب یک پروژه با توجیه اقتصادی و فنی و هزینه‌های اجرای برنامه و اقدامات کنترلی در درازمدت است و منافعی بیش از هزینه‌ها از آن حاصل خواهد شد. چرا که دستاورد اجرای آن علاوه بر سلامت و رفاه مردم، منجر به کنترل مخاطراتی می‌شود که سبب کنترل آلاینده‌های محیط زیست و حصول ایمنی عمومی خواهد شد. این برنامه نمودی از اجرای اقتصاد مقاومتی در بخش تامین آب اجتماعات است.

۲- نتایج حاصله از برنامه ایمنی آب راهنمای بسیار خوبی برای اجرای رویکرد ارزیابی و مدیریت خطر در سایر بخش‌ها مانند سیستم‌های جمع آوری، تصفیه و دفع فاضلاب، که هم اکنون رهنمود ابزار آن نیز ارایه شده، است. علاوه بر این اجرای مدول‌های این برنامه در سیستم جمع‌آوری و دفع پسماند اجتماعات، کنترل آلودگی هوا و غیره که البته با تغییرات جزئی، عملی و کارساز است.

۳- در این برنامه تمرکز بر اقدامات پیشگیرانه است.

۴- این برنامه سبب تعامل و هماهنگی و کار گروهی بین بخشی و بخشی است.

تخصصی، در زیر به تعدادی از این چالش‌ها اشاره می‌شود:

۱- توجه کمتر تصمیم‌سازان و مسئولین در سطح ملی و هم‌چنین در سطوح استانی به راهبرد ارزیابی و مدیریت خطر و اهتمام بیشتر بر مواجهه و مقابله در راستای رفع مشکلات مردم. شناخت، درک خطر و تقویت حاکمیت و رهبری برای مدیریت خطر منجر به تاب آوری و آمادگی بیشتر برای مقابله خواهد شد. رویکرد برنامه ایمنی آب بر ارزیابی و مدیریت جامع خطر استوار است.

۲- در اولویت قرار ندادن اقدامات پیشگیری و کاهش خطر. اساس کار برنامه ایمنی آب بر این مقوله استوار است.

۳- عدم توجه به توجیه فنی و اقتصادی در اولویت‌های اقدامات کنترلی. اجرای برنامه ایمنی آب در درازمدت به لحاظ فنی و متعاقب آن منجر به بهره‌وری بیشتر و در نهایت صرف هزینه‌های کمتر خواهد شد.

۴- تمرکز سازمان‌ها و نهادهای مختلف بر وظایف و مسئولیت‌های همان دستگاه و نبود ساز و کار هماهنگی و تعامل موثر بین آن‌ها. در اجرای برنامه ایمنی آب، نقش ذی‌نفعان بسیاری حائز اهمیت است. علاوه بر بخش سلامت و دستگاه‌های متولی تامین آب شرب، در اجرای این برنامه بخش‌های صنعت، کشاورزی، نفت، محیط‌زیست، مدیریت شهر و روستا، هواشناسی و غیره و از همه مهم‌تر مصرف‌کنندگان باید تحت مدیریت واحد، به وظایف مرتبط به‌خود عمل نمایند. مشارکت، هم‌افزایی، جریان‌سازی در ابعاد مختلف در اجرای این برنامه بین ذی‌نفعان اعم از بخش‌های دولتی، خصوصی و مشاوران و غیره ضروری است. اجرای مفید برنامه ایمنی آب تعامل، مشارکت و کار گروهی را طلب می‌کند.

۵- عدم وجود یک سیستم متمرکز برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها در کلیه بخش‌ها، که سبب کمبود داده در بخش‌های مختلف شده است، هم‌چنین عدم امکان دسترسی به داده‌های یک بخش توسط دیگر بخش‌ها. در برنامه ایمنی آب برای شناسایی مخاطرات، استفاده از داده‌های پردازش شده و تبدیل آن به اطلاعات ضروری است.

۶- کم‌توجهی به نظارت مستمر و ساختارمند و هم‌چنین تجدیدنظر و لزوم بازبینی برنامه‌ها. در راهنمای برنامه ایمنی آب چارچوب و ساختار این مقوله به‌وضوح بیان شده است. اما دست‌اندرکاران امور اجرایی رغبت زیادی به این امر ندارند.

۷- توجه کم به مستندسازی و عدم انتشار درس آموخته‌ها. دسترسی به نقاط منفی و مثبت در اجرای برنامه ایمنی آب منجر به تبادل تجربیات بین دست‌اندرکاران خواهد شد.

Review Paper

مقاله مروری

**Investigating Methods for Improving the
Biogas Quality from Anaerobic Digestion
Process**

**بررسی روش‌های بهبود کیفیت بیوگاز تولیدی در
فرآیند هضم بی‌هوازی**

Saba Keshtpour¹ and Maryam Abbasi^{2*}

صبا کشت‌پور^۱ و مریم عباسی^{۲*}

1- MSc Student of Civil and Environment Engineering,
Faculty of Civil, Water, and Environmental Engineering,
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

۱- دانشجوی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط
زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

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

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید
بهشتی، تهران، ایران.

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

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

Received: 27/12/2020

Revised: 26/02/2021

Accepted: 03/03/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۷

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

As a result of high volume pollution produced by the fossil fuels, different researches have been done to find out the alternative energy sources. The renewable energy is one of the most important sources, due to its economic efficiency, easy operation and low pollution. Wastewater treatment plants with anaerobic digestion treat wastewater and produce industrial raw materials and biogases. The combustion engines can use biogas (methane) to generate energy. The effective environmental factors and innovations in improving the design of the different equipment in waste water treatment plants can be identified through assessing the quality of biogases produced by different sludge and wastes and how inflow carbohydrates and proteins affect the quality of the biogases from an anaerobic digestion system. Biogas quality improvement methods have been divided into three categories; upstream, mainstream and downstream strategies. Due to ease the operation, the high efficiency and economic justification, the mainstream strategies are more confident than others in the wastewater industry. Investigating the process of anaerobic digestion and various methods to increase the quality of biogas, this article aimed at examining the effective factors of anaerobic digestion and compared different methods to improve the quality of biogas.

تأمین انرژی صنایع مختلف از سوخت‌های فسیلی موجب تولید حجم گسترده‌ای از آلاینده‌ها در جهان شده است؛ به همین علت تحقیقات گسترده‌ای برای یافتن منابع انرژی جایگزین صورت گرفته است. استفاده از منابع تجدیدپذیر به علت صرفه‌ی اقتصادی، سهولت در بهره‌برداری و آلودگی محیط‌زیستی پایین از جمله روش‌های نوین تأمین انرژی است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با بهره‌گیری از تجهیزات هضم بی‌هوازی علاوه بر تصفیه فاضلاب و تأمین برخی از مواد اولیه صنایع با تولید بیوگاز سبب تولید انرژی می‌شوند. موتورهای احتراق با احتراق متان موجود در بیوگاز ناشی از هضم بی‌هوازی سبب تولید انرژی می‌شود. بررسی کیفیت بیوگازهای تولید شده از انواع لجن و پسماند علاوه بر تعیین میزان تاثیرگذاری کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های مواد ورودی به سیستم‌های هضم بی‌هوازی در کیفیت بیوگاز خروجی، سبب ایجاد دیدی جامع نسبت به عوامل محیطی مؤثر و نوآوری در طراحی تجهیزات سیستم‌های هضم بی‌هوازی شده است. روش‌های بهبود دهنده کیفیت بیوگاز را می‌توان در سه دسته پیش تصفیه، فرآیند اصلی و پس تصفیه تقسیم‌بندی کرد؛ روش‌های فرآیند اصلی به علت سهولت در بهره‌برداری، بازده بالا و توجیه اقتصادی نسبت به دو روش دیگر در صنعت کاربرد بیشتری دارند. این مقاله با بررسی عوامل مؤثر و روندهای مختلف هر مرحله از هضم بی‌هوازی، به معرفی و مقایسه روش‌های مختلف بهبوددهنده بیوگاز می‌پردازد.

Keywords: Biogas, Anaerobic, Wastewater, Methane, Anaerobic digester, Sewage sludge.

کلمات کلیدی: بیوگاز، بی‌هوازی، فاضلاب، متان، هاضم بی‌هوازی، لجن فاضلاب.

جامع در طراحی بهینه سیستم‌های بی‌هوازی تولید بیوگاز می‌شود.

فرآیند هضم بی‌هوازی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تولید بیوگاز است. طراحی سیتیک تانک‌ها در دهه ۱۸۷۰ میلادی نخستین گام عملی در تولید بیوگاز از هاضم‌های بی‌هوازی است (Karthikeyan Trably et al., 2018). تأثیرات مخرب دفع فاضلاب در منابع سطحی و زیرزمینی در کنار محدودیت منابع آب تجدیدپذیر و افزایش روزافزون جمعیت سبب افزایش نیاز به طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌شود (اختیارزاده، ۱۳۹۶؛ حیدری، ۱۳۹۷)؛ در کنار منابع تولید انرژی بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰ سبب رشد این تکنولوژی شد که در نهایت اولین تصفیه‌خانه فاضلاب با سیستم هضم بی‌هوازی، سال ۱۹۳۹ در آمریکا تأسیس شد. امروزه کشورهای اروپایی مانند آلمان و سوئیس از جمله اصلی‌ترین قطب‌های طراحی سیستم‌های هضم بی‌هوازی تصفیه‌خانه‌ها هستند. کشورهای آسیایی اغلب از بیوگاز در مقیاس کوچک برای تأمین انرژی گرمایی و الکتریسیته مناطق دورافتاده بهره می‌برند؛ درحالی‌که آمریکا با وجود ۲۱۰۰ تصفیه‌خانه فعال با سیستم هضم بی‌هوازی از این منبع انرژی استفاده می‌کند (Vasco-Correa et al., 2018). از میان سه روش بهبود دهنده هضم بی‌هوازی فرآیندهای اصلی به‌عنوان پیش‌روترین روش برای تولید بیوگاز در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو رویکرد پس و پیش‌تصفیه هضم بی‌هوازی به‌علت هزینه‌های بالای طراحی و بهره‌برداری چندان در صنایع مورد استفاده قرار نگرفته‌اند.

بررسی‌های انجام شده توسط Whiting et al. (2014) بر روی انواع پساب کشاورزی نشان دهنده رابطه‌ای مستقیم بین ترکیبات مواد اولیه در هاضم‌های بی‌هوازی و انرژی تولید شده است. Yuan et al. (2019) با استفاده از روش‌های پیش‌تصفیه و آنالیز فرآیندهای هضم بی‌هوازی سبب بهبود مواد اولیه و افزایش بازده انرژی تولید شده در هاضم‌های بی‌هوازی شدند. تلفیق انواع باکتری‌ها و میکروجلبک‌ها و تعیین شرایط بهینه یکی از بهترین روش‌های مدیریت انرژی و حجم لجن تولید شده در تصفیه فاضلاب در هاضم‌های بی‌هوازی است. جدول ۱ به بررسی برخی از مطالعات چند سال اخیر در طراحی و بهبود تولید بیوگاز می‌پردازد.

هضم بی‌هوازی فرآیندی با چهار مرحله اصلی هیدرولیز، اسیدسازی، استات‌سازی و متان‌سازی است؛ که در هر مرحله فعالیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی سبب تبدیل مواد آلی به مواد ساده‌تر می‌شود. ترکیبات آلی مانند انواع پروتئین‌ها،

تأمین نیازهای جمعیت در حال رشد مستلزم تولید حجم بالایی از انرژی و مواد اولیه ضروری برای استفاده در صنایع مختلف است. سوخت‌های فسیلی با تأمین ۸۸٪ از انرژی مورد نیاز جهان موجب انتشار ۳۳۰۰۰۰ تن گاز گلخانه‌ای به محیط‌زیست می‌شود. همین مسئله محققان را ناچار به یافتن منابعی پاک، تجدیدپذیر و مقرون‌به‌صرفه کرده است (Aghbashlo et al., 2018; Hosseinpour et al., 2018). امروزه زیست سوخت‌ها با توانایی بالای تبدیل به اشکال مختلف انرژی و تولید محصولات جانبی کاربردی در صنایع به یکی از منابع موردتوجه تأمین انرژی تبدیل شده‌اند. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده توسط سازمان بین‌المللی کنترل تغییرات اقلیم (IPCC) میزان انرژی تولیدی از زیست سوخت‌ها در سال‌های ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ به‌ترتیب، ۵۰۰۰، ۷۵۰۰ و ۸۹۰۰۰ تن وات ساعت خواهد بود. تصفیه زیست توده‌ها (بیومس) با استفاده از تکنولوژی‌های مختلف فیزیک-شیمی (تصفیه فیزیکی، سوزاندن، الکل‌زدگی و غیره)، ترموشیمی (تجزیه حرارتی، مایع‌سازی، تولید گاز و غیره)، بیوشیمی (تخمیر، هضم بی‌هوازی) ضمن تولید انواع کودهای مغذی کشاورزی، منجر به ایجاد منابع مختلفی از انرژی از جمله بیوگاز، روغن‌های مختلف زیستی، بیودیزل، بیواتانول، بیوالکتریسیته، نیز می‌شود. توانایی بالای تولید بیوگاز از بیومس‌های مختلف و حمل و نقل آسان، این فرآورده را به منبعی مناسب برای تولید انرژی تبدیل کرده است (Tabatabaei et al., 2020a). بیوگاز تولید شده از هضم بی‌هوازی شامل کربن دی‌اکسید (CO_2)، متان (CH_4) و مقادیر ناچیزی از سایر ترکیبات (سیلوکسان‌ها؛ مواد مصنوعی با پیوند Si-O-Si) است. کمترین انرژی گرمایی بیوگازی با ۶۰٪ متان در بازه $5000-6000 \text{ kCal/Nm}^3$ قرار می‌گیرد؛ در حالی‌که با افزایش خلوص متان بیوگاز تا ۹۶-۹۷٪ میزان انرژی گرمایی به 8000 kCal/Nm^3 نیز می‌رسد. هدف اصلی ارتقای تجهیزات، استفاده از مواد شیمیایی و بیولوژیکی مختلف و بهینه‌سازی طراحی‌ها در فرآیندهای بی‌هوازی، افزایش درصد متان بیوگاز تولید شده است. بیوگاز‌های با درصد خلوص بالای بیومتان اغلب توسط دو روش مستقیم (تولید انرژی گرمایی) و غیرمستقیم (با استفاده از موتورهای احتراق درون‌سوز و تبدیل انرژی گرمایی به الکتریسیته) در صنایع مختلف مصرف می‌شوند. این مقاله با تأکید بر اهمیت بیوگاز به‌عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر، ضمن بررسی برخی از پربازده‌ترین هاضم‌ها، عوامل مؤثر بر هضم بی‌هوازی و روش‌های بهبود کیفیت بیوگاز سبب ایجاد دیدی

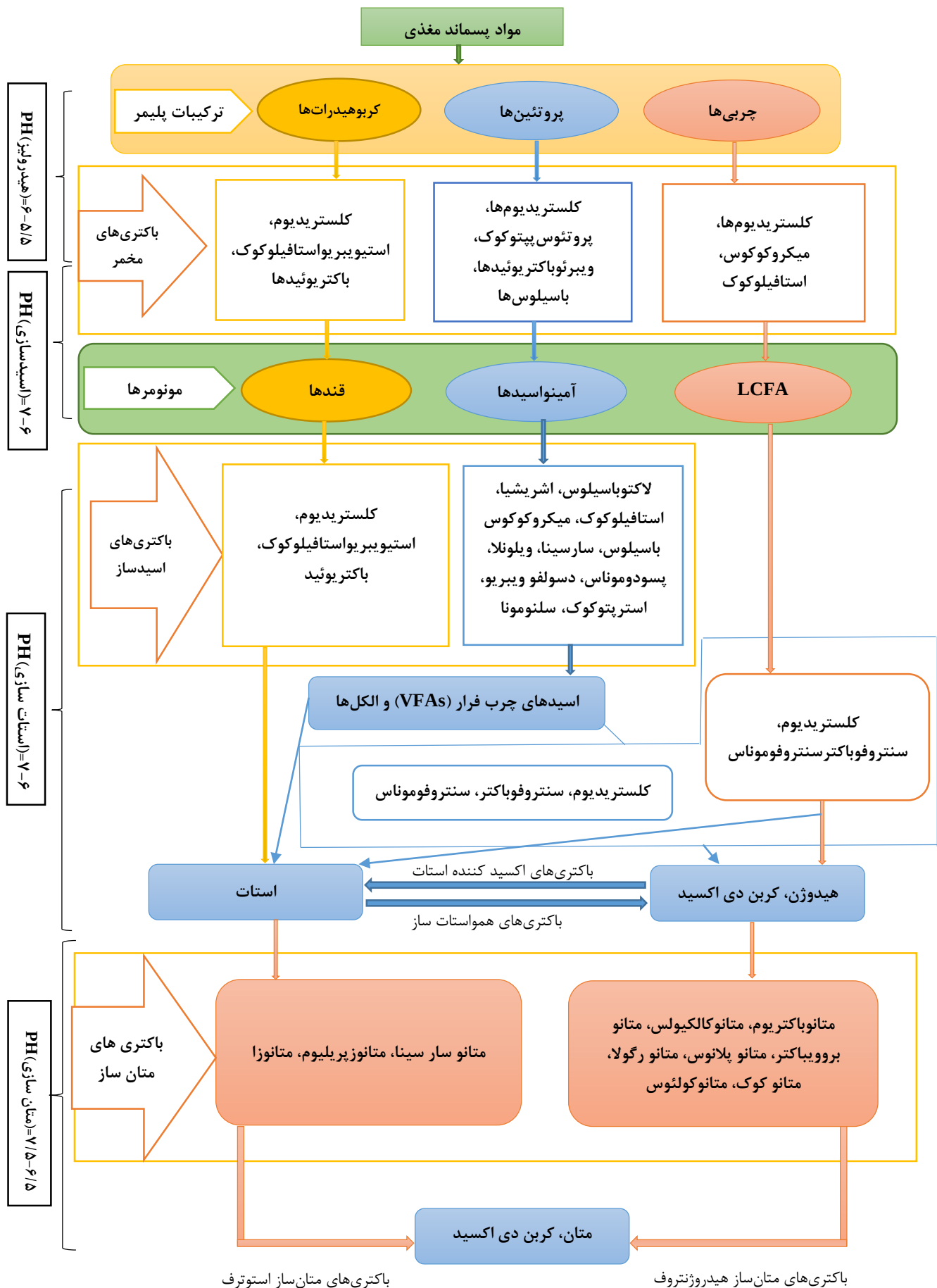
جهان را مورد بررسی قرار می‌دهد.

هاضم‌های تک، دو یا چند مرحله‌ای براساس انعطاف بالا در ترکیب با فرآیندهای هضم بی‌هوازی مستلزم بررسی دقیق در بهره‌برداری هستند. هاضم‌های تک مرحله‌ای چهار فرآیند هیدرولیز، اسیدسازی، استات‌سازی و متان‌سازی در محفظه‌ای با pH بهینه‌ی ۵/۵-۶/۵، زمان ماند هیدرولیکی ۲۰ تا ۳۰ روز سبب تولید بیوگازی با ۵۰-۵۵٪ متان می‌شود؛ در حالی که فرآیندهای هیدرولیز، اسیدسازی و استات‌سازی هضم بی‌هوازی در هاضم‌های دو مرحله‌ای در محفظه اول تحت شرایط pH بهینه ۵-۶ و زمان ماند هیدرولیکی ۲ تا ۴ انجام شده و فرآورده آن به محفظه دوم با pH بهینه‌ی ۶-۸ و زمان ماند هیدرولیکی ۸ تا ۱۰ روز برای تولید بیوگازی با درصد متان ۶۰-۷۰٪ انتقال می‌یابد. هاضم‌های دو مرحله‌ای با جدا کردن متان‌سازی از سایر فرآیندهای هضم بی‌هوازی علاوه بر کاهش زمان ماند (۲۰-۳۰ روز در هاضم‌های تک مرحله‌ای در مقابل ۸-۱۲ روز هاضم‌های دو محفظه‌ای)، سبب کاهش اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، مواد مغذی جامد فرار (VS) تا ۱۶٪ و افزایش بازده بیومتان تا حدود ۱۰/۸ درصد نسبت به هاضم‌های تک مرحله‌ای می‌شوند (Micolucci et al., 2018; Rajendran et al., 2020)؛ هر یک از محفظه‌های هاضم دو مرحله‌ای هضم بی‌هوازی بسته به شرایط محیطی و اقتصادی می‌توانند دارای تجهیزات (انواع همزن، بافل و...) هستند؛ که همین امر سبب افزایش نوآوری در طراحی سیستم‌های بی‌هوازی می‌شود (Rajendran et al., 2020).

طراحی بهینه‌ی هاضم‌های یک، دو یا چند مرحله‌ای براساس شرایط محیطی و مواد اولیه سبب بهبود کیفیت بیوگاز می‌شود (Xiao et al., 2019)؛ مثلاً طراحی ترکیبی فرآیندهای وابسته به دمای محیط (مزوفیلی/ ترموفیلی)، غلظت مواد اولیه ورودی (هضم خشک/ مرطوب) و ورود مواد اولیه به هاضم‌ها (مخزنی/ جریان مداوم) از جمله مواردی است که در مقیاس آزمایشگاهی انجام می‌شود. جدول ۲ نمونه‌هایی از این روش ترکیبی را نشان می‌دهد.

این مقاله با بررسی طیف گسترده از مطالعات بر انواع پسماند، علاوه بر طبقه‌بندی اهمیت هر یک از پارامترها در تولید انرژی سبب ایجاد دیدی جامع نسبت به انواع روش‌های بهبود دهنده‌ی کیفیت بیوگاز می‌شود.

کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها در مرحله هیدرولیز به آمینواسیدها و قندها، اسیدهای چرب و ترکیبات محلول تبدیل می‌شوند (Li et al., 2019)؛ این مرحله با تولید اسیدهای چرب فرار و ترکیبات سمی، مرحله کنترل‌کننده نرخ تولید بیوگاز در فرآیند هضم بی‌هوازی است. فرآورده‌های ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی در هیدرولیز توسط باکتری‌های مرحله اسیدسازی (مرحله‌ی تخمیر)، به کربن‌دی‌اکسید، هیدروژن، اسیدهای آلی (پروپیونیک‌اسید، بوتیریک‌اسید، استیک‌اسید، فرمیک‌اسید، لاکتیک‌اسید) الکل (اتانول، متانول) و برخی از ترکیبات آلی گوگردار تبدیل می‌شود (Singh, 2018; Obileke et al., 2020). کنترل این مرحله در pH محیطی بالای ۵ سبب تولید اسیدهای چرب فرار (استیک اسید) و افزایش کمیت و کیفیت بیوگاز نهایی می‌شود (Obileke et al., 2020; Singh, 2018). مرحله سوم (استات‌سازی) اسیدهای آلی محیط را به استیک‌اسید، کربن‌دی‌اکسید (CO₂) و هیدروژن (H₂) تبدیل می‌کند (Kothari et al., 2014). فعالیت باکتری‌های مرحله متان‌سازی شامل تبدیل استیک‌اسید به کربن‌دی‌اکسید و متان است؛ که توسط دو گروه مختلف از باکتری‌های متان‌ساز حساس به وجود pH بهینه ۶/۵ تا ۷ انجام می‌شود. حجم بیومتان تولید شده از فرآیندهای هضم بی‌هوازی وابسته به میزان و نوع اسید مورد استفاده میکروارگانیسم‌ها در مرحله متان‌سازی است؛ که با توجه به تحقیقات متعدد بیشترین بازده تولید متان در هضم بی‌هوازی استات و کمترین پروپیونات است (پروپیونات > بوتیرات > اتانول > استات) (Tabatabaei et al., 2020a). شکل ۱ تمامی واکنش‌های انجام شده، میکروارگانیسم‌های فعال و با در نظر گرفتن شرایط محیطی مراحل مختلف را واکنش نشان می‌دهد. بهینه‌سازی سیستم‌های هضم بی‌هوازی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به علت فعالیت میکروارگانیسم‌های حساس به شرایط محیطی و کیفیت مواد اولیه مستلزم دیدی جامع در انطباق سیستم هضم بی‌هوازی با عوامل مؤثر بر بهبود کیفیت بیوگاز است. برای بهبود کیفیت بیوگاز بررسی‌های گسترده‌ای انجام شد، که در نهایت منجر به طراحی طیف گسترده‌ای از تجهیزات هضم بی‌هوازی مانند انواع هاضم‌ها، بافل‌دار، تماسی، با بستر لجن و ... و پیل‌های سوختی میکروبی (Kumar et al., 2019; Palanisamy et al., 2019; AlSayed et al., 2020) و موتورهای احتراق شده است. هاضم‌های بی‌هوازی براساس تجهیزات مورد استفاده و ساختار فیزیکی هاضم (مرتبط با تعداد محفظه‌ها و بافل‌ها و...) تقسیم‌بندی می‌شوند. این مقاله عوامل مؤثر بر عملکرد هضم بی‌هوازی و پربازده‌ترین روش‌های آزمایشی مورد استفاده در



شکل ۱- فرآیند هضم بی‌هوازی

جدول ۱- مقایسه چند روش بهبود کیفیت بیوگاز در سال‌های اخیر

راکتور مورد استفاده	مقیاس مورد بررسی	نتایج
بیوراکتور غشایی چند لایه	آزمایشگاهی	تولید بیوگاز ۵-۱۲۰ mL/d
سیستم تحت فشار دو مرحله‌ای شامل یک راکتور CSTR و راکتور بیوفیلیم بی‌هوازی	آزمایشگاهی	تولید بیوگاز ۴۰۶ mL/g COD
سیستم دوگانه AD-MEC	آزمایشگاهی	تولید متان ۲۷۳/۵ mL/g COD
ادغام پیل‌های سوختی میکروبی (MFCs) با بیوراکتور بی‌هوازی	آزمایشگاهی	تولید متان ۵۴ mL/g COD
UASB اصلاح شده	-	تولید بیوگاز ۱۸۴۰ mL CH ₄ /g COD

جدول ۲- مقایسه نمونه‌های آزمایشگاهی از انواع سیستم‌های هضم بی‌هوازی طراحی شده برای هضم لجن

نوع هاضم	سیستم هضم	شرایط اجرا	بازده متان (mL/g VS)	حذف مواد جامد فرار (%)	منابع
تک محفظه‌ای	راکتور ۲ لیتری CSTR با جریان نیمه متناوب مزوفیلی	نرخ بار آلی = ۵ (g VS/L day)؛ زمان ماند هیدرولیکی = ۲۰ روز؛ PH = ۷/۷	۴۹۴	۷۴/۷	(Jo et al., 2018)
دو محفظه‌ای	راکتورهای ۰/۵ و ۲ لیتری CSTR با جریان نیمه متناوب مزوفیلی	نرخ بار آلی = ۴ (g VS/L day)؛ زمان ماند هیدرولیکی = ۲۵ روز؛ PH = ۷/۵	۵۱۱	۷۸/۹	
تک محفظه‌ای	راکتور ۲۳۰ لیتری CSTR ترموفیلی	نرخ بار آلی = ۳/۵ (g VS/L day)؛ زمان ماند هیدرولیکی = ۲۰ روز	۴۵۰	۹۳/۶	(Micolucci et al., 2018)
دو محفظه‌ای	راکتورهای ۲۰۰ و ۷۶۰ لیتری CSTR ترموفیلی	زمان ماند هیدرولیکی = ۲۰ روز؛ PH = ۸/۳۱؛ اسیدهای چرب فرار = ۰/۸۷ (g HAC/L)	۵۵۰	۹۶/۲	
تک محفظه‌ای	راکتور ۵ مترمکعبی مزوفیلی	نرخ بار آلی = ۳/۷۹ (kg VS/m ³ /day)؛ PH = ۷/۳۲	۳۸۰	۹۶	
دو محفظه‌ای	راکتورهای ۵ مترمکعبی مزوفیلی	نرخ بار آلی = ۴۰/۷۸ (kg VS/m ³ /day)؛ PH = ۷/۳۲، ۵/۲	۴۴۶	۹۳	

۲- عوامل مؤثر بر هضم بی‌هوازی

بی‌هوازی در شرایط مزوفیلی ثبات بالاتر و هزینه‌های به‌مراتب کمتری دارد. تخریب میکروارگانیسم‌های پاتوژن در دماهای بالا از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های هضم بی‌هوازی در شرایط دمایی ترموفیلی است. افزایش سرعت واکنش‌ها و توانایی تصفیه حجم زیادی از فاضلاب از جمله نقاط قوت این شرایط دمایی است؛ البته با بهینه‌سازی دمای واکنش هر مرحله می‌توان تولید متان را نیز افزایش داد.

اولین مرحله تعیین عوامل مؤثر بر هضم بی‌هوازی، بررسی دقیق شرایط محیطی و مواد اولیه ورودی است. حساسیت میکروارگانیسم‌ها نسبت به تغییرات اندک محیطی و وابستگی بالای عوامل مؤثر در هضم بی‌هوازی به یکدیگر، بهره‌برداری از هاضم‌های بی‌هوازی را به یکی از دشوارترین مراحل تصفیه فاضلاب تبدیل کرده است.

۲-۲- pH محیط

ثبات pH در فرآیند هضم بی‌هوازی به مواد اولیه و سایر عوامل محیطی مانند قلیائیت محیط، غلظت اسیدهای چرب فرار (استیک‌اسید، پروپیونیک‌اسید، اسیدبوترات) و غلظت CO₂ و HCO₃ تولید شده وابسته است. تعیین pH بهینه سبب بهبود شرایط عملکرد باکتری‌های مختلف و در نتیجه تولید متان می‌شود. براساس مطالعات تجربی، pH بهینه مرحله استات‌سازی و متان‌سازی به‌ترتیب در حدود ۶ - ۶/۷ و ۶/۵ - ۷/۵ قرار می‌گیرد. pH های پایین‌تر/بالاتر از حدود بهینه مرحله استات‌سازی سبب تولید بیش از حد اسیدهای چرب فرار/آمونیاک شده و در نهایت سبب کاهش تولید متان می‌شود. افزایش نیاز به

۲-۱- دمای محیط

دما عاملی تأثیرگذار بر عملکرد میکروارگانیسم‌های تولید کننده متان و اسیدهای چرب فرار است (Panigrahi and Dubey, 2019). هضم بی‌هوازی در سه بازه دمایی سایکوفیلیک (۲۰ °C)، مزوفیلیک (۲۰-۴۰ °C) و ترموفیلیک (۵۰-۶۵ °C) انجام می‌شود. بیشترین بازده هضم بی‌هوازی در شرایط دمایی مزوفیلی و ترموفیلی رخ می‌دهد.

عملکرد میکروارگانیسم‌های تولیدکننده اسیدهای چرب فرار در شرایط مزوفیلی کاهش می‌یابد که سبب افزایش تولید متان نسبت به شرایط ترموفیلی (تقریباً ۱/۵ برابر بیشتر) می‌شود. هضم

در فرآیند هضم بی‌هوازی مستلزم کنترل مستمر آن در طول فرآیندهای هضم است. زمان ماند صلب (SRT) و زمان ماند هیدرولیکی (HRT) دو تعریف مختلف زیر مجموعه زمان ماند هستند که در فرآیند هضم بی‌هوازی مورد بررسی قرار می‌گیرند. زمان ماند صلب (SRT) میانگین زمان ماند باکتری‌ها در هاضم است (عامل تعیین کننده تعداد میکروارگانیسم‌های هاضم) و زمان ماند هیدرولیکی (HRT) به معنی میانگین زمان ماند لجن مایع در هاضم است. اسیدهای چرب فرار (VFA)، نرخ بار آلی (OLR) و زمان ماند هیدرولیکی (HRT)، تأثیرگذاری نسبتاً بالایی بر هم دارند؛ بنابراین بهینه‌سازی هر یک مستلزم کنترل سایر عوامل است.

۲-۶- نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در پسماند ورودی

نسبت بهینه برخی از مواد مغذی مانند کربن، نیتروژن، اکسیژن و هیدروژن بر عملکرد هضم بی‌هوازی تأثیرگذار است. مقدار بهینه کربن به نیتروژن (C/N) عامل اصلی پایداری و تعادل در هاضم بی‌هوازی است. افزایش نسبت کربن به نیتروژن سبب تولید آمونیاک و افزایش pH محیط شده و تأثیرات منفی در تولید متان دارد. شرایط دمایی یکی از مؤثرترین عوامل در تعیین مقادیر بهینه نسبت کربن به نیتروژن است. مثلاً اگر نسبت کربن به نیتروژن در شرایط مزوفیلی و ترموفیلی به ترتیب بیشتر ۱۵ و ۲۰ باشد، منجر به افزایش آمونیاک و pH محیط می‌شود. جدول ۳ به بررسی عوامل مؤثر بر هضم بی‌هوازی و مقادیر بهینه آن‌ها می‌پردازد.

جدول ۳- تعیین مقادیر بهینه عوامل مؤثر بر تولید بیومتان

عوامل مؤثر	مقدار بهینه
pH	فرآیند اسیدسازی ۴ - ۸/۵ فرآیند متان‌سازی ۶/۵ - ۷/۲
قلیائیت	۵۰۰ - ۱۰۰۰ mg CaCO ₃ /L
دما	سرما دوست: ۵ - ۱۵ °C مقدار بهینه ۱۰ °C مزوفیلی: ۲۰ - ۴۰ °C مقدار بهینه ۳۵ °C ترموفیلی: ۵۰ - ۶۵ °C مقدار بهینه ۵۵ °C
نسبت کربن به نیتروژن	۲۵
زمان ماند هیدرولیکی HRT	وابسته به نوع ماده اولیه و دما کمتر از ۲ تا ۴ روز نباشد.
زمان ماند جامد SRT	وابسته به شرایط فرآیند
نرخ بار ورودی	۱۵/۲ g/L COD
مواد جامد فرار	۰/۵ - ۱/۱
میزان رطوبت	هاضم‌های بی‌هوازی خشک ۶۰ - ۷۵٪ هاضم‌های بی‌هوازی مرطوب ۸۵ - ۹۰٪

کنترل pH بهینه میکروارگانیسم‌های هر مرحله سبب تولید هاضم‌های چند مرحله‌ای بی‌هوازی شده است. هضم بی‌هوازی مواد در هاضم‌های دو مرحله‌ای علی‌رغم حساسیت بالای بهره‌برداری سبب افزایش تولید متان می‌شود. بهینه‌سازی نرخ بار آلی ورودی (OLR)، دما و زمان ماند در هاضم‌های بی‌هوازی دو مرحله سبب افزایش بازده آن می‌شود.

۲-۳- اسیدهای چرب فرار (VFA)

یکی از عوامل تصفیه فاضلاب در هضم بی‌هوازی، واکنش‌های اسیدهای چرب فرار (VFA) و مواد اولیه آلی است، که این عامل را به شاخصی مناسب در تعیین تعادل نسبی هاضم بی‌هوازی تبدیل می‌کند. اسیدهای چرب فرار (VFA) تولید شده از هضم بی‌هوازی شامل، استیک‌اسید، پروپیونیک‌اسید، اسیدبوتیریک، ایزوبوتیریک‌اسید، ایزووالریک‌اسید و والریک‌اسید هستند؛ استیک‌اسید (تا ۷۰٪ سبب تولید متان) و بوتیریک‌اسید، واکنش دهنده‌های اصلی تولیدکننده متان هستند (Shi et al., 2018; Xu et al., 2014; Zhang et al., 2014). کنترل تولید اسیدهای چرب فرار نیازمند تعیین مقادیر بهینه نرخ بار آلی و زمان ماند هیدرولیکی (HRT) است. نرخ بار آلی ورودی بیش از حدود بهینه و زمان ماند هیدرولیکی کم با افزایش غلظت اسیدهای چرب فرار و کاهش pH محیط، سبب کاهش عملکرد میکروارگانیسم‌های تولیدکننده متان می‌شود.

۲-۴- نرخ بار آلی (OLR)

نرخ بار آلی (OLR)، تعریفی مختصر از مقادیر روزانه مواد آلی خشک اولیه در هاضمی با حجم مشخص است. این عامل با کنترل غلظت اسیدهای چرب فرار (VFA) و دمای بهینه هاضم موجب سبب افزایش سرعت رشد باکتری‌های متان‌ساز می‌شود. مقادیر بهینه نرخ بار آلی ورودی به هاضم بی‌هوازی به دو عامل ساختار هاضم (تک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای) و شرایط دمایی فرآیند هضم بی‌هوازی (ترموفیلی یا مزوفیلی) وابسته است. تولید متان در شرایط دمایی مزوفیلی با افزایش نرخ بار آلی کاهش می‌یابد. هاضم‌های چند مرحله‌ای به سبب انعطاف پذیری بالایی که در تأمین pH و دمای بهینه در هر مرحله، امکان پذیرش نرخ بار آلی با ویژگی‌های متنوع نسبت به هاضم‌های تک مرحله‌ای دارند (Lay et al., 2019).

۲-۵- زمان ماند (HRT)

میانگین زمان مورد نیاز برای حذف مواد آلی در فرآیند هضم بی‌هوازی زمان ماند گفته می‌شود. تعیین مقدار بهینه این عامل

۳- نتایج

۳-۱- روش‌های افزایش دهنده بیومتان در فرآیندهای

بی‌هوازی

دسته‌بندی‌های متنوعی برای روش‌های بی‌هوازی افزایش‌دهنده بازده تولید بیومتان وجود دارد. کامل‌ترین دسته‌بندی شامل روش‌های قابل اجرا در سه مرحله پیش‌تصفیه، فرآیندهای اصلی هضم و پس‌تصفیه است.

۳-۱-۱- روش‌های تقویت‌کننده پیش‌تصفیه

روش‌های پیش‌تصفیه در سه بعد فیزیکی، شیمیایی و

جدول ۴- بررسی روش‌های پیش‌تصفیه افزایش دهنده بیومتان

روش	بهبود در تولید متان (بازده %)	مزایا	معایب
قارچی	۵۰۰-۱۵	- مؤثرترین روش بیولوژیکی برای حذف لیگنوسلولز - کشت راحت - نرخ رشد بالا - دوستدار محیط‌زیست - توانایی بالقوه پیش‌تصفیه بی‌هوازی قارچی و فرآیند هضم بی‌هوازی - توانایی بالقوه در روش‌های تصفیه زیستی - بهبود ضعف مواد اولیه ورودی به مایع‌سازی آنزیمی	- کاهش مصرف قندهای تولید شده - کند بودن فرآیند - هزینه عملیاتی و سرمایه‌گذاری بالا - زمان ماند بالا - تولید کم انرژی - نیازمند مرحله پیش‌استریل
کنسرسیوم میکروبی	۹۷-۱۶	- دوستدار محیط زیست - تنوع متابولیکی بالا - نرخ رشد و سازگاری بالا - توانایی بالای تخریب مواد اولیه نسبت به شرایط خالص با اثر هم‌افزایی - تخریب سلولز و همی‌سلولز - بهبود کیفیت مواد اولیه ورودی به مایع‌سازی آنزیمی - عدم نیاز به مرحله پیش‌استریل - توانایی بالقوه پیش‌تصفیه کنسرسیوم میکروبی و فرآیند هضم بی‌هوازی	- کاهش مصرف انرژی‌های تولید شده - کند بودن فرآیند - نیازمند دانش و تخصص برای ساخت کنسرسیوم میکروبی
آنزیمی	۳۴-۰	- دوستدار محیط‌زیست - تولید انرژی بالا	- نیازمند به سایر روش‌های پیش‌تصفیه برای افزایش تاثیرگذاری بر مایع‌سازی آنزیمی - نیازمند مرحله پیش‌تصفیه استریل برای حذف میکروارگانیسم‌های درون‌زا - استفاده از آنزیم‌های گران قیمت
میکروهوادهی	-	- افزایش غلظت میکروبی برای بهبود فعالیت آن‌ها در طول فعل و انفعالات مرحله اولیه هیدرولیز - مقرون‌به‌صرفه‌تر و دوستدار محیط‌زیست نسبت به سایر روش‌های پیش‌تصفیه بیولوژیکی	- نیازمند به کنترل دقیق تأمین اکسیژن برای پشتیبانی از رشد باکتری‌های اختیاری - کیفیت پایین مواد اولیه
تشدیدکنندگی	۱۵-۷	- جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های نامناسب از طریق تخمیر اسیدی لاکتیک - افزایش ظرفیت آب‌دوستی لیگنین - افزایش منافذ در ماتریس لیگنوسلولز - بهبود ضعف مواد اولیه ورودی به مایع‌سازی آنزیمی - دوستدار محیط‌زیست	- نیازمند دانش و تخصص - روش کمتر استفاده شده نسبت به سایر روش‌های هضم بی‌هوازی صنعتی
کمپوست	-	- عدم نیاز به تجهیزات پیچیده - فرآیند نسبتاً سریع - کاهش گرمای مورد نیاز برای تولید اولیه بیوگاز از طریق گرمایش خودکار مواد اولیه	- تولید بازدارنده‌ها - از بین رفتن مواد آلی

بازده تولید بیوگاز و متان را افزایش می‌دهند. تثبیت میکروارگانیسم‌ها بر روی نانو ذرات نیکل (Ni) و کبالت (Co)، و اصلاح ژنتیکی میکروارگانیسم‌ها توسط مهندسی ژنتیک، یکی از روش‌های افزایش تولید متان در فرآیندهای هضم بی‌هوازی است (Mishra et al., 2019). ترکیبات متنوع از انواع باکتری‌ها، قارچ‌ها و مواد اولیه در فرآیند هضم بی‌هوازی سبب بهبود فرآورده‌های مرحله هیدرولیز و افزایش تولید هیدروژن (H_2) می‌شوند.

استفاده از تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی محدودیت‌های زیادی در اجرا داشته و اغلب به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرند؛ ولی برخی از ترکیبات مانند باکتری *Pseudobutyryvibrio* (پسودوبوتیریویبریوزایلانویورانس) و *xylinivorans* (مخمرسازی، در صنعت نیز قابل اجرا است (Goud et al., 2014; Tabatabaei et al., 2020b)). جدول ۶ به بررسی برخی از نمونه‌های آزمایشگاهی تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی می‌پردازد.

امروزه مطالعات گسترده‌ای در مقیاس آزمایشگاهی برای بررسی میزان تأثیرگذاری روش‌های پیش‌تصفیه بر بهبود کیفیت بیوگاز انجام شده است. جدول ۵ به بررسی برخی از مطالعات انجام شده بر روش‌های پیش‌تصفیه می‌پردازد.

۲-۲-۲-۳- روش‌های تقویت‌کننده‌ی فرآیندهای اصلی

روش‌های بهبود دهنده فرآیندهای اصلی هضم به‌علت انعطاف‌پذیری بالا، در صنایع مختلف قابل اجرا هستند؛ و نمونه‌های اجرا شده نتایج مطلوبی از بهره‌برداری این روش‌ها ارائه می‌دهند. سه روش اصلی مورد استفاده در این دسته‌بندی شامل استفاده از تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی، هم‌هضمی بی‌هوازی و تولید تلفیقی بیوگاز هستند.

۳-۲-۱- تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی

تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی با ترکیبی مناسب از انواع باکتری‌ها و قارچ‌ها با بسترهای مختلف در فرآیند هضم بی‌هوازی،

جدول ۵ مقایسه چند نمونه آزمایشگاهی برای بررسی میزان تأثیرگذاری روش‌های پیش‌تصفیه در تولید بیومتان/بیوگاز

مواد اولیه	روش پیش‌تصفیه	نرخ تولید بیوگاز/بیومتان (mL/g VS)	
		وضعیت معمول	پیش‌تصفیه
پسماند غذایی	قارچی	بیومتان ۱۵۹/۶	بیومتان ۲۸۰/۵
پسماند غذایی	کنسرسیوم میکروبی	بیوگاز ۳۹۰/۹	بیوگاز ۵۱۴/۹
پسماند غذایی	آنزیمی	بیومتان ۱۲۰/۴	بیومتان ۲۸۰
پسماند غذایی	میکروهودهی (با نرخ اختلاط هوا (mL O ₂ /g VS) ۵)	بیومتان ۲۷۲/۸	بیومتان ۳۲۵/۷
پسماند حیوانی	تشدیدکننده‌ها	بیومتان ۳۱۶	بیومتان ۴۸۲-۴۴۱
پسماند حیوانی	قارچی	بیومتان ۱۲۵/۸	بیومتان ۱۶۹/۲
پسماند حیوانی	کنسرسیوم میکروبی	بیوگاز ۱۰۷/۹	بیوگاز ۱۵۰/۴
پسماند حیوانی	آنزیمی	بیومتان *۶۸	بیومتان *۱۸۰

* mL/d

جدول ۶- مقایسه چند نمونه‌ی آزمایشگاهی برای بررسی میزان تأثیرگذاری تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی در تولید بیومتان/بیوگاز

روش تقویت‌کننده فرآیند اصلی	تکنیک‌ها	مواد اولیه	نرخ تولید بیوگاز/بیومتان (mL/g VS)	
			وضعیت معمول	پیش‌تصفیه
تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی	مرحله هیدرولیز	پسماند جامد	بیومتان ۳۲۶/۳	بیومتان ۳۴۲/۵
	تولید H_2	پوشال ذرت	بیومتان ۲۰۹/۳	بیومتان ۲۵۸/۱
	مرحله متان‌سازی	ترکیب پسماند صنعتی شیر خشک با چربی پایین	بیومتان *۴/۳	بیومتان *۳۲

* mL/d

بی‌هوازی توسط انواع باکتری‌های کلستریدیال‌س، باکتریوئیدها، اکتینوباکتریوم انجام می‌شود. هم‌هضمی بی‌هوازی در هاضم‌های دو مرحله‌ای با مواد اولیه پسماند غذایی و مخمرها ۱/۱۸ برابر

۳-۲-۲-۲- هم‌هضمی بی‌هوازی (AcoD)

روش هم‌هضمی بی‌هوازی (AcoD)، چندین فاضلاب مختلف به‌صورت هم‌زمان در یک هاضم، هضم می‌شوند. فرآیند هضم

بهره‌برداری و اجرای فرآیند هضم می‌شود. کاهش سرعت انتقال جرم، لخته‌شدگی و افزایش چسبندگی مولکول‌های چربی در زیست‌توده مهم‌ترین این مسائل است، که در نهایت منجر به کاهش تولید بیومتان می‌شود (Tabatabaei et al., 2020a). جدول ۷ چند نمونه از مطالعات انجام شده بر هم‌هضمی بی‌هوازی (AcoD) را بررسی می‌کند.

هاضمی تک مرحله‌ای است. روش هم‌هضمی بی‌هوازی به علت فعالیت طیف گسترده‌ای از باکتری‌ها، نسبت کربن به نیتروژن متعادل و بهینه، ثبات pH مخلوط، کاهش باکتری‌های پاتوژن در هضم یکی از کارآمدترین روش‌های افزایش کیفیت بیوگاز است (Divya et al., 2015; Esposito et al., 2012; Maragkaki et al., 2017; Tabatabaei et al., 2020a).

درصد بالای چربی مواد اولیه، سبب مسائل مختلفی در

جدول ۷- مقایسه چند نمونه آزمایشگاهی برای بررسی میزان تأثیرگذاری هم‌هضمی بی‌هوازی (AcoD) در تولید بیومتان/بیوگاز

روش تقویت‌کننده فرآیند اصلی	مواد اولیه	نسبت اختلاط	شرایط محیطی		نرخ تولید بیوگاز/بیومتان (mL/g VS)
			دما (°C)	زمان ماند هیدرولیکی (روز)	وضعیت معمول
هم‌هضمی بی‌هوازی (AcoD)	ترکیب پسماندهای کشاورزی	۷:۳ (V:V)	۳۵	۳۹	بیومتان ۴۸/۶
	مایعات لبنی، فضولات گاو، CM	۱:۰/۸:۰/۲ (V:V)	۳۷	۲۰	بیوگاز ۳۱۵***
	ترکیب پسماندهای لبنی	۵/۵	۳۵	۲۲	بیومتان ۵۷۶***

et al., 2014; Nozari et al., 2018; Parajuli et al., 2015; Safari et al., 2017).

تلاش‌ها برای تولید بیوگاز با روش‌های تلفیقی شامل تولید تلفیقی بیودیزل، بیواتانول و بیوگاز، بیوهیدروژن و بیواتانول می‌شود. بیوهیدروژن یکی از مناسب‌ترین سوخت‌های موتورهای درون‌سوز است که در مقایسه با بیوگاز علاوه بر آزادسازی انرژی بیشتر با تولید محصول جانبی آب، سوختی دوست‌دار محیط‌زیست محسوب می‌شود. جدول ۸ تعدادی از مطالعات آزمایشگاهی انجام شده با این رویکرد را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۳-۲-۳- تولید تلفیقی بیوگاز

هزینه‌های بالای استفاده مستقیم بیوگاز در تولید انرژی، یکی از محدودیت‌های اساسی بهره‌برداری صنعتی است. برای توجیه اقتصادی تولید بیوگاز توسط هاضم‌های بی‌هوازی دو رویکرد استفاده از فرآورده‌های یک مرحله در واکنش دهنده‌های مرحله بعد، و تولید فرآورده‌های جانبی مقرون‌به‌صرفه در کنار تولید بیوگاز مورد بررسی و طراحی قرار گرفته‌اند. تولید گرما و الکتریسیته در کنار تولید بیوگاز یکی از محصولات جانبی ارزشمند در هضم بی‌هوازی است (Dererie et al., 2011; Martin).

جدول ۸- مقایسه چند نمونه آزمایشگاهی برای بررسی میزان تأثیرگذاری تولید تلفیقی بیوگاز در تولید بیومتان/بیوگاز

روش تقویت‌کننده فرآیند اصلی	مواد اولیه ورودی	ماده بهبود دهنده تولید بیومتان و بیوهیدروژن	زمان ماند هیدرولیکی (روز)	بازده تولید (mL H ₂ /g VS)	بازده تولید بیومتان CH ₄ (mL CH ₄ /g VS)	انرژی بازیافت شده	منابع
تولید تلفیقی بیوگاز	گلیسرول، لجن فاضلاب	لجن	۳۶ ساعت	۱۷۹/۳	۳۴۲	بیومتان = ۱۳/۷ بیوهیدروژن = ۲/۲	(Silva et al., 2018)
	پسمان غذایی	لجن فاضلاب	بیوهیدروژن = ۵ بیومتان = ۱۵	۱۰۱۰۰	۱۴۹۰۰	بیومتان = ۰/۰۲ بیوهیدروژن = ۱/۳	(Algapani et al., 2018)
	پساب کارخانه روغن (نخل)	لجن غنی از میکروارگانیسم	بیوهیدروژن = ۲ بیومتان = ۱۵	۱/۸۴	۲/۶۱***	بیومتان = ۱۲/۶۲ بیوهیدروژن = ۲/۷۲	

L H₂/L/d****

۳-۲- روش‌های تقویت کننده پس از تصفیه

این روش‌ها به بهبود کیفیت بیوگاز تولید شده از هاضم‌ها می‌پردازد. کیفیت بیوگاز تولید شده به مواد اولیه ورودی به هاضم بی‌هوازی بستگی دارد. ولی اغلب شامل فرآورده‌هایی از جمله متان ($0.55 - 0.75$) و سایر آلاینده‌ها مانند CO_2 و آب و H_2S است. این آلاینده‌ها ضمن به خطر انداختن محیط‌زیست از جمله علل اصلی افت کیفیت بیوگاز هستند. روش‌های تقویت کننده پس تصفیه به حذف این آلاینده‌ها و افزایش تولید بیومتان می‌پردازد (Shirzad et al., 2019).

۳-۳-۱- تکنولوژی حذف کربن دی‌اکسید (CO_2)

حذف کربن دی‌اکسید (CO_2) از بیوگاز سبب کاهش هزینه‌های حمل و نقل و افزایش 30% گرمای سوخت بیوگاز می‌شود. بیوگازی با درصد بالای بیومتان، جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی است. دو روش اصلی حذف کربن دی‌اکسید (CO_2) از بیوگاز بیوالکتروشیمیایی و فتوسنتز میکرو جلبک‌ها است.

پیل‌های الکترولیز میکروبی با تبدیل کربن دی‌اکسید (CO_2) به متان یا جذب آن سبب کاهش کربن دی‌اکسید (CO_2) در محیط می‌شود. روش بیوالکتروشیمیایی با استفاده از الکتروسیسته و آب/هیدروژن به عنوان منابع انرژی و الکترون، طی دو مرحله الکترومتانژن و هیدروژن‌تروفتیک‌متانوزن، کربن دی‌اکسید را به متان تبدیل می‌کند. براساس مطالعات انجام شده، ترکیب دو روش پیل‌های الکترولیز میکروبی و هضم بی‌هوازی درون هاضم بشکه‌ای ضد زنگ بی‌هوازی، سبب افزایش 98% تولید متان و $66/7\%$ انرژی نسبت به هضم بی‌هوازی بدون تصفیه شدند. فتوسنتز میکرو جلبک‌ها با انعطاف‌پذیری بالای محیطی در جذب کربن دی‌اکسید (CO_2) توسط پیل‌های میکروجلبکی و تولید محصولات جانبی با ارزش، یکی از روش‌های مورد توجه در بهبود بیوگاز است. Yan et al. (2016) در بررسی سیستم‌های حذف میکروجلبکی، به حذف 85% کربن دی‌اکسید (CO_2)، $85/5\%$ COD خروجی، $87/1\%$ نیتروژن و $92/4\%$ فسفر و ترکیبات آن را از بیوگاز خام رسیدند.

۳-۳-۲- تکنولوژی‌های حذف بیولوژیکی سولفید هیدروژن (H_2S)

یکی از مسائل اساسی استفاده از بیوگاز به عنوان منبع انرژی، وجود آلاینده‌هایی با خاصیت خوردگی بالا مانند سولفید هیدروژن است؛ که سبب تخریب خطوط انتقال بیوگاز و تجهیزات

بهره‌برداری می‌شود. روش‌های حذف شیمیایی سولفید هیدروژن (H_2S) به علت استفاده از مواد شیمیایی متنوع، مصرف انرژی بالا و تولید محصولات جانبی خطرناک قابل اجرا در ابعاد گسترده نیستند. در مقابل روش‌های گوگردزدایی بیولوژیکی با ایجاد سولفات و عناصر سولفور خطرات کمتری برای محیط‌زیست ایجاد می‌کنند. فعالیت باکتری‌هایی کمولیتوتروفیک (chemolithotrophs) و فوتوتروفیک (photoautotrophic) تعیین کننده حذف بیولوژیکی سولفید هیدروژن هستند. فرآیند حذف سولفید هیدروژن توسط فوتوتروفیک‌ها، کربن دی‌اکسید (CO_2) و کمولیتوتروفیک‌ها، اکسیژن (هوازی) و نیترات و نیتريت در (بی‌هوازی) به عنوان پذیرندگان الکترون فعالیت می‌کنند.

مناسب‌ترین روش حذف غلظت بالای سولفید هیدروژن، سیستم شیمیایی-بیولوژیکی است. هم‌زیستی میکروجلبک‌ها و باکتری‌ها در هاضم‌های سنتز بیولوژیکی، ضمن حذف کربن دی‌اکسید (CO_2) و تولید هم‌زمان اکسیژن (O_2)، با مصرف اکسیژن سبب اکسید سولفید هیدروژن به سولفات شده و سولفات باقی‌مانده توسط ریزجلبک‌های تولیدکننده بیومس جذب می‌شوند (Garcia-Peña et al., 2012; Tabatabaei et al., 2020b).

مطالعات آزمایشگاهی برای بررسی روش‌های پس تصفیه بر بهبود کیفیت بیوگاز در طیف گسترده‌ای صورت گرفته که تنها در ابعاد هزینه‌های طراحی و بهره‌برداری، و فرآورده‌های خروجی قابل بررسی هستند. بهبود کیفیت بیوگاز تولید شده در روش پس تصفیه با حذف عناصر و ترکیبات اضافی مانند CO_2 و H_2S از ترکیب بیوگاز انجام می‌شود. روش‌های متعددی برای حذف هر یک از این ترکیبات وجود دارد که شامل طیف گسترده‌ای از راکتورها با تجهیزات گوناگون می‌شود؛ مثلاً بررسی‌های Rachbauer et al. (2016) بر هاضم چکنده غنی شده هیدروژنتروفتیک با مواد اولیه همراه با بیوگاز (CO_2 $42-36\%$) و هیدروژن در شرایط مزوفیلی در مدت زمان ۸ ماه به بازده 96% در حذف کربن دی‌اکسید و نرخ $6/5$ ($m^3 H_2/m^3 reactor$) انجامید.

برخی از روش‌های موجود در این رویکر علاوه بر حذف CO_2 توانایی حذف H_2S را نیز دارند. مثلاً یکی از روش‌های مورد بررسی در دو گام کلی صورت می‌گیرد. در گام اول کربن دی‌اکسید با سنتز ریزجلبک‌ها تثبیت می‌شود. در گام دوم ۲ مول از اکسیژن توسط باکتری‌های SOB استفاده شده که هیدروژن سولفید را به سولفات تبدیل می‌کند. سپس سولفات تولید شده تا حدودی توسط میکرو جلبک‌ها برای تولید زیست توده مورد استفاده قرار

۴- نتیجه گیری

حساسیت‌های بالای میکروارگانیسم‌های هضم بی‌هوازی به عوامل محیطی، سبب افزایش پیچیدگی‌های طراحی، اجرا و بهره‌برداری روش‌های بهبود دهنده کیفیت بیوگاز می‌شود. افزایش کیفیت بیوگاز مستلزم طراحی سیستم هضم بی‌هوازی با بیشترین بازده تولید بیوگاز است؛ به‌همین علت طراحی سیستم هضم بی‌هوازی نیازمند انطباق بالای موارد قابل طراحی مانند انتخاب نوع و شکل بهینه تجهیزات بر عوامل محیطی و کیفیت و کمیت مواد اولیه است. استفاده از تکنولوژی‌های جدید مانند پیل‌های سوختی میکروبی می‌تواند علاوه بر بهبود کیفیت بیوگاز خروجی سبب تولید مستقیم انرژی شود. همچنین استفاده از رویکردهای پیل الکترولیز میکروبی، تقویت‌کننده‌های بیولوژیکی، و هم‌هضمی به‌علت پایداری بالا نسبت به تغییرات مواد اولیه، افزایش کیفیت بیوگاز نهایی، ارتقاپذیری و مقرون به‌صرفه بودن آینده بهتری نسبت به سایر روش‌ها در صنعت دارند.

استفاده این رویکردها در صنایع نیازمند جمع‌آوری داده‌های دوره‌ای از شرایط اقلیمی و مدل‌سازی دقیق براساس ویژگی‌های منحصر به‌فرد مواد اولیه و شرایط محیطی مورد مطالعه، و مهندسی مجدد و ارتقای آن‌ها در بهره‌برداری است. سایر عوامل مؤثر بر انتخاب روش افزایش‌دهنده کیفیت بیوگاز در هضم‌های بی‌هوازی شامل هزینه‌های طراحی، اجرا و بهره‌برداری، نوع و کیفیت محصولات جانبی، ویژگی‌های مواد اولیه و میزان تأثیرات مخرب محیط‌زیستی روش انتخاب شده هستند.

۵- مراجع

- حیدری، ع.، (۱۳۹۷)، "مدیریت منابع آب و بازچرخانی پساب، راه‌کار تأمین آب شرب مناطق خشک: مطالعه موردی شهر مشهد"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۴)، ۴۹-۶۴.
- رسولی سعدآباد، ح.، و اختیارزاده، ز.، (۱۳۹۶)، "بررسی امکان تخلیه لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب به شبکه فاضلاب و تأثیر آن بر روی فرآیندهای تصفیه‌خانه فاضلاب"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۲(۴)، ۶۱-۶۳.
- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Hosseini, S.S., Dashti, B.B., and Soufiyan, M.M., (2018), "Performance assessment of a wind power plant using standard
- exergy and extended exergy accounting (EEA) approaches", *Journal of Cleaner Production*, 171, 127-36.
- Dererie, D.Y., Trobro, S., Momeni, M.H., Hansson, H., Blomqvist, J., Passoth, V., Schnürer, A., Sandgren, M., and Ståhlberg, J., (2011), "Improved bio-energy yields via sequential ethanol fermentation and biogas digestion of steam exploded oat straw", *Bioresource Technology*, 102(6), 4449-4455.
- Divya, D., Gopinath, L., and Christy, P.M., (2015), "A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 690-699.
- Esposito, G., Frunzo, L., Giordano, A., Liotta, F., Panico, A., and Pirozzi, F., (2012), "Anaerobic co-digestion of organic wastes", *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 11(4), 325-341.
- Garcia-Peña, E.I., Nakauma-Gonzalez, A., and Zarate-Segura P., (2012), "Biogas production and cleanup by biofiltration for a potential use as an alternative energy source", *Biogas, Croatia, InTech*, 113-134.
- Goud, R.K., Sarkar, O., Chiranjeevi, P., and Mohan, S.V., (2014), "Bioaugmentation of potent acidogenic isolates: A strategy for enhancing biohydrogen production at elevated organic load", *Bioresource Technology*, 165, 223-232.
- Hosseinpour, S., Aghbashlo, M., and Tabatabaei, M., (2018), "Biomass higher heating value (HHV) modeling on the basis of proximate analysis using iterative network-based fuzzy partial least squares coupled with principle component analysis (PCA-INFPLS)", *Fuel*, 222, 1-10.
- Jo, Y., Kim, J., Hwang, K., and Lee, C., (2018), "A comparative study of single-and two-phase anaerobic digestion of food waste under uncontrolled pH conditions", *Waste Management*, 78, 509-520.
- Lay, C.-H., Vo, T.-P., Lin, P.-Y., Abdul, P.M., Liu, C.-M. and Lin, C.-Y., (2019), "Anaerobic hydrogen and methane production from low-strength beverage wastewater", *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(28), 14351-14361.
- Maragkaki, A., Fountoulakis, M., Gypakis, A., Kyriakou, A., Lasaridi, K., and Manios, T., (2017), "Pilot-scale anaerobic co-digestion of sewage sludge with agro-industrial by-products for increased biogas production of existing digesters at wastewater treatment plants", *Waste Management*, 59, 362-370.
- Martin, M., Svensson, N., Fonseca, J., and Eklund, M., (2014), "Quantifying the environmental performance of integrated bioethanol and biogas production", *Renewable Energy*, 61, 109-116.
- Micolucci, F., Gottardo, M., Pavan, P., Cavinato, C., and Bolzonella, D., (2018), "Pilot scale comparison of single and double-stage thermophilic anaerobic digestion of food waste", *Journal of Cleaner Production*, 171, 1376-1385.
- Mishra, P., Singh, L., Islam, M.A., Nasrullah, M., Sakinah, A.M., and Ab Wahid, Z., (2019), "NiO and CoO nanoparticles mediated biological hydrogen production: Effect of Ni/Co oxide NPs-ratio",

simultaneously biogas slurry decontamination by using of microalgae photobioreactor under various light wavelengths, light intensities, and photoperiods", *Applied Energy*, 178, 9-18.

- Yuan, T., Cheng, Y., Zhang, Z., Lei, Z., and Shimizu, K., (2019), "Comparative study on hydrothermal treatment as pre-and post-treatment of anaerobic digestion of primary sludge: Focus on energy balance, resources transformation and sludge dewaterability", *Applied Energy*, 239, 171-180.
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., and Tan, T., (2014), "Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392.



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

- Bioresource Technology Reports*, 5, 364-368.
- Nozari, B., Mirmohamadsadeghi, S., and Karimi K., (2018), "Bioenergy production from sweet sorghum stalks via a biorefinery perspective", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(7), 3425-38.
- Obileke, K., Nwokolo, N., Makaka, G., Mukumba, P., and Onyeaka, H., (2021), "Anaerobic digestion: Technology for biogas production as a source of renewable energy, A review", *Energy & Environment*, 32(2), 191-225.
- Parajuli, R., Dalgaard, T., Jørgensen, U., Adamsen, A.P.S., Knudsen, M.T., Birkved, M., Gylling, M., and Schjørring, J.K., (2015), "Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 244-263.
- Rachbauer, L., Voith, G., Bochmann, G., and Fuchs, W., (2016), "Biological biogas upgrading capacity of a hydrogenotrophic community in a trickle-bed reactor", *Applied Energy*, 180, 483-490.
- Safari, A., Karimi, K., and Shafiei, M., (2017), "Dilute alkali pretreatment of softwood pine: A biorefinery approach", *Bioresource Technology*, 234, 67-76.
- Shi, X., Guo, X., Zuo, J., Wang, Y., and Zhang, M., (2018), "A comparative study of thermophilic and mesophilic anaerobic co-digestion of food waste and wheat straw: Process stability and microbial community structure shifts", *Waste Management*, 75, 261-269.
- Singh, S., (2018), "Optimization of biogas production from City of Johannesburg market waste by anaerobic digestion for sustainable energy development", University of Johannesburg.
- Shirzad, M., Panahi, H.K.S., Dashti, B.B., Rajaeifar, M.A., Aghbashlo, M., and Tabatabaei, M., (2019), "A comprehensive review on electricity generation and GHG emission reduction potentials through anaerobic digestion of agricultural and livestock/slaughterhouse wastes in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 571-594.
- Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., Panahi, H.K.S., Nizami, A.-S., Ghanavati, H., Sulaiman, A., Mirmohamadsadeghi, S., and Karimi, K., (2020a), "A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, part 1: Upstream strategies", *Renewable Energy*, 146, 1204-1220.
- Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., Panahi, H.K.S., Nizami, A.-S., Ghanavati, H., Sulaiman, A., Mirmohamadsadeghi, S., and Karimi, K., (2020b), "A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 2: Mainstream and downstream strategies", *Renewable Energy*, 146, 1392-1407.
- Xu, Z., Zhao, M., Miao, H., Huang, Z., Gao, S., and Ruan, W., (2014), "In situ volatile fatty acids influence biogas generation from kitchen wastes by anaerobic digestion", *Bioresource Technology*, 163, 186-192.
- Yan, C., Zhu, L., and Wang, Y., (2016), "Photosynthetic CO₂ uptake by microalgae for biogas upgrading and

Research Paper

مقاله پژوهشی

**Investigating Corrosion and Scaling Indices
of Potable Water in City of Pardis Water
Treatment Plant**

**بررسی شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب
شرب تصفیه‌خانه پردیس**

Farzanreh Faridirad^{1*} and Masoomeh Gholinazhad²

فرزانه فریدی‌راد^{۱*} و معصومه قلی‌نژاد^۲

1- Ph.D. of Polymer Engineering, Quality Control Expert of Pardis Drinking Water Treatment Plant, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۱- دکتری مهندسی پلیمر، کارشناس کنترل کیفی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

2- M.Sc. of Biotechnology, Biological Lab Expert, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۲- کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، کارشناس آزمایشگاه بیولوژی، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

*Corresponding Author, Email: faridyrad.f@gmail.com

* نویسنده مسئول، ایمیل: faridyrad.f@gmail.com

Received: 27/12/2020

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۷

Revised: 31/08/2021

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹

Accepted: 01/09/2021

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Investigating the corrosion and scaling indices of water is one of the effective strategies to manage the potable water resources. Water corrosion, will cause economic damages, reduce the useful life of water supply facilities and spread diseases among consumers. The aim of this study is to investigate the chemical parameters and assess the corrosion potential of potable water in Pardis City. Samples were collected from five wells around the Jajroud River and the reservoir correspondent to intake from the Latian dam for one year. Then corrosion potential of water determined based on Langelier, Ryznar, corrosion, Porkorios and Larson indices through qualitative parameters such as pH, TDS, total and permanent hardness, alkalinity and the anion concentrations in water samples. All the tests were done according to the standard methods mentioned in the standard handbook of water and wastewater analysis methods. According to the results, the inflowing water was slightly corrosive which suggests to use resistant materials in the distribution network or covering the inner wall of the transmission water pipes. It should be noted that the treated water showed scaling potential and has an acceptable quality.

تعیین شاخص‌های خوردگی آب یکی از راهبردهای مؤثر در مدیریت منابع آب شرب است. خوردگی آب می‌تواند باعث آسیب‌های اقتصادی، کاهش عمر مفید تاسیسات آبرسانی و بیماری در مصرف‌کنندگان شود. هدف این مطالعه بررسی ویژگی‌های کیفیت شیمیایی و تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر پردیس است، به‌همین منظور طی یک سال از پنج چاه فلمن اطراف رودخانه جاجرود و مخزن مربوط به آبگیر سد لتیان نمونه‌برداری انجام شد. سپس براساس مقادیر پارامترهای کیفی نمونه‌های آب شامل pH، کل جامدهای محلول، سختی‌های دائم، موقت و کل، قلیاییت و آنیون‌های آب و پتانسیل خوردگی آب با محاسبه شاخص‌های لارنر، رایزنر، خوردگی، پورکوروس و لارسون مشخص شد. آزمایش‌ها براساس روش‌های مندرج در کتاب استاندارد روش‌های آزمایش آب و فاضلاب انجام شد. طبق نتایج به‌دست آمده، در کل، کیفیت آب ورودی متمایل به خوردگی بوده و توصیه می‌شود خطوط انتقال و توزیع آب از جنس مقاوم انتخاب شود یا اقداماتی هم‌چون پوشش دیواره داخلی لوله یا اصلاح کیفیت آب انجام گیرد. این درحالی است که آب خروجی از تصفیه‌خانه کمی رسوب‌گذار بوده و کیفیت مطلوبی دارد.

Keywords: Corrosion, Potable Water, Qualitative Parameters, Scaling.

کلمات کلیدی: خوردگی، رسوب‌گذاری، پارامترهای کیفی، آب آشامیدنی

در حال حاضر مسائل مربوط به خوردگی و رسوب گذاری درصد قابل توجهی از درآمد سالانه کشورها را به خود اختصاص می دهد. بدیهی است هزینه های تعویض و ترمیم لوله های فرسوده این زیان را چند برابر خواهد نمود (غنی زاده و قانعیان، ۱۳۸۸؛ Ghaneian et al., 2009; Li et al., 2014). رسوب گذاری آب در جدار لوله ها سبب افت فشار در سیستم توزیع و نارضایتی مصرف کنندگان، افزایش هزینه پمپاژ و سوخت در سیستم های گرمایشی خواهد شد (Świetlik et al., 2012; Shams et al., 2012). تمایل آب به خوردگی و رسوب گذاری با بررسی پایداری آب مشخص می شود. آب پایدار تمایل به خوردگی و رسوب گذاری کمی دارد و مقادیر آن برای نوع استفاده متفاوت است (Świetlik et al., 2012). کاربرد شاخص های خوردگی روشی غیرمستقیم در اندازه گیری و تشخیص ساده تمایل آب به خوردگی و رسوب گذاری است. شاخص های متداول عبارتند از: شاخص اشباع لانژلیه (LSI)، شاخص پایداری رایزنر (RSI)، شاخص خوردگی (AI) و شاخص پوکوریوس (PI) (Shams et al., 2012).

بر اساس استانداردهای معتبر جهانی از جمله استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، آب های مصرفی نباید خورنده باشند (APHA, 2005). طبق معیارهای جهانی شاخص های کنترل خوردگی و رسوب گذاری حداقل باید هر دو سال یکبار برای شبکه های توزیع با منبع سطحی و سالی یکبار برای شبکه های توزیع با منبع زیرزمینی تعیین شود (Peng and Korshin, 2011).

شاخص لانژلیه یکی از سه حالت عدد مثبت، صفر و یا عدد منفی است. شاخص لانژلیه در عمل دارای محدودیت هایی است؛ از جمله این که آب های با سختی کم و سختی زیاد مقادیر برابر را نشان می دهند. در سال ۱۹۴۴ Ryznar اصلاحیه ای را برای شاخص لانژلیه پیشنهاد داد و نام آن را شاخص پایداری رایزنر گذاشت. مطابق با این فرمول، نقطه تعادل آب در شاخص برابر با شش به دست می آید (Shankar, 2014). شاخص رسوب گذاری پوکوریوس براساس ظرفیت بافری آب و حداکثر رسوب کربنات کلسیم قابل تشکیل ارائه شده است. در آب های با میزان کلسیم زیاد، خاصیت قلیایی بودن کم و دارای ظرفیت بافری، کربنات کلسیم در حد اشباع در آب حل می شود. غلظت زیاد کلسیم موجب افزایش فعالیت یونی می شود؛ در نتیجه با وجود تمایل به تشکیل رسوب، عملاً میزان رسوب تشکیل شده بسیار پایین خواهد بود. شاخص رسوب گذاری پوکوریوس را شاخص رسوب گذاری واقعی نیز می نامند (Saifelnasr et al., 2013). با توجه به این که یون های کلراید و سولفات، خاصیت خوردگی در

پیشرفت علم و صنعتی شدن جوامع سبب تولید آلاینده های مختلفی شده است که ورود آن ها به منابع آب باعث کاهش کیفیت آن می شود (Kawamura, 2000; Spellman, 2008). وجود ترکیبات شیمیایی در مقادیر بسیار کم چنانچه بیش از حد مجاز تعیین شده در استانداردهای جهانی باشد موجب مسمومیت انسان ها و تمام موجودات می شود (AWWA, 2005).

یکی از مشکل های سیستم های انتقال و توزیع آب، رسوب گذاری یا خوردگی آن است. آب های رسوب گذار، آب هایی هستند که املاح محلول در آب نظیر بی کربنات کلسیم به صورت کربنات کلسیم در آن ها رسوب می کند (Cavano, 2005). در صورت خورنده بودن آب، لایه پوششی کربنات کلسیم در جدار داخلی لوله ها حل شده و موجب ورود ناخالصی های فلزات سنگین از لوله های فلزی به آب می شود که خطر بهداشتی برای مصرف کنندگان را در پی خواهد داشت (Palazzo et al., 2015). واکنش های خوردگی به طور مستقیم بر مصرف گندزدهای آب اثر گذاشته و موجب به حداقل رساندن باقیمانده گندزدها در آب می شود و فعالیت زیستی میکروارگانیسم ها را افزایش می دهد (Vasconcelos et al., 2015). خوردگی موجب کاهش طول عمر لوله ها، آسیب به تجهیزات و هدررفت آب در شبکه توزیع می شود (Tarantseva and Firsova, 2006).

خوردگی واکنش فیزیکی- شیمیایی است که در اثر تماس مواد با محیط اطراف ایجاد و باعث تغییر خواص ماده می شود. در حوزه مهندسی مواد، خوردگی حاصل فرسایش و یا واکنش الکتروشیمیایی است. در نوع اول، عوامل فیزیکی نظیر برخورد مواد جامد معلق آب یا فاضلاب با دیواره لوله عامل تخریب لوله است، در حالی که نوع دوم، حاصل تشکیل پیل الکتریکی و انجام واکنش الکتروشیمیایی بین ماده و محیط است.

خوردگی نوع اول در لوله های فلزی و غیرفلزی نظیر بتن مسلح و نوع دوم در لوله های فلزی بیشتر است (مختاری و همکاران، ۱۳۸۹). خوردگی داخلی لوله می تواند در اثر عوامل متعددی همچون کیفیت میکروبی آب، کیفیت فیزیکی- شیمیایی آب، غلظت اکسیژن و غلظت کلر باقی مانده و غلظت یون های کلرور، سولفات، کلسیم، دمای آب و pH، شرایط هیدرولیکی آب در لوله (سرعت جریان) و جنس لوله تأثیر بپذیرد (مظلومی و همکاران، ۱۳۸۷). البته وجود یون هایی چون CrO_2 ، SiO_3 و OH^- در آب باعث کاهش خوردگی می شود (Metcalf et al., 2003).

آب ایجاد می‌کنند و در مقابل یون بی‌کربنات مانع خوردگی می‌شود، در سال ۱۹۵۷ Larson و Skold رابطه‌ای را برای تعیین پتانسیل خوردگی آب معرفی نمودند. آن‌ها مشاهده کردند که کلسیم در حضور قلیایی بودن، صرف‌نظر از pH یا شاخص اشباع، به‌طور چشم‌گیری مانع از ایجاد خاصیت خوردگی می‌شود (جدول ۱) (Imran et al., 2005).

مطالعات مختلفی در دنیا به منظور تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب در منابع آب شرب و شبکه توزیع انجام شده است که از آن جمله می‌توان به (Zazuli et al., 2013) در مورد منابع آب شرب شهر یاسوج، مهوی و همکاران (۱۳۸۷) در ارتباط با آب در مخازن آب شرب شهر زنجان، (Hosseini, 2009) در راستای بررسی رسوب‌گذاری و انسداد خطوط انتقال و توزیع آب شرب روستاهای شهرستان ملارد، (Hosseini, 2009) در مورد بررسی شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب شهرستان جوانرود، جعفرزاده (۱۳۸۸) در مورد احتمال خوردگی شبکه آب اهواز، (Dehghani et al., 2010) در مورد پتانسیل خوردگی آب شبکه توزیع شیراز و ملکوتیان و همکاران (۱۳۹۱) در ارتباط با رسوب‌گذار بودن و یا خورنده بودن آب شرب شهر کرمان اشاره نمود.

داودی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی که در خصوص بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستایی شهرستان تایباد انجام دادند نشان دادند که از نظر اکثر شاخص‌ها آب منطقه در وضعیت خنثی و پایدار قرار نداشت. در پژوهش انجام شده توسط فرزادکیا (۱۳۹۶) در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی نشان داده شد که آب شرب این منطقه خورنده است. (Agatemor and Okolo, 2008) در نیجریه نشان دادند با توجه به شاخص‌های لانژلیه و رایزنر آب مورد بررسی خاصیت خوردگی داشته است. همچنین با توجه به مطالعات (Shyam and Kalwania, 2010) در کشور هند آب‌های زیرزمینی مورد بررسی دارای کیفیت خوردگی بودند.

در مطالعه‌ای که توسط (Shahmohammadi and Noori, 2018) در ۴۷ روستای سروآباد صورت گرفت پارامترهای شیمی فیزیک و برخی اندیس‌های مربوط به رسوب‌گذاری از جمله شاخص لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس محاسبه شدند. طبق شاخص لانژلیه در برخی نواحی آب تمایل به خوردگی (انحلال کربنات کلسیم) از خود نشان داد در حالی که برخی نقاط تمایل به رسوب‌دهی کربنات کلسیم داشت. علاوه بر این بر اساس مقادیر اندیس‌های رایزنر، پتانسیل آب برای خوردگی در لوله‌های استیل افزایش یافت.

علیدادی و همکاران (۱۳۹۷) وضعیت خوردگی و یا رسوب‌گذاری آب شبکه توزیع شهر مشهد را مورد مطالعه قرار دادند. طی این تحقیق نمونه‌برداری از سطح شهر و براساس روش‌های مندرج در کتاب مرجع آزمایش‌های آب و فاضلاب صورت پذیرفت و محاسبات مربوط به شاخص‌های رایزنر، لانژلیه و ته‌اجمی انجام شد. براساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل، شبکه توزیع آب شهر مشهد دارای پتانسیل رسوب‌گذاری بود که نیازمند اندیشیدن تدابیری در زمینه کنترل آن به‌خصوص در مناطق با رسوب‌گذاری زیاد است.

پژوهش دیانتی و محمودی (۱۳۹۷) با هدف تعیین پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و لارسون در شهرهای آمل، بابل، قائمشهر، ساری و نکا صورت پذیرفت. در این نواحی به‌دلیل زیادبودن غلظت نمک‌های محلول و سختی در این آب‌ها، احتمال رسوب‌گذاری و یا خوردگی در شبکه توزیع آب این مناطق وجود دارد. با توجه به نتایج حاصل، آبی که در شبکه توزیع شهرهای مورد بررسی در جریان بود، به‌طور نسبی در وضعیت رسوب‌گذار قرار داشت.

صالحی و همکاران (۱۴۰۰) عوامل رسوب‌گذاری و خوردگی منابع تامین و توزیع آب شرب شهر سوق در استان کهگیلویه و بویر احمد را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و ته‌اجمی به‌صورت مطالعه توصیفی به‌منظور تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شبکه آبرسانی اختصاصی این منطقه استفاده شد. با توجه به موارد بیان شده، هدف از مطالعه حاضر تعیین وضعیت شاخص‌های رسوب‌گذاری و خوردگی منابع آب آشامیدنی خروجی از تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در سال ۱۳۹۷ است.

۲- مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر کیفیت شیمیایی و وضعیت خوردگی و یا رسوب‌گذاری آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس بررسی شد. منابع عمده آب آشامیدنی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس آبگیر سد لتیان که منشأ آن رودخانه جاجرود است و پنج حلقه چاه فلمن حاشیه رودخانه جاجرود است. در این تصفیه‌خانه فرآیند تصفیه به‌صورت فیلتراسیون مستقیم است که آب ورودی بعد از عبور از زلال‌ساز از نوع پولساتور وارد چهار صافی شنی شده و در نهایت در مخزن ذخیره شده و وارد شبکه توزیع می‌شود. نمونه‌ها در فصول مختلف از نقاط مذکور طبق دستورالعمل‌های ارائه شده از سوی سازمان استاندارد ملی ایران (استاندارد ملی

درجه حرارت و pH با استفاده از pH متر مجهز به دماسنج در محل (USA. Co Hach) آنیون ها و کاتیون ها با اسپکتروفوتومتر مدل (DR5000- USA. Co Hach) تعیین مقدار شد. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش های شیمیایی آب محصول شرکت مرک آلمان بود.

۱۰۱۱ و ۱۰۵۳) و شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، در ظروف پلاستیکی مخصوص نمونه برداری شیمی فیزیکی آب، جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. کل جامدات محلول با روش محاسباتی، کلرور، اجزا سختی و قلیائیت آب با روش تیتراسیون براساس دستورالعمل های C-2543، B-2323 و C-2343 کتاب استاندارد متد (APHA, 2005) اندازه گیری شدند.

جدول ۱- شاخص های مربوط به پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آب

شاخص	معادله	مقدار شاخص	تفسیر
شاخص اشباع لانتزلیه	$SI = pH - pH_s$	$SI > 0$	آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوبگذاری دارد
		$S = 0$	حالت تعادل
		$SI < 0$	آب زیر اشباع بوده و تمایل به تجزیه $CaCO_3$ دارد
شاخص پایداری رایزنر	$RSI = 2pH_s - pH$	$RSI < 6$	آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوبگذاری دارد
		$6 < RSI < 7$	حالت تعادل
		$RSI > 7$	آب زیر اشباع بوده و تمایل به تجزیه $CaCO_3$ دارد
شاخص خوردگی	$AI = [pH + \log[(A)(H)]]$	$AI < 10$	آب بسیار خورنده است
		$10 < AI < 12$	آب خوردگی متوسط دارد
		$AL > 12$	آب خورنده نیست
شاخص پوکوریوس	$PI = 2pH_s - pH_{eq}$	$PI > 6$	آب خورنده است
	$pH_{eq} = 1.465 \log(T.ALK) + 4.54$	$PI < 6$	آب رسوب گذار است
نسبت (لارسون - اسکولد)	$LR = (Cl^- + SO_4^{2-}) / (HCO_3^- + CO_3^{2-})$	$LR < 0.8$	آب خورنده نیست
		$0.8 < LR < 1.2$	آب در حالت تعادل است
		$LR > 1.2$	آب خورنده است

جدول های ۲ و ۳ پارامترهای کیفی و میزان غلظت آنیون های منابع ورودی به تصفیه خانه را نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود با مقایسه اندیس های مربوط به خوردگی و رسوب گذاری، آب مربوط به چاه های شماره ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ جابجود به ترتیب خورنده، رسوب گذار، رسوب گذار، خورنده و خورنده است. آب مربوط به مخزن آبگیر نیز تا حدودی رسوب گذار است. هم چنین لازم به ذکر است در جدول ۲ مقادیر مربوط به حد مجاز و مطلوب ثبت شده در استاندارد نیز آمده است.

جدول های ۴ و ۵ نتایج مربوط به نوع آب ورودی و خروجی از تصفیه خانه را نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود آب ورودی به تصفیه خانه با توجه به پارامترهای محاسبه شده خورنده تر است. اما آب خروجی میزان خوردگی کمتری دارد که نشان دهنده عملکرد مناسب تصفیه خانه است. با توجه به نتایج در فصول مختلف سال ملاحظه می شود میزان قابلیت خوردگی آب در فصول گرم افزایش یافته است که می تواند ناشی از افزایش انحلال پذیری مواد در آب نیز باشد.

تغییرات مربوط به مقادیر کمی شاخص های مختلف

عوامل شیمیایی موثر بر خوردگی عبارتند از: غلظت اکسیژن محلول در آب، غلظت کل جامدات محلول در آب، قلیائیت، pH، کربن دی اکسید، غلظت آنیون های موجود در آب و غلظت کلر باقی مانده. همان طور که ملاحظه می شود اثر این عوامل در پارامترهای تعیین کننده خوردگی یا رسوب گذاری آب دخالت داده شده اند. اندیس لانتزلیه و رایزنر تحت تاثیر میزان pH، قلیائیت، سختی و جامدات محلول در آب است. اندیس لارسون تحت تاثیر میزان CO_2 محلول در آب و سایر آنیون های محلول است. از طرفی هرچه میزان اکسیژن محلول در آب بالاتر باشد آب خورنده تر است. میانگین مقادیر پارامترهای مورد بررسی در طی سال ۱۳۹۷ برای منابع آب تأمین کننده تصفیه خانه آب شرب پردیس در جدول ۲ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث

مقادیر مربوط به پارامترهای خوردگی و رسوبگذاری منابع آب ورودی به تصفیه خانه در جدول ۳ محاسبه شده اند.

رسوب‌گذاری و خوردنگی برای آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه، با زمان در شکل ۱ بهتر نمایش داده شده است. با توجه به این شکل همان‌طور که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، میزان قابلیت خوردنگی آب در فصول گرم به دلیل افزایش انحلال‌پذیری مواد در آب بیشتر شده است. مقادیر مربوط به میزان اکسیژن محلول

در آب، قبل و بعد از فرآیند تصفیه در جدول ۶ آمده است. همان‌طور که از مقایسه میزان اکسیژن محلول در آب ملاحظه می‌شود طی فرآیند تصفیه مقدار اکسیژن محلول در آب کاهش یافته است که دلیلی بر کاهش میزان خوردنگی آب است.

جدول ۲- پارامترهای کیفی منابع تأمین‌کننده تصفیه‌خانه آب شرب پردیس سال ۱۳۹۷

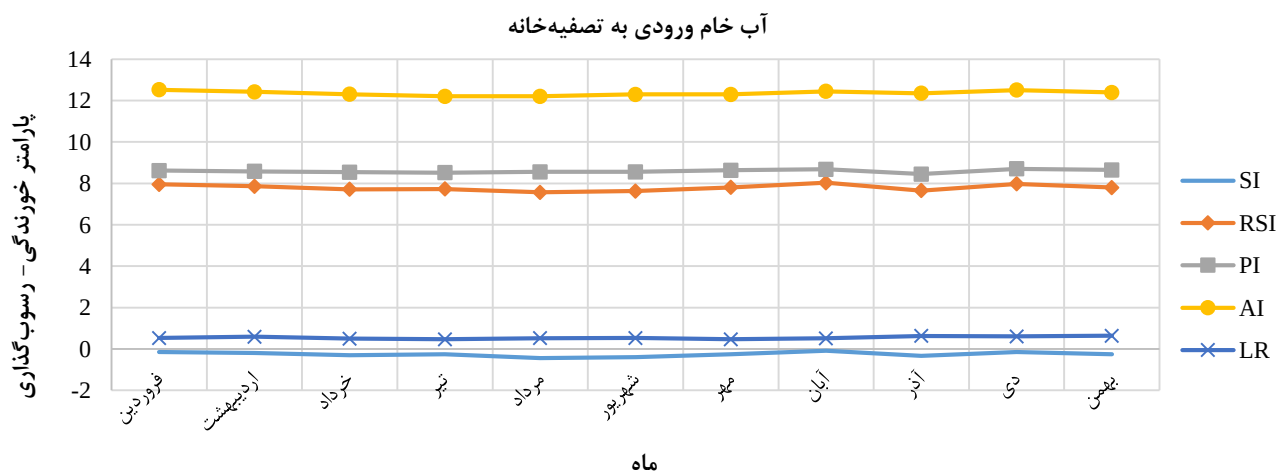
محل نمونه برداری	PH	کلسیم (mg/L)	قلیائیت (mg/L)	سختی کل (mg/L)	هدایت الکتریکی (mh/cm p)	TDS (mg/L)	کلرور (mg/L)	سولفات (mg/L)	نیترات (mg/L)	نیتریت (mg/L)	فسفات (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	فلوراید (mg/L)
چاه فلمن ۱	8	53.31	220	157.56	581	314	45.9	53	8.15	0.03	0.25	192	0.61
چاه فلمن ۲	7.9	75.9	299	248	653	349.4	33.32	40	4.39	0.01	0.11	303	0.35
چاه فلمن ۳	7.9	61.15	227	169.68	491	313.3	35.7	56	7.23	0.03	0.16	207	0.52
چاه فلمن ۴	7.7	53.31	212	149.46	544	299.9	41.82	53	8.04	0.03	0.12	182	0.49
چاه فلمن ۵	7.9	51.74	188	141.4	492	270.4	33.66	46	7.49	0.04	0.13	172	0.48
آبگیر	8.4	59.57	212	148	513	290.1	32	42	9.61	0.02	0.04	181	0.31
مقادیر مجاز آشامیدنی	6.5-9	-	-	500	-	1500	400	400	50	3	-	-	-
مقادیر مطلوب آب آشامیدنی	6.5-8.5	300	-	200	-	1000	250	250	-	-	-	-	-

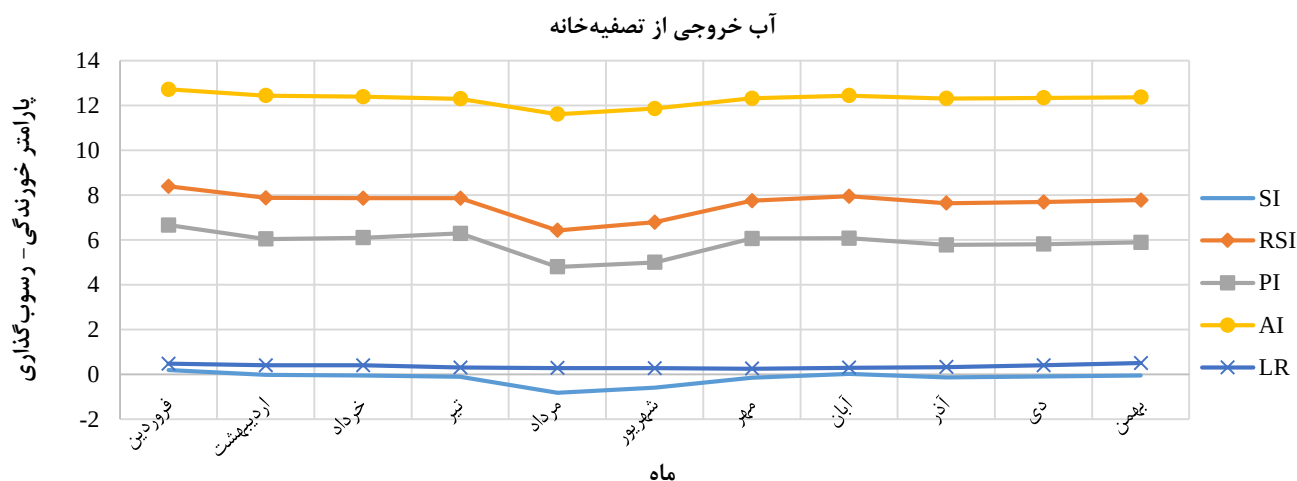
جدول ۳- مقادیر مربوط به شاخص‌های خوردنگی و رسوب‌گذاری منابع آب ورودی به تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در سال ۱۳۹۷

محل نمونه‌برداری	دما (°C)	فاکتور دما	TDS فاکتور	لگاریتم قلیائیت	لگاریتم کلسیم	(eq) pH	PHs	SI	RI	PI	AI	LR
چاه فلمن ۱	24.7	2.1	9.84	2.34	1.73	7.97	7.87	0.08	7.79	7.77	12.411	0.52
چاه فلمن ۲	20.5	2.1	9.84	2.48	1.88	8.17	7.58	0.28	7.31	7	12.45	0.24
چاه فلمن ۳	20.5	2.1	9.84	2.34	1.76	7.97	7.84	0.1	7.73	7.71	12.44	0.30
چاه فلمن ۴	24.7	2.1	9.84	2.33	1.73	7.95	7.89	-0.15	8.04	7.83	12.38	0.52
چاه فلمن ۵	24.8	2.1	9.84	2.27	1.71	7.57	7.95	-0.01	7.96	8.03	12.37	0.46
محزن حوضچه جمع‌آوری آبگیر	20.1	2.1	9.84	2.33	1.78	7.95	7.84	0.55	7.29	7.73	12.33	0.41

جدول ۴- مقادیر پارامترهای کیفی و اندیس‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب پردیس در سال ۱۳۹۷

محل نمونه برداری	ماه	pH	TDS (mg/L)	سختی کل (CaCO ₃ mg/Las)	قلیائیت کل (mg/L as CaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	کلرور (mg/L)	سولفات (mg/L)	کلسیم (mg/L)	PHs	SI	RSI	PI	AI	LR
تصفیه‌خانه خروجی	فروردین	8.19	292.96	212.2	160	171	41	41	53.86	7.99	0.2	8.39	6.66	12.72	0.48
	اردیبهشت	7.9	291.6	206	170	182	40.2	35	60	7.92	-0.02	7.88	6.04	12.44	0.41
	خرداد	7.91	256.1	189.9	160	153	30.1	32	58	7.96	-0.05	7.86	6.1	12.39	0.41
	تیر	7.96	228.32	156.8	140	166	21.2	31	53	8.06	-0.1	7.86	6.29	12.3	0.31
	مرداد	7.24	210.48	157.6	150	183	22.5	31	50	8.05	-0.81	6.43	4.8	11.61	0.29
	شهریور	7.38	230.06	177.8	170	191	21.5	32	54	7.97	-0.59	6.79	5	11.86	0.28
	مهر	7.89	202.75	169.7	160	175	18	28	50	8.03	-0.14	7.75	6.06	12.32	0.26
	آبان	7.92	254.14	195.9	170	165	20	30	64	7.89	0.03	7.95	6.08	12.44	0.3
	آذر	7.77	256.34	202	170	175	27	30	63	7.9	-0.13	7.64	5.78	12.31	0.33
	دی	7.78	271.38	214.2	168	169	31	38	68	7.87	-0.09	7.69	5.81	12.34	0.41
	بهمن	7.82	305.47	214.2	167	158	40	40	70	7.86	-0.04	7.78	5.89	12.37	0.51
تصفیه‌خانه ورودی	فروردین	8.1	296.88	220.3	120	184	58	40	40	8.25	-0.15	7.95	8.62	12.52	0.53
	اردیبهشت	8.06	286.77	202	114	165	49	48	41	8.26	-0.2	7.86	8.58	12.42	0.59
	خرداد	8.01	252.06	189.9	104	180	40	49	40	8.31	-0.3	7.71	8.54	12.31	0.5
	تیر	7.99	215.24	164.6	100	169	38	42	38	8.25	-0.26	7.73	8.52	12.21	0.47
	مرداد	8.01	206.72	157.6	100	157	35	46	30	8.45	-0.44	7.57	8.56	12.21	0.52
	شهریور	8.02	243.37	185.8	103	168	39	50	32/5	8.41	-0.39	7.63	8.56	12.3	0.53
	مهر	8.06	204.42	165.6	105	171	32	49	40.1	8.31	-0.25	7.81	8.63	12.3	0.47
	آبان	8.11	253.31	193.9	114	185	42	52	48	8.19	-0.08	8.03	8.68	12.45	0.51
	آذر	7.99	271.52	204	112	160	46	54	35.2	8.33	-0.34	7.65	8.45	12.35	0.63
	دی	8.12	269.11	216.2	113	174	48	58	41.2	8.26	-0.14	7.98	8.7	12.51	0.61
	بهمن	8.06	302.14	210.1	102	182	59.1	57	40	8.32	-0.26	7.8	8.65	12.39	0.64





شکل ۱- مقایسه شاخص‌های مربوط به پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب با زمان برای آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه در سال ۱۳۹۷

جدول ۵- میانگین مقادیر اندیس‌های خوردگی و رسوب‌گذاری برای آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب پردیس در سال ۱۳۹۷

محل نمونه‌برداری	SI	RSI	PI	AI	LR
میانگین ورودی	-0.26	7.79	8.59	12.36	0.54
میانگین خروجی	-0.16	7.64	5.87	12.28	0.36

جدول ۶- میزان اکسیژن محلول در آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در سال ۱۳۹۷

محل نمونه‌برداری	میانگین اکسیژن محلول در آب
آب ورودی	8.9
آب خروجی	7.51

هستند و برخی دیگر پتانسیل خوردگی دارند، مخلوط شدن این آب‌ها با هم در ورودی تصفیه‌خانه موجب متعادل شدن وضعیت رسوب‌گذاری یا خوردگی می‌شود، ولی هم‌چنان آب ورودی نسبت به خروجی تصفیه‌خانه خورنده‌تر است.

براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۴ مقدار pH آب خروجی از تصفیه‌خانه در محدوده مناسبی قرار گرفته و در حد مطلوب استاندارد است. این موضوع محدودیتی را از نظر مصارف آشامیدنی آب ایجاد نمی‌کند. هم‌چنین مقدار جامدات محلول در آب (TDS) نیز از حد مطلوب ۱۰۰۰ پایین‌تر است. نتایج نشان می‌دهد مقدار TDS آب خروجی و ورودی تقریباً در یک محدوده هستند و تغییر محسوسی در آن ایجاد نشده است. با توجه به نتایج مربوط به سختی کل و قلیاییت کل مقدار سختی کل بعد از فرآیند تصفیه اندکی افزایش و مقدار قلیاییت تا حدودی کاهش یافته است. به‌طور کلی چنان‌چه آب ورودی به شبکه توزیع براساس شاخص لانژلیه کمی رسوب‌گذار باشد، مناسب است. زیرا تشکیل لایه نازکی از کربنات کلسیم در جدار داخلی لوله‌ها موجب جلوگیری از خوردگی و ورود آلودگی به آب می‌شود.

از آنجایی که آب شرب تصفیه‌خانه پردیس، مورد مصرف ساکنین شهرهای پردیس رودهن و بخشی از بومهن است بررسی آن از نظر کیفیت و پتانسیل خوردگی و یا رسوب‌گذاری حائز اهمیت است. هم‌چنین پایش کیفیت شیمیایی آب و کنترل آن به افزایش عمر مفید تاسیسات آبرسانی و شبکه‌های توزیع کمک نموده و احتمال نشت و هدررفت آب را کاهش می‌دهد.

در اغلب منابع آب زیرزمینی مقداری از کربنات کلسیم موجود در خاک به‌واسطه وجود دی‌اکسیدکربن در آب حل می‌شود که نتیجه آن تشکیل یک سیستم تعادلی کربنات به‌صورت بی‌کربنات در آب هست که موجب ایجاد سختی در آن می‌شود. هنگام انتقال آب به سطح زمین و افت فشار، دی‌اکسید کربن آن خارج شده و منجر به تغییر تعادل کربنات می‌شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد پتانسیل تشکیل رسوب و یا خوردگی به فاکتورهایی شامل pH آب، غلظت کلسیم، میزان قلیاییت، غلظت مواد محلول در آب، غلظت آنیون‌ها (کلراید و سولفات) بستگی دارد. چنان‌چه بر اساس شاخص‌های مذکور آب شبکه توزیع رسوب‌گذار باشد، رسوب کربنات کلسیم در خطوط انتقال شبکه تشکیل خواهد شد. از آنجایی که برخی از چاه‌ها و آبگیرها دارای پتانسیل رسوب‌گذاری

۴- نتیجه گیری

علیدادی، ح. توکلی، ب. و ظریف، ب.، (۱۳۹۸)، "پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی: مطالعه موردی شهر مشهد، ۱۳۹۶"، *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*، ۴(۴)، ۲۷۲-۲۸۲.

غنی زاده، ج. و قانعیان، م.، (۱۳۸۸)، "پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب آشامیدنی در سیستم های آبرسانی مراکز نظامی"، *مجله طب نظامی*، ۱۱(۳)، ۱۵۵-۱۶۰.

فرزاد کیا، م. و عسگری، ای.، (۱۳۹۶)، "مطالعه پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی در شبکه توزیع شهر ملک شاهی استان ایلام، بهار ۹۳"، *مجله رهاورد سلامت*، ۲(۱)، ۲۱-۲۸.

مختاری، س.، علی قادری، م. و حضرتی، س.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوب گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص های لانژلیه و رایزنر"، *مجله سلامت و بهداشت*، ۱(۲)، ۱۴-۲۳.

مظلومی، س.، بابایی، ع. و فضل زاده، م.، (۱۳۸۷)، "پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر شیراز"، *مجله طلوع بهداشت*، ۲(۲)، ۶۴-۷۱.

مهوی، ع.، (۱۳۸۷)، "فاکتورهای خوردگی در سیستم توزیع آب آشامیدنی زنجان"، پایان نامه دکتری، دانشکده سلامت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

ملکوتیان، م.، فاتحیان، ع. و میدانی، ا.، (۱۳۹۱)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شرب شبکه توزیع شهر کرمان"، *مجله طلوع بهداشت*، ۱۱(۳)، ۱-۱۰.

American Public Health Association (APHA), (2005), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Washington, DC, USA.

AWWA. (2005), *Water treatment plant design*, 4th Edition, Mc Graw Hill, New York.

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.

Cavano R.R., (2005), "Understanding scaling indices and calculating inhibitor dosages", In *CORROSION 2005*, OnePetro.

Dehghani, M., Tex, F., and Zamanian, Z., (2010), "Assessment of the potential of scale formation and corrosivity of tap water resources and the network distribution system in Shiraz, South Iran", *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13(2), 88-92.

Ghaneian, MT., Ehrampoush, MH. and Ghanizadeh, GH., (2009), "Survey of corrosion and precipitation potential in dual water distribution system in Kharanagh district of Yazd", *Journal of Toloo-E-Behdasht*, 7(3-4), 65-72.

Hosseini, H., (2009), "Study on corrosion and scaling indexes of drinking water in west regions of Iran (case study Javanroud city)", *12th National Conference of*

سیستم پایدارسازی آب و تثبیت ویژگی های کیفی آب قبل ورود آب به شبکه های توزیع عامل مهمی در کنترل و پیشگیری از بروز خوردگی و رسوب گذاری است. با توجه به یافته های این مطالعه مشخص شد که شاخص های فیزیکی و شیمیایی، آنیون ها، پارامترهای سختی، قلیائیت و TDS در تمام نقاط مربوط به منابع آب، آب ورودی به تصفیه خانه و آب خروجی در حد مطلوب استاندارد قرار دارد. طبق نتایج به دست آمده، آب ورودی به تصفیه خانه براساس پارامترهای لانژلیه، پوکوریوس اندکی خورنده است؛ در حالی که آب خروجی تصفیه خانه پردیس براساس شاخص خوردگی، لارسون و پوکوریوس رسوب گذار بوده و شاخص های رایزنر و لانژلیه نشان دهنده خورنده بودن آب است. در اکثر موارد آب ورودی به تصفیه خانه ماهیت خورنده تری نسبت به آب خروجی دارد، لذا کنترل فرآیند خوردگی امری ضروری محسوب می شود. اما از آنجایی که طی فرآیند تصفیه با انجام تزریقات صحیح مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده (که در این تصفیه خانه کلرور فریک و آهک هستند) آب خروجی ماهیت رسوب گذار دارد. بر این اساس می توان ادعا کرد رسوب گذاری آب خروجی تصفیه خانه همواره در محدوده مناسبی قرار دارد و برای ورود به شبکه توزیع و مصرف قابل قبول است.

۵- مراجع

دیانتی تیلکی، ر. و محمودی، م.، (۱۳۷۹)، "بررسی شاخص های رسوب گذاری و خوردگی منابع آب شرب برخی از شهرهای استان مازندران"، *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*، ۴(۲)، ۵۷-۶۷.

جعفرزاده، ن. و سواری، ع.، (۱۳۸۸)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شرب شبکه توزیع شهر اهواز"، *مجله علوم طبیعی و تکنولوژی*، ۱۰(۴)، ۶۵-۷۴.

داودی، م.، اسکندری، ع.، برجسته، ف.، سرمدی، م. و سلیمی، ج.، (۱۳۹۵)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شرب روستایی شهرستان تایباد در سال ۹۴-۹۵"، *مجله طنین سلامت*، ۴(۲)، ۴-۱۳.

صالحی، س.، المدرسی، ع. و میرحسینی، الف.، (۱۴۰۰)، "بررسی عوامل تشکیل رسوب در شبکه توزیع آب شرب شهر سوق و رابطه آن با خواص آب"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۲(۱)، ۱۰۶-۱۲۴.

“Characterization of the corrosive action of mineral waters from thermal sources, A case study at Azores Archipelago, Portugal”, *Water*, 7(7), 3515-30.

Zazouli, M., BarafrashtehPour, M., Sedaghat, F., and Mahdavi, Y., (2013), “Assessment of scale formation and corrosion of drinking water supplies in Yasuj (Iran) in 2012”, *Journal of Mazandaran University of Medical Science*, 22(2), 100-8.



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

Environmental Health, Shahid Beheshti Medical University, Tehran, Iran, pp. 123-126

Imran, S.A., Dietz, J.D., Mutoti, G., Taylor, J.S., and Randall, A.A., (2005), “Modified Larsons ratio incorporating temperature, water age, and electroneutrality effects on red water release”, *Journal of Environmental engineering*, 131(11), 1514-20.

Kawamura S., (2000), *Integrated design and operation of water treatment facilities*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.

Li, X., Wang, H., and Zh, Yu. (2014), “Characterization of the bacterial communities and iron corrosion scales in drinking groundwater distribution systems with chlorine/chloramine”, *Journal of International Biodeter Biodegradation*, 96(2), 71-79.

Metcalf, E., Tchobanogolus, G., and Burton, F.L., (2003), *Wastewater treatment: Treatment and reuse*, 4th Edition, McGraw-Hill, New York.

Palazzo, A., van der Merwe, J., and Combrink, G., (2015), “The accuracy of calcium-carbonate-based saturation indices in predicting the corrosivity of hot brackish water towards mild steel”, *Journal of Southern Afr Instit Mining Metallurgy*, 115(12), 1229-38.

Peng, C.Y., and Korshin, G.V. (2011), “Speciation of trace inorganic contaminants in corrosion scales and deposits formed in drinking water distribution systems”, *Journal of Water Research*, 45(3), 5553-5563.

Świetlik, J., Raczyk-Stanisławiak, U., and Piszora, P., (2012), “Corrosion in drinking water pipes: The importance of green rusts”, *Journal of Water Research*, 46(3), 1-10.

Spellman, F., (2008), *The science of water concepts and application*, 2nd Edition, CRC Press, New York.

Shankar, B.S. (2014), “Determination of scaling and corrosion tendencies of water through the use of Langelier and Ryznar indices”, *Scholars Journal of Engineering and Technology*, 2(2A), 123-127.

Saifelnasr, A., Bakheit, M., Kamal, K., and Lila, A., (2013), “Calcium carbonate scale formation, prediction and treatment”, *Journal of International Letters Chemistry Physics Astronomy*, 12(3), 47-58.

Shyam, R., and Kalwania, G.S. (2010), “Corrosivness and scaling potential of ground water from Sikar city, Rajasthan (India)”, *Journal of ENatura Conscientia*, 1(3), 223-239.

Shams, M., Mohamadi, A., and Sajadi, S.A., (2012) “Evaluation of corrosion and scaling potential of water in rural water supply distribution networks of Tabas”, *Journal of Iran World Applied Science*, 17(2), 1484-1489.

Shahmohammadi, S., and Noori, A., (2018), “A study on corrosion and scaling potential of drinking water supply resources in rural areas of Sarvabad, west of Iran “, *Journal of Advanced Environment and Health Research*, 6(2), 52-60

Tarantseva, K.R., and Firsova, V.N., (2006), “The effect of corrosion products on the toxicity of industrial sewage”, *Journal of Protect Metals*, 42(2), 188-93

Vasconcelos, H.C., Fernández-Pérez, B.M., González, S., Souto, R.M., and Santana, J.J., (2015),

Research Paper

مقاله پژوهشی

Evaluation of the Efficiency of the Sedimentation Unit Equipped with Baffle Plates in Removing Water Turbidity in Flood Conditions

بررسی کارایی واحد ته‌نشینی مجهز به صفحات بافل‌دار در حذف کدورت آب در شرایط سیلابی

Abbas Hasani^{1*} and Navid Nourbakhsh²

1- M.Sc. of Civil Engineering-Water Resources Management, Director of the Anzali Water and Wastewater Co., Anzali Port, Iran.

2- Ph.D. in Applied Chemistry- Director of the Amlash Water and Wastewater Co., Amlash, Iran.

*Corresponding Author, Email: Hasani_abbas_2007@yahoo.com

Received: 11/01/2021

Revised: 13/03/2021

Accepted: 17/04/2021

© IWWA

عباس حسنی^{۱*} و نوید نوروبخش^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-مدیریت منابع آب، مدیر آب و فاضلاب بندر انزلی، بندر انزلی، ایران.

۲- دکتری شیمی کاربردی، مدیر آب و فاضلاب املش، املش، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: Hasani_abbas_2007@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

The raw water entering the water treatment plants in Guilan province is of surface water type and due to the fact that the soil of the supplying rivers catchment area is highly erodible, in heavy rains the soils washed by runoff enter the rivers or canals and increase the turbidity of raw inflows to the plants above the allowable limits provided in the design. At this time, due to the non-responsiveness of the treatment plant to such high turbidity, the operation of the treatment plant will inevitably be shut down and cause drinking water interruption in the distribution network. In order to settle the suspended solids and reduce the turbidity of water entering the next stage of treatment (filtration), sedimentation ponds are used. Baffle plates create a slow flow and are used to reduce the sedimentation distance of the particle in the sedimentation and clarification process. In this research, the use of baffle plates or flow relief walls in sedimentation ponds in a treatment plant were analyzed using simulation with Camsul software. Results were compared to normal conditions (no baffles or walls) and the feasibility of increasing the efficiency of these ponds and finally the efficiency of existing treatment plants in real volume were investigated.

Keywords: Baffle Plates, Flood, Modeling, Sedimentation, Turbidity, Water Treatment Plant.

چکیده

آب خام وارده به تصفیه‌خانه‌های گیلان از نوع آب‌های سطحی بوده و با توجه به این‌که خاک منطقه حوضه آبریز رودخانه‌های تأمین‌کننده آن بسیار فرسایش‌پذیر است در بارندگی‌های شدید، خاک‌های شسته شده توسط رواناب‌ها وارد رودخانه و یا کانال شده و باعث بالا رفتن کدورت آب خام ورودی تصفیه‌خانه‌های آب به بیش‌ازحد مجاز پیش‌بینی‌شده در طراحی، می‌شود. در این موقع به‌دلیل جوابگو نبودن تأسیسات تصفیه‌خانه برای چنین کدورت بالایی، به‌ناچار فعالیت تصفیه‌خانه به‌حالت تعطیل درآمده و موجب بروز مشکل قطع آب شرب در شبکه توزیع می‌شود. برای ته‌نشین کردن مواد جامد معلق در آب و کاهش کدورت آب ورودی به مرحله بعدی تصفیه (فیلتراسیون)، از حوضچه‌های ته‌نشینی استفاده می‌شود. صفحات بافل ایجادکننده جریان آرام هستند و به‌منظور کاهش فاصله ته‌نشینی ذره در فرآیند ته‌نشینی و زلال‌سازی استفاده می‌شوند. در این تحقیق استفاده از صفحات بافل یا دیواره‌های آرام‌کننده جریان در حوضچه‌های ته‌نشینی در یک واحد تصفیه‌خانه با استفاده از شبیه‌سازی با نرم‌افزار Camsol، نتایج حاصله در شرایط تجهیز شده و مقایسه با شرایط معمولی، امکان‌سنجی افزایش راندمان این حوضچه‌ها و درنهایت بازدهی تصفیه‌خانه‌های موجود در حجم واقعی مورد محاسبه قرار گرفت.

کلمات کلیدی: تصفیه‌خانه آب، سیل، صفحات بافل، حوضچه ته‌نشینی، کدورت، مدل‌سازی.

- تأمین پایدار آب شرب ساکنین منطقه و رضایتمندی مشترکین؛

- مدیریت بحران در تصفیه‌خانه‌ها در زمان وقوع سیل؛
- فروش پایدار آب شرب و تأمین مالی شرکت‌های آب و فاضلاب؛
- کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای برای توسعه تأسیسات تصفیه آب.
سرعت ته‌نشین شدن مواد که شاخص مهم راندمان یک حوضچه ته‌نشینی است به عوامل مختلفی مانند وزن مخصوص، قطر ذرات و درجه حرارت آب و همچنین شکل هندسی، ابعاد و ترتیب قرارگرفتن حوضچه‌های ته‌نشینی بستگی دارد. یک روش معروف اصلاح و بهبود عملکرد حوضچه‌های ته‌نشینی متداول در تصفیه آب، نصب وسایل ایجادکننده جریان آرام در آن‌ها است که حذف جامدات و کاهش کدورت را بهبود می‌بخشند، زیرا: (۱) فاصله یک ذره تا رسیدن به ناحیه لجن کاهش می‌یابد (بنابراین بار سطحی حوضچه کاهش می‌یابد)؛ (۲) جریان آرام در حوضچه برقرار می‌شود (بنابراین شرایط نزدیک‌تر به ته‌نشینی ایده آل ایجاد می‌شود) و (۳) از اثر جریان‌های غلیظ، جریان‌های حرارتی و اثر باد که سبب کاهش راندمان ته‌نشینی حوضچه‌های متداول می‌شوند، جلوگیری می‌کنند (جوادی راد، ۱۳۹۶). صفحات بافل ته‌نشینی ذره در فرآیند ته‌نشینی و زلال‌سازی استفاده می‌شوند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مکانیسم‌های ته‌نشینی ذرات

در رابطه با فرآیندهای فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه آب و فاضلاب ته‌نشینی مواد، ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین روش، جداسازی مواد جامد از سیال است. ذرات جامد موجود در فاضلاب فاقد شکل هندسی منظمی هستند و همچنین در مقایسه با ذرات کروی از سطح بزرگ‌تری برخوردارند. سطح بزرگ‌تر ذرات مزبور باعث می‌شود که با وجود یکسان بودن حجم، آهسته‌تر از ذرات کروی ته‌نشین می‌شوند. همچنین به دلیل تغییر سطح مقاومت و اصطکاک ذرات در جهت‌های مختلفی حرکت می‌کنند. تمامی عوامل مذکور باعث شده است که ته‌نشین شدن ذرات موجود در فاضلاب از نظم و قاعده معینی پیروی نکند (بوداگی، ۱۳۹۱). به‌طور کلی ته‌نشینی ذرات چهار حالت دارد:

- ته‌نشینی نوع اول (ته‌نشینی ذرات معلق به‌طور مجزا)^۲

- ته‌نشینی نوع دوم (ذرات لخته شده و چسبنده)^۳

- ته‌نشینی نوع سوم (ته‌نشینی ناحیه‌ای به‌صورت پتوی لجن)^۴

- ته‌نشینی نوع چهارم (ته‌نشینی فشرده)^۵

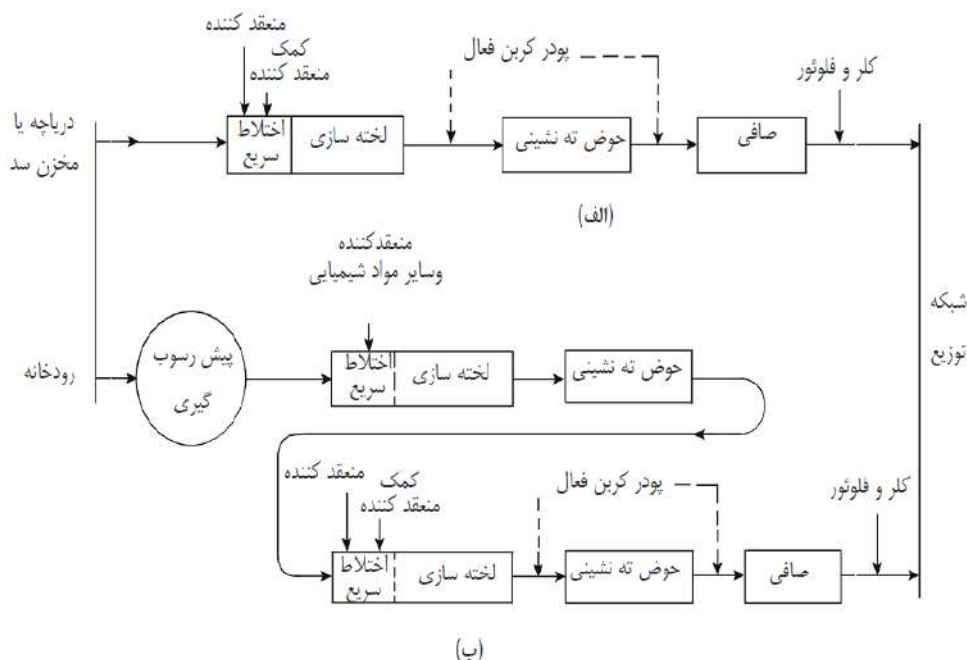
یکی از مشکلات دهه اخیر در کشور بروز پدیده نابهنجار سیل است. بروز این پدیده سبب فرسایش شدید خاک آب‌های سطحی، به‌ویژه آب‌های رودخانه در مواقع سیلابی دارای مقادیر متغیری از املاح محلول و مواد معلق نظیر گل و لای و مواد کلوئیدی است (حسنی، ۱۳۹۱). عمل ته‌نشینی عبارت است از رسوب ذرات معلق و ریز موجود در آب به‌منظور تصفیه و پالایش آب که در اثر وزن خود این ذرات زائد با عمل دلمه شدن و یکپارچگی و یا مستقلاً صورت می‌گیرد و در نتیجه در ته مخازنی به نام حوضچه ته‌نشینی رسوب نموده و تجمع می‌کنند. این یک روش تصفیه فیزیکی معمول در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب است (بوداگی، ۱۳۹۱). کدورت^۱ پدیده‌ای است که میزان شفافیت آب را مشخص می‌کند و به‌عنوان یک خاصیت ظاهری آب محسوب می‌شود. کدورت آب در اثر وجود ذرات کلوئیدی است که اغلب با افزایش مواد معلق در منبع تأمین‌کننده آب به‌وجود می‌آید (حسنی، ۱۳۹۱). این افزایش بر اثر عوامل جوی از جمله بارندگی و سیلاب است. مقادیر بالای کدورت، می‌تواند از تأثیر ماده گندزدا بر میکروارگانیسم‌ها بکاهد و باعث تشدید رشد باکتری‌ها در شبکه توزیع شود. از طرفی کدورت در آب عموماً توسط مواد معلق مثل خاک و گل و لای، مواد آلی و معدنی ریز، ترکیبات آلی رنگی محلول و پلانکتون‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود. کدورت آب را با کدورت‌سنج که میزان پراکندگی و جذب نور حاصل از منبع نوری حین عبور از محلول را اندازه می‌گیرد (پیکری، ۱۳۸۵).

یکی از مراحل تصفیه آب، ته‌نشینی و زلال‌سازی است. انتخاب نوع حوض ته‌نشینی بستگی به حجم آب وارده، کیفیت آب بار سطحی، حجم و ابعاد حوضچه و غیره دارد. اغلب حوض‌های ته‌نشینی متعارف براساس دبی متوسط و کدورت‌های عادی طراحی می‌شوند و قابلیت تاب‌آوری در کدورت‌های بالا را ندارند زیرا که برای این موضوع نیاز به فضای زیادی نیاز دارند و هزینه‌های احداث نیز به تبع بزرگ‌تر شدن سازه‌ها بیشتر می‌شود. به‌همین دلیل در تصفیه‌خانه‌هایی که احداث شده‌اند و با مشکل عدم قابلیت تصفیه آب‌های گل‌آلود مواجه هستند. بنابراین در مواقع بحرانی و افزایش ناگهانی کدورت آب خام به‌کارگیری سیستم قابل‌اعتماد به‌منظور حذف کدورت و برداشت آب شرب ضروری به‌نظر می‌رسد. این سیستم سبب موارد زیر می‌شود (بوداگی، ۱۳۹۱):

- افزایش راندمان تصفیه‌خانه‌ها در مواجهه با ورود آب‌های گل‌آلود؛

حذف مواد خطرناک آن‌ها صورت می‌گیرد. فرآیندهای تصفیه آب عمدتاً شامل روش‌های فیزیکی فیلتراسیون و ته‌نشینی (و روش‌های شیمیایی) انعقاد با مواد شیمیایی خاص است یا ممکن است با استفاده از برخی فرآیندهای پیشرفته (اسمز معکوس، رزین‌ها، تبادل یونی و غیره) صورت پذیرد (آشفته، ۱۳۸۵).

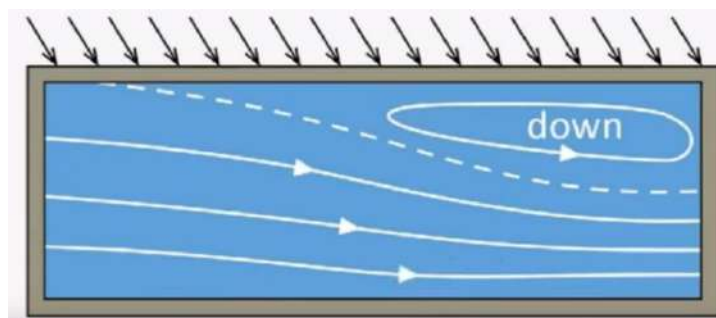
فرآیندهای تصفیه آب^۶ که به‌طور معمول برای آب‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند مطابق شکل ۱ عبارتند از: آشغال‌گیر؛ تصفیه شیمیایی مقدماتی؛ انعقاد و لخته‌سازی؛ ته‌نشینی؛ فیلتراسیون؛ جذب سطحی؛ گندزدایی و ذخیره‌سازی. تصفیه آب معمولاً برای شرب و سایر مصارف صنعتی صورت می‌گیرد؛ ولی تصفیه فاضلاب‌ها اساساً برای کاهش آلودگی یا



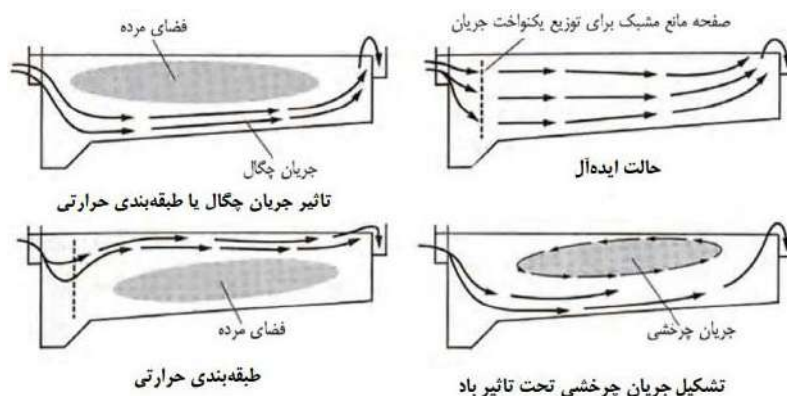
شکل ۱- فرآیندهای متداول در تصفیه آب‌های سطحی: الف) آب‌های سطحی ساکن؛ و ب) آب‌های سطحی جاری

حوضچه اطلاق می‌شود که با توجه به گرادیان سرعت در ورودی حوضچه، چرخش جریان مانع از ایجاد شرایط مناسب برای ته‌نشینی می‌شود. لذا با کاهش نواحی مرده درون حوضچه، بستر مناسبی برای ترسیب مواد ایجاد خواهد شد. طراحی این حوضچه‌ها و زمان ماندن آب درون آن‌ها نیاز به بررسی بیشتری دارد. زیرا هزینه ساخت حوضچه‌های ته‌نشینی در یک تصفیه‌خانه برابر حدود ۳۰ درصد هزینه کل یاد شده است (ابهری، ۱۳۹۷). شکل ۳، الگوهای جریان ایجاد شده در اثر عوامل مختلف در یک حوضچه مستطیلی شکل را در مقایسه با حالت ایده‌آل نشان می‌دهد.

به‌منظور بهینه‌کردن عملکرد حوضچه‌ها، باید جریان سیال وارد شونده به حوضچه آرام باشد و آشفتگی به‌مقدار حداقل رسانده شود. مطابق شکل ۲ مناطق چرخشی همیشه در حوضچه‌ها وجود دارند. این مناطق با ایجاد اتصال کوتاه باعث توسعه نواحی مرده و دوری از ته‌نشینی بهینه می‌شوند. زیرا ایجاد نواحی مرده و مناطق با اتصال کوتاه به آرامش جریان لطمه وارد می‌کند و بر عملکرد حوضچه تأثیرات منفی می‌گذارد. اگر غلظت درون حوضچه زیاد باشد، امکان ایجاد پدیده اتصال کوتاه به‌وجود می‌آید که بدون این‌که توده غلیظ تغییر بی‌نماید، جریان ورودی به سمت خروجی هدایت می‌شود. نواحی مرده به قسمتی از



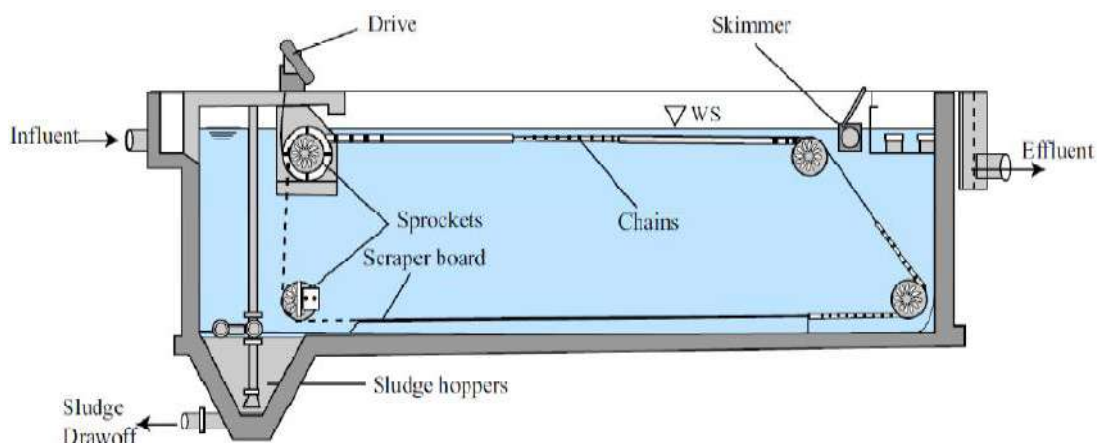
شکل ۲- شماتیک جریان مدار کوتاه در حوضچه مستطیلی



شکل ۳- الگوی جریان چرخشی در حوضچه مستطیلی

برای تسهیل در برداشت و تخلیه لجن شیب‌دار است و به‌طور معمول طول آن‌ها ۲ تا ۴ و گاه تا ۸ برابر عرض آن‌ها و ۱۰ تا ۲۰ برابر عمق آن‌ها است (Ahmed, 1996).

مخازن مستطیلی مطابق شکل ۴ در تصفیه‌خانه‌های با دبی زیاد کاربرد دارند و ضمن این‌که از نظر هیدرولیکی پایدارتر هستند، کنترل جریان نیز در آن‌ها آسان‌تر است. کف این مخازن



شکل ۴- شماتیک حوضچه ته‌نشینی مستطیلی

حوضچه ته‌نشینی مستطیلی دارای صفحات بافل و حوضچه‌های بدون صفحات بافل با شبیه‌سازی با نرم‌افزار کامسول^۷ مدل‌سازی و مقایسه شد که امکان سنجی افزایش راندمان حوضچه در حجم واقعی را مشخص نمود. درواقع این شبیه‌سازی نشان داد در یک حجم واقعی اگر آب خام با کدورت یکسان وارد این حوضچه‌ها شود و طبق روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب، کدورت آب و کل جامدات محلول مورد سنجش قرار گیرد می‌توان با مقایسه کدورت آب در خروجی دو نوع حوضچه، نتیجه به‌دست آمده از شبیه‌سازی را برای مدل واقعی بسط داد. در واقع می‌توان شرایط حاکم بر حرکت جریان در یک حوضچه با ابعاد واقعی را در نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی و تحلیل نمود.

نرم‌افزار تجاری کامسول یک مجموعه کامل شبیه‌سازی است که در سال‌های اخیر وارد بازار شده است و قادر است معادلات دیفرانسیل سیستم‌های غیرخطی را توسط مشتق‌های جزئی به روش المان محدود^۸ (FEM) در فضاهای یک، دو و سه‌بعدی

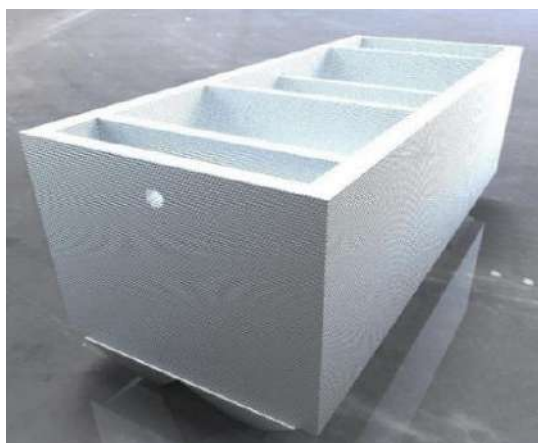
در این تحقیق برای بررسی مدل مستطیلی شکل حوضچه ته‌نشینی در راندمان حذف جریان گل‌آلود پس از بررسی انواع حوضچه ته‌نشینی از روش شبیه‌سازی مدل واقعی با نرم‌افزار استفاده شده است. رودخانه‌های استان گیلان اکثراً دارای کدورت بوده و در بعضی مواقع از سال کدورت آب این رودخانه و کانال‌های منشعب شده به‌دلیل بارش‌های سیل‌آسا و بالا بودن فرسایش خاک در حوزه آبریز رودخانه و حاشیه کانال‌های منشعب شده از آن به بیش از حد متعارف در نظر گرفته شده برای تصفیه و زلال‌سازی می‌رسد. لازم است که برای مقابله با این شرایط ارتقای تصفیه‌خانه به‌خصوص واحد ته‌نشینی در دستور کار قرار گیرد (Goula et al., 2008).

۲-۲- شبیه‌سازی حوضچه ته‌نشینی مستطیلی با نرم‌افزار کامسول

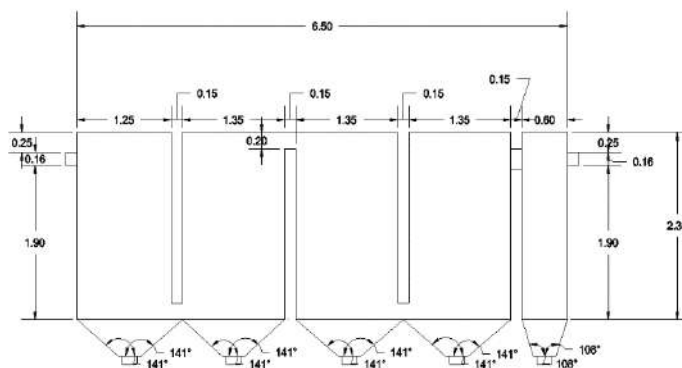
در این تحقیق، نتیجه تأثیر استفاده از صفحات بافل در دو نوع

شبیه‌سازی را با در نظر گرفتن تمام پدیده‌های مؤثر بر مدل انجام دهد. همچنین این نرم‌افزار امکان تعامل با نرم‌افزارهای مهندسی مانند CATIA, MATLAB, SolidWorks و AutoCAD را دارد (Comsol, 2018). براساس توانایی شبیه‌سازی و مطالعه مسائل، می‌توان با استفاده از تحلیل نرم‌افزار کامسول شرایطی را که رسیدن به آن در شرایط آزمایشگاهی غیرممکن است را نیز مورد مطالعه قرارداد.

حل نماید. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان طراحی و شبیه‌سازی پروژه‌های مهندسی برق، مکانیک، علوم زمین، شیمی، فیزیک، نجوم و کوانتوم را انجام داد. نرم‌افزار همچنین این امکان را به کاربر می‌دهد که برای بررسی دقیق‌تر مدل، از چند ماژول مختلف (شیمیایی، الکتریکی، مکانیکی، الکترومغناطیسی و ...) به صورت هم‌زمان استفاده کند. قابلیت‌هایی از این دست، این نرم‌افزار را به یک شبیه‌ساز عددی قدرتمند تبدیل کرده است که می‌تواند

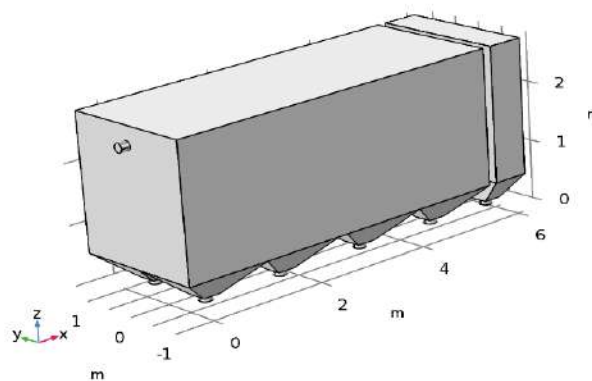
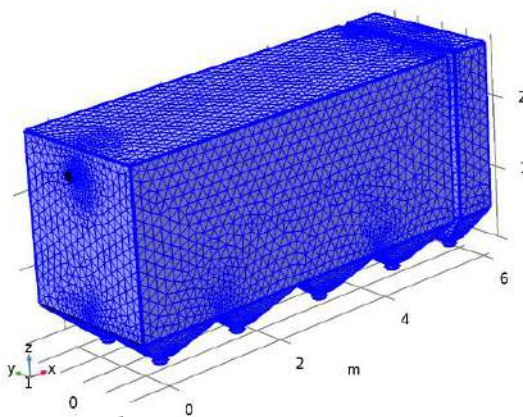
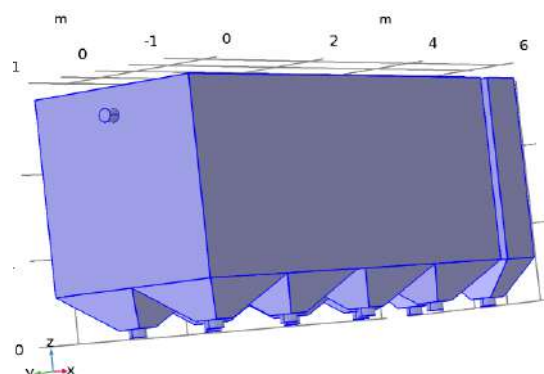
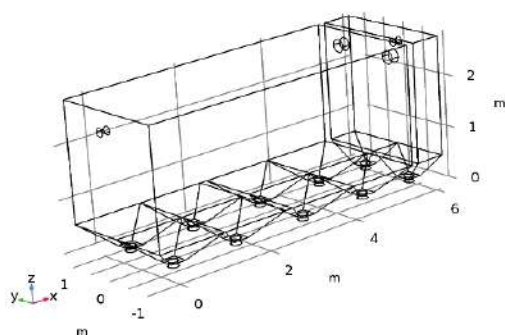


(ب)



(الف)

شکل ۵- هندسه و ابعاد مورد استفاده در شبیه‌سازی: (الف) مدل دوبعدی؛ و (ب) مدل سه‌بعدی حوضچه بافل‌دار



شکل ۶- هندسه و ابعاد مورد استفاده در شبیه‌سازی مدل سه‌بعدی حوضچه بدون بافل

جدول ۱- اطلاعات مورد محاسبه و سنجش در حوضچه ته‌نشینی (Joodi, 2013)

پارامترهای ته‌نشینی	علائم اختصاری	واحد	حوضچه پایلوت با بافل	حوضچه پایلوت بدون بافل
طول	L	متر	۶/۵	۶/۵
عرض	B	متر	۲/۶	۲/۶
عمق	H	متر	۲/۳	۲/۳
مساحت سطح حوضچه	A	مترمربع	۱۶/۹	۱۶/۹
حجم حوضچه	V	مترمکعب	۳۸/۸۷	۳۸/۸۷
دبی ورودی	Q	مترمکعب بر ساعت	۳۶	۳۶
بار سطحی یا سرعت ته‌نشینی خطی	V_0	متر بر ساعت	۲/۱۳	۲/۱۳
زمان ماند هیدرولیکی	t	ساعت	۱/۰۷۹۷	۱/۰۷
سرعت جریان افقی یا سرعت ته‌نشینی ایده‌آل	V_t	متر بر ساعت	۶/۰۲	۶/۰۲۰۱

۲-۳- مدل‌سازی جریان غلیظ با روش ردیابی مواد مخلوط در آب

مدل مخلوط در نرم‌افزار کامسول و سایر نرم‌افزارهای CFD برای دو فاز یا بیشتر طراحی شده است. در این مدل فازها به‌عنوان یک محیط پیوسته در هم نفوذکننده در نظر گرفته شده و معادلات مومنوم برای مخلوط حل و از سرعت‌های نسبی برای تشریح فازهای پراکنده استفاده می‌شود. مدل مخلوط برای جریان‌های پر ذره با بار کم، جریان‌های حبابی، ته‌نشینی و جداکننده‌های

سیکلونی به‌کار برده می‌شود. مدل مخلوط را هم‌چنین می‌توان بدون سرعت‌های نسبی برای فازهای پراکنده، برای مدل کردن جریان چندفازی یکنواخت نیز استفاده کرد. در این تحقیق از روش فیزیک و معادلات جریان مخلوط استفاده شده و علاوه بر مدل‌سازی سرعت جریان مخلوط در داخل حوضچه، درصد کسر حجمی مواد مخلوط شده نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. در جدول ۲ مقادیر لازم در این مدل‌سازی ذکر شده است.

جدول ۲- اطلاعات و پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی جریان مخلوط

شرح فارسی مقادیر	نام پارامتر در نرم‌افزار	شرح لیست مقادیر پارامتر
رابطه فیزیکی استفاده شده	Mixture Model, k-ε (mm)	فیزیک مدل مخلوط
نوع جریان سیال	وابسته به زمان	مرحله مطالعه
غلظت (کیلوگرم بر مترمکعب)	Rhos غلظت	۵۰۰۰ ۴۰۰۰ ۳۰۰۰
ویسکوزیته دینامیکی	Dynamic viscosity	$\eta(T[1/K])[\text{Pa.s}]$
چگالی	Density	$\rho(T[1/K])[\text{kg/m}^3]$
فاز پیوسته	Continuous phase	آب
فاز گسسته (ثانویه)	Dispersed phase	مواد جامد معلق
چگالی فاز پیوسته	Density, continuous phase	چگالی آب
چگالی فاز گسسته (ثانویه)	Density, continuous phase	۱۰۰۰
ویسکوزیته دینامیکی فاز پیوسته	Dynamic viscosity, continuous phase	۰/۰۰۱ ویسکوزیته آب
چگالی فاز گسسته (ثانویه)	Density, dispersed phase	۵۰۰
قطر ذرات	Diameter of particles/droplets	$1e^{-5}[\text{m}]$
مدل ویسکوزیته مخلوط	Mixture viscosity model	Krieger type
درصد حداکثر غلظت	Maximum packing concentration	۰/۶۲

۲-۴- معادلات بکار رفته در شبیه‌سازی جریان مخلوط
فرایند مدل‌سازی با حل هم‌زمان معادلات انتقال جرم و مومنوم و معادله نفوذ-جابجایی با روش المان محدود توسط نرم‌افزار کامسول انجام شده است. معادلات پیوستگی و مومنوم

را تحت عنوان معادلات اساسی می‌شناسند و بقیه معادلات به نحوی کمک‌کننده حل این دو معادله محسوب می‌شوند. در حل معادله پیوستگی باید مجموع کسر حجمی‌ها برابر یک باشد.

۳-۲- مقایسه شبیه‌سازی میدان سرعت جریان در حوضچه بدون بافل و حوضچه بافل‌دار

شبیه‌سازی حوضچه‌های ته‌نشینی بافل‌دار و بدون بافل برای بررسی هیدرولیک جریان ایجاد شده در این دو نوع هندسه مورد تحقیق و آگاهی از رفتار هیدرولیکی جریان سیال و مخلوط وارده به حوضچه، میدان سرعت جریان در طول حوضچه مورد بررسی قرار گرفت. خروجی دوبعدی نرم‌افزار کامسول رفتار سیال را در این دو نوع حوضچه نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر حوضچه بافل‌دار مشاهده می‌شود جریان در برخی نقاط بسیار آرام‌تر بوده و فرصت ته‌نشینی به مواد معلق را فراهم می‌کند. اما در حوضچه بدون بافل مشخص است که بیشترین سرعت در سطح بوده و مواد معلق فرصت حرکت در عمق را نداشته و عمق حوضچه نقشی در ته‌نشینی و رسوب مواد معلق ندارد.

۳-۱- مقایسه راندمان حذف کدورت در دو نوع حوضچه بافل‌دار و حوضچه بدون بافل

در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و مقایسه راندمان تصفیه‌خانه‌ها از شاخص کدورت استفاده شده است. بدین منظور مدل ساخته شده توسط محدوده‌ای از کدورت از ۸۰ NTU و در نهایت تا ۳۰۰ NTU برای مدل معمولی و برای سیستم تصفیه بافل‌دار تا محدوده ۲۵۰۰ NTU مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت.

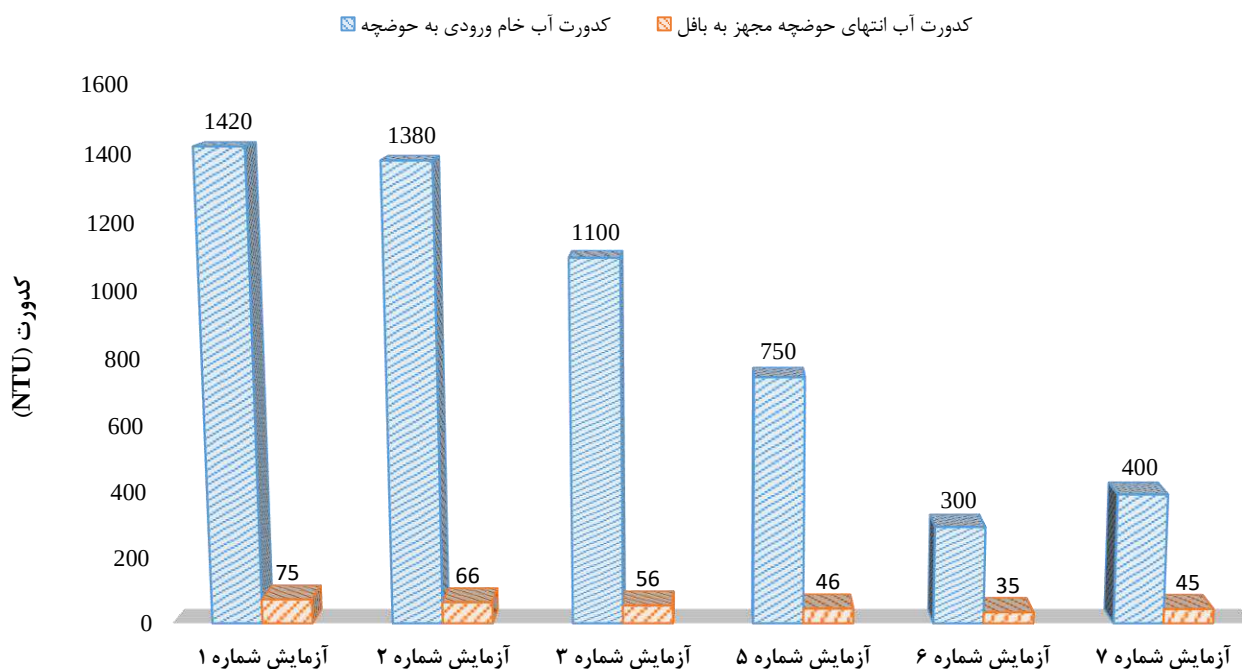
همان‌طور که مشاهده می‌شود در کدورت‌های بالاتر استفاده از دیواره بافل موجب تأثیر بیشتر مواد منعقدکننده شده و افزایش راندمان تله‌اندازی تقریباً کل مواد معلق می‌شود. برای نمونه در کدورت ورودی پائین ۱۰۰ NTU راندمان حوضچه بافل‌دار ۸۵ درصد بوده و در کدورت بالای ۲۵۰۰ NTU راندمان حذف به

جدول ۳- راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی بدون بافل

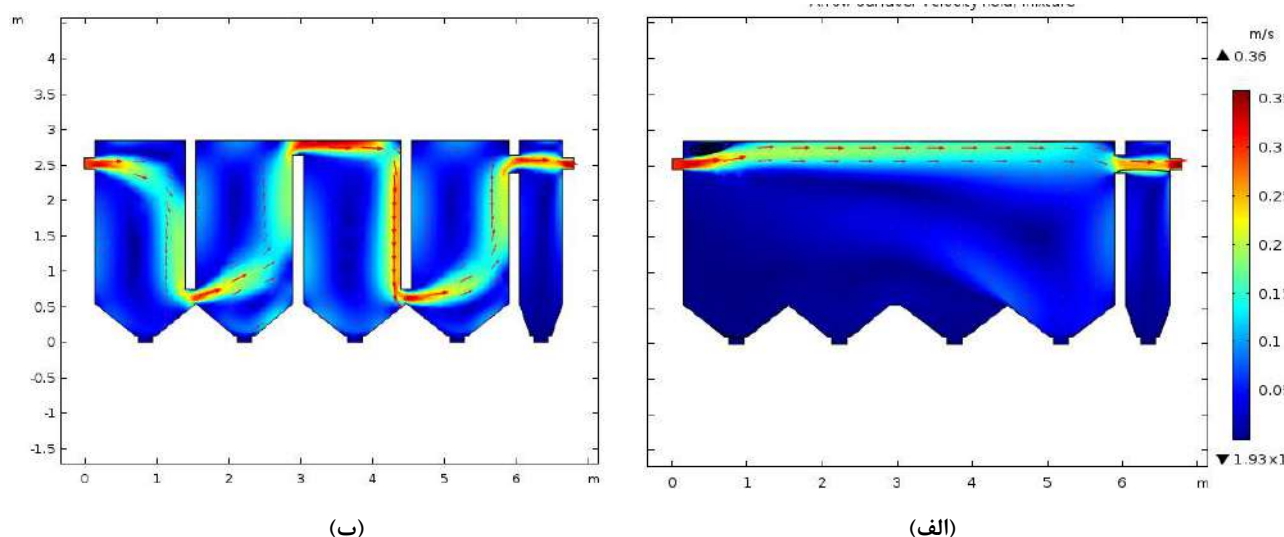
کدورت آب وارد به تصفیه‌خانه NTU (آبگیر)	راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی بدون بافل (درصد)	کدورت آب خروجی از استخر ته‌نشینی NTU (ورودی فیلتر)
۸۰	۵۰	۴۰
۱۰۰	۵۵	۴۵
۱۵۰	۵۰	۵۰
۲۵۰	۷۰	۷۰
۳۰۰	۶۸	۹۵
> ۳۰۰	--	> ۱۲۰

جدول ۴- راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی پس از اجرای بافل

کدورت آب وارد به تصفیه‌خانه (NTU)	راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی با بافل (درصد)	کدورت آب خروجی از استخر ته‌نشینی (NTU)
۸۰	۸۵	۱۲
۱۰۰	۸۵	۱۵
۱۵۰	۸۸	۱۷
۲۵۰	۹۳	۱۷
۳۰۰	۹۳	۲۰
۴۰۰	۹۵	۲۰
۵۰۰	۹۵	۲۵
۱۰۰۰	۹۸	۲۰
۱۵۰۰	۹۸/۸۷	۱۷
۲۰۰۰	۹۹/۲۵	۱۵
۳۰۰۰	۹۹/۵۰	۱۵
۲۵۰۰۰	۹۹/۹۴	۱۵
> ۲۵۰۰۰	-	-



شکل ۷- نمودار راندمان حذف کدورت در تصفیه‌خانه مجهز به بافل



شکل ۸- پروفیل طولی میدان سرعت جریان سیال مخلوط در: (الف) حوضچه بدون بافل؛ و (ب) حوضچه بافل‌دار

وجود صفحات بافل به‌عنوان مانع حرکت سریع طولی جریان گل‌آلود عمل کرده و ابتدا در عرض حوضچه‌های کوچک قبل از هر بافل به‌طور کامل پخش شده و سپس به حوضچه بعدی می‌رسد. با توجه به این‌که وجود تلاطم در جریان موجب به تأخیر افتادن عمل ته‌نشینی شود، در نتایج بررسی‌های این تحقیق مشخص شد صفحات بافل تلاطم جریان را کاهش می‌دهند.

آشفته‌گی جریان سیال در طول حوضچه‌های ته‌نشینی سبب متغیر بودن جریان درون این حوضچه‌ها می‌شود که همین موضوع یکی از عوامل اصلی کاهش راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی فاقد صفحات آرام‌کننده جریان است. در این تحقیق که

مقایسه خروجی شبیه‌سازی در نرم‌افزار کامسول نشان داد که در حوضچه فاقد بافل، جریان گل‌آلود وارد شده به حوضچه دارای آب صاف تقریباً به‌طور مستقیم و افقی به سمت خروجی پیش می‌رود و عمق حوضچه تأثیر زیادی در تله‌اندازی مواد معلق و جریان گل‌آلود نداشته و جریان با سرعت سطح آب را به سمت خروجی حوضچه طی می‌کند. ولی در حوضچه بافل‌دار جریان وارده (مواد معلق) مجبور به طی کردن عمق حوضچه و مسیر طولانی‌تر است که موجب بالا رفتن کارایی عمق حوضچه و استفاده مفید از تمام قسمت‌های حوضچه در ته‌نشینی مواد معلق می‌شود.

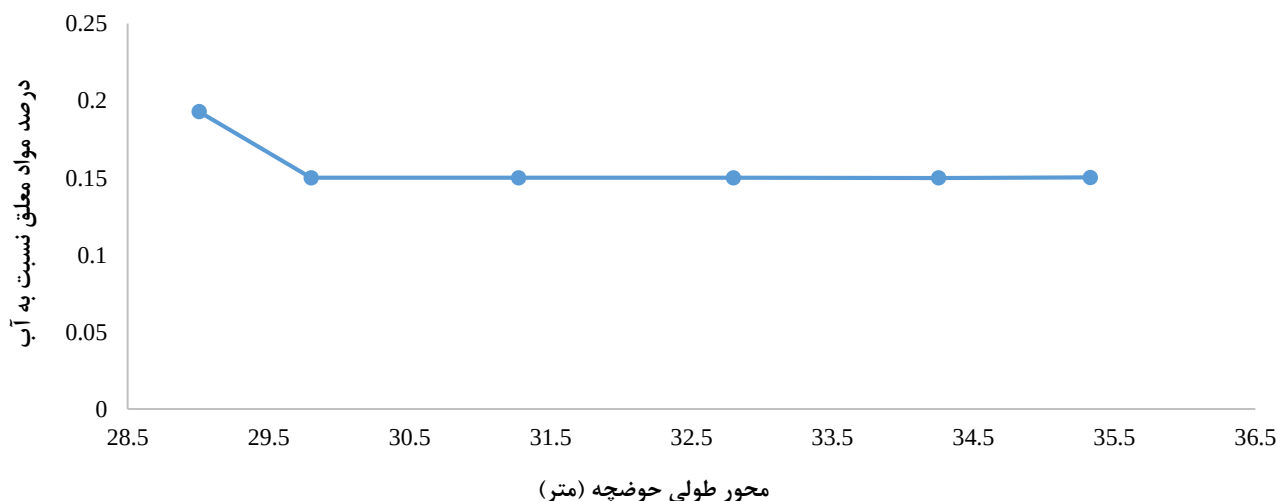
تغییرات مقادیر کسر حجمی فاز ثانویه (مواد معلق) نسبت به آب در نقاط مختلف طول حوضچه بدون بافل مطابق جدول شماره ۵ و نمودار شکل ۹ نمایش داده شده است. همان‌طور که از نمودار خطی نمایان است تغییرات در طول حوضچه بسیار اندک است. در حوضچه ته‌نشینی تکله، تجهیز شده با ۴ صفحه بافل، نتایج اندازه‌گیری درصد کسر حجمی مواد معلق در ۶ نقطه از حوضچه و قبل از هر دیواره بافل و ابتدا و انتهای حوضچه، با نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی و مطابق جدول ۶ گزارش شده است. شکل ۱۰ تغییرات کسر حجمی مواد معلق نسبت به آب را در نقاط مختلف طول حوضچه نشان می‌دهد که بیانگر کاهش محسوس کسر حجمی مواد معلق نسبت به آب در طول حوضچه است.

تأثیر اضافه کردن صفحات بافل به حوضچه‌های فاقد بافل به‌عنوان آرام‌کننده جریان مورد بررسی قرار گرفته است، عامل سرعت در طول حوضچه تحلیل شد. آشفستگی جریان در طول حوضچه بدون بافل در شکل (الف) کاملاً قابل مشاهده است. یکی از عوامل کاهش راندمان ته‌نشینی ذرات و مواد معلق است. اما در شکل (ب) مشاهده می‌شود که پروفیل طولی نوسان کمتری داشته و بیشتر در محدوده آرام‌تر قرار گرفته است. این موضوع به ایجاد فرصت برای ته‌نشینی مواد معلق کمک زیادی کرده است.

۳-۳- مقایسه راندمان کاهش کسر حجمی مواد معلق در حوضچه بدون بافل و حوضچه بافل‌دار

جدول ۵- درصد کسر حجمی مواد معلق در محور طولی حوضچه بدون بافل

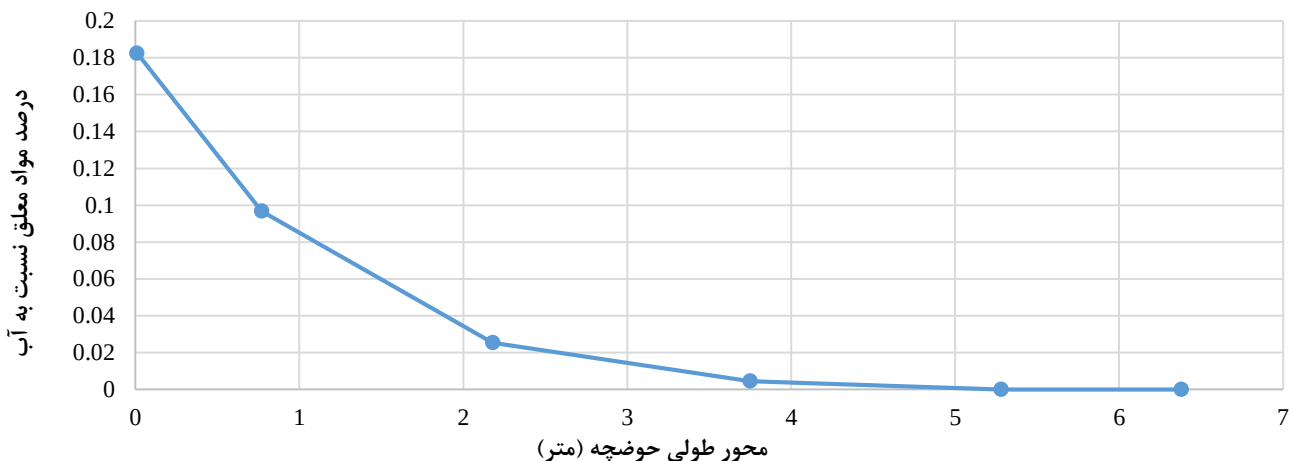
نام محل	کسر حجمی مواد معلق نسبت به آب	محور طولی حوضچه (متر)	محور ارتفاعی حوضچه
ورودی حوضچه	۰/۱۹۲۸۷	۰/۰۲	۲/۵
	۰/۱۴۹۹۸۲	۰/۸۲	۲/۵
	۰/۱۴۹۹۹۹	۲/۳۲	۲/۵
	۰/۱۵	۳/۸۲	۲/۵
	۰/۱۴۹۹۲	۵/۳۲	۲/۵
انتهای حوضچه	۰/۱۵۲۷۳	۶/۳۲	۲/۵



شکل ۹- نمودار تغییرات درصد کسر حجمی مواد معلق در طول حوضچه بدون بافل

جدول ۶- درصد کسر حجمی مواد معلق در محور طولی حوضچه بافل‌دار

Z	کسر حجمی مواد معلق نسبت به آب	محور طولی حوضچه (متر)	محور ارتفاعی حوضچه
ورودی حوضچه	۰/۱۸۲۴۹۴	۰/۰۱	۲/۵
بافل ۱	۰/۰۹۶۷۹۷	۰/۷۷	۲/۵
بافل ۲	۰/۰۲۵۳۸۳	۲/۱۸	۲/۵
بافل ۳	۰/۰۰۴۵۴۳	۳/۷۵	۲/۵
بافل ۴	۰/۰۰۰۰۲	۵/۲۸	۲/۵
انتهای حوضچه	۰/۰۰۰۰۲	۶/۳۸	۲/۵



شکل ۱۰- نمودار تغییرات درصد کسر حجمی مواد معلق در طول حوضچه بافل دار

۴- نتیجه گیری

گیلان، معاونت بهره برداری و کلیه همکاران و مشاوران محترم که در این طرح ما را یاری نمودند، تقدیر و تشکر به عمل می آید.

۶- پی نوشت ها

- ۱- Turbidity
- 2- Discrete Particle Sedimentation
- 3- Flocculant Sedimentation
- 4- Hindered Sedimentation
- 5- Compression Sedimentation
- 6- Water Treatment Process
- 7- Comsol Multiphysics
- 8- Finite Element Method

۶- مراجع

- ابهری، ن.، و ایرانشاهی قدسیان، م.، (۱۳۹۷)، "بررسی آزمایشگاهی تاثیر حضور دو مانع بر رفتار جریان گل آلود"، مهندسی عمران/ مدرس، ۱۸(۳)، ۲۳۷-۲۴۹.
- اخوان، ک.، (۱۳۹۶)، "ارس شریان حیاتی دشت مغان"، مجله کشاورزی سنبله، ۲۱۵، ۳۴-۳۶.
- آشفته، ج.، (۱۳۸۵)، طراحی آبرسانی شهری برای مهندسين و دانشجویان مکانیک و راه و ساختمان، انتشارات فنی حسینیان، تهران.
- بوداغي، ه.، (۱۳۹۱)، "انواع فرایندهای ته نشینی"، دریافت شده از healthenvironmental.blogfa.com
- پیکری، م.، و مهربانی، ا.، (۱۳۸۵)، مبانی تصفیه آب، انتشارات ارکان دانش، اصفهان.
- جوادى راد، م.، شاهرخى، م.، و رجاى، ط.، (۱۳۹۶)، "بررسی

در این تحقیق برای آشنایی با نحوه تصفیه آب پس از سیل، فرآیند تصفیه این آب ها پرداخته و واحدهای مختلف تصفیه فیزیکی تشریح و تئوری های ته نشینی بیان شد. سپس انواع حوضچه های ته نشینی معرفی شده مقایسه شد. برای انجام تحقیق از روش مطالعه تصفیه خانه های پایلوت موجود و ایجاد تغییرات بر روی حوضچه های ته نشینی آن ها با اضافه کردن صفحات بافل و بررسی نتایج آزمایشات قبل و بعد و همچنین ساخت حوضچه ته نشینی پایلوت در مقیاس کوچک و پرتابل و شبیه سازی با نرم افزار کامسول بهره گرفته شد. انتشار حجم فاز ثانویه (مواد معلق) در حوضچه ساده بدون بافل در تمام طول حوضچه صورت گرفته و کدورت آب بیشتری به انتهای حوضچه رسیده است. اما در حوضچه بافل دار بیشتر حجم مواد معلق قبل از بافل ها رسوب کرده و به انتهای حوضچه نرسیده و یا حجم بسیار اندکی رسیده است. این نشان می دهد که عملکرد حوضچه ته نشینی در همان ابعاد فقط با اضافه کردن صفحات بافل در حذف مواد معلق و کاهش کدورت آب بسیار بهبود یافته است.

در نهایت، احداث تصفیه خانه جدید با ظرفیت نیاز فعلی بسیار ضروری بوده ولی به دلیل هزینه های گزاف احداث تصفیه خانه جدید و عدم اختصاص منابع مالی برای این منظور به ناچار باید به فکر ارتقای تأسیسات موجود و بهره برداری بهینه و استفاده از روش های علمی جدید بود که در این تحقیق استفاده از دیواره های بافل به جای احداث مجدد در حوضچه ته نشینی پیشنهاد شد.

۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان

عددی تاثیر تعداد سازه بافل بر راندمان حوضچه ته‌نشینی اولیه"، *مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران*، ۱۷(۵)، ۴۹-۵۹.

حسنی، ع.، رحیمی زاد، م.، نوری ملالر، ک.، و رئوف، م.، (۱۳۹۱)، "افزایش ظرفیت تولید تصفیه‌خانه و کاهش کدورت آب خروجی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه پارس آباد)"، *اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب*، تهران، ۱، ۹۹-۱۱۲.

حسینی، س.، و عبدی‌پور، ا.، (۱۳۸۹)، "مدل‌سازی عددی پروفیل سرعت در جریان‌های گل‌آلود پیوسته و بررسی تاثیر شیب، غلظت و دبی بر آن"، *مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی*، ۳(۳)، ۶۰-۶۹.

Ahmed, F., Kamel, A., and Jawad, S.A., (1996), "Experimental determination of the optimal location and contraction of sedimentation tank baffles", *Water, Air, Soil Pollution*, 92(4-3), 251-271.

Al-Sammarraee, M., (2009), "Large-eddy simulations of particle sedimentation in a longitudinal sedimentation basin of a water treatment plant. Part 2: The effects of baffles", *Chemical Engineering Journal*, 152(3-2), 315-321.

Comsol, (2018), *COMSOL multiphysics*, Retrieved from <https://www.comsol.com>.

Goula, A.M., Kostoglou, M., Karapantsios, T.D., and Zouboulis, A.I., (2008), "A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment: Case study: The influence of a feed flow control baffle", *Chemical Engineering Journal*, 140(3-1), 110-121.

IUPAC, C.O.C.T., (2006), *Compendium of chemical terminology*, 2nd Edition, the "Gold Book", International Union of Pure and Applied Chemistry.

Joodi, A.S., (2013), "Effect of baffles geometry of the flocculation basin on the turbulence", *Journal of Environmental Studies*, 10(1), 71-77.

Manninen, M. Taivassalo, V. and Kallio, S. (1996). On the mixture model for multiphase flow. In: Technical Research Centre of Finland Finland.

Qasim, S.R., Motley, E.M., and Zhu, G., (2000), *Water works engineering: Planning, design, and operation*, Prentice Hall.

Tamayol, A., Firoozabadi, B., and Ahmadi, G., (2008), "Effects of inlet position and baffle configuration on hydraulic performance of primary settling tanks", *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(7), 1004-1009.

Wikipedia, (2018), *Residence time*, Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Residence_time



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

Development of Multi-Criteria Risk Analysis Method for Applying Treated Wastewater in Various Uses

تدوین روش تحلیل ریسک چندشاخصه استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف

Javad Shafiee Neyestanak¹, Abbas Roozbahani^{2*}
and Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh³

جواد شفیعی نیستانک^۱، عباس روزبهانی^{۲*} و سید ابراهیم
هاشمی گرم دره^۳

1- MSc. Student of Water Resources Engineering,
Department of Water Engineering, College of Aburaihan,
University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، پردیس
ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران.

2- Associate Professor, Department of Water
Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran,
Pakdasht, Tehran, Iran.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت،
تهران، ایران.

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering,
College of Aburaihan, Pakdasht, University of Tehran,
Pakdasht, Tehran, Iran.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت،
تهران، ایران.

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

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

Received: 30/01/2021

Revised: 31/07/2021

Accepted: 04/08/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Urban treated wastewater or urban effluents as one unconventional water resource can be a continuous and controllable source for various uses. Simultaneously, the effluent from the wastewater treatment plant can carry chemical and biochemical contaminants and consequently expose the affected area to hazards and risks. The concept of risk analysis has helped researchers and project managers to assess the risks of treated wastewater applications in various uses to take appropriate action to reduce or manage irreversible effects on the environment and human health in advance. In this study, risk structures are created for use of treated wastewater in agriculture, landscape irrigation, artificial recharge for aquifer balance, and industry by considering environmental, social, economic, and technical criteria. Further, the effluent quality of 27 treatment plants has been evaluated. To calculate the risks, different hazards of treated wastewater applications are listed and hierarchically affect main and overall risk criteria to calculate the risks. The average overall risks of treated wastewater use in agriculture, landscape irrigation, artificial recharge, and industry are evaluated to be 29.7, 24.0, 24.3, and 26.0 percent, respectively. It is also worth mentioning that although the environmental risk of using treated wastewater in most treatment plants is low, but its social risk is high, which can be attributed to a lack of confidence in the quality of wastewater and low awareness of communities.

استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری یا همان پساب‌های شهری به عنوان یکی از منابع آب نامتعارف می‌تواند منبعی مستمر و قابل کنترل برای استفاده در کاربری‌های مختلف باشد. اما در عین حال پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب می‌تواند حامل آلودگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی باشد و متعاقباً محدوده تأثیرپذیر را با مخاطرات و ریسک‌هایی مواجه کند. مفهوم تحلیل ریسک به پژوهشگران و مدیران پروژه‌های استفاده از پساب کمک کرده تا به ارزیابی مخاطرات استفاده از آن در کاربری‌های مختلف پرداخته تا پیش از وقوع اثرات جبران‌ناپذیر بر محیط‌زیست و سلامت انسان، اقدام مقتضی برای کاهش و یا مدیریت آن انجام دهند. در این تحقیق ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان و صنعت با در نظر گرفتن معیارهای محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی ایجاد شده و همچنین کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه کشور مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای محاسبه ریسک‌ها، مخاطرات مختلف استفاده از پساب گردآوری و به صورت سلسله مراتبی بر روی معیارهای اصلی و ریسک کلی تأثیر می‌گذارند. نتایج میانگین ریسک‌های نهایی استفاده از پساب در ساختار کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان و صنعت به ترتیب برابر با ۲۹/۷٪، ۲۴٪، ۲۴/۳٪ و ۲۶٪ ارزیابی شده است. همچنین شایان ذکر است علی‌رغم آن که ریسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در بیشتر تصفیه‌خانه‌ها پایین است، اما ریسک اجتماعی آن بالا ارزیابی شده که می‌توان دلیل آن را عدم اطمینان به کیفیت پساب و آگاهی پایین مردم منطقه عنوان کرد.

Keywords: Hazards, Municipal Treated Wastewater, Risk Assessment, Use of Effluent.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک، استفاده از پساب شهری، فاضلاب تصفیه شده، مخاطرات.

گذشته تحقیقاتی بر روی نحوه استفاده و مدیریت آن انجام شده که در ادامه به پژوهش‌های پنج سال اخیر پرداخته می‌شود. طاهریون و همکاران (۱۳۹۵) مخاطرات و اثرات استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهرک صنعتی البرز برای استفاده در کشاورزی را با استفاده از مفهوم تحلیل ریسک ارزیابی و خطرپذیری آبیاری زمین‌های زراعی با پساب را برای سلامت انسان و گیاه محاسبه کرده‌اند. (Sari et al., 2017) کیفیت آب برگشتی برج‌های خنک کننده، نشت سامانه و دیگ بخار یک پالایشگاه را به لحاظ فیزیکی، شیمیایی و میکروبی بررسی کرده تا بین دو گزینه تأمین آب شرب و استفاده در آتش‌نشانی، گزینه مناسب برای بازاستفاده از منابع آب را تشخیص دهند. (Pan et al., 2018) با در نظر گرفتن معیارهای هزینه، پذیرش همگانی، تهدید سلامت و ذخیره آب به‌عنوان معیارهای خاص و کنترل با استانداردهای کانادا به‌عنوان معیار عام به بررسی گزینه‌های مختلف استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر Penticton پرداخته و آبیاری باغچه‌های خانه‌ها به‌عنوان برترین گزینه انتخاب شد. در پژوهش دیگری (2018) Shakeri and Nazif با استفاده از مفهوم تحلیل ریسک به ارزیابی استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهرک اکباتان با ارائه یک سیستم استنتاج فازی پرداختند و آبیاری فضای سبز تصفیه‌خانه را به‌عنوان گزینه برتر معرفی کردند. (Emami-Skardi et al., 2019) روشی را برای تعیین پیوست‌های اجتماعی کمی‌سازی شده در یک مدل فیزیکی-رفتاری برای تخصیص منابع آب و پساب در محیط‌های شهری به‌کارگرفتند. پیوست‌های اجتماعی از خروجی‌های روش تحلیل شبکه‌های اجتماعی به‌دست آمده است. (Ghorbani Mooselu et al., 2018) با استفاده از نظریه بازی‌ها روشی را برای تخصیص بهینه پساب شهری ارائه کردند تا بهینه‌ترین حالت برای تخصیص پساب شهری در مناطق شرقی استان تهران تعیین شود.

ریسک یک مفهوم انتزاعی و دارای تعاریف زیادی بوده اما می‌توان گفت که دربرگیرنده آینده و شک است. اما به‌طور کلی می‌توان ریسک را تابعی از احتمال، شدت و آسیب‌پذیری تعریف کرد (Torres et al., 2009; Haimes, 2009; Ave, 2009; Asgarian et al., 2018; Shariat et al., 2019; Tabesh et al., 2018). ریسک شامل دو بخش تحلیل و مدیریت است. تحلیل ریسک به شناسایی مخاطرات و اجزا سامانه پرداخته و فاز مدیریتی آن، انتخاب گزینه‌ها و کاهش ریسک است. اهمیت تحلیل ریسک در آن است که مخاطرات سامانه شناسایی و با استفاده از مدل‌های مفهومی یا ریاضی ارزیابی می‌شود. جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در نظر گرفتن

استفاده از پساب‌های شهری به‌عنوان یکی از منابع آب نامتعارف به دلیل آن که منبعی مستمر و قابل کنترل برای استفاده در کاربری‌های مختلف است و همچنین با توجه به محدودیت کمی و کیفی آب در جهان و کشور، توجه مدیران و کارشناسان را به‌خود جذب کرده است. برای استفاده از پساب شهری باید این نکته را در نظر گرفت که پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری می‌تواند حامل آلودگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی باشد. به‌طور نمونه در صورتی که میزان ازت و فسفر در پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب بالا و به رودخانه تخلیه شود، باعث تسريع در رشد گیاهان می‌شود. با این کار غلظت اکسیژن محلول منابع آب سطحی کم و به‌مرور زمان شرایط بی‌هوازی بر رودخانه حاکم می‌شود که باعث تولید محصولات ناپایدار و خطرناک برای محیط‌زیست می‌شود (دبیری و بشیری‌مد، ۱۳۹۲ و ابراهیمی و کی‌نژاد، ۱۳۹۳). همچنین در اثر آبیاری زمین‌های زراعی با پسابی که ذرات معلق بالایی دارند علاوه بر گرفتگی خلل و فرج خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک باعث آسیب‌دیدن سیستم آبیاری تحت فشار نیز می‌شود که منجر به کاهش محصول کشاورزی می‌شود (ابوالحسنی زرجوع و همکاران، ۱۳۹۴). به‌طور مثال، تغذیه مصنوعی با پساب در چاه‌های کم‌عمق (۲۰ تا ۴۰ متر) و دهان گشاد (قطر ۲ متر) به‌دلیل این‌که با مصالح درشت‌دانه و نفوذپذیر پر می‌شوند و همچنین لوله حامل پساب تا کف چاه ادامه پیدا می‌کند، خطر گرفتگی چاه در صورت بالا بودن ذرات معلق پساب در آن‌ها بالا است و عملاً اصلاح و رفع گرفتگی چاه دیگر اقتصادی نخواهد بود (رازقی و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین نه تنها استفاده از پساب می‌تواند باعث بروز پیامدهای محیط‌زیستی شود بلکه می‌تواند مشکلات اقتصادی، فنی و اجتماعی را نیز به‌وجود آورد. مخاطرات و آسیب‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی استفاده از پساب را می‌توان با مفهوم تحلیل ریسک و خطرپذیری ارزیابی نمود. امروزه تحلیل ریسک ابزاری کارآمد در مطالعات محیط‌زیستی و بهداشتی بوده چرا که به کارشناس این امکان را می‌دهد تا اثرات غیرقابل برگشت و موثر بر محیط‌زیست و سلامت انسان را پیش از وقوع ارزیابی و مدیریت کند. بنابراین در این تحقیق با استفاده از تحلیل ریسک به ارزیابی مخاطرات استفاده از پساب به‌عنوان یک منبع آب جایگزین با در نظر گرفتن شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی پرداخته می‌شود.

به‌دلیل اهمیت موضوع استفاده از پساب شهری، در سال‌های

فاکتورهای کیفیت پساب مستقیم بر روی پارامترهای اجتماعی و فنی اثر گذاشته و دارای سه شاخص اجتماعی، اقتصادی و فنی است.

پس از ارائه ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه، باید ضرایب اثرگذار بر این ریسک‌ها محاسبه شود. بدین منظور از نظرات کارشناسی برای محاسبه ریسک استفاده از پساب استفاده شده است. پرسشنامه‌هایی در اختیار تیم کارشناسی با بیش از ۲۵ سال سابقه متشکل از جامعه دانشگاهی، کارفرمایان و مهندسين مشاور قرار داده شده تا میزان اثرگذاری فاکتورهای کیفیت پساب و پارامترهای شاخص‌های مختلف بر روی ریسک‌های اصلی و کلی به دست آید. کارشناسان با معیارهای توصیفی "کم" (۱۰)، "کم تا متوسط" (۳۰)، "متوسط" (۵۰)، "متوسط تا زیاد" (۷۰) و "زیاد" (۹۰) میزان اثرگذاری هر پارامتر را بر روی پارامترها و ریسک‌های بعدی نمره-دهی کردند. سپس با میانگین‌گیری نظرات کارشناسی، وزن هر پارامتر بر روی پارامتر دیگر مشخص شد. لازم به ذکر است همگرایی بالایی در نظرات اخذ شده وجود داشته و در واقع انحراف از معیار نظرات خبرگان کم بوده است. لذا استفاده از رویکرد میانگین‌گیری موجب واگرایی نتایج نشده است. قطعاً رویکردهای دیگری مانند روش مقایسه زوجی برای محاسبه معیارها نیز می‌تواند به افزایش دقت یا همگرایی نظرات کمک نماید.

۲-۲- اطلاعات کیفیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

برای ارزیابی ریسک استفاده از پساب با توجه به ساختارهای ارائه شده، اطلاعات کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه فاضلاب شهری (جدول ۲) از مقالات مختلف و گزارش‌های شرکت‌های مهندسين مشاور یکم، توس آب، زیست آب، رایان پی آب و آساراب تهیه شد. در مجموع ۷۰ سری داده از فاکتورهای کیفیت پساب از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مختلف از سرتاسر کشور انتخاب شد.

۲-۳- محاسبه ریسک

همان‌گونه که در بخش مقدمه ارائه شد، ریسک تابعی است از احتمال، آسیب‌پذیری و شدت. در این پژوهش، مقادیر هر گره و یا پارامتر بیان‌گر شدت (خسارت) و وزن و درجه اهمیت هر گره والد برای هر گره فرزند، ترکیب احتمال و آسیب‌پذیری است. بنابراین برای محاسبه ریسک، از بالای ساختار که فاکتورهای کیفیت پساب است شروع می‌شود، سپس زیرمخاطرات و ریسک‌های اصلی و نهایتاً ریسک کلی محاسبه می‌شود. فاکتورهای کیفیت پساب ابتدا با روش حداقل-حداکثر نرمال می‌شوند که در رابطه (۱) ارائه شده است.

شاخص‌های مختلف ریسک در کنار یکدیگر از جمله مباحث فنی، محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی در امر استفاده از پساب کاملاً ضروری بوده اما در مطالعات پیشین هر چهار پارامتر کمتر به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین هدف این تحقیق ارائه یک چارچوب علت و معلولی برای محاسبه ریسک استفاده از پساب با در نظر گرفتن معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی در کاربری‌های کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان و صنعت است. همچنین کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه کشور برای ارزیابی ساختارهای ریسک پیشنهادی در کاربری‌های چهارگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ساختارهای ریسک

برای ارائه ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه فوق بیش از ۱۳۰ منبع شامل مقالات، کتب، گزارش‌ها و پایان‌نامه‌های مختلف از منابع معتبر ملی و بین‌المللی جمع‌آوری، بررسی و سپس مشکلات، معضلات و مخاطرات (پارامترهای اثرگذار بر ریسک) استفاده از پساب در کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی و صنعت در گروه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی (ریسک‌های اصلی) دسته‌بندی شده‌اند. نتیجتاً این پارامترها به‌صورت سلسله‌مراتبی (اثرگذاری پارامتر والد بر پارامتر فرزند) بر روی ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف اثر می‌گذارد که در جدول ۱ پارامترهای پایه ارائه شده است.

ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف به‌گونه‌ای تولید شده‌اند که ابتدا فاکتورهای کیفی هدایت الکتریکی، SAR، قلیائیت، سختی و TSS بر پارامتر آلودگی فیزیکی پساب، فاکتورهای کیفی روغن و چربی، سولفات، فلزات سنگین (آرسنیک، جیوه، کادمیم و سرب)، فسفات، نیتрат، شوینده‌ها، COD و BOD بر پارامتر شیمیایی پساب و فاکتور کیفی فکال کلی‌فرم بر پارامتر آلودگی بیولوژیکی پساب اثر گذاشته و سپس این سه پارامتر بر روی سایر پارامترهای ریسک‌های محیط‌زیستی اثر می‌گذارد. آن‌ها نیز به‌صورت سلسله‌مراتبی ریسک محیط‌زیستی را ایجاد می‌کنند. همچنین هر کدام از زیرمخاطرات پارامترهای ریسک‌های اجتماعی، اقتصادی و فنی باعث ایجاد این ریسک‌ها می‌شود. در نهایت چهار ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی، فنی بر روی ریسک نهایی اثر می‌گذارند. در ساختار ریسک استفاده از پساب در صنعت

جدول ۱- مخاطرات محيط‌زيستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه

شاخص‌ها	شاخص محیط‌زيستی	شاخص اجتماعی	شاخص اقتصادی	شاخص فنی	فاکتورهای کیفیت پساب
ريسک استفاده از پساب در کشاورزی	- آلودگی فیزیکی پساب - آلودگی شیمیایی پساب - آلودگی بیولوژیکی پساب - آلوده شدن منابع آب سطحی - آلودگی خاک - آلوده شدن منابع آب زیرزمینی - آلوده شدن و آسیب دیدن محصولات کشاورزی - ريسک محیط‌زيستی	- شیوع بیماری در اثر استفاده مستقیم و غیرمستقیم از پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - ملاحظات شرعی و عرفی استفاده از پساب - محدودیت‌های قانونی استفاده از پساب در کشاورزی - نخردن محصولات کشاورزی (عدم پذیرش اجتماعی) - عدم استفاده کشاورز از پساب - ريسک اجتماعی	- کاهش محصول کشاورزی - عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق - افزایش هزینه‌های اجرا پروژه - افزایش هزینه‌های نگهداری پروژه - افزایش هزینه‌ها - کاهش درآمدها - ريسک اقتصادی	- گرفتگی، خوردگی و رسوب‌گذاری در تجهیزات ایستگاه‌های پمپاژ و لوله‌ها - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات - صعوبت اجرا - صعوبت نگهداری - ريسک فنی	TSS, COD, BOD₅, فکال کلیفرم، نیترات، فسفات، آرسنیک، جیوه، کادمیم، سرب، سولفات، سختی، قلیائیت، SAR[*]، هدایت الکتریکی، روغن و چربی، شوینده‌ها
ريسک استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز	- آلودگی فیزیکی پساب - آلودگی شیمیایی پساب - آلودگی بیولوژیکی پساب - آلوده شدن منابع آب سطحی - آلودگی خاک - آلوده شدن منابع آب زیرزمینی - آلودگی گیاهان و درختان - مریضی و مرگ و میر جانوران - آلودگی اکولوژیکی - ريسک محیط‌زيستی	- شیوع بیماری در اثر آبیاری فضای سبز با پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - عدم پذیرش اجتماعی استفاده از پساب برای آبیاری فضای سبز - ريسک اجتماعی	- عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق - محدودیت‌های قانونی در آبیاری فضای سبز با پساب - افزایش هزینه‌های اجرا پروژه - افزایش هزینه‌های نگهداری پروژه - ريسک اقتصادی	- گرفتگی، خوردگی و رسوب‌گذاری در تجهیزات ایستگاه‌های پمپاژ و لوله‌ها - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات - صعوبت اجرا - صعوبت نگهداری - ريسک فنی	
ريسک استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تغذیه بخشی آبخوان	- آلودگی فیزیکی پساب - آلودگی شیمیایی پساب - آلودگی بیولوژیکی پساب - آلودگی خاک - آلوده شدن منابع آب زیرزمینی - ريسک محیط‌زيستی	- شیوع بیماری در اثر تغذیه مصنوعی با پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - عدم پذیرش اجتماعی استفاده از پساب برای تغذیه مصنوعی - ريسک اجتماعی	- عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق - محدودیت‌های قانونی استفاده از پساب برای تغذیه مصنوعی - افزایش هزینه‌های اجرا پروژه - افزایش هزینه‌های نگهداری پروژه - ريسک اقتصادی	- گرفتگی، خوردگی و رسوب‌گذاری در تجهیزات ایستگاه‌های پمپاژ و لوله‌ها - کاهش عملکرد تغذیه مصنوعی - افزایش اسیدشویی و پیستون‌زنی - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات - صعوبت اجرا - صعوبت نگهداری - ريسک فنی	
ريسک استفاده از پساب در صنعت	-----	- شیوع بیماری در اثر استفاده مستقیم و غیرمستقیم از پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - ملاحظات شرعی و عرفی استفاده از پساب - محدودیت‌های قانونی استفاده از پساب در صنعت - عدم پذیرش اجتماعی در استفاده از کالای صنعتی - عدم تمایل صنعتگران برای استفاده از پساب - ريسک اجتماعی	- پایین آمدن کمیت و کیفیت کالای صنعتی - عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق - افزایش هزینه‌های اجرا پروژه - افزایش هزینه‌های نگهداری پروژه - افزایش هزینه‌ها - کاهش درآمدها - ريسک اقتصادی	- رشد بیولوژیکی در تجهیزات و لوله‌ها - پوسیدگی تجهیزات و لوله‌ها - رسوب‌گذاری در تجهیزات و لوله‌ها - گرفتگی تجهیزات و لوله‌ها - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات - صعوبت اجرا - صعوبت نگهداری - ريسک فنی	

* پارامتر SAR در تهیه ساختار ریسک استفاده از پساب در صنعت مورد استفاده قرار نگرفته است.

راهنمای جدول: نقطه (•): گره‌های پیوسته یا کمی؛ خط تیره (-): گره‌های گسسته یا کیفی

جدول ۲- اطلاعات عمومی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب منتخب

استان	اسم تصفیه‌خانه فاضلاب	شهر	سال بهره‌برداری	جمعیت تحت پوشش	ظرفیت نهایی تصفیه‌خانه (m ³ /day)	فرآیندهای تصفیه
آذربایجان شرقی	تبریز	تبریز	۱۳۸۰	۱۸۳۶۰۰۰	۱۲۹۶۰۰	لجن فعال با هوادهی گسترده
اردبیل	اردبیل	اردبیل	۱۳۷۴	۹۴۳۲۱۰	۲۹۲۸۴۴	لاگون هوادهی
	خلخال	خلخال	۱۳۷۴	۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	لجن فعال
	گرمی	گرمی	۱۳۷۴	۷۰۰۰۰	۱۶۴۰۸	لاگون هوادهی
	مشکین شهر	مشکین شهر	۱۳۸۶	۱۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	برکه تثبیت
	شمال اصفهان	اصفهان	۱۳۶۶	۱۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	لجن فعال
اصفهان	بوشهر	بوشهر	۱۳۸۵	۱۳۷۰۰۰	۴۱۰۰۰	برکه تثبیت
	ديلم	ديلم	۱۳۸۳	۱۵۰۰۰	۷۵۰۰	برکه تثبیت
	گناوه	گناوه	۱۳۸۶	۴۴۶۰۰	۱۶۸۳۴	برکه تثبیت
	اکباتان	تهران	۱۳۶۳	۸۵۰۰۰	۲۸۸۰۰	A2O
تهران	جنوب تهران	تهران	۱۳۷۴	۳۱۵۰۰۰۰	۶۷۰۰۰۰	لاگون هوادهی
	شوش	تهران	۱۳۶۱	۴۰۰۰۰	۵۷۶۰	لجن فعال
	صاحبقرانیه	تهران	۱۳۳۴	۲۰۰۰	۲۸۸	لجن فعال
	قیطریه	تهران	۱۳۶۵	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰	لجن فعال
	دانشگاه آزاد رودهن	رودهن	۱۳۸۰	---	۳۵۰	هوادهی
	بیرجند	بیرجند	۱۳۸۵	۱۸۸۰۰۰	۳۵۰۰۰	برکه تثبیت
خراسان جنوبی	اولنگ مشهد	مشهد	۱۳۸۱	۵۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	برکه تثبیت
خراسان رضوی	شیراز	شیراز	۱۳۸۵	۱۳۴۹۵۱۲	۱۹۰۰۰۰	لجن فعال با هوادهی
فارس	قزوین	قزوین	۱۳۸۴	---	23100	برکه تثبیت
کهرگیلویه و بویر احمد	دهدشت	دهدشت	۱۳۹۲	۶۲۶۱	۶۳۳۳	برکه تثبیت
	دوگنبدان	دوگنبدان	۱۳۹۶	۲۹۲۶۳	۱۲۵۰۰	برکه تثبیت
	یاسوج	یاسوج	۱۳۸۳	۱۱۷۵۱۸	۴۴۱۰۰	لاگون هوادهی
	بندر ترکمن	بندر ترکمن	۱۳۸۷	۳۸۰۰۰	۱۸۲۰۰	لاگون هوادهی
گلستان	بندر گز	بندر گز	۱۳۸۲	۲۱۰۰۰	۶۲۰۰	لاگون هوادهی
	کردکوی	کردکوی	۱۳۸۷	۱۷۰۰۰	۵۲۰۰	لجن فعال
	گرگان	گرگان	۱۳۸۷	۱۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	لجن فعال هوادهی گسترده
	بیمارستان آتیه سازان همدان	همدان	۱۳۷۵	---	۲۰۰۰	لجن فعال هوادهی گسترده

$$X = \frac{W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_jX_j}{W_1 + W_2 + \dots + W_j} \quad (2)$$

$$Z_i = \frac{x_i - \min X}{\max X - \min X} \times 100 \quad (1)$$

که X : ریسک پارامتر فرزند، W_j : وزن پارامتر والد زام بر پارامتر فرزند، X_j : مقدار عددی پارامتر والد زام و z : تعداد پارامترهای والد است. این روش تا انتها که به دست آوردن ریسک کلی است ادامه پیدا می‌کند.

علاوه بر پارامترهای کمی (پیوسته) که دارای سری عددی هستند و در جدول ۱ با علامت دایره توپر مشخص شده‌اند، یک سری از پارامترها در همان جدول با خط نشان داده شده‌اند که به آن‌ها پارامترهای گسسته یا کیفی گفته می‌شود. این

که z_i : مقدار متناظر داده x_i که بین صفر تا ۱۰۰ نرمال شده، x_i : داده‌ای از مجموعه X ، X : مجموعه هر فاکتور کیفیت پساب در تمامی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، $\min x$ و $\max x$: به ترتیب مقدار کمینه و بیشینه مجموعه X و i : شمارنده داده‌های مجموعه هستند.

بدین ترتیب تمامی پارامترهای کیفی بین صفر تا صد توزیع می‌شوند. سپس با استفاده از رابطه (۲) میزان ریسک پارامترهای مختلف تا انتها محاسبه می‌شود.

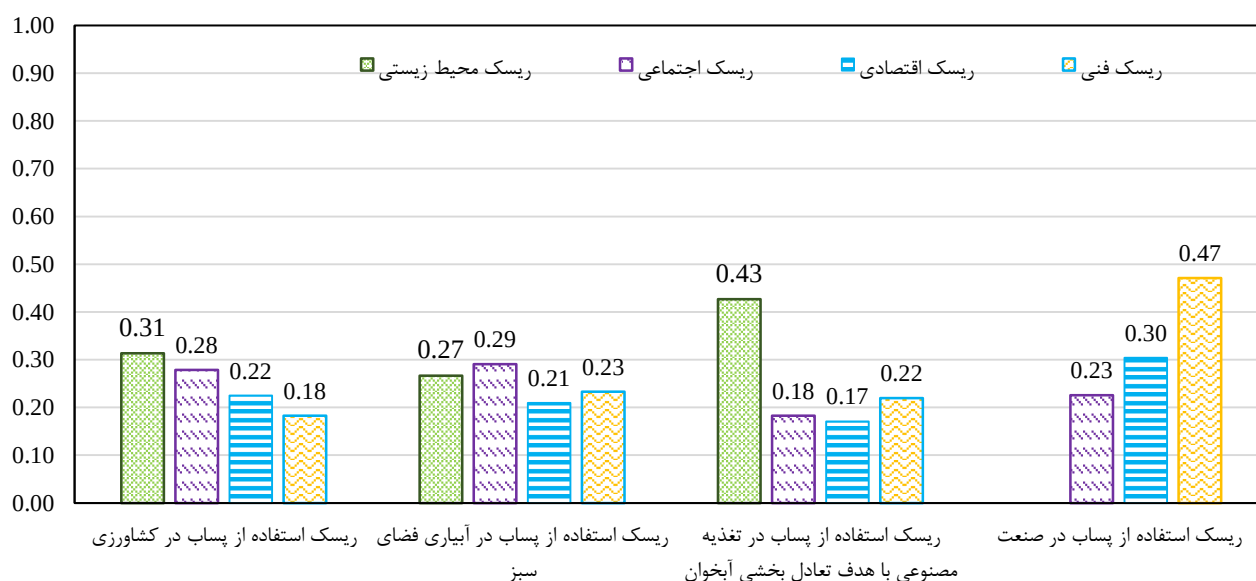
ريسک کشاورزی برخوردارند. اوزان به دست آمده اثرگذاری شاخص‌های اصلی بر ريسک استفاده از پساب در آبياری فضای سبز نشان می‌دهد که ريسک محیط‌زیستی با ضريب ۰/۲۷، ريسک اجتماعی با ضريب ۰/۲۹، ريسک اقتصادی با ضريب ۰/۲۱ و ريسک فنی با ضريب ۰/۲۳ بر این ريسک اثرگذار هستند. ضرائب محاسبه ريسک استفاده از پساب برای تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان که در شکل ۱ نیز ارائه شده، نشان می‌دهد که ابتدا ريسک محیط‌زیستی با ضريب ۰/۴۳، ريسک فنی با ضريب ۰/۲۲، ريسک اجتماعی با ضريب ۰/۱۸ و ريسک اقتصادی با ۰/۱۷ قرار گرفته‌اند. با توجه به آن که پساب در تغذیه مصنوعی از دسترس مستقیم بشر خارج می‌شود لذا؛ اهمیت پارامترهای محیط‌زیستی در این ساختار بالا است. در محاسبه ريسک استفاده از پساب در صنعت، ريسک اجتماعی با ضريب ۰/۲۳، ريسک اقتصادی با ضريب ۰/۳ و ريسک فنی با ضريب ۰/۴۷ بر روی ريسک کلی اثرگذار هستند. با توجه عدم دسترسی مستقیم پساب در صنعت میزان رغبت اجتماعی در استفاده از پساب بالاتر بوده که این نیز در نتایج اوزان نمود پیدا کرده و وزن شاخص اجتماعی در پایین‌ترین سطح قرار دارد.

پارامترها ابتدا با توجه به وضعیت منطقه، شرایط اجتماعی و اقتصادی به صورت توصیفی از "کم"، "کم تا متوسط"، "متوسط"، "متوسط تا زیاد" و "زیاد" نمره‌دهی می‌شوند و سپس برای محاسبه ريسک، مقادیر عددی آن‌ها که به ترتیب ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ هستند، در رابطه (۲) قرار داده می‌شود تا بقیه محاسبات ريسک صورت پذیرد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج ضرائب (اوزان) ريسک پارامترها

در شکل ۱ نتایج اوزان اثرگذاری شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی بر ساختارهای چهارگانه ريسک ارائه شده است. در محاسبه ريسک استفاده از پساب در کشاورزی، ريسک محیط‌زیستی با ۰/۳۱ بیشترین تاثیر را داشته و در ادامه ريسک اجتماعی، ريسک اقتصادی و ريسک فنی به ترتیب با ۰/۲۸، ۰/۲۲ و ۰/۱۸ در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. ريسک محیط‌زیستی و اجتماعی به دلیل آن که با محوریت سلامت انسان و محیط‌زیست سر و کار دارند لذا؛ از درجه تاثیرگذاری بالایی در

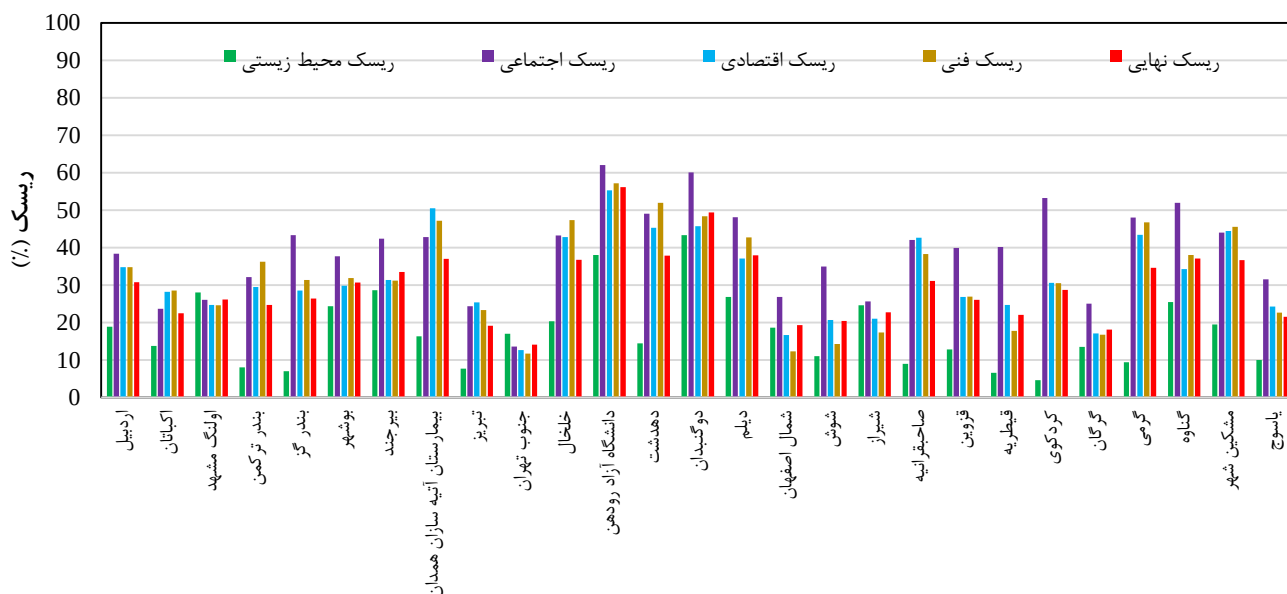


شکل ۱- مقایسه نتایج اوزان شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی بر ساختارهای چهارگانه ريسک

می‌شود. شکل ۲، نتایج ريسک استفاده از پساب در کشاورزی آورده شده است. ريسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در کشاورزی برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب کردکوی کمترین ريسک با مقدار ۴/۶٪ بوده و بیشترین ريسک محیط‌زیستی در این ساختار برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان با ۴۳/۲٪ است.

۳-۲- نتایج ارزیابی ريسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

با توجه به داده‌های کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه فاضلاب کشور و همچنین اعمال نظرات کارشناسی، نتایج ريسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه به ترتیب هر کاربری ارائه



شکل ۲- ریسک‌های اصلی و کلی استفاده از پساب در کشاورزی

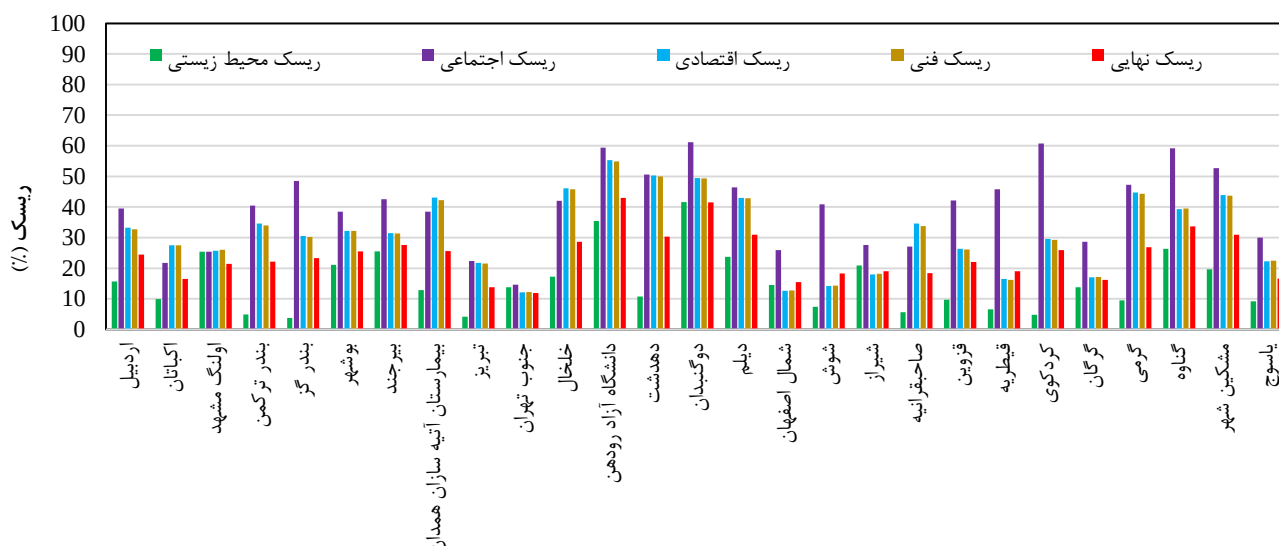
اقتصادی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با $1/12\%$ و بیشترین با $3/55\%$ برای تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. کمترین ریسک فنی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز با $2/12\%$ برای پساب تصفیه‌خانه جنوب تهران و بیشترین با $8/54\%$ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. در نتیجه کمترین ریسک کلی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با $9/11\%$ و بیشترین ریسک استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز با $9/42\%$ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. میانین نتایج ریسک استفاده از پساب با توجه به شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی در نتایج ارائه شده به ترتیب برابر با $3/15\%$ ، $0/40\%$ ، $7/31\%$ و $5/31\%$ بوده و میانگین ریسک کلی برابر با $24/0\%$ است.

نتایج ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان در شکل ۴ ارائه شده‌اند. کمترین ریسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب کردکوی با $2/4\%$ و بیشترین ریسک محیط‌زیستی در این ساختار برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن با $6/29\%$ است. کمترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان برای تصفیه‌خانه فاضلاب املک مشهد با $8/12\%$ و بیشترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی آبخوان برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان است. کمترین

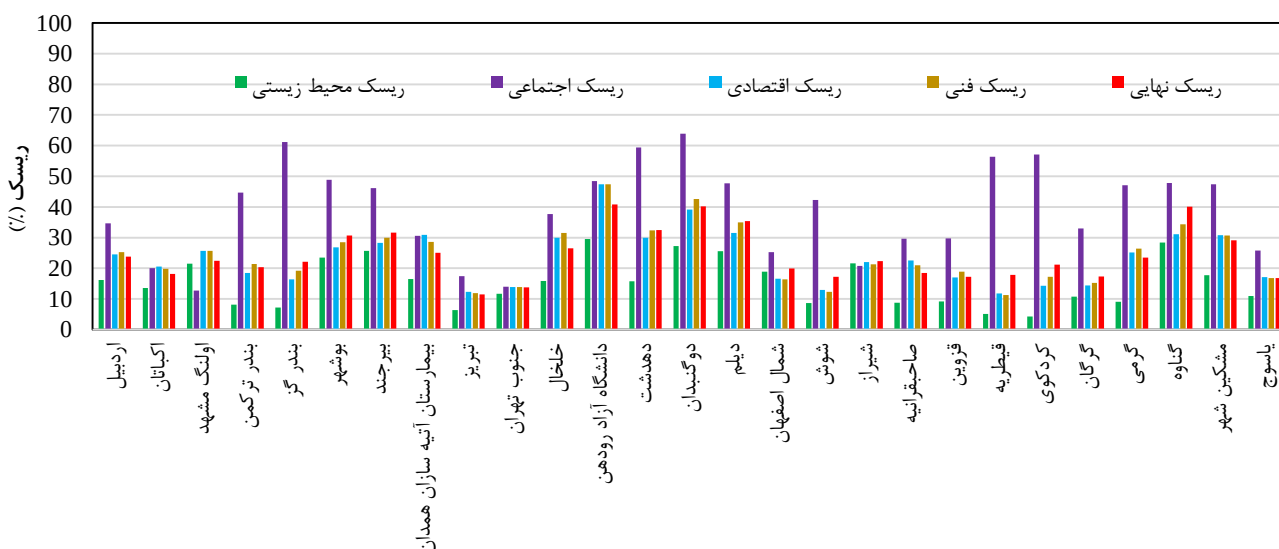
کمترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در کشاورزی برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با $6/13\%$ و بیشترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در کشاورزی $1/62\%$ برای تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. کمترین ریسک اقتصادی استفاده از پساب در کشاورزی برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با $6/12\%$ و بیشترین با $3/55\%$ برای تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. کمترین ریسک فنی استفاده از پساب در کشاورزی با $7/11\%$ برای پساب تصفیه‌خانه جنوب تهران و بیشترین با $2/57\%$ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. به طور میانگین ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در کشاورزی در جامعه آماری فوق به ترتیب $7/17\%$ ، $9/38\%$ ، $1/32\%$ و $7/29\%$ است. نتایج ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز در شکل ۳ ارائه شده است. کمترین ریسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب بندر گز با $8/3\%$ و بیشترین ریسک محیط‌زیستی برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان با $5/41\%$ است. کمترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با $6/14\%$ و بیشترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز $2/62\%$ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان است. کمترین ریسک

برای پساب تصفيه‌خانه فاضلاب تبريز با ۱۱/۵٪ و بيشترين ريسک استفاده از پساب در تغذيه مصنوعي با هدف تعادل‌بخشي آبخوان با ۴۰/۸٪ برای پساب تصفيه‌خانه فاضلاب دوگنبدان است. ميانگين ريسک‌های محيط‌زيستي، اجتماعي، اقتصادي، فني و کلي استفاده از پساب در تغذيه مصنوعي با هدف تعادل‌بخشي آبخوان در جامعه آماری به ترتيب ۱۵/۵٪، ۳۸/۹٪، ۲۳/۴٪، ۲۴/۲٪ و ۲۴/۳٪ است.

ريسک اقتصادي استفاده از پساب در تغذيه مصنوعي آبخوان برای تصفيه‌خانه فاضلاب قيطريه با ۱۱/۷٪ و بيشترين با ۴۷/۴٪ برای تصفيه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. کمترین ريسک فني استفاده از پساب در تغذيه مصنوعي، ۱۱/۲٪ برای پساب تصفيه‌خانه قيطريه و بيشترين با ۴۷/۴٪ برای پساب تصفيه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. درنتيجه کمترین ريسک کلي استفاده از پساب در تغذيه مصنوعي با هدف تعادل‌بخشي آبخوان



شکل ۳- ريسک‌های اصلي و کلي استفاده از پساب در آبياري فضای سبز

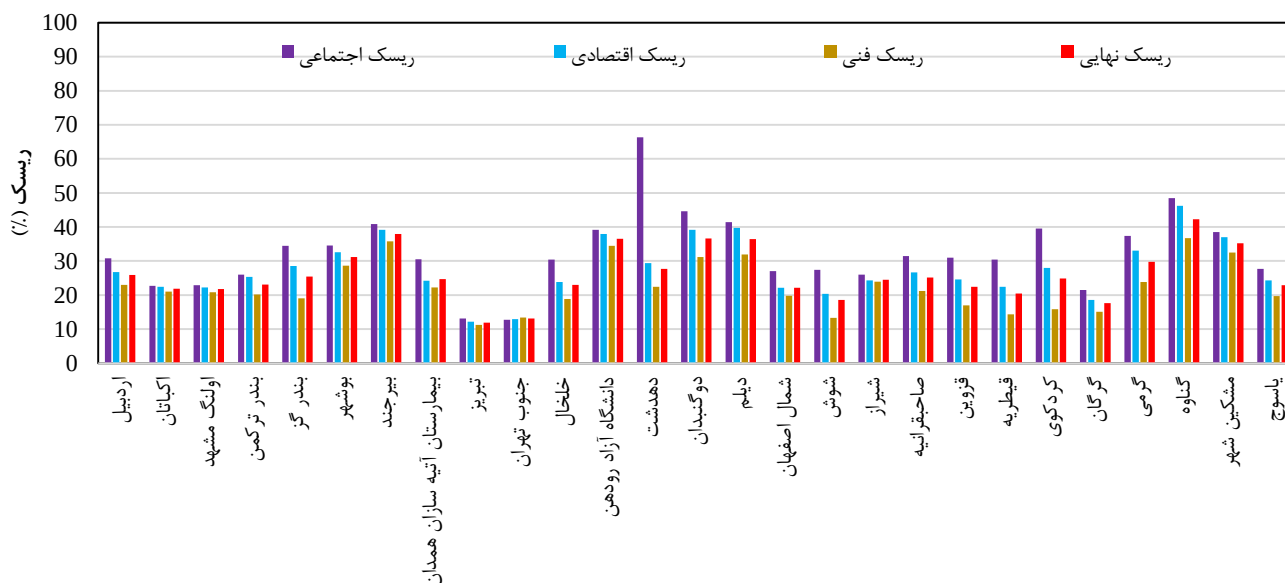


شکل ۴- ريسک‌های اصلي و کلي استفاده از پساب در تغذيه مصنوعي با هدف تعادل‌بخشي آبخوان

تصفيه‌خانه فاضلاب تبريز با ۱۲/۱٪ و بيشترين با ۴۶/۲٪ برای تصفيه‌خانه فاضلاب گناوه است. کمترین ريسک فني استفاده از پساب در صنعت با ۱۱/۲٪ برای پساب تصفيه‌خانه تبريز و بيشترين با ۳۶/۸٪ برای پساب تصفيه‌خانه فاضلاب گناوه است. درنتيجه کمترین ريسک کلي استفاده از پساب در صنعت برای

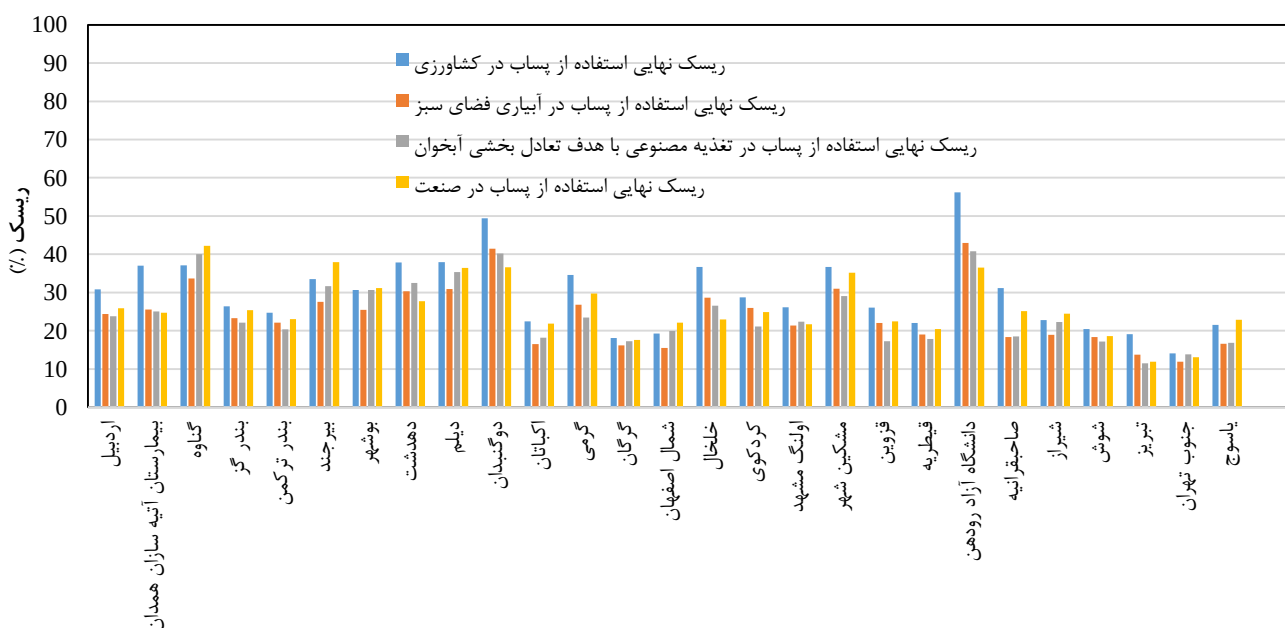
در شکل ۵ نتايج ريسک استفاده از پساب در صنعت ارائه شده است. کمترین ريسک اجتماعي برای تصفيه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۲/۳٪ و بيشترين ريسک اجتماعي استفاده از پساب در صنعت ۶۶/۳٪ برای پساب تصفيه‌خانه فاضلاب دهدشت است. کمترین ريسک اقتصادي استفاده از پساب در صنعت برای

پساب تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز با ۱۱/۹٪ و بیشترین ریسک استفاده از پساب در صنعت با ۴۲/۲٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب گناوه است. هم‌چنین به‌طور کلی در جامعه آماری،



شکل ۵- ریسک‌های اصلی و کلی استفاده از پساب در صنعت

در شکل ۶ نتایج ریسک‌های کلی استفاده از پساب در کاربری‌های کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان و صنعت ارائه شده است. در مجموع می‌توان عنوان کرد که ریسک کلی استفاده از پساب در کشاورزی با توجه



شکل ۶- ریسک‌های کلی استفاده از یساب در ساختارهای چهارگانه

ریسک‌های آبیاری فضای سبز و تغذیه مصنوعی بعضاً در مناطق مشابه به هم هستند که می‌توان این گونه نتیجه گرفت که

استفاده قرار گيرد.

۵- مراجع

ابراهيمی، س.، و کی‌نژاد، م.ا.، (۱۳۹۳)، مهندسی محیط‌زیست (ترجمه)، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.
ابوالحسنی زرجوع، ا.، زهتابیان، غ.، مشهدی، ن.، خسروی، ح.، و سلطانی گردفرامری، م.، (۱۳۹۴)، "ارزیابی آثار آبیاری با فاضلاب تصفيه‌شده بر برخی خصوصیات خاک"، نشریه *بازیافت آب*، (۱۱)، ۱۷-۲۴.

دبیری، م. و بشیری‌مد، س.، (۱۳۹۲)، *آلودگی محیط زیست: هوا - آب - خاک - صوت*، انتشارات اتحاد، تهران، ایران.
رازقی، ن.، منصوری، ر.، و روحانی، پ.، (۱۳۹۲)، *استفاده دوباره آب (طرح و برنامه)*، شرکت نارون آراد، تهران، ایران.
طاهریون، م.، علوی، و.، و احمدی، آ.، (۱۳۹۵)، "تحلیل ریسک استفاده از پساب تصفيه‌شده در کشاورزی با استفاده از شبکه بیزی"، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، (۴۸)، ۱۰۱-۱۰۹.

Aven, T., (2011), "On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience", *Risk Analysis*, 31, 515-522.

Asgarian, M., Tabesh, M., and Rouzbahani, A., (2018), "Risk assessment and management of wastewater collection and treatment systems using FMADM methods", *Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(1), 55-71.

Chen, Z., Ngo, H.H., Guo, W., Wang, X. C., Miechel, C., Corby, N., and O'Halloran, K., (2013), "Analysis of social attitude to the new end use of recycled water for household laundry in Australia by the regression models", *Journal of Environmental Management*, 126, 79-84.

Emami-Skardi, M.J., Kerachian, R., and Abdolhay, A., (2019), "Water and treated wastewater allocation in urban areas considering social attachments", *Journal of Hydrology*, 585, 124757.

Ghorbani Mooselu, M., Nikoo, M.R., Latifi, M., Sadegh, M., Al-Wardy, M., and Al-Rawas, G.A., (2020), "A multi-objective optimal allocation of treated wastewater in urban areas using leader-follower game", *Journal of Cleaner Production*, 267, 122189.

Hadipour, A., Rajaee, T., Hadipour, V., and Seidirad, S., (2016), "Multi-criteria decision-making model for wastewater reuse application: a case study from Iran", *Desalination and Water Treatment*, 57(30), 13857-13864.

Haimes, Y., (2009), "On the complex definition of risk: A systems-based approach", *Risk Analysis: An Official Publication of The Society for Risk Analysis*, 29, 1647-54.

Pan, Q., Chhipi-Shrestha, G., Zhou, D., Zhang, K., Hewage, K., and Sadiq, R., (2018), "Evaluating water

پساب یا وضعیت منابع آب منطقه در اختیار قرارگيرد تا بتوان تصمیم دقیق‌تری در خصوص پساب خروجی این تصفيه‌خانه‌ها گرفت. هم‌چنین مقادیر این دو ریسک در بیشتر مناطق از دو ریسک دیگر کمتر است. ریسک استفاده از پساب در صنعت در اغلب مناطق کمتر از ریسک کشاورزی و بیشتر از دو ریسک دیگر ارزیابی شده است. میانگین ریسک‌های نهایی استفاده از پساب در ساختار کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان و صنعت به ترتیب برابر با ۲۹/۷٪، ۲۴٪، ۲۴/۳٪ و ۲۶٪ ارزیابی شده است. نتایج تحلیل ریسک به تفکیک کاربری نشان می‌دهد که ریسک استفاده از پساب در کشاورزی بیشترین ریسک را داشته و پس از آن ریسک استفاده از پساب در صنعت و پس از آن ریسک استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل بخشی آبخوان و آبیاری فضای سبز قرار گرفته‌اند. این تحلیل براساس نتایج میانگین ریسک‌ها در ۲۷ تصفيه‌خانه فاضلاب کشور ارائه می‌شود و لزوماً برای تمامی تصفيه‌خانه‌های فاضلاب صدق نمی‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی و ارزیابی ریسک استفاده از پساب در ۲۷ تصفيه‌خانه فاضلاب کشور در چهار کاربری، کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی و صنعت، پرداخته شد. در بیشتر پساب‌های خروجی و کاربری‌های استفاده از پساب، ریسک محیط‌زیستی پایین ارزیابی شده در حالی که در ریسک اجتماعی آن بالا بوده که می‌توان دلیل آن را عدم اطمینان به کیفیت مطلوب پساب خروجی تصفيه‌خانه، نگرانی از بابت بروز مریضی و کاهش راندمان تولید و هم‌چنین آگاهی پایین مردم منطقه عنوان کرد که با ارائه آموزش‌هایی می‌توان این ریسک را نیز کاهش داد. هم‌چنین در خصوص کاربردهای مختلف پساب به‌عنوان منابع آب جایگزین با توجه به بررسی ۲۷ تصفيه‌خانه کشور، ریسک استفاده از پساب در کاربری کشاورزی در بیشتر پساب‌های خروجی تصفيه‌خانه‌های فاضلاب بالاتر از دیگر مصارف است. پس از آن نیز به ترتیب صنعت، تغذیه مصنوعی و آبیاری فضای سبز قرار دارد. بدیهی است که رویکرد ارایه شده در این تحقیق می‌تواند برای هر تصفيه‌خانه با افزایش تعداد پارامترهای کمی و کیفی، افزایش تعداد خبرگان و کارشناسان، به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر لحاظ پارامترهای احتمال، خسارت و آسیب پذیری به‌طور مستقل و هم‌چنین روش‌های دیگر وزن‌دهی و امتیازدهی بهبودیافته و در امر برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهتر از تصفيه‌خانه‌های فاضلاب مورد

- reuse applications under uncertainty: Generalized intuitionistic fuzzy-based approach", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 1099-1111.
- Roozbahani, A., Zahraie, B., and Tabesh, M., (2013), "Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(4), 923-944.
- Sari, M.D.K., Kristensen, G.H., Andersen, M., Ducheyne, A.A.M. and Lee, W.A., (2016), "Water-reuse risk assessment program (WRAP): A refinery case study", *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7, 162-174.
- Shakeri, H., and Nazif, S., (2018), "Development of an algorithm for risk-based management of wastewater reuse alternatives", *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8, 38-57.
- Shariat, R., Roozbahani, A., and Ebrahimian, A., (2019), "Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making", *Science of the Total Environment*, 647, 1468-1477.
- Qian, Y., and Mecham, B., (2005), "Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways", *Agronomy Journal*, 97(3), 717-721.
- Tabesh, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Faghihi, N.R., and Heydarzadeh, R., (2018), "Risk assessment of factors influencing non-revenue water using Bayesian Networks and Fuzzy Logic", *Water Resources Management*, 32, 3647-3670.
- Torres, J.M., Brumbelow, K., Guikema, S.D., (2009), "Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems", *Reliability Engineering & System Safety*, 94(8), 1259-1273.



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Numerical Solution of Advection-Dispersion
Equation using Mesh-free Petrov-Galerkin
Method (Case Study: Murray Burn River)

حل عددی معادله جابه‌جایی-پراکندگی با روش عددی
بدون شبکه پتروو-گالرکین

(مطالعه موردی: رودخانه مری‌برن)

Zakie Gholami¹, Mehdi Yasi^{2*}, Arezoo Nazi
Ghameshlou³ and Mehdi Mazaheri⁴

1- Ph.D. Candidate of Water Structures, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Associate Professor, Department of Water Structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: m.yasi@ut.ac.ir

Received: 06/02/2021

Revised: 19/04/2021

Accepted: 03/05/2021

© IWWA

زکيه غلامی^۱، مهدي یاسی^{۲*}، آرزو نازی قمشلو^۳ و مهدي مظاهری^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- دانشیار، گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: m.yasi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

Transport of pollutants in rivers is one of the most important issues in the environment. Many researchers have solved the advection-dispersion equation by various numerical methods, including finite difference and finite element methods. Despite their advantages, these methods also have disadvantages that are often related to netting of the problem domain. Therefore application of mesh-free methods which do not require solution domain network seems necessary. In the present study, the one-dimensional advection-dispersion equation has been solved using the Mesh-free Local Petrov-Galerkin method in the unsteady state. The Murray Burn River data were used to evaluate the performance of the model. The used approximation and weight function were the moving least squares function and the cubic spline function, respectively. In this study, 9 experiments were used to calibrate the model and 2 experiments were used to validate it. For calibration, the discharge coefficient and velocity plotted against the flow rate, and the power regression equation was extracted which had correlation coefficients of 0.925 and 0.988, respectively. In the validation mode, the dispersion coefficient and velocity were optimized by minimizing the mean squared error between computational and observational concentration for each model. The dispersion coefficient in this study was in the range of 0.13-1.1 m²/s for the flow rate of 13-437 L/s. The results indicated the acceptable performance and accuracy of mesh-free method.

Keywords: Cubic Spline Function, Mesh-Free Local Petrov-Galerkin Method, Moving Least Squares Function, Pollutant Transport.

چکیده

انتقال آلاینده‌ها در رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین مسائل در محیط‌زیست است. بسیاری از محققین به حل معادله جابه‌جایی-پراکندگی به روش‌های گوناگون عددی از جمله روش تفاضل محدود و اجزای محدود پرداختند. این روش‌ها علی‌رغم مزایایی که دارند، دارای معایبی نیز هستند که اکثراً مرتبط با شبکه‌بندی دامنه مسئله است، به همین علت استفاده از روش‌های بدون شبکه که نیازی به شبکه‌بندی دامنه حل ندارند، ضروری به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر، حل یک‌بعدی معادله جابه‌جایی-پراکندگی با استفاده از روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین در حالت غیرمستقر انجام شده، و به منظور بررسی صحت عملکرد مدل از داده‌های رودخانه مری‌برن استفاده شد. تابع تقریب و تابع وزن به کار رفته در روش مورد مطالعه، به ترتیب تابع حداقل مربعات متحرک و تابع کیوبیک اسپلاین است. در این پژوهش، ۹ آزمایش برای واسنجی مدل و ۲ آزمایش برای اعتبارسنجی آن استفاده شد. برای واسنجی، نمودار ضریب پراکندگی و سرعت نسبت به دبی رسم و معادله رگرسیونی توانی استخراج شد که به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۹۲۵ و ۰/۹۸۸ بودند. در حالت اعتبارسنجی نیز، برای هر مدل ضریب پراکندگی و سرعت با به حداقل رساندن معیار میانگین مربعات خطای غلظت محاسباتی و مشاهداتی بهینه شد. مقدار ضریب پراکندگی در این تحقیق در بازه ۰/۱۳-۱/۱ مترمربع بر ثانیه، برای محدوده دبی ۱۳-۴۳۷ لیتر بر ثانیه به دست آمد. نتایج این مطالعه حاکی از عملکرد و دقت قابل قبول روش بدون شبکه است.

کلمات کلیدی: انتقال آلاینده، روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین، تابع حداقل مربعات متحرک، تابع کیوبیک اسپلاین.

مشهدگره و همکاران (۱۳۹۲)، حل تحلیلی معادله انتقال آلودگی در حالت یک بعدی با ضرایب (سرعت و ضریب پراکندگی) ثابت و به ازای الگوی زمانی دلخواه منابع آلاینده نقطه‌ای توسط روش تابع گرین را انجام دادند. ایشان به منظور تعمیم نتایج به حالت واقعی، غلظت حاصل از بارگذاری دو منبع تخلیه آلاینده را با الگوی زمانی نامنظم با روش تابع گرین تعیین و به دلیل عدم وجود حل تحلیلی در این موارد، نتایج آن را با نتایج حاصل از نرم‌افزار مایک ۱۱ مقایسه کردند. نمودارهای نهایی و تحلیل شاخص‌های آماری در پژوهش ایشان، حاکی از انطباق نتایج راه‌حل تحلیلی پیشنهادی با نتایج حاصل از مایک ۱۱ است. براتی مقدم و همکاران (۱۳۹۴)، مدل یک بعدی جدید و جامعی را با تلفیق الگوهای عددی با درجه دقت بسیار (روش QUICK) برای شبیه‌سازی انتقال آلاینده با لحاظ نگهداشت موقت و جذب سینتیک در رودخانه‌ها با مقطع نامنظم تحت رژیم جریان غیرماندگار ارائه دادند. نتایج اجرای مدل برای مثال فرضی و دو سری داده واقعی و مقایسه آن‌ها با نتایج دو مدل رایج دیگر، حاکی از دقت مطلوب و پایداری عددی فراوان آن است. ایشان مدل مذکور را در بسیاری از مطالعات انتقال آلاینده به‌عنوان جایگزین مناسبی برای مدل‌های رایج فعلی پیشنهاد کردند. Kolahdoozan and Gargary (2015)، به حل معادله یک بعدی جابجایی-پخشیدگی با استفاده از روش بدون شبکه‌بندی حداقل مربعات گسسته ترکیبی پرداختند. ایشان برای ساخت توابع شکل در روش بدون شبکه‌بندی، از تقریب حداقل مربعات متحرک (MLS^6) استفاده کردند. روش به کار گرفته شده در این تحقیق با حل معادله جابجایی-پخشیدگی یک بعدی به‌عنوان یک معادله تفاضل جزئی سهموی، توسعه داده شد. نتایج بدست آمده با حل‌های تحلیلی مقایسه شد که نتایج حاکی از دقت و عملکرد بالای روش به کار برده است.

Mousavi et al. (2016) حل توابع پایه شعاعی محلی^۸ در معادله جابجایی-پخشیدگی دو بعدی با روش تفاضل محدود را مقایسه کردند. ایشان با استفاده از تکنیک محلی‌سازی حل خاص تقریبی^{۱۰}، برای برطرف‌سازی دو مشکل به‌خوبی شناخته شده توابع پایه شعاعی استفاده کرده و همچنین برای ارزیابی دقت روش LMAPS به‌عنوان یک روش بدون شبکه‌بندی، از روش شبکه‌بندی شده FDM در این مطالعه به کار بردند. نتایج ایشان نشان داد که روش LMAPS در مقایسه با روش FDM پیشنهاد شده، دقت و پایداری بالاتری دارد. محتشمی (۱۳۹۵) مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان آزاد دشت بیرجند را با استفاده از روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین انجام دادند. ایشان

معادله حاکم بر پدیده انتقال آلودگی در رودخانه‌ها، معادله جابجایی-پراکندگی است که از نوع معادلات دیفرانسیل جزئی سهموی است. این معادله در حالت کلی معادله حرکت نامیده می‌شود و از ترکیب معادله پیوستگی و قانون اول فیک^۱ به‌دست می‌آید (Chapra, 1997). انتشار آلودگی در رودخانه‌ها به دو دسته کلی آزمایشگاهی و تئوری تقسیم می‌شود. در هر روش نیاز به توسعه مدل برای پیش‌بینی رفتار پدیده انتقال و انتشار آلودگی در رودخانه‌ها است. در روش‌های نظری از روش‌های محاسبات عددی برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر پدیده استفاده می‌شود، که در نهایت منجر به تولید مدل‌های عددی و نرم‌افزارهای تجاری می‌شود (Chapra, 1997).

حل معادله انتقال آلاینده فقط در حالت‌های بسیار ساده به‌صورت تحلیلی وجود دارد و برای حالات کاربردی به‌دلیل پیچیدگی رفتار واقعی یک سیستم در طبیعت، استفاده از روش‌های عددی اجتناب‌ناپذیر است. روش‌های عددی تفاضل محدود^۲، اجزای محدود^۳، احجام محدود^۴ و ... مجموعه روش‌هایی هستند که با ایجاد شبکه در میدان حل، مقادیر موردنظر در معادلات را تخمین می‌زنند. علی‌رغم مزایای فراوان، روش‌های عددی دارای محدودیت‌هایی نیز هستند. با این‌که فهم و برنامه‌نویسی مدل‌های تفاضل‌های محدود نسبتاً آسان است، اما کاربرد این روش محدود به شبکه‌های مستطیلی است که این‌گونه شبکه‌ها نمی‌توانند به‌خوبی هندسه مسئله را پوشش بدهند و در مرزها ایجاد خطا می‌کنند. روش‌های اجزای محدود و حجم‌های محدود نیز در ارتباط با هندسه مسئله منعطف هستند، اما تولید شبکه‌های سه‌بعدی و برنامه‌نویسی این روش‌ها کار پیچیده‌ای است. از این‌رو، در طی سال‌های اخیر توجه فراوانی به گسترش روش‌های بدون شبکه شده است (Li et al., 2003). روش‌های بدون شبکه از نوین‌ترین روش‌های عددی در سال‌های اخیر هستند که توانسته‌اند پاره‌ای از معایب روش‌های مبتنی بر شبکه‌بندی را اصلاح کرده و مسائلی را حل کنند که تحلیل آن‌ها با روش‌های مبتنی بر شبکه‌بندی یا به‌طور کلی امکان‌پذیر نبوده و یا این‌که نیاز به صرف هزینه و زمان زیادی دارند. بسته به این‌که اساس کار روش‌ها برپایه روند فرمول‌بندی، تقریب یا درونیابی، یا نمایش دامنه باشد، می‌توان روش‌های مختلفی را در نظر گرفت. روش محلی پتروو-گالرکین^۵ یکی از روش‌های بدون شبکه است که شکل ضعیف محلی برای توسعه آن به کار می‌رود (Liu, 2002; Atluri and Zhu, 1998; Lin and Atluri, 2000).

آلودگی شد. مدل پیشنهادی در این تحقیق، در ابتدا با استفاده از حل‌های تحلیلی یک و دو بعدی اعتبارسنجی و سپس برای حل مسائل فرضی و واقعی به‌کار برده شد. مدل توسعه داده شده با نتایج مدل‌های MODFLOW و MT3DMS به‌ترتیب برای آب و مقدار غلظت مقایسه شد. نتایج نشان داد مدل مذکور برای هر دو مورد، خروجی‌های رضایت‌بخشی دارد و برای شبیه‌سازی آکیفرهای ناهمگون مناسب است. همچنین محقق شد که می‌توان با افزایش شعاع دامنه تأثیر، دقت مدل را نسبت به روش‌های تفاضل محدود و اجزای محدود که نیاز به شبکه‌بندی اولیه و مجدد دارند، افزایش داد.

مرور کارهای پیشین نشان می‌دهد بیش‌تر محققان به حل عددی معادله جابه‌جایی-پراکندگی با روش‌های با شبکه‌بندی پرداخته و تحقیقات اندکی به حل معادله انتقال آلاینده در رودخانه با روش‌های بدون شبکه انجام شده است. در سال‌های اخیر روش‌های بدون شبکه در حل بسیاری از معادلات دیفرانسیل به‌کار رفته‌اند و نتایج آن حاکی از مناسب بودن این روش عددی در مطالعات علوم مهندسی است. در این تحقیق سعی بر این است به شبیه‌سازی پدیده انتقال با روش عددی بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین به‌دلیل دقت بالا، کاهش هزینه مربوط به تولید شبکه و... انجام شود تا نواقص موجود در مدل‌های رایج موجود در زمینه شبیه‌سازی را مرتفع سازد. در نهایت صحت روش مذکور با استفاده از داده‌های واقعی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین

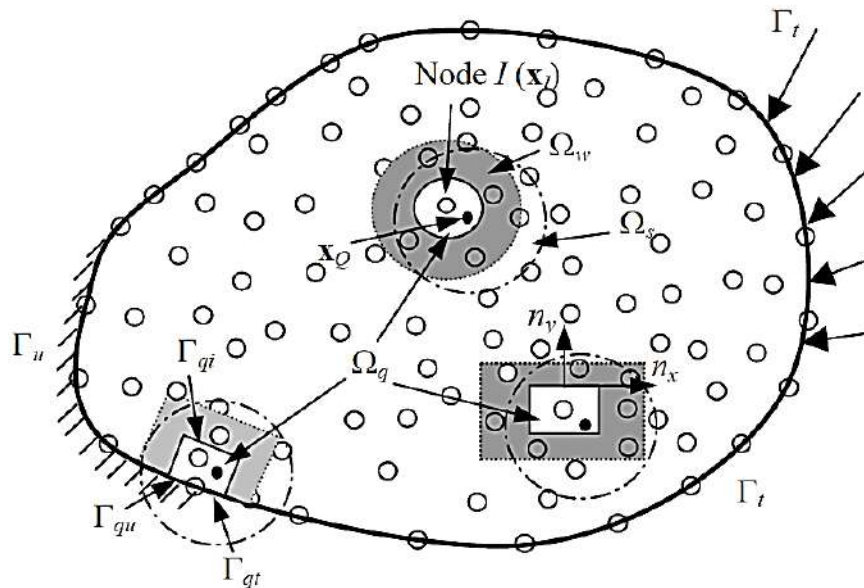
روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین برای تقریب تابع و انتگرال‌گیری به شبکه کلی نیاز ندارد. فرایند کار کاملاً مشابه روش‌های عددی بر اساس فرمول‌بندی شکل قوی مانند تفاضل محدود است. از آنجایی که تقریب حداقل مربعات متحرک در روش مذکور به‌کار می‌رود، لازم است که روش‌های خاصی برای اعمال شرایط مرزی ضروری به‌کار گرفته شود (Lin and Atluri, 2000).

روش فوق نسبت به سایر روش‌های عددی دارای مزایایی از جمله: عدم نیاز به شبکه‌بندی زمینه‌ای برای انتگرال‌گیری و حل معادلات بر روی نقاط، و توانایی حل هر گونه هندسه‌ای است.

جریان آب زیرزمینی را در دو حالت ماندگار و غیرماندگار برای آبخوان آزاد دشت بیرجند مدل‌سازی کرده، و سطح آب زیرزمینی مدل‌سازی شده به روش بدون شبکه را با سطح آب زیرزمینی مشاهده شده و روش تفاضل محدود مقایسه نمودند. نتایج تحقیق ایشان گویای عملکرد و دقت قابل قبول این روش است. دیمه‌ور (۱۳۹۶) حل عددی معادلات آب‌های کم‌عمق با استفاده از روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین در حالت غیرماندگار را انجام داد. هدف از تحقیق ایشان، مدل‌سازی عبور جریان آب از روی سرریز سد سیاه‌بیشه بود که در دو حالت با توزیع منظم گره‌ای و توزیع نامنظم گره‌ای انجام شد. نتایج تحقیق حاکی از عملکرد و دقت قابل قبول این روش است. همچنین، مقدار خطای جذر میانگین مربعات در دو حالت بیانگر خطای کمتر در حالت توزیع گره‌های نامنظم است.

(Boddula and Eldho, 2017) انتقال آلودگی در محیط متخلخل را با روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین براساس حداقل مربعات متحرک شبیه‌سازی کردند. ایشان به توسعه این روش برای حل مسائل یک و دو بعدی در محیط متلب پرداختند و صحت آن را از نظر دقت و عملکرد با حل تحلیلی و سایر روش‌های عددی موجود (روش تفاضل محدود و اجزای محدود) بررسی کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین، روشی مؤثر و کارآمد در مدل‌سازی مسائل هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی است. (Tayefi et al., 2018) معادله انتشار نوترون به‌روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین را حل کردند. روند محاسباتی در تحقیق ایشان شامل دو مرحله بود. مرحله اول به‌کارگیری تقریب حداقل مربعات متحرک برای ساخت تابع شکل بر اساس دامنه مسئله و سپس استفاده از آن در روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین برای حل معادله انتشار نوترون بود. ایشان برای ارزیابی مدل پیشنهادی، چندین مسئله را در نظر گرفتند و خروجی‌ها را با حل‌های تحلیلی و روش اجزای محدود گالرکین مقایسه نمودند. نتایج حاکی از دقت و صحت مناسب روش مذکور بود. همچنین، محقق شد که افزایش گره‌ها و انتخاب تابع وزن مناسب می‌تواند بر عملکرد روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین بیافزاید.

(Pathania and Eldho, 2020) شبیه‌سازی بهم‌پیوسته جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی را در یک آکیفر با روش بدون شبکه گالرکین انجام دادند. ایشان برای تولید تابع شکل، از روش تقریب حداقل مربعات متحرک استفاده کردند که نتیجه آن ایجاد حالت پایدار معادلات برای تخمین هد آب زیرزمینی و مقدار غلظت



شکل ۱- دامنه مسئله به همراه شرایط مرزی ضروری و طبیعی (X_Q : نقطه گوسی، Ω_s : دامنه پایه، Ω_q : دامنه انتگرال گیری، Ω_w : دامنه تابع وزن، Γ_{qi} : مرز داخلی دامنه انتگرال گیری، Γ_{qu} : قسمتی از مرز ضروری، Γ_{qt} : قسمتی از مرز طبیعی) (Liu and Gu, 2005)

تعداد گره‌هایی که به‌طور موضعی برای تخمین مقدار تابع در نقطه X استفاده می‌شود، توسط دامنه پایه تعیین می‌شود. به‌منظور تعیین ضرایب مجهول $a(X)$ ، تابع وزن دار نرم L_2 باید مینیمم شود:

$$J = \sum_I^n W(X - X_I) [P^T(X_I) a(X) - U_I]^2 \quad (4)$$

که $W_i(X)$: نشان‌دهنده تابع وزن مربوط به گره I و مقدار داخل کروشه اختلاف بین مقدار تخمین زده شده در نقطه I و مقدار داده شده در همان نقطه است. هم‌چنین، n : تعداد نقاط در دامنه پایه تابع وزن است. به‌منظور مینیمم کردن تابع J شرط $\partial J / \partial a = 0$ مورد بررسی قرار می‌گیرد که نهایتاً منجر به رابطه خطی (۵) می‌شود.

$$a(X) = A^{-1}(X) B(X) U_s \quad (5)$$

که $A(X)$ ، $B(X)$ و U_s : به‌ترتیب در روابط بعدی تعریف می‌شوند.

$$A(X) = \sum_I^n W(X_I) p(X_I) P^T(X_I) \quad (6)$$

که $A(X)$: ماتریس لنگر وزنی است و ماتریس $B(X)$ از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$B(X) = \{W_1 p(x_1) \quad W_2 p(x_2) \quad \dots \quad W_n p(x_n)\} \quad (7)$$

$$U_s = \{U_1 \quad U_2 \quad \dots \quad U_n\} \quad (8)$$

با قرار دادن رابطه (۵) در رابطه (۱)، تقریب حداقل مربعات به‌صورت رابطه (۹) ارائه می‌شوند.

۲-۲- تابع تقریب حداقل مربعات متحرک / تابع شکل

این تابع در حدود سال ۱۹۶۰ میلادی توسط شپارد به‌منظور درونیابی در سطح برای نقاط با مقادیر متغیر به‌کار رفته است و اساس کاربرد آن دستیابی به تقریب‌های کاملاً پیوسته است (Liu and Gu, 2005) و Belytschko et al. (1994) و Atluri and Zhu (1998) برای ساخت توابع شکل خود به‌ترتیب در روش‌های بدون شبکه گالرکین و روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین از تابع تقریب حداقل مربعات متحرک بهره بردند. اگر $U^h(X)$ یک تابع تغییرات میدانی در محدوده مورد بررسی Ω باشد، تقریب $U^h(X)$ در نقطه X با $U^h(X)$ نشان داده می‌شود که به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود (Liu and Gu, 2005).

$$U^h(X) = \sum_j^m p_j(X) a_j(X) = P^T(X) a(X) \quad (1)$$

که m : تعداد تک جمله‌ای‌های تشکیل‌دهنده $P(X)$ و $a(X)$: بردار ضرایب $P(X)$ است که به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$a^T(X) = \{a_1(X) \quad a_2(X) \quad \dots \quad a_m(X)\} \quad (2)$$

در رابطه (۱)، $P(X)$ یک بردار از توابع پایه است، که اغلب شامل حداقل تک جمله‌ای‌های لازم برای حصول حداقل کامل بودن، در فضای یک بعدی، یک پایه چندجمله‌ای کامل از مرتبه m طبق (۳) بیان می‌شود.

$$P^T(X) = \{1 \quad x \quad x^2 \quad \dots \quad x^m\} \quad (3)$$

$$\int_{\Omega} W_j \frac{C^{m+1} - C^m}{\Delta t} d\Omega + \int_{\Omega} W_j u \frac{\partial C^{m+1}}{\partial x} dx - \int_{\Gamma} D W_j \frac{\partial C^{m+1}}{\partial x} d\Gamma + \int_{\Omega} D \frac{\partial W_j}{\partial x} \frac{\partial C^{m+1}}{\partial x} d\Omega = 0 \quad (13)$$

از آنجایی که توابع شکل حداقل مربعات متحرک، شرط دلتای کروئکر را ارضاء نمی‌کنند، به‌همین دلیل هنگام اعمال شرط مرزی دیریکله نیاز به یک ضریب پنالتی (α) است. حال اگر شرایط مرزی دیریکله به‌صورت $C - \bar{C} = 0$ فرض شود، جمله رابطه (۱۴) به‌عنوان شرط مرزی ورودی به رابطه (۱۳) اضافه می‌شود.

$$[\alpha W_j (C^{m+1} - \bar{C})] = [\alpha W_j C^{m+1} - \alpha W_j \bar{C}] \quad (14)$$

هم‌چنین شرط مرزی نیومن به‌عنوان شرط مرزی خروجی به‌طور مستقیم اعمال می‌شود. برای مقدار تخمینی غلظت و مشتق آن نسبت به متغیر مستقل مکان داریم:

$$C(x, t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) \phi_i(x) \quad (15)$$

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial x} = \sum_{i=1}^n C_i(t) \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \quad (16)$$

با جایگزینی معادلات فوق در رابطه (۱۳) داریم:

$$\left[\int_{\Omega} \sum_{i=1}^n W_j \phi_i d\Omega + \Delta t u \int_{\Omega} \sum_{i=1}^n W_j \frac{\partial \phi_i}{\partial x} d\Omega + \Delta t D \int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \frac{\partial W_j}{\partial x} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} d\Omega + \alpha \int_{\Gamma} W_j \phi_i C_i^{m+1} d\Gamma \right] C_i^{m+1} = \int_{\Omega} \sum_{i=1}^n W_j C_i^m d\Omega + \int_{\Gamma} \Delta t D W_j \frac{\partial C}{\partial x} d\Gamma + \alpha \int_{\Gamma} W_j \bar{C} d\Gamma \quad (17)$$

رابطه (۱۷) گسسته‌ترین شکل معادله جابه‌جایی-پراکندگی است که به‌صورت مستقیم داخل کد قرار می‌گیرد و می‌توان آن را

$$U^h(X) = \sum_I \sum_j^m p_j(X) (A^{-1}(X)B(X))_{JI} U_I = \sum_I \phi_I(X) U_I \quad (9)$$

که $U^h(X)$: تابع تقریب، $\phi_I(X)$: تابع شکل و U_I : پارامتر گرهی است (Liu & Gu, 2005).

۲-۳- تابع وزن

تابع وزن نقش اساسی در عملکرد تقریب حداقل مربعات متحرک دارد. در این تحقیق از تابع اسپیلاین کیوبیک W مطابق رابطه (۱۰) استفاده می‌شود. این تابع پیوسته از درجه دو است که d_i : فاصله بین نقطه x_i تا نقطه x و r_w : شعاع تأثیر تابع وزن است (Liu and Gu, 2005).

$$W(X) = \begin{cases} \frac{2}{3} - 4\bar{r}_i^2 + 4\bar{r}_i^3 & \bar{r}_i \leq 0.5 \\ \frac{4}{3} - 4\bar{r}_i + 4\bar{r}_i^2 - \frac{4}{3}\bar{r}_i^3 & 0.5 < \bar{r}_i \leq 0.5 \\ 0 & \bar{r}_i > 1 \end{cases} \quad (10)$$

$$\frac{d_i}{r_w} = \frac{|x - x_i|}{r_w}$$

۲-۴- گسسته‌سازی معادله جابه‌جایی-پراکندگی

برای پیش‌بینی انتقال آلاینده در رودخانه‌ها، از معادله جابه‌جایی-پراکندگی به شکل رابطه (۱۱) استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (11)$$

که $C(x, t)$: غلظت آلاینده در مجرای اصلی رودخانه، u : سرعت جریان، D : ضریب پراکندگی، t : مدت زمان سپری شده بعد از تخلیه ماده آلاینده و x : فاصله از نقطه تخلیه است (Fischer, 1979). با گسسته‌سازی معادله جابه‌جایی-پراکندگی (رابطه (۱۱))، به‌روش محلی پتروو-گالرکین و باقیمانده‌های وزن‌دار داریم:

$$\int_{\Omega} W_j \frac{\partial C}{\partial t} d\Omega + \int_{\Omega} W_j u \frac{\partial C}{\partial x} d\Omega - \int_{\Omega} W_j D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} d\Omega = 0 \quad (12)$$

با جایگذاری عبارت حاصل از انتگرال‌گیری جزء به جزء عبارت سوم (از سمت چپ) معادله فوق و با استفاده از تقریب مشتق مرتبه اول جمله زمانی غلظت به روش ضمنی داریم:

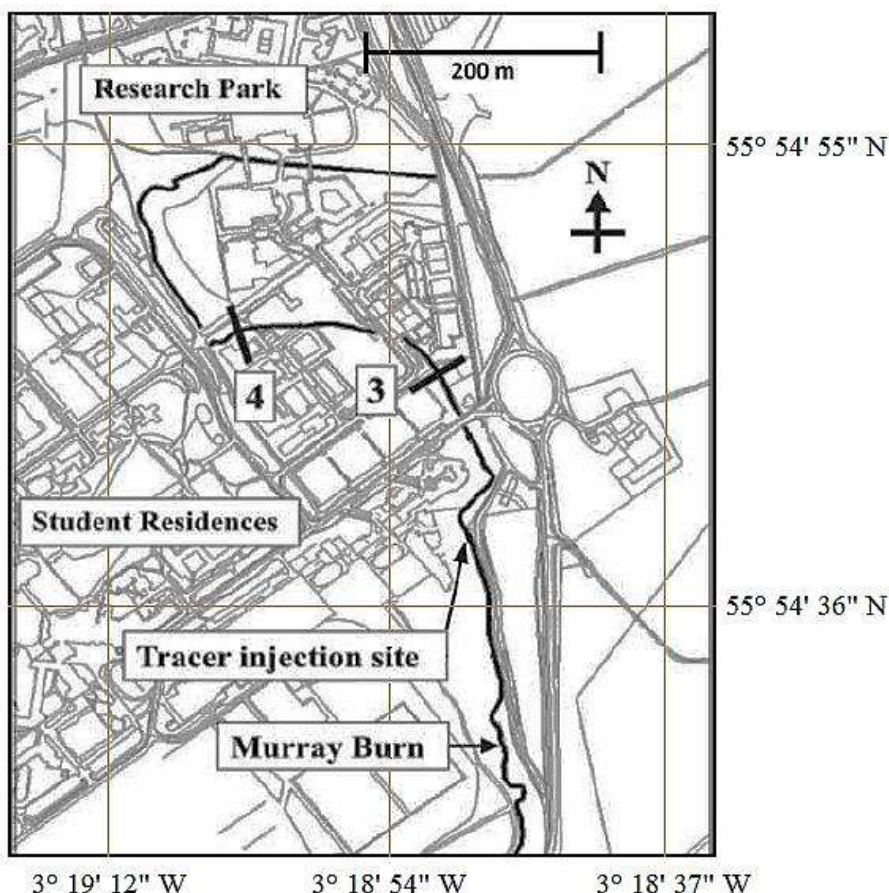
به شکل $KU = F$ خلاصه کرد، که K : ماتریس سختی، U : ماتریس مجهولات و F : ماتریس نیرو است. در این تحقیق، برای بررسی عملکرد روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین از داده‌های رودخانه مری‌پرن^{۱۱} استفاده می‌شود.

۵-۲- رودخانه مری‌پرن

رودخانه مری‌پرن، رودخانه کوچکی است که از محوطه ریکارتون دانشگاه Heriot Watt عبور می‌کند. محوطه دانشگاه در قسمت جنوب غربی ادینبرا و در حدود ۷ مایلی (۱۱/۳ کیلومتری) مرکز شهر واقع شده است. الگوی جریان در بازه مورد مطالعه (بازه ۳ الی ۴) رودخانه مذکور، ماندگار و یکنواخت است. سطح مقطع رودخانه در این بازه تقریباً مستطیلی است و دارای عرض متوسط ۲/۴ متر، شیب متوسط ۰/۰۰۹ و طول ۱۸۴ متر است. شکل ۲، شماتیک رودخانه مری‌پرن، محل تزریق ماده ردیاب و بازه موردنظر را نشان می‌دهد (Wallis et al. 2014). از آنجایی که در شروع شبیه‌سازی و قبل از تزریق، آب رودخانه تمیز و عاری از هرگونه آلاینده بوده است، غلظت پایه

صفر برای شرط اولیه در همه گره‌ها در نظر گرفته شد. آزمایش ماده ردیاب در رودخانه مری‌پرن با تزریق ناگهانی ماده ردآمین WT در ایستگاه ۱ (۴۲۰ متر بالاتر از ایستگاه ۴) انجام شد. برای انجام مدل‌سازی از داده‌های بالادست (نمودار غلظت-زمان برداشت‌شده در ایستگاه ۳) به‌عنوان شرط مرزی بالادست مدل (ورودی)، و گرادیان مکانی صفر غلظت $\left[\frac{\partial C}{\partial x}(\infty, t) = 0\right]$ برای شرط مرزی پایین‌دست مدل (خروجی) استفاده شد. در نهایت صحت مدل، با داده‌های مشاهداتی پایین‌دست (ایستگاه ۴) بررسی شد. جدول ۱ یازده سری از آزمایش‌های انجام شده بر روی رودخانه مری‌پرن را نشان می‌دهد. محدوده تغییرات دبی در این آزمایشات ۱۲/۹-۴۳۷/۳ لیتر بر ثانیه است.

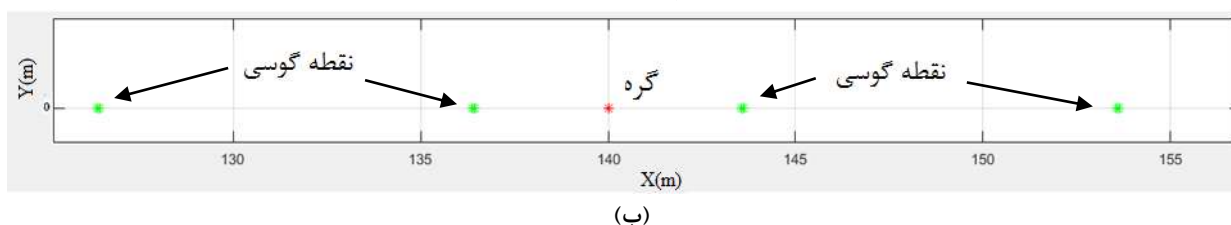
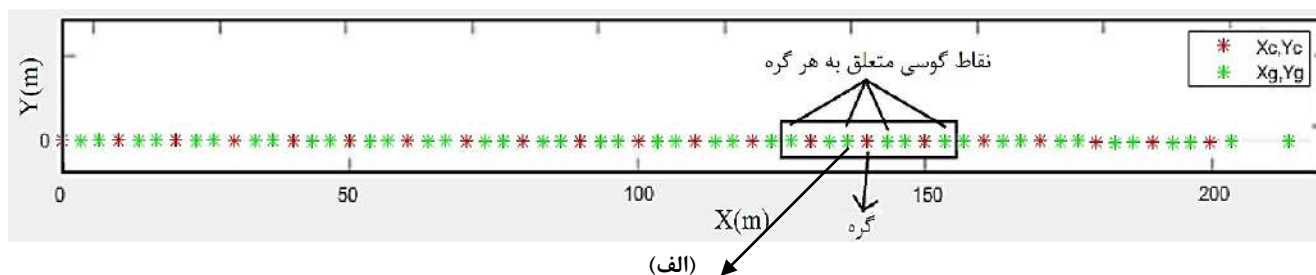
شکل ۳-الف، نمونه‌ای از توزیع گره‌های به‌کار رفته در این تحقیق (قرمز رنگ) با فواصل مساوی ۱۰ متر و ۴ نقطه گوسی (سبز رنگ) متعلق به هر گره در بازه ۲۰۰-۰ متر از رودخانه مری‌پرن را نشان می‌دهد که در بخش (ب) شکل مذکور، موقعیت دقیق نقاط گوسی متعلق به گره قرار گرفته در $X = 140 \text{ m}$ به‌طور نمونه ارائه شده است.



شکل ۲- نمای شماتیک رودخانه مری‌پرن واقع در کشور اسکاتلند (Wallis et al. 2014)

جدول ۱- لیست آزمایش‌ها (Wallis et al. 2014)

شماره آزمایش	تاریخ انجام آزمایش (dd/mm/yy)	جرم ماده ردیاب (g)	دبی جریان (Lit/s)	شماره آزمایش	تاریخ انجام آزمایش (dd/mm/yy)	جرم ماده ردیاب (g)	دبی جریان (Lit/s)
۳	۲۰۰۹/۱۱/۰۴	۰/۱۰۰	۱۳۷	۹	۲۰۱۰/۰۶/۱۷	۰/۰۵۰	۳۶
۴	۲۰۰۹/۱۱/۱۱	۰/۰۵۰	۸۳/۲	۱۰	۲۰۱۰/۰۷/۰۸	۰/۰۵۰	۱۲/۹
۵	۲۰۰۹/۱۱/۱۸	۰/۱۰۰	۹۵/۱	۱۱	۲۰۱۰/۱۱/۰۳	۰/۱۵۰	۱۳۴/۸
۶	۲۰۰۹/۱۱/۲۶	۰/۲۰۰	۳۷۹/۵	۱۲	۲۰۱۱/۰۲/۰۸	۰/۳۰۰	۴۳۷/۳
۷	۲۰۰۹/۱۱/۱۸	۰/۱۰۰	۳۸/۱	۱۳	۲۰۱۱/۰۲/۱۵	۰/۱۵۰	۱۴۴
۸	۲۰۱۰/۰۵/۲۷	۰/۰۷۵	۴۱/۳				



شکل ۳- نمونه‌ای از گرده‌های موردنظر با فواصل مساوی ۱۰ متر و ۴ نقطه گوسی (سبز رنگ) متعلق به هر گرده در بازه رودخانه مری‌پرن

۲-۶- معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

در این تحقیق برای ارزیابی پارامترهای برآورد شده برای شبیه‌سازی غلظت ماده ردیاب در ایستگاه ۴، از معیار ارزیابی میانگین مربعات خطا (MSE^{12}) استفاده شد (Wackerly et al., 2014). رابطه میانگین مربعات خطا به صورت رابطه (۱۸) است و n_t و C_{obs} ، C_{calc} به ترتیب غلظت محاسباتی، غلظت مشاهداتی و تعداد داده‌ها است.

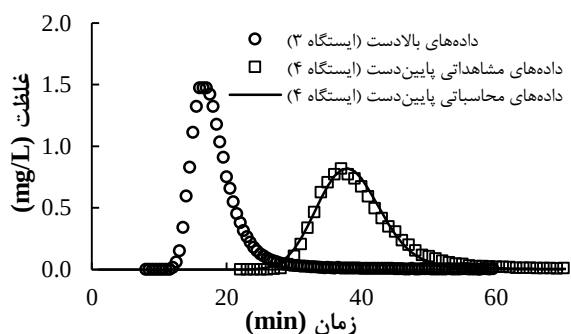
$$MSE = \frac{1}{n_t} \sum_{t=1}^{n_t} (C_{calc} - C_{obs})^2 \quad (18)$$

۳- نتایج و بحث

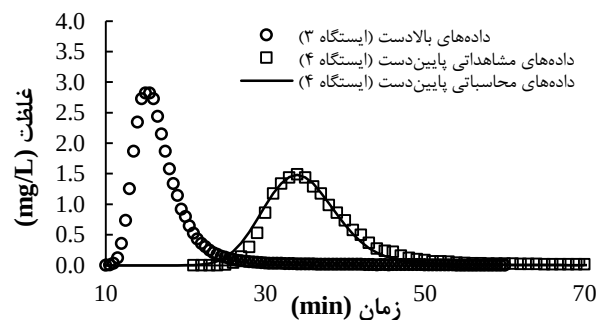
۳-۱- واسنجی مدل

برای واسنجی مدل به روش محلی پتروو-گالرکین، از ۹ آزمایش ارائه شده در جدول ۲ استفاده شد. در این روش، دو پارامتر سرعت و ضریب پراکندگی با کاهش مقدار میانگین مربعات خطا بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در همه آزمایش‌ها بهینه شدند.

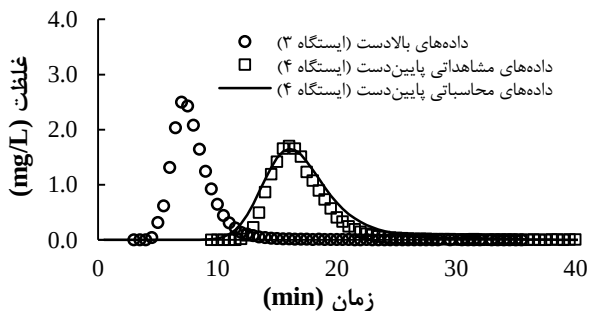
در ابتدا بهینه‌سازی برای سرعت (برای قرارگیری منحنی غلظت-زمان در محدوده زمانی مناسب) و سپس ضریب پراکندگی (برای به دست آوردن ارتفاع و شکل مناسب پروفیل) انجام شد، در نهایت تغییرات کوچکی بر هر دو پارامتر برای دستیابی به بهترین شکل منحنی غلظت-زمان اعمال شد. در شکل ۴ منحنی غلظت-زمان به دست آمده با روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین در تمامی آزمایش‌ها نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از روش مذکور، مقدار غلظت محاسباتی در پروفیل پایین دست (ایستگاه ۴)، دارای هم‌خوانی بهتری با داده‌های مشاهداتی در دبی‌های پایین‌تر است. همان‌طور که مشخص است مقادیر غلظت محاسباتی نسبت به مشاهداتی در شاخه بالارونده‌ی این پروفیل، اندکی بیشتر و در شاخه پایین‌رونده کمتر برآورد شده است. در صورتی‌که، در دبی‌های بالا (آزمایش‌های شماره ۶، ۱۲ و ۱۳)، در هر دو شاخه بالا رونده و پایین‌رونده، مقدار غلظت بیشتر برآورد شده است. مقایسه حداکثر مقدار غلظت محاسباتی و مشاهداتی نشان داد که مقدار خطا زمانی که غلظت در حالت حداکثر خود قرار دارد، به طور متوسط بین ۰/۱-۱۰ درصد است که این مقدار برای دبی‌های بالا، بیشتر است.



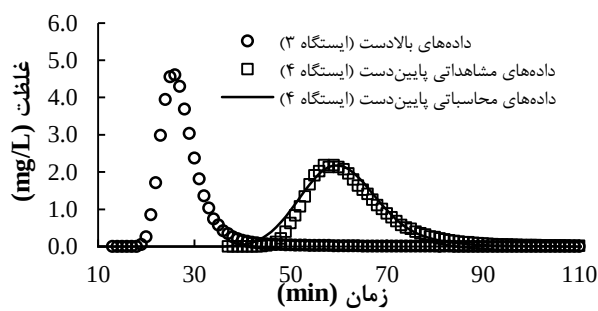
آزمایش شماره ۴ (دبی ۸۳/۲ لیتر بر ثانیه)



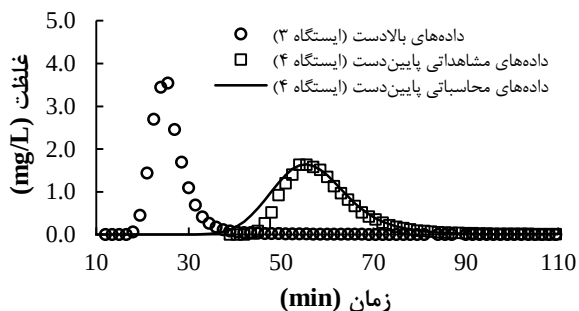
آزمایش شماره ۵ (دبی ۹۵/۱ لیتر بر ثانیه)



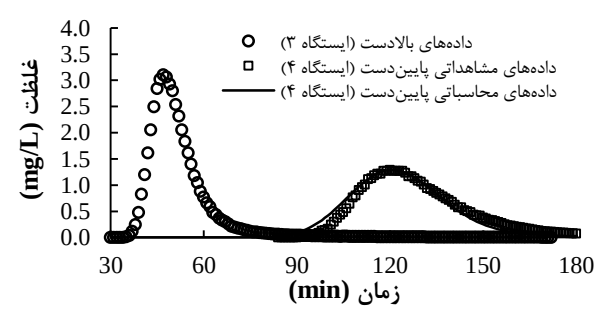
آزمایش شماره ۶ (دبی ۳۷۹/۵ لیتر بر ثانیه)



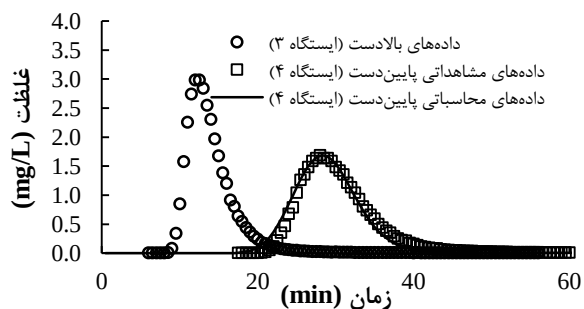
آزمایش شماره ۷ (دبی ۳۸/۱ لیتر بر ثانیه)



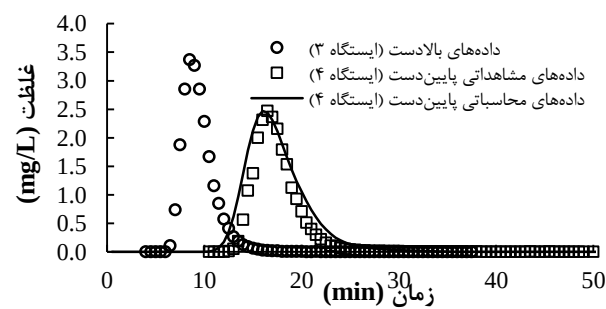
آزمایش شماره ۸ (دبی ۴۱/۳ لیتر بر ثانیه)



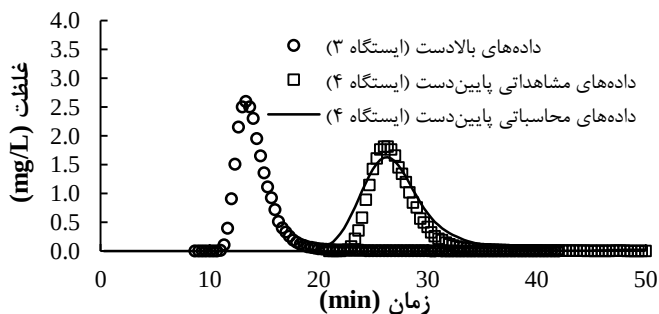
آزمایش شماره ۱۰ (دبی ۱۲/۹ لیتر بر ثانیه)



آزمایش شماره ۱۱ (دبی ۱۳۴/۸ لیتر بر ثانیه)



آزمایش شماره ۱۲ (دبی ۴۳۷/۳ لیتر بر ثانیه)



آزمایش شماره ۱۳ (دبی ۱۴۴ لیتر بر ثانیه)

شکل ۴- نمودار غلظت-زمان در ۹ آزمایش برای واسنجی مدل

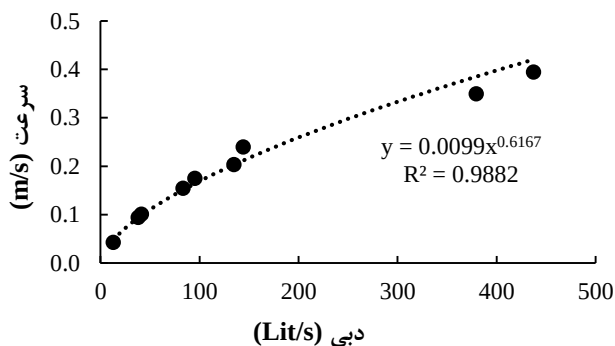
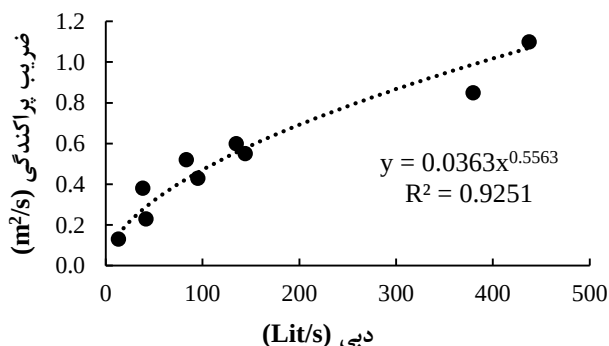
دبی‌های پایین، روش MLPG دارای دقت بالاتری نسبت به روش Fischer است و مقادیر آن به روش روندیابی Singh and Beck نزدیک است، ولی در دبی‌های بالا دارای دقت پایین‌تری نسبت به دو روش اشاره شده است. در جدول مذکور فاصله زمانی، فاصله گرہ‌ها و تعداد گرہ‌های به‌کار رفته در هر آزمایش ارائه شده است. فواصل گرہ‌ها به‌نحوی انتخاب شده تا شرط پایداری عدد کورانت برقرار باشد.

ضریب پراکندگی و سرعت تمامی آزمایش‌ها نسبت به دبی رسم شد (شکل ۵) و معادله رگرسیون توانی بین متغیرها استخراج شد که دارای ضریب همبستگی ۰/۹۲۵ و ۰/۹۸۸ به‌ترتیب برای ضریب پراکندگی و سرعت هستند. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد مقدار این دو پارامتر با افزایش دبی، افزایش می‌یابد، با این تفاوت که داده‌های سرعت دارای همبستگی بالاتری نسبت به ضریب پراکندگی هستند.

در جدول ۲ مقادیر سرعت و ضریب پراکندگی بهینه شده برای ۹ آزمایش ارائه و مقدار میانگین مربعات خطا محاسبه شده است. ضریب پراکندگی در این تحقیق در محدوده ۰/۱۳-۱/۱ مترمربع بر ثانیه به‌دست آمد که این مقادیر برای رودخانه‌های کوچک صادق است. مقادیر پایین میانگین مربعات خطا در دبی‌های کم، بیانگر این است که روش بدون شبکه پتروو-گالرکین قادر به برآورد بهتری نسبت به دبی‌های بالاتر است که نتایج آن به‌وضوح در شکل ۱ مشاهده شد. نتایج این پژوهش با تحقیق Wallis et al. (2014) که به حل معادله جابه‌جایی-پراکندگی به دو روش روندیابی Fischer و Singh and Beck در رودخانه مری‌پرن پرداخته، مقایسه شد. مقدار میانگین مربعات خطا در روش‌های مذکور به دو ستون آخر جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه مقادیر MSE به‌دست آمده از روش ارائه شده در این پژوهش و تحقیق Wallis et al. (2014)، نشان می‌دهد که در

جدول ۲- نتایج واسنجی

شماره آزمایش	دبی جریان (Lit/s)	فاصله زمانی (Δt) (s)	فاصله گرہ‌ها (Δx) (m)	تعداد گرہ‌ها	سرعت (m/s)	ضریب پراکندگی (m^2/s)	میانگین مربعات خطا تحقیق حاضر (MSE) ($\mu g/L$) ²	میانگین مربعات خطا روش روندیابی Fischer (MSE) ($\mu g/L$) ²	میانگین مربعات خطا روش روندیابی Singh & Beck (MSE) ($\mu g/L$) ²
۴	۸۳/۲	۳۰	۱۰	۲۰	۰/۱۵۵	۰/۵۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۷
۵	۹۵/۱	۳۰	۱۰	۲۰	۰/۱۷۵	۰/۴۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۲۷
۶	۳۷۹/۵	۳۰	۱۰	۲۰	۰/۳۵۰	۰/۸۵	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۵۸
۷	۳۸/۱	۶۰	۱۲	۱۷	۰/۰۹۵	۰/۳۸	۰/۰۱۲۸	۰/۰۲۰۸	۰/۰۰۶۴
۸	۴۱/۳	۹۰	۱۳	۱۶	۰/۱۰۱	۰/۲۳	۰/۰۱۶۰	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۵۷
۱۰	۱۲/۹	۶۰	۶	۳۲	۰/۰۴۳	۰/۱۳	۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۵۵
۱۱	۱۳۴/۸	۳۰	۱۱	۱۸	۰/۲۰۴	۰/۶۰	۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۳۰
۱۲	۴۳۷/۳	۳۰	۱۳	۱۶	۰/۳۹۵	۱/۱۰	۰/۰۴۲۶	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۴۰
۱۳	۱۴۴	۲۰	۱۰	۲۰	۰/۲۴۰	۰/۵۵	۰/۰۲۲۷	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۱۷



شکل ۵- نمودار ضریب پراکندگی و سرعت نسبت به دبی

آزمایش شماره ۹ با دبی ۳۳ لیتر بر ثانیه) با استفاده از معادله رگرسیون توانی مستخرج از شکل ۵ تخمین زده شد و در نهایت منحنی غلظت- زمان داده‌های پایین‌دست (ایستگاه ۴) برای

۲-۳- اعتبارسنجی مدل

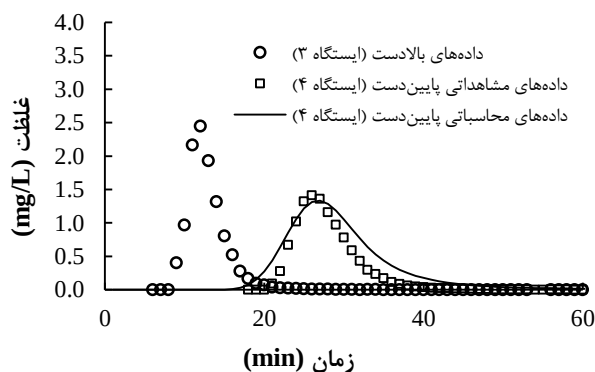
مقادیر ضریب پراکندگی و سرعت، برای اعتبارسنجی دو آزمایش دیگر (آزمایش شماره ۳ با دبی ۱۳۷ لیتر بر ثانیه و

۲ و ۶ درصد به ترتیب در آزمایش‌های شماره ۳ و ۹ است. با مقایسه دو آزمایش می‌توان دریافت که دقت مدل در دبی کمتر، بالاتر است. مقدار MSE در روش MLPG نسبت به روش‌های ارائه شده در (Wallis et al. (2014)، دارای مقادیر کمتری است که حاکی از عملکرد مناسب این روش است.

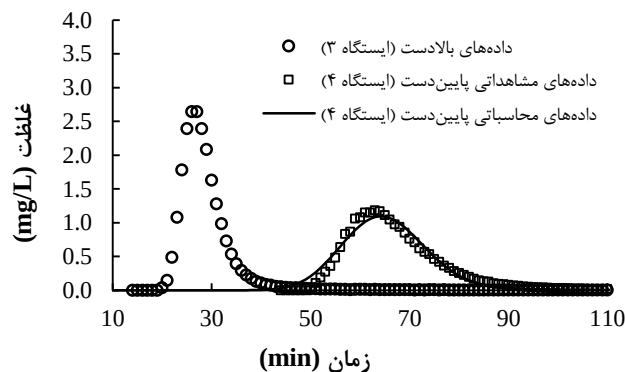
آزمایشات مذکور با استفاده از روش بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین پیش‌بینی شد. نتایج اجرای دو آزمایش در جدول ۳ و منحنی غلظت-زمان پیش‌بینی شده در شکل ۶ ارائه شده است. مطابق شکل، پروفیل غلظت محاسباتی، پایین‌تر از پروفیل غلظت مشاهداتی قرار گرفته که این مقدار خطا در غلظت حداکثر برابر

جدول ۳- آزمایش‌های اعتبارسنجی

شماره آزمایش	دبی جریان (Lit/s)	فاصله زمانی (Δt) (s)	فاصله گره‌ها (Δx) (m)	تعداد گره‌ها	سرعت (m/s)	ضریب پراکندگی (m^2/s)	میانگین مربعات خطا (MSE) روش تحقیق حاضر ($\mu g/L$) ²	میانگین مربعات خطا (MSE) روش روندیابی Fischer ($\mu g/L$) ²	میانگین مربعات خطا (MSE) روش روندیابی Singh & Beck ($\mu g/L$) ²
۳	۱۳۷	۶۰	۱۴	۱۵	۰/۲۰۶	۰/۵۶	۰/۰۲۲۷	۰/۰۳۹۰	۰/۰۴۶۹
۹	۳۳	۶۰	۱۰	۲۰	۰/۰۸۶	۰/۲۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۵۱۰	۰/۰۱۲۸



آزمایش شماره ۳ (دبی ۱۳۷ لیتر بر ثانیه)



آزمایش شماره ۹ (دبی ۳۳ لیتر بر ثانیه)

شکل ۶- منحنی غلظت-زمان در ۲ آزمایش برای اعتبارسنجی مدل

در دبی‌های بالا، در هر دو شاخه بالا رونده و پایین‌رونده، مقدار غلظت محاسباتی بیشتر از مشاهداتی برآورد شده است. مقایسه حداکثر مقدار غلظت محاسباتی و مشاهداتی نشان داد که مقدار خطا زمانی که غلظت در حالت حداکثر خود قرار دارد، به‌طور متوسط بین ۱/۰-۱ درصد برای حالت واسنجی و ۲-۶ درصد برای حالت اعتبارسنجی است. در نهایت نمودار ضریب پراکندگی و سرعت نسبت به دبی رسم و معادله رگرسیونی توانی استخراج شد که به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۹۲۵ و ۰/۹۸۸ برای ضریب پراکندگی و سرعت هستند. دو آزمایش دیگر نیز در اعتبارسنجی مدل برای تخمین ضریب پراکندگی و سرعت به کار برده شد که مقدار پایین MSE در آن‌ها، بیانگر عملکرد و دقت قابل‌قبول روش MLPG در حل معادله جابه‌جایی-پراکندگی است. با مقایسه روش به کار برده شده با سایر روش‌ها می‌توان دریافت که روش مورد استفاده در این تحقیق و روش روندیابی Singh and Beck در دبی‌های پایین، نسبت به روش Fischer دارای دقت بالاتر است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق معادله جابه‌جایی-پراکندگی با روش عددی بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین حل و برای مدل‌سازی از داده‌های رودخانه مری‌پرن استفاده شد. رودخانه مذکور در بازه ۳-۴ دارای جریان یکنواخت و ماندگار است که برای انجام مدل‌سازی، از داده‌های ایستگاه ۳ به عنوان شرط مرزی ورودی استفاده و در نهایت صحت مدل، با داده‌های مشاهداتی ایستگاه ۴ بررسی شد. از مجموع ۱۱ آزمایش انجام گرفته، ۹ آزمایش برای واسنجی استفاده شد که در آن ضریب پراکندگی و سرعت با به حداقل رساندن معیار میانگین مربعات خطای غلظت محاسباتی و مشاهداتی برای تمام حالات بهینه شدند. ضریب پراکندگی در این تحقیق در محدوده ۱۳/۰-۱/۱ مترمربع بر ثانیه به دست آمد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که مدل MLPG برای دبی‌های کمتر، مقدار غلظت محاسباتی را در شاخه بالا رونده و پایین‌رونده به ترتیب بیشتر و کمتر از داده‌های مشاهداتی برآورد می‌کند. در صورتی که

۵- قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری پروفیسور والیس برای ارسال داده‌های آزمایش غلظت در رودخانه مری‌پرن تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Fick's First Law
- 2- Finite Difference Method (FDM)
- 3- Finite Element Method (FEM)
- 4- Finite Volume Method (FVM)
- 5- Meshfree Local Petrov-Galerkin
- 6- Moving Least Squares
- 7- Element Free Galerkin Method (EFGM)
- 8- Localized Radial Basis Functions' (LRBF)
- 9- Method of Approximate Particular Solutions (MAPS)
- 10- Localization technique of Method of Approximate Particular Solutions (LMAPS)
- 11- Murray Burn
- 12- Mean Square Error

۷- مراجع

- Science and Engineering, 2(3A), 519-534.
- Boddula, S. and Eldho, T.I., (2017), "A moving least squares based meshless local petrov-galerkin method for the simulation of contaminant transport in porous media", *Journal of Engineering Analysis with Boundary Elements*, 78, 8-19.
- Chapra, S.C., (1997), *Surface water-quality modeling*, Vol. 1, McGraw-Hill New York.
- Fischer, H.B. (1979), *Mixing inland and coastal waters*, Academic Press.
- Kolahdoozan, M., and Gargary, S.F., (2015), "Solving the one dimensional advection diffusion equation using mixed discrete least squares meshless method", *Proceedings of the International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering*, Ottawa, Ontario, Canada, pp. 292(1)- 292(8).
- Li, J., Chen, Y., and Pepper, D., (2003), "Radial basis function method for 1-D and 2-D groundwater contaminant transport modeling", *Journal of Computational Mechanics*, 32(1), 10-15.
- Lin, H., and Atluri, S.N., (2000), "Meshless local Petrov-Galerkin (MLPG) method for convection diffusion problems", *Computer Modelling in Engineering & Sciences (CMES)*, 1(2), 45-60.
- Liu, G.-R. (2002), *Mesh free methods: Moving beyond the finite element method*, CRC press. New York Washington, D.C.
- Liu, G.-R. and Gu, Y.T., (2005), *An introduction to meshfree methods and their programming*, Springer Science and Business Media, New York, Heidelberg.
- Mousavi, S., Young, D., and Tsai, C., (2016), "Comparison of localized radial basis functions' (LRBF) solution of the two-dimensional advection-diffusion equation to the finite difference methods' (FDM)", *Proceedings of 12th International Conference on Hydrosience and Engineering*. Tainan, Taiwan.
- Pathania, T. and Eldho, T.I., (2020), "A moving least squares based meshless element-free Galerkin method for the coupled simulation of groundwater flow and contaminant transport in an aquifer", *Journal of Water Resources Management*, 34(15), 4773-4794.
- Tayefi, Sh., Pazirandeh, A., and Kheradmand Saadi, M., (2018), "A meshless local Petrov-Galerkin method for solving the neutron diffusion equation", *Journal of Nuclear Science and Techniques*, 29(169), 1-19.
- Wackerly, D., Mendenhall, W., and Scheaffer, R.L., (2014), *Mathematical statistics with applications*, Cengage Learning.
- Wallis, S.G., Bonardi, D., and Silavwe, D.D., (2014), "Solute transport routing in a small stream", *Hydrological Sciences Journal*, 59(10), 1894-1907.

براتی مقدم، م.، مظاهری، م.، و محمد ولی سامانی، ج.، (۱۳۹۴)، "مدل یک بعدی انتقال آلاینده در رودخانه‌های طبیعی با تأکید بر نقش نواحی نگهداشت"، *مجله مدیریت آب و آبیاری*، ۱۶۹-۱۹۰، (۲)۵.

دیمه‌ور، س.، (۱۳۹۶)، "حل عددی معادلات آب‌های کم‌عمق با استفاده از روش بدون شبکه پتروو-گالرکین"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد عمران-منابع آب، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.

محتشمی، ع.، (۱۳۹۵)، "استفاده از روش بدون شبکه در مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان آزاد"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد عمران-منابع آب، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.

مشهدگره، ن.، محمد ولی سامانی، ج.، و مظاهری، م.، (۱۳۹۲)، "حل تحلیلی معادله انتقال آلودگی به‌ازای الگوی زمانی دلخواه منابع آلاینده نقطه‌ای توسط روش تابع گرین"، *مجله هیدرولیک*، ۸(۴)، ۱۳-۲۵.

Atluri, S.N., and Zhu, T.A., (1998), "A new meshless method (MLPG) approach in computational mechanics", *Journal of Computational Mechanics*, 22(2), 117-127.

Belytschko, T., Gu, L. and Lu, Y., (1994), "Fracture and crack growth by element free Galerkin methods", *Journal of Modelling and Simulation in Materials*



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

Technical Note

مقاله ترویجی (یادداشت فنی)

**Reducing the Pressure Range and Creating
a Compression Layers by Installing
Pressure Relief Valves**

**کاهش دامنه فشاری و ایجاد لایه هم فشار با
کمک نصب شیرهای فشار شکن**

Abedin Sajedi*

عابدین ساجدی*

M.Sc. in Hydraulic Structures and Water
Engineering, Water and Sewerage Company,
Region 2, Tehran, Yehran, Iran.

کارشناس ارشد مهندسی عمران آب و سازه هیدرولیکی، شرکت
آب و فاضلاب منطقه ۲ شهر تهران، تهران، ایران.

*Corresponding Author, Email:
sajedi.abed@gmail.com

* نویسنده مسئول، ایمیل: sajedi.abed@gmail.com

Received: 05/01/2021

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶

Revised: 11/05/2021

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

Accepted: 22/06/2021

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۱

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Distribution network is the most important part of the water supply system. Accidents and leaks in distribution networks are always the concern of ABFA companies. Reducing accidents and wastage by hydraulic parameters such as pressure management is of particular importance. One of these methods is that the pressure head. In network nodes, they should be as close as possible to the minimum standard head. To do this, the pressure range should be reduced, which is done by creating a new isotherm layer and zoning with the help of pressure reducing valve installation, according to scientific theories by reducing accident pressure. And waste will also be reduced. After reviewing the reservoirs of District 3 in terms of the number of accidents in the 94 reservoir in Tehran with the highest number of accidents was selected as the study area with WaterGems software and GIS information, this reservoir was modeled in the software. After validating the model using data. The compressed pressures of the reservoir network were investigated and analyzed. 53 percent of the nodes had a pressure of more than 6 atmospheres, in which pressure range wasted and accidents are expected. In order to modify the network, the proposed plan to increase the isothermal layer was done with the scenario of installing 4 pressure relief valves for the network. In order to isolate the model, 13 limit valves were also considered. According to scientific findings, reducing accidents and leaks can be achieved by reducing pressure.

شبکه توزیع مهم ترین بخش سیستم آبرسانی است. حوادث و نشت در شبکه های توزیع همواره دغدغه شرکت های آبفا است. کاهش حوادث و هدررفت توسط پارامترهای هیدرولیکی نظیر مدیریت فشار از اهمیت ویژه ای برخوردار است. یکی از این روش ها این گونه است که هد فشاری در گرگه های شبکه تا حد ممکن به حداقل هد استاندارد نزدیک شود. برای این کار باید دامنه فشاری کاهش یابد. این کاهش با ایجاد لایه هم فشار و زون بندی جدید به کمک نصب شیرفشار شکن انجام می پذیرد. طبق نظریه های علمی با کاهش فشار، حوادث و هدررفت نیز کاهش پیدا خواهد کرد. بعد از بررسی زون های مختلف مخازن از نظر گستردگی تعداد حوادث، مخزن ۹۴ با دارا بودن بیشترین تعداد حوادث به عنوان محدوده مورد مطالعاتی انتخاب شد. با کمک نرم افزار WaterGems و اطلاعات GIS این مخزن در نرم افزار مدل سازی شد. بعد از صحت سنجی مدل براساس داده های فشاری برداشت شده، وضعیت هیدرولیکی شبکه مخزن بررسی و تحلیل شد. ۵۳٪ از گرگه ها فشار بیش تر از ۶ اتمسفر داشتند که در این دامنه فشاری، هدررفت و حوادث متصور است. به منظور اصلاح شبکه، طرح پیشنهادی افزایش لایه هم فشار با سناریوی نصب ۴ شیر فشار شکن برای شبکه اعمال شد. برای ایزوله کردن شبکه، ۱۳ عدد شیر نیز در نظر گرفته شد. با اعمال تغییرات مشاهده شد در زمان حداقل مصرف هیچ گرگه ای دیگر فشار بالای ۶ اتمسفر نخواهد داشت. طبق یافته های علمی با کاهش فشار به کاهش حوادث و نشت نیز می توان دست یافت.

Keywords: Loss Reduction and Accidents, Pressure Layers, Pressure Management, Water Distribution Network

کلمات کلیدی: مدیریت فشار، لایه فشاری، کاهش هدررفت و حوادث، شبکه توزیع آب شهری.

باتوجه به هزینه بالای خرید زمین و احداث مخزن تعادلی، در این مقاله افزایش لایه‌های فشاری با کمک نصب شیرهای فشارشکن برای منطقی شدن طرح از نظر هزینه بررسی می‌شود.

افزایش لایه‌های فشاری موجب کنترل و کاهش فشار شبکه توزیع و در اصل متعادل‌سازی فشار می‌شود. البته این کاهش فشار نباید موجب نارضایتی مشترکین شود بلکه موجب تقسیم عادلانه آب شرب و باکیفیت شود. در صورت اعمال مدیریت فشار، به‌طور نظری حوادث به‌ویژه در شبکه‌های فرسوده و با قدمت بالا کاهش پیدا خواهد کرد. این کاهش موجب افزایش درآمد به تناسب کاهش حوادث و تلفات خواهد شد. با رعایت تعهدات شرکت آبفای استان تهران و تحویل فشار ورودی کنتور مشترکین تا ۲/۲ اتمسفر، نارضایتی برای مشترکین ایجاد نخواهد شد. با تأمین تعهدات شرکت آب و فاضلاب استان تهران برای ابنیه‌های با قدمت بالا احتیاج به استفاده از مخزن نخواهد بود. همچنین با امضای تفاهم بین سازمان نظام مهندسی و شرکت آب و فاضلاب استان تهران در خصوص اجرائی شدن مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان و الزامات مدیریت بهینه مصرف آب، ساخت مخزن ذخیره برای ساختمان‌های بیش از سه طبقه یا بیش از ۱۰ واحد مسکونی با گنجایش ۷۵ لیتر به ازای هر نفر در روز پیش‌بینی و لازم الاجرا شده است.

۲- روش تحقیق

آبفای منطقه ۲ ناحیه ۳ دارای ۶ مخزن ذخیره و متعادل‌سازی زمینی است. مساحت تحت پوشش این ناحیه ۳۵۰ هکتار و در انتهای سال ۱۳۹۷ دارای ۶۱۲۰۰ فقره اشتراک بوده است که این عدد در پاییز ۱۳۹۸ به ۶۳۶۹۰ اشتراک افزایش یافته است. این ناحیه دارای ۵۹۹/۶ کیلومتر شبکه توزیع بوده و با توجه به توپولوژی خاص و اختلاف ارتفاع به ۸ زون (ناحیه فشاری) تقسیم شده است. پایین‌ترین نقطه ارتفاعی ۱۲۸۷ و در نقاط بالا ارتفاع ۱۶۲۰ وجود دارد. دامنه اختلاف ارتفاعی حدود ۳۳۰ متر است که این اختلاف ارتفاع در ۸ لایه فشاری با میانگین دامنه ۳۵ متر ایجاد شده است.

در راستای روش تحقیق مطابق جدول ۱ اقدام شده و پس از طی مراحل یاد شده و کسب نتایج و یافته‌ها، تحلیل نتایج حاصل از تحقیق و اقدامات اصلاحی انجام می‌شود.

۲-۱- بررسی حوادث براساس شاخص‌ها به تفکیک مخزن

در این مرحله حوادث محدوده مخازن با شاخص (حوادث

محدودیت منابع و تقاضای آب شیرین باعث شده تا جوامع امروزی به فکر راه‌کارهایی درخصوص مدیریت منابع آب باشند. در همین راستا مدیریت فشار شبکه توزیع آب شهری بسیار حائز اهمیت است. از مشکلات نوسانات فشار شبکه می‌توان به توزیع ناعادلانه آب بین مشترکین، شکستگی لوله، هدررفت آب اشاره نمود که اهمیت اصلاح و بازنگری شبکه را دوچندان می‌نماید. هدف اصلی مقاله اصلاح زون‌بندی شبکه توزیع آب است. شبکه توزیع آب شهر تهران در دهه ۱۳۳۰ توسط شرکت انگلیسی سرالکساندر گریپ طراحی و اجرا شده است. در حقیقت با گذشت بیش از ۶۰ سال از طراحی اولیه شبکه، در شهر گسترش یافته تهران پایه و اساس شبکه آبرسانی همچنان براساس شبکه طراحی شده شرکت مذکور استوار است. بنابراین باتوجه به تغییرات گوناگون در این سال‌ها بازنگری در ساختار هیدرولیکی شبکه رضایت مشترکین و کاهش هزینه‌های شرکت را به‌همراه خواهد داشت.

(Saldarriaga and Salcedo (2015) با تعیین مکان و تنظیمات بهینه شیرهای کاهش فشار در شبکه توزیع آب برای به حداقل رساندن مقدار هدررفت، بهترین روش برای نصب و جانمایی این تجهیزات روی شبکه‌های توزیع برای مدیریت فشار را مدل‌سازی شبکه معرفی کردند. با توجه افزایش نامتوازن رشد جمعیت شهری و پیشی گرفتن جمعیت موجود از جمعیت پیش‌بینی شده، به‌ناچار باید در طراحی اولیه شبکه‌های آبرسانی موجود بازبینی صورت گرفته و نسبت به بازسازی شبکه‌های موجود با در نظر گرفتن افق جدیدی اقدام شود. عدم توجه به این مهم موجب ایجاد نقاط بحرانی در شبکه توزیع موجود خواهد شد (تابش و واسطی، ۱۳۸۶).

(Wright et al. (2015) در یک تحقیق گسترده تجربی در زمینه مدیریت فشار، نصب انواع شیرهای کنترلی PRV و شیرهای کاهش فشار ثابت در تعدیل هیدرولیکی فشار شبکه را بهترین روش مدیریت فشار معرفی کردند. (Latchoomun et al. (2020 روشی برای کاهش نشت در شبکه توزیع با تقاضای فشار محور ارائه کردند. آن‌ها با بیان این‌که میزان نشت آب با فشار در شبکه ارتباط مستقیم دارد، ساخت مخازن تعدیل برای کنترل فشار و استفاده از پمپ‌ها را تنها روش کاهش هدررفت و کاهش نشت دانستند. با توجه به پیشینه تحقیقات، برای شبکه‌هایی که دارای ضعف هیدرولیکی هستند باید از روش‌های مدیریت فشار بهره جست که ساخت مخازن تعادلی یکی از این روش‌ها است. ولی

- بیشترین درصد خرابی شیرهای خط (قطع و وصل) نسبت به سایر مخازن؛
- بیشترین درصد خرابی برای شیرهای آتش‌نشانی زمینی نسبت به سایر مخازن؛
- دومین رتبه از نظر حوادث شبکه.

۲-۲- انتخاب و معرفی محدوده مورد مطالعه

مخزن ۹۴ در شمال شرق شهر تهران قرار گرفته است. زون مخزن ۹۴ دارای ۲ لایه فشاری تنها با ۱ عدد شیرفشارشکن در محدوده خود است که لایه دوم عملاً بدون کاربرد بوده و در واقع می‌توان آن را لایه انتظار در نظر گرفت. این مخزن در ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد و از تصفیه‌خانه‌های ۳ و ۴ تهرانپارس آبیگری می‌نماید. در محدوده مخزن ۹۴ یک شیر فشارشکن در ارتفاع ۱۴۶۱ متر روی خط ۲۰۰ میلی‌متر موجود است. طول کلی خطوط شبکه تحت پوشش این مخزن ۴۳ کیلومتر است. در جدول ۲ اقطار لوله‌های این شبکه به تفکیک نمایش داده شده است که بیشترین فراوانی برای قطرهای ۱۱۰ و ۹۰ میلی‌متر است که هردو از جنس پلی‌اتیلن هستند.

انشعاب، حوادث شبکه، حوادث شیرهای قطع و وصل و حوادث شیرهای آتش‌نشانی زمینی) بررسی می‌شود. به دلیل این که مخازن از نظر وسعت و تعداد تجهیزات با یکدیگر یکسان نیستند از درصد و نسبت وقوع استفاده می‌شود. برای حوادث انشعاب تعداد حوادث بر انشعابات کل مخزن تقسیم شده و به صورت درصد نمایش می‌شود. برای شبکه تعداد حوادث شبکه بر طول شبکه تقسیم شده و به صورت نسبت رخداد بر حسب متر از ارائه می‌شود. خرابی‌های شیر خط و آتش‌نشانی زمینی نیز بعد از تقسیم بر تعداد کل آن تجهیز در مخزن به صورت درصد نمایش داده می‌شود. برای استخراج اطلاعات از نرم‌افزارهای ۱۲۲ و تیمار استفاده می‌شود. در گام اول نسبت به استخراج گزارش حوادث یک ساله (با احتمال این که وضعیت آب و هوایی بر تعداد و نوع حوادث تأثیرگذار است) اقدام شده و به همین منظور بازه مناسب برای گزارشات یک دوره چهار فصل در نظر گرفته می‌شود. بعد از محاسبه حوادث، نمودار مربوط به شاخص‌ها ترسیم شده و مخزن ۹۴ با دارا بودن شرایط ذیل به عنوان محدوده مورد مطالعه این تحقیق در نظر گرفته می‌شود:

- بیشترین درصد حوادث انشعابات نسبت به سایر مخازن؛

جدول ۱- ترتیب اقدامات روش تحقیق

ردیف	اقدامات انجام شده در روش تحقیق
۱	بررسی حوادث براساس شاخص‌ها به تفکیک مخزن
۲	انتخاب محدوده مورد مطالعه و شناخت آن
۳	ایجاد مدل در نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات GIS
۴	صحت‌سنجی برای مدل هیدرولیکی ایجاد شده در WaterGems

جدول ۲- لوله‌های شبکه تحت پوشش مخزن ۹۴ به تفکیک اقطار

نوع و جنس لوله	طول (متر)	نوع و جنس لوله	طول (متر)
AC100	۱۲۱۷	DI400	۱۵۷۳
CU1	۱۱	DI500	۸۳۴
CU2	۲	DI60	۱۶۱
DI100	۱۹۸۸	DI80	۳۰۷۵
DI150	۵۲۰۶	PE110	۱۱۲۲۷
DI200	۳۴۲۷	PE63	۴۱۱
DI250	۴۰۸۶	PE90	۶۰۱۵
DI300	۲۰۰۷	RC1250	۲۵۴
DI350	۶۴۸	ST1200	۲۴۳
طول کل لوله‌ها (متر)		۴۲۸۲۴	

۲-۳- ایجاد مدل در نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات GIS
با ثبت اطلاعات در نرم‌افزار ArcGIS شامل کنترور مشترکین، تجهیزات، حوادث‌ها، خروجی‌های بازدید مانور، می‌توان از این

مجموعه اطلاعات استفاده و بهره‌برداری کرد. برای مدل‌سازی باید لایه داده‌های مکانی و توصیفی در قالب Shapefile در نرم‌افزار GIS موجود باشد. لایه‌های مورد نیاز شامل محدوده مخزن،

اجرا نمود. بعد از ایجاد مدل در نرم افزار بارگذاری اطلاعات مربوط به خطوط لوله، شیرهای قطع وصل، شیرهای فشارشکن کدهای ارتفاعی و اطلاعات مشترکین تکمیل و اجرا می شود. با اجرای برنامه و مشاهده مدل سازی هیدرولیکی محدوده مخزن ۹۴ می توان عمده ضعف این محدوده را فشار هیدرولیکی بالای شبکه تا ۸/۵ اتمسفر و در واقع توزیع نامناسب فشار هیدرولیکی در سطح شبکه توزیع دانست.

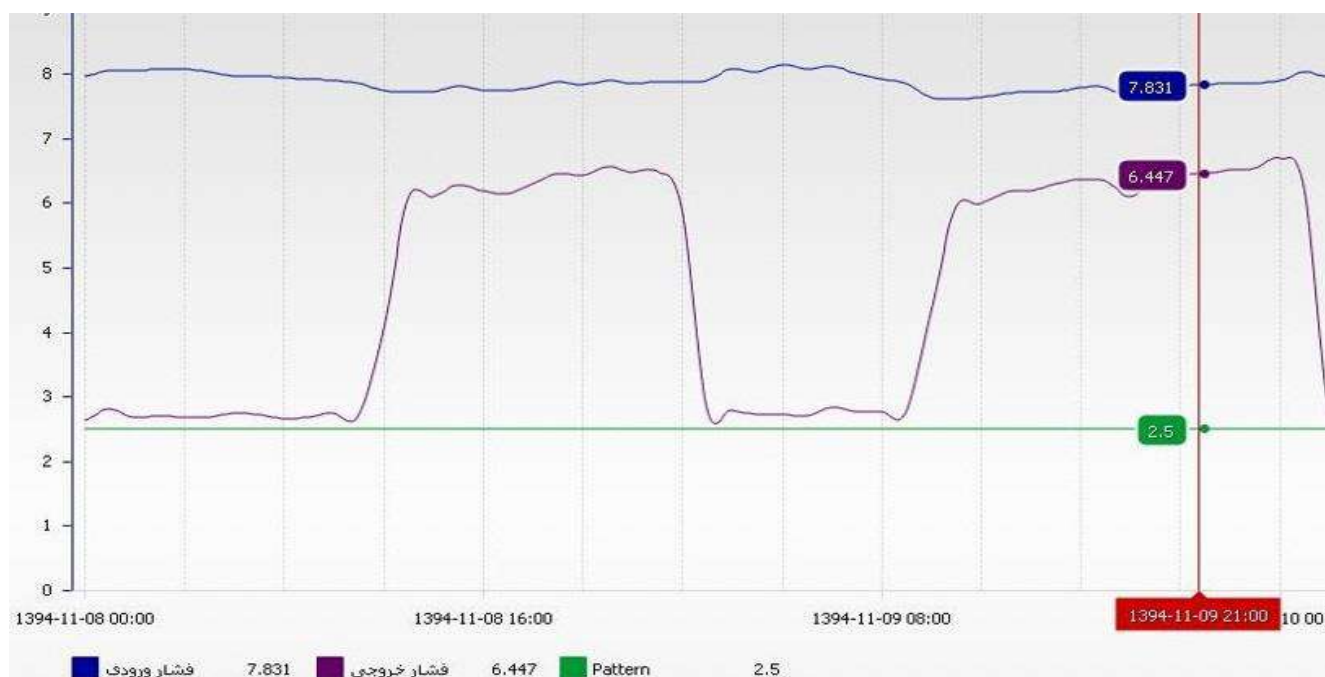
۲-۴- صحت سنجی برای مدل هیدرولیکی ایجاد شده در WaterGems

باتوجه به استقرار سیستم اسکادا برای کنترل و پایش شیرهای فشارشکن (از دیتاها و رکوردهای ثبت شده شیر فشارشکن محدوده مورد مطالعه استفاده می شود (شکل ۱). در سیستم اسکادا با نصب تجهیزات ابزار دقیق، فشار ورودی و خروجی شیر فشار شکن را به صورت برخط نمایش داده می شود (جدول ۳).

لوله ها، اشتراک ها و شیرها است. نرم افزار WaterGems یک نرم افزار کارآمد برای طراحی شبکه توزیع آب شهری است که با استفاده از آن می توان شبکه را به صورت شماتیک یا دارای مقیاس ایجاد نمود. این نرم افزار با قابلیت پشتیبانی نرم افزار اطلاعات جغرافیایی ArcGIS از توانایی انجام و انتقال نتایج حاصل از محاسبات جغرافیایی برخوردار است. این نرم افزار برای شبیه سازی هیدرولیکی و طراحی خطوط انتقال و شبکه های آب شهری بسیار کاربردی است و امروزه تمامی موارد مذکور توسط این نرم افزار طراحی می شود. از مزایای این نرم افزار می توان به سینک (Sync) شدن آن با نرم افزار ArcGIS و AutoCAD، مدیریت و مدل سازی هم زمان شبکه های آبرسانی شهری نام برد. ترکیب دو نرم افزار WaterGems و GIS ابزار مناسبی برای این مدل سازی ایجاد می کند. قابلیت های بانک اطلاعاتی GIS و از طرف دیگر توانایی های بی نظیر WaterGems در ارائه پارامترهای هیدرولیکی این امکان را ایجاد می نماید که قبل از هر تغییری در شبکه نمونه، آن را مدل سازی و پس از کسب نتیجه مطلوب، طرح را در شبکه

جدول ۳- فشارهای ثبت شده برای فشارشکن نروزی

بازه زمانی	۱۲-۶	۱۸-۱۲	۲۴-۱۸	۲۴-۶
میانگین فشار (متر)	۸/۱	۸/۳	۷/۹	۸/۵



شکل ۱- نرم افزار SCADA

فشارشکن به وسیله مدل هیدرولیکی محاسبه شده و نتایج آن با داده های موجود میدانی مقایسه می شود. با توجه به این که

برای اطمینان از صحت اجرا و محاسبه مدل هیدرولیکی، صحت سنجی انجام می شود. برای این منظور فشار شبکه و شیر

محدوده مخزن ۹۴ تنها دارای یک شیر فشارشکن است در جدول ۴ فشار ورودی نوری با فشار این تجهیز در مدل مقایسه می‌شود. برای صحت فشار نمایش داده شده توسط لاگرها این فشار با عملیات فشارسنجی توسط مانومتر فشاری صحت‌سنجی و کالیبره می‌شود.

جدول ۴- کالیبراسیون فشارشکن نشوه- نوری

فشار محاسبه شده (مدل سازی)	فشار اندازه گیری شده (لاگر)
(متر)	(متر)
۸/۵	۸/۴

با مشاهده اختلاف ناچیز در استفاده از مانومترهای روغنی (غیر دیجیتالی) کمتر از ۰/۵ اتمسفر بین فشارهای ثبت شده از بازدید میدانی و فشار لاگر موجود بر روی فشارشکن نشوه- نوری می‌توان از کالیبره بودن مدل اطمینان حاصل کرد. پس از صحت‌سنجی مدل هیدرولیکی، نتایج مدل ارائه می‌شود. سپس براساس یافته‌های مدل سازی و تحلیل شبکه، برای بهبود، اصلاح و بهینه‌سازی شبکه توزیع راه‌کارهایی بیان می‌شود. از نرم‌افزار WaterGems در مدل سازی شبکه و تعیین نواحی با فشار بالا بهره جسته و سناریوی استقرار شیر PRV فشارشکن برای مدیریت و کنترل فشار و افزایش لایه‌های هم‌فشار انجام می‌شود.

۳- یافته‌ها

در بررسی مدل هیدرولیکی ایجاد شده توسط نرم‌افزار می‌توان نقاط ضعف فعلی شبکه توزیع محدوده مخزن ۹۴ را به شرح ذیل عنوان کرد:

- عدم تعادل فشار در شبکه توزیع (فشار بیشتر از استاندارد)؛
- سرعت بالای جریان در بعضی از لوله‌ها (عدم سرعت اقتصادی)؛
- اتمام عمر مفید لوله و کیفیت نامطلوب لوله‌ها و خطوط ضعیف شبکه.

می‌توان گفت با توجه به ارتباط مستقیم تعداد حوادث با فشار موجود در شبکه، مدیریت فشار باعث کاهش تعداد شکستگی در لوله‌ها و انشعابات به میزان قابل توجهی می‌شود. بسیار واضح است که مصرف با افزایش فشار آب در شبکه توزیع افزایش خواهد داشت. محدوده تحت پوشش مخزن ۹۴ دارای ۲ لایه فشاری تنها با ۱ عدد شیرفشارشکن در محدوده خود است که لایه دوم عملاً بدون کاربرد بوده و در واقع می‌توان آن را لایه انتظار در نظر گرفت. لایه اول یا اصلی با رنگ قرمز و لایه دوم یا لایه فرعی با رنگ آبی

ارائه شده است. به دلیل وجود داشتن تنها یک عدد شیرفشارشکن و دو لایه فشاری، در واقع لایه اول از خروجی مخزن در شبکه فشار بالا حدود ۸/۵ اتمسفر که خیلی بیشتر از حد استاندارد است، وجود دارد. در شهر تهران معمولاً فاصله لایه‌های فشاری ۳۵ متر است، یعنی از نقطه رهایی (خروجی فشارشکن) با ۲ اتمسفر و ۳۵ متر فاصله، دامنه فشاری بین ۲ تا ۵/۵ اتمسفر خواهد بود. کاهش دامنه خطوط هم‌فشار در شبکه توزیع در کنار پیاده‌سازی تجهیزات کنترل هوشمند شبکه‌های دفنی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های روز علوم آبی بهترین راه‌حل برای کاهش حوادث و هدررفت آب شبکه است. در محدوده مخزن ۹۴ با ارتفاع ۱۵۵۰ تا فشارشکن نشوه- نوری در ارتفاع ۱۴۶۱ متر، حدوداً دامنه فشاری ۸/۹ اتمسفری وجود دارد. این فشار غیراستاندارد موجب اعمال خستگی به شبکه، ایجاد نقاط بحرانی، افزایش تعداد حوادث، نشت و هدررفت آب خواهد شد. در صورت مدیریت بهینه فشاری در لایه‌های که دارای محدوده فشاری بین ۳ تا ۸ اتمسفر و یا بیشتر هستند می‌توان کاهش مصرف و حوادث را متصور شد. برای افزایش لایه هم‌فشار محاسبه پارامترهای فشار و سرعت در طراحی بسیار حائز اهمیت است.

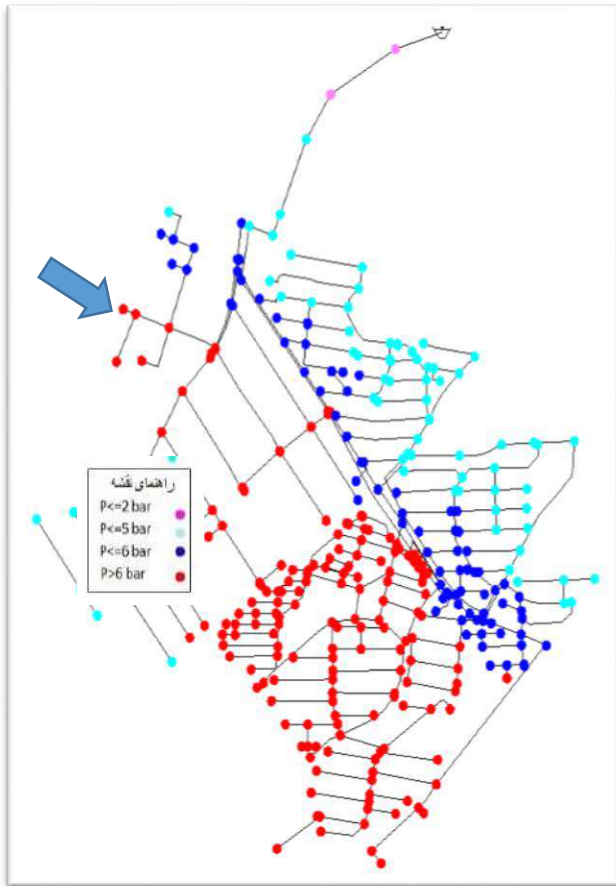
۳-۱- بررسی نقاط کم فشار و پر فشار مدل موجود

فشار استاندارد بر اساس نشریه ۳-۱۱۷ در شبکه آب شهری بین ۲/۴ تا ۵ اتمسفر است که میزان حداکثر فشار در شهر تهران به دلیل توپوگرافی ۶ اتمسفر در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین فشار ورودی برای ساختمان‌های ۴ طبقه ۲/۶ اتمسفر است. نقاط کم‌فشار در زمان حداکثر مصرف و نقاط پرفشار در زمان حداقل مصرف در شبکه با واحد بهره‌برداری ناحیه ۳ آب و فاضلاب منطقه ۲ تهران کنترل و کالیبره شدند. پس از بررسی خروجی مخزن ۹۴ و به‌دست آوردن الگوی روزانه مصرف، ساعت ۲۱ به‌عنوان زمان حداکثر مصرف مشخص شد. در این ساعت از ۳۲۴ گره شبکه تنها در ۱٪ گره‌ها فشار از ۲ اتمسفر پایین‌تر است. بنابراین کمبود فشار آب در سطح شبکه وجود نخواهد داشت. این گره‌ها در شکل ۲ با رنگ صورتی مشخص شده‌اند. فشارهای بالا در شبکه باید در زمان حداقل مصرف ساعت ۵ صبح بررسی شود. فشار در این ساعت در شکل ۳ آورده شده است. در این محدوده حدود ۵۳٪ از گره‌های شبکه فشار بالاتر از ۶ اتمسفر دارند که با رنگ قرمز مشخص است.

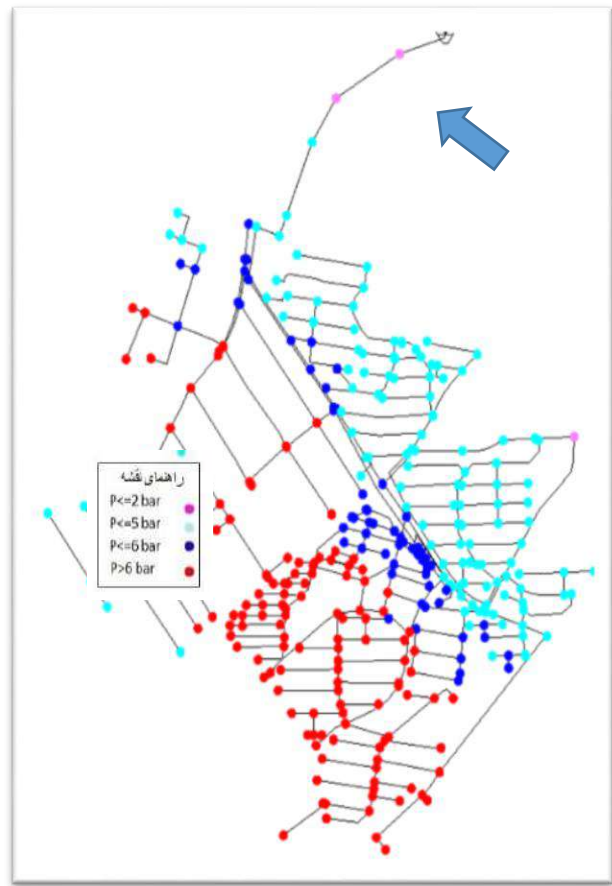
با توجه به وضعیت موجود نیاز است با اعمال لایه فشاری به کمک شیر فشارشکن (جدول ۵) و شیر حد در مکان‌های مناسب این مشکل برطرف شود. با توجه به هزینه‌های ساخت و احداث

بیشترین بازدهی و ایده‌آل‌ترین تعدیل فشار را داشته باشد. با نصب شیرهای فشارشکن (شکل ۴) لایه جدید فشاری ایجاد می‌شود که زون‌بندی فشاری شبکه نیز به صورت (شکل ۵) تغییر می‌یابد.

اتاقچه شیرهای فشارشکن و مجوزهای لازم (راهنمایی و شهرداری) این تعداد شیر در مدل به روش سعی و خطا به گونه‌ای طراحی شده که با کمترین تعداد تجهیز، برای کاهش هزینه‌ها



شکل ۳- فشار گره‌ها در ساعات حداقل مصرف



شکل ۴- فشار گره‌ها در ساعات حداکثر مصرف

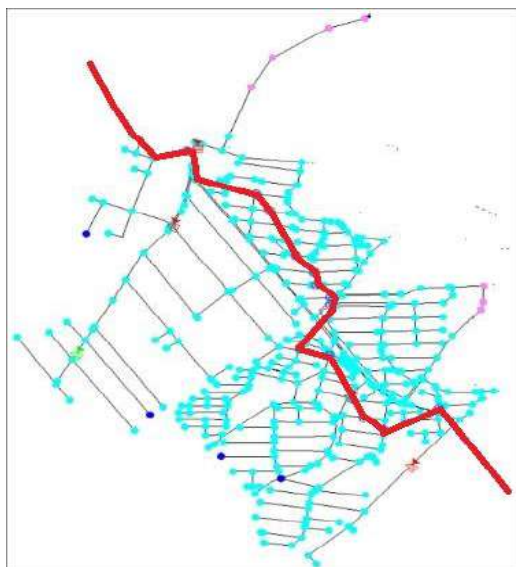
(آشفته، ۱۳۷۰). با توجه به این که در مخزن ۹۴ لوله‌های شبکه تا قطر ۵۰۰ میلی‌متر است، پس برای این محدوده سرعت تا ۱/۶ متر بر ثانیه قابل قبول است. سرعت در زمان حداکثر مصرف در وضعیت موجود بالاتر از ۱/۶ متر بر ثانیه نیست. در نتیجه نقاط بحرانی که موجب فرسایش شبکه شود وجود ندارد.

۲-۳- سرعت جریان در وضعیت موجود

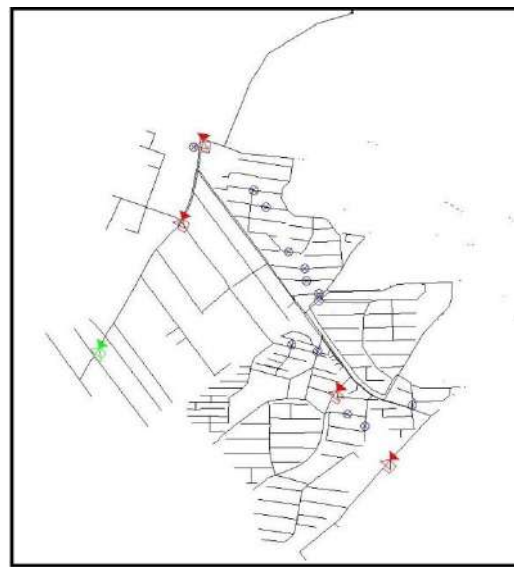
طبق استاندارد سرعت در محدوده ۰/۳ تا ۲ متر بر ثانیه است (نشریه ۳-۱۱۷). به‌طور معمول در شبکه برای لوله‌ای تا قطر ۵۰۰ میلی‌متر سرعت بین ۰/۸ تا ۱/۲ متر بر ثانیه و برای اقطار بالای ۵۰۰ میلی‌متر سرعت ۱/۲ الی ۱/۷ متر بر ثانیه مطلوب است

جدول ۵- فشارشکن‌های طراحی شده

ردیف	آدرس	وضعیت	تراز ارتفاعی (m)	قطر (mm)	دبی (L/s)	فشار تنظیم شده خروجی (m)
۱	خیابان نشوه مابین کوچه‌های نیلی و نوین	موجود	۱/۴۶۱	۲۰۰	۱۳/۹۹	۲۷
۲	خیابان لشکرک. پایین تر از کوچه بانک سپه	پیشنهادی	۱/۴۸۵	۱۵۰	۲۹/۴۶۳	۲۷
۳	خیابان نور مابین کوچه‌های نهالستان یکم و دوم	پیشنهادی	۱/۴۸۵	۱۵۰	۳۳/۵۲۴	۲۷
۴	خیابان نشوه مابین کوچه‌های مقدس و شیرازی	پیشنهادی	۱/۴۸۵	۲۰۰	۴۷/۹۷۸	۲۷
۵	تقاطع بلوار بهار و خیابان نشوه	پیشنهادی	۱/۵۰۱	۳۰۰	۱۳۰/۴۸۴	۲۹



شکل ۵- ایجاد زون‌بندی جدید



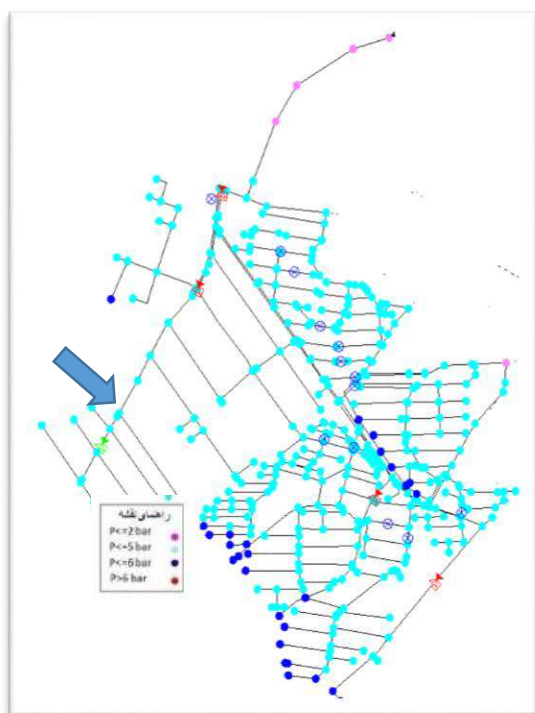
شکل ۴- نقاط نصب فشارشکن‌های پیشنهادی

۳-۳- وضعیت فشار در طرح پیشنهادی

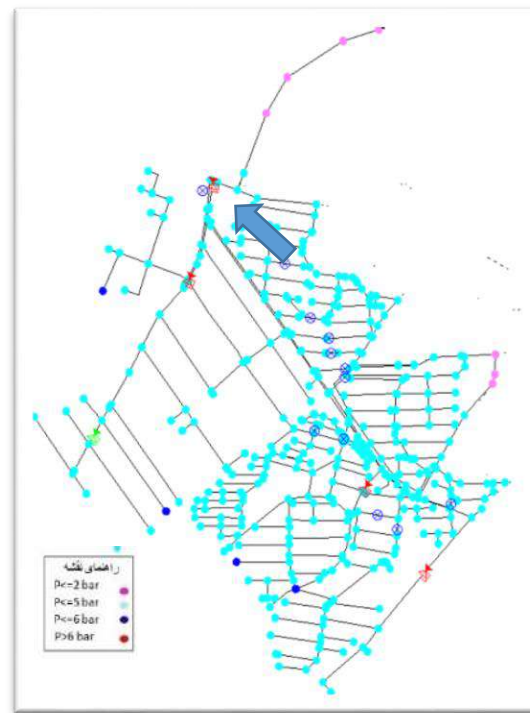
بعد از تغییرات اعمال شده برای فشارهای پایین (شکل ۶) در زمان حداکثر مصرف به همان میزان کمتر از ۱٪ باقی ماند که نسبت به قبل از افزایش لایه فشاری تغییر نکرده و نهایتاً نارضایتی مشترکین وجود ندارد. البته این نقاط در حال حاضر فاقد مشترک است و با توجه به این که خروجی مخزن فاقد نقطه رهایی است، این کمبود فشار منطقی است و برای حل این مشکل نیز راه‌کاری

مطرح می‌شود. سایر گره‌ها نیز از فشار مناسب و متعادل به نسبت وضعیت مشابه در زمان حداکثر مصرف قبل از تغییرات پیشنهادی برخوردار هستند.

با افزایش لایه هم‌فشار به کمک شیر فشارشکن در محدوده شبکه توزیع مخزن ۹۴ و مطابق با شکل ۷ در زمان حداقل مصرف برای گره‌های انتهایی دامنه که در وضعیت فعلی فشار غیراستاندارد داشتند دیگر فشار بالای ۶ اتمسفر (غیر استاندارد) در شبکه دیده نشد که این مطلب از اهداف این تحقیق است.



شکل ۸- وضعیت فشار گره‌ها در زمان حداقل مصرف



شکل ۷- وضعیت فشار گره‌ها در زمان حداکثر مصرف

۳-۴- وضعیت سرعت در طرح پیشنهادی

با توجه به افزایش لایه فشاری مطابق وضعیت مدل، سرعت در زمان حداکثر مصرف در وضعیت پیشنهادی بالاتر از $1/6$ متر بر ثانیه نیست. یعنی با افزایش لایه نقاط بحرانی به وجود نیامد. همچنین با مقایسه سرعت در قبل و بعد از اجرای طرح در مدل مشاهده می شود تعداد خطوط نزدیک به سرعت ایده آل یا اقتصادی بیشتر از وضعیت موجود است.

۳-۵- بازسازی

با توجه به این که این محدوده در گذشته دارای کاربری های غیرمسکونی و عمدتاً کارخانجات صنعتی بوده است، با تبدیل این اراضی به مجتمع های مسکونی و تغییر به منطقه مسکونی در قالب بازسازی های سالانه برای کیفیت آب و کاهش رسوبات و تغییر شبکه از لوله های پلی اتیلن کارگاهی به چدن داکتیل می توان اصلاح و بازسازی را با مدیریت زمان و کاهش هزینه انجام داد. این اصلاح و بازسازی را می توان در قالب بازسازی هایی که براساس سن و فرسودگی شبکه به صورت سالانه انجام می شود انجام داد. با تحلیل مدل سازی هیدرولیکی و مشاهده شبکه بعضی از نقاط به دلیل فرسودگی لوله، عدم رعایت قطر مناسب در اجرا، سرعت غیر استاندارد که منجر به فرسودگی شبکه و رخداد حوادث می شود، احتیاج به بازسازی دارند. طبق بررسی های به عمل آمده بعضی از لوله ها به دلایل مختلف هم چون فشار در گره ها، سرعت آب، جنس و سن لوله ها نیاز به اصلاح و بازسازی دارند. برآورد بازسازی برای این محدوده حدود ۱۹ کیلومتر است که براساس افق طرح ۱۴۲۰ در نظر گرفته شده و می توان بعد از اجرای طرح در سال های بعد اقدام به بازسازی و توسعه شبکه مطابق با تعهدات سالانه شرکت نمود. با توجه به این که پس از پیاده سازی طرح مورد نظر تعداد گره هایی که فشار کمتر از ۲ اتمسفر دارند همان مقدار ۱٪ وضعیت موجود بود، می توان برای رفع این کاهش فشار برای چشم انداز آینده با توجه به افزایش تعداد و مصرف مشترکین این نقاط در فاز اصلاح و بازسازی اتصال از مخزن های مجاور برای تأمین افت فشار بسیار اندک را در نظر گرفت. البته این اتصال علاوه بر تأمین فشار برای لایه ابتدایی بعد از مخزن و شیر فشارشکن مزایای دیگری هم خواهد داشت که مربوط به مدیریت فشار نیست و نتایج پدافندی خواهد داشت.

۴- نتیجه گیری

با توجه به این که براساس مشاهدات و آزمایش های به عمل آمده

با هر ۱۴ متر افزایش فشار در شبکه میزان مصرف تا ۳۰ درصد افزایش می یابد (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۰) پس می توان گفت با کاهش فشار نیز مصرف کاهش می یابد. با توجه به ارتباط مستقیم تعداد حوادث شبکه با فشار موجود در شبکه مدیریت فشار باعث کاهش تعداد حوادث و شکستگی در لوله ها و انشعابات به میزان قابل توجهی می شود. با کاهش دامنه فشاری و برقراری تعادل فشار در شبکه به وسیله ایجاد لایه فشاری و نصب شیرهای کنترلی می توان نقاط پر ریسک شبکه را کاهش داد. کاهش نقاط پر ریسک، کاهش حوادث، کاهش نشت و آب بدون درآمد و به دنبال آن افزایش درآمد و رضایت مندی مدیران و ایجاد شبکه با قابلیت اطمینان بالا برای بهره برداران را در پی خواهد داشت. با اعمال لایه فشاری جدید در مدل سازی هیدرولیکی مشاهده شد که در زمان حداکثر مصرف فشارهای پایین با قبل از اعمال زون بندی تغییری نکرده و همان ۱٪ است. در نتیجه اجرای این طرح برای مشترکین ناراضیتی را به دنبال نخواهد داشت. قبل از اجرای طرح پیشنهادی ۵۳٪ از گره ها فشار بالای ۶ اتمسفر را نشان می داد، بعد از پیاده سازی و اجرای مدل هیدرولیکی مشاهده شد در زمان حداقل مصرف که انتظار فشار بالا در شبکه وجود دارد، عملاً فشار غیراستاندارد بالای ۶ اتمسفر وجود نخواهد داشت. انجام طراحی های شبکه با هزینه های بسیار سنگین به صورت تجربی و آزمون خطاکاری بیهوده و پرهزینه است. مدل سازی هیدرولیکی این امکان را می دهد تا قبل از انجام طرح با مدل سازی در نمونه کوچکتر و بدون هزینه از نتایج و دستاوردهای طرح با توجه به هزینه ها و سختی های طرح اطمینان حاصل شود. با مشاهده افزایش لایه فشاری در مدل سازی هیدرولیکی می توان نتیجه گرفت مدیریت فشار می تواند بسیار در کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات تأثیرگذار باشد. با طراحی یک شبکه متعادل، کارآمد، کاهش حوادث در نتیجه کاهش هزینه در قراردادهای امداد را به دنبال دارد. با کاهش نشت و هدررفت آب کاهش هزینه های نشتیابی و افزایش فروش آب ها حاصل می شود. هزینه های نگهداری و تعمیرات شبکه و بازسازی قبل از اتمام دوره طرح هزینه بسیاری را به شرکت آبفا تحمیل خواهد کرد. این هزینه ها سالانه و به صورت مستمر متناسب با رشد نرخ تورم افزایش قیمت اتصالات، افزایش هزینه های نیروی انسانی، افزایش هزینه های ماشین آلات در حال افزایش است. با طراحی اصولی و علمی و بررسی نتایج در کنار اجرای صحیح و مناسب طرح می توان هزینه های گزاف شبکه توزیع در قسمت بهره برداری و نگهداری و تعمیرات را تا حد بسیار زیادی کاهش و عمر شبکه را افزایش داد.

۵- مراجع

- آشفته، ج.، (۱۳۷۰)، طراحی شبکه آبرسانی، انتشارات حسینیان، چاپ سوم.
- تابش، م.، و واسطی، م.، (۱۳۸۶)، "کاهش میزان نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری از طریق حداقل نمودن فشار اضافی در شبکه"، *مجله تحقیقات آب/ایران*، ۲(۲)، ۵۳-۶۶.
- جهانگیر، م.، بارانی، غ.، و جهانگیر، ج.، (۱۳۹۰)، "بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی با مدیریت هوشمند فشار و کاهش نشت در محیط WaterGems (مطالعه موردی مجتمع آبرسانی دو حصاران خراسان جنوبی)"، *کنفرانس بین المللی آب و فاضلاب*، تهران، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، "ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی"، نشریه ۳-۱۱۷ بازنگری اول، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، تهران، ایران.
- Latchoomun, R.T.F., King, A., Busawon, K.K., and Ginoux, J.M., (2020), "Harmonic oscillator tank: A new method for leakage and energy reduction in a water distribution network with pressure driven demand", *Energy*, 201, 117657.
- Saldarriag, J., and Andrés Salcedo, C., (2015), "Determination of optimal location and settings of pressure reducing valves in water distribution networks for minimizing water losses", *Procedia Engineering*, 119, 973-983.
- Wright, R, Parpas, P., and Stoianov, I., (2015), "Experimental investigation of resilience and pressure management in water distribution Networks", *Procedia Engineering*, 119, 643-652.



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



جناب آقای مهندس نیک نام

معاون محترم منابع انسانی شرکت آب و فاضلاب استان فارس
و نماینده انجمن آب و فاضلاب ایران

شرکت‌های آب و فاضلاب پیش‌بینی شده است. با توجه به گستردگی حوزه خدمات در استان فارس و نیز محدودیت‌های تامین منابع آبی و مالی که در تمامی شهرها و روستاهای استان وجود دارد به نظر می‌رسد که اگر ساختار شرکت در استان فارس هم به یک شکل واحد و متمرکزی برسد با توجه به هم‌افزایی حاصل از آن، توان خدمات‌رسانی در کل استان نیز افزایش خواهد یافت.

* نقاط قوت و ضعف ارایه خدمات در شرکت آب و فاضلاب استان فارس را بیان کنید.

- شرکت یکپارچه آب و فاضلاب استان فارس که ترکیبی از شرکت‌های شهری و روستائی سابق فارس است دارای پتانسیل‌ها، تجربیات و توانمندی‌های فراوانی است که از تجمیع دانش کاری و حرفه‌ای نیروهای مجرب و ماهر در هر دو شرکت و در طول چند دهه فعالیت حاصل شده است. بدون تردید این تجربیات گران‌بها و وجود منابع انسانی مجرب و توانمند در مجموعه، بالاترین سرمایه و نقطه قوت شرکت آب و فاضلاب فارس است. راهبری و ارایه خدمات در سطحی قابل قبول به مردم شریف شهرها و روستاهای استان گسترده فارس با وجود مشکلات و چالش‌های موجود، گواهی بر این مدعا است. برخی از مهم‌ترین چالش‌های شرکت نیز عبارتند از ناپایداری و کمبود منابع آب به دلیل تداوم خشکسالی و برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب استان، تأثیرات منفی کمی و کیفی برداشت‌های بی‌رویه آب در بخش کشاورزی بر منابع شرب و بروز برخی تقابل‌های جدی میان منافع بخش کشاورزی و شرب (عدم وجود فرهنگ بهینه‌سازی مصرف در کاربری‌های کشاورزی و شرب)، کمبود شدید نقدینگی و منابع مالی به دلیل عدم دریافت قیمت تمام‌شده خدمات آب و فاضلاب در استان، فرسودگی بخش قابل توجهی از تاسیسات آب استان، پایین بودن نرخ برخورداری از خدمات دفع بهداشتی فاضلاب در استان، تهدید کمی و کیفی چاه‌های آب شرب و حریم آن‌ها، تأخیر در به بهره‌برداری رسیدن طرح‌های آب و فاضلاب به دلیل کمبود اعتبارات، گستردگی زیاد استان و جدا بودن مرکز استان از شرکت، عدم تخصیص و واریز به موقع اعتبارات عمرانی، بهره‌برداری از دو خط بزرگ آبرسانی با لحاظ این موضوع که در اکثر استان‌ها خطوط بزرگ توسط سازمان‌های آب منطقه‌ای اداره می‌شود و این خطوط، فاقد انشعابات صنعتی (درآمدزا) برای شرکت هستند. مهم‌ترین چالش کاری بر مأموریت اصلی یا رسالت بخش آب و فاضلاب متمرکز است. یعنی تامین و توزیع آب با کیفیت مناسب و جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب به گونه‌ای که سیستم به‌هنگام، فراگیر، مطمئن و از نظر مالی پایدار باشد. به عبارت دیگر چالش اساسی، هدف اصلی حوزه آب و فاضلاب است که همان تامین و توزیع آب با کیفیت مناسب و جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب با حداقل هزینه تمام شده است. در چنین شرایطی و برای تداوم موفقیت در ارایه خدمات بهینه آب و فاضلاب مستلزم به‌کارگیری مواردی است؛ از جمله ارتقای دانش و مهارت‌های فردی و جمعی، ارتقای توان علمی و عملیاتی و جذب نیروهای متخصص و کارآمد، ایجاد و توسعه نگرش سیستمی به سازمان، اشاعه فرهنگ اصلاح الگوی مصرف آب در مشترکین استان، افزایش

* لطفا ضمن معرفی مختصر شرکت آب و فاضلاب استان فارس

یک معرفی اجمالی از خود نیز ارائه فرمایید.

- به نام خدا. استان فارس با مساحتی در حدود ۱۲۲'۶۰۸ کیلومترمربع، چهارمین استان بزرگ و با جمعیتی نزدیک به ۵ میلیون نفر برطبق سرشماری سال ۱۳۹۵، چهارمین استان پرجمعیت ایران به‌شمار می‌رود. مساحت استان شامل ۳۵ درصد دشت و ۶۵ درصد ارتفاعات است. براساس تقسیمات کشوری، استان فارس به ۳۶ شهرستان، ۱۱۲ شهر، ۸۹ بخش و ۲۰۵ دهستان تقسیم شده است. از نظر ترکیب جمعیتی نیز، نزدیک ۷۰ درصد استان در ۱۱۲ نقطه شهری و ۳۰ درصد جمعیت در ۴۲۳۰ آبادی ساکن هستند. نتایج حاصل از طرح آمارگیری نیروی کار در سال ۱۳۹۵ حاکی از مشارکت اقتصادی ۴۰/۳ درصدی و نرخ بیکاری حدود ۱۳/۶ درصدی در استان است. در سال ۱۳۹۲ استان فارس از نظر تولید ناخالص ملی (GDP) در رتبه ۵ کشور قرار داشته است. در حال حاضر ۱۱۲ شهر و ۲۴۰۰ روستای فارس با جمعیتی بالغ بر ۳/۲ میلیون نفر تحت پوشش خدمات‌رسانی مستقیم شرکت آب و فاضلاب استان قرار دارند.

این جانب نیز با تحصیلات فوق لیسانس مهندسی آب و فاضلاب افتخار خدمت به مدت ۲۵ سال در صنعت را دارم. در حوزه های کارشناسی و نظارتی فنی و بهره برداری و نیز در جایگاه‌های مدیریتی شهرستان و ستاد شرکت کار کرده‌ام. به مدت حدود ۴ سال به عنوان معاون برنامه‌ریزی و منابع انسانی و از ابتدای سال ۱۳۹۹ نیز در جایگاه معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت هستم. کارشناس رسمی دادگستری، عضو و نماینده انجمن آب و فاضلاب ایران، عضو انجمن متخصصین صنعت آب و فاضلاب کشور و ... نیز هستم.

* نکته تمایز شرکت آب و فاضلاب استان فارس با توجه به جدایی شهر مرکز استان، نسبت به دیگر شرکت‌های آب و فاضلاب چیست؟

- در حال حاضر فقط در چند استان، ساختار ارایه خدمات در شرکت‌های آب و فاضلاب به گونه‌ای است که شهرهای مرکز استان از شرکت استانی جدا هستند و این نیز به لحاظ تبصره‌ای است که در قانون تشکیل

برون‌سپاری و بهره‌وری بیشتر خدمات مورد بازنگری قرار گیرد.

* با توجه به بحران آب در استان فارس برای تامین درازمدت آب و نیز اقدامات مدیریت مصرف آب شرکت شما چه برنامه‌هایی دارد؟

- استان فارس در دهه‌های اخیر همواره در رتبه‌های بالای مواجه با پدیده خشکسالی و کمبود آب بوده است و به تناسب نیز توسط حوزه‌های مرتبط، برنامه‌ها و اقدامات متناسبی برای مقابله با چالش‌های بحران آب اتخاذ شده است. با این وجود این شرکت نیز در حال تدوین برنامه جامع تامین آب شرب برای کل استان است که در قالب سه برنامه کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت تدوین می‌شود. فرآیند و سازوکار این برنامه تعریف شده و کار آغاز شده است. ضمن این‌که تنش آبی در فصل گرما همراه با مشکلات ناشی از افزایش مصرف متعاقب وقوع بیماری کرونا، وقت و انرژی زیادی را برای تامین آب شهروندان استان طلب می‌کند.

در حوزه مهم و تاثیرگذار مدیریت مصرف آب نیز برنامه‌ها باید در دو قالب سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تدارک دیده شوند. ضمن این‌که نقش رسانه‌ها و وسایل ارتباط جمعی در افزایش آگاهی‌بخشی و فرهنگ‌سازی مدیریت مصرف در جامعه باید برجسته‌تر شود، هم‌زمان به‌منظور اثربخشی و انگیزه‌بخشی بیشتر به مشترکین، واقعی‌تر شدن تعرفه‌های خدمات آب و فاضلاب برای کاهش میان قیمت تمام‌شده و عرضه خدمات نیز در دستورکار تصمیم‌گیران کشور قرارگیرد. مدیریت فشار و ارایه وسایل و تجهیزات کاهنده مصرف همراه با فعالیت‌های فرهنگی و ترویجی برای نهادینه‌سازی فرهنگ مصرفی مناسب آب از اولویت‌های این شرکت در فارس خواهد بود. تنوع قومیتی، فرهنگی، اقلیمی و مذهبی در استان فارس بسیار زیاد است، به‌طوری‌که موفقیت هرگونه برنامه اجتماعی و مشارکتی بدون لحاظ نمودن پیش‌شرط‌ها و پیش‌نیازهای این تفاوت‌ها بعید می‌نماید. یکی از راه‌کارهای بسیار تاثیرگذار در برنامه‌های بهینه‌سازی مصرف آب، ایجاد شناخت و مطالعات کافی اجتماعی، فرهنگی، قومیتی و مذهبی در استان است که بتوان با توجه به شاخص‌ها و شرایط موجود برای هر منطقه از استان، برنامه‌های آموزشی و انگیزشی برای بهینه‌سازی مصارف آبی تدارک و اجرا نمود. به‌عبارت دیگر دخیل نمودن فاکتورهای اجتماعی و جامعه‌شناختی لازم برای مدیریت بحران آب موجود از ضروریات امر است. چرا که اتکای صرف بر مسایل فنی و سازه‌ای، ناکارآمدی و غیراثربخشی خود را در دهه‌های اخیر نشان داده است. نکته دیگر، پیشبرد برنامه‌های اجتماعی برای نهادینه‌سازی و فرهنگ‌سازی سازگاری بیشتر با کم‌آبی در تمامی بخش‌های مصرف آب در استان است که باید مورد توجه و اهتمام جدی قرارگیرد.

* برخورداری از سامانه‌های دفع بهداشتی فاضلاب در استان فارس چگونه است و در بهره‌برداری شبکه‌ها و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، استفاده از پساب و مدیریت لجن تصفیه‌خانه‌ها با چه

بهره‌وری، شفاف‌سازی، بهینه‌سازی و سرعت همراه با دقت در عملکردها و برنامه‌های عملیاتی، تسریع در خصوصی‌سازی، برون‌سپاری و اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی برخی از مهم‌ترین راه‌کارهای برون رفت از این چالش‌های موجود هستند. از نگاهی دیگر ناپایداری و کمبود منابع آب به‌دلیل تداوم خشکسالی و بحران‌های ناشی از آن، تاثیر منفی برداشت بی‌رویه از منابع آب در بخش کشاورزی، کمبود شدید نقدینگی و منابع مالی به‌دلیل عدم دریافت قیمت تمام شده و تاثیر آن در روند ارایه خدمات، تهدید کمی و کیفی چاه‌های آب شرب و حریم آن‌ها، فرسودگی بخش قابل‌توجهی از تاسیسات آب و هدررفت قابل‌توجهی از منابع آب و ساماندهی منابع انسانی بخش روستائی در ساختار جدید از دیگر چالش‌های مهم شرکت است.

* با توجه به یکپارچگی شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی، نقاط ضعف و قوت این اقدام را بیان کنید.

- یکپارچگی خدمات آب و فاضلاب در قالب یک ساختار واحد استانی از مهم‌ترین دغدغه‌های یک دهه اخیر مدیران شرکت مهندسی و وزارت نیرو بوده است که با فراهم آوردن تمهیداتی از ابتدای سال اجرایی شد. جلوگیری از موازی کاری و کاهش هزینه‌ها، تمرکززدائی و توزیع خدمات آب و فاضلاب مناسب به تمامی آحاد جامعه شهری و روستائی کشور، تمرکز در تصمیم‌گیری و مدیریت منابع مالی و آبی و ... از مهم‌ترین اهداف فرایند یکپارچه‌سازی شرکت‌ها بوده است. از طرفی به‌دلیل این که شرکت‌های شهری و روستائی با دو ماهیت غیردولتی و دولتی فعالیت می‌کردند، یکپارچگی آن‌ها نیز با مشکلات و چالش‌هایی روبرو بوده است. از جمله تامین منابع مالی جدید با توجه به افزوده شدن خدمات در بخش روستائی با لحاظ کاهش اعتبارات عمرانی و ناپایداری اقتصادی موجود، نحوه جانمایی منابع انسانی، استقرار نظام اشتغال جدید کارکنان و توزیع پست‌های سازمانی در ساختار جدید از مهم‌ترین چالش‌های این مبحث هستند. در این حوزه‌ها با همکاری و هم‌افزایی مناسب در شرکت یکپارچه آب و فاضلاب فارس، اقدامات و برنامه‌ریزی‌های متناسبی انجام شده و یا در حال انجام است، با این حال با توجه به فاصله زیاد به‌وجود آمده میان درآمدها و هزینه‌های شرکت که بخش عمده آن نیز مرتبط با این یکپارچگی است و برای پایداری خدمات مطلوب به‌خصوص در حوزه روستائی باید اعتبارات عمرانی بیشتری برای شرکت تخصیص یابد.

* نظر خود را در رابطه با ساختار جدید شرکت‌های آب و فاضلاب و نقاط ضعف و قوت آن بیان کنید.

- ساختار جدید شرکت‌های یکپارچه با توجه به تراکم نیروهای موجود، منطقی و برای این دوره استقرار جدید ارایه شده است و مختص به این دوره انتقالی است. بدون تردید بعد از طی شدن این دوره انتقالی، این ساختار نیز نیازمند بازنگری است و باید در ساختار جدید، کلان‌نگری‌های لازم برای ایجاد شرکت‌های آب و فاضلاب دانش‌بنیان و با نگاه به ماهیت بنگاه‌داری شرکت‌ها و بهینه‌سازی فرایندهای

چالش‌هایی روبرو هستید؟

- استان فارس از نظر شاخص برخورداری از سامانه‌های دفع بهداشتی فاضلاب در وضعیت مناسبی نیست. درحالی‌که نرخ برخورداری استان فارس حدود ۱۲ درصد مشترکین در این شاخص است اما میانگین کشوری این شاخص بسیار بالاتر است. در یک دهه اخیر، فعالیت‌های خوبی برای توسعه سامانه‌های بهداشتی فاضلاب در شهرهای استان انجام شده است، به‌طوری‌که هم اکنون در ۱۳ شهر استان پروژه‌های فاضلاب در حال اجرا هستند و برخی نیز به بهره‌برداری رسیده‌اند. هم اکنون ۶ شهر استان نیز با تسهیلات بانک توسعه اسلامی در حال اجرای سامانه‌های دفع بهداشتی فاضلاب هستند که در صورت به بهره‌برداری رسیدن این طرح‌های در حال اجرا، نرخ برخورداری این شاخص در استان به حدود ۳۰ درصد خواهد رسید. ضمن این‌که مطالعات سامانه‌های دفع بهداشتی فاضلاب برای جذب سرمایه‌گذار برای برخی از شهرهای استان نیز تدوین شده است. در بخش روستائی استان نیز پوشش شبکه‌های فاضلاب پایین بوده و نیازمند یک برنامه‌ریزی راهبردی برای توسعه این محور است. در مجموع فقط در چند شهر محدود استان، شبکه‌ها و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حال بهره‌برداری هستند. برنامه‌هایی نیز برای واگذاری پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرهای در حال بهره‌برداری در حال پیگیری است که از طریق سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی، پساب و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهرهای مرودشت، اقلید و چند شهر دیگر واگذار شود.

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

- تشکیل انجمن آب و فاضلاب ایران همان‌طور که در اهداف وجودی این نهاد هم آمده است کاملاً ضروری بوده و می‌تواند نقش موثری در فعالیت‌های صنعت آب و فاضلاب کشور ایفا نماید. با توجه به توسعه روزافزون جمعیت و ضرورت دسترسی به منابع آب سالم و دفع بهداشتی فاضلاب و استفاده مجدد از پساب، علوم مرتبط با آب و فاضلاب گسترش زیادی یافته است. دانشگاه‌های ایران نیز گام‌های بلندی در توسعه کمی و کیفی این دانش در بخش‌های آموزش و پژوهش و توسعه فناوری برداشته‌اند. از طرف دیگر، نیازهای عملی این بخش از سوی شرکت‌های آب و فاضلاب تامین می‌شود که به‌دلیل کمبودهای مالی و تکنولوژیک دچار کاستی‌هایی است. به‌همین دلیل وجود یک نهاد علمی که بتواند ارتباط ارگانیک و منطقی بین توسعه این علم در دانشگاه‌ها و نیازهای عملی این بخش را برقرار کند، ضروری می‌نماید. بنده نیز امیدوارم انجمن آب و فاضلاب ایران بتواند نقش حیاتی خویش را در تحقق اهداف وجودی‌اش ایفا نماید.

* با توجه به امضای تفاهم‌نامه همکاری شرکت آب و فاضلاب استان فارس و انجمن آب و فاضلاب ایران در سال گذشته، نحوه ارتباط آن شرکت با انجمن آب و فاضلاب چگونه است و دو طرف چه کمکی می‌توانند به هم بکنند.

- از اهداف این توافق‌نامه، ایجاد همکاری‌های علمی و پژوهشی و استفاده از ظرفیت‌های طرفین برای توانمندسازی منابع انسانی و نیز توسعه ظرفیت‌های کاربردی و آموزشی است. نمونه بارز این همکاری نیز، پشتیبانی، حمایت و همکاری شرکت آب و فاضلاب استان با انجمن و دانشگاه شیراز برای برپایی سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب است که در آذرماه سال ۱۳۹۹ در شیراز برگزار شد. با توجه به مشکلات و مسایل عدیده در صنعت آب و فاضلاب استان، امیدواریم در آینده نیز بتوانیم از ظرفیت‌های خوب انجمن بیشتر بهره ببریم.

* شرکت آب و فاضلاب استان فارس چه ارتباط ارگانیکی با دانشگاه‌ها داشته است؟ چه قدر توانسته برای دانشگاه مسئله تعریف کند و چقدر از تحقیقات دانشگاهی را برای رفع مشکلات خود به کار گرفته است؟ چه قدر آب و فاضلاب فارس توانسته داده‌های مورد نیاز طرح‌های تحقیقاتی دانشگاهی را تامین کند؟

- نگاه شرکت آب و فاضلاب استان فارس در حوزه طرح‌های تحقیقاتی، معطوف به رویکرد حل مسئله در شرکت است. یعنی با توجه به محدودیت‌های تامین منابع مالی در شرکت، اولویت‌گذاری طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی باید منجر به حل مسائل اساسی در حوزه آب و فاضلاب استان باشد. امیدواریم که دانشگاه نیز بتواند با به‌کارگیری ظرفیت‌های خود یاری‌رسان ما باشد. بدین منظور در کمیته تحقیقات شرکت، مسایل و چالش‌های اساسی که در سطح استان وجود دارند، ارزیابی و اولویت‌بندی شده و سپس برای هرکدام با توجه به منابع و ضرورت‌های موجود، طرح موضوع و تصمیم‌گیری می‌شود. شرکت آب و فاضلاب استان فارس همواره رابطه خوبی با دانشگاه‌ها و موسسات علمی و پژوهشی داشته است. عضویت دائمی دو عضو محترم هیئت علمی دانشگاهی در کمیته تحقیقات شرکت، امضای تفاهم‌نامه‌های همکاری با انجمن آب و فاضلاب ایران، دانشگاه شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی و پارک علم و فناوری استان نمونه‌هایی از این همکاری ارگانیک و فعال با نهادهای علمی و دانشگاهی است.



نشست تخصصی: سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور (سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، ۵ آذرماه ۱۳۹۹، دانشگاه شیراز)

اعضای میزگرد:

- دکتر محمدعلی بقاپور (استاد دانشگاه علوم پزشکی شیراز)
- دکتر نعمت‌اله جعفرزاده حقیقی‌فرد (استاد دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز)
- دکتر امیرحسین محوی (استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران)
- خانم دکتر سیمین ناصری (استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران)

محورها:

سرنوشت و منشأ ویروس‌ها با تأکید بر کرونا ویروس در سامانه‌های آب و فاضلاب، چگونگی و احتمال انتقال و مواجهه، تحقیقات انجام شده در زمینه سامانه‌های آب و فاضلاب و ویروس کرونا، بیماری کووید ۱۹.

می‌شوند، توسط دستگاه‌های مولکولی می‌توانند این‌ها را جمع‌آوری و ردیابی کنند. بنابراین ما چندجور ویروس داریم که می‌توانیم از ویروس‌های nonenvelope صحبت کنیم که این‌ها آدنا ویروس‌ها، اینتر ویروس‌ها، پلی ویروس‌ها، هستند. یک‌سری ویروس‌هایی را داریم که این‌ها envelope هستند، مانند کرونا ویروس‌ها. بنابراین یک تفاوت کلی بین این‌ها هست. پس رفتارشان می‌تواند متفاوت باشند. ماندگاری envelope ویروس‌ها در آب و فاضلاب متفاوت است با ماندگاری nonenvelope ویروس‌هایی که از آن‌ها اسم بردیم. در مطالعه‌ای که انجام شده نشان داده که دو سوم افراد مبتلا می‌توانند عملاً این ویروس‌ها را از خودشان دفع کنند.

در حال حاضر شناخت ویروس عملاً پیدا کردنش قدری مشکل به نظر می‌آید. جز RNA خودش به تنهایی قابل شناسایی نیست و نمی‌تواند به راحتی مشاهده‌اش کرد. لذا از طریق تست‌هایی که انجام می‌شود و این RNA را می‌چسبانند به فیلتر و اتصالش می‌دهند به یک مواد شیمیایی از طریق واکنش الکترواستاتیکی می‌توانند این‌ها را ردیابی و شمارش کنند. در ارتباط با اهدافی که ما می‌توانیم برای ردیابی RNA ویروس کرونا در فاضلاب انجام دهیم، چندین هدف می‌تواند مدنظر باشد. امکان دارد شما بخواهید بدانید که آیا خود ویروس آن‌جا وجود دارد یا ندارد، حرکت و زمان حضور ویروس در فاضلاب عملاً در چنین مسیرهای کوتاهی بسیار قابل ردیابی است. یا امکان دارد با توجه به شمارش RNA بخواهیم روند این ویروس را ردیابی کنیم که آیا این‌ها در فاضلاب نسبت به روزهای گذشته افزایش پیدا کرده یا زیاد شده. این خودش می‌تواند تا حدودی یک نتایجی را و برداشت‌هایی را نسبت به این بیماری در جامعه بدهد. البته باید بگویم که یک ارتباطی بین تعداد و غلظت RNA و جمعیت مبتلا به این ترتیب می‌توانیم تعمیم بدهیم که هست. عفونت‌زایی افراد متفاوت است



دکتر امیرحسین محوی:

در ابتدا لازم می‌دانم که قدردانی کنم و دست‌بوس کلیه دست‌اندرکاران جامعه بهداشت و درمان و مدافعین سلامت باشم. در این روزها که لباس سفید پوشیدند که ما لباس سیاه بر تن نکنیم. بحث دفع کرونا ویروس است توسط افراد و با توجه به این شکلی که این‌جا می‌بینید و خلاصه‌سازی شده از دفع مدفوع و ادرار شروع شود و یا این به صورت مستقیم به منابع آبی طبیعی ما دفع شود و یا از طریق سامانه‌های تصفیه فاضلاب و فرایندهای مختلفی که در این رابطه وجود دارد تغییراتی در آن ایجاد شود و پساب آن وارد حوضه‌های آبی ما شود و یا از طریق لجنی که تصفیه‌پذیری را به دنبال خواهد داشت سرنوشتی را برای کرونا ویروس رقم بزند در محیط‌ها.

شما می‌دانید که ردیابی پاتوژن‌ها از سال‌های ۱۹۴۰ فراگیر شده. افرادی که بیمار بودند مشخص شد که از طریق مدفوع خود عوامل بیماری‌زا پاتوژن را می‌توانند دفع کنند و وارد فاضلاب‌ها و وارد شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه فاضلاب بشوند و الان تقریباً می‌شود این‌جوری گفت که دو سوم افرادی که مبتلا به کووید ۲ سارس بودند، عامل ویروسی را می‌توانستند توسط مدفوع خود دفع کنند و عملاً در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب امکان ردیابی این ویروس‌ها و این اجزای ویروسی فراهم شد. به‌خاطر این‌که ویروس‌ها شکسته می‌شوند و به اجزای ریزتر تبدیل

و امکان دارد که در برخی موارد یک فرد حدود ۱۰۰ کپی از یک ژنوم را عملاً در هر گرم از مدفوع خودش بتواند خارج کند و امکان دارد فرد دیگری حدود ۱۰۰ میلیون کپی از ژنوم خودش را در هر گرم از مدفوع خارج کند. بنابراین هنوز به آن کرولیشن که بتواند عملاً ورود پیدا کند که بخواهند بگویند که بر اساس غلظت RNA چه تعداد از افراد در یک جامعه می‌توانند بیمار باشند، نرسیده‌اند ولی این که در اجتماع افراد مبتلا وجود دارند، بنابراین مشخص هستند. باید بگوییم که به‌نظر نمی‌آید که گسترش ویروس کرونا از طریق آب یک مسیر غالب و فراگیری بخواهد باشد. پس یک مسیری روتینی نخواهد بود و تا الان یک هم‌چنین چیزی به این نحو گزارش نشده است.

معمولاً ویروس‌ها به‌خصوص از کرونا ویروس بخواهیم صحبت کنیم، وقتی از طریق مدفوع انسان دفع می‌شوند، عمدتاً این‌ها غیرفعال می‌شوند و به‌نظر نمی‌رسد که بتوانیم قبول داشته باشیم که فاضلاب‌ها می‌توانند باعث آلودگی افراد جامعه بشوند و در مواردی مانند کارکنان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌تواند محتمل باشد، برای این که این آلودگی وجود داشته باشد. لذا اگر پسابی یا فاضلابی از یک تصفیه‌خانه بخواهد دفع شود به یک رودخانه‌ای و اجتماعی در پایین‌دست آن تصفیه‌خانه وجود داشته باشد، نباید نگرانی آن‌چنانی ما نسبت به بروز آلودگی داشته باشیم. از آن گذشته باز در این گزارشات مشخص شده که عملاً کرونا ویروس از این که یک مسیری را در یک شبکه فاضلاب طی می‌کند و بعد به تصفیه‌خانه می‌رسد، بخواهد عفونت‌زایی و فعال‌بودن خودش را در تمام ویروس‌ها به‌طور کامل داشته باشد. از آن‌جا که در فرایندهای فاضلاب، فرایندها و حوضچه‌های مختلف را داشته باشیم، این‌ها می‌توانند به‌تدریج با توجه به ماندگاری که در تصفیه‌خانه فاضلاب دارند، به تدریج این عفونت‌زایی‌شان کاهش پیدا کند و در حوضچه‌های ته‌نشینی می‌تواند امکان رسوب پیش بیاید و در آخر با توجه به گندزدایی که اتفاق می‌افتد این غیرفعال شدنشان بسیار با درصد بالایی واقع شود.

امکان دارد که افراد مبتلا به ویروس کرونا عملاً با این که بیمار هستند ولی هیچ ویروسی را عملاً از طریق مدفوع خودشان دفع نکنند و نمی‌شود با اندازه‌گیری یک‌چنین اجزایی و عدم مشاهده آن‌ها در فاضلاب بخواهیم بگوییم که آن اجتماع به کرونا مبتلا نیست و بنابراین ما باید این را توجه کنیم که همه افراد مبتلا این امکان را ندارند که ویروس را از مدفوع یا ادرار خودشان دفع کنند و هیچ گزارشی تا الان ارائه نشده که ابتلا فردی به ویروس کرونا از طریق مدفوع یا فاضلاب صورت گرفته باشد. برخی از محققین وجود داشته‌اند که ویروس عفونت‌زا کرونا را در فاضلاب عملاً پیدا

نکردند. بنابراین تعداد خیلی زیادی مطالعه انجام شده که بعضی‌ها جنبه‌های مثبت در این قضیه دیده‌اند و بعضی‌ها جنبه‌های منفی را گزارش کرده‌اند. در برخی از مطالعات هم عملاً وجود ویروس کرونا را در مدفوع گزارش کردند و در متنتشان نبود. ببینید بحث فرق می‌کند که آیا شما نمونه‌برداری مستقیم از مدفوع می‌کنید و تازه است و تازه از بدن فرد دفع شده یا این که بروید و از فاضلاب نمونه بردارید که یک مسیر طولانی را در شبکه طی کرده و یک‌سری شرایطی را به‌لحاظ بحث فاضلاب دنبال کرده یا رقیق‌سازی‌های خیلی زیادی براساس میزان مصرف جریان آب اتفاق افتاده باشد. این‌ها همه مواردی است که عملاً بعضی‌ها توانستند این را ردیابی کنند و عده‌ای نتوانستند.

در بعضی گزارشات گفته‌اند که ۴۰٪ از مبتلایان به کرونا ویروس در آن‌ها ویروس فعال در مدفوعشان مشاهده کردند. برخی از مبتلایان هم تعداد بسیار بیشتری از ویروس یا قطعات ژنوم را در مدفوعشان داشته‌اند. امکان دارد که این افراد علائم بیماری داشته باشند یا نداشته باشند.

اما در ارتباط با کارکنان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب این مخاطرات و این ریسک‌ها مطمئناً افزایش پیدا می‌کند و نباید هیچ تماس مستقیم دهانی یا تنفسی از فاضلاب به لحاظ وجود اسپری‌ها و بخاراتی که امکان دارد از سطوح فاضلاب بلند شود، بتواند کارکنان را در معرض قرار دهد. این می‌تواند احتمال را افزایش بدهد. حتماً رعایت پروتکل‌ها و شیوه‌نامه‌های بهداشتی و رعایت مسائل ایمنی برای کارکنان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بسیار شدیدتر خواهد بود و حتماً باید بسیار توجه کرد که کرونا ویروس در فاضلاب و یا آب بیانگر آلوده بودن آب و یا فاضلاب نمی‌تواند باشد. شما می‌دانید این قطعات به‌هیچ وجه عفونت‌زا نیستند. بنابراین وقتی این شکسته می‌شود و به اجزای ریزتر تبدیل می‌شود، نمی‌تواند عامل بیماری‌زا برای ما به‌حساب بیاید.

در برخی از مطالعاتی که انجام شده، مثلاً در هلند از ۳۰۰ تصفیه‌خانه فاضلاب نمونه‌برداری و به یک مرکز آزمایشگاهی اصلی ارسال می‌شود و در آن‌جا RNA را اندازه‌گیری می‌کنند و با توجه به آزمایشاتی که به‌صورت دوره‌ای صورت می‌گیرد، روند افزایش یا کاهش این ابتلا را دارند بررسی می‌کنند. نمی‌توانیم از طریق مشاهده ویروس یا قطعات آن به افراد مبتلا به کرونا را عملاً ردیابی کنیم و بگوییم مثلاً ما این‌را به‌صورت رو به بالا در شبکه پیگیری کنیم و بنابراین بتوانیم به آن فرد برسیم. نه. امکان این که شما از این بخواهید به یک فرد برسید نیست ولی اگر شبکه ما اجزایی داشته باشد و خطوطی که به آن وصل می‌شود را ما در آن‌جا ردیابی کنیم و این‌را به‌دست آوریم، می‌توانیم مشخص کنیم که

مثلا این منطقه آلودگی بیشتر است و به خاطر این که در فاضلاب این را مشاهده کردیم که از آن خط لوله وارد خط لوله اصلی شده است.

ردیابی سارس کووید ۲ در فاضلاب به عنوان نشانگر کرونا ویروس کووید ۱۹ می تواند قلمداد شود و عملاً چنین ردیابی هایی و آزمایشاتی مستقل از هرگونه اقدام سازمان های بهداشتی و یا آزمایشات بالینی است. این ها هیچ نمی تواند ارتباطی به هم داشته باشد که این یکی بخواهد از آن یکی برداشتی را داشته باشد.

جامعه ای که مبتلا به کرونا ویروس باشد، احتمالاً ردیابی ویروس در فاضلاب نمی تواند فراهم شود. به خاطر این که مشخص نیست چه تعداد از این ویروس ها یا ژنوم ها از فرد دفع شده و یا این که عملاً با توجه به آن حجم زیاد مصرف آب و تولید فاضلاب شاید چنین غلظتی را نداشته باشد و نتوانیم ردیابی (جهت یابی) کنیم. پس نمی توان گفت اگر آزمایشات ما منفی باشد، حتماً جامعه به کرونا مبتلا نیست.

دستگاه های PCR معمولاً برای چنین کاری انجام می شود و با توجه به شمارش RNA کرونا ویروس می توانند این کار را انجام دهند که دستگاه های دیجیتال PCR وجود دارد و دستگاه های افزایش قطعات ویروس در فاضلاب زودتر از افزایش ابتلا افراد به ویروس کرونا که حتی دارای آزمایش مثبت ویروس هستند فراهم بشود. این به خاطر حضور ویروس کرونا در مدفوع افراد مبتلا قبل از بروز علائم بیماری است و نمی توانیم رابطه ای بین تعداد ویروس ها و یا قطعات آن ها در فاضلاب و تعداد افراد مبتلا برقرار کنیم.

ذرات ویروس کرونا در فاضلاب ممکن است بر روی مواد معلق نشسته و قرار بگیرند. روی مواد قابل ته نشینی نشستند و این امکان فراهم هست که با تجمع این ها و وزن سنگین ترشان بتوانند به راحتی ته نشین شوند. شاید بتوانیم بگوییم که تا الان بیش از ۳۰ تحقیق راجع به کرونا ویروس و زنده ماندنشان در آن شرایط فاضلاب است و در بدترین شرایط فاضلاب ایا امکان زنده ماندنشان می تواند باشد.

نکته دیگر این است که امکان حذفشان در تصفیه خانه های فاضلاب وجود دارد. آقای گوندی این جوری گفتند که پس از ۲ تا ۳ روز ۹۹/۹٪ از کرونا ویروس ها در فاضلاب می توانند از بین بروند که البته وانگ هم تقریباً به هم چنین نتیجه ای در ۲۰ درجه سلسیوس رسیده. وقتی ما می گوییم حدود ۹۹/۹٪ می توانند غیرفعال شوند، بنابراین این نمی تواند مخاطره آمیز باشد بحث فاضلاب برای ما برای ابتلا ی انسانی. حالا نمی گوییم صفر ولی به هر حال این با توجه به کاهش بالایی که دارد این موارد خیلی

تسهیل می شود. در یک فاضلابی که پاستوریزه هم نشده باشد شاید یک چیزی حدود ۱۳-۱۴ ساعت طول بکشد که ۹۰٪ غیرفعال شوند و این گزارشات عملاً به این ترتیب ارائه شده. در یک گزارش دیگری عملاً بعد از ۷ تا ۹ روز توانستند به ۹۹٪ حذف از کرونا ویروس ها در طی ۲۵ درجه سلسیوس برسند. باز اکثر مطالعات صحبت از ۲ روز غیرفعال شدنشان در ۲۰ درجه سلسیوس می گویند. اما عواملی که می تواند دخالت کند در این رابطه، خصوصیات است که از آن ها بخواهیم بگوییم و این envelope ها عملاً ماندگاری کمتری دارند. به خاطر این که فعالیت های آنزیمی پروتولیتیک و دترجنت هایی که روی هیبریت های خارجی این ویروس هستند می تواند باعث شود که این ویروس از بین برود. از آن گذشته یک RNA که به این ترتیب است از یک ویروس به دست می آید، خیلی شکننده تر می تواند باشد.

خصوصیات فاضلاب (غلظت، بحث های کیفی، فیزیکی، شیمیایی) می تواند در این قضیه عملاً دخالت کند و در بعضی از این ها می بینید که تا 4Log این کاهش توانسته اتفاق بیفتد. در مناطق گرمسیری این می تواند کمتر باشد. pH هم باز به این ترتیب می تواند دخالت کند. تغییرات pH اسیدی می تواند مخاطره آمیز باشد برای ویروس ها و pH های خیلی بالا و PH های خیلی پایین. pH اسیدی عملاً تخریب RNA را می تواند داشته باشد.

در آن شرایط محیطی و کیفیت فاضلاب و pH فاضلاب و دمای فاضلاب و خصوصیات مختلف فاضلاب به لحاظ رقیق یا غلیظ بودن عملاً می تواند در این قضیه بیاید و دخالت کند. اما اگر ما به هر حال تصفیه خانه های فاضلابی داشته باشیم مثل Activated Sludge Process با توجه به مسائلی که به لحاظ فرایندی و ته نشینی گفتیم می تواند حذف را بهتر انجام بدهد و عملاً کمک می تواند بکند و غیرفعال کردن ویروس را داشته باشد. کلرنزی یا UV می تواند ویروس ما را بسیار غیرفعال کند و تاثیر خودش را بر پروتئین ها و اسید نوکلئیک عملاً بگذارد.

اما همان طور که گفتم کارکنان تصفیه خانه های فاضلاب باید بسیار به این قضیه توجه کنند و از لحاظ تماس یا تنفس و دهانی و غیره متوجه باشند که به این فاضلاب تماس پیدا نکنند. در این جا منابعی هم هست که می توانید کامل تر استفاده کنید.

دکتر محمدعلی بقاپور:

به نام خدا. سلام عرض می کنم خدمت کلیه عزیزان و خیرمقدم دارم خدمت کلیه شرکت کنندگان عزیز در سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. با موضوع تحقیقات صورت گرفته در

سامانه‌های آب و فاضلاب در خصوص بیماری کووید ۱۹ تحقیقاتی را انجام دادیم که خدمتتان ارائه می‌دهم. همان‌طور که عزیزان اطلاع دارند فاضلاب شهری ترکیبی است از فاضلاب بهداشتی و ما می‌توانیم سیستمی هم داشته باشیم برای جمع‌آوری پساب تولید شده در شهرها که آن را تحت عنوان Wastewater می‌شناسیم. مزایای استفاده از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب استاندارد به‌همراه تصفیه‌خانه فاضلاب می‌تواند به‌شرح زیر باشد: کاهش پتانسیل آلودگی خاک، جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌خصوص سفره‌های کم‌عمق، جلوگیری از آلودگی منابع سطحی آب، ارتقای سطح سلامت عمومی، بازچرخش بخشی از آب و استفاده مجدد از آن در مصارف عمومی و غیر شرب و نهایتاً استحصال انرژی و به‌دست آوردن ترکیبات بهبوددهنده خاک حاصل از هضم لجن ناشی از تصفیه فاضلاب شهری.

مجدداً در کنار مزایای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب می‌توانیم به گوشه‌ای از مخاطرات ناشی از شبکه‌های معیوب جمع‌آوری فاضلاب هم اشاره کنیم:

مشکلات سازه‌ای در هنگام اجرا و یا بهره‌برداری و مشکلات هیدرولیکی در اثر اجرا یا بهره‌برداری ناصحیح، حوادثی نظیر زلزله، نشست و رانش زمین می‌توانند سبب آسیب دیدن شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب بشوند و آن‌ها را به منبع بالقوه و یا بالفعل برای انتقال آلودگی تبدیل کنند. راه‌یابی فاضلاب خام به منابع آب شرب پدیده‌ای که آن را تحت عنوان کراس کانکشن می‌شناسیم یکی از مهم‌ترین دلایل بروز اپیدمی‌های ناشی از آب آلوده هستند. باتوجه به احداث شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب در برخی از شهرهای بزرگ کشورمان سال‌های زیادی می‌گذرد پایش صحت عملکرد آن‌ها امری بسیار ضروری به‌شمار می‌رود. این‌جا جا دارد که راجع به بیماری‌های نوپدید یا emerging diseases صحبت کنیم. بیماری‌های نوپدید آن دسته از بیماری‌های عفونی هستند که بر بروز آن‌ها طی سه دهه گذشته افزوده شده و در آینده‌ای نزدیک رو به افزایش خواهند گذاشت و خودشان شامل بیماری‌هایی هستند که اخیراً در تمام یا گوشه‌ای از جهان پدیدار شدند یا در مناطقی که قبلاً وجود نداشتند دیده شده. این اصطلاح هم‌چنین به بیماری‌هایی که قبلاً به آسانی درمان می‌شدند ولی اخیراً نسبت به داروهای آنتی‌میکروبیال هم مقاوم شدند اطلاق می‌شود. بیماری‌هایی نظیر HIV، سارس، مرس و حتی هپاتریس تایپ E ازجمله بیماری‌های نوپدید هستند. عزیزان دقت داشته باشیم که در کنار واژه emerging diseases یا بیماری‌های نوپدید واژه‌ای به‌نام re-emerging diseases هم

مصطلح شده. چنان‌چه بخواهیم روی مسئله بیماری کووید ۱۹ تمرکز داشته باشیم لازم به ذکر هست که راه اصلی انتقال ویروس مقرب این بیماری دراپلت‌های تنفسی و تماس مستقیم فرد به فرد هست و لازم است که ویروس از طریق دراپلت‌ها به‌طریقی خودش را به دستگاه تنفسی تحتانی برساند. هر فردی که در تماس نزدیک با یک فرد آلوده است در معرض خطر قرارگرفتن در مقابل این قطرات تنفسی آلوده قرار دارد. قطراتی هم که در واقع در محیط وجود دارند می‌توانند روی سطوحی که حاوی ویروس باشند فرود بیایند و در مجموع سطح آلوده به‌شمار بیاید. بنابراین محیط یک فرد آلوده می‌تواند به‌عنوان یک منبع انتقال در این بیماری موثر باشد. شواهد نشان می‌دهد که خطر انتقال ویروس از طریق استول یا مدفوع فرد آلوده کم هست اما تقریباً در بسیاری از تست‌ها اشاره شده به این قضیه که لازم هست که تحقیقات بیشتری در این خصوص انجام بشود. تقریباً ۲ تا ۲۷ درصد مبتلایان به این بیماری در واقع با علایم بالینی اسهال بیماریشان توأم هست.

در منابع آب آشامیدنی تصفیه شده تا حالا این ویروس دیتکت نشده. منظور از آب تصفیه‌شده آبی است که مراحل انعقاد فیلتراسیون روی آن انجام شده باشد و بعد هم با ماده گندزدایی که در آب رزیجوآل به‌جا بگذارد به‌گونه‌ای که این رزیجوآل بتواند با آلودگی ثانویه مبارزه کند گندزدایی شده باشد. نتایج مطالعات نشان داده که سایر ویروس‌های خانواده کرونا مثل آدنا وایرس‌ها، نورو وایرس‌ها، روتو وایرس‌ها و ویروس هپاتایتیس E در آب در واقع لوله‌کشی شده که کلرزدایی شده باشد دو روز می‌توانند زنده بمانند در فاضلاب بیمارستانی با دمای بیست درجه تا چند روز می‌توانند زندگی کنند. اما وقتی که آب کلرزی می‌شود با غلظت رزیجوآل سه دهم میلی‌گرم بر لیتر در مدت زمان تماس پنج دقیقه در واقع در حدود سه الی چهار لوگ این اکتیویشن ویروس این خانواده را خواهیم داشت. البته مطالعات نشان دادند که تعداد قابل‌توجهی از ویروس‌های کرونا تا دو روز در پساب فاضلاب اولیه در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد تا دو هفته در فاضلاب ته‌نشین شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و حتی تا چهار هفته در آب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌توانند زندگی کنند. دماهای بالاتر، pH های بالا یا پایین و نور خورشید همه می‌توانند در واقع تعداد ویروس را کاهش بدهند. از آنجایی که بیماری کووید ۱۹ تقریباً از اواخر سال ۲۰۱۹ که شکل جدی به خودش گرفت تحقیقاتی هم که در مورد این بیماری در بخش آب و فاضلاب صورت‌گرفته از انتهای سال ۲۰۱۹ شروع می‌شود و در سال ۲۰۲۰ هم که ادامه دارد. اگر بخواهیم به گوشه‌ای از این مطالعات اشاره کنیم می‌توانیم به مطالعه انه بابلر و همکارانشون در سال ۲۰۲۰

دکتر محوی:

البته درست می‌فرمایید. نمی‌شود بین این دو تا ترکیب شیمیایی یکی بودن را در نظر گرفت. این‌ها متفاوت از هم هستند. از این گذشته ویروس‌ها عملاً در وضعیت طبیعی‌شان در بدن انسان همواره زنده هستند و نمی‌تواند pH ای که شما در معده دارید باعث شود که ویروس‌ها و یا باکتری‌ها عملاً از بین بروند و به راحتی می‌توانند که وارد سیستم گوارشی شده و دفع بشوند. حالا این‌که خیابان‌ها و کوچه‌ها و غیره را می‌روند گندزدایی می‌کنند با ترکیبات کلر آن چیزیه که فکر می‌کنم که هیچ‌کدام از مهندسین بهداشت محیط ما چنین گندزدایی معابر و یا مثلاً لاستیک ماشین‌ها و غیره را اصلاً بخواهند در نظر بگیرند. در زمان خودش با توجه به اطلاعات کمی که بود و یا با توجه به این‌که بخواهند اجتماع را در یک آرامشی نگه‌دارند چنین حرکت‌هایی و چنین عملیاتی انجام می‌شد ولی می‌بینید که چندین ماه هست که دیگر چنین اتفاق‌هایی عملاً صورت نمی‌گیرد.

دکتر جعفرزاده:

خیلی ممنون آقای دکتر توضیح بسیار خوبی بود. سوال بعدی که دوستان پرسیدند این هست که به هر حال با توجه به فرمایشات جناب عالی آیا امکان عبور ویروس از مراحل مختلف تصفیه فاضلاب و رسیدنش به لجن یا پساب تصفیه شده و نهایتاً به اراضی کشاورزی وجود دارد؟ و اگر وجود دارد مخاطره‌اش چقدره؟

دکتر محوی:

بینید از آن جایی که ویروس از بدن انسان خارج می‌شود شرایط به گونه‌ای هست که می‌تواند زمان ماندگاریش به تدریج کاهش پیدا کند و تجزیه شود و به قطعات ژنوم تبدیل شود. اما طبق آن نمودار ابسترتی که من به شما نشان دادم ویروس‌ها را توانستم ردیابی کنم در فاضلاب، در تصفیه‌خانه، در پساب و در لجن و حتی این‌ها اندازه‌گیری شده. مشخص است که غلظت این‌ها به تدریج دارد کاهش پیدا می‌کند. بنابراین حتی دیدید ۹۹/۹ درصد کاهش در تعداد این ویروس‌ها ایجاد شده وقتی ویروس به قطعات ریز خودش تبدیل می‌شود مثل RNA و این‌ها هیچ‌کدام دیگر قابل عفونت‌زایی نیستند. فقط خود ویروس زنده این امکان را دارد. تحقیقات هنوز نشان نداده که با چه تعداد از ویروس امکان عفونت‌زایی وجود دارد. شما می‌دانید برای باکتری‌های مختلف برای تک‌یافته‌های مختلف برای تخم انگل‌های مختلف آمدند و تعداد را مشخص کردند که وقتی که در تماس قرار می‌گیرد با چه تعداد امکان ابتلا وجود دارد. ولی هنوز برای کرونا ویروس تعدادی

اشاره کنیم که در واقع تحت عنوان ریسک‌های فاضلاب و مانیتورینگ کووید ۱۹ مطالعه‌ای انجام دادند و نتیجه تحقیقشان نشان داد که ویروس سارس و ویروس‌های خانواده کرونا برای چندین روز در فاضلاب خانگی زنده می‌مانند و می‌توانند خطرات بالقوه‌ای را برای سلامتی داشته باشند. تصفیه فاضلاب به صورت متعارف بدون گندزدایی فقط در واقع جزئی از سارس کرونا وایرس رو حذف می‌کند. بنابراین استفاده مجدد از این فاضلاب حتماً باید با گندزدایی مناسب آن همراه باشد و این امر هم نیاز دارد به چارچوب ارزیابی و مدیریت ریسک که متناسب با انتقال این بیماری است. آقای تامسون و همکاران در سال ۲۰۲۰ هم مطالعه‌ای تحت عنوان مانیتورینگ کرونا وایرس در فاضلاب برای بخش مدیریت سلامت مبتنی بر جمعیت انجام دادند. سوف و همکاران در سال ۲۰۱۹ خصوصیات نورو وایرس و سایر ویروس‌های روده‌ای انسانی رو در نمونه‌های فاضلاب و مدفوع از طریق تعیین توالی ژنی بررسی کردند.

آقای پنچینگ و همکارانشان در سال ۲۰۲۰ نشان دادند که در فضای در واقع محیط تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در جداسازی بیواثرسل‌ها باکتری‌ها و قارچ‌ها به تعداد خیلی زیاد می‌توانند وجود داشته باشد قطعاً ویروس‌ها هم از این قسمت مستثنا نیستند. در مجموع در تمام مطالعاتی که ذکر کردم خدمتتان و در سایر گزارشات از جمله گزارش کارپز و همکاران و بالدوین و همکاران و گزارش Amoah در سال ۲۰۲۰ حضور کرونا وایرس در سیستم جمع‌آوری فاضلاب تایید شد.

دکتر جعفرزاده:

آقای دکتر محوی یکی دو تا سوال هست که مشترکاً همکاران زیادی این سوال را پرسیدند من از همان سوال شروع می‌کنم. فکر می‌کنم یک سوء تفاهمی در صحبت‌های شما گرفتند وگرنه سوال را شاید می‌توانستند به این شکل مطرح نکنند. فرمودند که با توجه به این‌که ویروس در سیستم گوارشی علی‌رغم وجود اسید کلریک عبور می‌کند و شرایط نامناسب هم دارد و باز هم عبور می‌کند پس چرا در معابر از کلر برای گندزدایی استفاده می‌شود؟ بین کلر رادیکال کلر و یونوکلر در اسیدکلریک هست به نظر می‌رسد که خیلی بحث شده ولی اشکال ندارد یک توضیح خلاصه روی این قضیه بفرمایید.



دکتر محوی:

ببینید اولین نکته‌ای که باید بگویم این هست که نگرانی نسبت به این قضیه نباید داشته باشند. به‌خاطر این که مردم در تماس با فاضلاب نیستند. مردم در تماس با پساب فاضلاب نیستند و این افرادی که مثل کارکنان تصفیه‌خانه و یا در پایین‌دست اگر کسانی پساب را برای آبیاری استفاده می‌کنند هست، UV به‌راحتی می‌تواند که این‌ها را بشکند و از بین ببرد. خود کلر می‌تواند این‌ها را از بین ببرد. نقش گندزدایی را عملاً در کاهش ویروس‌ها گفتم که این‌ها را می‌تواند در حد بسیار زیادی کاهش بدهد و آن خاصیت عفونت‌زایی ویروس را عملاً بسیار بسیار کاهش بدهد. مطمئن باشید که نمی‌شود عملاً با این مقادیری از کلر و یا UV یا ازنی که استفاده می‌شود بتوانیم تمام ویروس‌ها را از بین ببریم. اما آن تعدادی که باقی می‌ماند برای عامه مردم یا بالفرض اگر کسانی دارند در آب پایین‌دست تخلیه پساب به داخل رودخانه شنا می‌کنند نگرانی نسبت به این قضیه نداشته باشند. اما احتیاط‌های مربوطه برای کارکنان تصفیه‌خانه‌ها و کشاورزان یک مقدار سخت‌گیرانه‌تر است.

دکتر جعفرزاده:

من از جناب دکتر محوی که با حوصله به همه سوالات پاسخ دادند تشکر می‌کنم. انشالله در جمع‌بندی هم یکی دو مورد که بحث‌های نگرانی‌های عام هست سعی می‌کنیم که بیشتر در موردش صحبت کنیم. ما به بخش پایانی نشست می‌رسیم که در حقیقت دو سه موضوع را باید مطرح کنیم در رابطه با درس آموخته‌ها. سرکار خانم دکتر ناصری در خدمتشان خواهیم بود در رابطه با پیشنهادات اجرایی و مسیر تحقیقات آتی. اگر جناب آقای دکتر بقاپور را داشته باشیم خوشحال می‌شویم که صحبت کنیم و پیشنهادات اجرایی را جناب آقای دکتر بقاپور و مسیر تحقیقات آتی را اگر آقای دکتر محوی محبت کنند و در انتها تشریح نکات کلیدی را خواهیم داشت. دیگه سوالی نیست در خدمت خانوم دکتر ناصری هستیم برای بحث درس آموخته‌ها. اگر اجازه بدهید از سرکار خانم دکتر خواهش کنم که تلفیق کنند بحث درس آموخته‌ها و نکات کلیدی را که در این میزگرد در سخنرانی دو سخنران عزیزمان وجود داشت و اگر نقطه‌نظراتی را هم دارند در اینجا بیان کنند.

خانم دکتر ناصری:

یکی دو مورد را من می‌خواستم اشاره کنم و آن هم این هست که به‌رحال بحث ماندگاری فاضلاب برمی‌گردد به کیفیت فاضلاب

مشخص نشده، ولی می‌دانم برای سیستم‌های تصفیه فاضلاب باعث خواهد شد که ۹۹/۹ درصد از ویروس‌ها غیرفعال بشوند. در سیستم هضم لجن عملاً اگر حتی ما از سیستم‌های غیرهوازی عمدتاً داریم استفاده می‌کنیم با توجه به این که دما بالا می‌رود این درصدهایش بسیار کاهش پیدا می‌کند. ما باید بگوییم که آن نگرانی برای عامه مردم وجود ندارد که بخواهند از طریق ویروس به کرونا مبتلا بشوند. بیشتر ما این حساسیت را به کارکنان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌گوییم که سخت‌گیرانه‌تر این توجه را داشته باشند که پساب و یا لجنی که از تصفیه‌خانه‌ها بخواهد برود و استفاده بشود در زمین‌های کشاورزی مطمئناً با توجه به شرایط خاص با توجه به دمای محیط و تابش نور خورشید شما نخواهید توانست این‌ها را ردیابی کنید روی محصولات کشاورزی.

سوال: فراوانی وجود ویروس مشاهده شده یا نشده؟

دکتر محوی:

ببینید فراوانی این بستگی دارد که در مدفوع فرد مبتلا چه تعداد از این ویروس را دفع کرده باشد. بعضی از افراد ۱۰۰ عدد ویروس دفع کردند، بعضی از افراد ۱۰۰ میلیون ویروس دفع کردند. بنابراین می‌آید در آن جریان مصرفی و آب فاضلاب تولیدی غلظتش کاهش پیدا می‌کند. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عملاً به‌راحتی قابل ته‌نشینی هستند و هیچ رابطه‌ای هنوز مشخص نشده. اما وضعیت محیطی مثل غلظت فاضلاب، کیفیت فاضلاب، pH فاضلاب و دمای فاضلاب عملاً مثل تمامی موارد دیگر می‌آید و تاثیرات خودش را بر سایر موارد دارد. همان هم بر روی ویروس می‌آید مستتر می‌شود و باید توجه کنیم که ویروس حساس‌تر هست نسبت به باکتری‌ها و بنابراین زودتر می‌تواند از بین برود. اما می‌دانیم وقتی pH ما اسیدی باشد تاثیرش را بر روی پروتئین‌ها، بر روی آنزیم‌های خارج سلولی می‌تواند بگذارد و آن‌ها را بشکند و تجزیه کند و از بین ببرد.

سوال: به‌طور کلی ماندگاری ویروس و پایداریش پس از کلرزنی و یا پس از گندزدایی فکر می‌کنید چقدره؟



بنابراین ما الان داریم با کمک دوستان و خود وزارت نیرو هم در سیستم‌های تصفیه فاضلاب که به‌هرحال همکاران دارند زحمت می‌کنند، آقای مهندس اعظم واقفی، خانم دکتر باغبان و بقیه دوستان، آقای مهندس وکیلی و همین‌طور در سیستم‌های شبکه‌های آب هم داریم این را کار می‌کنیم.

دکتر جعفرزاده:

جناب آقای دکتر بقاپور خواهش می‌کنم که در رابطه با بحث پیشنهادات اجرایی در سیستم‌های مدیریت فاضلاب در خدمتتان باشیم و همین‌طور جناب آقای دکتر محوی هم در ادامه پیشنهاداتشان در رابطه با مسیر تحقیقات آبی را مطرح بفرمایند.



دکتر بقاپور:

سلام مجدد عرض می‌کنم. اگر اجازه بدهید یک مقداری اجرایی راجع به این قضیه صحبت بکنیم، به‌خصوص الان که ما اطلاع پیدا کردیم که این ویروس قابلیت ماندگاری در فاضلاب خام را دارد، به‌نظر می‌رسد که یک مقدار روش اجرای شبکه‌های توزیع آب و شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب باید استانداردهای نظام مهندسی را جدی‌تر بگیریم. من توصیه‌ام در بخش اجرا این هست که ما از طریق معاونت بهداشتی وزارت بهداشت پروتکل‌هایی را در خصوص اجرای شبکه‌های فاضلاب به نظام مهندسی ساختمان ارائه بدهیم. از آنجایی که اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب در کشور ما تاریخچه نسبتاً طولانی دارد، لازم هست که شبکه‌ها را مورد پایش قرار بدهیم. بیشترین بخشی که نگرانی ایجاد می‌کند مسئله نشت فاضلاب خام از شبکه‌ها هست و این که این‌ها از طریق اتصالات معیوب ورود پیدا بکنند به منابع آب. همان‌طور که اطلاع دارید آن‌قدر بار آبی فاضلاب خام بالاست که اگر شبکه آب‌رسانی درست اجرا نشده باشد، احتمالاً گسیختگی داشته باشد، به محض قطعی آب آن مکش و فشار منفی که به‌وجود می‌آید قادر هست فاضلاب خام شدیداً آلوده را بکشاند به خودش. این اصل قضیه هست. بنابراین اگر که ما در اجرا یک مقدار استانداردها را بتوانیم که بالاتر ببریم و پایش بیشتری بکنیم چه در بحث جمع‌آوری فاضلاب، چه در بحث انتقالش و بعد در مرحله آخر تصفیه فاضلاب خام با روش مناسب. من فکر می‌کنم که از شیوع

خام. یعنی این که شما چه موادی را در فاضلاب دارید. آیا موادی که در آن هست می‌تواند باعث تکثیر آن ویروس بشود یا این که نه، برعکس می‌تواند ترکیباتی باشد که بتواند آن‌ها را از بین ببرد. بنابراین فاضلاب خام ما معمولاً پیدا می‌کنیم و این نکته اصلی همیشه وجود دارد. یک مسئله‌ای هم که وجود دارد این هست که متأسفانه در بعضی از مناطق دنیا و از جمله در کشور ما فاضلاب خام مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آقای دکتر محوی به‌درستی اشاره کردند که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کسانی که کار می‌کنند و زحمت می‌کشند بیشتر مورد این خطر و ریسک هستند. اما نکته‌ای که وجود دارد این هست که در بعضی از مناطق کشور ما فاضلاب خام هم مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه خود افراد هم در واقع با این فاضلاب می‌توانند که در تماس باشند و ماندگاریشان در خاک، در آب‌های زیرزمینی، در محصولات کشاورزی چیزهایی هست که باید منطقه به منطقه روی آن کار بشود. نکته‌ای که بد نیست من به آن اشاره‌ای بکنم این هست که اولین کاری که ما در ایران انجام دادیم در همان اسفند ماه سال ۱۳۹۸ به محض این که آن دو نفر فوتی از شهر قم اعلام شدند من به ذهنم رسید که وارد این بحث بشویم و تیم تحقیقاتی بسیار قوی را با مشارکت خود شرکت آب و فاضلاب تنظیم کردیم و ما آمدیم سه تا شهر را انتخاب کردیم. شهر تهران به‌دلیل این که پایتخت کشور ما هست و بالاترین جمعیت را دارد و همین‌طور شهر قم به‌دلیل این که دو نفر اولین فوت شدگانی که مطرح شدند از شهر قم بود و استان گیلان در آن زمان بالاترین رتبه کسانی را ما داشتیم که در این زمینه این بیماری را گرفته بودند. بنابراین ما در قم و تهران و بندرانزلی آمدیم وارد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اصلی شدیم و در تمام پساب‌هایش در واقع این مورد RNA را دیدیم و در یکی از این تصفیه‌خانه‌ها در پساب خروجیش هم متأسفانه این مشاهده شد و همین باعث شد ما هدفمان این نبود که داده‌ها را فقط خودمان تولید کنیم، هدفمان به‌صورت اصلی این بود که در کنار وزارت نیرو و شرکت آب و فاضلاب باشیم و کمک بکنیم. به‌هرحال پژوهش‌گران الان باید در کنار مسئولین باشند و همین باعث شد که به پیشنهاد بنده اتفاقات خوبی الان در سرتاسر کشور خودمان بیفتد. به‌هرحال یک برنامه ملی ما الان داریم که باید مناطق اصلی را، تمام تصفیه‌خانه‌ها را باید مورد بررسی قرار بدهیم. یک نکته‌ای هم که وجود دارد در شبکه در واقع پساب فاضلاب خام بعضی وقت‌ها این مشکل وجود دارد که این شبکه ممکن است دچار شکستگی‌هایی شده باشد و بعد این وارد خاک بشود. نزدیک آن یک شبکه سیستم آب داشته باشیم و به آن هم منتقل بشود.

این بیماری حداقل با منبع احتمالی آب و فاضلاب جلوگیری بکنیم. بحث آخرم راجع به گندزدایی مناسب فاضلاب در تصفیه‌خانه بود. در واقع بحث را به دو بخش تقسیم کردیم: یکی شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی هست و یکی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب. در بخش اجرا پیشنهاد بنده این بود که پروتکل‌های مکمل بهداشتی را برای سازمان نظام مهندسی بنویسیم و در واقع بحث پایش مستمر شبکه‌های فاضلاب را به پروتکل‌های بهره‌برداری اضافه بکنیم.

دکتر محوی:

سلام مجدد خدمت شما دارم. خدمت شما عرض کنم که بحث ویروس کرونا شاید یکی دو سال مهمان ما باشد کمتر هم شاید باشد. به نظر نمی‌آید که مهمان چنین ویروسی برای درازمدت باشیم. لذا تحقیقاتی که می‌خواهد راجع به ویروس کرونا انجام بشود باید به صورت کوتاه‌مدت و میان‌مدت عملاً روی سرمایه‌گذاری بکنیم. بحث درازمدتش آن قدر برای ما اهمیتی ندارد. ببینید همان‌طوری که گفتم ویروس برای تکثیر برای زنده ماندن نیازمند به بدن انسان هست. وقتی که از بدن انسان خارج می‌شود این به تدریج ماندگاریش و فعالیتش کاهش پیدا می‌کند و امکان تکثیر تا آنجا که اطلاع دارم اصلاً برایش وجود ندارد. به‌خاطر این که از بدن بیمار خارج شده. در این رابطه حالا با توجه به این که می‌بینیم مسیر، مسیر جریان فاضلاب و ادرار و مدفوع هست نسبت به این موارد باید توجه بیشتری انجام بشود. اگر در مناطقی شما تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ندارید و دفع فاضلاب در چاه‌های فاضلاب و آب‌های زیرزمینی می‌شود و احتمالاً با توجه به حرکت جریان فاضلاب در سفره‌های زیرزمینی احتمال برداشت آب از چاه‌های آب با توجه به فاصله، وضعیت هیدرولیکی و زمان می‌تواند تاثیر بگذارد ما توجهات بیشتری بکنیم به این مسئله. لذا اولین اقدام این است که گندزدایی‌ها بسیار کامل‌تر بخواهد دنبال بشود. اگر ما به‌فرض بحث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را داریم، حالا حتماً گندزدایی پسابمان با گندزدهای مناسب با شدت بیشتری و با غلظت‌های بالاتری انجام بشود که عفونت‌زایی این ویروس را عملاً بتواند که کاهش بدهد. به‌هرحال عمده گزارشاتی که انجام شده زمان تقریباً دو روز و نزدیک به سه چهار لوگ را عملاً دارد ذکر می‌کند. از این گذشته با توجه به درمانی که دارد در جامعه انجام می‌شود و افراد مبتلا دارند به تدریج بهبود پیدا می‌کنند و این زنجیره ان شاء الله دارد قطع می‌شود، لذا به نظر می‌آید که بتوانیم کنترلی روی دفع ویروس از طریق افراد داشته باشیم. روی این غلظت بیشتر جریان‌های فاضلاب و ورودش به آب‌ها کاهش

پیدا بکند. در اولین مسائل شاید کارکنان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را به‌عنوان یک تهدید در نظر بگیریم. همان‌طور که گفتیم این‌ها ممکن هست که علایم بالینی نداشته باشند و به‌عنوان افراد سالمی که ناقل ویروس هستند در نظر گرفته بشوند.

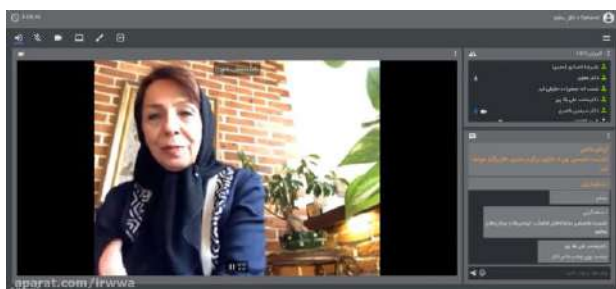
یک کد شناسایی افراد نمونه‌گیری از مدفوع این‌ها و تمام کارکنان تصفیه‌خانه‌ها در جاهایی که امکان دارد که از یک جریانی که مشکوک به حضور ویروس‌ها هستند در تصفیه‌خانه‌های آب استفاده می‌شود گندزدایی بسیار بالاتر انجام بشود. ببینید گفتم مثلاً در یک کشوری مثل هلند نیامدند پنجاه شصت تا آزمایشگاهی در نظر بگیرند که هرکس برای خودش اندازه‌گیری کرونا ویروس انجام بدهد. در یک مرکز آزمایشگاهی از ۳۰۰ تصفیه‌خانه فاضلاب نمونه می‌آید و این کار انجام می‌شود. ما می‌بینیم که از نظر نمونه‌برداری‌هایی که انجام می‌شود تا این طول شبکه را طی بکند و به تصفیه‌خانه برسد، بعد حمل شود به آزمایش، بعد بخواهد این آزمایش شروع کنند، یک زمانی را پشت سر می‌گذارند که اصلاً ویروس شاید در فاضلاب یافت نشود. همان‌طور که در برخی از گزارشاتی که انجام شده و آزمایشاتی که انجام شده این‌ها ردیابی نتوانستند بکنند. لذا زنجیره نمونه‌برداری و رساندن به آزمایشگاه و انجام آزمایش باید بسیار کوتاه‌تر بشود.

حالا نکته‌ای که در اینجا مطرح می‌شود اگر این ویروس را از دست دادیم قطعات ژنوم را حالا RNA را اگر توانستیم ردیابی کنیم حالا این روندش بیاید مورد مطالعه قرار بگیرد. در فلان شهر ببینیم که این روندش کاهشیه، افزایشیه و نکاتی را بدین ترتیب بتوانیم در تحقیقات آتی خودمان در کوتاه‌مدت انجام بدهیم. نکته دیگر این هست که اگر از پساب‌های تصفیه‌خانه‌ها دارد استفاده می‌شود حتماً مقرراتی وضع بشود که گندزدایی شدیدتر و تشدید بشود و با غلظت‌های بالاتری انجام بشود.

حالا بنابراین ارتباطش با نحوه گندزدایی، با مواد گندزدا و نوع تصفیه می‌تواند بحث‌های تحقیقاتی داشته باشد و استفاده از پساب در زمین‌های کشاورزی. به‌همین ترتیب ماندگاری این ویروس اگر زمانش کوتاه باشد در پسابی که استفاده می‌شود و آبیاری زمین‌های کشاورزی می‌شود. خود کشاورزانی که امکان ابتلا به یک نحوی داشته باشند حالا چه به لحاظ تنفسی چه به لحاظ اورال و دهانی، دایجسشن را داریم می‌گوییم امکان دارد اتفاق بیفتد. بد نیست تحقیقاتی روی این موارد انجام بشود. حتی احیاناً ردیابی RNA بر روی محصولات کشاورزی در خاک می‌تواند مسیرهای تحقیقاتی ما باشد. ولی به نظر می‌آید همه این‌ها یک دوره‌های کوتاه‌مدت یا میان‌مدتی را عملاً بخواهد پشت سر بگذارد و در این زمینه یک‌چنین تحقیقاتی بکنیم. در ارتباط با بحث‌های

داشته باشد و یا اگر خودشان ندارند از طریق سازمان‌های ناظر در اختیارشان قرار بگیرد که بتوانند پایش مستمر را داشته باشند.

در رابطه با نقشه راه تحقیق آتی، آقای دکتر محوی اشاره فرمودند. من فکر می‌کنم در این بحث، علاوه بر اینکه روی ویروس متمرکز می‌شویم، به ۲ تا مطلب باید توجه کنیم. یکی این که تاب‌آوری اجتماعی را بسنجیم برای مقابله با موارد مشابه. بله ممکن است که من با سارس کووید ۲ سرکار نداشته باشم. ولی ما دیدیم که در طول این ۱۵ سال گذشته، ۴ مورد مختلف را به این صورت داشتیم. مانند مرس، سارس، ابولا، سارس کووید ۲ را داشتیم و نمی‌دانیم که با این دست‌اندازی که ما داریم انجام می‌دهیم در طبیعت، در آینده چه خواهیم داشت. بنابراین ۲ تا کار باید در آینده انجام شود در مورد مطالعات. یکی این که تاب‌آوری را بسنجیم. دوم این که روش‌های پایدار نمودن و مهم‌تر از آن سازگاری و انطباق با چالش‌های جدید را باید روی کار کنیم که دیگر دچار این حالت نشویم که پیش بیاید. بعد از ۹ ماه تازه بگوئیم که می‌خواهیم چه کار کنیم. بنابراین یک نقشه راه می‌خواهیم برای این که این‌هم در آن تحقیقات ممکن است به دست آید.



خانم دکتر ناصری:

حقیقتش این هست که نزدیک به ۱ سال است که این همه‌گیری در جهان شروع و تقریباً فراگیر شده. این‌طوری نیست که در واقع در بخش‌های کوچکی از دنیا این اتفاق بیفتد. اگرچه بروز و شیوع این بیماری در کشورهای مختلف به دلیل وجود شرایط مختلف اقلیمی و حتی اقتصادی و اجتماعی و همین‌طور تفاوت در نوع حاکمیت‌های مدیریتی هر کشور تا حدودی با هم‌دیگر تفاوت داشتند. اما گسترش و الگوی توزیع این بیماری نشان می‌دهد که رویکرد سیاست‌گذاران در این زمینه بسیار اهمیت دارد و در هر کشور درست است که همه کشورهای دنیا باید با هم در ارتباط باشند ولی باید در کشور خودشان در مناطق مختلف کشور به این نکته بپردازند. تجارب اخیر نشان داده که به‌رحال در هر کشوری باید سیاست‌ها و برنامه‌های کلان آینده‌نگارانه تنظیم شود. ما باید به‌فکر باشیم که ممکن است تا یکی دو سال آینده این اتفاق همچنان ادامه داشته باشد. بنابراین زمینه‌های اقتصادی و فرهنگی و سیاسی برای پیشگیری از این موارد در آینده باید اندیشیده شود. بنابراین باید یک نقشه راه جامعی برای کنترل این ویروس و این پاندمی کووید ۱۹ در کشور خودمان هم داشته باشیم.

ویروسی شاید این‌ها بخواهند جهش‌هایی که احیاناً اتفاق می‌افتد را دنبال نکنند و ببینند این از چه جهش‌هایی برخوردار بوده. تا حالا تعداد بسیار زیادی جهش را در این‌ها گزارش کردند و مقایسه این با سایر کشورها مقایسه این موارد بین شهرهای مختلف کشور، مناطق گرمسیری داریم مناطق سردسیر داریم و گفتیم که بحث دما می‌تواند در این قضیه دخالت کند و بنابراین می‌توانیم ماندگاریش را به توجه این که آیا ما نمونه‌برداری در تبریز و ماکو می‌کنیم و به‌فرض در بوشهر و اهواز داریم می‌کنیم و ارتباطش با بحث دما و ارتباطش با بحث کیفیت فاضلاب. ما فاضلاب‌های رقیق، متوسط و غلیظ به‌لحاظ BOD داریم. می‌تواند در این رابطه این تحقیق انجام بشود و به‌رحال تمام این موارد می‌تواند به یک نحوی در این کار بیاید و نتایج آن و ورود این‌ها با هم‌دیگر مقایسه بشود و مورد مطالعه قرار بگیرد.

دکتر جعفر زاده:

خیلی ممنون جناب دکتر محوی. یک جمع‌بندی خیلی خلاصه بکنیم از فرمایشاتی که جناب آقای دکتر محوی و دکتر بقاپور و سرکار خانم دکتر ناصری داشتند. شاید بشود به چند مطلب اساسی اشاره کرد که شاید در آینده بتواند مسیری را نشان بدهد برای کارهای آتی:

یکی این که باید خیلی دقت کنیم اکثر بحث‌هایی که مطرح شد و به‌خصوص جناب آقای دکتر محوی به آن اشاره کردند، تاکید کردند که ما عمدتاً داریم ژنوم را بررسی می‌کنیم. ما قطعات RNA را در فاضلاب‌ها بررسی می‌کنیم و این با viability یا زنده بودن و ماندگاری ویروس زنده قادر به انتقال بسیار متفاوت است. بنابراین آن مخاطراتی را که گاهی اوقات در فضای مجازی می‌بینیم و من بعضیشان را می‌گویم infodemic یا اطلاعات ناروا و فقط ایجاد احساس ترس می‌کند، باید به آن خیلی توجه نکنیم. این یک مسئله است. گرچه باید به‌رحال متمرکز باشیم روی احتمال ولی باید به این موارد هم توجه کنیم. مسئله بعدی این است که یکی از استفاده‌هایی که ما از شناسایی ژنوم ویروس داریم و یکی از آن مواردی که ما می‌توانیم استفاده کنیم از مطالعات ردیابی ویروس این است که به‌عنوان پیش‌آگهی و یک نوع پایش از بروز و شیوع آتی بیماری در مناطق شهری و روستایی داشته باشیم. بدون این که نیاز باشد که بیماریابی کنیم. به‌جای این که بیماریابی کنیم، برویم سراغ بررسی آن در فاضلاب و این کاری است که ۲ یا ۳ تا کار بسیار خوب در دنیا روی آن انجام شده و نشان داده که می‌شود از این مسئله استفاده کرد.

به یک مسئله‌ای جناب آقای دکتر بقاپور اشاره کردند. بحث احتمال معیوب بودن شبکه‌ها و نیاز به پروتکل‌های پایش مستمر که واقعاً لازم است سازمان نظام مهندسی ما باید دقیقاً این پروتکل‌ها را

این تجارب نشان داده که اگرچه دستگاه و نظام‌های حاکمیتی به دنبال افزایش شانس توفیق اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های مقابله و مدیریت نقش داشتند، در درجه اول باید از چندگانگی تصمیمات و برنامه‌های اجرایی استفاده نکنند. منظور این هست که تمام بخش‌های مختلف مدیریتی باید در کنار هم باشند. این‌طوری نباشد که فقط وزارت بهداشت (درسته مسئولیت اصلی را دارد) اما مسئولیت بهداشت ما می‌گوییم وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی ولی برای این‌که به درمان نرسیم باید کنترل شرایط بهداشتی را بیش از گذشته رعایت کنیم. اجرای هر برنامه‌ای نیازمند یک تامین و یک ساختار لازم است و خود هر برنامه‌ای هم زیرساخت‌های اولیه دارد. جلب مشارکت مردمی این‌جا خیلی اهمیت دارد. ما میزان آگاهی و اطلاعات مردم را باید افزایش بدهیم.

نکته دیگر این هست که سیاست‌گذاران نمی‌توانند فارغ از کارشناسان علمی به‌ویژه کسانی که در همه‌گیرشناسان اپیدمیولوژیست‌ها براساس آزمون و خطا تصمیم‌گیری کنند. بنابراین هسته‌های پژوهشی، گروه‌ها و اتاق‌های فکر با حضور همه این‌ها باید شکل بگیرد. من می‌دانم که گروه‌ها و اتاق‌های فکری وجود دارد ولی متأسفانه بعضی از همکاران اپیدمیولوژیست ما نظرات خودشان را می‌دهند ولی خیلی به آن‌ها توجه نمی‌شود.

در رابطه با انتشار ویروس و انتقال این بیماری از محیط‌های مختلف به‌ویژه از محیط آب و فاضلاب، مهم‌ترین درس آموخته ما این است که باید به‌شدت با پدیده نشر اطلاعات ناروا یعنی اطلاعاتی که واقعی نیستند، حالا ممکن است که تعصبانی باشد، داده‌های اقتصادی باشد، به‌هرحال در مجموع این واژه را infodemic می‌گوییم. باید با این‌ها برخورد کنیم و برای این کار سازمان‌ها و نهادها باید کمک کنند. در رابطه با گندزدایی در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌هرحال باید روی سیستم‌های گندزدایی مدیریت بسیار ویژه‌ای داشته باشند.

همکاران من اشاره کردند که ویروس در چه شرایطی و با چه پارامترهایی می‌تواند نابود شود یا هم‌چنان ماندگار شود. بنابراین سیستم‌های تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب نقششان در این‌جا بسیار اهمیت دارد.

نکته‌ای هم که بسیار اهمیت دارد عدم کنترل پساب‌های بیمارستانی در بعضی از شهرهای کشور ما. به‌هرحال خیلی از بیمارستان‌ها خودشان تصفیه‌خانه ممکن است داشته باشند یا ممکن است نداشته باشند و باتوجه به جمعیت بالای بیماراران مبتلا به کووید ۱۹ در شرایط فعلی باید این مسئله هم کنترل دقیق شود. مطالعات دقیق‌تر و عمیق‌تری هم با روش‌های مناسب با گندزدایی باید صورت بگیرد.

حالا به‌هرحال سازمان محیط‌زیست هم باید در کنار ما باشد. اساتید دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی و همه این‌ها باید در کنار هم

باشند و این‌طور نباشد که نتایجشان در مجلات علمی فقط چاپ بشود. ما باید تمام آگاهی‌های صحیح‌مان را در اختیار مردم هم قرار بدهیم. یعنی یک‌جور اطلاع‌رسانی ویژه بکنیم به همه مردم که کیفیت آب و کیفیت فاضلابشان در مناطق مختلف کشور چگونه است. الان من سال‌ها است که به‌هرحال امروز از حضور آقای دکتر اردکانیان هم لذت بردیم ولی حتی به‌هرحال در این ۱۰-۲۰ سال گذشته من دارم تاکید می‌کنم که یکی از حقوق شهروندی این است که مردم اطلاعات کافی راجع به کیفیت آب آشامیدنی داشته باشند. خدا را شکر در یکی دو سال گذشته این سامانه در وزارت نیرو، در شرکت آب و فاضلاب شکل گرفته ولی هنوز مردم دسترسی ندارند که بروند و محل زندگی‌شان را در سامانه وارد کنند و براساس آن کیفیت آب شربی که در دسترسشان قرار می‌گیرد را بدانند. الان با توجه همکاری‌های ویژه‌ای که شرکت مهندسی آب و فاضلاب با ما دارد. به‌هرحال ما یک نقشه راه کاملی را داریم تنظیم می‌کنیم که شکل بگیرد هم اطلاع‌رسانی کامل براساس نتایج درست به مردم داده شود و هم این‌که این سامانه بتواند شکل بگیرد.

این نکته را هم بگویم که در بعضی از مناطق تعداد زیادی تصفیه‌خانه داریم. جناب آقای مهندس وکیلی و دوستانشان که مسئولیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را دارند نگاهشان خدا را شکر عمیق‌تر شده به کیفیت فرایندهای گندزدایی که آن‌جا شکل می‌گیرد. هنوز داده‌های کافی برای این‌که اگر ما در پساب خروجی از فاضلاب ژنومین ویروس را براساس RNA تشخیص بدهیم چه‌قدر می‌تواند ماندگار بشود و آن پساب کجا وارد می‌شود. این نکته هم مهم است. بنابراین برای سلامتی تمام مردم، کشاورزان و همه کسانی که به‌هرحال اپراتور هستند در سیستم‌های تصفیه‌خانه آب و فاضلاب ما باید برای سلامتیشان این مورد را رعایت کنیم.

من این نکته را هم بگویم در بینارهایی که با یونسکو و جاهای دیگر داشتیم به مسئولین گفتم که این‌طوری نباشد که در هر کشور هرکسی برای خودش کارهای پژوهشی انجام دهد. ما باید تلاش کنیم که مشارکت در سطح بین‌المللی هم داشته باشیم. از تک‌تک اساتید محترم خواهش می‌کنم که این مورد را هم در برنامه کارهای خودشان بگذارند و با تیمی (گروهی) هم که ما در وزارت نیرو در بخش منابع آب شکل دادیم ما در خدمتتان هستیم. تلاش می‌کنیم که حداقل در کل منطقه خاورمیانه اطلاعات کافی را بتوانیم بدهیم.

رتبه سوم پنجمین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۳۹۹ در مقطع دکتری
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده علوم، گروه شیمی

عنوان: سنتز، مشخصه‌یابی و مدل‌سازی ریاضی نانو فوتوکاتالیست‌های بر پایه Fe_3O_4 و بررسی سینتیکی عملکرد آن‌ها در

تخریب و حذف آلاینده‌های آلی

نگارش: زهرا عباسی چیکان سفلی

استاد راهنما: دکتر عبدالهادی فرخ‌نیا

استادان مشاور: دکتر ایلزا ایزابل گارسیا لویز و دکتر مرتضی زرگر شوشتری

تاریخ: بهمن ۱۳۹۸

چکیده

بررسی شده است. به منظور دستیابی به بهینه پارامترهای موثر مورد نظر از روش سطح پاسخ (RSM) استفاده شده است. مکانیسم تخریب با استفاده از فوتوکاتالیست $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ نشان داده است که حضور ۵٪ وزنی از اکسید آهن در ساختار فوتوکاتالیست سبب کاهش بازترکیبی الکترون-حفره، انتقال الکترون بین دو نیم‌رسانا و تسریع‌کننده تخریب متیلن بلو شده است. سینتیک تخریب متیلن بلو با فوتوکاتالیست مغناطیسی $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{rGO}$ core-shell-ZnO sheet/ Ag_2CO_3 نشان داد که Ag_2CO_3 در افزایش سرعت تخریب متیلن بلو تأثیر مثبت داشته است. با بررسی گروه‌های فعال در واکنش تخریب با استفاده از فوتوکاتالیست $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ مثبت نقش $\text{OH}^\bullet$ ، $\text{O}_2^\bullet$ و h^+ در تخریب فوتوکاتالیستی مشخص شده است. سینتیک و مکانیسم تخریب ۴-نیتروفنول با $\text{g-C}_3\text{N}_4\text{-MCy}$ بررسی شده است و در بررسی سینتیکی، معادله سینتیک مرتبه اول نسبت به غلظت ۴-نیتروفنول به دست آمده است که با معادله لانگمویر-هینشلوود همخوانی دارد. از طرفی طبق رابطه به دست آمده اثبات شده است که عواملی مانند اکسیژن محلول و شدت تابش در سرعت واکنش مؤثر است که با یافته‌های آزمایشگاهی همخوانی داشته است. در بررسی فعالیت $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{HA/MMT}$ به عنوان جاذب، مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم بالاترین ضریب همبستگی را نشان داده است. بررسی هم‌دمای واکنش نشان داد که جذب متیل اورانژ بر روی جاذب، از ایزوترم فروندلیچ تبعیت کرده است.

کلمات کلیدی: هسته-پوسته، ساختار دو بعدی، تخریب نوری، سینتیک، مکانیسم تخریب.

دستیابی به راندمان تخریب فوتوکاتالیستی بالا به دلیل بازترکیبی سریع حامل‌های بار در فوتوکاتالیست ناهمگن بعد از اتمام واکنش، از محدودیت‌های روش‌های اکسایش پیشرفته است. توسعه فوتوکاتالیست‌های ناهمگن با اتصال دو نیم‌رسانا با موقعیت لیه باند مناسب، می‌تواند با انتقال الکترون-حفره، پدیده‌های بازترکیبی را کاهش دهد. برای توسعه جاذب‌ها، استفاده از مواد مغناطیسی به منظور تهیه جاذب مغناطیسی برای سهولت در جدا کردن جاذب از محلول واکنش، می‌تواند روشی کارآمد باشد. برای توصیف چشم اندازهای جدید در زمینه تصفیه پساب، پنج ساختار دو بعدی ناهمگن متفاوت، فوتوکاتالیست‌های $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ ، $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{rGO}/\text{ZnO}/\text{Ag}_2\text{CO}_3$ ، $\text{g-C}_3\text{N}_4\text{-MCy}$ و جاذب $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{HA/MMT}$ با روش‌های رفلکس، حلال حرارتی، تابش ماکروویو، روش رسوب‌دهی شیمیایی در شرایط تاریک و تراکم حرارتی با موفقیت تهیه شده است. نمونه‌های تهیه شده به وسیله روش‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوری (FT-IR)، تعیین مساحت سطح ویژه (SSA)، میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM)، آنالیز تفرق دینامیکی نور (DLS)، طیف جذبی UV-Visible، BET و BJH شناسایی شده است. فعالیت فوتوکاتالیست‌های تهیه شده با مطالعه سینتیک تخریبی آلاینده‌های آلی متیلن بلو، ایندیگوکارمین، سافرانین، دایرکت بلو و ۴-نیتروفنول و بررسی فعالیت جاذب در میزان حذف رنگ متیل اورانژ

رتبه اول پنجمین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۳۹۹ در مقطع کارشناسی ارشد
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی شیمی و نفت

عنوان: شبیه سازی راکتور بسترسیال به منظور حذف مواد رنگزای آلی طی فرآیند فنتون هتروژن با استفاده از روش
دینامیک سیالات محاسباتی

نگارش: مهدی ابراهیمی فرشچی

استاد راهنما: دکتر حسن اقدسی نیا

استاد مشاور: دکتر علیرضا ختائی

تاریخ: شهریور ۱۳۹۵

چکیده

هیدرودینامیک سیستم بر روی برخی از واکنش های سینتیکی
است.

کلمات کلیدی: شبیه سازی، راکتور بسترسیال، مواد رنگزای
آلی، فرآیند فنتون هتروژن، دینامیک سیالات محاسباتی.

در این تحقیق شبیه سازی فرآیند حذف ماده رنگزای اسید زرد ۳۶ در راکتور بسترسیال به روش دینامیک سیالات محاسباتی مورد مطالعه قرار گرفته است. با مطالعه مکانیزم های تولید و مصرف اکسیژن و فرآیند فنتون هتروژن و مرتبط ساختن این دو پارامتر به یکدیگر، به یک زمان موثر واکنش فنتون هتروژن دست یافته شده که باعث کاهش حجم شبیه سازی و صرفه جویی در مدت زمان شبیه سازی شد. در مرحله بعدی این مطالعات برای بررسی تاثیر هیدرودینامیک بر روی واکنش ها، مدل سازی سینتیکی فرآیند انجام شد. برای بهبود مدل سازی سینتیکی پارامتری با نام β به عنوان نماینده مکانیزم های فیزیکی تولید و مصرف اکسیژن، نظیر تاثیر روی اکسیژن محلول، salt effection و انتقال جرم در اثر نیروی محرکه (اختلاف غلظت اکسیژن بین محیط و سیستم) به مدل اضافه شد که باعث کاهش درصد خطای مدل سینتیکی شد. نتایج حاصل از شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشته و نسبت به نتایج مدل سینتیکی بهبود یافته، به نتایج آزمایشگاهی نزدیک تر است که علت آن کنترل کنندگی عامل اختلاط

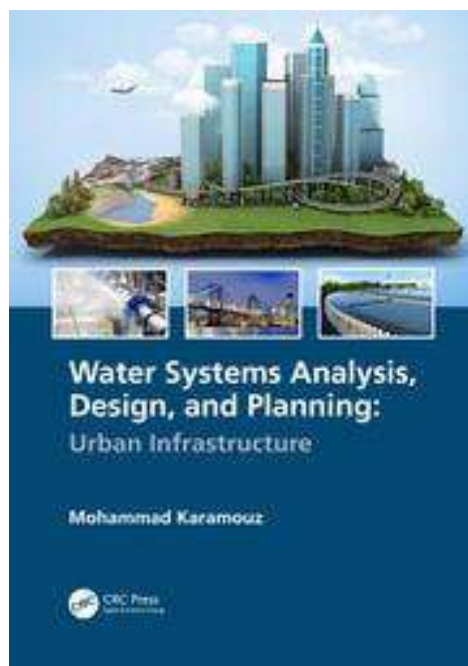
عنوان: تجزیه و تحلیل، طراحی و طرح‌ریزی سامانه‌های آبی - زیرساخت شهری

سال انتشار: سال ۲۰۲۲

نویسنده: دکتر محمد کارآموز (استاد دانشگاه تهران)

ناشر: CRC Press

سال انتشار: سال ۲۰۲۲



افزایش تقاضای آب و گسترش‌های شهری و صنایع، سبب وضعیت ناخوشایند محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی شده است. سیلاب‌ها و خشکسالی‌های شدید و پی‌درپی، تاب‌آوری و توانایی سامانه‌های مربوط به زیرساخت‌های آبی را برای ایفای نقش و ارائه خدمات به عموم، تغییر داده است. این نگرانی‌ها و مسائل، شیوه طرح‌ریزی و مدیریت منابع آب را نیز عوض کرده است. این کتاب با تمرکز بر چالش‌های شهری، اطلاعات اساسی را در خصوص علم و مهندسی آب ارائه داده و هم‌چنین مباحث مربوط به طوفان‌ها، آبرسانی و زیرساخت‌های فاضلاب شهری را نیز بررسی می‌کند. هم‌چنین به مسائل مهم نوظهور از قبیل شبیه‌سازی و مدل‌سازی اقتصادی، تاب‌آوری در برابر سیلاب، تصویرسازی زیست‌محیطی، کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و پیشرفت‌های مربوط به مدل داده‌های دیجیتال (DEM) می‌پردازد.

ویژگی‌های این کتاب شامل موارد زیر است:

- بررسی کاربردهای تئوری، عملی و واقعی تجزیه و تحلیل، طراحی و طرح‌ریزی سامانه زیرساخت‌های آب شهری؛
 - بحث در مورد قوانین اساسی، هیدرولیک و هیدرولوژی حرکت جریان آب در محیط‌های طبیعی و غیرطبیعی؛
 - شرح طیف وسیعی از موضوعات جدید در خصوص دارایی‌های آبی، اقتصاد آب، تجزیه و تحلیل سامانه‌ها، قابلیت اطمینان و مدیریت بلایا؛
 - بررسی جزئیات مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی و شبیه‌سازی مدل‌های مفهومی و مبتنی بر داده؛
 - توضیحاتی در خصوص تاب‌آوری در برابر سیلاب، تصویرسازی محیط‌زیستی، تشخیص الگو و ویژگی‌های یادگیری ماشین؛
 - شرح مجموعه‌ای از ابزارها و راهبردهای نوظهور که سبب می‌شود خواننده به سطح بالایی در زمینه مدیریت سامانه‌های آبی و محیط‌زیستی برسد.
- این کتاب به عنوان یک منبع مفید برای دانشجویان مقطع کارشناسی و بالاتر که در حال گذراندن واحدهایی در حوزه تجزیه و تحلیل منابع و سامانه‌های آبی هستند و هم‌چنین مهندسين و متخصصان مربوطه، ایفای نقش می‌کند.

فهرست مطالب این کتاب که در ۱۴ فصل تهیه شده به شرح زیر است:

فصل اول: مقدمه؛ فصل دوم: فعل و انفعالات و چرخه آب شهری؛ فصل سوم: هیدرولوژی آب شهری؛ فصل چهارم: هیدرولیک آب شهری؛ فصل پنجم: سامانه‌های زهکشی طوفان‌های شهری؛ فصل ششم: زیرساخت‌های تامین آب شهری؛ فصل هفتم: زیرساخت فاضلاب؛ فصل هشتم: اقتصاد آب شهری - مدیریت دارایی؛ فصل نهم: تجزیه و تحلیل سامانه‌های آب شهری و حل تعارض‌ها؛ فصل دهم: ریسک و اطمینان‌پذیری؛ فصل یازدهم: مدیریت بلایای آب شهری؛ فصل دوازدهم: شبیه‌سازی هیدرودینامیکی و هیدرولوژیکی شهری؛ فصل سیزدهم: تاب‌آوری شهرها در برابر سیلاب؛ فصل چهاردهم: تصویرسازی زیست‌محیطی.

اطلاعات بیشتری از این کتاب در لینک زیر موجود است:

<https://www.routledge.com/Water-Systems-Analysis-Design-and-Planning-Urban-Infrastructure/Karamouz/p/book/9780367528454>

عنوان: طرح‌ریزی، طراحی و اجرای تاسیسات جدید یا ارتقا یافته بازیابی منابع آب

ناشر: Water Environment Federation

سال انتشار: 2021

PLANNING, DESIGN, AND IMPLEMENTATION FOR NEW AND UPGRADED WATER RESOURCE RECOVERY FACILITIES



Manual of Practice No. 28
2nd EDITION

Water Environment
Federation
the water quality people

بسیاری از شرکت‌های آب و فاضلاب و نهادهای دولتی مرتبط، با تصمیماتی درخصوص روش‌های سازگار با محیط‌زیست و مقرون به‌صرفه به‌منظور مدیریت فاضلاب، حفاظت از محیط‌های آبی و استفاده خردمندانه از منابع، مواجه هستند. این چالش‌ها ممکن است نیاز به ارتقای سامانه‌های غیرمتمرکز به تاسیسات مکانیکی جدید منطقه‌ای یا ارتقای تاسیسات بازیابی منابع آبی خود به سامانه‌های جدید و با ظرفیت بالا باشند. از آنجایی که چنین شرایطی هر ۲۰-۳۰ سال در تاسیسات با اندازه کوچک تا متوسط ایجاد می‌شود، اکثر مدیران تجربه نداشته یا تجربه کمی با فرآیند ارتقا دارند. این کتاب به‌عنوان یک راهنما برای کمک به مدیران شرکت‌های خدمات‌رسان و سایر افراد مسئول نظیر مهندسين شهری، وضع‌کننده‌های قوانین و پیمانکاران برای هدایت به این فرآیند عمل می‌کند. این کتاب شامل بخش‌هایی در خصوص نحوه توسعه محدوده سرویس برای طرح تاسیسات، نحوه ارزیابی پیشنهاد‌های مهندسی، نحوه تصمیم‌گیری آگاهانه در خصوص حرکت به سوی تاسیسات پیچیده‌تر، چگونگی انتخاب و ارزیابی روش‌های مختلف تحویل پروژه، نحوه تعامل با مهندس در هر مرحله و انواع موضوعات دیگر است.

ویژگی‌ها و مزایای کتاب به‌شرح زیر است:

- شامل اطلاعات دقیق در خصوص الزامات ساخت و ساز و راه‌اندازی؛
- پوشش دادن فرآیندهای ارتقا برای هر اندازه از تاسیسات؛
- ارائه اطلاعات بحرانی برای تاسیسات آب و فاضلاب؛
- ابزاری کلیدی برای راهبری یک فرآیند پیچیده برای بسیاری از مدیران.

فصول این کتاب به قرار زیر است:

فصل اول: مقدمه؛ فصل دوم: طرح‌ریزی ارتقای تاسیسات موجود؛ فصل سوم: ارتقای از تاسیسات غیرمتمرکز؛ فصل چهارم: طرح تسهیلات؛ فصل پنجم: سامانه‌های تحویل پروژه، فصل ششم: مهندسی ارزش و بررسی قابلیت ساخت تاسیسات؛ فصل هفتم: مرحله طراحی اولیه؛ فصل هشتم: مرحله طراحی نهایی؛ فصل نهم: مرحله ساخت؛ فصل دهم: راه‌اندازی و استارت‌آپ تاسیسات.

اطلاعات بیشتری از این کتاب در لینک زیر موجود است:

<https://www.wef.org/resources/publications/books/planning/>

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه سوم سال ۱۴۰۰ به شرح زیر است:

- برگزاری وبینار تخصصی "آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط زیست و بهداشت محیط زیست" توسط آقای دکتر رحیم عالی به وسیله شعبه قم انجمن (۱۴۰۰/۰۷/۰۷)
- برگزاری چهاردهمین وبینار تخصصی انجمن با عنوان "مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب توسط آقای دکتر مسعود تابش (۱۴۰۰/۰۷/۰۷)
- برگزاری جلسات چهارم تا هشتم کمیته اجرایی همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۷/۲۶-۱۹-۱۷-۱۲-۰۶)
- برگزاری جلسه پنجم واحد بین‌الملل انجمن (۱۴۰۰/۰۷/۲۵)
- جلسه نهم شورای سیاست‌گذاری همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۷/۲۷)
- برگزاری جلسه پنجاه و چهارم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۰/۰۷/۲۸)
- حضور عضو هیئت مدیره در برنامه تلویزیونی تفاوت (۱۴۰۰/۰۷/۳۰)
- انتشار شصت و هفتمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (مهرماه ۱۴۰۰)
- برگزاری پانزدهمین وبینار تخصصی انجمن با عنوان "توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور لحاظ دریاچه‌ها و مخازن" توسط آقای دکتر شروان قراری (۱۴۰۰/۰۸/۰۹)
- برگزاری شانزدهمین وبینار تخصصی انجمن با عنوان "مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در ژاپن" توسط آقای دکتر یحیی محزون (۱۴۰۰/۰۸/۱۹)
- جلسه دهم شورای سیاست‌گذاری همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۸/۲۵)
- برگزاری جلسه پنجاه و پنجم هیئت مدیره (۱۴۰۰/۰۸/۲۶)
- انتصاب جناب آقای دکتر صفوی عضو هیئت مدیره انجمن، سردبیری نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و نماینده انجمن در دانشگاه صنعتی اصفهان به سمت معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۴۰۰/۰۸/۲۶)
- برگزاری جلسات نهم تا پانزدهم کمیته اجرایی همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۸/۲۹-۲۴-۲۲-۱۷-۱۵-۱۰-۰۳)
- انتشار شصت و هشتمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (آبان ماه ۱۴۰۰)
- برگزاری جلسات شانزدهم تا بیستم کمیته اجرایی همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۹/۲۲-۰۸-۰۶-۰۳-۰۱)
- برگزاری اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت به صورت مجازی (۹ تا ۱۱ آذر ماه ۱۴۰۰)
- اعلام و تقدیر از ۱۶ مقاله برتر در اختتامیه همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۹/۱۰)
- تقدیر از پیشکسوتان دانشگاه و صنعت در اختتامیه همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۹/۱۰)
- تقدیر از دبیر تخصصی و داوران برگزیده مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب در اختتامیه همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۹/۱۰)
- تقدیر از برندگان ششمین دوره مسابقه پایان نامه برتر انجمن آب و فاضلاب ایران در اختتامیه همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۹/۱۰)
- دعوت به مجمع عمومی عادی به طور فوق العاده (نوبت دوم) انجمن آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۰/۰۹/۱۶)
- اعلام نظرسنجی اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (آذرماه ۱۴۰۰)
- اعلام نظرسنجی کارگاه‌های جانبی اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (آذرماه ۱۴۰۰)
- برگزاری اولین گردهمایی سراسری نمایندگان انجمن در دانشگاه‌ها و شرکت‌های آب و فاضلاب (۱۴۰۰/۹/۲۴)
- برگزاری کارگاه تخصصی "طراحی معماری و هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب" توسط دکتر مسعود طاهریون (۱۴۰۰/۹/۲۴)
- انتشار شصت و نهمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (آذرماه ۱۴۰۰)



اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب

و

سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب

با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت

۹ تا ۱۱ آذرماه ۱۴۰۰



اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت در تاریخ ۹ تا ۱۱ آذرماه سال ۱۴۰۰ از سوی انجمن آب و فاضلاب ایران و با همکاری دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران به صورت مجازی برگزار شد. آنچه در پیش رو دارید خلاصه‌ای از روند برگزاری و برنامه‌های اجرا شده در همایش است.

شورای سیاست گذاری همایش:

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

دکتر مسعود تابش «رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران و رئیس شورا»

دکتر ناصر مهردادی «دبیر همایش»

دکتر محمدحسین نیک‌سخن «دبیر کمیته علمی»

دکتر علیرضا بازارگان «دبیر کمیته اجرایی»

دکتر مجتبی اردستانی «عضو شورای سیاست‌گذاری»

دکتر سارا نظیف «عضو شورای سیاست‌گذاری»

تشکیل دبیرخانه و تهیه و ارسال ارسال فراخوان:

پس از انجام صحبت‌های مقدماتی، در دی‌ماه ۱۳۹۹ تفاهم‌نامه همکاری بین انجمن آب و فاضلاب ایران و دانشکده محیط‌زیست دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران به امضا رسید. در همین راستا ساختار سازمانی نهایی همایش مشخص و شورای سیاست‌گذاری در اواخر دی‌ماه تشکیل شد و طی ۱۰ جلسه تا آخر آبان‌ماه نسبت به برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های لازم اقدام کرد. هم‌چنین دبیرخانه همایش در دانشکده محیط‌زیست با مدیریت سرکار خانم مهندس عاطفه عزیزی شروع به کار کرد.

پس از آماده‌سازی‌های اولیه، از وب‌سایت همایش به نشانی www.iwwa-conf.ir رونمایی شده و اطلاعات مربوط به همایش به صورت روزانه از طریق وب‌سایت، به اطلاع مخاطبان علاقه‌مند رسید. اطلاعات سایت به‌طور روزانه به‌روزرسانی می‌شد، که این امر تا روز همایش نیز ادامه یافت. 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، تجارت و مهندسين 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، معرفی همایش اطلاعات مربوط به همایش در سایت‌های Civilica، Symposia، conference.ac، iranconferences، conferencejoo.com و ISC قرارداد شد. کانال و گروه تلگرامی و واتس‌اپی همایش نیز با عضویت صدها نفر تشکیل و هم‌چنین از تمام شبکه‌های اجتماعی انجمن آب و فاضلاب ایران نیز استفاده شد.

محورهای همایش:

با توجه به رسالت همایش و اهداف کلی تلاش شد تا محورها به نحوی تبیین شوند که حوزه‌های مختلف دانش و فناوری صنعت آب و فاضلاب را مورد پوشش قرار دهند. در تعیین محورها، توجه ویژه‌ای به نیازها و چالش‌های صنعت صورت گرفت و موضوعات زیر به تصویب رسید:

انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA

فراخوان ششمین دوره
انتخاب پایان نامه برتر

ویژه دانش‌آموختگان سال‌های ۱۳۹۶ به بعد

انجمن آب و فاضلاب ایران در نظر دارد در ششمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در محورهای **کیفیت، هدررفت و بازیافت آب**، پایان‌نامه‌های برتر در "مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری" را با اهدای **لیح تقدیر و جوایز نفیس** مورد تشویق قرار دهد.

از علاقه‌مندان دعوت می‌شود تا برای شرکت در مسابقه، فایل پایان‌نامه به همراه مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود را **حداکثر تا تاریخ ۳۰ مهرماه ۱۴۰۰** از طریق سایت انجمن به نشانی **IRWWA.IR** بارگذاری نمایند.

جوایز نفرات اول تا سوم در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، همزمان با برگزاری اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب، با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت، که از ۹ تا ۱۱ آذرماه ۱۴۰۰ در دانشگاه تهران برگزار می‌شود، اعطا می‌گردد.

Telegram: @irwwa94
https://www.aparat.com/irwwa
irwwa.ir
info@irwwa.ir

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰
۰۹۱-۶۸۰۸۹۰۹
۰۹۱-۶۸۰۸۹۰۹

همایش ملی مدیریت کیفیت آب
همایش ملی مدیریت مصرف آب

1st National Conference on Water Quality Management
&
3rd National Conference on Water Consumption Management Loss Reduction and Reuse

30 Nov - 2 Dec 2021
College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

پروفسور دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

محورهای همایش

- مدیریت واقعی، طراحی و معارف مجاز بدون درآمد در شبکه‌های توزیع آب
- تأثیر تغییر اقلیم بر کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی
- تأثیرات پساب فاضلاب‌های آب‌نشین کن بر کیفیت آب
- کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری آب در بخش صنعت
- استاندارد و تجهیزات کسب و کسب آب و فاضلاب
- فناوری‌های ساده و ارزانی جهت بازیافت پساب
- مدیریت و بازیافت زباله‌های کشاورزی
- مدیریت هوشمند شبکه‌های توزیع آب
- بیمه آب-آلزی در بازیافت پساب
- اثر زیست‌محیطی بر آب و پساب
- مدیریت مصرف آب
- برنامه‌های آب

مهم‌ترین مقالات کامل: ۱۵ مهرماه ۱۴۰۰

آدرس: دبیرخانه همایش، حیاطان انتخاب، حیاطان همایش، پلاک ۱، کوچه آذین، دانشگاه محیط زیست، دانشگاه تهران
کدپستی: ۱۳۳۴۸۳۱
تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰، ۰۹۱-۶۸۰۸۹۰۹

www-conf.ir
info@irwwa-conf.ir
@IWWSEC

الف) مدیریت مصرف آب

- ۱- روشهای مهندسی (کاهنده‌های مصرف، بازچرخانی آب، آب خاکستری، جداسازی آب شرب از آب بهداشتی و ...)
- ۲- دیدگاه‌های فرهنگی (آموزش، آگاهی رسانی، مشارکت بخش خصوصی، نقش زنان و ...)
- ۳- دیدگاه‌های اقتصادی (اقتصاد آب، قیمت‌گذاری، مدیریت تعرفه و ...)
- ۴- الزامات قانونی و مدیریتی (مباحث نظام مهندسی، جریمه و تشویق، قراردادهای و برون‌سپاری، حاشیه‌نشینی، مدیریت مصرف در شرایط بحرانی، آسیب شناسی و ...)

ب) هدررفت

۱- هدررفت واقعی در شبکه‌های توزیع آب

- ۱-۱ مدیریت نشت (روش‌های جدید نشت‌یابی، اقتصاد نشت، مدیریت فشار، استقرار DMA، قراردادهای نشت‌یابی، تامین مالی، برون‌سپاری و ...)
- ۲-۱ مدیریت حوادث و اتفاقات (رفع حوادث، قراردادهای و ...)
- ۳-۱ بازسازی، تعویض و تعمیر شبکه‌ها
- ۴-۱ سرریز مخازن
- ۵-۱ تجهیزات و شیرآلات جدید

۲- هدررفت ظاهری در شبکه‌های توزیع آب

- ۱-۲ کنترل و دبی‌سنج‌ها، قرائت کنتورها، خطاهای اندازه‌گیری، مدیریتی و بهره‌برداری
- ۲-۲ اتصالات غیرمجاز (روشهای شناسایی، راه‌کارهای فرهنگی، راه‌کارهای قانونی، قراردادهای و برون‌سپاری ...)
- ۳-۲ مصارف مجاز بدون درآمد
- ۱-۳ مصارف آب در تاسیسات و تصفیه‌خانه‌ها
- ۲-۳ شستشوی شبکه و مخازن
- ۴-۲ مدیریت هوشمند شبکه‌های توزیع آب
- ۱-۴ تله‌متری و اسکادا

۲-۴- مدل سازی و نرم افزارها

۳-۴- کاربرد GIS

۴-۴- مدیریت انرژی

۵-۴- مدیریت کیفیت

۵- کاهش مصرف و ارتقای بهره‌وری آب در بخش صنعت

۱-۵- به‌کارگیری فناوری پینچ آبی به‌منظور کاهش مصرف آب در صنایع

۲-۵- بهینه‌سازی شبکه آب و فاضلاب در صنایع

۳-۵- سنتز شبکه آب و فاضلاب صنایع (Water Network Synthesis)

۴-۵- 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

۲-۱- راه کارهای تولید انرژی در فرآیند بازیافت پساب

۳-۱- توسعه روش‌های با حداقل مصرف انرژی به‌منظور بازیافت پساب

۴-۱- الزامات پیاده سازی رویکرد کاهش، بازاستفاده و بازیافت (3R: Reduce, Reuse, Recovery) در صنایع

۲- فناوری‌های ساده و ارزان قیمت بازیافت پساب

۱-۲- توسعه فناوری‌های ساده بازیافت پساب در مناطق روستایی و جوامع کوچک

۲-۲- بومی‌سازی فرآیندهای ساده و ارزان قیمت بازیافت پساب

۳- پایش کمی و کیفی پساب بازیافتی

۱-۳- ابزارهای اندازه‌گیری جریان پساب

۲-۳- شاخص‌های کیفی در ارزیابی بازیافت پساب

۳-۳- دستورالعمل پایش کیفیت در بازیافت پساب

۴-۳- آیین‌نامه‌های پایش کمی و کیفی بازیافت پساب

۴- استفاده ایمن از پساب و کاهش ریسک آن

۱-۴- مخاطرات ناشی از استفاده از پساب

۲-۴- نقش آموزش و فرهنگ‌سازی در استفاده ایمن از پساب

۳-۴- 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

۱-۵- بازیافت پسماندهای جامد با ارزش

۲-۵- مصرف پسماند بازیافت به‌عنوان سوخت و ماده پرکننده

۳-۵- روش‌های تولید انرژی از فرآیند بازیافت پساب

۴-۵- 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

۱-۶- مصارف ممکن برای زهاب‌های کشاورزی

۲-۶- 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 نیتراژ زدایی، حذف فلزات سنگین و کاهش شوری، کدورت آب و حذف بو
- ۴- تأثیرات زیست‌محیطی پساب دستگاه‌های آب شیرین بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه محل تخلیه آن‌ها
- ۵- تأثیر 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- اثر ویروس کرونا بر آب و پساب
 - ۷-۱- بررسی حضور کرونا ویروس در پساب با توجه به فرایندهای تصفیه فاضلاب
- ۸- پایش کیفی اکوسیستم‌ها
 - ۸-۱- راه‌های جلوگیری از زوال کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی

۸-۲- استفاده از بيو سنسورها (موجودات زنده مانند قورباغه، جلبک و ماهی) در ورودی آب خام تصفيه‌خانه‌ها برای شناسایی سموم و مواد آلی آلاینده

۹- آلاینده‌های ویژه و نوظهور در آب آشامیدنی و پساب

۱۰- اقتصاد و کیفیت آب

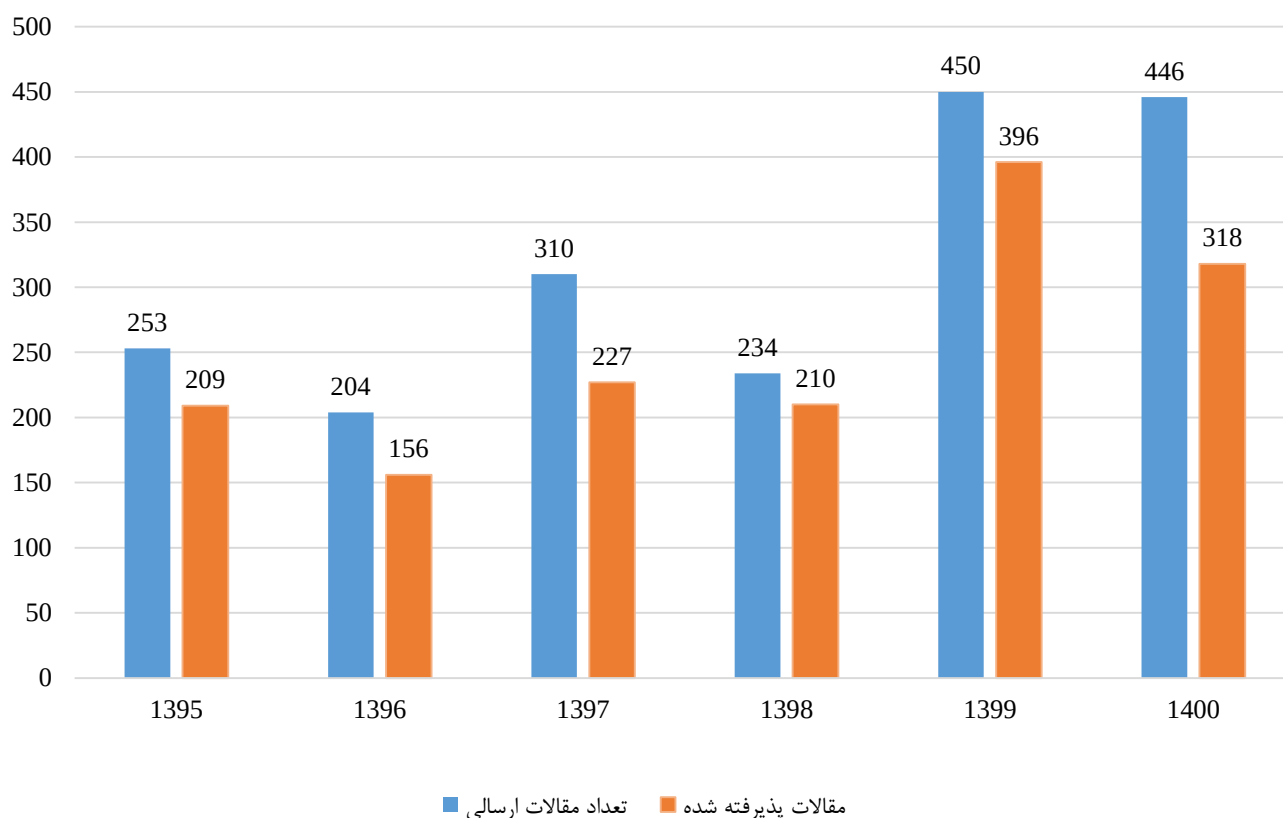
کمیته‌های علمی و اجرایی:

کمیته علمی همایش مشتمل بر ۷۹ نفر از اساتید و متخصصان صنعت آب و فاضلاب از سراسر کشور و با لحاظ کردن حوزه‌های مختلف دانش فنی تشکیل شد. این کمیته در تبیین محورهای همایش و نیز فرآیند ارزیابی و تصمیم‌سازی در مورد مقالات نقش کلیدی را ایفا نمود. کمیته اجرایی همایش نیز با مشارکت حدود ۱۰ نفر مسئول و ۳۰ نفر عضو کمیته‌ها از دانشجویان فعال دانشکده‌های محیط‌زیست و مهندسی عمران دانشگاه تهران و دانشگاه خواجه نصیر طوسی تشکیل شد و با برگزاری بیش از ۲۰ جلسه برای برنامه ریزی و هماهنگی، توانست در طول برگزاری همایش فضای مناسبی را برای استفاده شرکت‌کنندگان از همایش فراهم نماید.

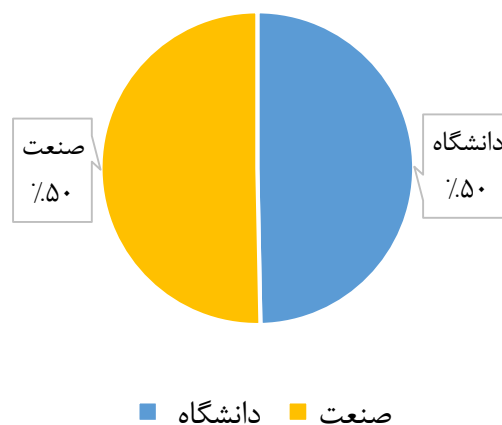
مقالات:

مقالات بسیاری در مدت‌زمان مشخص‌شده به سایت همایش ارسال و به‌دلیل شرایط خاص و همه‌گیری بیماری کرونا، مهلت ارسال مقالات ۲ بار تمدید شد. در پایان مهلت ارسال مقالات، مجموعاً ۴۴۶ مقاله به دبیرخانه همایش ارسال شد که از این تعداد ۳۱۶ مقاله پذیرفته شد. از این تعداد، ۲۰۶ مقاله به‌صورت پوستر و ۱۱۰ مقاله به‌صورت شفاهی ارائه شد. مقالات شفاهی که دربرگیرنده محورهای همایش بودند در ۲ بخش و هرکدام با ۱۰ جلسه موازی در طول ۲ روز ارائه شدند. مقالات پوستر نیز با توجه به برنامه از پیش اعلام‌شده به‌صورت الکترونیکی از طریق سایت همایش و پنل اسکای روم به‌طور هم‌زمان در دو روز در ۴ محور ارائه شدند. اطلاعات آماری مقالات در شکل‌های ۱ تا ۹ ارائه شده‌اند.

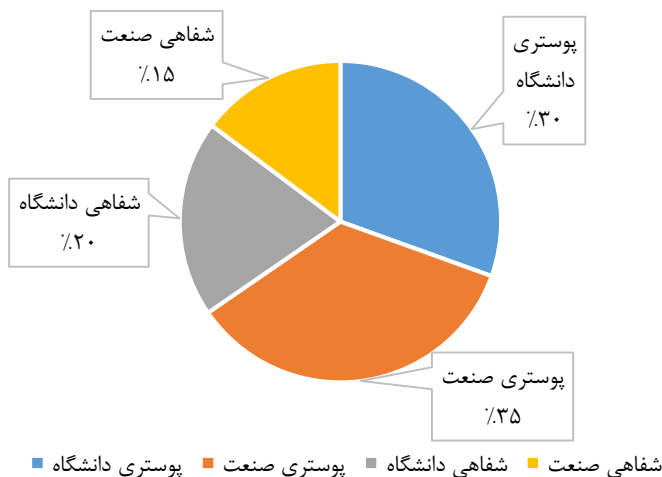
شکل ۱- تعداد مقالات ارسالی و پذیرفته شده از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰



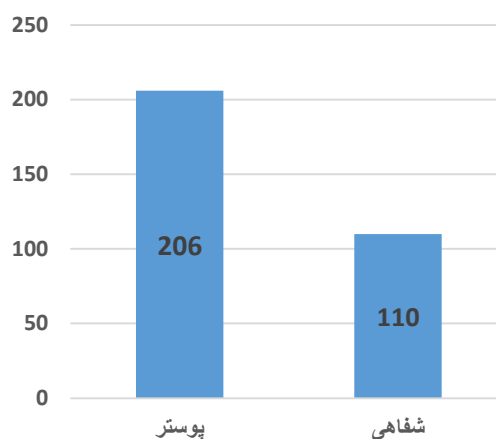
شکل ۲- توزیع مقالات پذیرفته شده به تفکیک صنعت و دانشگاه



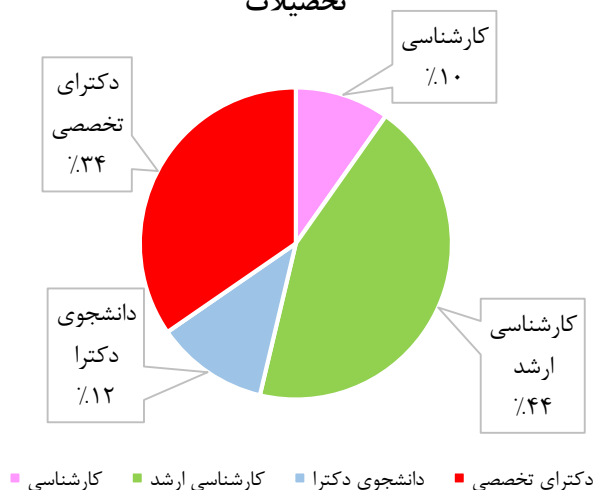
شکل ۳- توزیع مقالات پوستری و شفاهی به تفکیک دانشگاه و صنعت



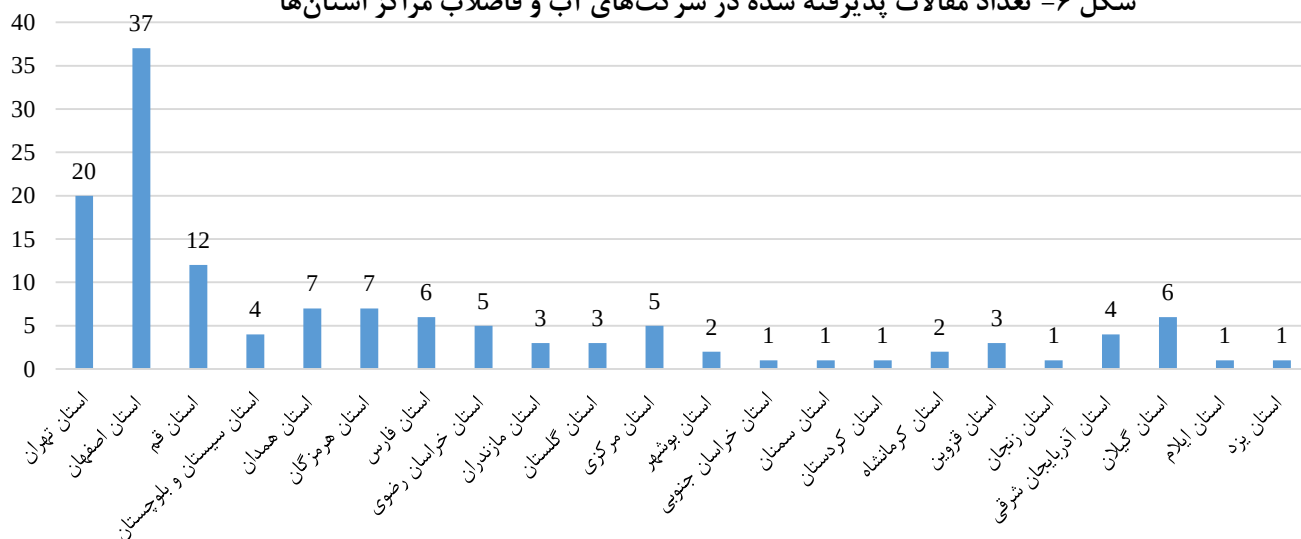
شکل ۴- توزیع مقالات پذیرفته شده شفاهی و پوستری



شکل ۵- توزیع مقالات پذیرفته شده به تفکیک تحصیلات



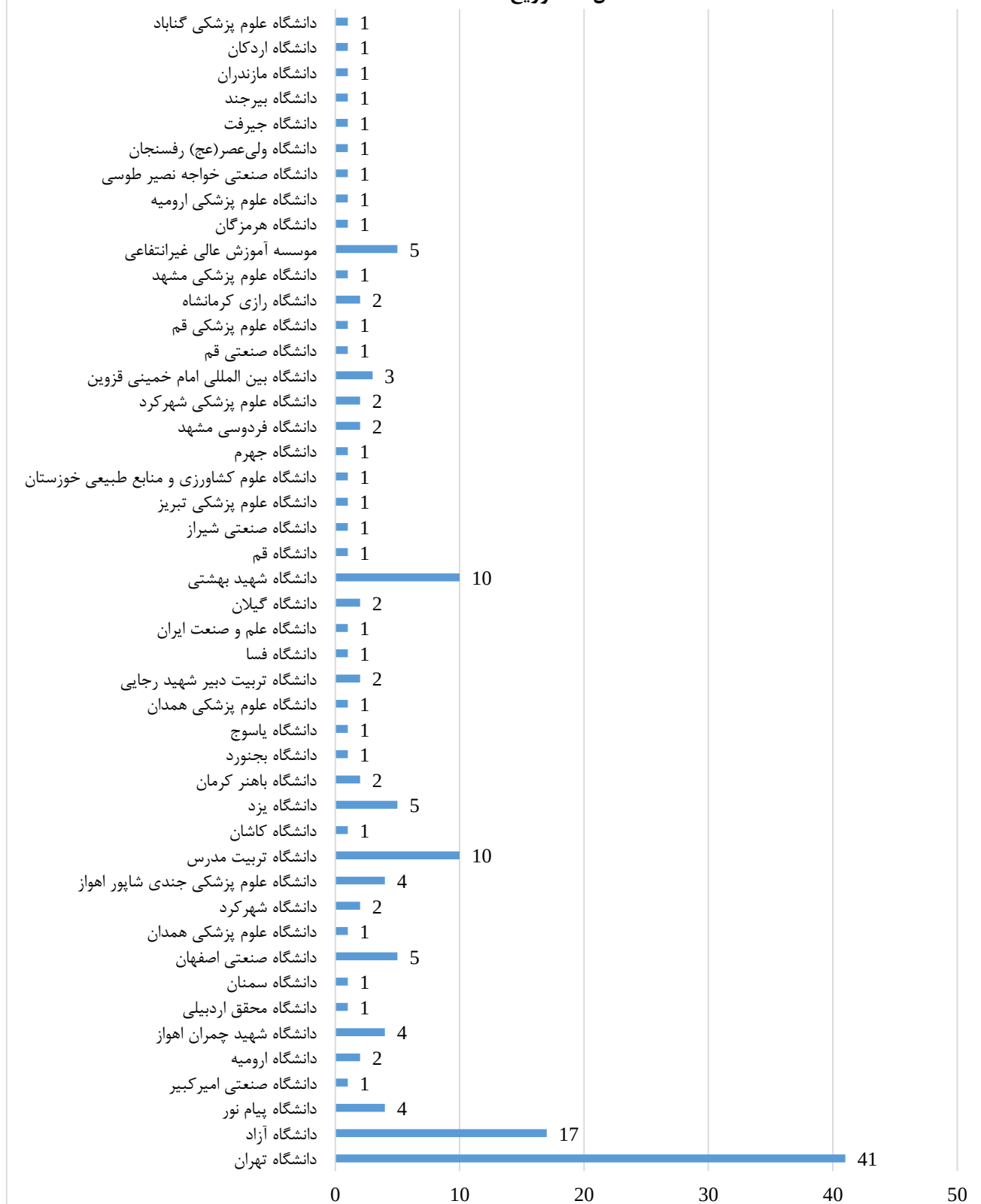
شکل ۶- تعداد مقالات پذیرفته شده در شرکت های آب و فاضلاب مراکز استان ها



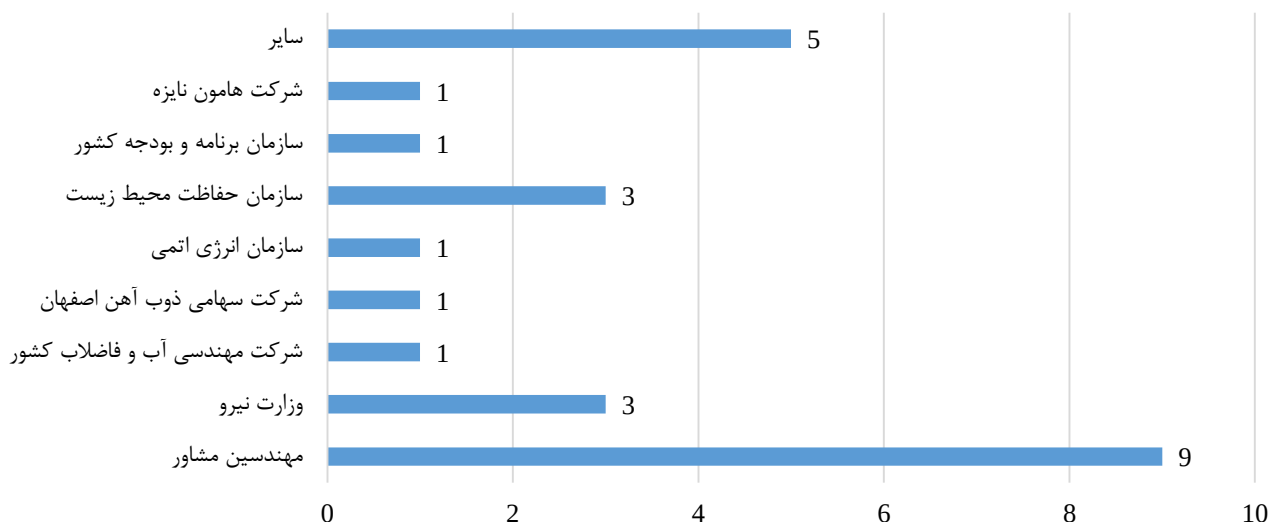
شکل ۷- توزیع مقالات وزارتخانه‌ها



شکل ۸- توزیع مقالات دانشگاه‌ها



شکل ۹- توزیع مقالات شرکت‌ها و سازمان‌ها



هيئت داوران:

هيئت داوران شامل بيش از ۵۳۰ نفر بود كه حدود ۹۰ درصد آن‌ها از بين اساتيد دانشگاه‌هاى سراسر كشور و بقيه از بين متخصصين سازمان‌ها و ادارات دولتي و يا از متخصصين بخش خصوصى اعم از شركت‌هاى مشاور و يا پيمانكارى سراسر كشور انتخاب شدند. هر مقاله به‌طور ميانگين براى ۵ داور ارسال شد.

مراسم افتتاحيه:

در ابتداى مراسم آقای دکتر ناصر مهردادى دبیر محترم همایش گزارشی از فعاليت‌هاى انجام شده در ۱۱ ماه گذشته در دبیرخانه همایش را ارائه دادند. سپس آقای دکتر مهدى فکور معاون پژوهشى دانشگاه تهران ضمن خوش‌آمدگويى به كليه حضار، به معرفى دانشگاه تهران و فعاليت‌هاى ارزنده آن در حوزه مهندسى آب و فاضلاب پرداختند. در ادامه آقای دکتر مسعود تابش، رئيس هيئت مديره انجمن آب و فاضلاب ايران، گزارشى از فعاليت‌هاى انجمن و برنامه‌هاى آتى آن را ارائه و ويژگي‌هاى همایش‌هاى انجمن را تشریح کردند. اولین سخنران كلى همایش جناب آقای دکتر على سلاجقه معاون رئيس جمهور و رئيس سازمان حفاظت محيط زيست بودند كه ضمن ارائه وضعيت محيط زيست و منابع آب و آب و فاضلاب در كشور، پيشرفت‌هاى انجام شده و چالش‌هاى اين حوزه را برشمردند. در قسمت پايانى مراسم افتتاحيه نيز دو سخنران كلى از خارج از كشور به‌شرح زیر آخرين دستاوردهاى علمى روز را در حوزه آب و فاضلاب ارائه کردند.

1- Professor Dragan Savic (KWR Water, University of Exeter and Universiti of Kebangsaan, Malaysia)

2- Dr Itzel Marquez (Central Michigan University)

نشست‌هاى تخصصى

ردیف	عنوان نشست	اعضای نشست
۱	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردى در مقابله با تنش آبی کشور: از واقعیت تا حقيقت	دکتر عباس اکبرزاده، مهندس حميدرضا كشفى، دکتر بنفشه زهرايى، دکتر محسن نصرتى و دکتر اصغر جهانى
۲	رويكردهاى برنامه ايمنى آب	مهندس كوشيار اعظم واقفى، دکتر نعمت الله جعفرزاده حقيقى فرد، مهندس غلامرضا شقاقى، دکتر ميترا قاسم شربيانى، مهندس جواد حسن نژاد و دکتر حامد محمدى
۳	نقش اقتصاد در مديريت مصرف آب	دکتر سيد حسين سجادى فر، دکتر مرتضى تهامى پور، دکتر ناصر خيابانى، دکتر على مزيكى، دکتر جمال محمدولى سامانى و دکتر حبيب مروت

اولين نشست تخصصى در روز اول بعد از سخنرانى افتتاحيه برگزار شد. نشست دوم در روز اول همایش پيش از ارائه مقالات شفاهى و نشست سوم نيز صبح روز دوم برگزار شدند. در ظهر روز اول نيز برنامه كلىنيك صنعت به شرح زیر برگزار شد.

برنامه کلینیک صنعت

موضوع	متخصصان
شبکه‌های توزیع آب و کاهش هدررفت	دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، دکتر عبدالمهدی میرسپاسی، دکتر کاوه حریری اصل و مهندس حمیدرضا هنری
کیفیت آب	دکتر باغبان، دکتر بغدادی، مهندس واقفی و مهندس قنادی
بازیافت آب	دکتر مجتبی فاضلی و دکتر نایب

مراسم اختتامیه:

در این مراسم ابتدا سخنرانی کلیدی خانم دکتر لیلا کریمی از دانشگاه آریزونا ارائه و سپس گزارش علمی همایش توسط آقای دکتر نیک‌سخن، دبیر علمی، همایش ارائه شد. آن‌گاه آقای دکتر تابش رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب در خصوص برنامه و فعالیت‌های انجمن برای انتخاب پیشکسوت برگزیده، پایان‌نامه برتر و داوران برگزیده نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب توضیح دادند. سپس برگزیدگان این سه بخش که توسط انجمن آب و فاضلاب ایران انتخاب شده‌اند به شرح زیر معرفی شدند. هم‌چنین پیام ویدئویی پیشکسوتان برگزیده نیز پخش شد.

پیشکسوتان برگزیده دانشگاه و صنعت



مهندس ستار محمودی (وزارت نیرو)



دکتر علی اکبر عظیمی (دانشگاه تهران)

برندگان ششمین دوره مسابقه پایان‌نامه برتر (سال ۱۴۰۰)

مقطع	رتبه	نام و نام خانوادگی	عنوان پایان‌نامه	استاد راهنما	دانشگاه	دانشکده	سال دفاع
کارشناسی ارشد	۱	بهاره بیگ‌زاده	مقایسه و بهینه‌سازی حذف ۲-۴-دی‌کلرو فنوکسی‌استیک اسید با استفاده از جاذب‌های کربن فعال، نانولوله‌های کربنی چند دیواره و بیوچار در سیستم ناپیوسته با استفاده از روش سطح پاسخ	دکتر مهدی بهرامی و دکتر محمدجواد امیری	فسا	کشاورزی	۱۳۹۶
	۱	سیدعلی حسینی	حذف کروم از محیط‌های آبی با استفاده از زایدات واحدهای پرورش زنبور عسل و پر پرندگان و اصلاح آن توسط پوشش‌های پلیمری	دکتر مجید ریاحی سامانی	آزاد اسلامی واحد خمینی‌شهر	مکانیک عمران و معماری	۱۳۹۹
	۳	رقیه مصطفی‌لو	بررسی کارایی اکسیداسیون فتوکاتالیستی آنتی‌بیوتیک‌های سفکسیم و سیپروفلوکساسین از محیط‌های آبی با استفاده از فتوکاتالیست BiFeO_3 به روش سطح پاسخ (RSM)	دکتر مهدی اسدی قالهری	دانشگاه علوم پزشکی قم	بهداشت	۱۳۹۸
دکتری	۱	سلیمان مصلح	تشدید فرآیند تخریب فوتوکاتالیستی در تصفیه آب و پساب با استفاده از بستر آکنده دوار	دکتر محمود رضا رحیمی	یاسوج	نفت و گاز گچساران	۱۳۹۶
	۲	امیرمصطفی امیرجانی	ساخت حسگرهای پلاسمونیک بر پایه نانوذرات نقره برای اندازه‌گیری یون‌های سرب و جیوه	دکتر داود حق‌شناس فتمه‌سری	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	مهندسی مواد و متالورژی	۱۳۹۸
	۳	فرزانه مرادینیا	تهیه نانوکامپوزیت‌های کروم و منگنز و کاربرد آن‌ها در حذف رنگ و سنتز آلی	پروفسور علی رمضانی	زنجان	علوم گروه شیمی	۱۳۹۹

برندگان مقالات برتر

ردیف	محور	عنوان مقاله	نویسندگان	محل
۱	کیفیت	ارزیابی خطر سیستم تأمین آب براساس برنامه ایمنی آب سازمان بهداشت جهانی: مطالعه موردی تالش، ایران	امین کیشی پور و رحیم عالی	دانشگاه علوم پزشکی قم
۲		مدلسازی و بهینه سازی فرآیند انعقاد الکتریکی برای تصفیه آب توسط دینامیک سیالات محاسباتی	سالار سلمانی پور اول؛ محمدحسین صرافزاده و علی اکبری	دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تهران و دانشگاه سهند
۳		حذف الکتروشیمیایی همزمان نیترات و کروم از محلول آبی با استفاده از کاتد فوم نیکل اصلاح شده با نانو ذرات پالادیوم و قلع	سمیه حسنلو؛ بهنوش امین زاده و مجید بغدادی	دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
۴		پایش مولکولی فرایند حذف ویروس ها با استفاده از روش نوین تغلیظ فیلتراسیون و روش Real time PCR در تصفیه خانه آب اصفهان	پیمان عطا بخش و اسماعیل گرجی زاده	آب و فاضلاب اصفهان
۵	هدررفت	توسعه یک رویکرد مبتنی بر کالیبراسیون بهینه سازی برای مکان یابی نشت های یک شبکه آبرسانی با در نظر گیری عدم قطعیت ضرایب زبری لوله ها	رضا معاشری؛ محمدرضا جلیلی قاضی زاده؛ محمد رضا تشیعی؛ پریسا منوچهری و احمد محمودی سوره	دانشگاه شهید بهشتی و آب و فاضلاب منطقه ۱ تهران
۶		تشخیص نشت و شکست درون شبکه توزیع آب با استفاده از روش فیلتراسون	فرشید رشیدی و کورش حجازی	دانشگاه خواجه نصیر
۷		بررسی نقش تعویض کنتورهای خانگی در کاهش هدررفت ظاهری مطالعه موردی (منطقه ۳ آب و فاضلاب اصفهان)	زهره عبدالله قاضی و نسیم بارانی	آب و فاضلاب اصفهان
۸		ارائه چارچوب در بررسی عملکرد سیستم های نگهداری و تعمیرات شرکت های آب و فاضلاب	رضا شهرجردی	دانشگاه بین المللی امام خمینی، مرکز آموزش عالی بویین زهرا
۹	مدیریت مصرف	بررسی تأثیر شیرهای کنترل کننده جریان ماریک بر مدیریت مصرف مشترکین (مطالعه موردی مشترکین آب و فاضلاب یزد)	مسعود یوسفی؛ سید مجتبی عظیمی و سیاوش پاکدل	آب و فاضلاب یزد
۱۰		بررسی چالش های مشترکین آب و فاضلاب در حوزه مدیریت مصرف	آسیه عباسی ناصرو؛ ساسان فرج پور لار و عظیمه مظفری	آب و فاضلاب شیراز
۱۱		تحلیل همزمان مصرف ماهانه آب، دمای هوا و فشار شبکه آبرسانی با استفاده از توابع کوپلا، مطالعه موردی: منطقه یک شهر اصفهان	محمدحسین کیخسروی؛ حمیدرضا صفوی؛ محمدحسین گل محمدی و محمد هیثم کلاهو	دانشگاه صنعتی اصفهان
۱۲		بررسی عوامل اجتماعی- فرهنگی مرتبط با مصرف آب در بین شهروندان شهر یزد	مهربان پارسامهر و زهرا فلک الدین	دانشگاه یزد
۱۳	بازیافت	بازیافت بیوانرژی از تصفیه فاضلاب صنعتی نوشابه سازی با استفاده از پیل سوختی میکروبی دو محفظه ای	فرح راشدی؛ ناهید نویدجوی؛ علی احمد آقاپور و مصطفی رحیم نژاد	علوم پزشکی ارومیه و بابل
۱۴		امکان سنجی استفاده مجدد از پساب تصفیه خانه فاضلاب صنعتی با روش فیلتراسیون مستقیم، مطالعه موردی: تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی بهار همدان	عبدالمطلب سیدمحمدی؛ قربان اصغری؛ علیرضا رحمانی و فائزه چلیچی	علوم پزشکی همدان
۱۵		تهیه و شناسایی نانو کامپوزیت جدید از چارچوب فلز آلومینا برپایه مس، کربن فعال گیاهی AC/HKUST-1 و کاربرد آن به عنوان جاذب سرب	پریا سلیمانی ابهری؛ فرانک منطقی و هادی عسگری	دانشگاه تربیت مدرس
۱۶		موانع و تسهیل کننده های پذیرش عمومی استفاده مجدد از آب	فاطمه حسن زاده محمدی؛ زهره رهایی؛ محمدتقی قانعیان؛ محمد حسن احرام پوش؛ سارا جام برسنگ و سید وحید غلمانی	دانشگاه علوم پزشکی و آب و فاضلاب یزد

کارگاه‌های آموزشی

ردیف	عنوان کارگاه	مدرس
۱	کاربرد شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار GPS-X در مراحل طراحی، بهره‌برداری و ارتقای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	مهندس سید مهدی قاسمی
۲	استفاده از مدل‌های EPANET و SWMM در برنامه‌نویسی به زبان‌های Python و MATLAB به منظور اجرای الگوریتم‌های بهینه‌سازی	دکتر حامد توکلی‌فر
۳	ارزیابی اثربخشی تصمیمات گروهی و سازمانی در برنامه‌ریزی‌های مربوط به اصلاح و بازسازی شبکه‌های توزیع آب شهری	دکتر ستار صالحی
۴	مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز و تحلیل سیلاب با استفاده از قابلیت‌های جدید مدل HEC-HMC (نسخه 4.8)	دکتر حامد توکلی‌فر
۵	ملاحظات طراحی و انتخاب تجهیزات تابلوهای فرمان الکتروپمپ‌ها و طراحی تابلوهای ترکیبی با سیستم تله‌متری	مهندس غلامرضا مهرنوش
۶	نگهداری و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی در نرم‌افزار WATERGEMS	مهندس محمدامین غیبی
۷	تبیین مدل‌های شاخص تاب‌آوری در صنعت آب و فاضلاب (نمونه‌های بین‌المللی) و طرح‌ریزی در شهر تهران	دکتر سعید بشیری همراه با اعضای هسته پژوهشی تاب‌آوری کمیته آب پژوهشکده مطالعات فناوری ریاست جمهوری
۸	اصول طراحی و ساخت سیستم‌های DAF شناورسازی با هوای محلول	دکتر علیرضا بازارگان
۹	تصفیه فاضلاب، بازچرخانی و بازیافت آب در صنعت	دکتر حسین نایب و دکتر مجتبی فاضلی
۱۰	مدیریت اقدام در چارچوب برنامه بهره‌وری آب	مهندس کاوه جمالی و مهندس محمدحسن لیائی
۱۱	های نوین ستاد نانو در صنعت آب و فاضلاب، معرفی و کاربرد تکنولوژی	مهندس عارف دادگستر
۱۲	طراحی معماری و هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	دکتر مسعود طاهریون
۱۳	ارتقای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با فناوری‌های نوین	دکتر مسعود طاهریون
۱۴	مقایسه عملکرد لوله‌های چدن و پلی‌اتیلن در طول چرخه عمر	مهندس علیرضا صحاف امین، مهندس احسان ثابتی، دکتر کاوه رجبی و مهندس سهراب حنایی
۱۵	معرفی برنامه ایمنی فاضلاب	مهندس غلامرضا شقاقی
۱۶	از پساب تا آب دمین: تجربه طراحی و اجرای تصفیه‌خانه بازاستفاده از پساب صنعتی برای تولید آب دمین در گروه مینا	سینا جوربندیان و مهدی فهیمی راد
۱۷	کاهش حجم لجن در تصفیه‌خانه فاضلاب (همراه با ارائه دستاوردهای مطالعاتی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد)	دکتر شروین جمشیدی

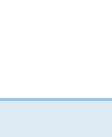
نمایشگاه مجازی:

نمایشگاه مجازی این همایش در غرفه‌های مجازی متعدد به صورت مجازی در اسکای روم برگزار شد. شرکت‌کنندگان در نمایشگاه مجازی عبارت بودند از: شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا، شرکت هامون نایزه، شرکت سروآب انرژی، انجمن آب و فاضلاب ایران، شرکت آبتین پارسیان پیشرو آپادانا، شرکت رعد آب، شرکت آذرسیماب، شرکت آبسان زلال، شرکت فنی مهندسی سپهر کویر فرداد، شرکت مجتمع صنعتی طلایه مشهد.

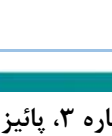
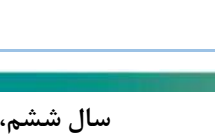
حامیان معنوی و علمی همایش

				
وزارت نیرو	وزارت علوم، تحقیقات و فناوری	وزارت صنعت، معدن و تجارت	سازمان حفاظت محیط زیست	اتحادیه انجمن‌های علوم آب
				
دانشگاه تهران موسسه آب	پژوهشکده زیست فناوری شریف	دانشگاه شهید بهشتی	وزارت جهاد کشاورزی	دانشگاه الزهرا

حامیان مالی همایش

					
شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	مجمع فولاد مبارکه	شرکت معدنی و صنعتی چادرملو	مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا	بنیاد برکت	شرکت هامون نایزه
					
شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی	شرکت آب و فاضلاب استان یزد	شرکت آبساران	شرکت سروآب انرژی	شرکت دریارود جنوب	شرکت آذر سیماب
					
شرکت آب و فاضلاب استان همدان	مهندسی مشاور پارس آراین آب	شرکت آب و فاضلاب مشهد	شرکت بهینه طراحی پرشیا	شرکت آب و فاضلاب استان قزوین	شرکت بهینه کاران
					
شرکت فنی مهندسی سپهر کویر فرداد	شرکت آبسان زلال	شرکت رادین گستر سینا	شرکت آبتین پارسیان پیشرو آپادانا	مهندسی مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	شرکت رعد آب
					
	شرکت مهندسی مشاور آبران	شرکت بلندای صنعت جهان افراز	مجمع صنعتی طلایه مشهد	شرکت تهران زیست و همکاران	شرکت صنعتی سالم آب

حامیان رسانه‌ای همایش

					
مرجع علمی و اطلاع رسانی کنفرانس‌ها					
					
کنفرانس‌جو					
					

عبداله درگاهی، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی اردبیل	
دکتر عبداله درگاهی در ۲۲ بهمن ماه ۱۳۶۳ در روستای اودلو (از توابع استان اردبیل) متولد شد. تحصیلات ابتدایی و راهنمایی را در روستای اودلو و تحصیلات متوسطه را در دبیرستان نمونه دولتی شهید حامدی شهرستان گرمی (از توابع استان اردبیل) گذراند. در بهمن سال ۱۳۸۲ در رشته بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اردبیل قبول شد. دوره کارشناسی را در دانشگاه علوم پزشکی گیلان، دوره کارشناسی ارشد را در دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه و دوره دکتری تخصصی را در دانشگاه علوم پزشکی همدان در سال ۱۳۹۸ و در رشته مهندسی بهداشت محیط به اتمام رساند. در اسفند سال ۱۳۹۸ به عنوان عضو هیئت علمی در مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت (SDH) دانشگاه علوم پزشکی اردبیل مشغول شد. وی در طی دوران تحصیل و همچنین در حال حاضر مشغول فعالیت های علمی، پژوهشی و آموزشی در زمینه آب و فاضلاب در دانشگاه ها و سازمان های مختلف نظیر آب و فاضلاب، آب منطقه ای و محیط زیست هستند. ایشان افتخارات مختلفی نظیر جایزه پسا دکتری شهید چمران از بنیاد ملی نخبگان، استعداد درخشان پژوهشگر برتر از طرف وزارت بهداشت، عضو مرکز رشد استعداد درخشان دانشگاه علوم پزشکی همدان، رتبه اول پژوهشگری در نوزدهمین و بیستمین جشنواره پژوهش و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان، جایزه شناسایی دانش آموختگان برتر و جایزه شناسایی شهید تهرانی مقدم بنیاد ملی نخبگان و غیره را نیز کسب نموده است.	

محمدهادی مهدی نژاد، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی گلستان	
محمدهادی مهدی نژاد از سال ۱۳۷۰ در دانشگاه علوم پزشکی گلستان و در مرکز بهداشت و معاونتی بهداشتی استان و از سال ۱۳۸۰ تحت عنوان هیئت علمی در دانشکده بهداشت مشغول به کار بوده است. مدارک کاردانی و کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه های علوم پزشکی ایران و تهران و مدرک دکتری خود را از دانشگاه علوم پزشکی اصفهان اخذ نموده است. در طی این دوران تحت عناوین مختلف معاون آموزشی، معاون پژوهشی و همچنین قائم مقام ریاست دانشکده بهداشت انجام وظیفه نموده و اکنون به عنوان رئیس مرکز تحقیقات بهداشت محیط و عضو هیئت علمی مشغول به کار است. در سال ۱۳۹۳ دوره فلوشیپ را در مورد خطرات شیرابه در مکان های دفن مواد زائد جامد در کشور سوئد در دانشگاه کالمار گذرانده است. علاقه تحقیقاتی وی در مورد تصفیه آب با تاکید بر فرایندهای انعقاد، لخته سازی و ته نشینی و کاربرد منعقد کننده های مختلف در مورد تصفیه آب و همچنین مواد زائد جامد است. طی این دوران چندین طرح تحقیقاتی و پایان نامه تصویب و اجرا شده و به دنبال آن مقالات مختلفی در زمینه کیفیت آب، تصفیه آب و مواد زائد جامد در مجلات فارسی و انگلیسی چاپ کرده است.	

علی عمارلویی، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی ایلام	
دکتر علی عمارلویی متولد ۱۳۴۸ در نیشابور، دکتری مهندسی بهداشت محیط و عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام بوده و از سال ۱۳۹۴ به عنوان رئیس دانشکده بهداشت این دانشگاه مشغول به خدمت است. ایشان مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد را از دانشگاه علوم پزشکی تهران و مدرک دکتری خود را از دانشگاه تربیت مدرس دریافت نمودند. از افتخارات ایشان انتخاب به عنوان کارشناس استثنائی آب و فاضلاب جنوب غرب استان تهران در سال ۱۳۷۶، استاد نمونه دانشگاه در سال ۱۳۸۹، استاد برتر دانشکده بهداشت در سال ۱۳۹۹، پژوهشگر برتر دانشکده بهداشت در سال های ۱۳۸۴، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹، رتبه اول فرایند برتر در حیطه طراحی و تولید در دهمین جشنواره شهید مطهری در سطح دانشگاه علوم پزشکی ایلام در سال ۱۳۹۶، رتبه برتر کیفیت آموزش در دانشگاه در سال ۱۳۹۷ و رئیس دانشکده نمونه دانشگاه در سال ۱۳۹۸ است.	

	 گوه‌صیفا شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات می‌نا	 HANYCO
 شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	 آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir	 وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی
 مهندسی برق و الکترونیک	 بنیاد برکت ستاد اجرایی فرمان حضرت امام (ره)	 AZAR SIMAB Private Joint Stock Co.
 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب مشهد	 ABSUN ZOLAL SUSTAINABLE & CREATIVE SOLUTIONS	 مهندسين مشاور آبساران
 شرکت آب و فاضلاب استان قزوین	 شرکت آب و فاضلاب استان یزد Yazd Water and Wastewater Co. www.AbfaYazd.ir	 MARAM شرکت مدیریت راهبردی ابنیه مهندسی (مزام)
 شرکت آب و فاضلاب شیراز	 مهندسین مشاور پارس آبی آب	
 شرکت آب و فاضلاب کابل	 وزارت نیرو شرکت مدیریت منابع آب ایران شرکت سهامی آب منطقه ای فارس	 شرکت آب و فاضلاب جنوبی استان تهران
 مهندسین مشاور پارس سراسر سبلد انجمن مهندسان	 شرکت آب و فاضلاب استان تهران Tehran Province Water & Wastewater	 فراسان
 بنیاد علمی آموزش فنی	 مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	 تصفیه پارس Pars Advanced Treatment

 سازمان انرژی اتمی ایران	 شرکت پلیمر آریا ساسول ARYA SASOL POLYMER COMPANY سهام خاص	 بنیاد فرشچی مصطفی شیراز
	 Mobarakeh Steel Co.	 شرکت پتروشیمی غدیر Ghadeer Petrochemical Company (Private Joint Stock)
 FAPCO شرکت فرایند ارقام پرداز	 شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲ Water and Wastewater Company District 2 of Tehran	 فومن شیمی
 ستاد اجرایی فرمان حضرت امام	 شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی www.abfamarkazi.ir	 ZOLAL IRAN Co. شرکت زال ایران
 TALAYEH	 BOLANDA Automatic faucets	 Hapico مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست
 SafBon	 Hapico شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company	 APDA استان پارس استان پارس
 Mahd مهندسين مشاور داهه	 Mahd مهندسين مشاور داهه	 Mahd مهندسين مشاور داهه
 Mahd مهندسين مشاور داهه	 Mahd مهندسين مشاور داهه	 Mahd مهندسين مشاور داهه
 Padiab Tazeh پادیاب تجهیز	 NIKA International Inspection Services	

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکننده	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
دوازدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه	دانشگاه شهید چمران اهواز، سازمان آب و برق خوزستان	اهواز	۴ تا ۶ بهمن ۱۴۰۰	http://ireconf.scu.ac.ir/fa/
پنجمین کنفرانس بین‌المللی توسعه فناوری علوم آب، آبخیزداری و مهندسی رودخانه	انجمن مدیریت و مهندسی، توسعه فناوری	تهران	۳۰ بهمن ۱۴۰۰	http://weng.bcnf.ir/
سیزدهمین کنگره ملی مهندسی عمران	دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان	اصفهان	۲۰ و ۲۱ اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۱	http://www.13ncce.ir/

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
LET2022- The 17th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies	Reno, Nevada, USA	27 March – 2 April 2022	http://iwa-let.org/
7th Young Water Professionals BeNeLux Conference 2022	Delft, Netherlands	4 – 6 April 2022	https://ywpbenelux.ugent.be/
Wastewater, Water and Resource Recovery Conference	Poznan, Poland	10 – 13 April 2022	http://wrr.put.poznan.pl/
Singapore International Water Week 2022	Singapore, Singapore	17 – 21 April 2022	https://www.siww.com.sg/
9th Leading Edge Conference for Strategic Asset Management (LESAM 2022)	Bordeaux, France	12 – 14 May 2022	https://lesam2022.colloque.inrae.fr/
6th IWA YWP México 2022	Culiacán Sinaloa, Mexico	23 – 27 May 2022	https://6thconference.iwa-ywp.mx/es_MX
12th Micropol and Ecohazard Conference	Santiago de Compostela, Spain	6 – 10 June 2022	https://micropol2022.org/
Water Loss 2022	Prague, Czech Republic	19 – 22 June 2022	https://waterloss2022.org/
17th IWA World Congress on Anaerobic Digestion	Ann Arbor, Michigan, USA	19 – 23 June 2022	https://www.iwa-ad17.org/
International Conference for Water Safety Planning 2022	Narvik, Norway	22 – 24 June 2022	http://www.watersafety2022.org/
3rd IWA Disinfection and Disinfection By-Products Conference	Milan, Italy	27 June – 1 July 2022	https://www.disinfectiondbps2022.polimi.it/
13th IWA Specialist conference on Wastewater Ponds and Algal Technologies	Melbourne, Australia	3 – 6 July 2022	https://www.globalwaterinstitute.unsw.edu.au/WPAT22
14th International Conference on Hydroinformatics	Bucharest, Romania	4 – 8 July 2022	https://hic2022.utcb.ro/
New date: The 10th International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	St. Louis, Missouri, USA	10 – 13 July 2022	https://mtc2022.wustl.edu/
IWA World Water Congress & Exhibition 2022	Copenhagen, Denmark	11 – 15 September 2022	http://www.worldwatercongress.org/
13th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation	Beijing, China	11 – 15 October 2022	https://iwa-network.org/events/13th-iwa-conference-on-instrumentation-control-and-automation/

رديف	رویداد	موضوع (ارائه دهنده)	لينک آپارات
۱	وبینارهای تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب؛ (دکتر عبدالله رشیدی)	https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845
		راه کارهای بهبود کیفیت پساب برکه‌های تثبیت فاضلاب؛ (دکتر حسین ساسانی)	https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=28327448
		مروری بر ظرفیت‌های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه آب کشور؛ (دکتر مجتبی شفيعی)	https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530
		نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی؛ (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237
		مدیریت شورابه‌های ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی با تاکید بر فناوری‌های ZLD؛ (دکتر عباس اکبرزاده)	https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968
		چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب؛ (دکتر مسعود یونسین، مهندس سلیمه رضایی‌نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673
		ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری قابلیت‌ها و محدودیت‌ها؛ (دکتر کوروش بهزادبان)	https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803
		سواد آبی در جوامع شهری؛ (دکتر شروین جمشیدی)	https://www.aparat.com/v/FpCY?playlist=34242002
		تأثیرات شرایط اقلیمی بر روی ظرفیت شبکه‌ها و شکست؛ (دکتر احسان روشنی)	https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047
		ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA)؛ (مهندس هانیه صفریپور)	https://www.aparat.com/v/W8P7J?playlist=35547113
		کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب؛ (دکتر سیدحسین سجادی فر)	https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652
		توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با رویکرد تمرکززدایی؛ (دکتر علی حقیقی)	https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753
		نقشه‌راه برای ارتقای شبکه‌های آبرسانی موجود به هوشمند؛ (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090
		وبینار تخصصی مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب؛ (دکتر مسعود تابش)	https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690
		وبینار آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط‌زیست و بهداشت محیط؛ (دکتر رحیم عالی)	https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474
۲	نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	بررسی ۲۵،۰۰۰ مقاله محیط‌زیست برای یافتن داغترین موضوعات تحقیقاتی؛ (دکتر علیرضا بازارگان)	https://www.aparat.com/v/hwC9l?playlist=39248099
		وبینار توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور لحاظ دریاچه‌ها و مخازن؛ (دکتر شروان قراری)	https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537
		مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در ژاپن؛ (دکتر یحیی محزون)	https://www.aparat.com/v/epxDt
		سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035
		تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320
		هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526
		بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران	https://www.aparat.com/v/ISgM7?playlist=31219788
		چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب	https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111
۳	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب	https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646
		استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری	https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246
۴	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۳۹۸)	چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آبی نیرو در حوزه آب	https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054
			https://www.aparat.com/v/V7BNT?playlist=878354
۴	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۳۹۸)		https://www.aparat.com/v/SHiuG?playlist=943170



مهلت ارسال ایده

~~۳۰ آذرماه ۱۴۰۰~~

۳۰ دی ماه ۱۴۰۰

"فراخوان سومین دوره ایده‌های کاربردی در علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران"



انجمن آب و فاضلاب ایران با مشارکت کمیته‌های تخصصی خود از ایده‌های برتر در محورهای زیر با **اعطای جوایز**

نفیس و چاپ در مجله علمی "علوم و مهندسی آب و فاضلاب" حمایت مادی و معنوی می‌نماید.

موضوع ۳



راهکارهای بهره‌وری لجن
حاصل از تصفیه‌خانه‌های
آب



موضوع ۲



استحصال و استفاده از آب
باران در مصارف غیر شرب
خانگی



موضوع ۱



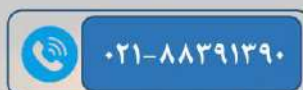
روش‌های خلاقانه
اندازه‌گیری و قرائت صحیح
مصرف آب مشترکین



علاقتمندان می‌توانند ایده‌های خود را در فرمت اعلام شده با ذکر جزئیات، تشریح و از طریق ایمیل ارسال کنند.



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





دومین دوره المپیاد آب و فاضلاب



یادواره دکتر محمدتقی منزوی

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

❖ گزینه اول: طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های آب، فاضلاب و آب سطحی

❖ گزینه دوم: فرآیندهای تصفیه، طراحی و بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

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

هزینه ثبت نام
اعضای انجمن: ۵۰ هزار تومان
سایرین: ۸۰ هزار تومان

آخرین مهلت ثبت نام: ۳۰ دی ماه

نحوه و زمان برگزاری
مرحله اول: به صورت تستی (آنلاین)

۷ بهمن ماه

مرحله دوم: به صورت تشریحی
(متعاقباً اعلام می شود)



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

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

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

حق عضویت اعضای حقیقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ (به ازای هر سال)	۵۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۴۰۰ - ۱۴۰۱)	۱۴۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۰ - ۱۴۰۳)	۲۵۰۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۰ - ۱۴۰۱)	۱۰۰۰۰۰۰

حق عضویت اعضای حقوقی

نوع شرکت	حق عضویت سالانه (ریال)
کوچک	۴۵۰۰۰۰۰
متوسط	۹۰۰۰۰۰۰
بزرگ	۱۵۰۰۰۰۰۰

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۲۵۰۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۲۵۰۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۵۰۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۸۰۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شب: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۰۱۲-۶۲۵۶

بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) به نام انجمن آب و فاضلاب ایران
لطفا اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن (info@irwwa.ir) ارسال فرمایید.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

مزایای عضویت					عضویت حقیقی			عضویت حقوقی (شرکت‌ها)		
					پایسته	وابسته	کوچک	متوسط	بزرگ	
تخفیف شرکت در کنفرانس‌های انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن					-	-	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن					-	-	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	
تخفیف خرید مقاله از مجلات انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف خرید انتشارات انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
امکان صدور معرفی‌نامه عضویت در انجمن					*	*	*	*	*	
اطلاع‌رسانی و امکان حضور در نشست‌ها، گردهمایی‌ها و کارگروه‌های انجمن					*	*	*	*	*	
دسترسی به اطلاعات سایت انجمن					*	*	*	*	*	دسترسی به مقالات بارگذاری شده در سایت
					*	*	*	*	*	دسترسی به آموزش‌های بارگذاری شده در سایت

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

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

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

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

❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

نام مؤسسه در بخش فارسی و انگلیسی منطبق بر نام مصوب و رایج مؤسسه است (نام رسمی مندرج در سربرگ رسمی مؤسسات،

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

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

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

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

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

❖ چکیده فارسی:

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

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

❖ متن مقاله:

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

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

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

❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

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

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

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

❖ معادلات:

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

❖ مراجع:

نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت (نویسنده، سال) عمل می‌شود و در انتهای مقاله مرجع‌نویسی به صورت الفبایی است. ارجاع در داخل متن به بیش از یک مرجع در کنار هم، به این صورت است که مراجع با نقطه ویرگول (؛) از هم جدا می‌شوند. فقط مراجعی که در متن مقاله به آن‌ها اشاره شده است، در بخش مراجع آورده می‌شوند. تاکید می‌شود که در بخش فهرست مراجع، نام مجله، انتشارات، موسسه، کنفرانس و غیره به صورت کامل درج می‌شود و از به کار بردن نام اختصاری آن‌ها (Abbreviation) خودداری می‌شود. در متن مقاله نیز نام نویسندگان مراجع فارسی (به صورت فارسی) و مراجع انگلیسی (به صورت انگلیسی) نوشته می‌شود. در صورتی که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی که بیش از دو نفر باشند، از عبارت (و همکاران) یا (et al.) در متن مقاله استفاده می‌شود.

❖ مقاله فارسی:

تابش، م.، بهبودیان، ص.، و بیگی، س.، (۱۳۹۳)، "پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب شرب (مطالعه موردی: شهر نیشابور)، تحقیقات منابع آب/ایران، ۱۰(۳)، ۱۴-۲۵. عنبری، م.، (۱۳۹۲)، "تحلیل ریسک سیستم‌های فاضلاب با استفاده از شبکه‌های بیزین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

❖ مقاله غیر فارسی:

Tabesh, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Rasi Faghihi, N., and Heydarzadeh, R., (2018), "Risk assessment of factors influencing Non-Revenue Water using Bayesian Networks and Fuzzy Logic", Water

❖ مقاله منتشر نشده:

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

❖ کتاب:

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

❖ بخشی از کتاب:

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

❖ موسسه به جای نویسند:

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

❖ مقالات کنفرانسی:

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

❖ پایان نامه:

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

❖ سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

با توجه به افزایش شدید هزینه‌های انتشارنشریه در سال‌های اخیر، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که به مجله ارسال می شود باید مبلغ یک میلیون ریال برای هزینه داوری و در صورت پذیرش مقاله نیز مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه انتشار به حساب انجمن واریز و فیش آن را به همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 6, No. 3, Autumn 2021

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

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

Concessionaire:	Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
Director-in-Charge:	Tabesh, M. (Ph.D.)
Editor-in-Chief:	Safavi, H.R. (Ph.D.)
Editorial Board:	Farmani, R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Exeter (UK) Giustolisi, O. (Ph.D.): Professor, University of Bari (Italy) Jalili Ghazizadeh, M.R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti Naseri, S. (Ph.D.): Professor, Tehran University of Medical Science Nazif, S. (Ph.D.): Associate Professor, University of Tehran Rashidi Mehrabadi, A. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti Safavi, H.R. (Ph.D.): Professor, Isfahan University of Technology Sajadifar, S.H. (Ph.D.): Tehran Water and Wastewater Engineering Company and Assistant Professor, Islamic Azad University Sarrafzadeh, M.H. (Ph.D.): Associate Professor, University of Tehran and Chairholder of UNESCO Chair on Water Reuse Savic, D. (Ph.D.): Professor, University of Exeter (UK) Tabesh, M. (Ph.D.): Professor, University of Tehran Takdastan, A. (Ph.D.): Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Science Talebbeydokhti, N. (Ph.D.): Professor, Shiraz University Tanyimboh, T. (Ph.D.): Associate Professor, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa Torabian, A. (Ph.D.): Professor, University of Tehran Vosoghi, M. (Ph.D.): Professor, Sharif University of Technology
Industrial Water and Wastewater Policy Council:	Ghane, A.A. (M.Sc.): Advisor of Managing Director, Iran National Water and Wastewater Engineering Company Ghannadi, M. (M.Sc.): Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water and Wastewater Engineering Company Honari, H. (M.Sc.): Retired Faculty Member, Tehran University of Medical Science Tabatabaei, A. (M.Sc.): Director General of Operational Supervising Office, Iran Water and Wastewater Engineering Company
Editorial Staff:	Akhtari, N.
Graphic Designer:	Shahangian, S.A.
Page Setting:	Akhtari, N.
English Editor:	Ostadrahimi, A.
Publisher:	Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
No. of Prints:	500
Address:	No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran
Tel:	+98 21 88956097
Fax:	+98 21 88391390
Print ISSN:	2588-3941
Online ISSN:	2588-396X
E-Mail:	info@jwwse.ir
Print:	Farshiveh





ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 6, No. 3, Autumn 2021

Preface	2
<u>Papers</u>	
Investigating Methods for Improving the Biogas Quality from Anaerobic Digestion Process Saba Keshtpour and Maryam Abbasi	4
Investigating Corrosion and Scaling Indices of Potable Water in City of Pardis Water Treatment Plant Farzanreh Faridirad and Masoomeh Gholinazhad	16
Evaluation of the Efficiency of the Sedimentation Unit Equipped with Baffle Plates in Removing Water Turbidity in Flood Conditions Abbas Hasani and Navid Nourbakhsh	25
Development of Multi-Criteria Risk Analysis Method for Applying Treated Wastewater in Various Uses Javad Shafiee Neyestanak, Abbas Roozbahani and Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh	36
Numerical Solution of Advection-Dispersion Equation using Mesh-free Petrov-Galerkin Method (Case Study: Murray Burn River) Zakie Gholami, Mehdi Yasi, Arezoo Nazi Ghameshlou and Mehdi Mazaheri	47
Reducing the Pressure Range and Creating a Compression Layers by Installing Pressure Relief Valves Abedin Sajedi	58
<u>General Section</u>	
Interview	67
Round-Table	70
Best Thesis	80
Book Presentation	82
IWWA News	84