



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

انجمن آب و فاضلاب ایران

۲ پیشگفتار (راهبردهای نوین شناسایی و کنترل آلودگی در شبکه‌های توزیع آب: از پایش لحظه‌ای تا هوش مصنوعی)
دکتر جعفر یزدی

مقالات علمی

۳ مروری بر روش‌های شناسایی سریع باکتری‌ها در آب و فاضلاب
مهدی اسدی

۱۵ جذب زیستی فلز سنگین نیکل توسط ریز جلبک *Chaetoceros sp.* از محلول‌های آبی
نسترن حاجیلی، مهناز سادات صادقی و فرناز رفیعی

۲۷ بررسی اثر لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بر کیفیت رنگ و عملکرد رشد گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)
آناهیتا رشتیان، سید محمد موسوی حسن آباد، آفاق تابنده ساروی و سید ابوالفضل وارسته

۳۷ ارزیابی عملکرد غشای سرامیکی در پیش تصفیه اسمز معکوس برای حذف ذرات معلق و مواد آلی از آب چاه
حنانه اصطبار و محمد صالح شفیعیان

۵۷ ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری در شبکه توزیع آب با استفاده از شاخص‌های انتخاب بهینه
محمد کاکش‌پور، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، سید عباس حسینی و احمد شرافتی

۷۰ تعیین سطح ریسک چاه‌های تأمین‌کننده آب مجتمع روستایی امام علی شهرستان مشهد به روش FMEA
سمانه مقرب الهی و هاشم کوچک‌زاده دندانساز

مطالب عمومی

۷۹ میزگرد (نشست علمی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها)

۹۰ پایان‌نامه برتر

۹۲ معرفی کتاب

۹۳ اخبار انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

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 علی حقیقی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر تیکو تانیمو: 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 جندی شاپور اهواز

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

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

دکتر دراگان ساویچ: استاد، دانشگاه اگزتر، لندن

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

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

بازیافت آب

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

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

دکتر راضیه فرمانی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان

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

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

دکتر جعفر یزدی: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

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

دکتر احمد سلامت: مشاور مدیرعامل و مدیرکل دفتر انرژی و سامانه‌های کنترل، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

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

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

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

ناهید اختری

ناهید اختری، دکتر سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

آدرس:

تلفن:

نمابر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:



شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

پیشگفتار (راهبردهای نوین شناسایی و کنترل آلودگی در شبکه‌های توزیع آب: از پایش لحظه‌ای تا هوش مصنوعی)...۲
دکتر جعفر یزدی

مقالات علمی

- ۳.....مروری بر روش‌های شناسایی سریع باکتری‌ها در آب و فاضلاب.....
مهدی اسدی
- ۱۵.....جذب زیستی فلز سنگین نیکل توسط ریز جلبک *Chaetoceros sp.* از محلول‌های آبی.....
نسترن حاجیلی، مهناز سادات صادقی و فرناز رفیعی
- ۲۷.....بررسی اثر لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بر کیفیت رنگ و عملکرد رشد گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*).....
آناهیتا رشتیان، سید محمد موسوی حسن آباد، آفاق تابنده ساروی و سید ابوالفضل وارسته
- ۳۷.....ارزیابی عملکرد غشای سرامیکی در پیش تصفیه اسمز معکوس برای حذف ذرات معلق و مواد آلی از آب چاه.....
حنانه اصطبار و محمدصالح شفیعیان
- ۵۷.....ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری در شبکه توزیع آب با استفاده از شاخص‌های انتخاب بهینه.....
محمد کاکش‌پور، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده، سید عباس حسینی و احمد شرافتی
- ۷۰.....تعیین سطح ریسک چاه‌های تأمین‌کننده آب مجتمع روستایی امام علی شهرستان مشهد به روش FMEA.....
سمانه مقرب الهی و هاشم کوچک‌زاده دندانساز

مطالب عمومی

- ۷۹.....میزگرد (نشست علمی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها).....
- ۹۰.....پایان‌نامه برتر.....
- ۹۲.....معرفی کتاب.....
- ۹۳.....اخبار انجمن.....



راهبردهای نوین شناسایی و کنترل آلودگی در شبکه‌های توزیع آب: از پایش لحظه‌ای تا هوش مصنوعی



دکتر جعفر یزدی

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست،
پردیس شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی و عضو
هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران

شبکه‌های توزیع آب یکی از زیرساخت‌های کلیدی در هر جامعه محسوب می‌شوند که برای رساندن آب سالم و مطلوب به مصرف‌کنندگان ایجاد شده‌اند. گستردگی این شبکه و نیاز همگانی به آن، سبب شده است تا در برابر عوامل ایجاد آلودگی - چه عمدی (به‌صورت خرابکاری) و چه غیرعمدی (مانند نفوذ آلاینده‌ها از طریق شکستگی‌ها) - شکننده و آسیب‌پذیر باشد. در بسیاری از نقاط جهان، رخداد آلودگی در شبکه توزیع آب هزینه‌های جانی و مالی سنگینی به‌دنبال داشته و لزوم پایش مداوم و مدیریت پیشگیرانه را دوچندان کرده است. اهمیت یافتن منبع آلودگی در شبکه‌های توزیع آب از آن‌جا ناشی می‌شود که هرگونه تأخیر در تشخیص و مهار این آلودگی‌ها می‌تواند پیامدهای جدی بر سلامت عمومی و اقتصاد جامعه داشته باشد. آب آشامیدنی یکی از حیاتی‌ترین نیازهای انسان است و هرگونه تغییر در کیفیت آن می‌تواند موجب گسترش بیماری‌های عفونی و همه‌گیری شود. از این‌رو، شناسایی سریع منشأ آلودگی در شبکه و جلوگیری از گسترش آن، افزون بر صیانت از سلامت جامعه، از تحمیل هزینه‌های سنگین بر سیستم‌های درمانی و اقتصادی کشور جلوگیری می‌کند.

برای کنترل سریع آلودگی در شبکه‌های توزیع آب، ابتدا لازم است از فناوری‌های پایش لحظه‌ای (آنلاین) کیفیت آب استفاده

شود. این فناوری‌ها با کمک حسگرهای چندپارامتری (شامل سنجش کلر باقی‌مانده، کدورت، هدایت الکتریکی و pH) امکان تشخیص تغییرات ناگهانی کیفیت آب را فراهم می‌کنند. در گام دوم، بهره‌گیری از روش‌های هیدرولیکی و مدل‌های هیدرودینامیک (نظیر EPANET) کمک می‌کند که با توجه به الگوی جریان، منبع یا منشأ احتمالی آلودگی در شبکه شناسایی شود. همچنین، اندازه‌گیری آزمایشگاهی میکروبی (با روش‌های متداول کشت باکتریایی یا روش‌های مولکولی سریع مانند Real-Time PCR) و تعیین نوع آلاینده‌ها گام مهم دیگری است تا تیم‌های عملیاتی بتوانند با اقدامات ضدعفونی‌کننده (تزریق کلر یا مواد گندزدا) و کنترل هیدرولیکی (بستن یا محدود کردن محدوده‌های آلوده) به شکل مؤثر از گسترش بیشتر آلودگی جلوگیری کنند.

در ایران نمونه‌های متعددی از حوادث آلودگی در شبکه‌های توزیع آب رخ داده است که می‌تواند زنگ هشدار برای ضرورت پایش دقیق‌تر باشد. به‌عنوان مثال، در سال‌های اخیر حادثه کدورت و آلودگی احتمالی میکروبی در شهرکرد به‌دلیل سیلاب‌ها و اختلال در منابع آب سطحی رخداد و سبب نگرانی جدی شهروندان شد. در برخی مناطق تهران نیز در مقاطعی، گزارش‌هایی از افت کلر باقی‌مانده و نگرانی از رشد باکتری‌های شاخص ارایه شد که با مدیریت سریع و تزریق به‌موقع مواد گندزدا، وضعیت پایداری به‌دست آمد. همچنین در شهرهای ساحلی ایران، به‌ویژه در استان‌های شمالی و جنوبی، ورود آلاینده‌های صنعتی و کشاورزی به منابع آب سطحی نیز از جمله مواردی بوده که سیستم توزیع را در معرض خطر قرار داده است. برای پیشگیری و کنترل بهتر این حوادث، تحقیقات نوینی در حال شکل‌گیری است. یکی از حوزه‌های جذاب، استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای مدل‌سازی و پیش‌بینی نقاط با ریسک بالاتر آلودگی است. در این روش، با تحلیل داده‌های حجیم (Big Data) ثبت‌شده از حسگرها و آزمایش‌های دوره‌ای، می‌توان الگوهای پنهان آلودگی را شناسایی و هشدارهای زودهنگام صادر کرد. همچنین، توسعه حسگرهای ارزان‌قیمت و کم‌مصرف برای استقرار گسترده در شبکه، استفاده از روش‌های تشخیصی سریع مانند سنجش آنلاین پارامترهای میکروبی یا ترکیبات آلی و حتی کاربرد فناوری‌های نانو برای حذف انتخابی آلاینده‌های خاص، از دیگر زمینه‌های تحقیقاتی رو به گسترش است. این تلاش‌های پژوهشی می‌تواند پشتیبانی قوی برای شرکت‌های آب و فاضلاب در شناسایی، پیشگیری و کنترل به‌موقع آلودگی در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی فراهم آورد.

Review Paper

مقاله مروری

Review of Rapid Identification Methods of Bacteria in Water and Wastewater

مروری بر روش‌های شناسایی سریع باکتری‌ها در آب و فاضلاب

Mahdi Asadi^{1*}

مهدی اسدی^{۱*}

1- M.Sc. of Environmental Health Engineering,
Kerman University of Medical Sciences and
Laboratory Expert of Water and Wastewater Company
of Shiraz.

۱- کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان و
کارشناس آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب شیراز

* Corresponding Author, Email: asadimhd@yahoo.com

* نویسنده مسئول، ایمیل: asadimhd@yahoo.com

Received: 10/01/2024

Revised: 23/04/2024

Accepted: 02/06/2024

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Microbial quality of water is of vital importance for the health of humans, animals and the environment. Water contaminated with pathogens can lead to serious health problems, such as the spread of water-borne diseases. Common methods based on microbial culture such as Multi-tube Fermentation, Membrane Filtration, and Presence-Absence to detect pathogens are inaccurate, time-consuming, and expensive. Consequently, indicator bacteria are commonly used to determine the relative risk of faecal contamination and the possible presence of pathogens in water and wastewater. However, indicator organisms such as Faecal Coliforms also have disadvantages, such as the difference in the number of indicator microorganisms with the actual number of pathogenic agents, the difference in the infectious doses of indicators with pathogenic agents, and in some cases the presence of Viable But Nonculturable cells, which the reliability of these indicators to indicate the possible presence of microbial pathogens has been questioned. In recent decades, molecular detection methods such as different PCR methods (conventional PCR, quantitative or real-time PCR, multiplex PCR, etc.), DNA microarrays, loop-mediated isothermal amplification (LAMP), and Fluorescent In Situ Hybridization (FISH) have been used to quick and accurate assessment of water microbial quality. Other advanced methods such as Enzyme methods, Immunology, methods based on electrical resistance (impedance) as well as various types of sensors have been considered as essential alternatives for the detection of bacteria and have greatly facilitated the monitoring of microbial quality in different water and sewage networks.

کیفیت میکروبی آب برای سلامتی انسان، حیوان و محیط‌زیست از اهمیت حیاتی برخوردار است. آب آلوده به عوامل بیماری‌زا می‌تواند منجر به مشکلات جدی سلامتی نظیر شیوع بیماری‌های منتقله از طریق آب شود. روش‌های متداول مبتنی بر کشت میکروبی مانند تخمیر چند لوله‌ای، صافی غشایی و حضور و غیاب برای تشخیص عوامل بیماری‌زا، کم‌دقت، زمان‌بر و گران هستند. در نتیجه، باکتری‌های شاخص معمولاً برای تعیین خطر نسبی آلودگی مدفوعی و حضور احتمالی عوامل بیماری‌زا در آب و فاضلاب استفاده می‌شوند. با این حال، ارگانیزم‌های شاخص مانند کلی‌فرم‌های مدفوعی نیز دارای معایبی از جمله تفاوت در تعداد میکروارگانیزم‌های شاخص با تعداد واقعی عوامل بیماری‌زا، تفاوت در دوزهای عفونی شاخص‌ها با عوامل بیماری‌زا و برخی موارد وجود سلول‌های زنده اما غیرقابل کشت هستند که قابلیت اطمینان این شاخص‌ها برای نشان دادن حضور احتمالی عوامل بیماری‌زای میکروبی را مورد تردید قرار داده است. در دهه‌های اخیر، روش‌های تشخیص مولکولی مانند روش‌های مختلف PCR (PCR معمول، PCR کمی یا بلادرنگ، PCR چندگانه و غیره)، ریزآرایه‌های DNA، تقویت هم‌دما با واسطه حلقه (LAMP) و هیبریداسیون فلورسنت درجا (FISH) برای ارزیابی سریع و دقیق کیفیت میکروبی آب به کار گرفته شده است. روش‌های پیشرفته دیگر مانند روش‌های آنزیمی، ایمنولوژی، روش‌های مبتنی بر مقاومت الکتریکی (امپدانس) و هم‌چنین انواع حسگرها به‌عنوان جایگزین‌های ضروری برای تشخیص باکتری‌ها مورد توجه قرار گرفته و تا حد زیادی پایش کیفیت میکروبی در شبکه‌های مختلف آب و فاضلاب را تسهیل نموده است.

Keywords: Rapid identification, Molecular methods, Polymerase chain reaction, Electrical Resistance, Escherichia coli.

کلمات کلیدی: تشخیص سریع، روش‌های مولکولی، واکنش زنجیره‌ای پلیمرز، مقاومت الکتریکی، اشرشیاکلائی.

به‌طور گسترده برای اهداف نظارتی پایش باکتری‌های بیماری‌زا استفاده می‌شوند. نتایج به‌دست آمده در همه روش‌ها به‌عنوان محتمل‌ترین عدد^۵ (MPN) یا به‌عنوان واحدهای تشکیل‌دهنده کلونی^۶ (CFU) بیان می‌شود که هر دو، یک تخمین آماری از غلظت میکروارگانسیم‌ها در نمونه محسوب می‌شود (Dehghan and Zolfaghari, 2014).

با این حال، محدودیت‌های اصلی این روش‌ها شامل عدم تمایز بین عامل بیماری‌زای هدف و سایر میکروارگانسیم‌های درون‌زای غیرهدف در همان نمونه‌ها، نتایج منفی/مثبت کاذب، زمان‌بر بودن و کاربرد بودن روش‌ها و عدم توانایی در تشخیص سلول‌های زنده غیرقابل کشت^۷ (VBNC) است. علاوه بر این، در کاربرد تحقیقات کمی، روش‌های مبتنی بر کشت اغلب تعداد باکتری‌ها را کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زنند. این شرایط بر دقت کمی ارگانسیم‌های هدف تأثیر می‌گذارد و شیوع عوامل بیماری‌زا در جامعه انسانی را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد (Dehghan and Zolfaghari, 2014).

به‌منظور جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست با باکتری‌های بیماری‌زا یا با باکتری‌هایی که پس از رسیدن به موجودات زنده می‌توانند بیماری‌زا شوند، شناسایی آن‌ها باید به سرعت، در محل و با حساسیت و دقت بالا انجام شود. متداول‌ترین رویکردها برای تشخیص میکروارگانسیم‌ها براساس روش‌های مختلف کشت باکتریایی سریع، روش‌های مولکولی، روش‌های آنزیمی، ایمونولوژی، روش‌های مبتنی بر مقاومت الکتریکی (امپدانس) و روش‌های مبتنی بر حسگر است. این روش‌های تشخیص متداول دارای اثرات قابل‌توجهی هستند و به شناسایی باکتری‌های بیماری‌زا و همچنین جلوگیری از آلودگی آب بسیار کارگشا هستند. در این میان، روش‌های مولکولی به‌عنوان یک ابزار تجزیه و تحلیل سریع با دقت بالا، به‌سرعت به‌روش اصلی تشخیص باکتری‌های بیماری‌زا تبدیل شده است (Lisa, 2022).

۲- انواع روش‌های شناسایی سریع باکتری‌ها در آب و فاضلاب

۲-۱- روش‌های مولکولی

با توجه به نشانگرهای زیستی مورد استفاده، روش‌های مولکولی را می‌توان به دو دسته عمده شامل روش‌های مبتنی بر اسید نوکلئیک و روش‌های مبتنی بر پروتئین/آنتی‌ژن تقسیم کرد. روش‌های مبتنی بر اسید نوکلئیک شامل روش‌های مبتنی بر تقویت فلورسانس مانند واکنش زنجیره‌ای پلیمراز^۸ (PCR)،

ایمنی آب آشامیدنی یکی از مسائل مهم در جامعه امروزی است. در تولید و توزیع آب باید برخی از معیارهای میکروبیولوژیکی رعایت شود تا از تبدیل شدن آن به یک مشکل جدی جلوگیری شود. سلامتی کیفیت آب در دهه‌های اخیر به‌طور کامل پایش شده است، زیرا وجود عوامل بیماری‌زا یا عناصر مختلف در آب می‌تواند مشکلات جدی در مورد سلامت انسان و محیط‌زیست ایجاد کند. بیماری‌های منتقله از طریق آب در شرایط ایجاد شده به‌وسیله آب تفریحی یا آشامیدنی آلوده به میکروب‌های ایجادکننده بیماری یا میکروارگانسیم‌های بیماری‌زا ایجاد می‌شوند. این بیماری‌ها می‌توانند در حین حمام کردن، شستشو با آب آلوده یا نوشیدن آب آلوده منتقل شود. در حالی که اسهال و استفراغ شایع‌ترین علائم بیماری‌های منتقله از طریق آب گزارش شده است، علائم دیگر می‌تواند شامل مشکلات پوستی، گوش، تنفسی یا چشمی باشد (Alexandra et al., 2021).

در میان عوامل بیماری‌زای مختلف منتقله از طریق آب و غذا، باکتری‌ها بزرگترین و رایج‌ترین گروه هستند که شامل اشریشیاکلای (E. coli)، گونه‌های کمپیلوباکتر (C. jejuni و C. coli)، گونه‌های لژیونلا، گونه‌های سالمونلا و شیگلا بوده که مسئول اکثر موارد عفونت هستند که گاهی اوقات با موارد شدید و پیامدهای مرگبار همراه است. عفونت‌های رایج شناخته شده منتقله از طریق آب شامل کریپتوسپوریوز (Cryptosporidium)، سیکلوسپوریازیس (Cyclospora spp)، عفونت اسهال خونی و سندرم ادرار خونی (هر دو ناشی از E. coli O157)، ژیاوردیازیس (Giardia)، لژیونلوز (لژیونلا)، مننژو آنسفالیت آمیبی اولیه (Naegleria fowleri)، عفونت‌های نورو ویروس (Norwalk virus, calicivirus, viral gastroenteritis)، شیگلوز (شیگلا)، گوش شناگر (اوتیت خارجی) و خارش شناگر (درماتیت سرکاریال) است (Lisa, 2022).

روش متداول تشخیص باکتری‌های بیماری‌زا عمدتاً بر مبنای کشت میکروبی استوار است و معمولاً بر روی کلنی‌ها انجام می‌شود که شامل آزمایش‌هایی هستند که با استفاده از روش‌های بیوشیمیایی انجام می‌شوند و برای تکمیل آزمون و حصول نتیجه تقریباً به زمان سه روز یا حتی بیشتر نیاز دارند. در این روش‌ها از سه فناوری مختلف استفاده می‌شود که شامل تخمیر چند لوله‌ای^۱ (MTF)، فیلتراسیون غشایی^۲ (MF)، شمارش بشقاب‌های هتروتروف^۳ (HPC) و غیاب^۴ (P/A) است. این روش‌ها به‌طور معمول کم‌هزینه، دارای کاربرد آسان و با استاندارد بالا هستند و بنابراین

بیش از ۲۵ تا ۳۰ بار تکرار می‌شود. به دلیل ماهیت نمایی (تضاعفی) روش PCR، بیش از 10^9 نسخه از DNA هدف می‌تواند به صورت نظری تولید شود. این تعداد زیاد از یک بخش DNA هدف را می‌توان با استفاده از روش‌های تشخیصی استاندارد مانند الکتروفورز ژل آگارز یا هیبریداسیون غشایی شناسایی کرد. توانایی PCR برای تولید تعداد بسیار زیاد از کپی‌های یک قطعه از اسید نوکلئیک خاص، الزامات تشخیصی سریع، بسیار حساس و اختصاصی میکروارگانیسم‌های مورد نظر نمونه آب را فراهم نموده است (Pan et al., 2020).

از مزایای PCR نسبت به روش‌های مبتنی بر کشت و سایر روش‌ها می‌توان اختصاصی بودن، حساسیت، سرعت، دقت و ظرفیت و قابلیت تشخیص مقادیر کوچک اسید نوکلئیک هدف در یک نمونه را بر شمرد. تعیین کمیّت با استفاده از PCR هنوز یک روش دشوار و دقیق است که انجام می‌شود. روش‌های تشخیصی باکتری‌ها به کمک PCR نیازمند استخراج DNA باکتری و استفاده از ترموسایکلر است که برای آزمایش در محل نامناسب است. در طی یک دهه گذشته، روش PCR به عنوان یک فناوری مناسب برای شناسایی باکتری در نمونه‌های آب انتخاب شده است. (Fazeli et al., 2017) واکنش‌های زنجیره‌ای پلیمرز (PCR) را در شناسایی باکتری‌های کلیفرم در منابع آب آشامیدنی بررسی نمودند و نشان دادند که PCR یک روش موثر، حساس و سریع برای تشخیص کلیفرم و E. coli در منابع آب آشامیدنی است

۲-۱-۲- RT PCR

واکنش زنجیره‌ای پلیمرز با درنگ (RT PCR) که PCR کمی (qPCR) نیز نامیده می‌شود، تشخیص با درنگ فرآیند PCR است که در طی تکثیر توالی DNA هدف انجام می‌شود. تمامی اصول و واکنش‌گرهایی که برای یک PCR معمولی نیاز است، در روش RT PCR هم به کار می‌رود اما یک گزارشگر فلورسنت نیز در واکنش حضور دارد. دو نوع گزارشگر فلورسنت اصلی یعنی SYBR Green و کاوشگر TaqMan برای شناسایی محصولات در qPCR استفاده شده است. این گزارشگرها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در صورت تکثیر DNA، نور فلورسنت تولید کنند. لذا افزایش شدت نور ثبت شده در دستگاه با میزان محصول به دست آمده نسبت مستقیم دارد. با ادامه یافتن PCR، شدت نور فلورسنت رو به افزایش می‌رود. شدت فلورسنت منعکس کننده مقدار DNA الگو است (Heijnen et al.; Kralik and Ricchi, 2017). (al., 2021).

کمی یا بلا درنگ (qPCR)، PCR چندگانه (mPCR)، ریزآرایه‌های DNA، تکثیر هم‌دما با واسطه حلقه^۹ (LAMP) و هیبریداسیون فلورسانس درجا^{۱۰} (FISH) هستند. روش‌های مبتنی بر پروتئین و آنتی ژن شامل یک روش متداول برهمکنش آنتی‌بادی-آنتی ژن مشابه با روش‌های ایمونولوژیک (تست‌های جریان جانبی، LFTs^{۱۱}) و سنجش ایمونوسوربنت مرتبط با آنزیم^{۱۲} (ELISA) است که روش‌های ایمونولوژیک نامیده می‌شود.

روش‌های زیستی مولکولی براساس شناخت توالی‌های نوکلئوتیدی (DNA یا RNA) ویژه میکروارگانیسم‌ها استوار است. مزایای عمده روش‌های مولکولی، حساسیت و دقت بالا و هم‌چنین پاسخ نسبتاً سریع است. در حال حاضر، PCR کمی (qPCR) به طور گسترده در دسترس است، کم‌هزینه بوده و دارای حساسیت به همان اندازه یا بیشتر برای اهداف تشخیصی مولکولی نسبت به سایر استراتژی‌های شناسایی موجود از جمله سنجش‌های جدید توسعه یافته مانند ریزآرایه‌ها است. با این حال، هنوز مسائلی از جمله عدم توانایی در تمایز موجودات زنده و غیر زنده، وجود میکروارگانیسم‌های هدف در تعداد کم در محیط و حضور مواد بازدارنده PCR وجود دارد (Li et al., 2019).

۲-۱-۱- واکنش زنجیره‌ای پلیمرز

واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR) روشی است که چندین نسخه از DNA سلول هدف را تولید و تکثیر می‌کند که به عنوان مرحله تقویت برای رسیدن به مقدار قابل شناسایی باکتری هدف ضروری است. به طور خلاصه، روش PCR از یک آنزیم پلیمرز مقاوم در برابر حرارت (به عنوان مثال، آنزیم Taq) برای ساخت چندین کپی از DNA هدف استفاده می‌کند. تشخیص DNA هدف در ژنوم یک باکتری بیماری‌زا از طریق استفاده از بخش‌های کوتاه DNA تک‌رشته‌ای ساخته شده مصنوعی به دست می‌آید که به عنوان آغازگرهای الیگونوکلئوتیدی شناخته می‌شوند. این پرایمرها می‌توانند به طور ویژه برای یک ارگانیسم خاص یا برای گروهی از موجودات طراحی شوند. PCR با استفاده از چرخه‌ای از سه دماهای مختلف عمل می‌نماید و رایج‌ترین روش، استفاده از سه مرحله مجزا و مختلف است. در مرحله واسرشتگی، DNA دو رشته‌ای با استفاده از درجه حرارت بالا، معمولاً بیش از 90°C به دو رشته مجزا جداسازی می‌شود. در مرحله اتصال، از دمای کمتری (50°C - 65°C) برای اتصال آغازگر (پرایمر)های بخش هدف DNA استفاده می‌شود. مرحله سوم یا گسترش، در دمای متوسط بین دو دمای قبلی (72°C)، آنزیم پلیمرز یک کپی آینه‌ای از DNA هدف تولید می‌کند. سپس این چرخه دمایی

باکتری‌ها یا تمایز گونه‌ها یا سویه‌ها در یک جنس را دارا است. در Multiplex PCR مقدار مصرف معرف و زمان مورد نیاز نسبت به PCR ساده کمتر است. به همین دلیل، روش PCR چندگانه برای استفاده کم از آنزیم‌ها و الگوها بسیار مناسب است. برای افتراق اشرشیا کلای بیماری‌زا و غیر بیماری‌زا (هم‌زیست) در نمونه‌های بالینی و آب، یک روش mPCR برای تشخیص وجود یازده ژن سمی در *E. coli* ایجاد شده است. اخیراً وجود عوامل بیماری‌زای روده‌ای در فاضلاب با استفاده از سیستم تجاری mPCR به نام FilmArray® مورد بررسی قرار گرفته است (Valérie, 2014; Yuan et al., 2021). Multiplex PCR برای شناسایی سه گونه کمپیلوباکتر (کمپیلوباکتر ژژونی، کلای و لاری) بیماری‌زای مرتبط با سلامت منتقله از طریق آب توسعه داده شد. همچنین این روش موفق به شناسایی لژیونلا پنوموفیلا، سالمونلا تیفی موربوم و استافیلوکوکوس اورئوس زنده و شناسایی هم‌زمان پاتوژن‌های تک‌یاخته‌ای ژیا ردیا لامبلیا و کریپتوسپوریدیوم پاروم در نمونه‌های آب با حد تشخیص یک کیست ژیا ردیا و یک اووسیست کریپتوسپوریدیوم شد (Lisa, 2022).

۲-۱-۴- ریزآرایه‌های DNA

ریزآرایه‌های DNA که با نام آرایه‌های DNA و معمولاً به‌عنوان تراشه‌های ژنی شناخته می‌شوند، یک قطعه شیشه یا تراشه سیلیکونی ویژه با ریزآرایه DNA هستند که هزاران یا ده‌ها هزار کاوشگر (پروپ) اسید نوکلئیک در مساحت چند سانتی‌متر مربع را در خود جای می‌دهد. DNA و RNA در نمونه توسط فلورسانس یا سیگنال الکتریکی پس از ترکیب با کاوشگرها شناسایی می‌شوند. ریزآرایه‌های DNA قادر به تشخیص مبتنی بر هیبریداسیون اهداف متعدد در یک آزمایش هستند که برای تجزیه و تحلیل اهداف عظیم بسیار مناسب است. با استفاده از روش ریزآرایه DNA با توان عملیاتی بالا، مطالعه شیوع ۹۴۱ باکتری بیماری‌زا در آب‌های زیرزمینی بررسی و منشأ منابع آن‌ها از هم‌دیگر متمایز شد. به‌طور کلی، ریزآرایه DNA تشخیص هم‌زمان چندین باکتری بیماری‌زا را امکان‌پذیر ساخته است. بنابراین یک روش تشخیصی سریع و قابل‌اعتماد در تجزیه و تحلیل تعداد زیادی از نمونه‌های بالینی / محیطی محسوب می‌شود. با این‌حال، کار طراحی کاوشگر پیچیده است و قابلیت اطمینان داده‌های ریزآرایه و کاربرد بالینی نتایج اولیه مورد انتقاد قرار گرفته است (Zhang et al., 2021). یک ریزآرایه DNA حاوی ۱۶ کاوشگر (پروپ) دارای هدف‌های سودوموناس آئروژنز، استافیلوکوکوس اورئوس، کلاستریدیوم پرفرینژنس، اشرشیا کلای،

SYBR Green یک رنگ‌دانه فلورسنت است که می‌تواند DNA دو رشته‌ای (dsDNA) را پیوند دهد. این رنگ‌دانه غیر توالی خاص، سیگنال فلورسانس را هنگامی که به شیارهای کوچک مارپیچ دوگانه DNA متصل می‌شود را افزایش می‌دهد. بنابراین امکان کمی‌سازی توالی هدف وجود دارد. در مقابل، کاوشگر TaqMan به افزودن رنگ‌دانه فلورسنت نیاز ندارد. کاوشگر TaqMan با الگوی خاص بیشتر ویژگی qPCR را به‌وسیله افزایش اختصاصیت پرایمر بهبود می‌دهد. برای هر تکثیر یک هدف خاص، یک مولکول از رنگ فلورسنت منتشر می‌شود. ابزار تشخیصی فلورسانس تولید شده توسط تکثیر خاص، در اثر تکثیر غیراختصاصی تحت‌تأثیر قرار نمی‌گیرد. این امر دقت بالای تشخیص qPCR را تضمین می‌کند. روش TaqMan قادر به تشخیص واکنش PCR چندگانه در یک لوله مشابه است که منجر به کاهش هزینه و بهبود کارایی و دقت روش می‌شود. همچنین می‌تواند از تأثیر رنگ‌های فلورسنت مختلف بر روی واکنش PCR جلوگیری نماید (Kasturi and Drgon, 2017).

PCR کمی به‌طور گسترده برای شناسایی و تجزیه و تحلیل کمی توالی DNA هدف با دقت و حساسیت بالاتر از PCR معمولی مورد استفاده قرار گرفته است (Zhang et al., 2021). در مطالعات گذشته، *E. coli* O157:H7 در نمونه آب آبیاری آلوده شده مصنوعی به‌روش qPCR با استفاده از *E. coli* تولیدکننده سم شیگا (STEC) شناسایی شد. این روش تشخیص همچنین شامل یک مرحله کشت ۲۴ ساعته به‌منظور غنی‌سازی نمونه آب با باکتری است (Valérie, 2014). (Staley et al., 2018). در یک مطالعه از این روش برای شناسایی منابع آلودگی مدفوعی در سیلاب و آب رودخانه استفاده نمودند.

۲-۱-۳- Multiplex PCR

PCR چندگانه یا mPCR یک روش تشخیصی سریع‌تر از PCR ساده است که امکان شناسایی و تعیین کمی هم‌زمان چندین هدف ژنی را فراهم می‌کند که نشان‌دهنده روشی بسیار سریع‌تر و کارآمدتر از PCR ساده است. همچنین می‌تواند باکتری‌های بیماری‌زای مرتبط با هم را از یکدیگر متمایز کند. برای به‌دست آوردن mPCR موفق، طراحی پرایمر عامل کلیدی است. زیرا پرایمرها باید بسیار اختصاصی و ویژه بوده و برای شناسایی هم‌زمان اهداف مختلف در یک واکنش بهینه‌سازی شده باشند (Ormen et al., 2019).

به‌طور کلی در شناسایی عوامل بیماری‌زا، Multiplex PCR قابلیت نشان‌دادن یک عامل بیماری‌زای خاص در میان دیگر

فلورسنت فقط با اسیدهای نوکلئیک بسیار مشابه هیبرید می‌شوند و می‌توانند برای مکان‌یابی ژن‌ها روی کروموزوم‌ها یا RNA ریبوزومی نشان‌دار شده در طبقه‌بندی مختلف باکتری‌ها یا در اکولوژی مولکولی باستان‌شناسی استفاده شوند. این روش می‌تواند در شمارش جمعیت‌های میکروبی خاص استفاده شود (Lukumbuzya et al., 2019; Salimi et al., 2020). در مقایسه با PCR، FISH به دلیل حساسیت کمتری که به مواد بازدارنده دارد، برای ماتریس‌های پیچیده مناسب‌تر است. با این حال، محدودیت عمده FISH تعداد کم اهداف متمایز آن از نظر فیلوژنتیکی است که می‌توانند در همان زمان شناسایی شوند. علاوه بر این، FISH برای کشف عوامل بیماری‌زای نوظهور انسانی در آب، فاضلاب و لجن، تولید توصیفات کمی از جامعه میکروبی در فاضلاب و لجن فعال و برای بررسی مکانیسم‌های بقا و عفونت‌زایی در سطح سلولی می‌تواند به کار رود (Zhang et al., 2021).

۲-۲- روش‌های آنزیمی

برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های متداول سنجش کلی‌فرم‌ها از جمله روش‌های مبتنی بر کشت، روش سنجش آنزیمی به‌عنوان رویکردی جدید و جایگزین برای ردیابی باکتری‌های شاخص (کلی‌فرم‌ها) در آب و فاضلاب توسعه یافته است. این سنجش‌ها اختصاصی، حساس و سریع هستند. روش سنجش آنزیمی نسبت به روش‌های کشت متداول، دقیق‌تر است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای این روش‌ها باشد. اما تنها مشکل این روش، هزینه نسبتاً بالای آن است. در روش سنجش آنزیمی، نتایج ظرف مدت ۲۴ ساعت به‌دست می‌آید. مزایای عمده این روش‌ها شامل سرعت در حصول نتیجه، حساس و اختصاصی بودن، استفاده کمتر از نیروی کار نسبت به روش‌های متداول، توانایی عملیاتی بالا و نیاز نداشتن به آزمون‌های تأییدی و تکمیلی است (Tryland et al., 2016).

روش سنجش آنزیمی برای آب‌های سطحی و زیر زمینی، آب‌های بطری شده، خروجی تصفیه‌خانه‌ها، آب چاه‌ها، خطوط شبکه توزیع آب‌های آشامیدنی و غیر آشامیدنی و نمونه‌های غذایی و دارویی، نمونه‌های بالینی (انسانی و حیوانی) و نمونه‌های محیطی (رواناب) قابل استفاده است. استفاده از محیط کشت‌های لاوریل سولفات برات MX^۴ (LMX) و کشت سریع RC^{۱۵} به‌عنوان یک روش سنجش آنزیمی، روش مناسبی برای ردیابی کلیفرم‌های کل و مدفوعی (اشرشیا کلای) در آب‌های آشامیدنی و غیر آشامیدنی است. این روش دارای خصوصیات مثبت مانند

کلیفرم‌های کل و مدفوعی و انتروکوک توسط محققین برای نظارت میکروبی آب معرفی شده است (Lisa, 2022).

۲-۱-۵- تکثیر هم‌دما با واسطه حلقه (LAMP)

یک روش جایگزین برای روش‌های مبتنی بر PCR، روش LAMP، یک فناوری نوآورانه تقویت ژن برای آزمایش‌های باکتریایی است. این روش مانند PCR جزء فناوری‌های زیستی مولکولی هستند. این یک روش تقویت اسید نوکلئیک هم‌دما است که بسیار اختصاصی بوده و به حجم کم نمونه نیاز دارد. با این حال، مراحل اولیه آماده‌سازی نمونه در آن‌ها پیچیده است و به افراد بسیار ماهر برای کار با تجهیزات نیاز است. در حال حاضر LAMP برای شناسایی و تعیین کمی باکتری‌های بیماری‌زا با مزایای قابل توجهی در حساسیت، دقت و سرعت استفاده شده است (Wong et al., 2018). علاوه بر این، تأیید شده است که روش LAMP، ۱۰ تا ۱۰۰ برابر حساس‌تر از روش PCR با حد تشخیص ۱۰ کپی یا کمتر برای الگوی یک واکنش است. هم‌چنین، این روش می‌تواند به‌طور مستقیم میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا را در نمونه شناسایی کند. بنابراین از کشت خسته‌کننده و مرحله استخراج اسید نوکلئیک اجتناب می‌شود. در نهایت و از همه مهم‌تر، شناسایی غیرمستقیم محصولات LAMP را می‌توان با چشم غیرمسلح به‌وسیله نشان‌دادن عدم وجود ژن هدف به کمک تولید رسوب سفید منیزیم پیروفسفات قضاوت کرد. زیرا مقدار رسوب سفید را می‌توان با مقدار DNA تولید شده در واکنش اولیه اصلاح نمود. بنابراین واکنش LAMP را می‌توان به‌وسیله اندازه‌گیری کدورت در زمان واقعی پایش نمود. یک نرم‌افزار به‌نام PrimerExplorer برای کمک به طراحی پرایمر برای روش LAMP در دسترس است. بنابراین، به‌عنوان یک روش تشخیص سریع بدون نیاز به هیچ‌گونه تجهیزات، پتانسیل زیادی را در تشخیص سریع عوامل بیماری‌زای انسانی نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد (Zhang et al., 2021). هم‌چنین این روش برای تشخیص عوامل بیماری‌زای منتقله از آب و غذا از جمله گونه‌های سالمونلا، کمپیلوباکتر ژژونی و کلای و هم‌چنین کلستریدیوم پرفرینژنس و ویبریو کلرا در آب ابداع شده است (Lisa, 2022).

۲-۱-۶- هیبریداسیون فلورسنت درجا (FISH)

هیبریداسیون فلورسنت درجا (FISH) یک فناوری سیتوژنتیکی است که برای شناسایی و مکان‌یابی اسیدهای نوکلئیک در سلول‌ها یا ماتریس‌های نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاوشگر (پروپ) های اسید نوکلئیک نشان‌دار شده با

حساسیت بالا نسبت به روش‌های متداول، صرفه‌جویی در زمان، نیروی کار و غیره است و امکان اتخاذ اقدامات مدیریتی و نظارتی سریع در حوادث غیرمترقبه را فراهم می‌آورد. سنجش آنزیمی یک رویکرد جدید برای شناسایی باکتری‌های شاخص از جمله کلی‌فرم‌های کل و *E. coli* در آب و فاضلاب محسوب می‌شود. در اکثر آزمایش‌ها، تشخیص کلی‌فرم‌های کل شامل مشاهده فعالیت بتاگالاکتوزیداز است که براساس هیدرولیز سوبستراهای کروموژنیک مانند ONPG^{۱۶}، CPRG^{۱۷}، X-GAL^{۱۸} یا CHEG^{۱۹} کروموژنیک مانند واکنش رنگی است (Bitton., 2010).

۲-۱-۲- گشت سریع

سنجش سریع برای تشخیص *E. coli* براساس هیدرولیز سوبسترای فلوروژنیک MUG^{۲۰} توسط آنزیم بتا گلوکورونیداز است که در *E. coli* یافت شده است. محصول نهایی فلورسنت است و به راحتی با لامپ فرابنفش طول موج بلند قابل تشخیص است. از این آزمایش‌ها برای تشخیص *E. coli* در نمونه‌های بالینی و محیطی استفاده شده است. این روش شامل انکوباسیون نمونه در آبگوشت لوریل تریپتوز اصلاح شده با صد میلی‌گرم در لیتر MUG و مشاهده نور فلورسانس در طی ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. از آنجایی که کلنی‌های مثبت بتاگلوکورونیداز تحت یک نور UV موج بلند دارای فلورسنت بوده یا دارای هاله فلورسنت هستند می‌توان این سنجش را با فیلترهای غشایی سازگار کرد. این آزمایش می‌تواند وجود یک سلول *E. coli* زنده را در ۲۴ ساعت تشخیص دهد (Mahmoud et al., 2012).

سادگی خواندن واکنش‌های رنگی بدون نیاز به تجهیزات یا مهارت‌های خاص، از ویژگی‌های این محیط‌های کشت است. استفاده از محیط‌های کروموژنیک نیاز به کشت اولیه و آزمایش‌های بیوشیمیایی بیشتر برای شناسایی عوامل بیماری‌زا را حذف کرده است. محیط کروموژنیک دارای مواد مغذی کافی و مناسب برای بازیابی میکروارگانیسم‌های آسیب دیده دارای رشد دشوار (سخت‌رشد) است. نتایج پایدار و قابل اعتماد با رنگ کلنی ثابت و نتایج اختصاصی از طریق فعالیت آنزیمی با استفاده از این محیط‌ها به دست می‌آید (Fiksdal and Tryland, 2008).

۲-۳- روش‌های مبتنی بر ایمنی‌شناسی

روش‌های مبتنی بر ایمنی‌شناسی بر اساس برهمکنش خاص بین آنتی‌بادی‌ها و آنتی‌ژن‌ها است. این روش‌ها شامل سنجش‌های ایمنوسوربنت مرتبط با آنزیم (ELISA)، سنجش

ایمونوفلورسانس^{۲۱} (IFA) و تست‌های خنثی‌سازی سری (SNTs)^{۲۲} است. برای روش‌های مبتنی بر ایمنی‌شناسی، از آنتی‌بادی‌های نشان‌دار شده با فلوروکروم ویژه برای گرفتن (تسخیر) آنتی‌ژن‌های هدف استفاده می‌شود که به‌عنوان شمارش سلول‌های نشان‌دار شده با فلورسنت با تشخیص سیگنال فلورسانس با استفاده از میکروسکوپ یا فلوسیتومتری در نظر گرفته می‌شود. با این حال، برای دستیابی به تشخیص خاص در سطوح طبقه‌بندی مختلف شامل جنس، گونه و سروتیپ، نشانگرهای زیستی این روش‌ها باید با دقت انتخاب شوند. تشخیص سالمونلا تیفی موریوم بر روی یک نوار ایمنوکروماتوگرافی توسط محققین گزارش شده است. در این مطالعه، تشخیص کمی سالمونلا تیفی موریوم در محدوده $10^6 \times 9/2$ تا $10^3 \times 9/2$ در نمونه‌های رودخانه در مدت زمان ۲۰ دقیقه به دست آمد (Valérie., 2014).

۲-۴- روش‌های مبتنی بر مقاومت الکتریکی

در سال‌های اخیر، به‌کارگیری روش‌های سریع جداسازی و تشخیص میکروب‌ها در تمام دنیا گسترش زیادی پیدا کرده است. از جمله این روش‌ها، شیوه جداسازی برپایه مقاومت الکتریکی^{۲۳} است که در مراکز علمی و تحقیقاتی، دارویی و صنعتی وارد شده است و جداسازی و تشخیص سریع میکروبی را در حداقل زمان ممکن با بالاترین دقت انجام می‌دهد. امیدانس به مقاومت یک مدار الکتریکی در برابر جریان متناوب گفته می‌شود. در اثر رشد میکروارگانیسم‌ها در محیط کشت، متابولیت‌هایی حاصل می‌شود که دارای بار الکتریکی و توانایی ایجاد هدایت الکتریکی در محیط هستند. در نتیجه، مقاومت محیط کشت باکتری تغییر کرده و با اندازه‌گیری این تغییرات و رسم منحنی رشد امیدانس توسط پردازشگر کامپیوتر، شمارش و تشخیص انواع باکتری‌های بیماری‌زای زنده و غیر زنده صورت می‌پذیرد. میکروبی‌شناسی امیدانس برای اندازه‌گیری عدد میکروبی یعنی تراکم (عمدتاً باکتری بلکه مخمر) یک نمونه با نظارت بر شاخص‌های الکتریکی محیط رشد استفاده می‌شود (Casper et al., 2018).

مزیت شناخت مقاومت میکروبی این است که داده‌ها را می‌توان در یک زمان کوتاه با حساسیت و انتخاب‌گری خوب، با استفاده از یک نمونه کوچک به دست آورد و از معایب آن می‌توان به موضوع آلودگی، نیاز به محیط‌های کشت انتخابی خاص و تداخل ماتریس‌های مواد مغذی اشاره کرد. در این روش برخلاف روش مرجع، خطاهای فنی در انجام کشت وجود ندارد و نیازی به مواد و آماده‌سازی‌های مرسوم در روش‌های کشت مرجع از جمله

انتشار دهنده برای ساطع کردن نور و یک گیرنده برای دریافت نور تشکیل می‌شود. وقتی که نور ساطع شده متوقف می‌شود یا توسط جسم بازتاب می‌شود، مقدار نوری که گیرنده دریافت می‌کند تغییر می‌نماید. گیرنده این تغییر را تشخیص داده و به یک خروجی الکتریکی تبدیل می‌کند. منبع نور برای اکثر حسگرهای نوری، مادون قرمز (فروسرخ یا IR) یا نور مرئی (معمولاً قرمز، یا سبز/آبی برای رنگ‌های شناساگر) است (Alexandra et al., 2021).

۲-۵-۲- حسگرهای الکتروشیمیایی

حسگرهای الکتروشیمیایی حسگرهایی هستند که در آن‌ها از عنصر زیستی به‌عنوان جزء تشخیص‌دهنده و از الکتروده به‌عنوان مبدل استفاده می‌شود. کاربرد نانوساختارها در این تجهیزات معمولاً به‌منظور پر کردن شکاف بین مبدل و گیرنده زیستی که در مقیاس نانو است، صورت می‌گیرد. شیوه‌های رایج الکتروشیمی که در حسگرها رایج هستند شامل پتانسیومتری، کروئومپرومتری، ولتامتری، سنجش ایمپدانس و ترانزیستور اثر میدان هستند (Azmi et al., Simoska and Stevenson, 2019). (2020).

به‌طور کلی حسگرهای الکتروشیمیایی از طریق واکنش ردوکس گونه مورد نظر روی سطح الکتروده و تولید علامت الکتریکی متناسب با غلظت گونه آنالیت عمل می‌کنند. یک حسگر الکتروشیمیایی نوعی شامل یک الکتروده حسگر (الکتروده کار) و الکتروده مقابل (شمارنده) است که به‌وسیله لایه نازکی از الکترولیت از هم جدا شده‌اند. گونه مورد نظر پس از آن که از یک سوراخ ورودی مویینه داخل حسگر شد، از یک مانع آب‌گریز عبور کرده و در نهایت به سطح الکتروده می‌رسد (Alexandra et al., 2021).

۲-۵-۳- حسگرهای زیستی یا زیست‌حسگرها

حسگر زیستی یک دستگاه مبتنی بر آشکارساز فیزیکوشیمیایی است که فرآیندهای شیمیایی که مواد بیولوژیکی را با هم ترکیب می‌کنند را به سیگنال‌های قابل شناسایی تبدیل می‌نماید. زیست‌حسگرها یا حسگرهای زیستی^{۲۴} مواد شیمیایی را با به‌کارگیری یک بخش حس‌کننده یا تشخیص‌دهنده زیستی اندازه‌گیری می‌کنند. مبنای کار حسگرهای زیستی براساس یک واکنش اختصاصی بین آنالیت و واکنش‌گر انتخاب شده مانند آنزیم و پیش‌ماده یا آنتی‌ژن و آنتی‌بادی یا گیرنده‌های سطحی سلول است. بنابراین یک حسگر زیستی از دو بخش اصلی تشکیل

تهیه سریال رقت از نمونه‌های غذایی نیست و این امر در سرعت عمل انجام آزمایش‌های مربوطه بر روی تعداد زیادی از نمونه‌ها نیز موثر واقع می‌شود (Mirela et al., 2017).

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود. در روش مستقیم، نمونه آب مستقیماً در تماس با الکترودهای موجود در ویال‌های ویژه آزمایشگاهی قرار می‌گیرند. در اثر متابولیسم میکروارگانیسم‌ها، تغییراتی در ترکیبات مایع موجود در ویال‌های آزمایشگاهی ایجاد می‌شود که منجر به تغییر در میزان هدایت الکتریکی و امپدانس می‌شود. این تغییرات توسط الکترودها اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند. در روش غیرمستقیم، نمونه آب به‌همراه محیط کشت در داخل یک محفظه جداگانه (کووت) از جنس شیشه یا پلی استرول قرار گرفته و این مجموعه در داخل ویال‌های ویژه آزمایشگاهی جای داده می‌شوند. این روش برای شناسایی کیفی و کمی میکروارگانیسم‌هایی کاربرد دارد که در محیط اسیدی بیشتر رشد می‌کنند (کپک‌ها و مخمرها). در این روش، مایع مورد آزمایش در داخل کووت قرار گرفته، کپک‌ها و مخمرهای موجود در نمونه در اثر متابولیسم تولید گاز می‌نمایند که از کووت خارج به‌درون فضای ویال‌های آزمایشگاهی منتقل می‌شود. گاز با ماده شیمیایی واسط که معمولاً هیدروکسید پتاسیم است، واکنش داده و کربنات تولید می‌کند. یون کربنات تولید شده هدایت الکتریکی کمتری نسبت به یون هیدروکسید پتاسیم دارد که میزان امپدانس محیط افزایش یافته که توسط الکترودهای فلزی اندازه‌گیری و ثبت می‌شود (فلاح و همکاران، ۱۳۹۷؛ Mirela et al., 2017).

۲-۵-۴- حسگرها

حسگرها جایگزین‌های مهمی برای شیوه‌های تشخیصی مرسوم برای باکتری‌ها هستند. آن‌ها امکان تجزیه و تحلیل در زمان واقعی از حضور باکتری‌ها را فراهم می‌کنند و می‌توانند برای هر نوع نمونه واقعی مانند مایعات بیولوژیکی، مواد غذایی و نمونه‌های محیط‌زیستی به‌کار روند. حسگرها ابزارهایی هستند که قادر به ثبت اطلاعات شیمیایی از یک کاوشگر (پروپ) و تبدیل آن با کمک یک مبدل به یک سیگنال تحلیلی قابل اندازه‌گیری (از جمله سیگنال نوری، الکتروشیمیایی، الکتریکی یا پیزوالکتریک) هستند.

۲-۵-۱- حسگرهای نوری

حسگرهای نوری، اجسام و تغییرات در شرایط محیطی و دیگر موارد مرتبط را از طریق تنوعی از ویژگی‌های نوری (اپتیکال) تشخیص می‌دهند. یک حسگر فتوالکتریک یا حسگر نوری از یک

۳- چشم اندازها

۳-۱- تست‌های سریع تجاری

در حال حاضر، تست‌های سریع تجاری بسیار کمی برای آزمایش حضور باکتری‌های بیماری‌زا در نمونه‌های آب وجود دارد. آزمایش‌های سریعی در بازار برای ارزیابی آلودگی باکتریایی مانند E. coli O157 وجود دارد که حساسیت و کارایی بالایی (بیش از ۹۹ درصد) داشته و قادر به تشخیص کمتر از ۱ CFU E. coli H7 O157 با زمان پاسخ‌گویی ۲۰ دقیقه است. با این حال، قبل از اعمال آزمون، یک مرحله غنی‌سازی به مدت ۱۸ ساعت در مشخصات محصول توصیه می‌شود. تست‌های مربوط به جریان جانبی ایمونولوژیک برای تشخیص وجود یا عدم وجود باکتری‌های بیماری‌زا شامل سالمونلا و کمپیلوباکتر است. کیت آزمایش حاوی یک بطری از محیط برای انکوباسیون نمونه و نوارهای آزمایش ایمونوشیمیایی جریان جانبی است. زمان لازم برای به دست آوردن نتیجه بسته به نمونه آنالیز شده ۸ تا ۱۸ ساعت است.

۳-۲- چشم‌اندازهای آینده

محیط‌های صنعتی (تصفیه‌خانه، گندزدایی فاضلاب، کنترل کیفیت آب آشامیدنی) برای غربال‌گری کیفیت آب میکروبی هنوز بر شاخص‌های دیگر (مانند کدورت و مواد آلی محلول) تکیه دارند. امید است با توسعه سریع و دقیق روش‌های تشخیص پاتوژن بتوان پایش بار باکتریایی آب را بهبود بخشید. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، چشم‌اندازهای آینده را در بسیاری از افراد باز کرده است. پیشرفت‌هایی در زمینه فناوری‌های هوشمند برای نظارت محیط‌زیست آب مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) و شبکه‌های حسگر بی‌سیم به ثبت رسیده است. به عنوان مثال، حسگرهایی برای نظارت بر خط و بلادرنگ غلظت E. coli فاضلاب براساس پیش‌بینی چندین شاخص فیزیکی و شیمیایی مرسوم گزارش شده است. این روش می‌تواند یک راه‌حل بالقوه برای یک فرآیند ضدعفونی کارآمدتر در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب محسوب شود. در آینده‌ای نزدیک، روش‌هایی برای تشخیص سریع و دقیق حضور و غلظت باکتری‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها از منابع آب و استفاده از آن‌ها همراه با الگوریتم‌های یادگیری ماشین در دسترس خواهد بود.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

درک این نکته بسیار ضروری است که تشخیص

شده است که شامل یک جزء بیولوژیکی (به عنوان مثال، آنزیم، آنتی‌بادی، سلول، بافت، سلول‌های میکروبی، اندامک‌ها یا اسید نوکلئیک) و یک مبدل یا یک قطعه الکترونیکی است که سیگنال‌ها را از طریق روش‌های نوری، الکتروشیمیایی، پیزوالکتریک یا دمایی، تشخیص و ارسال می‌کند. ایجاد کمپلکس بین آنالیت و واکنش‌گر باید همراه با تغییر قابل اندازه‌گیری (مانند تغییر رنگ محیط، جذب نوری، تغییر هدایت الکتریکی، تغییر چگالی و غیره) باشد (Ma et al., 2021). در صورت عدم تغییر رنگ می‌توان با استفاده از آنتی‌بادی‌ها یا نوکلئوتیدهای فلورسنت و یا ترکیباتی مانند رنگدانه‌های پسدوموناس، این تغییر رنگ را به وجود آورد. این گروه حسگرها از اجزای زیستی مانند پروتئین (آنتی‌بادی، آنزیم، گیرنده یا DNA)، اجزای دیگر سلول یا کل سلول یا ارگانسیم استفاده می‌کند. در حقیقت فناوری حسگر زیستی نشان‌دهنده ترکیبی از علوم بیوشیمی، زیست‌شناسی مولکولی، شیمی، فیزیک، الکترونیک و رایانه است. یک حسگر زیستی در حقیقت شامل یک حسگر کوچک و ماده زیستی تثبیت شده بر آن است. حسگرهای زیستی ابزارهای تحلیل‌کننده به شمار می‌روند و می‌توانند با بهره‌گیری از هوشمندی مواد زیستی، ترکیب یا ترکیباتی را شناسایی نموده، با آن‌ها واکنش دهند و بدین ترتیب یک پیام شیمیایی، نوری و یا الکتریکی ایجاد نمایند (حسینی‌نژاد و صمدی، ۱۳۹۲).

حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی با توجه به پارامترهایی که برای تشخیص مهم است به دسته‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند که شامل سیگنال جریان در آمپرومتری، امپدانس در طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و پتانسیل در پتانسیومتری است. استراتژی‌های تشخیص الکتروشیمیایی دارای مزایای مهمی مانند ماندن هزینه کم، پاسخ سریع، حساسیت خوب و گزینش‌پذیری (قابلیت انتخاب) محدود هستند (Simoska and Stevenson, 2019). در میان انواع مختلف رویکردهای سنجش زیستی الکتروشیمیایی، سیستم‌های آمپرومتری دارای بیشترین استفاده هستند. در این مورد، جریان مستقیم با غلظت آنالیت همبستگی دارد و این همبستگی معمولاً خطی است. در مقابل، روش‌های تشخیص پتانسیومتری روش‌های معمول محسوب نمی‌شوند. در این مورد، از یک ماده فعال زیستی و یک غشای انتخابی یونی استفاده شده و غلظت بسیار کم از جریان الکتریکی را می‌توان در طی واکنش اصلی مشاهده کرد (اسفرم و همکاران، ۱۳۹۲). در جدول ۱ مزایا و معایب روش‌های مختلف تشخیص باکتری‌ها در آب و فاضلاب و طول مدت زمان آزمون هر کدام از آن‌ها ذکر شده است.

و ارزان برای نظارت بر کیفیت آب، غذا و محیط‌زیست به یکی از دغدغه‌های همیشگی مقامات و موضوعی مورد توجه محققان تبدیل شده است.

میکروارگانیزم‌های موجود در غذا، آب، خاک، هوا و حتی بدن حیوانات و انسان‌ها که حامل عوامل بیماری‌زا هستند یک امتیاز اجباری است. شناسایی عوامل عفونی (مانند باکتری، قارچ، تک یاخته‌ها و ویروس‌ها) لازم و ضروری است. یافتن روش‌های سریع

جدول ۱- مزایا و معایب روش‌های مختلف تشخیص باکتری‌ها در آب و فاضلاب

روش تشخیص	مزایا	معایب	طول مدت آزمون
کشت میکروبی متعارف (P/A, MF, MTF)	حساسیت و دقت بالا قابلیت تشخیص عفونت‌های حاد	کار زیاد، جواب‌دهی زمان‌بر، نیاز به شرایط آزمایشگاهی استریل، هزینه بالای محیط کشت	۲-۴ روز
انواع روش‌های PCR	دقت و حساسیت بالا qPCR داده‌های کمی ارائه می‌دهد تشخیص و کمی‌سازی چندین هدف	سختی کار و زمان‌بر بودن، نیاز به اسیدهای نوکلئیک استخراج شده از نمونه، عدم تشخیص سلول‌های زنده از غیر زنده، نیاز به شرایط آزمایشگاهی استریل، معرف‌های گران قیمت و کارکنان آموزش دیده، نتایج مثبت کاذب به دلیل آلودگی متقاطع	۱-۴ ساعت
حسگرهای زیستی	حجم نمونه و شناساگر مورد نیاز پایین حساسیت بالا انتخاب‌گری و قابلیت تشخیص بالا هزینه پایین و زمان سنجش کم تشخیص بلادرنگ (Real-time) عدم نیاز به نشان‌دار کردن	نیاز به تجهیزات پیچیده و هزینه سرمایه‌گذاری بالا، دقت پایین نیاز به تجهیزات ویژه، نامناسب برای تشخیص هم‌زمان ارگانیزم‌های مختلف، پایداری نامناسب	چند دقیقه تا چند ساعت
روش‌های مبتنی بر سنجش ایمنی	دقت بالا امکان استفاده از آنتی‌بادی‌های مهاجم هزینه پایین توانایی انجام خودکار توانایی تشخیص سموم باکتریایی	حساسیت پایین، وابستگی دقت و حساسیت به کیفیت آنتی‌بادی‌های مورد استفاده، زمان سنجش طولانی، عدم تشخیص سلول‌های زنده از غیر زنده، الزام ناپایداری آنتی‌بادی‌ها درون ماتریس نمونه، نیاز به پیش‌غنی‌سازی، نیازمند نشان‌دار کردن آنتی‌بادی‌ها و آنتی‌ژن‌ها	۱-۴ ساعت
روش‌های آنزیمی	دقت، حساسیت و سرعت جواب‌دهی بالا به‌دست آوردن داده‌ها در زمان کوتاه حساسیت و انتخاب‌گری مناسب سرعت جواب‌دهی بالا عدم نیاز به مواد و آماده‌سازی‌های مرسوم در روش‌های کشت مرجع از جمله تهیه سریال رقت	هزینه نسبتاً بالا	۲۴ ساعت
روش‌های مبتنی بر مقاومت	نیاز به محیط‌های کشت انتخابی خاص و تداخل ماتریس‌های مواد مغذی	نیاز به محیط‌های کشت انتخابی خاص و تداخل ماتریس‌های مواد مغذی	۴-۸ ساعت

از آن جایی که این روش‌ها از علاقه‌مندان زیادی برخوردار است و در حال توسعه مستمر است، روش‌های تحلیلی جدید به‌طور پیوسته برای حذف این محدودیت‌ها ظاهر می‌شوند. حسگرها و روش‌های ایمنی‌شناسی بخشی از این روش‌ها هستند. این روش‌ها هم بدیع هستند و بیشتر آن‌ها ترکیبی از روش‌های سنجش ایمنی و انواع مختلف حسگرها هستند. بسیاری از تلاش‌های

برای توسعه و بهینه‌سازی رویکردهای جدید برای تشخیص میکروارگانیزم‌ها، چندین چالش باید برطرف شود. به‌عنوان نمونه، روش‌های آزمایش متداول مانند روش‌های مختلف کشت که در حال حاضر برای شناسایی باکتری‌ها و میکروارگانیزم‌ها از آب، فاضلاب و سایر نمونه‌های مایع به کار می‌روند، اغلب کند و زمان‌بر هستند، اگرچه حساسیت بالا و دقت خوبی را از خود نشان داده‌اند.

بسیار سخت و مشکل است و مسائل جدیدی را مطرح می‌کند.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب شیراز تهیه و نگاشته شده است که بدین وسیله تشکر می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Multiple Tube Fermentation
- 2- Membrane Filter
- 3- Heterotrophic Plate Count
- 4- Present/Absent
- 5- Most Probable Number
- 6- Colony-Forming Units
- 7- Viable But Nonculturable Cells
- 8- Polymerase Chain Reaction
- 9- Loop Amplification Mediated Isothermal
- 10- Fluorescent In Situ Hybridization
- 11- Lateral Flow Tests
- 12- Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay
- 13- Real-Time PCR
- 14- Lauryl sulfate MUG,X-gal broth(LMX)
- 15- Ready Cult
- 16- O-Nitro Phenyl- b-D-Galactopyranoside
- 17- Chloro Phenol Red- b-D-Galactopyranoside
- 18- 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-galactopyranoside
- 19- Cyclo Hexeno Esculetin- b-D-Galactoside
- 20- 4-Methyl Umbelliferyl-β-D-Glucuronide
- 21- Immuno Fluorescence Assay
- 22- Serum Neutralization Tests
- 23- Impedance
- 24- Biosensors
- 25- Internet of Things

۶- مراجع

اسفرم، آ.، فرهنگی، آ.، و بهرا، ا.، (۱۳۹۲)، "حسگرهای زیستی"، هشتمین سمینار آموزش شیمی / ایران، دانشکده شیمی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

حسینی‌نژاد، م.، و صمدی، س.، (۱۳۹۲)، "کاربرد حسگرهای زیستی در شناسایی آلاینده‌های محیط‌زیستی ناشی از صنایع کشاورزی"، فصلنامه انسان و محیط‌زیست، ۱۱(۳۸)، ۲۳-۳۰.

فلاح، م.، حق‌خواه، م.، و فضل‌آرا، ع.، (۱۳۹۷)، "بررسی مقایسه‌ای روش‌های امپدانس و مرجع در شناسایی آلودگی به انتروکوک‌ها در مواد غذایی"، علوم و صنایع غذایی، ۱۵(۸۴)، ۱۳-۲۲.

Alexandra, C., Mihaela, T., and Oana, H., (2021), "Modern analytical techniques for detection of

تحقیقاتی برای توسعه روش‌های خودکار، ترکیبی و کوچک ساخته شده‌اند. با این حال، چالش‌ها هنوز در کاربردهای عملی وجود دارد.

روش‌های مبتنی بر هدف‌گیری اسید نوکلئیک، پتانسیل تبدیل شدن به مناسب‌ترین روش مولکولی برای تجزیه و تحلیل آب و فاضلاب را دارند زیرا یک نمونه اسید نوکلئیک استخراج شده می‌تواند با روش‌های مختلف برای دستیابی به نتایج مطلوب تجزیه و تحلیل شوند. علاوه بر این، روش‌های هدف‌گیری مبتنی بر اسید نوکلئیک می‌توانند شناسایی و کمی‌سازی مستقیم ژن‌های خاص را محقق سازند و در نتیجه می‌تواند اشتباهات ناشی از برخی روش‌های پیش‌تصفیه نمونه از جمله غنی‌سازی و کشت را کاهش دهد.

روش‌های مبتنی بر PCR حساسیت بالایی دارند و به‌طور گسترده برای تجزیه و تحلیل سریع باکتری‌های بیماری‌زا در فاضلاب، به‌دنبال روش‌های استخراج DNA/RNA استفاده می‌شوند. روش‌هایی مانند ریزآرایه DNA و روش‌های مبتنی بر توالی‌یابی به دلیل توانایی آن‌ها در تجزیه و تحلیل موازی در مقیاس بزرگ از کل میکروبیوم، برای مطالعه عمیق جوامع باکتریایی و وجود باکتری‌های بیماری‌زا و مقاومت ضد میکروبی مناسب هستند. روش‌های جایگزین مبتنی بر هدف‌گیری اسید نوکلئیک مانند FISH و LAMP نسبتاً حساس، اختصاصی و مقرون به‌صرفه هستند. استفاده از حسگرهای زیستی آسان است و به پرسنل آموزش‌دیده برای تشخیص باکتری‌های بیماری‌زا در آب و فاضلاب نیازمند نیست.

علی‌رغم این‌که زیست‌حسگرهای الکتروشیمیایی ابزارهای سنجشی بسیار امیدوارکننده‌ای هستند، با چالش‌های کمی روبرو هستند که باید بر آن‌ها غلبه کرد. یکی از این مسائل این واقعیت است که حسگرهای پیشرفته معمولاً امکان تشخیص یک‌گونه باکتری را فراهم می‌کند. برای کاربردهای واقعی، تشخیص هم‌زمان چندین‌گونه از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، لازم و ضروری است. این شرایط را می‌توان با طراحی حسگرهای زیستی با عناصر متصل به سطح الکتروود به‌دست آورد. چالش دیگر مداخله‌گرهای متعدد موجود در نمونه‌های واقعی است که مراحل پیش‌تصفیه را طی نکرده‌اند.

عامل دیگری که باید در نظر گرفته شود، پایداری و استحکام حسگرهای پیشرفته است. آنزیم‌ها، آنتی‌بادی‌ها و آپتامرها به شرایط دمایی شدید حساس هستند که باید در محیط‌های آب و هوای گرم و کاربرد محدود نگهداری شوند. یکی دیگر از موانع مهم مربوط به تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی است که اغلب

- hybridization approach using an extended set of fluorophores to visualize microorganisms”, *Frontiers in Microbiology*, 10, 1383, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01383>.
- Ma, X., Ding, W., Wang, C., Wu, H., Tian, X., Lyu, M., and Wang, S., (2021) “DNAzyme biosensors for the detection of pathogenic bacteria”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 331, 129422, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129422>.
- Mahmoud, R.Y., Shawky, R.M., El-domany, R.A., (2012),” Optimization and evaluation of rapid methods for the assessment of waterborne escherichia coli in Egypt”, *Journal of Applied Sciences Research*, 8(5), 2839-2849.
- Mirela, W., Teodora, T., and Tomasz, G., (2017), “The application of impedance measurement to assess biofilm development on technical materials used for water supply system construction”, *E3S Web of Conferences*, 22, 00187, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200187>.
- Ormen, O., Aalberg, K., and Madslie, E.H., (2019), “Multiplex polymerase chain reaction detection of enteropathogens in sewage in Norway”, *Acta Veterinaria Scandinavica*, 61(11), 1-5, <https://doi.org/10.1186/s13028-019-0445-5>.
- Pan, H., Dong, K., Rao, L., Zhao, L., Wu, X., Wang, Y., and Liao, X., (2020), “Quantitative detection of viable but nonculturable state Escherichia coli O157:H7 by ddPCR combined with propidium monoazide”, *Food Control*, 8(1), 25-34, <https://doi.org/10.1007/s13205-017-1052-7>.
- Salimi, G., Mousavi, Z.E., and Kiani, H., (2020), “Efficiency of fluorescence in situ hybridization (FISH) method for the rapid detection of Salmonella in minced lamb meat: Method analysis and optimization”, *Journal of Microbiological Methods*, 175(9), 14-21, <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105989>.
- Simoska, O., and Stevenson, K.J., (2019), “Electrochemical sensors for rapid diagnosis of pathogens in real time”, *Analyst*, 144(22), 6461-6478, <https://doi.org/10.1039/c9an01747j>.
- Staley, Z.R., Boyd, R.J., Shum, P., and Edge, T.A., (2018), “Microbial source tracking using quantitative and digital PCR to identify sources of fecal contamination in stormwater, river water, and beach water in a great lakes area of concern”, *Applied and Environmental Microbiology*, 84(20), 1-12, <https://doi.org/10.1128/AEM.01634-18>.
- Tryland, I., Braathen, H., Wennberg, A.C., Eregno, F., and Beschoner, A.L., (2016), “Monitoring of β -D-galactosidase activity as a surrogate parameter for rapid detection of sewage contamination in urban recreational water”, *Water*, 8(2), 65, <https://doi.org/10.3390/w8020065>.
- Valérie, T., (2014), “Review of methods for the rapid identification of pathogens in water samples”, *ERNICIP Thematic Area Chemical & Biological Risks in the Water Sector*, 7(1), 1-42, <https://doi.org/10.2788/18775>.
- Wong, Y.P., Othman, S., Lau, Y.L., Radu, S., and Chee, bacteria in surface and wastewaters”, *Sustainability*, 13(13), 1-25, <https://doi.org/10.3390/su13137229>.
- Azmi, N., Hasanazadeh, M., Willander, M., and Nur, O., (2020), “Recent progress on the electrochemical biosensing of Escherichia coli O157:H7:Material and methods overview”, *Biosensors*, 10(5), 1-18, <https://doi.org/10.3390/bios10050054>.
- Bitton, G. (2010), *Wastewater microbiology*, 4th Edition, Department of Environmental Engineering Sciences University of Florida, Gainesville, Florida.
- Casper, H.C., Maria, D., and Christian, V., (2018), “Bacteria detection and differentiation using impedance flow cytometry”, *Sensors*, 18(10), 1-12. <https://doi.org/10.3390/s18103496>.
- Dehghan, F., and Zolfaghari, M.R., (2014), “Rapid detection of coliforms in drinking water of Arak city using multiplex PCR method in comparison with the standard method of culture”, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(5), 404-409. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C896>.
- Fazeli, H., Babaie, Z., Poursina, F., Moghim, S., and Rouzbahani, M., (2017), “Evaluation of polymerase chain reaction for detecting coliform bacteria in drinking water sources”, *Advanced Biomedical Research*, 6(1), 1-3, <https://doi.org/10.4103/2277-9175.216783>.
- Fiksdal, L., Tryland, I., (2008), “Application of rapid enzyme assay techniques for monitoring of microbial water quality”, *Current Opinion in Biotechnology*, 19(3), 289-294, <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.03.004>.
- Heijnen, L., Elsinga, G., de Graaf, M., Molenkamp, R., Koopmans, M., and Medema, G., (2021) “Droplet digital RT-PCR to detect SARS-CoV-2 signature mutations of variants of concern in wastewater”, *Science of the Total Environment*, 799, 149456, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149456>.
- Kasturi, K.N., and Drgon, T., (2017), “Real-time PCR method for detection of salmonella spp. in environmental samples”, *Applied and Environmental Microbiology*, 83(14), 1-13, <https://doi.org/10.1128/AEM.00644-17>.
- Kralik, P., and Ricchi, M., (2017), “A basic guide to real time PCR in microbial diagnostics: Definitions, parameters, and everything”, *Frontiers in Microbiology*, 8, 108, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00108>.
- Li, B., Saingam, P., Ishii, S., and Yan, T., (2019), “Multiplex PCR coupled with direct amplicon sequencing for simultaneous detection of numerous waterborne pathogens”, *Applied microbiology and biotechnology*, 103(16), 953-961, <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9498-z>.
- Lisa, P., (2022), “Molecular diagnostic tools applied for assessing microbial water quality”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 1-21, <https://doi.org/10.3390/ijerph19095128>.
- Lukumbuzya, M., Schmid, M., Pjevac, P., and Daims, H., (2019), “A multicolor fluorescence in situ

- H.Y., (2018), "Loop amplification mediated isothermal (LAMP): A versatile technique for detection of micro-organisms", *Journal of Applied Microbiology*, 124(3), 626-643, <https://doi.org/10.1111/jam.13647>.
- Yuan, J., Yi, J., Zhan, M., Xie, Q., Zhen, T.T., Zhou, J., and Li, Z., (2021), "The web-based multiplex PCR primer design software Ultiplex and the associated experimental workflow: Up to 100-plex multiplicity", *BMC Genomics*, 22(1), 1-17, <https://doi.org/10.1186/s12864-021-08149-1>.
- Zhang, S., Li, X., Wu, J., Coin, L., O'Brien, J., Hai, F., and Jiang, G., (2021), "Molecular methods for pathogenic bacteria detection and recent advances in wastewater analysis", *Water*, 13(24), 1-31, <https://doi.org/10.3390/w13243551>.



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

Biosorption of Nickel Heavy Metal from Aqueous Solutions Using Microalgae *Chaetoceros sp.*

جذب زیستی فلز سنگین نیکل توسط ریز جلبک *Chaetoceros sp.* از محلول‌های آبی

Nastaran Hajili¹, Mahnaz Sadat Sadeghi^{2*} and Farnaz Rafiei²

نسترن حاجیلی^۱، مهناز سادات صادقی^{۲*} و فرناز رفیعی^۲

1- M.Sc., Faculty of Marine Science and Technology, Department Marine Biology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون دریایی-گروه بیولوژی دریا، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

2- Assistant Professor, Faculty of Marine Science and Technology, Department Marine Biology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۲- استادیار، دانشکده علوم و فنون دریایی-گروه بیولوژی دریا، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* Corresponding Author, Email: m_sadeghi@iau-tnb.ac.ir

* نویسنده مسئول، ایمیل: m_sadeghi@iau-tnb.ac.ir

Received: 26/12/2023

Revised: 05/06/2024

Accepted: 19/06/2024

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

The aim of the present research was to utilize *Chaetoceros sp.* for the removal of nickel from water bodies and to analyze the impact of various factors on the biosorption of nickel. The study also examined the adsorption isotherm. In a two-phase experiment, different growth conditions were tested to determine the optimal conditions for *Chaetoceros sp.* growth, including temperature, light intensity, and light/dark cycle. Once the optimal growth conditions were identified, the algae's ability to absorb nickel was evaluated in the second phase. Factors such as temperature, contact time, and nickel concentration were found to influence the removal of nickel by *Chaetoceros sp.* Results indicated that under specific conditions -a temperature of 30 C°, light intensity of 600 $\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$, and a 12-hour light/12-hour dark cycle- *Chaetoceros sp.* exhibited the highest growth efficiency, reaching a maximum concentration of 2.06 g/L. The highest absorption efficiency for nickel was 26.21%, achieved at a temperature of 30 C°, a contact time of 24 hours, and a nickel concentration of 20 mg/L. Examining the absorption isotherm showed that the maximum nickel absorption capacity by *Chaetoceros* microalgae was 8.99 mg/g. Overall, the study revealed that increasing the temperature up to 30 C° enhanced the biosorption of nickel, while further temperature increases had a negative impact on the absorption process.

هدف مطالعه حاضر استفاده از جلبک *Chaetoceros sp.* برای حذف فلز سنگین نیکل از محیط آبی و بررسی اثر پارامترهای موثر بر جذب فلز نیکل با استفاده از این جلبک بود. هم‌چنین ایزوترم جذب مورد بررسی قرار گرفت. در یک آزمایش دو مرحله‌ای برای بررسی شرایط بهینه‌ی رشد، جلبک تحت شرایط متفاوت دما، شدت نور و چرخه تاریکی/روشنایی کشت داده شد. پس از مشخص شدن شرایط بهینه رشد، در مرحله دوم توانایی جلبک به‌عنوان جاذب نیکل بررسی شد. عوامل تاثیرگذار بر حذف نیکل از محیط آبی توسط جلبک *Chaetoceros* شامل دما، زمان تماس و غلظت نیکل بود. نتایج نشان داد که در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شدت تابش نور $600 \mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$ و چرخه نوری ۱۲ ساعت نور ۱۲ ساعت تاریکی، جلبک *Chaetoceros* بالاترین راندمان رشد را داشته و به حداکثر غلظت ۲/۰۶ گرم بر لیتر رسید. حداکثر راندمان جذب نیکل در مطالعه حاضر ۲۶/۲۱ درصد بود که در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، زمان تماس ۲۴ ساعت و غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نیکل حاصل شد. بررسی ایزوترم جذب بیانگر این بود که حداکثر ظرفیت جذب نیکل توسط ریز جلبک *Chaetoceros* ۸/۹۹ میلی‌گرم بر گرم بود. نتایج نشان داد که به‌طور کلی با افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، میزان جذب زیستی نیکل توسط جلبک *Chaetoceros* افزایش یافته و پس از آن افزایش دما تاثیر معکوس بر روند جذب داشت.

Keywords: Algae, Biosorption, Diatom, Environmental pollutions, Heavy metals, Nickel.

کلمات کلیدی: آلودگی محیط‌زیستی، جذب زیستی، جلبک، دیاتومه، فلزات سنگین، نیکل

روش‌های مورد توجه در دهه‌های اخیر به‌شمار می‌رود. به این منظور استفاده از جاذب‌ها مورد توجه قرار گرفته است. جاذب‌ها به دودسته جاذب‌های طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. جاذب‌های طبیعی قادرند به‌صورت جذب شیمیایی و جذب سطحی آلاینده‌ها را جذب و از محیط خارج کنند. منابع متعدد تحقیقی، مکانیسم جذب درونی جاذب‌های طبیعی مختلف از جمله گیاهان و جلبک‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند (Fu and Wang, 2011).

روش‌های متعددی برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی وجود دارد. تبادل یونی و رسوب گذاری نمک فلزات سنگین از جمله روش‌های نسبتاً قدیمی برای حذف فلزات سنگین بوده ولی به دلیل راندمان پایین و هزینه عملیاتی بالا استفاده از آن رو به کاهش است (Incharoensakdi and Kitjahren, 2002). جذب فلزات سنگین با پایداری بالا در محیط یکی از روش‌های مورد توجه در سال‌های اخیر به‌شمار می‌رود. به این منظور استفاده از جاذب‌ها مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از روش‌های زیستی در حذف فلزات از پساب‌ها می‌تواند برخی از محدودیت‌ها و مشکلات مربوط به روش‌های فیزیکی و شیمیایی را برطرف نماید پتانسیل استفاده به‌عنوان یک روش اقتصادی و مقرون به‌صرفه را دارد (Çeribası and Yetis, 2001).

جذب زیستی فلزات سنگین، یک تکنولوژی نسبتاً جدید برای تصفیه پساب‌های صنعتی است و هدف از آن، حذف فلزات سمی و پاک‌سازی محیط‌زیست و هم‌چنین بازیافت فلزات با ارزش است. تجمع زیستی روش استفاده از جاذب‌های زیستی برای حذف فلزات سنگین، یک فرایند پیچیده با استفاده از میکروارگانیسم‌های زنده است. ریزجلبک‌ها به‌صورت جذب درونی و جذب سطحی قادرند آلاینده‌های مختلف را از محیط آبی حذف کنند. مکانیسم جذب فلزات سنگین از طریق جلبک‌ها، به دلیل وجود ترکیبات پلی‌ساکارید، پروتئین و گروه‌هایی مانند آمینواسید، هیدروکسیل، کربوکسیل، و سولفات‌ها در ساختار سلولی آن است که با ایجاد پیوند با فلزات سنگین، باعث جذب زیستی این فلزات می‌شود (Sayadi et al., 2019). امروزه تصفیه زیستی آلاینده‌ها با استفاده از جلبک‌ها کاربردهای بسیاری دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به حذف مواد غذایی و ترکیبات آلی از پساب‌ها، تعدیل پساب‌های اسیدی و حاوی فلزات سنگین، جدا کردن و جذب دی‌اکسید کربن و سنجش ترکیبات سمی توسط حسگرهای زیستی اشاره کرد (Salmani et al., 2018).

توجه محققانی که در حوزه تصفیه آب و پساب به‌دنبال روش‌های

ورود آلاینده‌های مختلف از طریق انواع پساب‌ها به منابع آبی موجب شده تا ضمن ورود فلزات سنگین به چرخه غذایی و بروز آثار سوء بر موجودات زنده و در راس زنجیره غذایی بر انسان، کیفیت آب‌های شیرین در دسترس نیز کاهش یابد. فلزات سنگین برای انسان بسیار سمی، غیرقابل تجزیه زیستی و سرطان‌زا هستند و قابلیت تجمع زیستی بالایی در زنجیره غذایی دارند. برخی از فلزات سنگین مانند جیوه، سرب، کادمیوم، نیکل و کروم حتی در مقادیر پایین نیز می‌توانند سمی باشند. وجود این فلزات سنگین در آب آشامیدنی می‌تواند سلامت موجودات زنده را به خطر بیندازد؛ بنابراین، تصفیه و حذف آلاینده‌های فلزات سنگین از منابع آب یک امر ضروری و حیاتی است (Emenike et al., 2021). آلودگی آب با فلزات سنگین به لحاظ خواص شیمیایی، پایدار بوده و در محیط طبیعی، غیرقابل تجزیه و دارای سمیت هستند و به‌عنوان منبع بسیار مهمی از آلودگی در محیط‌زیست شناخته می‌شوند. فلزات سنگین می‌توانند در محیط آبی با مواد آلی تعامل کرده، در رسوب‌های آبی تجمع کرده، در اثر فرآیندهای مختلف آزاد شده و وارد زنجیره غذایی انسان و سایر موجودات شوند (Alkorta et al., 2004).

نیکل یکی از فلزات سنگین موجود در آب‌های سطحی است. ورود منابع آلوده شهری ممکن است این مقادیر را بیش از پنج برابر حالت عادی افزایش دهد. وجود مقادیر کم نیکل برای تولید سلول‌های قرمز خون در بدن انسان ضروری بوده، هرچند در مقادیر بالا تا حدودی می‌تواند سمی باشد. به‌نظر می‌رسد نیکل در کوتاه‌مدت مشکلاتی ایجاد نمی‌کند، اما در طولانی مدت می‌تواند باعث کاهش وزن بدن، آسیب قلبی عروقی، کبد، تحریک و حساسیت بالا شود (Renu et al., 2021). نیکل می‌تواند در آب‌زیان تجمع یابد. اغلب نمک‌های نیکل که از طریق غذا وارد بدن می‌شوند، دفع می‌شوند. نیمه عمر نیکل حدود ۱۱ ساعت است. بیشترین غلظت نیکل در استخوان، ریه، کلیه و کبد دیده می‌شود. سمی‌ترین ترکیب نیکل که اغلب در صنایع استخراج نیکل مشاهده می‌شود، کربونیل نیکل است. سمیت نیکل به صورت آلرژی، سرطان، مسمومیت قلبی-عروقی و اختلالات تنفسی دیده می‌شود. نیکل در غلظت‌های کم باعث سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، سرفه‌های خشک و سخت می‌شود و در غلظت‌های بالاتر می‌تواند باعث بروز سرطان‌های ریه، مجاری تنفسی و استخوان شود (Chakraborty, 2023).

جذب فلزات سنگین با پایداری بالا در محیط یکی از

سنگین نیکل توسط جلبک *Chaetoceros* تأثیر غلظت نیکل در تماس با جلبک، مدت زمان تماس و دمای محیط بر حذف نیکل از محیط آبی توسط جلبک *Chaetoceros* بررسی می شود. هم چنین تعیین ظرفیت جذب جاذب بیولوژیکی *Chaetoceros* با محاسبه ایزوترم های جذب سطحی از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

۲- مواد و روش ها

۱-۲- مواد و تجهیزات

استوک جلبک *Chaetoceros sp.* از بانک ملی جلبک ایران تهیه شد. در این تحقیق که در محیط آزمایشگاهی صورت گرفت از محلول استاندارد نیکل با غلظت های مختلف برای تهیه پساب استفاده شد. به همین منظور از نمک سولفات نیکل ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد. کشت جلبک در محیط کشت گیلارد انجام شده و کلیه مواد مورد نیاز محیط کشت (جدول ۱) از شرکت مرک تهیه شد (Cabanayan-Soy et al., 2021).

جدول ۱- محیط کشت گیلارد

نام محلول	نام ماده	مقدار مورد نیاز
Main Solution	NaNO ₃	۰/۰۷۵ گرم
	NaH ₂ PO ₄ .H ₂ O	۰/۰۰۵ گرم
	Na ₂ SiO ₃ .9H ₂ O	۰/۰۳ گرم
	EDTA Na	۴/۴ میلی گرم
	Biotin	۰/۵ میکروگرم
	Thiamine	۱۰۰ میکروگرم
	B ₁₂	۰/۵ میکروگرم
	Trace Element Solution	۱ میلی لیتر
Trace Element Solution	Filtered Seawater	۱۰۰۰ میلی لیتر
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	۰/۶ میلی گرم
	FeCl ₃ .6H ₂ O	۰/۳۲ گرم
	MnCl ₂ .4H ₂ O	۰/۰۲ گرم
	CuSO ₄ .5H ₂ O	۰/۰۰۱ گرم
	CoCl ₂ .6H ₂ O	۰/۰۰۱ گرم
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	۰/۰۰۲ گرم
Distilled Water	۱۰۰ میلی لیتر	

برای ساخت محیط کشت گیلارد، مطابق جدول ۱، محلول اصلی و Trace به طور جداگانه ساخته شده و با نسبت های مشخص ترکیب شد. آنالیز رشد با استفاده از اسپکتروفتومتر (Unico, UV-2100 Spectrophotometer) و آنالیز جذب فلز سنگین با استفاده از طیف سنج جذب اتمی (Varia Spectra AA 220FS) انجام شد.

زیستی و ارزان قیمت هستند قرار گرفته است. *Chaetoceros sp.* از جنس دیاتومه ها و از رده *Bacillariophyceae* است که با ۳۸ درصد پروتئین، به عنوان گونه ای دریایی شناخته می شود که در آب شیرین هم یافت می شود. این جلبک دارای زمان دو برابر شدن (Doubling time) ۱/۱۸ روزه بوده که به عنوان یک گونه دریایی وابستگی زیادی به پارامتر شوری داشته و میزان نمک موجود در آب تأثیر مستقیمی بر رشد این جلبک دارد. شوری مناسب برای رشد این جلبک حدود ۴ درصد بوده و کاهش غلظت نمک در محیط رشد آن موجب کاهش رشد سلولی و چگالی سلولی می شود (Supramaetakorn et al., 2019). اندازه سلول های *Chaetoceros* حدود ۱۲ الی ۳۰ میکرومتر است. این جلبک فاقد تاژک بوده و قادر به حرکت نیست. از لحاظ مورفولوژیکی از زاویه کناری به شکل مستطیلی و از بالا به شکل بیضی بوده و سلول های تشکیل دهنده آن زنجیره وار در کنار یکدیگر قرار دارند (شکل ۱). سته های آن نیز در مابین سلول ها به وضوح پیدا است. سلول های آن می توانند به صورت صاف یا پیچ خورده باشند و به صورت منفرد و گروهی در محیط آبی زندگی کنند. برخی از *Chaetoceros* ها دارای اسپوره های ساکن یا آگزواسپور هستند (Kaczmarek et al., 2001). *Chaetoceros sp.* دارای کلروفیل های a و c، بتاکاروتن رنگ دانه های گزانتوفیلی مانند دیاتوزانتین و فوکوزانتین است. برخی جلبک ها مانند *Chaetoceros* به عنوان جاذب های زیستی و ارزان قیمت قادرند یون های فلزات سنگین نظیر سرب و کادمیوم را از آب های آلوده جذب کنند (Goswami et al., 2022).



شکل ۱- ساختار سلولی *Chaetoceros sp.*

هدف مطالعه حاضر استفاده از جلبک *Chaetoceros* برای حذف نیکل از محیط های آلوده آبی، بررسی اثر پارامترهای موثر بر جذب فلز نیکل با استفاده از این جلبک در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی و تعیین شرایط بهینه و بررسی کارایی جلبک *Chaetoceros* در حذف زیستی فلز نیکل است. در این مطالعه با شناسایی و بهینه سازی شرایط مناسب برای حذف آلودگی فلز

۲-۲- بررسی شرایط بهینه رشد

برای بررسی شرایط بهینه رشد *Chaetoceros* اثر سه پارامتر دما، شدت نور و چرخه تاریکی روشنایی مورد بررسی قرار گرفت. طراحی آزمایش با استفاده از روش RSM در سه سطح انجام شد. محدوده پارامترهای مورد بررسی برای شدت نور ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ $\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$ ، دما ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و چرخه تاریکی روشنایی ۱۲-۱۲، ۱۸-۶ و ۲۴-۰ در نظر گرفته شد (Spilling et al., 2015). پس از مشخص شدن شرایط بهینه کشت، تست‌های جذب نیکل تحت شرایط بهینه رشد انجام شد. رشد جلبک در ارلن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری انجام شده که حجم کشت ۳۰۰ میلی‌لیتر بود. به این منظور ۱۰ درصد استوک جلبک (۳۰ میلی‌لیتر) که در فاز لگاریتمی قرار دارد به ۹۰ درصد محیط کشت (۲۷۰ میلی‌لیتر) اضافه شد. کشت‌ها با استفاده از پمپ هوا تحت هوادهی با دبی حجمی ۸۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، شوری ۳۳ ppt و شرایط طراحی شده شدت نور، دما و دوره نوری (جدول ۲) قرار گرفته و به مدت ۲۰ روز تحت کشت قرار گرفتند.

جدول ۲- طراحی آزمایش پارامترهای کشت با استفاده از روش

RSM			
ردیف	چرخه نوری (day h/night h)	نور ($\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$)	دما ($^{\circ}\text{C}$)
۱	۱۲-۱۲	۳۰۰	۲۰
۲	۱۸-۶	۴۵۰	۲۵
۳	۱۸-۶	۴۵۰	۲۵
۴	۲۴-۰	۳۰۰	۳۰
۵	۱۸-۶	۴۵۰	۲۵
۶	۱۸-۶	۳۰۰	۲۵
۷	۲۴-۰	۶۰۰	۲۰
۸	۱۲-۱۲	۶۰۰	۳۰
۹	۱۸-۶	۴۵۰	۳۰
۱۰	۱۸-۶	۴۵۰	۲۰
۱۱	۱۲-۱۲	۴۵۰	۲۵
۱۲	۱۸-۶	۶۰۰	۲۵
۱۳	۲۴-۰	۳۰۰	۲۰
۱۴	۲۴-۰	۶۰۰	۳۰
۱۵	۲۴-۰	۴۵۰	۲۵
۱۶	۱۲-۱۲	۳۰۰	۳۰
۱۷	۱۲-۱۲	۶۰۰	۲۰

۳-۲- اجرای آزمایش

پس از مشخص شدن شرایط بهینه کشت، توانایی جلبک *Chaetoceros* به عنوان جاذب فلز سنگین نیکل مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور، سلول‌های زنده جلبک در حین فرایند رشد در معرض محلول سولفات نیکل با غلظت‌های مشخص

قرار گرفت. شرایط پایه در این تحقیق شامل ثابت نگه‌داشتن شوری، شدت نور، دوره نوری، دما، شدت هوادهی و pH تحت شرایط رشد جلبک در آزمایشگاه بود. عوامل تاثیرگذار بر حذف نیکل از محیط آبی توسط جلبک *Chaetoceros* شامل دما، زمان تماس و غلظت اولیه محلول نیکل در نظر گرفته شد و در ادامه اثر هر یک بر راندمان حذف نیکل مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور میزان جذب سطحی نیکل توسط جلبک *Chaetoceros* تحت دماهای مختلف (۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ درجه سانتی‌گراد)، مدت زمان‌های تماس مختلف (۱، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت) و غلظت‌های نیکل (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ mg/L) به‌طور هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفت (Spilling et al., 2015).

میزان رشد جلبک بر اساس معیار چگالی نوری (optical density) در طول موج ۶۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis به‌صورت روزانه ثبت شد و غلظت جلبک بر اساس نسبت وزن خشک به چگالی نوری محاسبه شد. برای بررسی میزان جذب نیکل، نمونه‌برداری در زمان‌های مشخص شده (۱، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت) انجام شده و غلظت نیکل توسط دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری و گزارش شد.

راندمان حذف نیکل (%RE) تحت شرایط بهینه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Turtureanu et al., 2008):

$$\%RE = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که C_0 و C_t : به ترتیب غلظت اولیه و غلظت نهایی محلول نیکل (mg/L) هستند.

۴-۲- مدل ایزوترم جذب لانگمویر

ایزوترم جذب برای تعیین ظرفیت تثبیتی جذب یک آلاینده مشخص به‌کار می‌رود. در مطالعه حاضر معادله لانگمویر (Langmuir) به‌عنوان یکی از ایزوترم‌های معتبر جذب فیزیکی به‌وسیله زیست‌توده‌ها که برای جذب تک لایه‌ای روی سطوح با تعداد محدودی از موقعیت‌های جذب یکسان، به‌کار می‌رود، مورد استفاده قرار گرفت (Langmuir, 1918).

۵-۲- طراحی آزمایش تجزیه و تحلیل نتایج

برای بررسی شرایط بهینه رشد *chaetoceros* طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Design Expert Version 10.0.7.0 با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) انجام شد. برای طراحی

۲۵ کشت به صورت هم‌زمان گذاشته شده و با توجه به شرایط بهینه رشد در بخش قبل، در روز ام کشت، فلز نیکل با غلظت‌های ۲۰ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر به نمونه‌ها اضافه شد. جذب زیستی در ۵ دمای ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در بازه‌های زمانی ۱ تا ۷۲ ساعت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل‌های ۳ تا ۷ آورده شده است.

جدول ۳- نتایج بررسی شرایط بهینه‌ی رشد *Chaetoceros* براساس حداکثر غلظت (ماکزیمم رشد)

ردیف	چرخه نور (day h/night h)	نور ($\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$)	دما ($^{\circ}\text{C}$)	حداکثر غلظت جلبک (gr/lit)
۱	۱۲-۱۲	۳۰۰	۲۰	۱/۳۸
۲	۱۸-۶	۴۵۰	۲۵	۱/۳۷
۳	۱۸-۶	۴۵۰	۲۵	۱/۴۱
۴	۲۴-۰	۳۰۰	۳۰	۱/۴۳
۵	۱۸-۶	۴۵۰	۲۵	۱/۳۸
۶	۱۸-۶	۳۰۰	۲۵	۱/۱۷
۷	۲۴-۰	۶۰۰	۲۰	۱/۴۹
۸	۱۲-۱۲	۶۰۰	۳۰	۲/۰۶
۹	۱۸-۶	۴۵۰	۳۰	۱/۵۱
۱۰	۱۸-۶	۴۵۰	۲۰	۱/۲۸
۱۱	۱۲-۱۲	۴۵۰	۲۵	۱/۶۹
۱۲	۱۸-۶	۶۰۰	۲۵	۱/۴۳
۱۳	۲۴-۰	۳۰۰	۲۰	۱/۱۲
۱۴	۲۴-۰	۶۰۰	۳۰	۱/۵۵
۱۵	۲۴-۰	۴۵۰	۲۵	۱/۳۵
۱۶	۱۲-۱۲	۳۰۰	۳۰	۱/۶۵
۱۷	۱۲-۱۲	۶۰۰	۲۰	۱/۸۸

آزمایش سه پارامتر نور، دما و چرخه تاریکی/روشنایی در سه سطح تعریف شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft 2010 Excel رسم شد.

۳- نتایج

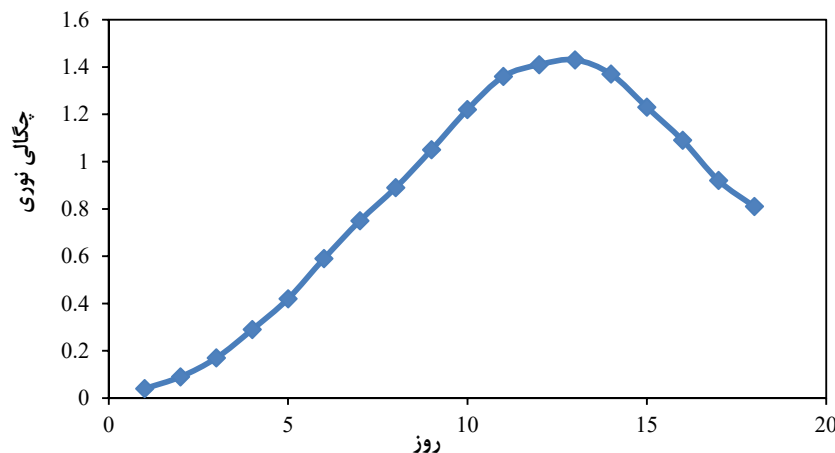
۱-۳- بررسی شرایط بهینه رشد *Chaetoceros*

براساس طراحی آزمایش انجام شده ۱۷ تست تحت شرایط تعریف شده در طراحی آزمایش انجام شد. با توجه به جدول ۳، در شرایطی که دما ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شدت تابش نور $\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$ ۶۰۰ و چرخه نوری ۱۲ ساعت نور ۱۲ ساعت تاریکی بود، بالاترین راندمان رشد جلبک *Chaetoceros* حاصل شد. نتایج بیانگر این بود که حداکثر غلظت جلبک تولیدی به میزان ۲/۰۶ گرم بر لیتر رسیده و لذا این شرایط (دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شدت تابش نور $\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$ ۶۰۰ و چرخه نوری ۱۲-۱۲) به عنوان شرایط پایه برای رشد ریزجلبک در آزمایش‌های اصلی در نظر گرفته شد.

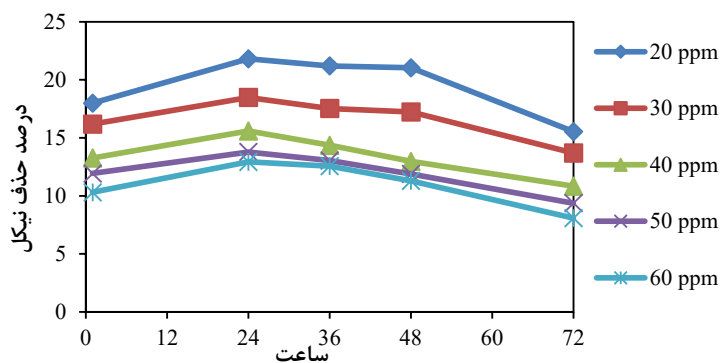
بررسی شرایط رشد روزانه جلبک *Chaetoceros* در شرایط بهینه رشد بیانگر این است که جلبک پس از طی یک روز از کشت اولیه وارد فاز لگاریتمی شده، حداکثر چگالی نوری جلبک در روز ۱۳ کشت حاصل شده و پس از آن *Chaetoceros* به تدریج وارد فاز مرگ شده است. با توجه به شکل ۲، برای تست‌های جذب فلز سنگین، نمونه‌های حاوی فلز نیکل در روز ۱۳ کشت که رشد جلبک در شرایط حداکثری قرار دارد به نمونه‌ها اضافه شد.

۲-۳- بررسی جذب زیستی

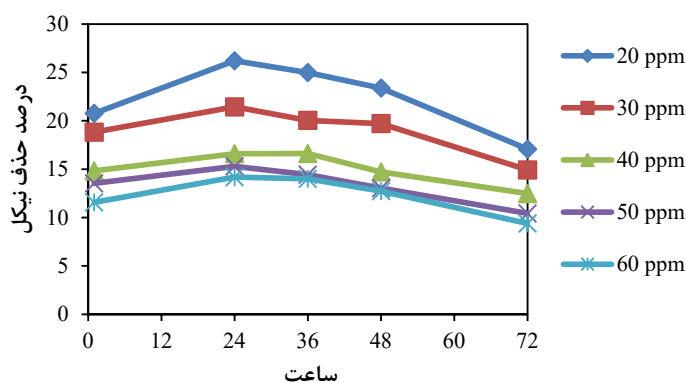
برای بررسی جذب زیستی فلز نیکل توسط *Chaetoceros*.



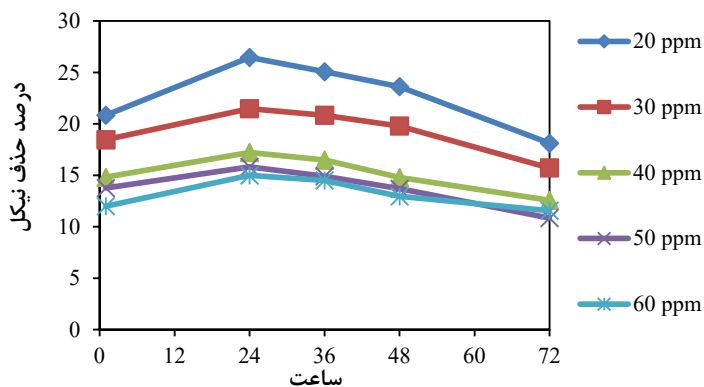
شکل ۲- نمودار رشد جلبک *Chaetoceros* در شرایط بهینه بر حسب چگالی نوری



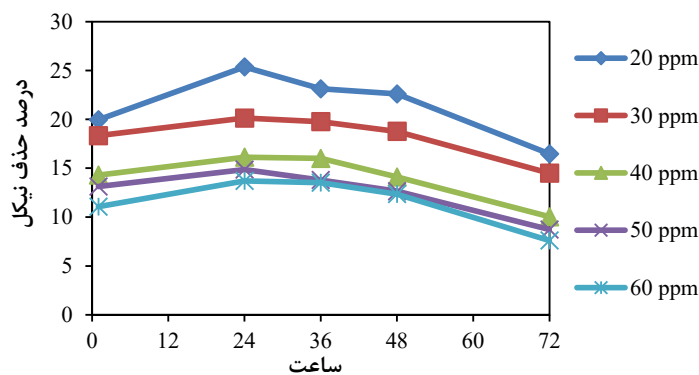
شکل ۳- اثر زمان تماس بر درصد حذف نیکل توسط *Chaetoceros* در غلظت‌های متفاوت فلز سنگین و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد



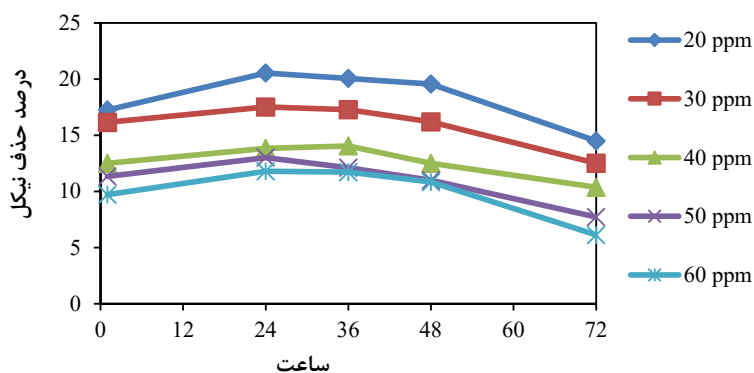
شکل ۴- اثر زمان تماس بر درصد حذف نیکل توسط *Chaetoceros* در غلظت‌های متفاوت فلز سنگین و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد



شکل ۵- اثر زمان تماس بر درصد حذف نیکل توسط *Chaetoceros* در غلظت‌های متفاوت فلز سنگین و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۶- اثر زمان تماس بر درصد حذف نیکل توسط *Chaetoceros* در غلظت‌های متفاوت فلز سنگین و دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد



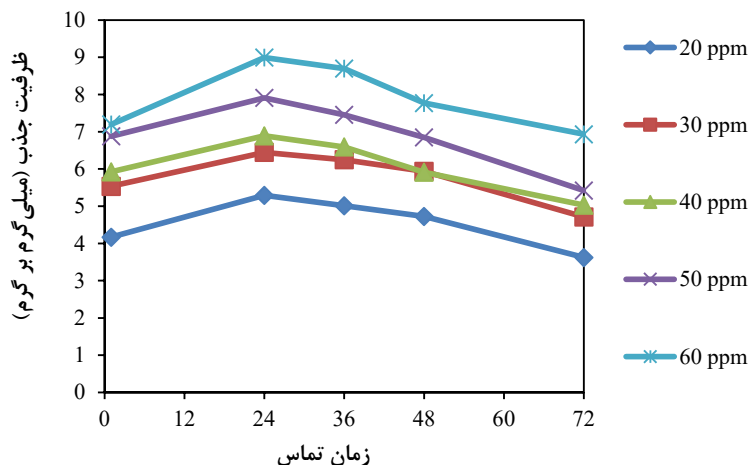
شکل ۷- اثر زمان تماس بر درصد حذف نیکل توسط *Chaetoceros* در غلظت‌های متفاوت فلز سنگین و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

نیکل در شرایطی به‌دست آمد که غلظت نیکل ورودی به محیط جلبک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. در این شرایط جذب زیستی فلز نیکل در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و زمان تماس ۲۴ ساعت به میزان ۲۶/۴۶ درصد بوده است. هم‌چنین با توجه به این‌که جذب زیستی به مدت ۷۲ ساعت بررسی شده و با وجود کاهش حذف فلز سنگین، سلول‌های جلبک از بین نرفته‌اند، لذا به‌نظر می‌رسد که جلبک *Chaetoceros* مقاومت بالایی در برابر سمیت فلز نیکل از خود نشان می‌دهد.

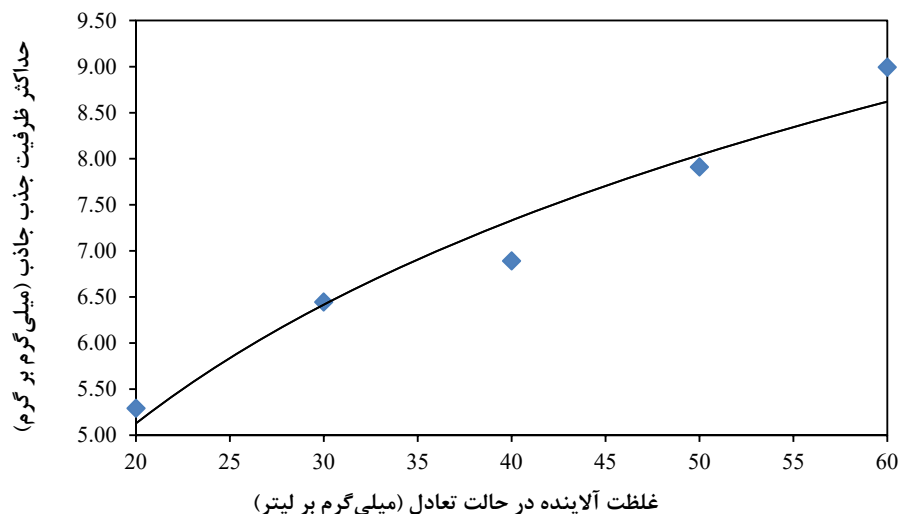
۳-۳- مدل‌سازی جذب زیستی نیکل

ظرفیت جذب برحسب غلظت تعادلی، برای رسم نمودار جذب و لانگمویر استفاده شد (Zhou et al., 2021). تغییرات ظرفیت جذب جلبک *Chaetoceros* در دمای بهینه، غلظت‌های مختلف فلز سنگین نیکل و زمان تماس‌های متفاوت در شکل ۸ آورده شده است. هم‌چنین با توجه به نتایج شکل ۸، حداکثر ظرفیت جذب جلبک *Chaetoceros* در غلظت‌های متفاوت فلز سنگین نیکل در شکل ۹ ارائه شده است.

بررسی نتایج بیانگر این است که به‌طور کلی با افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، میزان جذب زیستی جلبک *Chaetoceros* افزایش یافته و پس از آن افزایش دما تاثیر معکوس بر روند جذب دارد. با توجه به شرایط دمایی بهینه رشد جلبک *Chaetoceros* (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، به‌نظر می‌رسد افزایش دما به بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد با تاثیر منفی بر روند رشد ریزجلبک، باعث کاهش راندمان جذب زیستی می‌شود. با توجه به نتایج، حداکثر راندمان جذب در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. بررسی غلظت فلز سنگین نیکل نیز بیانگر تاثیر منفی افزایش غلظت فلز سنگین بوده و غلظت‌های بالاتر نیکل به‌دلیل اثر سمیت بر سلول‌های جلبک باعث کاهش جذب زیستی شد. بررسی مدت زمان برخورد در بازه ۱ تا ۷۲ ساعت نشان داد که با افزایش زمان برای تماس جاذب و یون فلز، درصد حذف نیکل در ۲۴ ساعت اولیه صعودی بوده و افزایش یافته و پس از آن این میزان کاهش می‌یابد که احتمالاً به‌دلیل اثر سمیت فلز نیکل باقی‌مانده در محیط بر سلول‌های جلبک *Chaetoceros* است. نتایج جذب زیستی نشان داد که حداکثر حذف فلز سنگین



شکل ۸- مقایسه ظرفیت جذب جلبک *Chaetoceros* در غلظت‌های مختلف نیکل برحسب غلظت تعادلی در طول زمان تماس



شکل ۹- میزان حداکثر ظرفیت جذب غلظت‌های مختلف یون نیکل توسط جلبک *Chaetoceros*

با استفاده از نتایج به‌دست آمده از این مطالعه و معادله لانگمویر، ثابت‌های حاصل از تطبیق داده‌های تجربی بر ایزوترم تعادلی، R^2 (ضریب همبستگی) برابر با ۰/۹۵ و ضریب b برابر با ۰/۱۷۴ لیتر بر میلی‌گرم به‌دست آمد. پارامترهای ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط جلبک *Chaetoceros* در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است.

با توجه به محاسبات انجام شده و نتایج حاصل از مطالعه حاضر و با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، نمودار ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل برطبق رابطه لانگمویر که در بخش قبل به تفصیل توضیح داده شد، محاسبه و نمودار آن رسم شد (شکل ۱۰). نتایج نشان می‌دهند که ایزوترم لانگمویر برای فلز نیکل، بهتر از سایر مدل‌ها می‌تواند داده‌های جذب زیستی را برازش کند.

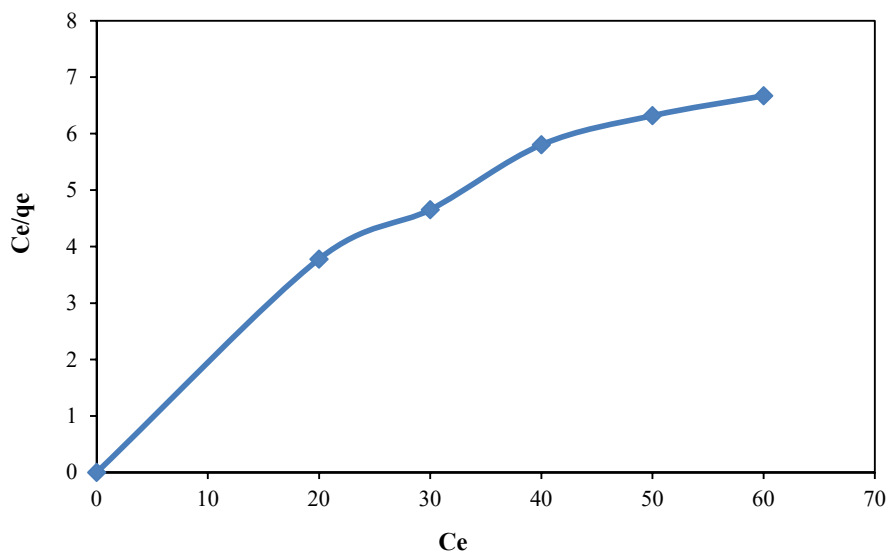
همان‌طور که از شکل ۹ مشخص است با افزایش غلظت فلز سنگین، حداکثر ظرفیت جذب افزایش یافته و نمودار به‌صورت صعودی با شیب کاهشی است. چنان‌که در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر فلز نیکل، حداکثر ظرفیت جذب ۵/۲۹ میلی‌گرم بر گرم بوده که با افزایش غلظت، حداکثر ظرفیت جذب افزایش یافته تا در غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، به‌میزان ۸/۹۹ میلی‌گرم می‌رسد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در صورت بررسی درصد جذب، با توجه به این‌که محاسبات برحسب درصد انجام شده، به‌طور کلی بیش‌ترین درصد جذب در غلظت ۲۰ ppm مشاهده می‌شود. اما در شرایطی که ظرفیت جذب در نظر گرفته شود (با توجه به این‌که محاسبات ظرفیت جذب برحسب گرم فلز سنگین جذب شده است)، با وجود درصد جذب کمتر، بیشترین ظرفیت جذب در غلظت ۶۰ ppm مشاهده می‌شود.

جدول ۴- پارامترهای ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط جلبک *Chaetoceros*

فلز سنگین نیکل	پارامترهای ایزوترم لانگمویر
۸/۹۹	q_m (mg/g)
۰/۱۷۴	b (L/mg)
۰/۹۵	R^2

جدول ۵. پارامترهای غلظت C_e و غلظت تقسیم بر میزان جذب C_e/q_e ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط جلبک *Chaetoceros*

C_e	C_e/q_e
۰/۰۱	۰/۰۱
۲۰	۲/۷۷
۳۰	۴/۶۵
۴۰	۵/۸۰
۵۰	۶/۳۲
۶۰	۶/۶۷



شکل ۱۰- ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط جلبک *Chaetoceros*

۴- بحث

چرخه نور بر رشد این جلبک انجام نشده است (Molazadeh et al., 2015). با این وجود به دلیل وابستگی کم *Chaetoceros* به فتوسنتز، به نظر می‌رسد چرخه نور-روشنایی تاثیر چندانی بر رشد این دیاتومه ندارد (Chen et al., 2023).

نتایج به دست آمده در بخش حذف فلز سنگین در مطالعه حاضر، بیانگر این بود که به طور کلی در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر فلز نیکل، جلبک *Chaetoceros sp.* بالاترین راندمان جذب را داشته و غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر فلز نیکل راندمان جذب را به شکل قابل توجهی کاهش داده است. با این وجود با توجه به این که میزان فلز سنگین نیکل در غلظت ۶۰ ppm سه برابر میزان آن در ۲۰ ppm است، با وجود درصد جذب پایین تر فلز نیکل در غلظت ۶۰ ppm، میزان جذب فلز (برحسب میلی‌گرم) در این شرایط بیشتر از شرایطی است که غلظت نیکل ۲۰ ppm بود. کاهش راندمان جذب در اثر افزایش غلظت فلز سنگین، به دلیل اثر سمیت سلولی غلظت بالای نیکل بوده که باعث می‌شود سایت‌های فعال جاذب زیستی سریع تر پر شده و با وجود افزایش ظرفیت جذب موجب کاهش میزان فلز سنگین جذب شده شود (Molazadeh et al., 2015).

با توجه به نتایج مطالعه حاضر بالاترین راندمان جذب در دمای ۳۰ درجه، زمان تماس ۲۴ ساعت و غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر فلز سنگین حاصل شد که در این شرایط درصد جذب فلز سنگین نیکل توسط *Chaetoceros sp.* به ۲۶/۲۱ درصد رسید. مطالعه Pahlavanzadeh et al. (2010) بیانگر این بود که افزایش غلظت فلز نیکل موجب کاهش درصد جذب می‌شود. با این حال در این مطالعه حداقل میزان نیکل که بالاترین راندمان جذب را

در تحقیق حاضر جذب زیستی فلز سنگین نیکل توسط جلبک *Chaetoceros sp.* مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر سه پارامتر دما، غلظت فلز سنگین و زمان تماس جلبک و فلز سنگین بر میزان جذب زیستی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور ابتدا شرایط رشد بهینه‌ی جلبک *Chaetoceros sp.* بررسی و زمانی که جلبک به حداکثر رشد خود می‌رسد مشخص شد.

نتایج نشان داد که جلبک *Chaetoceros sp.* در دمای ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، شدت نور $600 \mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$ و چرخه نوری ۱۲ ساعت روشنایی ۱۲ ساعت تاریکی بالاترین راندمان رشد را داشته و در روز ام رشد به حداکثر غلظت به میزان ۲/۰۶ گرم بر لیتر رسید. در مطالعه (Krichnavaruk et al. (2005)، حداکثر رشد *Chaetoceros* در شدت نور $400 \mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$ در محیط کشت F/2 به دست آمد. هم‌چنین دمای بهینه رشد *Chaetoceros* ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بود که با مطالعه حاضر مطابقت دارد. جلبک *Chaetoceros* برخلاف ریزجلبک‌های سبز فتوسنتز کننده، وابستگی کمتری به نور داشته و برای رشد نیاز به شدت‌های بالای نور ندارد. مطالعات نشان داده است که نور بیش از حد با آسیب رساندن به پروتئین PS II در سلول *Chaetoceros*، باعث آسیب سلولی می‌شود (Wang et al., 2021). با وجود این که عمده‌ی مطالعات بر روی رشد *Chaetoceros* دمای بهینه رشد را ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و شدت نور بهینه رشد را بین ۴۰۰ تا $600 \mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$ گزارش کرده‌اند، اما به طور کلی مطالعات زیادی بر روی تاثیر

2005). با توجه به مطالعات، فرایند جذب فلزات سنگین توسط جلبک عمدتاً دو مرحله‌ای است. مرحله اول مرحله جذب زیستی است که خیلی سریع و به‌صورت فیزیکی یا شیمیایی اتفاق می‌افتد. این جذب زیستی می‌تواند هم در زیست‌توده و هم در سلول‌های زنده رخ دهد (Khummongkol et al., 1982). مرحله دوم شامل جذب شیمیایی است که فرآیندی آهسته بوده و در طول رشد جلبک و تنها در سلول‌های زنده رخ می‌دهد (Wilde and Benemann, 1993). جذب زیستی معمولاً به‌سرعت و در ابتدای فرایند جذب رخ داده و مطالعات بیانگر تاثیر گروه‌های عاملی آمینو و کربوکسیل بر راندمان جذب زیستی در ابتدای فرایند جذب است.

در دیاتومه‌ها تاثیر گروه عاملی کربوکسیل بر فرایند جذب بالاتر بوده و جذب یون‌های فلز سنگین به خصوص یون‌های دو ظرفیتی بر روی سطح دیاتومه‌ها توسط COOH^- واقع در لایه پلی‌ساکارید خارجی دیواره سلولی انجام می‌شود (Marella et al., 2020). از طرفی برخی پژوهش‌ها عنوان می‌کنند که مقدار فلز جذب شده به‌ازای واحد جرم توده زنده زمانی افزایش می‌یابد که غلظت اولیه یون‌های فلزی در محلول زیاد شود که ممکن است در نتیجه اشباع مکان‌های فعال توده زنده باشد و منجر به حداکثر ظرفیت جذب یون‌های فلزی توسط توده زنده شود (Ayele et al., 2021).

هم‌چنین بررسی مدل جذب زیستی *Chaetoceros* در مطالعه حاضر بیانگر این بود که جذب زیستی از ایزوترم لانگمویر کرده و مقدار R^2 (ضریب همبستگی) مربوط به معادله لانگمویر برای جذب فلز نیکل ۰/۹۵ به‌دست آمد. تبعیت از ایزوترم لانگمویر نشان می‌دهد که جذب به‌وسیله مکان‌های همگن مخصوصی که بر روی ساختار جاذب وجود دارد صورت‌گرفته و هر یک از این مکان‌ها تنها قابلیت جذب یک ردیف مولکول را دارند. در صورت ورود مولکول‌های جدید، هیچ‌گونه تغییری در مکان‌هایی که قبلاً جذب روی آن صورت گرفته، رخ نمی‌دهد و می‌توان گفت فرایند جذب به‌صورت تک‌لایه انجام می‌شود (Zhou et al., 2014). سایر مطالعات انجام شده بر روی جذب فلز نیکل نیز عمدتاً بیانگر تاثیر افزایش غلظت فلز سنگین بر کاهش درصد جذب بوده و نشان داده‌اند که جذب فلز سنگین نیکل توسط ریزجلبک‌ها از مدل لانگمویر تبعیت می‌کنند (Sayadi et al., 2019).

مطالعه حاضر نشان داد که جلبک *Chaetoceros* توانایی جذب فلز سنگین نیکل از محیط آبی را داشته و راندمان جذب بالایی به‌خصوص در غلظت‌های کم نیکل از خود نشان می‌دهد. به‌نظر می‌رسد با افزایش دادن غلظت اولیه یون فلز در محلول

داشته ۱۰۰۰ ppm بوده و جذب بسیار سریعی در ۶۰ دقیقه اول مشاهده شده است که با مطالعه حاضر متفاوت است. به‌نظر می‌رسد که جلبک مورد استفاده در این مطالعه (جلبک دریایی *Chaetomorpha*) ظرفیت جذب بسیار بالاتری نسبت به *Chaetoceros* داشته است. مطالعات انجام شده بر روی جذب سایر یون‌های فلزی سنگین توسط جلبک *Chaetoceros* نیز بیانگر ظرفیت جذب نسبتاً پایین آن و اثر سمیت بالای یون‌های فلزی بر روی این جلبک است. بررسی اثر سمیت یون کادمیوم بر جلبک *Chaetoceros Calcitrans* بیانگر این بود که غلظت ppm ۰/۱ از این یون فلزی، رشد جلبک را کاهش داده و غلظت‌های بالای ۶ ppm به‌طور کامل مانع از رشد جلبک می‌شود (Makkasau and Sahabuddin, 2023). هم‌چنین مطالعات دیگر نیز بیانگر اثر سمیت نسبتاً بالای فلزات سنگین جیوه، نقره و قلع بر جلبک *Chaetoceros* و در نتیجه تاثیر بر راندمان جذب آن‌ها به‌خصوص در غلظت‌های بالای یون‌های فلزی است (Mosleminejad et al., 2024). از طرف دیگر غلظت اولیه فلز سنگین در محلول‌های آبی مستقیماً بر سرعت جذب تاثیر می‌گذارد. افزایش غلظت باعث ایجاد رقابت بین یون‌های فلزی برای اتصال روی سطح دیواره‌ی سلولی می‌شود. با توجه به این‌که در ابتدا سایت‌های فعال جاذب (active sites) خالی بوده و گرادیان غلظت املاح بالا است در مرحله جذب سریع جاذبه یونی باعث پر شدن سایت‌های فعال جلبک از یون‌های فلزی شده و با کاهش سطوح فعال غلظت‌های بالاتر فلز سنگین، توانایی اتصال به ریزجلبک و جذب توسط آن را ندارند و به‌همین دلیل درصد حذف فلز کاهش می‌یابد (Kaya et al., 2009).

بررسی اثر تماس بیانگر این است که افزایش زمان تماس تا ۲۴ ساعت موجب افزایش راندمان جذب زیستی شده و پس از آن به‌دلیل اثر سمیت سلولی درصد حذف فلز سنگین کاهش یافت. در کلیه‌نمونه‌ها بالاترین راندمان جذب پس از ۲۴ ساعت حضور فلز سنگین در محیط رشد جلبک *Chaetoceros* مشاهده شد. علت این‌که در ساعت‌های اولیه، فرایند جذب سیر صعودی دارد به‌دلیل زیاد بودن سایت‌های جذب در سطح دیواره سلولی جلبک است. اما به‌تدریج و با گذشت زمان، تعداد سایت‌های فعال کاهش یافته و رقابت برای اشغال سایت‌های فعال باقی مانده توسط یون‌های فلز افزایش می‌یابد و روند صعودی کند می‌شود و نهایتاً به یک مقدار ثابت می‌رسد (Marella et al., 2020).

زمان تماس یکی از پارامترهای مهم در عملکرد موفق و سریع جاذب زیستی است. این عامل به‌طور مستقیم بر واکنش اتصال بین جاذب و یون فلزی در آب تاثیر می‌گذارد (Akar and Tunali,

Ayele, A., Suresh, A., and Benor, S., (2021), "Phycoremediation of heavy metals, factors involved and mechanisms related to functional groups in the algae cell surface, A review", *Strategies and Tools for Pollutant Mitigation: Avenues to a Cleaner Environment*, (pp. 269-289), https://doi.org/10.1007/978-3-030-63575-6_13.

Cabanayan-Soy, R., de Peralta, G. M., and Juinio-Meñez, M.A., (2021), "Assessing the viability of commercial media for the mass culture of *Chaetoceros muelleri*", *The Philippine Journal of Fisheries*, 28(1), 191-199. <https://doi.org/10.31398/tpjf/28.2.2019-0007>.

Çeribasi, I. H., and Yetis, U. (2001), "Biosorption of Ni (II) and Pb (II) by *Phanerochaete chrysosporium* from a binary metal system—kinetics", *Water SA*, 27(1), 15-20, <https://doi.org/10.4314/wsa.v27i1.5004>.

Chakraborty, B.K., (2023), "Effect of pesticide and heavy metal toxicants on fish and human health", *Journal of Crop and Weed*, 19(1), 110-118, <https://doi.org/10.22271/09746315.2023.v19.i1.1669>.

Chen, H., Shan, S., Wang, C., Namsaraev, Z., Dubovskiy, I., Zhou, C., Ruan, R., Yan, X., and Cheng, P., (2023), "Mixotrophic culture of *Chaetoceros sp.* and its response to circadian rhythm", *Algal Research*, 73, 103119. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103119>.

Emenike, E.C., Iwuozor, K.O., and Anidiobi, S.U., (2021), "Heavy metal pollution in aquaculture: sources, impacts and mitigation techniques", *Biological Trace Element Research*, 1-17, <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03037-x>.

Fu, F., and Wang, Q., (2011), "Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review", *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407-418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>.

Goswami, R.K., Agrawal, K., Shah, M.P., and Verma, P., (2022), "Bioremediation of heavy metals from wastewater: a current perspective on microalgae-based future", *Letters in Applied Microbiology*, 75(4), 701-717. <https://doi.org/10.1111/lam.13564>.

Incharoensakdi, A., and Kitjahnarn, P., (2002), "Zinc biosorption from aqueous solution by a halotolerant cyanobacterium *Aphanothece halophytica*", *Current Microbiology*, 45, 261-264. <https://doi.org/10.1007/s00284-002-3747-0>.

Kaczmarek, I., Ehrman, J.M., and Bates, S.S., (2001), A review of auxospore structure, ontogeny and diatom phylogeny", In *Proceedings of the 16th International Diatom Symposium*, (pp. 153-168), Athens, Greece, University of Athens.

Kalash, K.R., Alalwan, H.A., Al-Furajji, M.H., Alminshid, A.H., and Waisi, B.I., (2020), "Isothermal and kinetic studies of the adsorption removal of Pb (II), Cu (II), and Ni (II) ions from aqueous solutions using modified *Chara sp.* Algae", *Korean Chemical Engineering Research*, 58(2), 301-306, <https://doi.org/10.9713/kcer.2020.58.2.301>.

Kaya, Y., Aksakal, Ö., and Uçun, H., (2009), "Biosorption of lead (ii) and zinc (ii) from aqueous solutions by Nordmann fir (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana*) cones", *Acta*

احتمال تماس سایت های پذیرنده جاذب با یون بیشتر می شود ولی درصد حذف کاهش پیدا می کند، به این علت که در غلظت های پایین، نسبت مکان های اتصال در سطح زیست توده به یون فلز بیشتر است. ولی در نتیجه افزایش یافتن غلظت فلز، به علت کمبود تعداد مکان های فعال در دسترس در سطح زیست توده جلبک، درصد حذف فلز کاهش می یابد. هم چنین مدت زمان برخورد بین جلبک و فلز سنگین پارامتر مهمی بوده که افزایش بیش از حد آن به دلیل اثر سمیت سلولی راندمان جذب را کاهش می دهد. در این مطالعه داده های تعادلی برای جذب نیکل با مدل جذب لانگمویر تطابق داشته که بیانگر جذب تک لایه است.

۵- نتیجه گیری

مطالعه حاضر نشان داد که جلبک *Chaetoceros* توانایی جذب فلز سنگین نیکل از محیط آبی را داشته و راندمان جذب بالایی به خصوص در غلظت های کم نیکل از خود نشان می دهد. به نظر می رسد با افزایش دادن غلظت اولیه یون فلز در محلول احتمال تماس سایت های پذیرنده جاذب با یون بیشتر می شود ولی درصد حذف کاهش پیدا می کند، به این علت که در غلظت های پایین، نسبت مکان های اتصال در سطح زیست توده به یون فلز بیشتر است. ولی در نتیجه افزایش یافتن غلظت فلز، به علت کمبود تعداد مکان های فعال در دسترس در سطح زیست توده جلبک، درصد حذف فلز کاهش می یابد. هم چنین مدت زمان برخورد بین جلبک و فلز سنگین پارامتر مهمی بوده که افزایش بیش از حد آن به دلیل اثر سمیت سلولی راندمان جذب را کاهش می دهد. در این مطالعه داده های تعادلی برای جذب نیکل با مدل جذب لانگمویر تطابق داشته که بیانگر جذب تک لایه است.

۶- مراجع

Akar, T., and Tunali, S., (2005), "Biosorption performance of *Botrytis cinerea* fungal by-products for removal of Cd (II) and Cu (II) ions from aqueous solutions", *Minerals Engineering*, 18(11), 1099-1109, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.03.002>.

Alkorta, I., Hernández-Allica, J., Becerril, J.M., Amezaga, I., Albizu, I., and Garbisu, C., (2004). "Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic", *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 3(1), 71-90, <https://doi.org/10.1023/b%3Aresb.0000040059.70899.3d>.

- Supramaetakorn, W., Meksumpun, S., Kazuhiko, I., Thawonsode, N., and Veschasit, O., (2019), "Potential fucoxanthin production from a marine diatom", *Journal of Fisheries and Environment*, 43(3), 1-10.
- Turtureanu, A., Georgescu, C., and Oprean, L., (2008), "Nickel removal from aqueous solutions by flotation with cationic collector, Determination of the optimum separation conditions", *Chemical Bulletin*, Politehnica University, (Timișoara), 53(67), 286-288.
- Wang, S.C., Gao, Z.Y., Liu, F.F., Chen, S.Q., and Liu, G.Z., (2021), "Effects of polystyrene and triphenyl phosphate on growth, photosynthesis and oxidative stress of *Chaetoceros meülleri*", *Science of The Total Environment*, 797, 149180, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149180>.
- Wilde, E.W., and Benemann, J.R., (1993), "Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae", *Biotechnology Advances*, 11(4), 781-812, [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(93\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0734-9750(93)90003-6).
- Zhou, H., Zhao, X., Kumar, K., Kunez, T., Zhang, Y., Gross, M., and Wen, Z., (2021), "Removing high concentration of nickel (II) ions from synthetic wastewater by an indigenous microalgae consortium with a Revolving Algal Biofilm (RAB) system", *Algal Research*, 59, 102464, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102464>.
- Zhou, W., Chen, P., Min, M., Ma, X., Wang, J., Griffith, R., Hussain, F., Peng, P., Xie, Q., Li, Y., and Shi, J., (2014), "Environment-enhancing algal biofuel production using wastewaters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 256-269, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.073>.
- Chimica Slovenica, 56, 451-456.
- Khummongkol, D., Canterford, G.S., and Fryer, C., (1982), "Accumulation of heavy metals in unicellular algae", *Biotechnology and Bioengineering*, 24(12), 2643-2660, <https://doi.org/10.1002/bit.260241204>.
- Krichnavaruk, S., Loataweesup, W., Powtongsook, S., and Pavasant, P., (2005), "Optimal growth conditions and the cultivation of *Chaetoceros calcitrans* in airlift photobioreactor", *Chemical Engineering Journal*, 105(3), 91-98, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2004.10.002>.
- Langmuir, I., (1918), "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum", *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361-1403, <https://doi.org/10.1021/ja02242a004>.
- Makkasau, A., and Sahabuddin, E.S., (2023), "Addition of Cd 2+ metal ions to conway culture medium on Phytoplankton growth of *Chaetoceros calcitrans*", *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(6), 2052-2059.
- Marella, T.K., Saxena, A., and Tiwari, A., (2020), "Diatom mediated heavy metal remediation: A review", *Bioresource Technology*, 305, 123068, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123068>.
- Molazadeh, P., Khanjani, N., Rahimi, M.R., and Nasiri, A., (2015), "Adsorption of lead by microalgae *Chaetoceros* sp. and *Chlorella* sp. from aqueous solution", *Journal of Community Health Research*, 4(2), 114-127.
- Mosleminejad, N., Ghasemi, Z., and Johari, S.A., (2024), "Ionic and nanoparticulate silver alleviate the toxicity of inorganic mercury in marine microalga *Chaetoceros muelleri*", *Environmental Science and Pollution Research*, 31(13), 19206-19225, <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32120-8>.
- Pahlavanzadeh, H., Keshtkar, A.R., Safdari, J., and Abadi, Z., (2010), "Biosorption of nickel (II) from aqueous solution by brown algae: Equilibrium, dynamic and thermodynamic studies", *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3), 304-310, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.004>.
- Renu, K., Chakraborty, R., Myakala, H., Koti, R., Famurewa, A.C., Madhyastha, H., Vellingiri, B., George, A., and Gopalakrishnan, A.V., (2021), "Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium)-induced hepatotoxicity, A review", *Chemosphere*, 271, 129735, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129735>.
- Salmani, N., Sayadi, M.H., and Rezaei, M.R., (2018), "Optimization of adsorption process of Cr (VI) from aqueous solution using biosynthesized palladium nanoparticles by *spirulina platensis*", *Modares Journal of Biotechnology*, 9(2), 171-177.
- Sayadi, M.H., Rashki, O., and Shahri, E., (2019), "Application of modified *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* powder on the adsorption of heavy metals from aqueous solutions", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103169, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103169>.



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

Investigating the Effect of Urban
Wastewater Sludge on Color Quality and
Growth Performance of Safflower Plant
(*Carthamus tinctorius*)

بررسی اثر لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بر کیفیت
رنگ و عملکرد رشد گیاه گلرنگ
(*Carthamus tinctorius*)

Anahita Rashtian^{1*}, Sayed Mohammad Mosavi
Hasanabad², Afagh Abandeh Saravi³ and Sayed
Abolfazl Varasta⁴

آناهیتا رشتیان^{۱*}، سید محمد موسوی حسن آباد^۲، آفاق تابنده
ساروی^۳ و سید ابوالفضل وارسته^۴

1- Assistant Professor of Rangeland and Watershed
Department, Faculty of Natural Resources, Yazd
University, Yazd, Iran.

۱- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد،
ایران.

2- M.Sc. of Rangeland, Yazd University, Yazd, Iran.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتع‌داری، گیاهان دارویی و صنعتی،
دانشگاه یزد، یزد، ایران.

3- Assistant Professor of Rangeland Environment
Department, Faculty of Natural Resources, Yazd
University, Yazd, Iran.

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد،
ایران.

4- Ph.D. Student in Textile Engineering, University
of Science and Research, Tehran, Iran.

۴- دانشجوی دکتری مهندسی نساجی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، تهران،
ایران.

* Corresponding Author, Email:
arashtian@yazd.ac.ir

* نویسنده مسئول، ایمیل: arashtian@yazd.ac.ir

Received: 13/03/2024

Revised: 22/06/2024

Accepted: 14/07/2024

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

An investigation was carried out for optimal use of urban sewage sludge as organic material in the agricultural sector of dry areas and its effect on the growth and coloring of the safflower plant. The experiment was carried out in the form of randomized complete block design in three replications and three levels including: no sludge, 10 and 20 t/h of sewage sludge in the form of land cultivation in a greenhouse in Taft city, Yazd province. 11 functional indices of the plant were measured and cotton wool was dyed with the petal extract of this plant and Hunter parameters were used in the CIE Lab system to check light stability and washing stability. The results showed that the use of sewage sludge treatment caused a significant increase in 6 indicators, so the treatment of 20 t/h, 44% grain yield, 60% number of capitul, 45% diameter of the capitul, 150% number capitul per plant, 65% height of plant increased by compared to the control. Also, 10 t/h increased the color absorption peak and the color of plant treated with 10 t/h had significantly higher washing stability, and the treatment 20 t/h had a higher optical stability than the treatment control.

استفاده بهینه از لجن فاضلاب شهری به‌عنوان یک ماده آلی در بخش کشاورزی مناطق خشک و اثر آن بر رشد و رنگ‌دهی گیاه گلرنگ در این تحقیق بررسی شد. آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و سه سطح شامل: بدون لجن، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب به‌صورت کشت زمینی در گلخانه در شهرستان تفت استان یزد اجرا شد. ۱۱ شاخص عملکردی گیاه اندازه‌گیری و نخ پشمی با عصاره گلبرگ این گیاه، رنگ شده و برای بررسی ثبات نوری و ثبات شستشویی از پارامترهای هانتر در سیستم CIE Lab استفاده شد. نتایج نشان‌داد استفاده از تیمار لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌داری در ۶ شاخص عملکردی شد، بطوری‌که در تیمار ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب، ۴۴٪ بر میزان عملکرد دانه، ۶۰٪ درصد بر تعداد طبق، ۴۵٪ قطر طبق، ۱۵۰٪ بر تعداد طبق در بوته و ۶۵٪ ارتفاع گیاه نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین لجن فاضلاب به‌میزان ۱۰ تن در هکتار، باعث افزایش پیک جذب رنگ شد و رنگ گیاه تیمار شده با ۱۰ تن لجن به‌طور معنی‌داری ثبات شستشویی و تیمار ۲۰ تن لجن ثبات نوری بالاتر نسبت به تیمار بدون لجن دارد.

Keywords: Optical stability, Washing Stability, Natural dye, Morphology, Sewage Sludge, *Carthamus tinctorius*

کلمات کلیدی: ثبات نوری، ثبات شستشویی، رنگ‌زای طبیعی، مورفولوژی، *Carthamus tinctorius*

همچنین بهترین عملکرد ماده خشک و تعداد گل آذین گل همیشه بهار (*Calendula officinalis L.*) در تیمار خاک با نیترات پتاسیم و بهترین شاخص A* در گل‌های زرد و B* در گل‌های نارنجی در تیمارهای خاک با اسید هیومیک بوده است (نوراللهی و همکاران، ۱۳۹۸). اثر میزان عنصر سنگین کادمیوم بر روی رنگدانه گیاه پونه (*Mentha aquatica*)، زولنگ (*Eryngium caucasicum*) و اناریچه (*Froriepia subpinnata*) نشان داد که رنگدانه‌هایی فنلی و فلاونوئیدی در اثر تنش کادمیوم افزایش می‌یابد (حسن پور و همکاران، ۱۳۹۸). اما گیاه ملیک کوهی (*Melica nutans L.*) در خاک‌هایی با حاصلخیزی کم رنگدانه کاروتن بالاتری دارد (Zielewicz et al., 2020). گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) یکی از گیاهان رنگزا است که متعلق به تیره Asteraceae (کاسنی) است (شکل ۱). گلبرگ گلرنگ دارای مواد رنگی کارتامین و کارتامیدین است که از آن‌ها برای رنگ آمیزی پارچه، ابریشم و گل‌های مصنوعی در طبخ‌ی و شیرینی‌پزی استفاده می‌شود. رنگ اصلی یا کارتامین، رنگ قرمز براقی است که از گیاهان گل قرمز پس از خارج کردن رنگ زرد به وسیله آب استخراج می‌شود (مالک، ۱۳۸۹).



شکل ۱- گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)

نظر به این که تاکنون مطالعات کمی بر روی اثر تغذیه و خاک بر روی خصوصیات رنگ‌دهی و رنگ‌ریزی گلرنگ صورت گرفته است و با توجه به این که تغذیه گیاه و عناصر خاک بر روی عناصر موجود در گیاه و همچنین میزان رنگدانه‌های موجود در گیاه موثر است (نوراللهی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Zielewicz et al., 2020). لذا این تحقیق به این مهم پرداخته و اثر استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان کود در بهبود عملکرد و تولید گیاه گلرنگ و همچنین تاثیر لجن بر رنگ‌دهی بر پشم و تعیین بهترین و مناسبترین میزان استفاده از لجن فاضلاب در کشت گیاه گلرنگ، بررسی شده است.

لجن فاضلاب شهری زمانی به‌عنوان یک منبع آلودگی تلقی می‌شد، اما هم اکنون به‌عنوان منبعی سرشار از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه در نظر گرفته می‌شود (Breda et al., 2020). این موضوع از دو نظر حائز اهمیت است: اول از نظر کنترل آلودگی‌های آن، عدم رهاسازی آن در رودخانه‌ها و حفظ محیط‌زیست و دوم مواد غذایی موجود در لجن که برای گیاهان بسیار سودمند است. حضور عناصر غذایی کم مصرف و نیز عناصر سمی مانند سرب، کادمیوم، جیوه و نیکل استفاده بی‌رویه از لجن در زمین‌های کشاورزی را محدود می‌کند (Gu and Bai., 2018). مطالعات نشان داد که لجن فاضلاب، تمایل زیادی به جذب سطحی فلزات سنگین دارد. همچنین با کمپلکس شدن عناصر سنگین توسط گروه‌های عامل مواد آلی، رسوب آن‌ها با ترکیبات فسفره موجود در لجن فاضلاب می‌تواند یکی از عوامل مهم در کاهش قابلیت دسترسی به عناصر سنگین توسط گیاه باشد (Medyńska-Juraszek et al., 2020).

فلز سنگین و سمی روی بر گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) می‌تواند منجر به وارد آمدن صدمات شدیدی به ساختار مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شود (نام‌جویان و همکاران، ۱۳۹۶). کشت گیاه با کوددهی لجن فاضلاب نشان داد که عناصر غذایی غیر ضروری چون سرب، روی و کادمیوم در گیاه افزایش یافته است. اما لجن فاضلاب توانسته شاخص‌های رشدی گیاه را چون ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه را افزایش دهد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شاملو و همکاران، ۱۴۰۰؛ نیک‌قدمی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین کشت گلرنگ با کمپوست زباله شهری عملکرد دانه را افزایش داد (عظیم‌زاده، ۱۳۹۵؛ مهر آفرید و عظیم‌زاده، ۱۳۹۴). اضافه کردن فاضلاب بر روی صفات کیفی گیاه زعفران از قبیل پیروکسین که یک عامل اصلی ایجاد رنگ در زعفران است تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (چوپان و همکاران، ۱۴۰۰).

اثر لجن فاضلاب بر گیاه کینوا و ذرت علوفه‌ای نشان داد که اضافه نمودن لجن فاضلاب توانسته است افزایش معنی‌داری در میزان شاخص‌های رشدی گیاه از جمله وزن خشک گیاه و رنگدانه‌های فتوسنتزی داشته باشد (افضلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین که تاثیر شوری خاک بر رنگدانه‌های گیاه رنگزا روناس (*Rubia tinctorum*) نشان داد که میزان روشنایی L با افزایش شوری کاهش یافته و میزان زردی و آبی‌بودن با افزایش شوری زیاد می‌شود (میرمحمدی میبیدی و همکاران، ۱۳۹۸).

۲- مواد و روش‌ها

فاضلاب شهری بود. کشت گلرنگ در زمینی به مساحت تقریبی ۱۰۰ مترمربع، هر کرت شامل ۳ ردیف با فاصله ۸۰ سانتی‌متر به طول ۴/۵ متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت بذر، نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه تهیه و بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های مهم خاک مانند بافت، PH و EC تعیین شد (جدول ۱). خصوصیات لجن فاضلاب نیز استخراج شد و از نظر میزان فلزات سنگین و عناصر غذایی ارزیابی شد (جدول‌های ۲ و ۳).

این آزمایش در گلخانه شخصی در روستای چم در فاصله ۵ کیلومتری از شهر تفت در سال زراعی ۱۴۰۰ به صورت کاشت پاییزه انجام پذیرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و سه تیمار لجن فاضلاب آب‌گیری شده اولیه شامل: شاهد (بدون لجن فاضلاب)، تیمار ۲۰ تن در هکتار و تیمار ۱۰ تن در هکتار (افضلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹) لجن

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

قاکتورهای مورد بررسی	pH	Sp اشباع	TNV آهک	Oc کربن	N	P فسفر	K پتاسیم	Ca کلسیم	EC هدایت الکتریکی
مقدار	اسیدیته	٪ خاک	٪ خاک	الی ٪	نیترژن ٪	ppm	ppm	meq/l	ms/cm
	۷/۵۶	۲۷/۶۷	۲۸/۷	۱/۷	۰/۳۱	۲۸۸	۵۲۰	۲۹/۸	۵/۱۸

جدول ۲- فلزات سنگین لجن فاضلاب شهری یزد

پارامتر	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Se	Mo	pH
محدوده استاندارد در خاک (Veghar et al., 2002)	کادمیوم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی	آرسنیک	سلیوم	مولیبدن	اسیدیته
مقدار	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	Mg/kg	اسیدیته
	۱-۳/۴۱	۱۰	۸۴	---	۲	۱۳	۱۰۱	۱۰۱	۱/۷	۰/۱-۲/۴	---
	۱/۲۸	۱۶	۱۴۷	ND	۳۲	۹	۳۷۵	۸۷	۱۲	۱/۵	۶/۲۰

جدول ۳- عناصر غذایی لجن فاضلاب شهری یزد

قاکتورهای مورد بررسی	N	P	K	Ca	Mg	Bo	Na	So	Fe آهن	Mn
مقدار	ازت ٪	فسفر ٪	پتاسیم ٪	کلسیم ٪	منیزیم ٪	Mg/kg	سدیم ٪	سولفات ٪	Mg/kg	Mg/kg
	۵/۴۲	۴/۲۶	۴/۲	۵/۲۹	۶/۱	۲۷/۷۷	۲/۲	۶	۵۷۹۷/۴۴	۱۲۵/۸۱

تعیین کمی رنگ منسوجات در سیستم $L^*a^*b^*$ اندازه‌گیری می‌شود. (CIELAB) $L^*a^*b^*$ کامل‌ترین فضای رنگی معرفی شده توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی است. این فضا تمامی رنگ‌های قابل رؤیت توسط چشم انسان را توصیف می‌کند. مولفه L^* درخشندگی یا روشنایی است که داری محدوده صفر تا ۱۰۰ است و پارامتر a^* (از سبز تا قرمز) و b^* (از آبی تا زرد) دو مولفه رنگی با محدوده‌ای از -۱۲۰ تا ۱۲۰ هستند (بعقوبی و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی ثبات نوری و شستشویی و نیز طیف‌سنجی رنگی گیاهان گلرنگ در آزمایشگاه شیمی نساجی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد انجام گرفت که برای تعیین مقادیر رنگ مشخصات انعکاسی a^* و b^* از طیف نورسنج انعکاسی ColorEye7000A ساخت شرکت GretagMacbeth با منبع نوری D65 و زاویه دید ۱۰ درجه استفاده شد. دستگاه

بذر گلرنگ رقم صفه یا محلی اصفهان (*Carthamus tinctorius*) از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد. بذرها در عمق ۳ سانتی‌متری با فاصله ۱۵ سانتی‌متر در هر ردیف کاشته شد و با عمل تنک کردن تراکم ۲۰ بوته در مترمربع حاصل شد. فاکتورهای عملکردی روی ۱۵ بوته متوالی که در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از کلیه ردیف‌ها به صورت تصادفی با رعایت حاشیه، اندازه‌گیری شد. این فاکتورها شامل عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، وزن هزاردانه، تعداد دانه در طبق، وزن هر طبق، تعداد گل در بوته، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی در تک بوته، زمان شروع، پایان و طول دوره گل‌دهی، قطر هر طبق، قطر ساقه در گیاه گلرنگ در هر تکرار اندازه‌گیری بود و شاخص برداشت از نسبت وزن دانه به وزن خشک گیاه به دست آمد (امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

اسپکتروفتومتر قرارگرفت (National Standard of Iran No. 10076, 2007). برای تعیین مقاومت الیاف در ثبات نوری ابتدا الیاف کاملاً خشک شده به میزان ۲۰ دور روی مقوای ضخیم کدر به قطر ۱ میلی‌متر و طول و عرض ۲ در ۶ سانتی‌متر، ۲۰ دور تابیده شده و به مدت ۲۰ روز در ساعات روشنایی کامل در معرض نور مستقیم خورشید به مدت ۸ ساعت قرارگرفت. سپس نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر ۷۰۰۰ A Macbeth Gretag قرارگرفت (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۱). به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها بررسی و در صورت غیرنرمال بودن نرمال‌سازی شد داده‌ها با نرم‌افزار SPSS20 مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی عملکرد گیاه تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب

جدول تجزیه واریانس عملکرد گلرنگ (جدول ۴) نشان می‌دهد که اثر تیمار بر عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، وزن هر طبق در بوته و تعداد گل در بوته ۱٪ و بر تعداد دانه در طبق ۵٪ معنی‌دار بود و تیمارهای مورد بررسی بر وزن هزار دانه و شاخص برداشت اثر معنی‌داری نداشت. هم‌چنین نشان داد که سه تکرار آزمایش از نظر صفات عملکردی یکنواخت بود. بنابراین می‌توان گفت که مزرعه آزمایشی از یکنواختی کافی برخوردار بوده است.

اندازه‌گیری ثبات نوری زنو Heraeus LM Alpha Xenotest instruments، دستگاه ۲ OC2-QE- و دستگاه اندازه‌گیری ثبات شستشویی مدل LHDEF ساخت شرکت Atlas به ترتیب برای اندازه‌گیری ثبات نوری و شستشویی به کار گرفته شد.

نخست واکس، مواد چربی و زائد از سطح پشم زدوده شد. بدین‌منظور نخ‌های پشمی مورد استفاده در این پژوهش نخست با صابون غیریونی شستشو داده‌شد. در این مرحله از نخ پشمی ایرانی با نمره متریک ۴/۵ و ۶۵ تاب در متر برای آزمایش‌های رنگری استفاده شدند (شاه‌پروری و همکاران، ۱۳۹۴). گلبرگ‌های گیاهان مورد مطالعه از گیاه جدا و خشک شدند. سپس مقدار ۵ گرم از گل خشک‌شده خالص گیاهان گلرنگ پس از خشک‌شدن کامل پس از توزین با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) مدل KERN آلمان و اضافه نمودن ۱۵۰ سی‌سی آب مقطر درون ارلن مایر به مدت ۱۰ دقیقه بروی هیتر آزمایشگاهی قرارگرفت که پس از رسیدن دما به ۴۰ درجه سانتی‌گراد مقدار ۵ گرم از نخ پشمی مورد آزمایش وارد حمام شد. سپس به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای ۹۰ الی ۹۵ درجه سانتی‌گراد در دمای جوش قرار داده‌شد (شاه‌پروری و همکاران، ۱۳۹۴). ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های حاصل از رنگری، با استاندارد شماره ۱۰۰۷۶ و ۴۰۸۴ سازمان ملی استاندارد ایران بررسی شدند. به منظور تعیین مقاومت الیاف در ثبات شستشویی پس از رنگ‌ریزی و سرد شدن الیاف رنگ‌شده با صابون مایع از شرکت Henkel آلمان به میزان ۵ گرم در هر نمونه شستشو شدند سپس با آب شهری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شسته و خشک‌شدند. نمونه‌ها برای آزمون ثبات شستشویی در دستگاه

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب در گلرنگ

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد دانه	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هر طبق در بوته	وزن گل در بوته
بلوک	۲	۶۱۶۳۶۴/۳۳*	۱۰۸/۷۲ ^{ns}	۳۰/۹۰ ^{ns}	۲۱/۸۹ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}
تیمار	۲	۱۲۳۰۵۰۴/۳۳**	۷۷۱/۱۷**	۷۹۷/۲۰*	۹۴/۰۹ ^{ns}	۱۷۱۶/۳۳**
خطا	۴	۶۰۴۸۲/۶۷	۱۹/۰۲	۱۱۵/۵۱	۲۵/۷۳	۲۹/۱۷

(** معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و (*) معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و (ns) عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی در سطح ۵٪)

تعداد روز تا شروع گل‌دهی و پایان گل‌دهی و طول دوره گل‌دهی و قطر ساقه در بوته گلرنگ تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب قرار نگرفت. به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و هم‌چنین افزایش آب در دسترس گیاه ناشی از بهبود خواص فیزیکی خاک در اثر مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش قدرت

ارتفاع بوته و قطر طبق در سطح ۱٪ و تعداد روز تا شروع گل‌دهی در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری داشتند و تیمار مورد بررسی بر تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد روز تا پایان گل‌دهی، طول دوره گل‌دهی و قطر ساقه، اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۵). وزن هزار دانه، شاخص برداشت و تعداد شاخه‌های جانبی،

آزمایشی در نظر گرفته شده است. آذری و خواجه‌پور (۱۳۸۴) ضمن بررسی اثر تراکم بر تعداد شاخه جانبی گیاه گلرنگ به این نتیجه رسیدند که همراه با بالا رفتن تراکم، به دلیل عوامل مناسب و در دسترس بودن عناصر مورد نیاز گیاه، رقابت برای عوامل محیطی رشد تشدید یافته و از شمار شاخه‌های جانبی به شکل معنی‌داری کم شده است.

رشد گیاه، شده است. اما افزایش تعداد طبق می‌تواند موجب افزایش رقابت درون گیاهی شده و در نهایت وزن هر طبق کاهش یافته و عملکرد، تغییر قابل توجهی نکند. چاکروالحسین (۱۳۸۵) اعلام کرد اگرچه تیمار کودی سبب افزایش وزن هزار دانه شد، اما این افزایش معنی‌دار نبود. براساس مشاهدات میدانی در مزرعه به نظر می‌رسد تعداد شاخه‌های جانبی به این دلیل افزایش نداشته که از ابتدا کاشت تراکم بالایی برای کاشت مزرعه

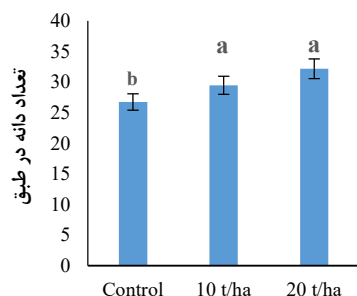
جدول ۵- جدول تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب در گلرنگ

میانگین مربعات							درجه آزادی	منبع تغییرات
قطر ساقه	قطر طبق	طول دوره گل‌دهی	روز تا پایان گل‌دهی	روز تا شروع گل‌دهی	شاخه جانبی در بوته	ارتفاع بوته		
ns ۰/۳۰	۱۰/۰۱**	۱۲/۳۳ ns	۲۷۵/۱۱ ns	۳۵۴/۷۸*	۰/۹۲ ns	۱۰۱/۸۲ ns	۲	بلوک
ns ۰/۷۱	۱/۰۴**	۸/۳۳ ns	۲۸۵/۴۴ ns	۳۰۲/۱۱*	۱۲/۴۷ ns	۱۰۰۹/۲۲**	۲	تیمار
۰/۳۹	۰/۰۲	۱۵/۱۷	۸۳/۴۴	۴۶/۱۱	۴/۰۴	۱۹/۱۴	۴	خطا

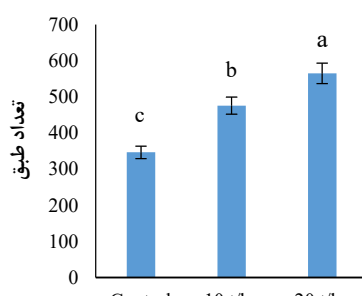
(**) معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و (*) معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و (ns) عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی در سطح ۵٪

خاک جرم مخصوص ظاهری را کاهش می‌دهد و باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و پایداری خاک دانه‌ها می‌شود (احمدی و بحرانی، ۱۳۸۸). هم‌چنین عظیم‌زاده (۱۳۹۵) و امیدوی و همکاران (۱۳۹۳) نیز نتیجه مشابهی گزارش نمودند که کودهای آلی به دلیل افزایش میزان نیتروژن می‌توانند موجب افزایش رشد رویشی و افزایش فتوسنتز و نهایتاً موجب افزایش عملکرد شوند. هم‌چنین در بررسی استفاده از لجن فاضلاب بر گیاه کینوا مشخص شد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه است که دلیل اصلی آن وجود مقادیر به نسبت زیاد مواد آلی و عناصر غذایی ضروری در لجن فاضلاب بیان شده است (افضلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹).

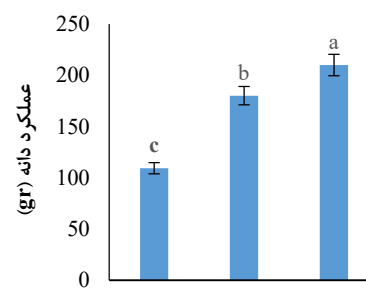
مقایسه میانگین عملکرد دانه گلرنگ تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب، نشان داد که اعمال ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در این گیاه شده است (شکل ۲-الف). هم‌چنین مصرف ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق گلرنگ شده است (شکل‌های ۲-ب و ۲-ج) به طوری که در تیمار ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب، ۴۴٪ بر میزان عملکرد دانه و ۶۰ درصد میانگین تعداد طبق و ۴۵ درصد میانگین قطر طبق افزایش یافته است. بهبود صفات رویشی گیاه می‌تواند به علت اضافه شدن مواد آلی موجود در لجن فاضلاب بوده که سبب بهبود خواص فیزیکی خاک می‌شود. افزایش کربن آلی



(ج)



(ب)

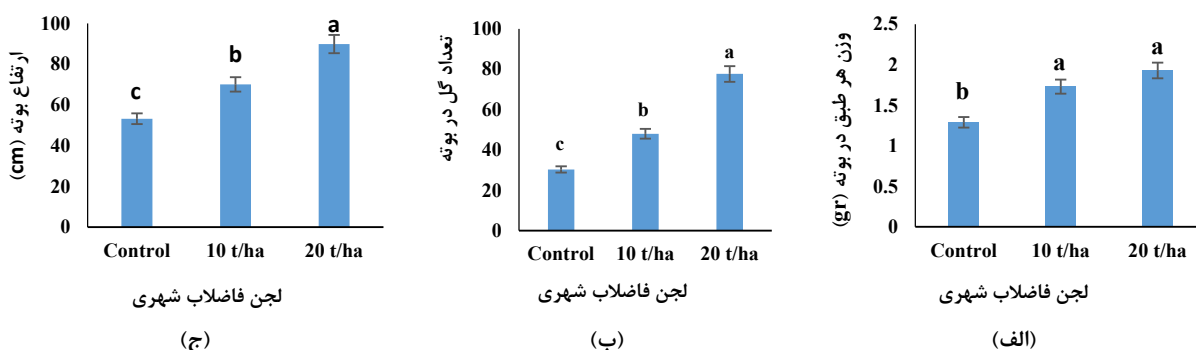


(الف)

شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه: الف) تعداد دانه در هر طبق؛ ب) تعداد طبق؛ ج) عملکرد دانه تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب (میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

غذایی و عملکرد افزایش یابد (Bia et al., 2022). مطالعه روی گلرنگ نشان می‌دهد که مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌عنوان مهم‌ترین عنصری که در لجن فاضلاب وجود دارد برای عملکرد مطلوب دانه، روغن و پروتئین دانه مناسب است. هم‌چنین واکنش گلرنگ به نیتروژن نسبت به سایر کودها بیشتر بوده و این ماده غذایی نه فقط بر کل بازدهی بذر بلکه بر ترکیبات آن نیز اثر می‌گذارد (Nasr et al., 2003). هم‌چنین از طریق افزایش تعداد انشعابات و در نتیجه تعداد طبق در بوته موجب افزایش عملکرد دانه و ارتفاع بوته می‌شود (رضوانی‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۸؛ احمدی و بحرانی، ۱۳۸۸).

مصرف لجن فاضلاب در هر دو تیمار ۱۰ تن و ۲۰ تن در هکتار موجب تاثیر معنی‌داری در میانگین وزن هر طبق در بوته گلرنگ شده‌است (شکل ۳-الف). هم‌چنین افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش تعداد گل و ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری شده‌است (شکل ۳-ب و ۳-ج)، به‌طوری‌که موجب بالا رفتن تعداد طبق در بوته تا ۱۵۰ درصد و ارتفاع گیاه تا ۶۵ درصد نسبت به میانگین شاهد شده‌است. با توجه به این‌که لجن مورد استفاده دارای عناصر غذایی فراوانی است و درصد نیتروژن کل آن بالای ۵٪ است، می‌تواند موجب تغذیه بهتر گیاهان و افزایش رشد سبزینه‌ای گیاه شده و در نهایت با افزایش فتوسنتز، تولید مواد



شکل ۳- مقایسه میانگین: (الف) وزن هر طبق؛ (ب) تعداد گل در بوته و (ج) ارتفاع بوته در گلرنگ تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب (میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

طبق در گلرنگ نشده‌است. اما مصرف ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار این صفت در گیاه شده‌است (شکل ۴-ب).

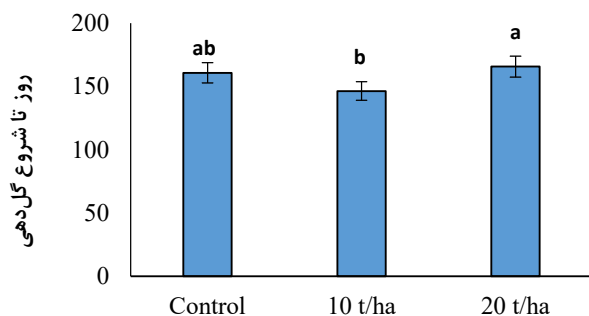
۳-۲- بررسی طیف جذبی محلول حاوی رنگ‌دانه استخراج شده از گیاه گلرنگ

در شکل ۵ مشاهده می‌شود که رنگدانه استخراجی از گیاه گلرنگ دارای یک سری پیک‌های جذبی در دامنه ۳۵۰-۴۵۰ نانومتر است که می‌تواند به دلیل وجود کلروفیل، کاروتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین باشد. در نمودار طیف جذبی مشاهده می‌شود که تیمار ۱۰ تن در هکتار در مرحله پرورش گیاه تاثیر معنی‌دار بر افزایش شدت پیک‌های جذبی در این ناحیه داشته‌است. اما تیمار ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب موجب کاهش واضح در شدت پیک جذبی در ناحیه رنگی شده‌است. مصرف لجن حاوی مواد تغذیه‌کننده، آهن، روی یا نیتروژن بوده و با جذب این عناصر توسط گیاه شدت پیک جذبی برای محلول‌های رنگی گیاه گلرنگ در هنگام استفاده از ۱۰ تن لجن فاضلاب در هر هکتار

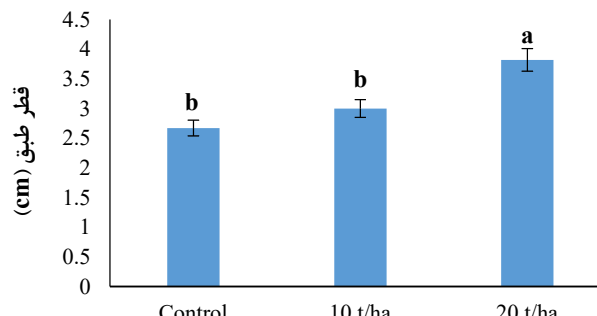
مقایسه میانگین تعداد روز تا شروع گل‌دهی در بوته گلرنگ نشان داد که هیچ‌یک از تیمارهای لجن موجب افزایش این صفت نسبت به تیمار شاهد نشدند (شکل ۴-الف). نتایج تعداد روز تا شروع و پایان و طول دوره گل‌دهی با گزارش امیدوی و همکاران (۱۳۹۳) که بیان نمودند شروع و خاتمه گل‌دهی گیاه گلرنگ از نظر آماری به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر میزان کود ریزمغذی و زمان کاربرد آن قرار دارد که با نتایج این تحقیق هماهنگ نیست. طول گل‌دهی تحت تاثیر بسیاری از عوامل محیطی و فیزیولوژیکی مختلف است. یکی از عناصر بسیار حیاتی برای افزایش گل‌انگیزی و بالا رفتن توانایی گیاه برای گل‌دهی عنصر پتاسیم است (Azizah et al., 2022). با توجه به آنالیز صورت‌گرفته بر روی لجن فاضلاب شهری عنصر پتاسیم نسبت به سایر عناصر پایین بود. هم‌چنین با در نظر گرفتن آنالیز خاک مزرعه می‌توان یکی از دلایل عدم معنی‌داری طول دوره گل‌دهی را به کمبود عنصر پتاسیم در تیمار اضافه‌شده ارتباط داد. البته سایر عوامل محیطی از قبیل تراکم و هم‌چنین رطوبت نیز باید در این خصوص مورد توجه قرار گیرد. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که اعمال تیمار ۱۰ تن در هکتار لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار قطر

که با افزودن لجن فاضلاب میزان این رنگدانه‌ها افزایش یافته است (افضلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹).

افزایش یافته، اما در ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب موجب انتخابی عمل نمودن در جذب عناصر شده و پیک جذبی کاهش یافته است. البته مطالعه بر روی رنگدانه‌های کلروفیلی گیاه کینوا نشان داد

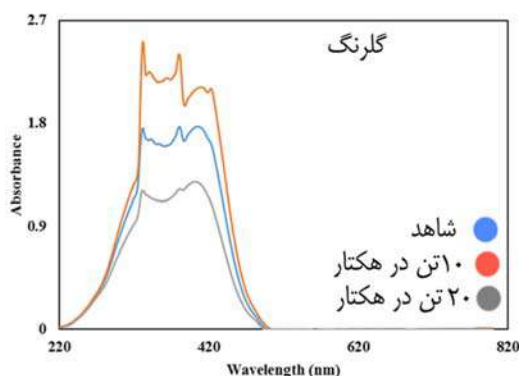


(ب)



(الف)

شکل ۴- مقایسه میانگین: الف) قطر طبق؛ و ب) روز تا شروع گل‌دهی در گلرنگ تحت تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب (میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل ۵- نمودار طیف جذبی محلول حاوی رنگدانه استخراج شده از گلرنگ با تیمارهای مختلف مصرف لجن فاضلاب

فاضلاب شاخص‌های مورد ارزیابی از قبیل تنش‌های نوری و شستشویی به شکل محسوسی بهتر شده‌اند (جدول ۶) که شاید بتوان دلیل اصلی آن وارد شدن عناصر و یون‌های فلزی از لجن به گیاه و تاثیر در ویژگی این مواد رنگزا در تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی موجود دانست (نیک‌قدمی حسینی‌ئی و همکاران، ۱۳۹۹؛ شاملو و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به این‌که حضور یون‌های فلزی در ثبات رنگ‌رزی با مواد رنگ‌زای طبیعی مهم است، به منظور بهبود ویژگی‌های ثباتی مانند ثبات شستشویی و سایشی از دندانه با یون‌های فلزی، استفاده می‌شود. به این دلیل که دندانه‌ها یا یون‌های فلزی، موجب تشکیل کمپلکس بین مولکول رنگزا و زنجیره پروتئین پشم شده و در نتیجه موجب اتصال بیشتر رنگزا به الیاف پشم و بهبود ویژگی‌های ثباتی رنگزا می‌شود (Tehrani and Navayee, 2024). هم‌چنین اتصال این

تاثیر سطوح مختلف لجن بر صفات رنگ‌زایی گیاه گلرنگ نشان‌داد شاخص‌های رنگی a , L , ΔE و نیز شاخص‌های w و y مربوط به نمونه نخ پشمی خام (رنگ‌رزی نشده)، نخ پشمی رنگ شده با محلول رنگی استخراج شده از گیاهان گلرنگ با کوددهی ۱۰ و ۲۰ تن لجن فاضلاب در هر هکتار قابلیت رقابت و سازگاری بالایی با تیمار شاهد دارد. محاسبه شاخص ΔE به منظور محاسبه اختلاف رنگ نمونه‌های رنگ شده (جدول ۶) نشان داد تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار موجب کمترین تغییرات رنگ در اثر شستشو شده است و ثبات شستشویی بالاتری را از تیمار شاهد دارد. هم‌چنین شاخص ثبات نوری براساس فرمول ΔE ، نشان داد تیمار ۱۰ تن لجن فاضلابی توانسته کمترین میزان تغییر در اثر تنش نور داشته باشد. در گیاهان گلرنگ رشد یافته در خاک با ۲۰ و ۱۰ تن لجن

یون‌های فلزی با مواد رنگ‌زای ذکر شده موجب تغییر رنگ در آن‌ها می‌شود و با توجه به پیوند بین یون فلزی با لیاف،

جدول ۶- شاخصه های رنگی نخ پشمی رنگ‌زایی شده با رنگدانه استخراجی از گلرنگ کشت شده با لجن‌دهی متفاوت.

نمونه	L*	a*	b*	Y	W	ΔE نسبت به نمونه خام	ΔE نسبت به نمونه رنگ‌شده
نخ پشمی خام	۹۴/۴	۳/۲۳	۲۱/۵	۴۴/۵	- ۱۱/۱۶	-	-
رنگ شده	۹۰/۲۲	۸/۲	۳۲/۹	۶۵/۲	- ۷۴	b _{۱۳/۱}	---
تنش شستشو	۹۰/۷	۷/۱۵	۳۴/۷	۶۶/۳	- ۸۰	a _{۲/۱}	a _{۲/۱۱}
تنش نوری	۸۴/۷	۲۰/۱	۲۰/۵	۶۰/۹	- ۳۱	a _{۲۰}	b _{۱۸}
رنگ شده	۹۰/۳۹	۸/۳۶	۳۳/۷	۶۶/۳	- ۷۷	a _{۱۳/۸}	---
تنش شستشو	۹۰/۳	۷/۹	۳۴	۶۶/۳	- ۷۸	bc _{۰/۵}	b _{۱۱/۷}
تنش نوری	۸۵/۳	۱۹/۳	۲۰/۵	۶۰	- ۲۹	bc _{۱۸}	c _{۱۷/۴}
رنگ شده	۹۰/۷۹	۷/۷۵	۳۳/۲	۶۵	- ۷۳	b _{۱۳}	---
تنش شستشو	۹۰/۵	۸/۳	۳۲/۵	۶۴	- ۷۱	b _۱	c _{۰/۵}
تنش نوری	۸۲	۲۱/۸	۱۹/۲	۶۲	- ۳۲	b _{۱۸/۷}	a _{۲۰/۹}

۴- جمع‌بندی

کنجد در منطقه بوشهر "علوم آب و خاک، ۱۳(۴۸)، ۱۲۳-۱۳۱.

احمدیان، ا.، هاشمی گرم‌دره، س.ا.، و وراوی‌پور، م.، (۱۳۹۹)، "تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک در شرایط کشت گل‌خانه‌ای گل آفتابگردان زینتی"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۵(۳)، ۳۴-۴۰.

<https://doi.org/10.22112/jwwsc.2018.130237.1088>

آذری، ا.، و خواجه‌پور، م. ر.، (۱۳۸۴)، "اثر آرایش کاشت بر نمو، رشد، اجزای عملکرد و عملکردهای دانه و گلرنگ در کشت تابستانه گلرنگ، توده محلی کوسه اصفهان"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳)، ۱۳۱-۱۴۲.

افضلی‌نژاد، ف.، قاسمی، س.، سیفتی، ا.، و شهبازی منشادی، ش.، (۱۳۹۹)، "تأثیر لجن فاضلاب بر رشد و برخی عناصر غذایی سه ژنوتیپ کینوا در یک خاک آهکی و شور"، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۴(۴)، ۱۲۷-۱۳۹، <https://doi.org/10.47176/jwss.24.4.42021>.

امیدی، ح.، میرزاده، ط.، و رودپیما، م.، (۱۳۹۳)، "تأثیر مقادیر و زمان کاربرد کود ریزمغذی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گلرنگ"، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۲(۲)، ۳۰۵-۳۱۵، <https://doi.org/10.22067/GSC.V12I2.21218>.

چاکرال‌حسینی، م. ر.، (۱۳۸۵)، "اثرات نیتروژن و فسفر بر عملکرد کمی و کیفی گلرنگ در شرایط دیم نیمه‌گرمسیری"، مجله علوم خاک و آب، ۱(۲)، ۱۷-۲۵.

چوپان، ی.، هزار جریبی، ا.، قربانی، خ.، حسام، م و خاشعی

پاسخ عملکردی گیاه در شش فاکتور از جمله تعداد دانه و وزن هر طبق در بوته، تعداد طبق، عملکرد دانه، تعداد گل در بوته و ارتفاع بوته مورد بررسی با مصرف لجن فاضلاب افزایشی بود که بهترین عملکرد در تیمار ۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب گزارش شد. از مهم‌ترین دلایل بالا رفتن مقادیر عملکردی گیاه می‌توان به حضور موثر عنصر نیتروژن و فسفر و نیز حفظ رطوبت خاک توسط مواد آلی لجن اشاره نمود. همچنین استفاده از لجن فاضلاب بر کیفیت رنگ حاصل از گیاه تغییر معنی‌داری داشت، به طوری که بیشترین پیک طیف جذبی در عصاره گیاهان تیمار شده ۱۰ تن لجن فاضلاب بود. رنگ‌ریزی با عصاره گیاهان تیمار شده با لجن نیز به علت حضور یون‌های فلزی در گیاه و پیوند قوی‌تر با مولکول‌های رنگی موجب افزایش ثابت نوری و شستشویی معنی‌داری شد. بنابراین کشت گیاه گلرنگ با ۲۰ تن لجن فاضلاب به منظور رنگ‌ریزی پیشنهاد می‌شود. ولی لازم است تحقیقات بیشتری در رابطه با استفاده از آن در استفاده دارویی و غذایی از گلرنگ به منظور تجمع عناصر سنگین در گیاه و محصول صورت گیرد.

۵- مراجع

احمدی، م.، و بحرانی م ج.، (۱۳۸۸)، "تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد و میزان روغن دانه ارقام

به‌وسیله ریشه گلرنگ"، فصلنامه علوم محیطی، ۱۵(۳)، ۱۰۹-۱۲۲.

نورالهی، پ.، ابدالی مشهدی، ع.ر.، کوچک‌زاده، ا. و قرینه، م.ح.، (۱۳۹۸)، "اثر اسید سولفوریک، اسید هیومیک و محلول پاشی برگ‌ی نیترات پتاسیم بر کیفیت رنگ گلبرگ، خاصیت آنتی‌اکسیدانی، کاروتنوئید و عملکرد گل در همیشه بهار (*Calendula officinalis* L)"، تولید فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۹(۳)، ۹۵-۱۱۱،

<https://doi.org/10.47176/jcpp.9.3.21641>

نیک‌قدمی حسینی‌ئی، م.، فتوت، ا.، و خراسانی، ر.، (۱۳۹۹)، "اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت روی، مس، کادمیم و سرب در گیاه تربچه و ریحان و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک"، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۰(۳)، ۱۱۵-

<https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.17554.19>

25

مالک، ف.، (۱۳۸۹)، *دانه‌های روغنی و روغن‌های نباتی*، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ۱، ۵۸۶ ص.

مهرآفرید، س.، و عظیم‌زاده، س.م.، (۱۳۹۴)، "اثر کمپوست زباله شهری در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ"، نشریه بوم‌شناسی گیاهان زراعی، ۱۱(۲)، ۵۱-

<https://doi.org/10.22034/AEJ.2015.515971>

میرمحمدی میبیدی، ع.م.، راضی اردکانی، ح.، حکیمی میبیدی، م.ح.، و حقیقی، م.، (۱۳۹۸)، "اثر ویژگی‌های مرتبط با شوری خاک بر کیفیت رنگ‌ریزه‌های ریشه گیاه روناس"، نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۹(۳)، ۲۱۷-۲۰۵،

<https://doi.org/10.47176/jcpp.9.3.3120>

یعقوبی سوره، ا.، علی‌زاده خالدآباد، م.، و رضازاد باری، م.، (۱۳۹۲)، "کاربرد پردازش تصویر برای تعیین شاخص‌های رنگی $L^*a^*b^*$ در سنجش رنگ غذاها"، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳(۲۳)، ۴۱۱-۴۲۲.

Azizah, N., Nihayati, E., Khotimah, H., Rohmah, S., Widaryanto, E., Sugito, Y., and Kurniawan, S., (2022), "Impact of potassium fertilization on yield, nutrient use and response efficiency, and antioxidant content of red ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade)", *Chilian Journal of Agricultural Research*, 82(3), 380-389, <https://doi.org/10.4067/S0718-58392022000300380>.

Bai, J., Sun, X., Xu, Ch., Ma, X., Huang, Y., Fan, Zhi., and Cao X., (2022), "Effects of sewage sludge application on plant growth and soil characteristics at a *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Plantation in Horqin sandy land", *Forests*, 13(7), 984, <https://doi.org/10.3390/f13070984>.

Breda, C.C., Soares, M.B., Tavanti, R.F.R., Viana, D.G., da Freddi, O., Piedade, A.R., Mahl, D., Traballi, R.C.,

سیوکی، ع.، (۱۴۰۰)، "تأثیر پساب فاضلاب شهری و روش‌های نوین آبیاری بر خواص زعفران"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۱۶(۱)، ۵۲-۶۰،

<https://doi.org/10.22112/JWWSE.2020.230301.1208>

حسن‌پور، ر.، زعفریان، ف.، رضوانی، م.، و جلیلی، ب.، (۱۳۹۸)، "بررسی اثر کادمیم بر تغییرات رنگدانه‌ای، فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی سه گونه دارویی *Mentha aquatica* L. و *Froriepia subpinnata* و *Eryngium caucasicum* Trautv Ledeb"، *اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۷(۲)، ۹۱-۱۰۳.

رضوانی مقدم، پ.، بخشائی، س.، امین‌غفوری، ا.، و خرم‌دل، س.، (۱۳۸۸)، "اثر کودهای بیولوژیکی و ورمی کمپوست بر خصوصیات کمی گیاه دارویی مرزه (*Satureia hortensis*)"، همایش علمی توسعه صنعت گیاهان دارویی ایران، تهران، ایران.

سازمان ملی استاندارد ایران، (۱۳۸۱)، *روش تعیین ثبات رنگ کالای نساجی در برابر نور روز*، استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۵، سازمان ملی استاندارد ایران.

سازمان ملی استاندارد ایران، (۱۳۸۶)، *استاندارد نساجی ثبات رنگ در برابر شستشو با صابون یا صابون و سود*، استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۰۷۶، سازمان ملی استاندارد ایران.

شاه‌پوری، م.ر.، صفاپور، س.، و قرنجیگ، ک.، (۱۳۹۴)، "رنگ‌رزی نخ پشمی با ماده رنگ‌زای استخراج شده از گیاه جاشیر"، همایش ملی فرش دستباف، دانشگاه بیرجند، ۱۸۶. شاملو، ز.، بهبهانی نیا، آ.، و سبحان، س.، (۱۴۰۰)، "بررسی تجمع غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیم در نعنا (*Mentha piperital*) و اسفناج (*Spinacia oleracea*) تحت تیمار لجن دفعی فاضلاب"، نشریه پایدار، توسعه و محیط‌زیست، ۲(۵)، ۱۳-۲۳.

عظیم‌زاده، م.، (۱۳۹۵)، "بررسی تأثیر کودهای آلی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ"، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۸(۶)، ۱۳۰۴-۱۳۱۱،

<https://doi.org/10.22067/GSC.V15I3.49077>

قاسمی، ز.، کریمیان، ع.ا.، عظیم‌زاده، ح.ر.، و سودایی‌زاده، ح.، (۱۳۹۷)، "تأثیر آبیاری با فاضلاب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی رزماری (مطالعه موردی: فاضلاب شهر یزد)"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳(۳)، ۲۹-۳۸،

<https://doi.org/10.22112/jwwse.2018.130237.1088>

نام‌جویان، ش.، کرمانیان، ح.، ابوالحسنی سورکی، ع.، مدرس طباطبایی، ص.، و الیاسی، ن.، (۱۳۹۶)، "تأثیر سدیم‌نیتروپروپوساید بر افزایش پتانسیل گیاه‌پالایی عنصر روی

- and Guerrini, I.A., (2020), "Successive sewage sludge fertilization: Recycling for sustainable agriculture", *Waste Management*, 109, 38-50, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.045>.
- Gu, C.H., and Bai, Y.C., (2018), "Heavy metal leaching and plant uptake in mudflat soils amended with sewage sludge", *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 31031-31039, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3089-5>.
- Medyńska-Juraszek, A., Rivier, P.-A., Rasse, D., and Joner, E.J., (2020), "Biochar affects heavy Metal uptake in plants through interactions in the Rhizosphere", *Applied Sciences*, 10(15), 5105-5114, <https://doi.org/10.3390/app10155105>.
- Nasr, H.G., and Katkhoda T.L., (2003), "Effect of N fertilization and papulation rate spacing on safflower", *Japanese Journal of Crop Science*, 54, 346-352.
- Tehrani, M., and Navayee, T., (2024), "Suitability of dyes from cinnamon bark on wool fibers using metal and bio-mordants", *Environmental Science and Pollution Research*, 31(21), 1-10, <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33381-z>.
- Zielewicz, W., Wróbel, B., and Niedbała, G., (2020), "Quantification of chlorophyll and carotene pigments content in Mountain Melick (*Melica nutans* L.) in relation to edaphic variables", *Forests*, 11(11), 1197-1208, <https://doi.org/10.3390/f11111197>.



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

Performance Evaluation of Ceramic Membranes in the Pre-treatment of Reverse Osmosis for the Removal of Suspended Solids and Organic Matter from Well Water

Hannaneh Estabar¹ and Mohammad Saleh Shafeeyan^{2*}

1- M.Sc., Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Aliabad Katoul, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Aliabad Katoul, Iran.

* Corresponding Author, Email: ms.shafeeyan@gmail.com

Received: 24/06/2024

Revised: 07/08/2024

Accepted: 21/08/2024

© IWWA

Abstract

This study evaluates the effectiveness of ceramic membranes in the pre-treatment of Reverse Osmosis (RO) systems for the removal of suspended solids and organic matter from well water. Initially, the Silt Density Index (SDI) was measured without chemical injection, using only a multimedia filter containing activated carbon to assess the quality of the feed water entering the RO unit. This resulted in an SDI value of 4.9, exceeding the threshold of 3, which indicates poor water quality that could elevate fouling potential and reduce the lifespan of the RO unit. A combined pre-treatment strategy, comprising aeration, ferric chloride injection, extended retention time in the sedimentation basin, and final filtration through a ceramic membrane with a pore size of 0.1 microns, successfully reduced the SDI to 0.1. This approach significantly lowered the iron content from 0.11 to 0.05 ppm, Chemical Oxygen Demand (COD) from 35 to 29.78 ppm, Biological Oxygen Demand (BOD) from 15.8 to 10.58 ppm, Total Suspended Solids (TSS) from 117 to 1 ppm, and turbidity from 15 to 0.5 NTU.

Keywords: Reverse osmosis; Ceramic membrane; Silt density index, Turbidity index, Well water

ارزیابی عملکرد غشای سرامیکی در پیش تصفیه اسمز معکوس برای حذف ذرات معلق و مواد آلی از آب چاه

حنانه اصطبار^۱ و محمد صالح شفیعیان^{۲*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه گلستان، علی‌آباد کتول، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه گلستان، علی‌آباد کتول، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: ms.shafeeyan@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در این مقاله عملکرد غشای سرامیکی مورد استفاده در پیش تصفیه اسمز معکوس (RO) برای حذف ذرات معلق و مواد آلی موجود در آب چاه بررسی شد. در ابتدا به منظور ارزیابی کیفیت آب خام ورودی به RO، شاخص گرفتگی فیلترهای اسمز معکوس "شاخص چگالی سیلت (SDI)"^۲، بدون تزریق هیچ‌گونه ماده شیمیایی و فقط با عبور از فیلتر چندبستری حاوی کربن فعال محاسبه شد که مقدار ۴/۹ به دست آمد. بیشتر بودن این شاخص از ۳ به منزله نامناسب بودن شرایط آب ورودی و افزایش پتانسیل ایجاد رسوب و کاهش طول عمر واحد اسمز معکوس است. استفاده از پیش تصفیه چند مرحله‌ای شامل هوادهی، تزریق کلرید فریک، افزایش زمان ماند در حوضچه‌ی ته‌نشینی و در نهایت عبور از غشای سرامیکی با اندازه منافذ ۰/۱ میکرون میزان SDI را به ۰/۱ کاهش داد. با استفاده از این روش میزان آهن موجود در آب از ۰/۱۱ به ۰/۰۵، مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)^۳ از ۳۵ به ۲۹/۷۸، میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD)^۴ از ۱۵/۸ به ۱۰/۵۸، مقدار کل مواد معلق (TSS)^۵ از ۱۱۷ به ۱ ppm و میزان کدورت از ۱۵ به ۰/۵ NTU^۶ کاهش یافت.

کلمات کلیدی: اسمز معکوس، غشای سرامیکی، شاخص SDI، شاخص کدورت، آب چاه.

روش اخیر (پیش‌تصفیه غشایی RO) مزایای بسیاری نسبت به سایر روش‌های مرسوم پیش‌تصفیه دارند. با این حال، انرژی مورد نیاز و هزینه سرمایه‌گذاری در آن‌ها به مراتب بیشتر است. با استفاده از فناوری پیش‌تصفیه غشایی امکان تولید آب صنعتی با $SDI < 2$ و کدورت تا کمتر از 0.5 NTU فراهم می‌شود (Greenlee et al., 2009). با در نظر گرفتن مشکلات عملیاتی ناشی از نامطلوب بودن کیفیت آب ورودی به این واحدها و پرهزینه بودن شیرین‌سازی آب بی‌کیفیت و نیاز اساسی به وجود تأسیسات پیش‌تصفیه ویژه، استفاده از غشاهای سرامیکی به دلیل ماندگاری بالا، پایداری حرارتی و مکانیکی، مقاومت در برابر باکتری‌ها، قابلیت بک‌فلاشینگ و سهولت در تمیز کردن می‌تواند انتخاب مناسبی برای استفاده به‌عنوان پیش‌تصفیه در مقایسه با سایر روش‌های متداول باشد.

امروزه غشاهای سرامیکی در زمینه‌هایی مانند محیط‌زیست و انرژی بسیار مورد توجه هستند. در واقع، بسته به ماهیت اکسیدی یا غیر اکسیدی، ساختار متخلخل و بلورینگی آن‌ها، در کاربردهای مختلف صنعتی و جداسازی و تصفیه جامد و گاز استفاده می‌شوند. در مقایسه با انواع غشاهای اکسیدی، غشاهای سیلیکون کاربید (SiC) به دلیل برخورداری از چندین قابلیت متفاوت برتری ویژه‌ای دارند. از جمله فوق‌العاده آب‌دوست هستند و با کاهش زاویه تماس با آب، نفوذپذیری مناسبی ارائه می‌دهند. تحمل اختلاف فشار در محیط‌های بسیار خشن و تهاجمی که عملاً همه اکسیدها در این شرایط ناکارآمد هستند و همچنین نفوذپذیری قابل تنظیم که با اهداف کاربردی خاص مطابقت داشته باشد از جمله قابلیت‌هایی هستند که مورد توجه پژوهشگران واقع شده‌اند. سرامیک‌های متخلخل SiC با روش‌های متفاوتی از جمله اکستروژن، ریخته‌گری لغزشی و نواری و تفجوشی ساخته می‌شوند (Chauhan, 2023).

برای کاربردهای خاص، لازم است غشاهای سرامیکی در شکل‌های مختلف بسته‌بندی شوند. این سرامیک‌ها می‌توانند به صورت تخت، استوانه‌ای و اشکال دیگر ساخته شوند. به‌منظور تصفیه پساب صنعتی، شکل استوانه با لوله‌های یک و چندکاناله و هولوفایبرها (الیاف تو خالی) مناسب‌تر هستند. زیرا در مقایسه با شکل‌های سرامیکی تخت آب‌بندی راحت‌تر، پایداری مکانیکی بیشتر و قابلیت کنترل سرعت جریان در مقاطع بالاتری را دارند. غشاهای لوله‌ای تک‌کاناله برای جداسازی ورودی‌هایی با کدورت بالا و مقدار زیاد ذرات جامد معلق مناسب هستند. به‌علت قطر زیاد و استحکام بالایی که دارند به راحتی به صورت مکانیکی تمیز می‌شوند و در سرعت بالای مقطع جریان می‌تواند برای کنترل

آب، فراوان‌ترین منبع طبیعی در این سیاره است؛ اما تنها درصد کمی از آن در دسترس و مناسب برای حفظ زندگی انسان است. رشد روزافزون جمعیت و کاهش ذخایر آب قابل شرب به یکی از چالش‌های اساسی و جدی در دنیای امروز مبدل شده است (پسندیده‌پور و همکاران، ۱۴۰۲؛ طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۲). استفاده مجدد از پساب‌ها به‌عنوان یک راه‌حل از سوی پژوهشگران حوزه آب و محیط‌زیست پیشنهاد شده است. در میان روش‌هایی که برای تصفیه پیشرفته آب‌های آلوده به کار می‌روند، استفاده از فرایند اسمز معکوس (RO) به دلیل کاربرد آسان‌تر، انرژی مورد نیاز کمتر، بهره‌برداری و نگهداری ساده‌تر و همچنین سازگاری بیشتر با استانداردهای محیط‌زیستی به‌سرعت در حال افزایش است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). اسمز معکوس یک فرایند غشایی است که از آن برای نمک‌زدایی و حذف آلاینده‌ها از آب استفاده می‌شود. این فرایند از یک غشای نیمه‌تراوا استفاده می‌کند که امکان عبور آب از طریق آن فراهم است، اما نمک‌ها و سایر آلاینده‌ها از آن عبور نمی‌کنند (موسوی نسب و همکاران، ۱۴۰۲).

آب‌های سطحی، فاضلاب‌ها و آب‌های زیرزمینی می‌توانند به سهولت برای تامین نیاز در بخش خانگی با استفاده از فناوری RO تصفیه شوند. این نوع آب‌ها حاوی ذرات معلق، مواد آلی و سایر ناخالصی‌های غیر آلی هستند که عملکرد فرایندهای غشایی را مختل می‌کنند. برای جلوگیری از گرفتگی‌های زود هنگام و افزایش طول عمر واحد اسمز معکوس، به کار بردن تمهیدات گسترده‌تر از جمله طراحی بهینه پیش‌تصفیه امری ضروری است (Qasim et al., 2019). هدف یک سامانه پیش‌تصفیه، تامین آب ورودی به RO با کمیت و کیفیت مناسب است که امکان عملکرد پایدار تجهیزات در پایین‌دست را فراهم و آن‌ها را از رسوبات احتمالی موجود در آب ورودی محافظت کند. پیش‌تصفیه مناسب نقش مهمی در عملکرد، طول عمر تجهیزات و هزینه نگهداری واحد اسمز معکوس ایفا می‌کند. از آن‌جا که استفاده نادرست باعث ایجاد رسوب در غشا می‌شود، هدف اولیه پیش‌تصفیه سازگار نمودن آب ورودی به RO با غشا مورد استفاده است (Gao et al., 2023).

از روش‌های متداول پیش‌تصفیه اسمز معکوس در صنعت می‌توان به انعقاد یا لخته‌سازی، فیلترهای چندبستری، شناورسازی هوای محلول و اولترا، میکرو (Malayeri et al., 2018) و نانوفیلتراسیون غشایی اشاره کرد (Anis et al., 2019). هر سه

مواد آلی را نشان داد که حاکی از برهمکنش‌های پیچیده بین غشا و رسوب‌ها است.

در همین زمینه، Cui et al. (2011) استفاده از غشای سرامیکی را برای پیش تصفیه آب خلیج تیانجین در فرآیند اسمز معکوس آب دریا (SWRO)، با اتخاذ یک روش انعقاد بهینه در بازه‌ای طولانی مدت مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که نسبت حذف کدورت محصول، قابل قبول است و کیفیت آب نفوذی ارائه شده توسط غشای سرامیکی برای ورود به فرآیند SWRO مناسب است. روش انعقاد بهینه مورد استفاده در فیلتراسیون غشای سرامیکی، عملیات ته‌نشینی طبیعی لخته‌سازی بود. عملیات بدون انعقاد برای فیلتراسیون غشای سرامیکی آب دریا مناسب نبود. زیرا رسوب به جا مانده باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود. سامانه غشای سرامیکی نفوذپذیری پایدار را در طول آزمایش طولانی مدت، حتی در دماهای پایین (۳-۶ درجه سانتی‌گراد) حفظ کرد.

Dey et al. (2013) استفاده از یک ماژول سرامیکی توخالی را برای تصفیه آب دریا در عربستان بررسی کردند. در این تحقیق از غشای MF سرامیکی مبتنی بر آلومینا، با پیکربندی ۱۹ کانالی و اندازه ۰/۱ میکرومتر استفاده شد. نتایج نشان داد که اندازه منافذ، صرف نظر از نوع رسوب‌ها و اجزای معلق مانند بارگذاری جامد، ذرات کلونیدی، باکتری‌ها و غیره انتخاب مناسبی برای پیش تصفیه واحدهای RO است. شار تراوش غشایی MF به دست آمده در حدود ۳۵۰-۳۷۰ لیتر بر ساعت بر مترمربع با کدورت کمتر از ۱ NTU و SDI کمتر از ۰/۳ گزارش شد. مزیت سیستم پیش تصفیه با استفاده از غشای MF سرامیکی نسبت به غشای MF پلیمری در طول عمر بیشتر و توانایی تحمل تغییرات شدید pH، کاهش زمان توقف کارخانه، پایداری بیشتر عملیات RO، افزایش نرخ شار و در نهایت کیفیت بهتر آب تصفیه شده است.

Hamad et al. (2013) یک مطالعه آزمایشی با استفاده از سرامیک‌های تخت به صورت غشای یکپارچه آلومینا با اندازه منافذ حدود ۰/۱ میکرومتر انجام دادند. براساس نتایج، SDI آب دریای سرخ پس از چندین آزمایش تکراری به طور میانگین ۶/۱ گزارش شد. این نشان می‌دهد که آب دریای سرخ قبل از استفاده در سیستم SWRO باید تحت فرآیند پیش تصفیه قرار گیرد. غشای میکروفیلتراسیون سرامیکی، به عنوان یک مرحله پیش تصفیه، توانست مقدار SDI را به میانگین ۲/۱ کاهش دهد که برای خوراک SWRO قابل قبول است. از این رو، غشای MF سرامیکی مقادیر SDI مورد نیاز برای خوراک SWRO را فراهم کرد. این

آلودگی به کار روند. مدول هولوفایبرها سطح مقطع مؤثر بالایی را ارائه می‌دهند. این غشاها نازک هستند و می‌توانند با استفاده از بک‌واش و فوروارد فلاشینگ به راحتی تمیز شوند (Pabby et al., 2008).

غشاهای سرامیکی تخت می‌توانند به صورت دیسک یا صفحه باشند. حجم بسته‌بندی غشاهای دیسکی به طور کلی کم بوده و به همین دلیل اغلب در مقیاس کوچک صنعتی، پزشکی و کاربردهای آزمایشگاهی استفاده می‌شود. سرامیک‌های تخت می‌توانند چندکاناله باشند، به راحتی قابل تعویض هستند و هم چنین توانایی کنترل کدورت زیاد آب ورودی را دارند. تمیز کردن مکانیکی سرامیک‌های تخت به سهولت انجام می‌شود؛ زیرا می‌توانند فشار هوا، بک‌واش و واترجت را حین شست‌وشو تحمل کنند و در مقایسه با غشاهای پلیمری از این حیث ماندگاری بیشتری دارند (Jarrar et al., 2024).

Ahmad and Mariadas (2008) استفاده از غشای سرامیکی لوله‌ای تک‌کاناله با اندازه منافذ ۰/۲ میکرومتر به عنوان پیش تصفیه آب خوراک قبل از غشاهای اسمز معکوس برای کاهش رسوب در فرآیند نمک زدایی را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد استفاده از بافل مارپیچی که در میکروفیلتر (MF) غشایی قرارداد می‌شود نقش به‌سزایی در کنترل گرفتگی و بهبود شار نفوذ خوراک ایفا می‌کند. اغتشاش ناشی از وجود این جداسازها باعث کاهش میزان انباشتگی مایع در مسیر خوراک، افزایش سرعت سیال و نرخ برشی دیواره و ایجاد جریان‌های ثانویه یا ناپایداری‌ها می‌شود. حالت بهینه میکروفیلتراسیون با هندسه بافل ۴ دور در طول ۵۰ میلی‌متر توانست شار متوسط نفوذی را تا ۱۰۴/۹ درصد در مقایسه با میکروفیلتراسیون بدون بافل افزایش دهد.

در تحقیقی دیگر، Xu et al. (2010) عملکرد اولترا فیلتر (UF) سرامیکی با اندازه منافذ ۰/۰۵ میکرومتر را در شیرین‌سازی آب دریا به روش اسمز معکوس طی شرایط عملیاتی مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. غشای معدنی (سرامیکی) مورد استفاده در مقایسه با همتای آلی (پلیمری)، از نظر شار نفوذ و پتانسیل گرفتگی نتایج بهتری نشان داد. در حالی که دوام و مقاومت شیمیایی بالاتری را در فیلتراسیون آب دریا ارائه کرد. این غشا در سرعت جریان متقاطع ۳/۷-۴/۲ m/s، گرادیان فشار ۰/۱۴ MPa-۰/۱۸، دمای ۲۵-۳۰، و pH آب دریا ۸/۰-۹/۰، شار نفوذ قابل توجهی در محدوده ۴۲۰-۴۵۰ L/m².h با حذف کدورت ۹۹-۹۹/۵٪ و COD_{Mn} ۲۲-۳۵٪ نشان داد. بررسی کیفیت نفوذ تحت شرایط عملیاتی مختلف، راندمان‌های متفاوت حذف ذرات معلق و

سرامیکی است که به صورت موازی کار می‌کنند. هر قطار می‌تواند نرخ جریان فیلتراسیون جداگانه خود را داشته باشد که ممکن است در طول فرآیند فیلتراسیون در یک قاب معین کاهش یابد. این بدان معنی است که قطارهای در حال کار می‌توانند جریان معینی از یک قطار متوقف شده را با افزایش نرخ جریان قطار در حال فیلتراسیون پوشش دهند. هر قطار می‌تواند در هر زمان توسط اپراتور متوقف و راه اندازی مجدد شود. کل مساحت فیلترهای سرامیکی موجود در مجموعه ۱۶۸۰ متر مربع است که توزیع اندازه منافذ غشای سرامیکی مشخص و اندازه منافذ به‌طور یکنواخت ۰/۱ میکرومتر را نشان می‌دهد. یک صفحه سرامیکی ابعاد ۶۱×۱۵ سانتی‌متر دارد و در مجموع مساحت سطح فعال هر صفحه حدود ۰/۱۷۷ مترمربع است که هر دو طرف صفحه برای افزایش جریان آب به کار می‌رود. تعداد ۳۴ عدد صفحه سرامیکی را مدول و ۷ طبقه مدول را یک تاور یا برج می‌نامند.

۲-۲- خصوصیات آب خام ورودی به RO

منبع تأمین آب خام این پژوهش شش حلقه چاه نیمه عمیق در محدوده شهرستان بندر ترکمن است. عمق هر حلقه چاه حدود ۱۳۰ متر و از سفره‌های آب زیرزمینی نامتعارف برداشت می‌شود. کلیه آب برداشتی از چاه‌ها با خطوط انتقال به سایت آب شیرین کن منتقل شده و در استخر هوادهی به حجم ۴۰ مترمکعب با ۲۰ عدد نازل ۱۲ اینچی هوادهی می‌شود. سپس آب از یک کانال ۱ مترمکعبی شامل میکسر به همراه افزودنی‌های مورد نیاز (کلرید فریک و پلیمرهای ذکر شده) عبور داده شده و نهایتاً در استخر ماریپیچی به حجم ۲۲۵ مترمکعب ته‌نشین می‌شود. اطلاعات مندرج در جدول ۱ در ورودی همین استخر اندازه‌گیری شده و آنالیز SDI در خروجی استخر انجام شده است. برای یافتن مناسب‌ترین پیش‌تصفیه در ابتدا نیاز به دانستن مشخصات آب خام ورودی است که به اختصار در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱- مشخصات آب خام ورودی به سایت آب شیرین کن بندر

ترکمن تهیه شده در ۲۴ بهمن ۱۴۰۱

مشخصه	مقدار	واحد
Fe	۰/۱۱	ppm
Mn	۰/۰۵	ppm
BOD	۱۵/۸	ppm
COD	۳۵	ppm
TSS	۱۱۷	ppm
Turbidity	۱۵	NTU
pH	۷/۶	-
TDS ^۷	۱۹۴۵	ppm

آزمایش نشان داد که سیستم‌های میکروفیلتراسیون می‌توانند مقدار SDI را به کمتر از ۳ کاهش دهند. علاوه بر این، فیلتراسیون غشایی سرامیکی کدورت آب دریا را از ۰/۶ به ۰/۰۵ NTU کاهش داد.

در تحقیق حاضر، کارایی غشای سرامیکی در تصفیه مقدماتی فرآیند اسمز معکوس برای حذف ذرات معلق و مواد آلی بررسی می‌شود. در این راستا میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، بیولوژیکی (BOD) و پارامتر میزان مواد معلق آب خروجی (TSS) ارزیابی و کیفیت آن برای ورود به واحد اسمز معکوس با شاخص SDI سنجیده می‌شود.

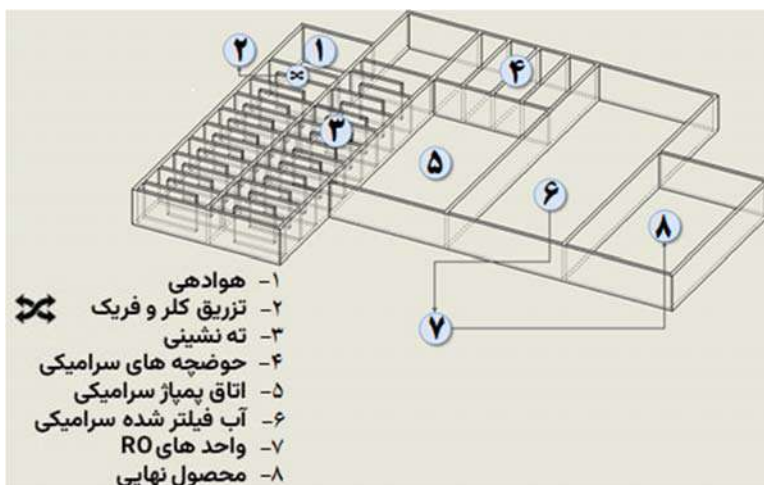
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

این پژوهش از نوع بنیادی-کاربردی بود که در مقیاس صنعتی در آب شیرین کن بندر ترکمن انجام شد. در اغلب آب شیرین کن‌ها برای افزایش رسوب در استخرهای ته‌نشینی پیش از ورود به واحدهای RO از مواد منعقد کننده استفاده می‌شود (مرادی و همکاران، ۱۴۰۲). مواد منعقد کننده مورد استفاده در تحقیق حاضر (شامل کلرید فریک، آلومینیوم سولفات و دو نوع پلیمر آنیونی و کاتیونی) توسط واحد خرید کالای شرکت مهندسی رعد آب جنوب تهیه و برای انجام آزمایش‌ها در اختیار قرار گرفت. فیلترهای سرامیکی به کار رفته در این پژوهش به‌عنوان پیش‌تصفیه واحد RO، از نوع فیلترهای سرامیکی تخت با لایه غشایی فعال در بیرون غشا هستند که توسط شرکت CERAFILTEC کشور آلمان ساخته شده‌اند. صفحه سرامیکی تکی مورد استفاده با یک لایه فعال فیلتر در قسمت بیرونی غشا عملیات تصفیه را انجام می‌دهد. درحالی‌که آب تمیز از بدنه غشا عبور می‌کند و در دو کلاهدک انتهایی جمع می‌شود، جامدات معلق روی سطح غشا یک لایه کیک تشکیل می‌دهند. آب فیلتر شده از هر صفحه منفرد در داخل محفظه ماژول جمع‌آوری شده و از طریق ۴ کانال آب فیلتر شده که در هر دو طرف محفظه ماژول یکپارچه شده‌اند به مجموعه هدر منتقل می‌شود.

برج‌های فیلتراسیون به‌طور کامل در یک مخزن (قطار فیلتراسیون) که حاوی آب خام ورودی است غوطه‌ور می‌شوند. همه برج‌ها در بالا با یک لوله هدر مشترک به یکدیگر متصل می‌شوند. آب تصفیه شده از طریق مجموعه هدر هر برج به بالا و از آن‌جا از طریق لوله هدر مشترک به مخزن خارج منتقل می‌شود که در آن یک پمپ فیلتراسیون برای انتقال آب تمیز به مخزن آب فیلتر شده وصل شده است. سامانه متشکل از ۴ قطار

بخش‌های بعد نتایج حاصل از آن‌ها بررسی خواهد شد. شکل ۱، نمای کلی از مراحل فرآیند تصفیه در آب شیرین‌کن بندر ترکمن را نمایش می‌دهد. نمونه‌گیری‌ها پس از عبور از مراحل ۱ تا ۶ و در انتهای تکمیل فرآیند پیش تصفیه و قبل از ورود به واحدهای RO انجام شد. شایان ذکر است هر یک از نمونه‌گیری‌ها ۶ بار طی ۷۲ ساعت (شامل ۲ آزمایش در هر روز) انجام شد و میانگین ۶ سری آزمایش ملاک قرار گرفت.



شکل ۱- دیاگرام کلی مراحل فرآیند تصفیه در آب شیرین‌کن بندر ترکمن

می‌کنند. اندازه‌گیری SDI براساس نرخ گرفتگی فیلتر کاغذی کلاس واتمن (۴۷ میلی‌متر قطر) با اندازه منافذ $0.45 \mu\text{m}$ انجام شد. SDI در فشار ۳۰ psi با استفاده از روش استاندارد D-4189- Xu and Drewes, (2002) 95 طبق رابطه (۱) اندازه‌گیری شد (2006):

$$SDI = \left(\frac{\%P_{30}}{T} \right) = \left[1 - \left(\frac{T_i}{T_f} \right) \right] \times \frac{100}{T} \quad (1)$$

که $\%P_{30}$: درصد انسداد غشا در فشار ۳۰ psi، T_i : مدت زمان مورد نیاز برای جمع‌آوری ۵۰۰ میلی‌لیتر اول عبوری از فیلتر و T_f : مدت زمان جمع‌آوری ۵۰۰ میلی‌لیتر نهایی عبوری از فیلتر پس از سپری شدن ۱۵ دقیقه از زمان فیلتراسیون (T) است.

مقدار بالای SDI نشان‌دهنده این است که برخی رسوبات به سرعت در سطح غشا ایجاد شده که منجر به کاهش شدید جریان می‌شوند. مقدار شاخص SDI در محدوده ۳-۵ قابل قبول است، اگرچه برای عملکرد موفقیت‌آمیز غشاهای RO، SDI کمتر از ۳ ارجح است (Xu et al., 2006). نتایج حاصل از اندازه‌گیری کدورت معیار مناسبی برای سنجش آب ورودی به RO نیست، زیرا به SDI مربوط نمی‌شود. با این حال، اندازه‌گیری کدورت

در این پژوهش، پیش از استفاده از غشاهای سرامیکی به‌عنوان پیش تصفیه RO، در ابتدا با توجه به مشخصات آب ورودی روش‌های متداول پیش تصفیه آزمایش شد و پس از اطمینان از عدم حصول نتیجه مناسب، از روش غیر متداول استفاده شد. استفاده از فیلترهای چندبستری حاوی مواد مختلف از جمله سیلیس و کربن فعال، تزریق مواد منعقدکننده مانند کلرید فریک، پلیمرهای آنیونی و کاتیونی در دستور کار قرارگرفت که در

۳-۲- روش‌های مشخصه‌یابی

آب ورودی به واحد RO نیازمند داشتن استاندارد و ویژگی‌های مشخصی است. از جمله باید عاری از باکتری باشد و حداکثر بار جامد معلق آن نباید بیشتر از ۱ ppm باشد تا عملکرد پایدار و عمر طولانی‌تر تجهیزات پایین‌دست را به همراه داشته باشد. شاخص چگالی سیلت (SDI) برای چندین دهه در سراسر جهان برای تعیین پتانسیل گرفتگی غشای سیستم‌های اسمز معکوس استفاده شده است و در واقع ملاکی برای تشخیص عملکرد سیستم‌های میکرو و اولترافیلتراسیون است (Xu and Drewes, 2006). ارزیابی رسوب به‌منظور تعیین پتانسیل گرفتگی غشا و پایش کارایی فرآیندهای پیش تصفیه از مهم‌ترین مراحل در تصفیه مقدماتی است. پیش‌بینی دقیق پتانسیل گرفتگی غشا برای اطمینان از عملکرد پایدار یک کارخانه آب شیرین‌کن اسمز معکوس (RO) حیاتی است. بنابراین، استفاده از یک شاخص قابل اعتماد از نظر تکرارپذیری و دقت مناسب، برای تجزیه و تحلیل تمایل رسوب‌گذاری پساب پیش تصفیه برای ورود به سامانه RO یک ضرورت است.

تقریباً همه بهره‌برداران غشاهای RO از شاخص چگالی سیلت (SDI) به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آب خام ورودی استفاده

مسیر آب خام ورودی لاملا قرار گرفت تا سرعت آب را کاهش دهد و زمان رسوب‌گذاری بیشتر شود. در این مرحله از هیچ فیلتری استفاده نشد و میزان SDI عدد ۶/۰۹ به دست آمد. نمونه سوم (شکل ۲-ج)، شامل تزریق ۱۰ ppm کلرید فریک به عنوان منعقدکننده بود. پس از سپری شدن زمان ته‌نشینی از فیلتر چندبستری حاوی کربن فعال عبور داده شد. مقدار SDI به دست آمده در این شرایط ۶/۱ بود که هم‌چنان برای واحدهای RO مناسب نیست.

همان‌طور که پیشتر ذکر شد، در بعضی موارد پیش‌تصفیه علاوه بر منعقدکننده نیاز به کمک منعقدکننده هم وجود دارد. در همین رابطه، نتایج پژوهش Asif and Zhang (2021) نشان داد که استفاده از کمک منعقدکننده‌های شیمیایی می‌تواند عملکرد پیش‌تصفیه را بهبود بخشد، اما حذف کامل مواد آلی نیازمند فرآیندهای تصفیه ترکیبی است. در نمونه شماره ۴ (شکل ۲-د)، در کنار تزریق ۱۰ ppm کلرید فریک، میزان ۰/۵ ppm پلیمر آنیونی برای انعقاد بهتر تزریق شد. پس از عبور از استخر ته‌نشینی و گذر از فیلتر چندبستری حاوی کربن فعال، شرایط هم‌چنان برای ورود به RO نامناسب بوده و مقدار SDI ۶/۲ به دست آمد. در نمونه شماره ۵ (شکل ۲-ه) در کنار تزریق کلریدفریک و همان میزان کمک منعقدکننده آنیونی، میزان ppm ۰/۵ پلیمر کاتیونی به عنوان کمک منعقدکننده دیگر نیز اضافه شد. مقدار SDI به دست آمده در این شرایط نیز ۶/۲۳ بود. در تحقیق مشابهی که توسط (Majidi (2000) انجام شد، عملکرد فیلترهای سرامیکی در تصفیه آب حاوی ذرات معلق و مواد آلی با استفاده از ترکیبی از منعقدکننده‌ها و پلیمرهای کمکی بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب کلرید فریک و پلیمرهای کاتیونی و آنیونی، مقدار SDI را از ۶/۴ در آب خام ورودی به ۴/۱ پس از تصفیه کاهش داد.

پس از آن‌که همگی موارد فوق‌الذکر کیفیت آب خام ورودی را به حدی تغییر نداد که بتواند به‌عنوان خوراک مناسب واحد RO استفاده شود، از فیلترهای سرامیکی تخت به‌عنوان پیش استفاده شد. در نمونه شماره ۶ (شکل ۲-و)، آب خام ورودی بدون هیچ تزریقی از فیلترهای سرامیکی عبور داده شد که میزان SDI نهایی ۱/۹ به دست آمد. نتایج مشابهی در تولید آب بازیافتی با خلوص بالا برای کاربردهای صنعتی با استفاده از میکروفیلتراسیون و اسمز معکوس توسط Ramanathan et al. (2006) گزارش شد که نشان می‌دهد فیلترهای سرامیکی بدون کمک شیمیایی قادر به کاهش SDI به کمتر از ۲ هستند. هم‌چنین، نتایج حاصل از پژوهش Hamad et al. (2013) در

همراه با SDI توسط بسیاری از محققان به‌عنوان شواهد تکمیلی گزارش شده است (Fayaz et al., 2019).

برای تعیین میزان کدورت از دستگاه کدورت‌سنج مدل Q-2100 ساخت شرکت HACH کشور آمریکا و روش ASTM D-1889 براساس کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب استفاده شد (Rice et al., 2012). اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌ها با استفاده از pH متر مدل ۶۹۱ و EC متر مدل ۷۱۳ ساخت شرکت METROHM کشور سوئیس انجام شد. سنجش میزان آهن و منیزیم با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل DR-1900 ساخت شرکت HACH کشور آمریکا و محاسبه BOD و COD برپایه استاندارد (APHA (2017) انجام شد. آزمون طیف سنجی مادون قرمز با استفاده از دستگاه FTIR مدل AVATAR ساخت شرکت THERMO کشور آمریکا انجام شد. مورفولوژی سطح نمونه‌ها با استفاده از دستگاه میکروسکوب الکترونی نشر میدانی (FESEM) مدل VEGA3 ساخت شرکت TESCAN کشور جمهوری چک ارزیابی شد. شناسایی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌ها از طریق آزمون طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX)^۱ و با افزودن دیتکتور SAMX ساخت کشور فرانسه به دستگاه FESEM فوق‌الذکر انجام شد.

برای بررسی اولیه و ارزیابی اثربخشی مواد منعقدکننده پیشنهادی از دستگاه جارتست استفاده شد. این دستگاه شامل شش بشر یک لیتری با هم‌زن‌های کاملاً یکسان است که توسط یک موتور می‌چرخند. شرایط در تمامی بشرها مشابه است به‌نحوی که حجم نمونه اولیه یک لیتر و سرعت هم‌زن‌ها برابر است. مواد منعقدکننده شامل کلریدفریک و آلومینیوم سولفات در ظرف‌های جدا به نمونه اولیه اضافه شد. هم‌چنین دو پلیمر آنیونی و کاتیونی در ظرف‌های مجزا به هر کدام از آن‌ها اضافه شد. در نهایت کلریدفریک، کلریدفریک به‌همراه پلیمر آنیونی و هم‌چنین کلریدفریک به‌همراه پلیمر کاتیونی بهترین ته‌نشینی را نشان دادند.

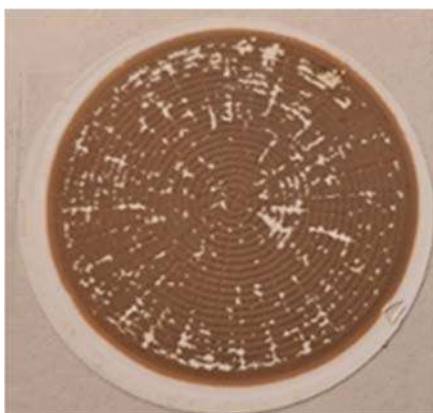
۳- نتایج و بحث

در ابتدا هیچ ماده شیمیایی به آب خام ورودی اضافه نشد. برای نمونه اول (شکل ۲-الف)، آب ورودی پس از ته‌نشینی از فیلتر چندبستری حاوی کربن فعال، از فیلتر کارتریج عبور کرده و SDI محاسبه شد. به دلیل رسوب زیاد ذرات روی سطح غشای سلولزی مقدار SDI ۴/۹ به دست آمد. برای نمونه دوم (شکل ۲-ب)، در

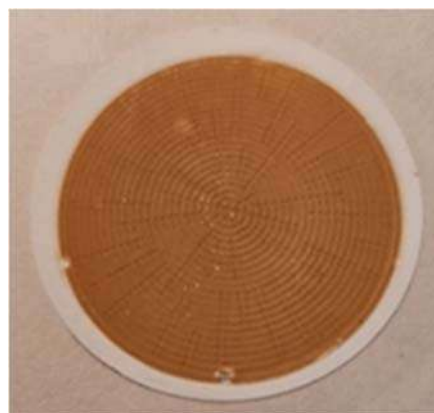
بی‌هوای، در قسمت ابتدایی استخر ته‌نشینی افشانک هوا برای از بین بردن این آلودگی‌ها تعبیه شد. در ادامه، تزریق کلر برای ضدعفونی کردن با تزریق ۳ ppm کلریدریک انجام شد. افزایش مراحل پیش تصفیه معمول برای آب خام ورودی باعث بهبود عملکرد فیلترهای سرامیکی شد و نمونه شماره ۷ (شکل ۲-ز) حاصل از شرایط مذکور با SDI به مقدار ۰/۱ حاصل شد. در مطالعه‌ای مشابه، Kang et al. (2016) عملکرد غشای سرامیکی در پیش تصفیه آب دریا برای فرآیند اسمز معکوس را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن ماده منعقدکننده به غشای سرامیکی باعث بهبود قابل توجهی در کیفیت آب خروجی و کاهش فشار عبوری می‌شود. غشای سرامیکی بدون منعقدکننده مقدار SDI را به کمتر از ۳ و کدورت را به کمتر از ۰/۱ NTU کاهش داد. این درحالی است که با افزودن ۶ میلی‌گرم بر لیتر منعقدکننده، مقدار SDI به ۰/۹ و کدورت به ۰/۰۷۶ NTU کاهش یافت که تقریباً با نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر هم‌سویی دارد. در جدول ۲ خلاصه نتایج به دست آمده برای ۷ نمونه فوق درج شده است.

استفاده از فیلترسرامیکی برای تصفیه آب دریا نشان داد که غشاهای میکروفیلتراسیون سرامیکی پتانسیل تولید آب خوراک موردنیاز برای واحدهای RO را دارا هستند. میانگین مقدار SDI پس از عبور آب دریا از فیلتراسیون غشایی سرامیکی ۲/۱ (و در محدوده مقدار توصیه شده کمتر از ۳) اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، میزان کدورت از ۰/۶ به ۰/۰۵ NTU بهبود یافت. البته لازم به ذکر است که میزان تاثیر هر مرحله از مراحل پیش تصفیه شدیداً به کیفیت و شرایط آب خام ورودی از جمله مقدار شوری و سایر املاح و ترکیبات موجود در آن بستگی دارد و در بسیاری از موارد عملکرد یک یا چند مرحله در شرایط مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد.

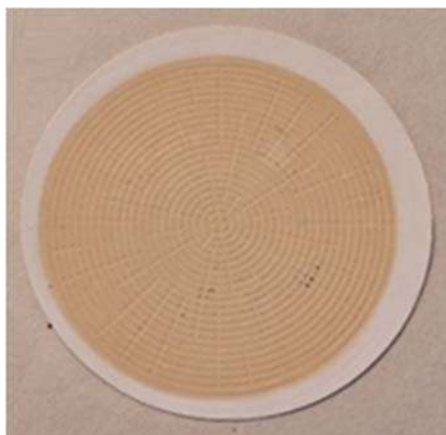
تا این‌جا مشخص شد که فیلترهای سرامیکی توانسته با حذف بخش زیادی از ذرات معلق، کیفیت مناسب آب خام برای ورود به RO را فراهم کند. پس از آن که مشخص شد فیلترهای سرامیکی مناسب‌ترین پیش تصفیه برای بهبود کیفیت آب چاه است، برای ارتقای عملکرد فیلترها در کاهش شستشوی معکوس نیاز مبرم به استفاده هم‌زمان از سرامیک و پیش تصفیه‌های متداول احساس شد. بدین منظور با توجه به وجود گاز متان در آب و باکتری‌های



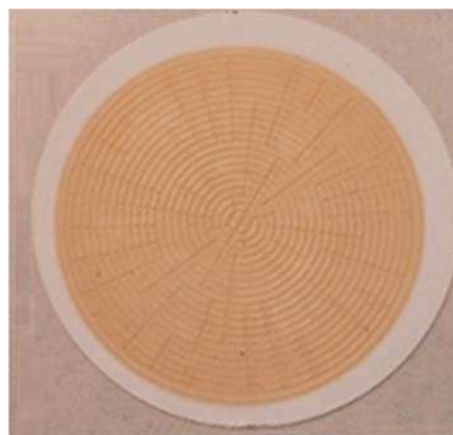
(ب)



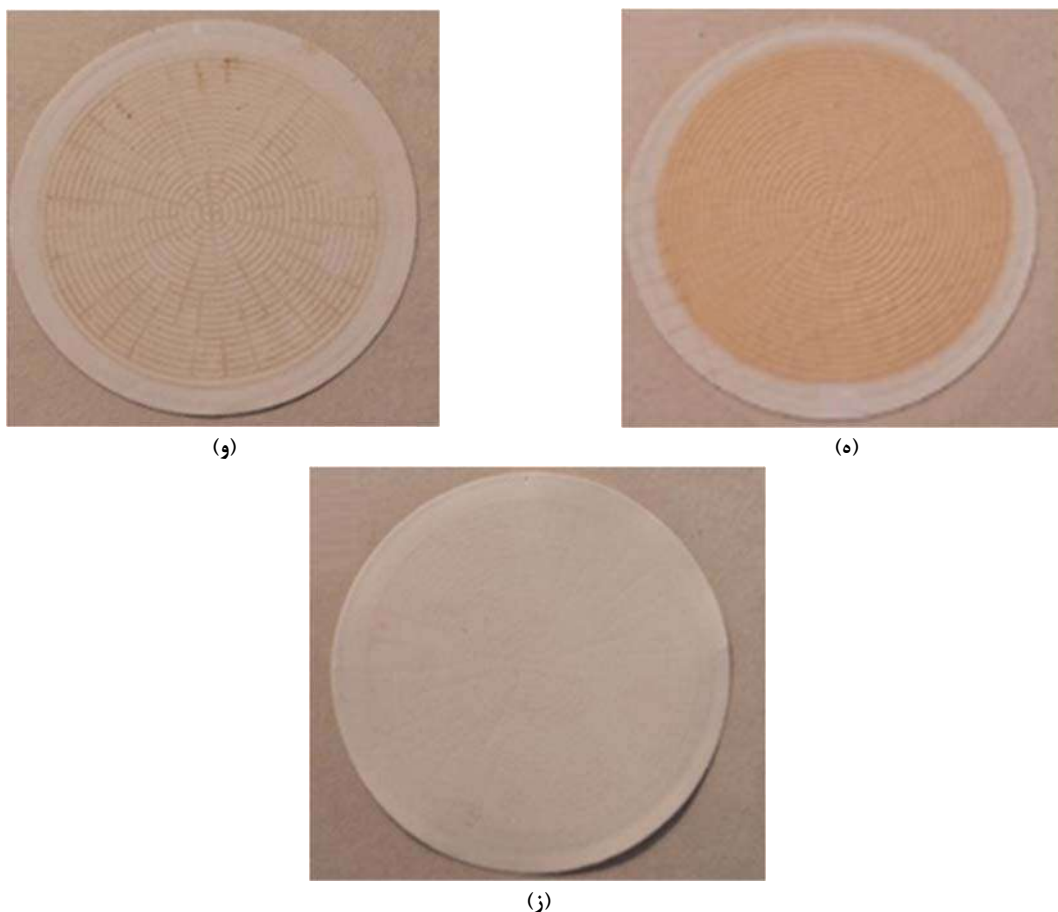
(الف)



(د)



(ج)



شکل ۲- تصویر مقطع فیلترهای SDI: الف) نمونه شماره ۱؛ ب) نمونه شماره ۲؛ ج) نمونه شماره ۳؛ د) نمونه شماره ۴؛ ه) نمونه شماره ۵؛ و) نمونه شماره ۶ و ز) نمونه شماره ۷

جدول ۲- خلاصه نتایج آزمایش‌ها

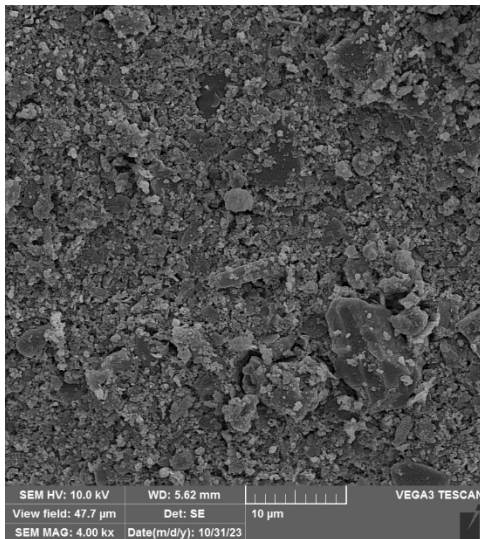
شماره نمونه	*T _f (s)	*T _i (s)	SDI	*Tu ₁ (NTU)	*Tu ₂ (NTU)	pH	EC (μS/cm)
۱	۱۰۲	۲۶	۴/۹۰	۱۶/۳	۱۲	۷/۹۵	۳۷۶۹
۲	۳۰۳	۲۶	۶/۰۹	۱۲/۹	۹/۵	۸/۲۱	۳۶۷۸
۳	۳۸۷	۳۱	۶/۱۰	۱۰	۸/۳	۷/۷۹	۳۶۳۰
۴	۷۶۱	۵۲	۶/۲۰	۱۷/۲	۱۱/۱	۷/۸۱	۳۸۹۸
۵	۵۹۳	۳۸	۶/۲۳	۱۰/۱	۷/۶	۷/۸۶	۳۸۶۶
۶	۴۲	۳۰	۱/۹۰	۱۲	۰/۹	۷/۸۵	۳۸۸۲
۷	۲۹	۲۸	۰/۱۰	۱۰/۵	۰/۵	۷/۸۵	۳۷۸۰

میزان کدورت آب خام ورودی و کدورت آب پس از مراحل پیش‌تصفیه: *Tu₁ and Tu₂: مدت زمان اندازه‌گیری ۵۰۰ میلی‌لیتر اولیه و نهایی برای اندازه‌گیری SDI: *T_i and T_f

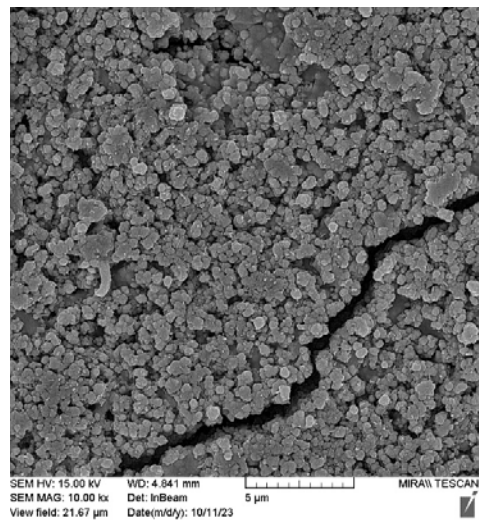
همان‌طور که در تصاویر مشخص است، در تمامی نمونه‌ها به‌دلیل حذف نشدن مناسب باکتری‌ها و ذرات جامد معلق، رسوب روی سطح فیلتر دیده می‌شود ولی در نمونه شماره ۷ با حذف همه ذرات توسط فیلترهای سرامیکی رسوبی روی فیلتر مشاهده نمی‌شود. این امر تاییدی بر پایین بودن میزان SDI بعد از عبور از سرامیک‌ها است.

۳-۱- بررسی مورفولوژی سطح فیلترها با استفاده از آنالیز^۹FE-SEM

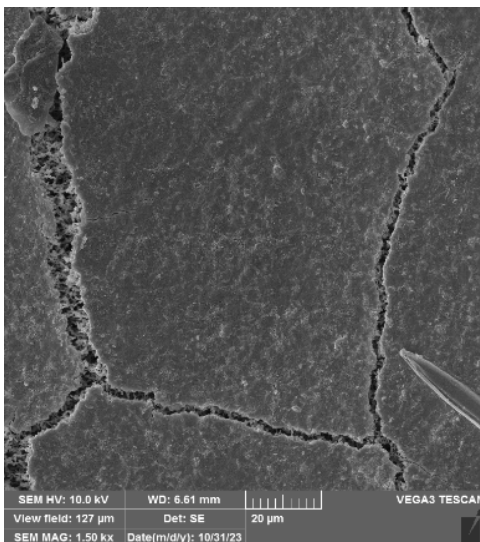
به‌منظور بررسی مورفولوژی سطح فیلترهای به‌دست آمده در شرایط مختلف، بر روی تمامی نمونه‌ها در سطح و در مقطع آنالیز FE-SEM انجام شد. شکل ۳-الف تا ۳-ز آنالیز سطح و شکل ۴-الف تا ۴-ز آنالیز مقطع از کلیه نمونه‌ها را نمایش می‌دهد.



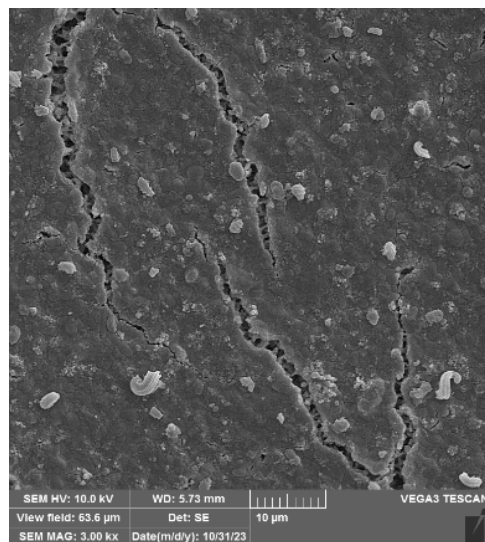
(ب)



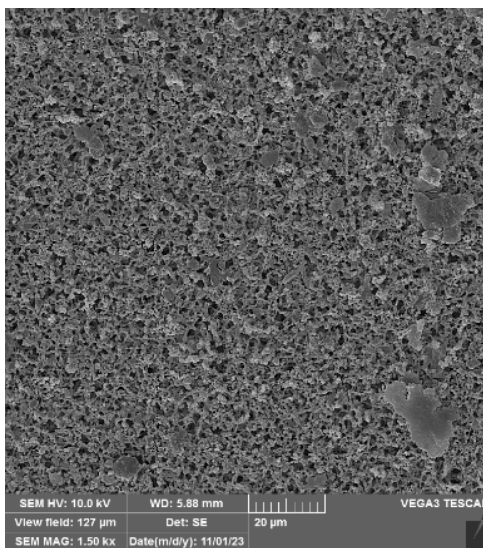
(الف)



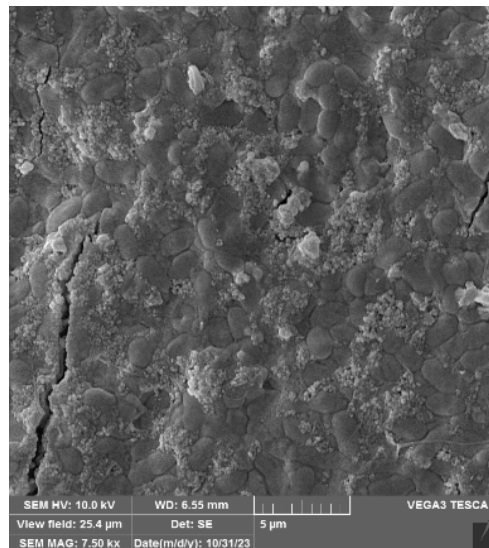
(د)



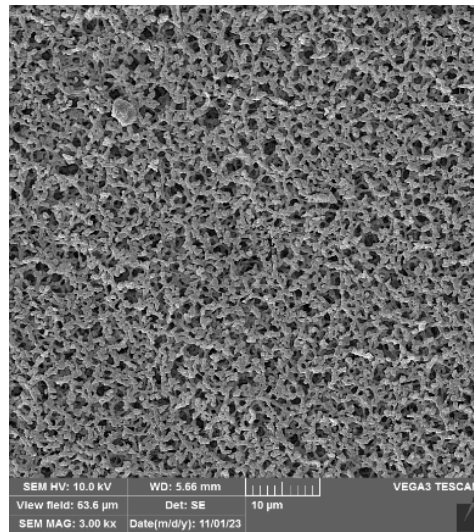
(ج)



(و)

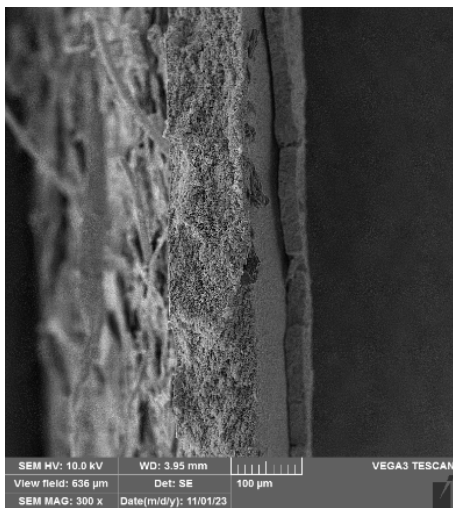


(ه)

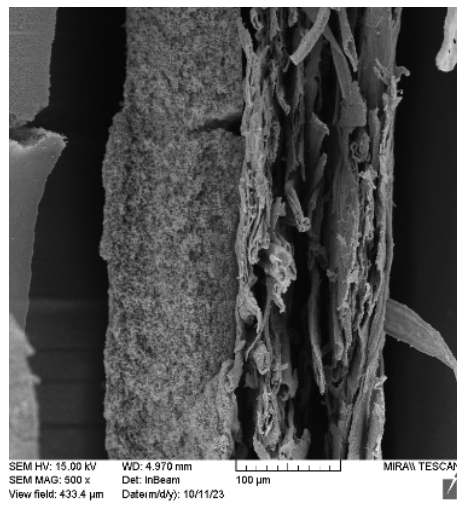


(ز)

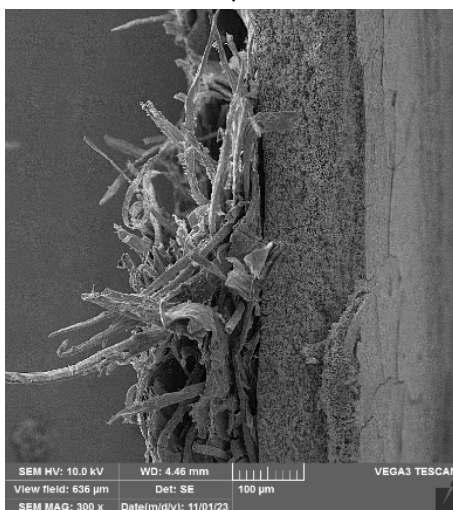
شکل ۳- تصویر FE-SEM از سطح فیلترهای SDI: الف) نمونه شماره ۱؛ ب) نمونه شماره ۲؛ ج) نمونه شماره ۳؛ د) نمونه شماره ۴؛ ه) نمونه شماره ۵؛ و) نمونه شماره ۶ و ز) نمونه شماره ۷



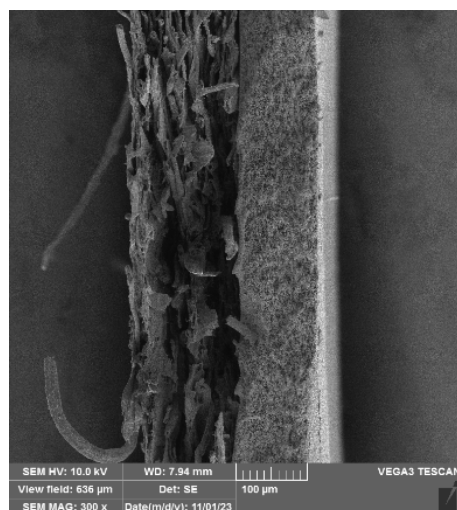
(ب)



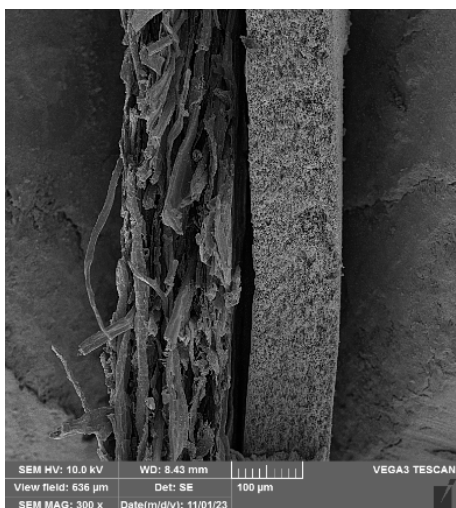
(الف)



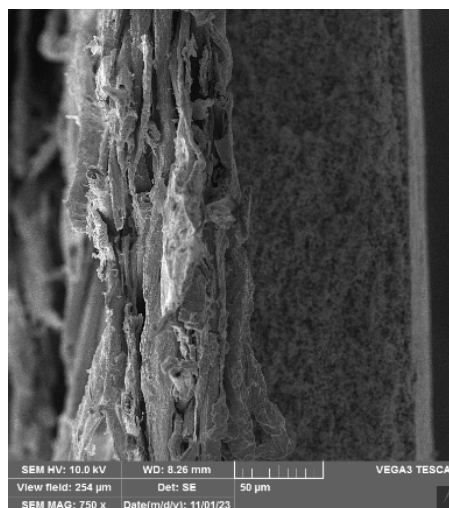
(د)



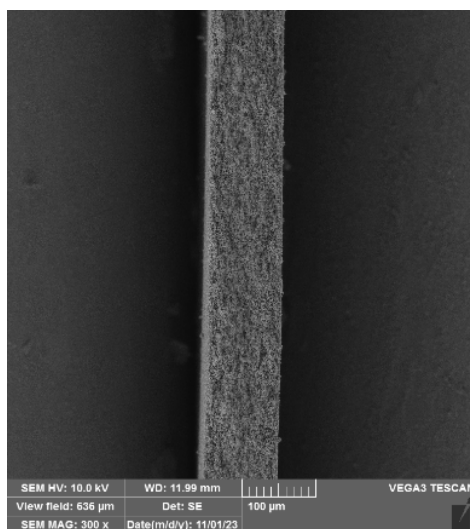
(ج)



(گ)



(ه)



(ز)

شکل ۴- تصویر FE-SEM از مقطع فیلترهای SDI: الف) نمونه شماره ۱؛ ب) نمونه شماره ۲؛ ج) نمونه شماره ۳؛ د) نمونه شماره ۴؛ ه) نمونه شماره ۵؛ و) نمونه شماره ۶؛ ز) نمونه شماره ۷

بازه مربوط به ارتعاش کششی C-H است. در برخی نمونه‌ها در این بازه دو پیک دیده می‌شود که ممکن است به دلیل وجود تنوعی از اتصالات C-H موجود در نمونه‌ها باشد. ولی در نمونه آخر این پیک دیده نمی‌شود. در نمونه‌های ۳ تا ۶ پیک در محدوده ۲۳۰۰ تا ۲۴۰۰ بر سانتی‌متر دیده می‌شود. این پیک ممکن است مربوط به ترکیبات آلی موجود در آب و همچنین به دلیل تزریق کلرید فریک به وجود آمده باشد. کلریدفریک می‌تواند با مواد آلی موجود در آب واکنش نشان دهد و ترکیبات جدیدی ایجاد کند. این ترکیبات می‌تواند حاوی گروه‌های کربونیل باشد که پیک C=O را در این طیف ایجاد کند. ولی در نمونه شماره ۷ این پیک دیده نمی‌شود که احتمال دارد فیلتر سرامیکی آن را حذف کرده باشد (Deborde

۳-۲- بررسی ساختاری به کمک آنالیز FT-IR^۱

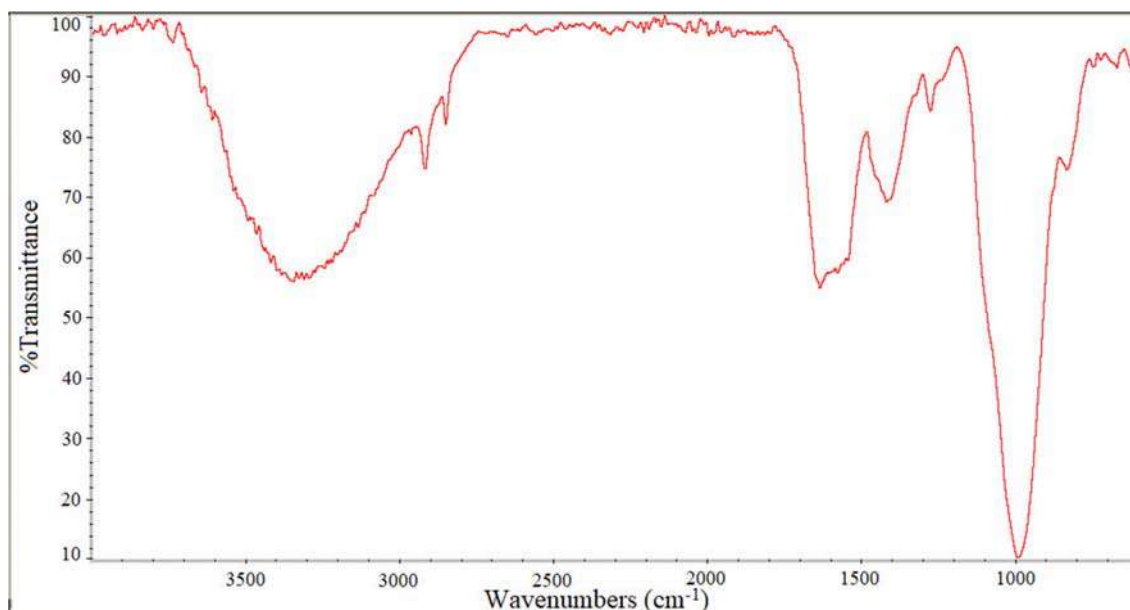
شکل ۵- الف تا ۵- ز طیف‌های تهیه شده از ۷ نمونه مورد آزمایش را نشان می‌دهد. در همه نمونه‌ها پیک‌هایی در محدوده ۳۲۰۰ تا ۳۶۰۰ بر سانتی‌متر دیده می‌شود که جذب براساس گروه عاملی H و پیوند کششی O-H است و نشان‌دهنده وجود رطوبت در نمونه است (Cozzolino, 2014). در هر دو نمونه ۴ و ۵ پیک در بازه بیشتر از ۳۶۰۰ بر سانتی‌متر دیده می‌شود. این پیک ممکن است مربوط به پیوندها و گروه‌های خاصی در پلیمر تزریق شده باشد. همچنین در نمونه آخر در محدوده ۳۱۳۰ بر سانتی‌متر پیک دیده می‌شود که احتمال دارد به دلیل تزریق کلر به آب و ایجاد HClO به وجود آمده باشد (Dutta, 2017). در همه نمونه‌ها پیک در محدوده ۲۸۰۰ تا ۳۰۰۰ بر سانتی‌متر وجود دارد. این

آخر پیکی در این بازه مشاهده نمی‌شود. و در نهایت تمامی پیک‌های باقی مانده در محدوده زیر ۱۰۰۰ بر سانتی‌متر نیز ترکیبات آلی حاوی ترکیبات آلیفاتیک و آروماتیک با پیوندهای خمشی C-C، C-H و C-O هستند (Pan et al., 2016).

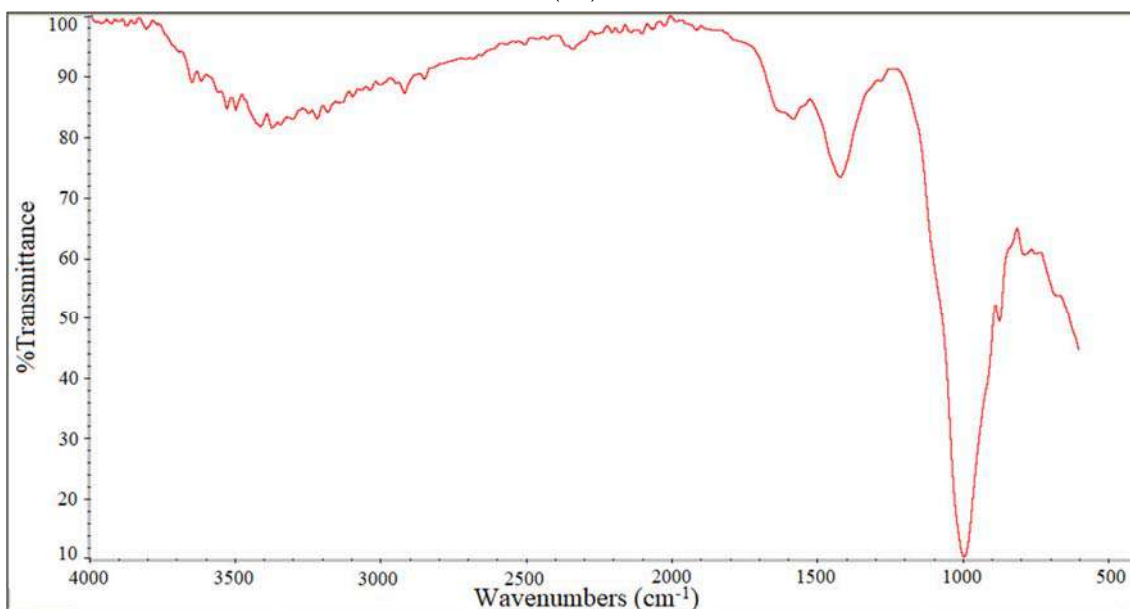
۳-۳- بررسی آنالیز ساختاری به کمک آنالیز EDX^۱

شکل ۶-الف تا ۶-ز نمودارهای حاصل از آنالیز EDX برای هر ۷ نمونه مورد آزمایش را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمونه‌ها دیده می‌شود بیشترین درصد مربوط به عناصر اکسیژن و کربن است.

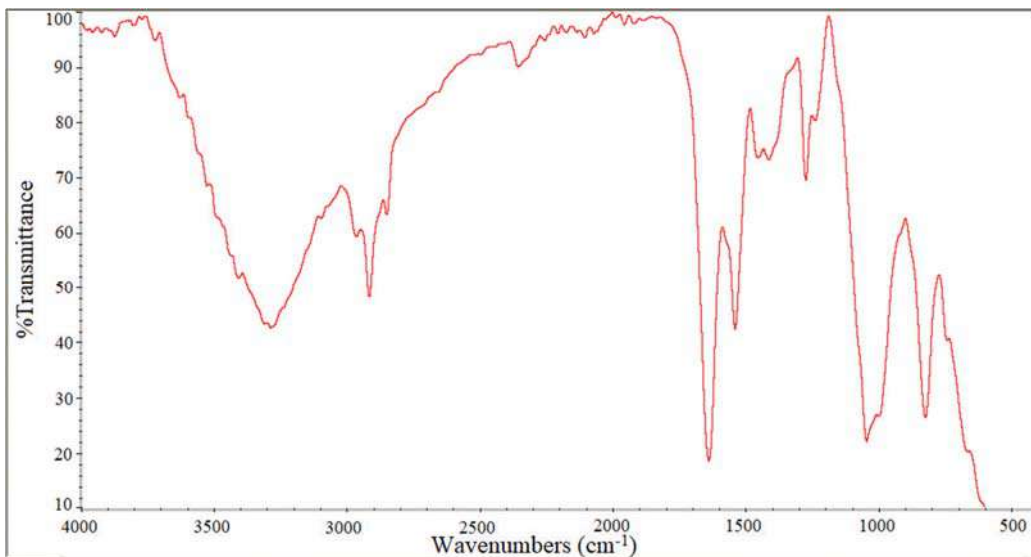
(and Von Gunten, 2008). در همه نمونه‌ها در بازه ۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰ بر سانتی‌متر پیک‌هایی دیده می‌شود. همه پیک‌های این بازه نشان دهنده وجود ترکیبات آلی در نمونه‌ها است. پیوندهای خمشی C-H در ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ بر سانتی‌متر و مابقی پیوندهای C=O، C=C و C≡O در ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ بر سانتی‌متر هستند. محدوده ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ بر سانتی‌متر نیز پیوندهای C=O، C-O و C=C دیده می‌شوند که در ترکیبات کششی آلیفاتیک و آروماتیک وجود دارند. این گروه مواد آلی خطی و زنجیری هستند که در ساخت آن‌ها حلقه‌ای دیده نمی‌شود. این ترکیبات نیز احتمالاً توسط فیلترهای سرامیکی حذف می‌شوند زیرا در نمونه



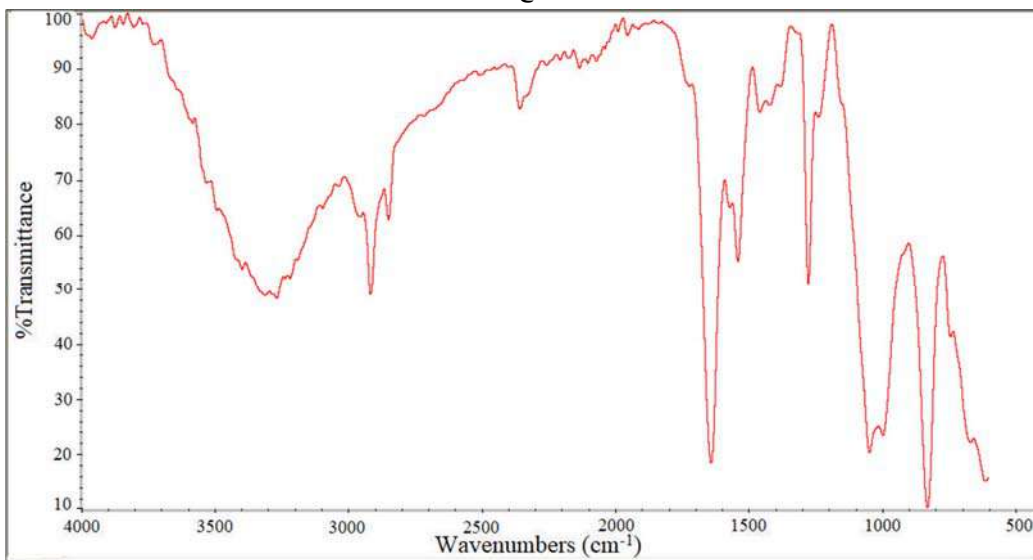
(الف)



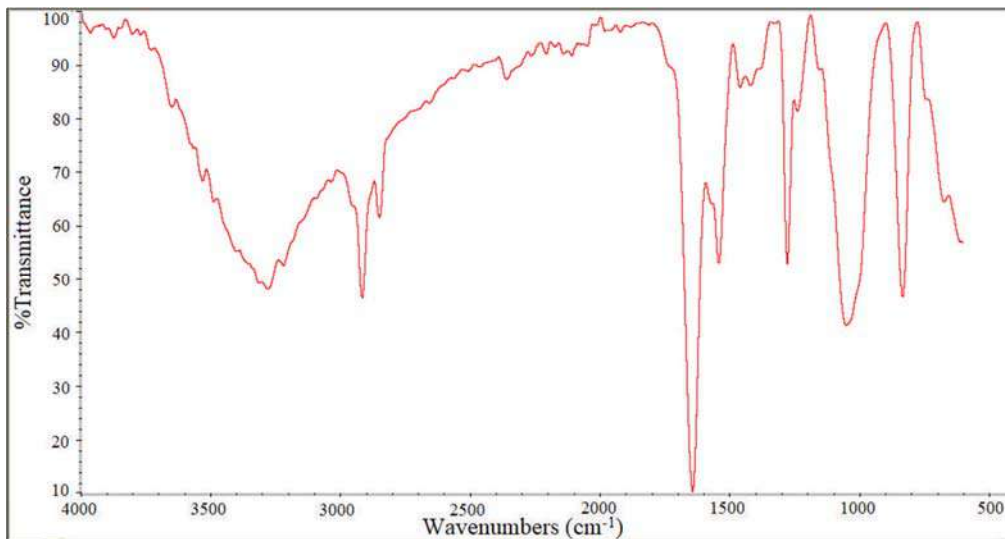
(ب)



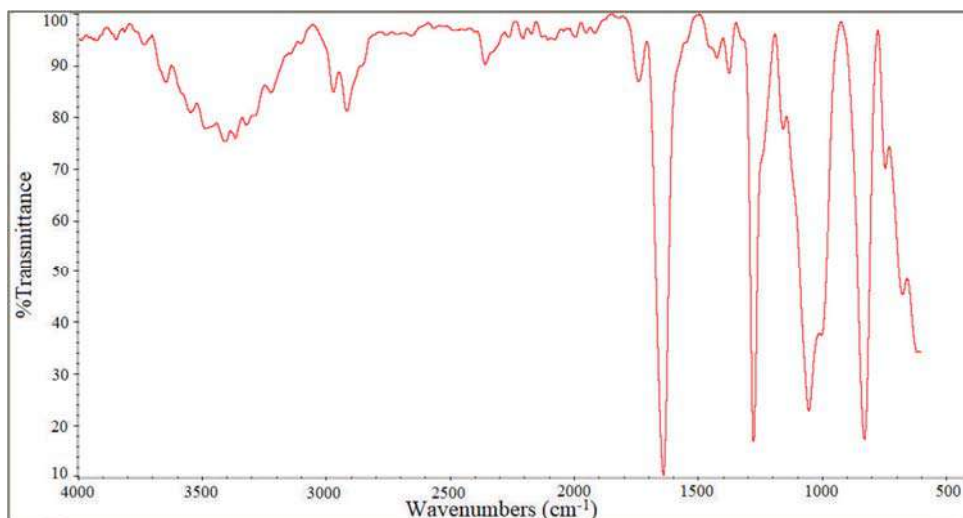
(ج)



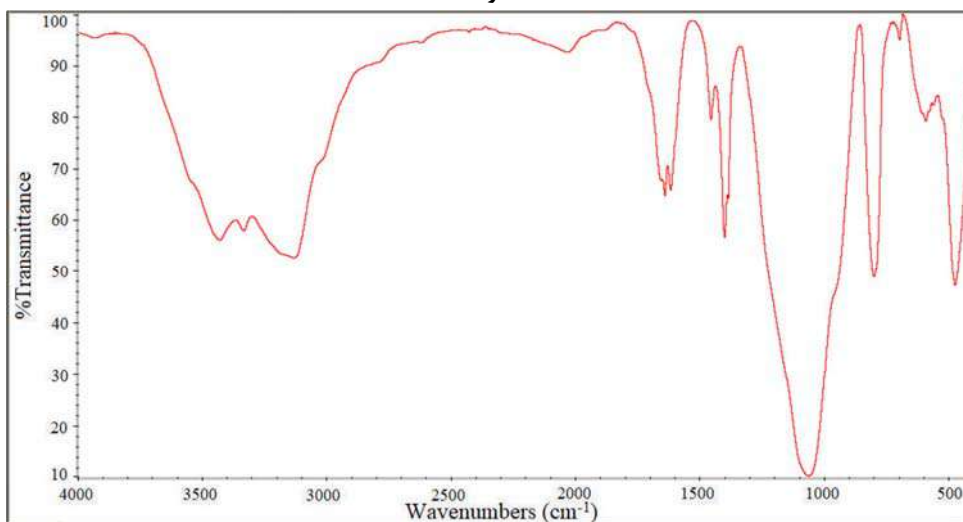
(د)



(ه)

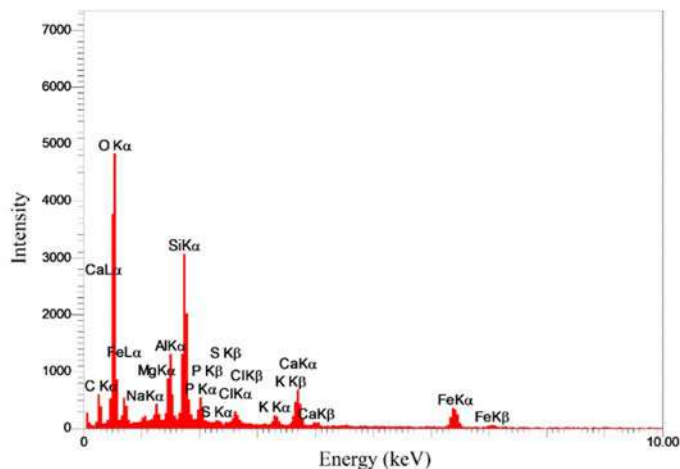


(و)

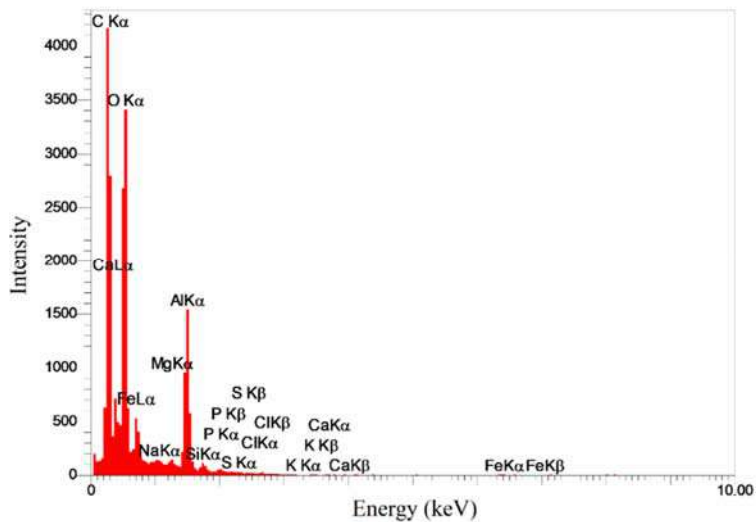


(ز)

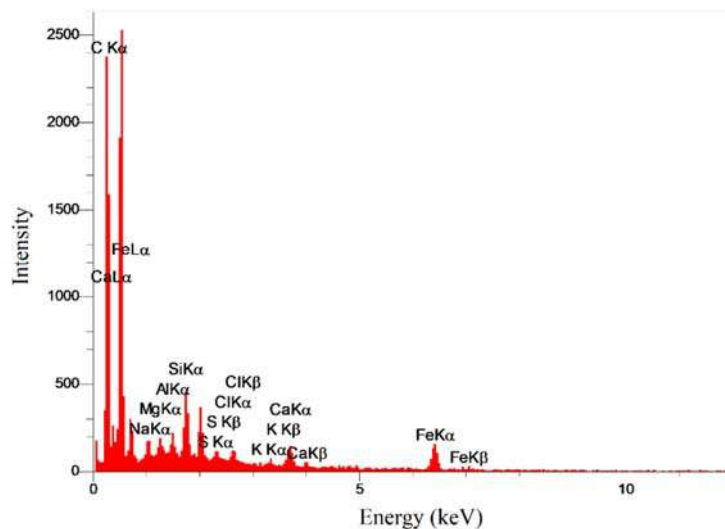
شکل ۵- تصویر FT-IR از همه فیلترهای مورد بررسی: الف) نمونه شماره ۱؛ ب) نمونه شماره ۲؛ ج) نمونه شماره ۳؛ د) نمونه شماره ۴؛ ه) نمونه شماره ۵؛ و) نمونه شماره ۶ و ز) نمونه شماره ۷



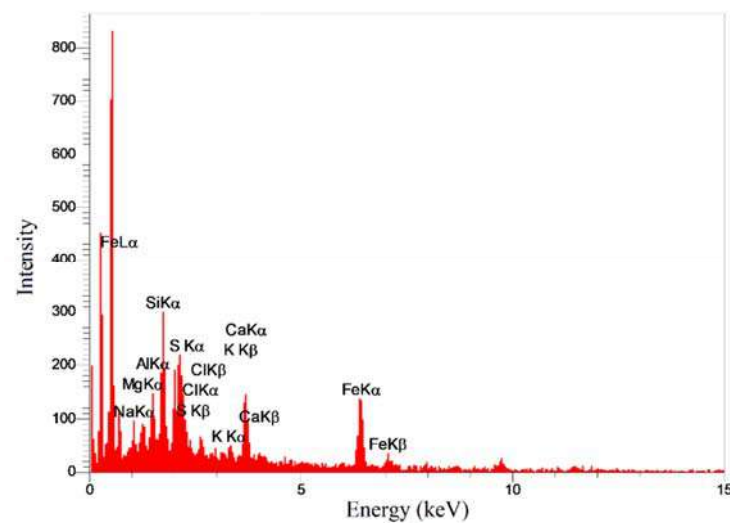
(الف)



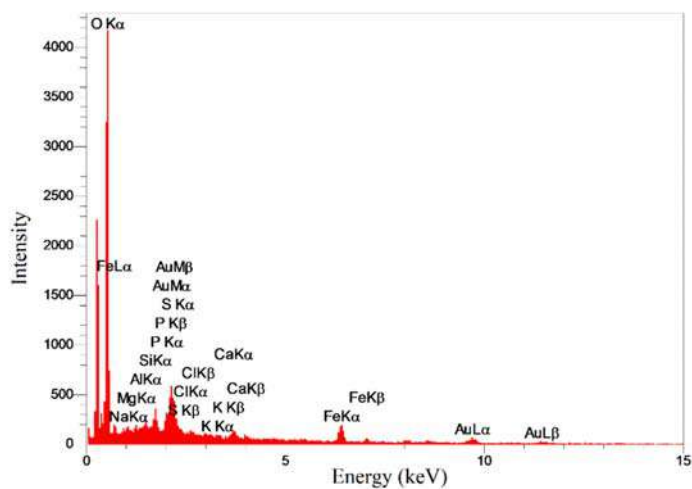
(ب)



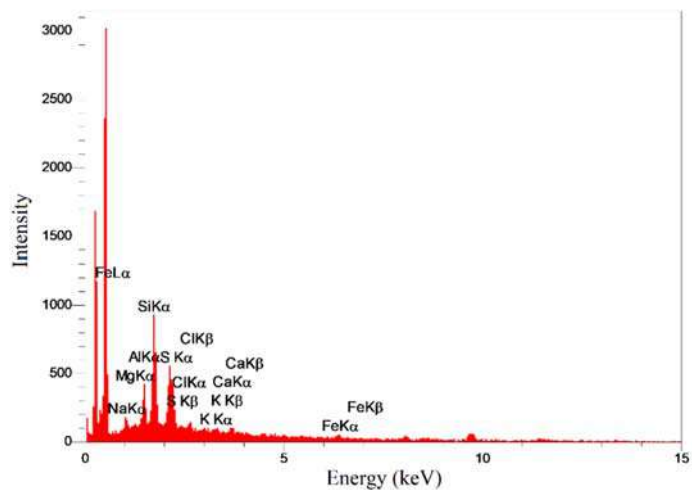
(ج)



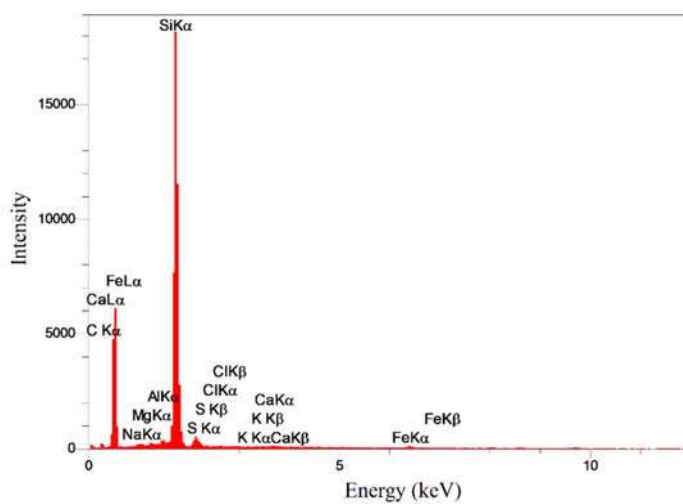
(د)



(ه)



(و)



(ز)

شکل ۶- تصویر EDX از همه فیلترهای SDI: الف) نمونه شماره ۱؛ ب) نمونه شماره ۲؛ ج) نمونه شماره ۳؛ د) نمونه شماره ۴؛ ه) نمونه شماره ۵؛ و) نمونه شماره ۶ و ز) نمونه شماره ۷

جدول ۴ مقایسه نهایی تأثیر فیلترهای سرامیکی و تفاوت کیفیت آب خام اولیه و خروجی از فیلترهای سرامیکی را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

در جدول ۳ درصد‌های وزنی و اتمی نمودارهای موجود در شکل ۶ مشاهده می‌شود. براساس این نتایج بیشترین درصد وزنی مربوط به اکسیژن و کربن است که نشان‌دهنده وجود مواد آلی در آب است.

جدول ۳- درصد وزنی و اتمی عناصر موجود در فیلترها: الف) نمونه شماره ۱؛ ب) نمونه شماره ۲؛ ج) نمونه شماره ۳؛ د) نمونه شماره ۴؛ ه) نمونه شماره ۵؛ و) نمونه شماره ۶؛ ز) نمونه شماره ۷

(د)			(ج)			(ب)			(الف)		
عنصر	درصد وزنی %	درصد اتمی %	عنصر	درصد وزنی %	درصد اتمی %	عنصر	درصد وزنی %	درصد اتمی %	عنصر	درصد وزنی %	درصد اتمی %
C	۳۱/۵۷	۳۳/۹۴	C	۵۵/۱۸	۶۳/۰۲	C	۵۲/۹۵	۶۰/۶۶	C	۲۵/۹۸	۳۳/۹۴
O	۲۲/۸۶	۵۹/۶۲	O	۴۱/۴۷	۳۵/۵۵	O	۴۴/۰۳	۳۷/۸۷	O	۶۰/۷۹	۵۹/۶۲
Na	۰/۶۶	۰/۳۰	Na	۰/۴۴	۰/۲۶	Na	۰/۵۲	۰/۳۱	Na	۰/۴۴	۰/۳۰
Mg	۰/۶۸	۰/۴۱	Mg	۰/۲۹	۰/۱۶	Mg	۰/۳۵	۰/۲۶	Mg	۰/۶۴	۰/۴۱
Al	۱/۰۷	۱/۱۶	Al	۰/۲۶	۰/۱۳	Al	۰/۹۰	۰/۴۶	Al	۱/۹۹	۱/۱۶
Si	۲/۱۰	۲/۴۰	Si	۰/۵۴	۰/۲۶	Si	۰/۳۰	۰/۱۵	Si	۴/۳۰	۲/۴۰
P	۱/۲۱	۰/۴۲	P	۰/۴۱	۰/۱۸	P	۰/۲۷	۰/۱۲	P	۰/۸۲	۰/۴۲
S	۰/۴۹	۰/۰۸	S	۰/۱۳	۰/۰۶	S	۰/۱۶	۰/۰۷	S	۰/۱۷	۰/۰۸
Cl	۰/۸۷	۰/۲۱	Cl	۰/۱۶	۰/۰۶	Cl	۰/۱۶	۰/۰۶	Cl	۰/۴۸	۰/۲۱
K	۰/۶۳	۰/۱۷	K	۰/۰۶	۰/۰۲	K	۰/۰۵	۰/۰۲	K	۰/۴۲	۰/۱۷
Ca	۳/۳۷	۰/۶۰	Ca	۰/۲۷	۰/۰۹	Ca	۰/۱۳	۰/۰۵	Ca	۱/۵۴	۰/۶۰
Fe	۲۴/۰۵	۰/۶۸	Fe	۳۳/۹۴	۰/۲۰	Fe	۰/۱۸	۰/۰۴	Fe	۲/۴۳	۰/۶۸
Au	۱۰/۴۴	۱/۰۸		۱۰/۰۰	۱۰/۰۰		۱۰/۰۰	۱۰/۰۰		۱۰/۰۰	۱۰/۰۰
	۰	۰		۰	۰		۰	۰		۰	۰

عنصر	درصد وزنی %	درصد اتمی %
C	۳۰/۱۳	۵۱/۲۳
Na	۰/۶۴	۰/۵۷
Mg	۰/۶۶	۰/۵۵
Al	۱/۲۲	۰/۹۲
Si	۵۷/۵۶	۴۱/۸۵
S	۳/۵۲	۲/۲۴
Cl	۰/۶۳	۰/۳۶
K	۰/۴۹	۰/۲۶
Ca	۰/۹۱	۰/۴۶
Fe	۴/۲۴	۱/۵۵
	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

عنصر	درصد وزنی %	درصد اتمی %
C	۴۲/۱۵	۵۷/۳۰
O	۳۶/۱۶	۳۶/۹۰
Na	۰/۵۷	۰/۴۱
Mg	۰/۳۳	۰/۲۲
Al	۱/۲۶	۰/۷۶
Si	۲/۹۱	۱/۶۹
P	۰/۲۲	۰/۱۲
S	۰/۳۰	۰/۱۵
Cl	۰/۸۵	۰/۳۹
K	۰/۸۴	۰/۳۵
Ca	۰/۹۰	۰/۳۷
Fe	۱/۰۵	۰/۳۱
Au	۱۲/۴۵	۱/۰۳
	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

عنصر	درصد وزنی %	درصد اتمی %
C	۴۱/۴۳	۵۷/۰۶
O	۳۵/۹۷	۳۶/۹۸
Na	۰/۴۳	۰/۳۱
Mg	۰/۳۵	۰/۲۴
Al	۰/۴۸	۰/۲۹
Si	۰/۷۲	۰/۴۲
P	۰/۵۲	۰/۲۸
S	۰/۴۸	۰/۲۵
Cl	۰/۵۱	۰/۲۴
K	۰/۳۴	۰/۱۴
Ca	۰/۷۵	۰/۳۱
Fe	۹/۱۸	۲/۷۲
Au	۹/۰۴	۰/۷۶
	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

جدول ۴- مقایسه نهایی تأثیر فیلترهای سرامیکی و تفاوت کیفیت آب خام اولیه و خروجی

واحد	مقدار خروجی	مقدار ورودی	مشخصه
ppm	۰/۰۵	۰/۱۱	Fe
ppm	۰/۰۲	۰/۰۵	Mn
ppm	۲۹/۷۸	۳۵	COD
ppm	۱۰/۵۸	۱۵/۸	BOD
ppm	۱	۱۱۷	TSS
NTU	۰/۵	۱۵	Turbidity
-	۷/۶	۷/۶	pH
ppm	۱۹۴۵	۱۹۴۵	TDS

۴- نتیجه‌گیری

مهندس قول‌بیگی کمال تشکر و قدردانی می‌نماید.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Reverse Osmosis (RO)
- 2- Silt Density Index (SDI)
- 3- Chemical Oxygen Demand (COD)
- 4- Biochemical Oxygen Demand (BOD)
- 5- Total Suspended Solids (TSS)
- 6- Nephelometric Turbidimeter Unit (NTU)
- 7- Total Dissolved Solids
- 8- Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)
- 9- Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM)
- 10- Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

۷- مراجع

پسندیده‌پور، ف.، غلامی، ف.، و اسدی، آ.، (۱۴۰۲)، "مروری بر عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون اصلاح شده با نانومواد معدنی، کربنی و ترکیبی از آنها"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۸ (۱)، ۱۵-۲۸.

<https://doi.org/10.22112/jwwse.2022.316060.1297>.

حسین‌زاده، م.، نبی‌بیدهندی، غ.، ترابیان، ع.، علیمزادی، م.س.، و نایب، ح.، (۱۳۹۵)، "مطالعه پایلوتی برای بررسی کارایی بیوراکتور غشایی در تصفیه پیشرفته پساب صنعتی برای پیش تصفیه اسمز معکوس"، *محیط‌شناسی*، ۴۲ (۲)، ۳۸۷-۳۹۶. <https://doi.org/10.22059/jes.2016.58740>.

طهماسبی، ع.، صراف‌زاده، م.ح.، و غفاری، س.ب.، (۱۴۰۲)، "بهینه‌سازی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته رادیکال سولفات برای کاهش مواد آلی فاضلاب کارخانه خمیر و کاغذ با استفاده از روش سطح پاسخ"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۸ (۳)، ۴۷-۵۸.

با توجه به بحران آب و کمبود ذخایر آب قابل‌شرب در جهان، استفاده از فناوری شیرین‌سازی منابع آب نامتعارف به‌عنوان یک راه‌حل جایگزین در دهه‌های اخیر همواره مطرح بوده است. در راستای حفاظت از تجهیزات و افزایش بازده فرایند نمک‌زدایی، طراحی یک روش پیش‌تصفیه مناسب توصیه شده است. روش مورد استفاده در این پژوهش براساس داده‌های مربوط به کیفیت آب خام ورودی، نصب فیلترهای سرامیکی به‌عنوان پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس بود. با توجه به وجود گاز متان و باکتری‌های بی‌هوازی موجود در آب ورودی، با نصب افشانک‌های هوا در ابتدای استخر ته‌نشینی و تزریق کلر و کلریدفریک به‌عنوان پیش‌تصفیه متداول واحد RO انجام شد. سپس با استفاده از فیلترهای سرامیکی کیفیت آب خام، میزان کدورت و SDI که از مهم‌ترین ملاک‌های عملکرد واحدهای RO است، تا حد مناسبی بهبود یافت. در این پژوهش با توجه به شرایط آب ورودی روش‌های پیش‌تصفیه مختلفی بررسی شد و رسوب روی فیلترها با استفاده از آنالیزهای FE-SEM، FT-IR و EDX مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که فیلترهای سرامیکی به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا و پتانسیل زتا منفی در محدوده عملیاتی، قادر به جذب ذرات با بار مثبت و دفع ذرات با بار منفی هستند. بنابراین، این فیلترها بخش زیادی از ذرات معلق جامد و محتویات آبی با بار منفی مانند باکتری‌ها و جلبک‌ها را حذف کرده و زمینه‌ساز بهبود کیفیت آب ورودی به سامانه RO می‌شوند.

۵- قدردانی

بدین‌وسیله از مدیریت محترم شرکت مهندسی رعد آب جنوب که زمینه‌ساز انجام این پژوهش بودند و به‌خصوص جناب آقای

- Dutta, A., (2017), "Fourier transform infrared spectroscopy", In: S. Thomas, R. Thomas, A.K. Zachariah and R.K., Mishra (eds.), *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization*, (pp. 73-93), Elsevier, Amsterdam, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46140-5.00004-2>.
- Fayaz, S.M.H., Mafigholami, R., Razavian, F., and Ghasemipannah, K., (2019), "Correlations between silt density index, turbidity and oxidation-reduction potential parameters in seawater reverse osmosis desalination", *Water Science and Engineering*, 12(2), 115-120, <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.05.006>.
- Gao, Q., Duan, L., Liu, J., Zhang, H. and Zhao, Y., (2023), "Evaluation and optimization of reverse osmosis pretreatment technology using the modified intermediate blocking model", *Journal of Cleaner Production*, 417, 138029, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138029>.
- Greenlee, L.F., Lawler, D.F., Freeman, B.D., Marrot, B., and Moulin, P., (2009), "Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges", *Water Research*, 43(9), 2317-2348, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>.
- Hamad, J.Z., Ha, C., Kennedy, M.D., and Amy, G.L., (2013), "Application of ceramic membranes for seawater reverse osmosis (SWRO) pre-treatment", *Desalination and Water Treatment*, 51(25-27), 4881-4891, <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.795211>.
- Jarrar, R., Abbas, M.K.G., and Al-Ejji, M., (2024), "Environmental remediation and the efficacy of ceramic membranes in wastewater treatment, A review", *Emergent Materials*, 7, 1295-1327, <https://doi.org/10.1007/s42247-024-00687-0>.
- Kang, J.S., Sung, S.C., Lee, J.J., and Kim, H.S., (2016), "Application of ceramic membrane for seawater desalination pretreatment", *Desalination and Water Treatment*, 57(55), 26700-26705, <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1189702>.
- Majidi, M., (2000), "Optimization of flocculation process and continuous filtration for sea water primary treatment filtration to reduce SDI for entree to reverse osmosis system", Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran.
- Malayeri, H.Z., Twardowski, M., Sullivan, J., Moore, T., and Choi, H., (2018), "Correlation of cyanobacterial harmful bloom monitoring parameters: A case study on western Lake Erie", *AIMS Environmental Science*, 5(1), 24-34, <https://doi.org/10.3934/environsci.2018.1.24>.
- Mukherjee, D., and Ghosh, S., (2022), "Ceramic membranes in water treatment: Potential and challenges for technology development", In: S. Moulik, A. Mullick and A. Roy (eds.), *Sustainable Water Treatment: Advances and Technological Interventions*, (pp. 325-381), John Wiley & Sons, New Jersey, <https://doi.org/10.1002/9781119480075.ch8>.
- Pan, Y., Li, H., Zhang, X., and Li, A., (2016), "Characterization of natural organic matter in drinking <https://doi.org/10.22112/JWWSE.2023.370878.1334> مرادی، آ.، نکوئی، ع.ر.، و قلی‌پور، م.، (۱۴۰۲)، "بررسی کارایی منعقدکننده‌های شیمیایی متفاوت در کاهش کدورت، سولفات و آمونیاک در پساب شرکت پتروشیمی زاگرس"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۴(۱)، ۷۸-۹۵، <https://doi.org/10.22093/wvj.2022.357704.3283>. موسوی‌نسب، ز.، اسمعیل زاده، ش.، و حقیقی، ا.، (۱۴۰۲)، "مروری بر حذف بور از آب دریا با استفاده از فناوری اسمز معکوس"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۸(۱)، ۳-۱۴، <https://doi.org/10.22112/JWWSE.2022.314769.1296>
- Ahmad, A.L. and Mariadas, A., (2004), "Baffled microfiltration membrane and its fouling control for feed water of desalination", *Desalination*, 168, 223-230, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.07.002>.
- American Public Health Association (APHA), (2017), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 23th Edition, University of California, USA, 1268 p.
- Anis, S.F., Hashaikeh, R. and Hilal, N., (2019), "Reverse osmosis pretreatment technologies and future trends: A comprehensive review", *Desalination*, 452, 159-195, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.11.006>.
- Asif, M.B., and Zhang, Z., (2021), "Ceramic membrane technology for water and wastewater treatment: A critical review of performance, full-scale applications, membrane fouling and prospects", *Chemical Engineering Journal*, 418, 129481, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129481>.
- Chauhan, N., Sharma, R., and Singh, S.P., (2023), "Synthesis of ceramic membranes and their application in wastewater treatment and emerging contaminants removal", In: A. Sinha, S.P. Singh and A.B. Gupta (eds.), *Persistent Pollutants in Water and Advanced Treatment Technology*, (pp. 413-446), Springer Nature, Singapore, https://doi.org/10.1007/978-981-99-2062-4_17.
- Cozzolino, D., (2014), "An overview of the use of infrared spectroscopy and chemometrics in authenticity and traceability of cereals", *Food Research International*, 60, 262-265, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.08.034>.
- Cui, Z., Xing, W., Fan, Y. and Xu, N., (2011), "Pilot study on the ceramic membrane pre-treatment for seawater desalination with reverse osmosis in Tianjin Bohai Bay", *Desalination*, 279(1-3), 190-194, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.06.008>.
- Deborde, M., and Von Gunten, U.R.S., (2008), "Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment—kinetics and mechanisms: A critical review", *Water Research*, 42(1-2), 13-51, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.025>.
- Dey, T., Sahoo, G.C., Roy, S.N., and Bandyopadhyay, S., (2013), "Studies on pre-treatment of seawater using tubular ceramic MF membrane of 19-channel configuration", *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(10), 1-5.

- water: Sample preparation and analytical approaches”, *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 12, 23-30, <https://doi.org/10.1016/j.teac.2016.11.002>.
- Qasim, M., Badrelzaman, M., Darwish, N.N., Darwish, N.A., and Hilal, N., (2019), “Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review”, *Desalination*, 459, 59-104, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.02.008>.
- Ramanathan, M., Cohn, A., Hake, J., Abraham, K., and Veerapaneni, S., (2006), “Producing high-purity recycled water for industrial applications with microfiltration and reverse osmosis: Lessons learned”, *Proceeding Conference on the Water Environment Federation*, Washington, USA, (pp. 6067-6086), <https://doi.org/10.2175/193864706783775829>.
- Rice, E.W., Baird, R.B., and Eaton, A.D., (2012), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, Washington, USA.
- Xu, P., and Drewes, J. E., (2006), “Viability of nanofiltration and ultra-low pressure reverse osmosis membranes for multi-beneficial use of methane produced water”, *Separation and Purification Technology*, 52(1), 67-76, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.03.019>.
- Xu, J., Chang, C.Y., and Gao, C., (2010), “Performance of a ceramic ultrafiltration membrane system in pretreatment to seawater desalination”, *Separation and Purification Technology*, 75(2), 165-173, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.07.020>.



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

Creating Districted Metered Areas in the Water Distribution Network Using Optimal Selection Indices

ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری در شبکه توزیع آب با استفاده از شاخص‌های انتخاب بهینه

Mohammad Kakeshpour¹, Mohammadreza Jalili Ghazizadeh^{2*}, Seyed Abbas Hoseyni³ and Ahmad Sharafati³

محمد کاکش‌پور^۱، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده^{۲*}، سید عباس حسینی^۳ و احمد شرافتی^۳

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۱- دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

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

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

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۳- استادیار، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

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

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

Received: 27/12/2022

Revised: 02/06/2023

Accepted: 15/06/2023

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Estimation of leakage, pressure management, and emergency management are among the advantages of establishing DMA in the WDN. However, the unprincipled development of WDN in a traditional way has turned this issue into a complex problem in terms of essential indexes in creating DMA. In this study, a method is presented to design DMAs with optimal selection indicators. For this purpose, three water distribution networks of Balerna, Madena, and D-Town were used for clustering using the Girvan-Newman and Fast Newman methods, which are based on the modularity criterion. Then, with use of a genetic algorithm and EPANET software, to reduce the cost in physical zoning, it was determined by observing the condition of minimum nodal pressure, and with the help of cost, hydraulic, and quality indicators, the zoning results of the research were analyzed and their effectiveness was discussed. The results showed that the mentioned indicators could lead to the optimal selection of the best-proposed plan to modify existing traditional networks and establish DMA in WDN. The cost and modularity criteria had more effect than other indicators in determining the optimal number of areas. The Girvan-Newman's method provided more relevant results in comparison with the Fast Newman's method.

تخمین هدررفت، مدیریت فشار و مدیریت در شرایط اضطراری از مزایای ایجاد ناحیه‌های مجزای اندازه‌گیری (DMA) در شبکه‌های توزیع آب است. اما توسعه غیراصولی شبکه‌ها به صورت سنتی با لحاظ اهم شاخص‌ها در ایجاد DMA این موضوع را به یک مسئله پیچیده تبدیل کرده است. در این تحقیق یک روش برای ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری با شاخص‌های انتخاب بهینه ارائه شد. بدین منظور از سه شبکه توزیع آب بالرما^۱، مدنا^۲ و دی تاون^۳ به دو روش گیروان-نیومن^۴ و فست نیومن^۵ که مبتنی بر معیار پیمانگی^۶ هستند، برای خوشه‌بندی^۷ استفاده شد. سپس به کمک الگوریتم ژنتیک^۸ و نرم‌افزار اپینت^۹ با هدف کاهش هزینه در ناحیه بندی فیزیکی با رعایت قید حداقل فشار گره‌ای تعیین شد و به کمک شاخص‌های هزینه‌ای، هیدرولیکی و کیفی نتایج پهنه‌بندی حاصل تحقیق تحلیل شد و اثربخشی آن‌ها مورد بحث قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های مذکور می‌تواند منجر به انتخاب بهینه بهترین طرح پیشنهادی برای اصلاح شبکه‌های سنتی موجود و ایجاد DMA در شبکه‌های توزیع آب باشد. معیار هزینه و پیمانگی نسبت به سایر شاخص‌ها اثرگذاری بیشتری در تعیین تعداد بهینه نواحی داشتند. روش گیروان-نیومن نتایج مناسب‌تری را نسبت به روش فست نیومن ارائه کرد.

Keywords: DMA, Water Distribution Network, Girvan-Newman, Fast Newman, Clustering.

کلمات کلیدی: DMA، شبکه توزیع آب، گیروان-نیومن، فست نیومن، خوشه‌بندی.

هدررفت واقعی شامل سه جزء هدررفت آب ناشی از نشت و شکستگی‌های گزارش شده، هدررفت آب ناشی از نشت و شکستگی‌های گزارش نشده و نشت زمینه آب در شبکه توزیع آب شهری است. به منظور مدیریت ساده شبکه‌های توزیع آب شهری، کارگروه تلفات آب (WLT^۲) در IWA بیان می‌کنند که شبکه‌های تأمین آب به بخش‌هایی تقسیم شود که ناحیه مجزای اندازه‌گیری یا DMA نامیده می‌شود. این مناطق به‌عنوان بخش‌هایی از یک شبکه که شامل دبی‌سنج‌های جداگانه ناحیه‌ای بوده و ترجیحاً دارای یک نقطه ورودی و یک نقطه خروجی است، قابل تعریف خواهد بود. یک DMA، بخشی از یک شبکه توزیع دارای شیرهای قطع و وصل در حالت بسته مرزی است که مصرف آب آن ناحیه، توسط یک یا چند دبی‌سنج در ورودی و خروجی آن، با اهداف کنترل و کاهش هدررفت واقعی از طریق روش‌هایی نظیر جریان شبانه، مورد پایش قرار می‌گیرد. در این روش یکی از حیاتی‌ترین اقدامات، پهنه‌بندی صحیح شبکه است. ضابطه تائید شده‌ای در خصوص تشکیل DMA وجود ندارد، اما اگر این نواحی خیلی کوچک در نظر گرفته شود سبب افزایش هزینه‌های پایش نظیر دبی‌سنج‌ها، دیتالاگرها و شیرها و اگر خیلی بزرگ در نظر گرفته شود، عملیات نشت‌یابی و بهره‌برداری مشکل‌تر خواهد شد. توصیه می‌شود که DMA دارای ۴ تا ۳۰ کیلومتر لوله و یا ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ انشعاب باشد. می‌توان برای کاهش هزینه نصب تجهیزات کنترلی اضافه و تسهیل در بهره‌برداری، امکان مجزاسازی خطوط اصلی شبکه خارج از DMA را در نظر گرفت.

از دیگر ملاحظات مهم طراحی DMA توجه به کیفیت آب است. زیرا ممکن است پس از مجزاسازی، برخی از خطوط شبکه دچار ماندآب شود (Pearson, 2019). بنابراین در نظر گرفتن شاخص‌های هیدرولیکی نظیر فشار، شاخص‌های هزینه‌ای نظیر تهیه و نصب تجهیزات، شاخص‌های کیفی نظیر سن آب^{۱۴} در انجام این مهم اجتناب‌ناپذیر است. (Sadeghi et al. (2021 بر روی ایجاد خودکار DMA در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از الگوریتم ساختار جامعه^{۱۵} و الگوریتم ژنتیک باهدف توزیع عادلانه فشار شبکه توزیع آب تحقیق کردند. در این تحقیق ابتدا شبکه شهر تغت در استان یزد در نرم‌افزار اپینت مدل شد و با اتصال اپینت به نرم‌افزار متلب و بارگذاری مشخصات شبکه، با استفاده از الگوریتم ساختار جامعه، شبکه به‌صورت خودکار خوشه‌بندی شد. در مرحله ناحیه‌بندی فیزیکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک محل‌های بهینه قرارگیری شیرهای دروازه‌ای و کنترلر باهدف کاهش واریانس میانگین فشار نواحی اندازه‌گیری مجزا مشخص شد. نتایج نشان داد که الگوریتم تشخیص ساختار جامعه با وزن

ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری در شبکه‌های توزیع آب دارای مزیت‌های زیادی است. از این جمله می‌توان به کنترل نشت به‌کمک روش‌های نشت‌یابی و اندازه‌گیری جریان شبانه، کنترل حوادث شبکه و تسریع در رسیدگی به آن‌ها، مدیریت فشار شبکه و کاهش تعداد شیرهای فشارشکن در شبکه، ایجاد بستر لازم به‌منظور هوشمند سازی شبکه توزیع آب، کنترل بهتر شبکه در شرایط ورود آلودگی به شبکه و یا در شرایط اضطراری اشاره کرد. توصیه انجمن بین‌المللی آب^{۱۱} برای تخمین هدررفت واقعی استفاده از روش‌های نشت‌یابی و اندازه‌گیری جریان شبانه^{۱۲} به‌کمک ناحیه‌های مجزای اندازه‌گیری است (OP310, ۱۴۰۰). در پهنه مجزا امکان اندازه‌گیری دبی در جریان ورودی و خروجی‌های پهنه وجود دارد. با اجرا و انجام پهنه‌بندی شبکه آبرسانی ضمن تأمین آب شرب مناسب از حیث کمی برای شهروندان، آمار خرابی‌ها، کمبود آب و سایر مشکلات مرتبط به‌صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. به‌عبارتی دیگر، پهنه‌بندی شبکه آبرسانی شهرها با هدف توزیع مناسب آب شرب و مدیریت فشار شبکه، انجام می‌پذیرد. در شبکه‌های توزیع آب پهنه‌بندی‌های مختلفی از جمله پهنه‌بندی فشاری، DMA، آبرسانی و بالانسینگ با اهداف متفاوت انجام می‌شود و روش انجام هرکدام از این پهنه‌بندی‌ها متفاوت است. اگرچه، ممکن است یک شبکه هم‌زمان دارای پهنه‌بندی‌های متفاوت باشد. لذا ضرورتی برای پهنه‌بندی فشاری برای ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری الزاماً وجود ندارد. به‌عنوان مثال اگر شبکه‌ای در یک شهر تقریباً مسطح قرار گرفته باشد لزوماً پهنه‌بندی فشاری نیاز نیست، در صورتی که مجزاسازی شبکه (DMA) لازم است (OP310, ۱۴۰۰).

از سوی دیگر با توجه به افزایش جمعیت شهرها، اکثر شبکه‌های توزیع به‌صورت مرحله‌ای و سنتی و بدون توجه به مفهوم DMA گسترش یافته و به یک شبکه پیچیده تبدیل شده‌اند. لذا پهنه‌بندی در این شبکه‌ها بسیار پیچیده، پرهزینه و مشکل بوده و سبب تغییر تعادل فشاری و آبرسانی در شبکه خواهد بود. ممکن است در شبکه‌های توزیع لوله‌های وجود داشته باشد که اگر از شبکه توزیع حذف شوند، شبکه توزیع آب شهری هم‌چنان با رعایت قیدهای هیدرولیکی از جمله فشار در گره‌های شبکه در محدوده مجاز قرار داشته باشد. لذا اصلاح و بازطراحی شبکه‌های سنتی به شکلی که با تشکیل هم‌زمان DMA، فشار حداقل موردنیاز و سایر پارامترهای هیدرولیکی در شبکه ارضا شود از اهمیت زیادی برخوردار است.

بهینه‌سازی چندهدفه استفاده‌شد. یک هدف تعیین تعداد شیرهای جداسازی بود. برای دومین هدف سه شاخص تحلیل و مقایسه شدند: (۱) یک انحراف معیار استاندارد؛ (۲) ضریب جینی و (۳) تاب‌آوری. روش تحقیق بر روی دو نمونه مطالعاتی و با دو شاخص عملکردی در شرایطی که تقاضا در DMA ها مشابه بودند به کار برده شد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی برای زون بندی DMA های مستقل، با تقاضاهای مشابه مؤثر بوده است.

(Mambretti et al. (2021) با استفاده از تئوری گراف و الگوریتم یافتن جامعه طراحی ابتدایی DMA را بررسی کردند. این تحقیق با هدف طراحی ابتدایی DMA ها و با استفاده از روش تئوری گراف و الگوریتم جامعه ساختاریافته بر روی شبکه توزیع آب میلانو به کار برده شد. این شبکه بسیار پیچیده و حلقه‌ای بوده و به حدود دو میلیون نفر خدمت‌رسانی می‌کند. در ابتدا شبکه به کمک الگوریتم ساختاریافته و تئوری گراف به ۲۷ عدد DMA تفکیک شد. برخلاف سایر روش‌های ناحیه‌بندی، بیشینه ابعاد هر DMA ابتدایی از قبل محدود نشده و لذا نواحی تولیدشده بزرگ‌تر خواهند بود. سپس یک الگوریتم ساده برای تبدیل DMA های ابتدایی به DMA های دینامیکی برای کاهش انرژی مصرفی و فشار سراسری در شبکه به کار برده شد. نتایج نشان داد که هر دو جنبه بهبود پیدا کرده است و لذا پژوهش، توجیه‌پذیر در نظر گرفته می‌شود. ضمناً برای به‌کارگیری تئوری گراف از الگوریتم جستجوی اولین پهنا (BFS)^{۱۱} و الگوریتم دایجسترا^{۱۲} استفاده شد. هم‌چنین برای خوشه‌بندی از الگوریتم‌های گیروان-نیومن و الگوریتم گیروان-نیومن اصلاح‌شده استفاده شد.

(Bui et al. (2021) طراحی بهینه DMA در یک شبکه توزیع آب را با استفاده از نقشه خودسازمان‌ده یا SOM^{۱۳} و الگوریتم ساختار اجتماع (CSA)^{۱۴} انجام دادند. این تحقیق طراحی بهینه DMA در چهارچوب معیار تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)^{۱۵} را براساس خروجی مدل ترکیبی SOM و CSA بررسی کرد. در ابتدا اصل خوشه‌بندی الگوریتم SOM برای ساخت خوشه‌های همسان براساس فشار و ارتفاع به کار برده شد. سپس CSA برای تصحیح SOM خوشه‌های اولیه برای ساخت خودکار چند مقیاسه و پویای طرح‌های DMA ترکیب شد. در نهایت، معیاری برای تعیین عملکرد هر طرح ارائه‌شده DMA فرضی و مدل واقعی شبکه توزیع آب انجام و مشخص شد که این مدل می‌تواند طرح‌های DMA های فرضی و پویای متناسب با تقاضاهای آبی متغیر را فراهم آورد.

میانگین فشار روزانه به‌خوبی توانایی ایجاد خودکار خوشه‌بندی مناسب با توجه به شاخص پیمانگی و فشار یکنواخت داخل خوشه‌ها را دارد. هم‌چنین بهینه‌سازی لوله‌های مرزی منجر به کاهش فشار بخش‌های مختلف شبکه از جمله نواحی با فشار بالاتر از میانگین کل شبکه کاهش واریانس میانگین فشار DMA و سبب توزیع عادلانه فشار در شبکه شد.

(Zhang et al. (2021) بر روی بهینه‌سازی DMA برای کاهش نرخ نشت زمینه در شبکه‌های توزیع آب مطالعه کردند. در ابتدا به‌طور بهینه بدنه اصلی یک شبکه با استفاده از ارزیابی پیشنهادی که شامل سه شاخص مرجع و ناحیه مجزا با تئوری گراف^{۱۶} است، شناسایی و انتخاب شد. ضمناً الگوریتم یابنده اجتماع اصلاح‌شده برای زون بندی نواحی بزرگ با در نظر گرفتن یکنواختی ارتفاعی DMA ها و یکنواختی تقاضای DMA ها پذیرفته شد. سپس نقشه بهینه کنترلرها در ورودی لوله‌ها و دریچه‌های دروازه‌ای با حل فشار تجمعی در نقاط بحرانی هر DMA مقایسه و به‌دست آمد. در نهایت شیرهای فشارشکن در هر ورودی لوله نصب و برای کاهش نشت بهینه شدند. نتایج نشان داد که ترکیب مدیریت فشار و روش تحقیق ناحیه‌بندی می‌تواند با کنترل اضافه ظرفیت فشار بر کاهش میزان نشت مؤثر باشد.

(Zeidan et al. (2021) بر روی تقسیم‌بندی DMA و بهینه‌سازی چندهدفه سن آب، اضافه فشار و هزینه عملیاتی پمپ در شبکه توزیع آب تحقیق کردند. در این تحقیق یک رویکرد ابتکاری چندهدفه برای تقسیم‌بندی و عملکرد شبکه‌های توزیع آب ارائه شد. روش تحقیق یک رویکرد دومنظوره به کار گرفت. ابتدا یک روش ابتکاری برای تقسیم‌بندی شبکه به چند DMA براساس تحلیل اتصال صورت گرفت. دومین رویکرد، روش بهینه‌سازی چندهدفه NSGAI^{۱۷} برای کاهش هزینه‌های عملیاتی، اضافه فشار و سن آب در شبکه توزیع آب شهری را به کار برد. برای تعیین مرزها از الگوریتم ساختار جامعه استفاده شد. این تحقیق یک رویکرد ابتکاری نوین برای پیوند حل مسئله چندهدفه تحت یک سیستم تقسیم‌بندی داده را مورد استفاده قرار داد.

(Bianchotti et al. (2021) ناحیه‌بندی شبکه توزیع آب شهری با چندین منبع با مقایسه چندین شاخص را بررسی کردند. در این تحقیق یک رویکرد دومرحله‌ای برای طراحی DMA ها ارائه شد. در گام اول خوشه‌بندی سیستم براساس الگوریتم لویین از نوع حریمان^{۱۸} برای بهینه‌سازی پیمانگی^{۱۹} تعمیم یافت. در گام دوم تقسیم‌بندی فیزیکی سیستم براساس مسئله بهینه‌سازی دوهدفه که در نسخه SMOSA^{۲۰} به کار برده و برای مدل‌سازی

تحلیل بر روی نتایج ناشی از آن مقادیر مورد محاسبه انجام پذیرفته و اثربخش‌ترین شاخص‌ها بین شاخص‌های مورد بررسی بر روی شبکه‌های مورد مطالعه انتخاب می‌شود.

۲- مبانی نظری

به منظور تبدیل شبکه‌های سنتی موجود توزیع آب به شبکه‌های دارای نواحی مجزای اندازه‌گیری با رعایت فشار حداقل مورد نیاز و سایر پارامترهای هیدرولیکی در این تحقیق، یک مدل بهینه ارائه شد. ضرورت بازطراحی و تبدیل شبکه‌هایی که این رویکرد در آن‌ها نادیده گرفته شده است، در کاهش هزینه‌های آب بدون درآمد و همچنین نرخ حوادث و استهلاک سالانه شبکه مؤثر خواهد بود.

۲-۱- تئوری گراف

یکی از تحلیل‌های مهمی که روی گراف‌ها انجام می‌شود، خوشه‌بندی گراف است. به مسئله خوشه‌بندی در گراف‌ها، تشخیص جوامع^{۲۶} نیز گفته می‌شود. روش‌های خوشه‌بندی، کاربردهای مختلفی از جمله ساده‌سازی داده‌ها، تحلیل داده‌ها، شباهت‌سنجی داده‌ها و همچنین یافتن الگوهای کاربرد دارند. اصطلاحات خوشه‌ها شامل گروه‌هایی بافاصله‌های کم بین اعضای خوشه، مناطق متراکم فضای داده، فواصل و یا توزیع‌های آماری خاص است. بنابراین خوشه‌بندی می‌تواند به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه صورت گیرد. گراف مجموعه‌ای از نقاط و خطوط متصل به هم است. گراف یک ساختاری مجزا از یال‌ها و رأس‌ها است که رأس‌ها از طریق یال‌ها به هم متصل می‌شوند. هر گراف به صورت زوج مرتبی مانند $G(V, E)$ نشان داده می‌شود. V : زیرمجموعه‌ای از رأس‌ها و E : زیرمجموعه‌ای از یال‌ها به صورت اعضای دو عضوی V است. با توجه به این‌که شبکه‌های توزیع آب مجموعه‌ای از گره‌ها و لوله‌ها است، می‌توان آن‌ها را به عنوان یک گراف در نظر گرفت. در شبیه‌سازی شبکه آب با استفاده از تئوری گراف می‌توان گره‌های مصرف و مخازن شبکه را رأس‌های گراف (V) و لوله‌ها، پمپ‌ها و شیرهای شبکه را هم‌چون یال‌های گراف (E) در نظر گرفت. استفاده از تئوری گراف برای شبکه‌های توزیع باعث سرعت تحلیل شبکه‌های بزرگ و پیچیده توزیع آب می‌شود و این امکان را می‌دهد که بتوان از الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های توزیع نیز استفاده کرد (Bader et al., 2013).

۲-۲- روش گیروان-نیومن و روش فست نیومن

الگوریتم گیروان-نیومن به موضوع خوشه‌بندی گراف‌ها بر

(Sharma et al. (2022) پهنه‌بندی DMA شبکه توزیع آب شهری را با استفاده از شیرهای موجود مطالعه کردند. روش تحقیق پیشنهادی برای یافتن خوشه‌ها و کاهش هزینه شیرها و ناحیه‌بندی DMAها با در نظر گرفتن شیرهای موجود عمل می‌کرد. روش یافتن DMAها به سه مرحله تقسیم می‌شود: ۱- شناسایی خوشه‌ها؛ ۲- ناحیه‌بندی یا بهینه‌سازی مرزها و ۳- ارزیابی عملکرد شبکه محدوده‌بندی شده. روش تحقیق پیشنهادی بر روی یک شبکه ساده و یک شبکه واقعی با یافتن و مقایسه DMAها ارزیابی شد. در این تحقیق از الگوریتم BFS برای ناحیه‌بندی و از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مرزها استفاده شد.

در تحقیق حاضر یک روش برای ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری ارائه می‌شود. بدین منظور در مرحله خوشه‌بندی به کمک دو روش گیروان-نیومن و فست نیومن پهنه‌بندی شبکه توزیع آب شهری سه شبکه بالرما، مدنا و دی تاون انجام می‌شود. این خوشه‌بندی براساس معیار پیمانگی انجام می‌پذیرد. براساس این معیار میزان ارتباط بین گره‌های درون خوشه‌ای حداکثر و میزان ارتباط بین خوشه‌ها حداقل می‌شود. این موضوع سبب حداقل شدن لوله‌های رابط در هنگام ناحیه‌بندی می‌شود. در گام دوم، ناحیه‌بندی فیزیکی نیز برای تعیین تکلیف لوله‌های رابط با معیار حداقل‌سازی هزینه در هنگام انتخاب شیرهای مجزاسازی و همچنین کنتورهای آب در نظر گرفته شد. در واقع در هر دوگام پهنه‌بندی شبکه توزیع آب، حداقل‌سازی هزینه ایجاد DMA در دستور کار قرار گرفت. هم‌چنین نتایج روش‌های گیروان-نیومن و فست نیومن با یکدیگر مقایسه شدند. لازم به توضیح است تحلیل مبتنی بر فشار PDD یا HDSM در شرایط کمبود فشار باعث افزایش دقت مدل‌های هیدرولیکی می‌شود. اما موضوع تحقیق حاضر غلبه بر پیچیدگی‌های پهنه‌بندی DMA در شبکه‌های قدیمی است. هم‌چنین یکی از قیود الگوریتم پیشنهادی تأمین فشار همه گره‌ها در حالت پیک مصرف است. لذا نیازی به تحلیل PDD یا HDSM نیست. هم‌چنین با توجه به محدودیت‌های ناشی از تهیه داده‌های مربوط به شبکه‌های واقعی از ۳ شبکه مرجع در تحقیق حاضر استفاده می‌شود.

نوآوری این تحقیق در ارائه یک روش برای ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری و هم‌چنین ارزیابی کارایی شاخص‌های هیدرولیکی، کیفی و هزینه‌ای در انتخاب پهنه بهینه برای تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری است. بدین منظور شاخص‌هایی نظیر هزینه، تاب‌آوری، تشابه تقاضای گره‌ای و سن آب بر روی سه شبکه مورد مطالعه به ازای حالت‌های مختلف محاسبه و سپس

مختلف با تعداد خوشه‌های متفاوت که بسیاری از روش‌های دیگر این مهم امکان‌پذیر نیست. روش فست نیومن یک روش سریع برای یافتن جوامع در شبکه‌ها نسبت به سایر روش‌ها است. این موضوع اجازه می‌دهد که بر روی شبکه‌های بزرگ‌تر مطالعه انجام شود. این الگوریتم بر اساس پیمانگی است (Newman and Girvan, 2004).

۲-۳- شاخص‌های انتخاب بهینه تعداد نواحی مجزای

اندازه‌گیری

۲-۳-۱- هزینه

هزینه کل برای ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری در شبکه مجموع هزینه نصب کنتور و شیرهای مجزاسازی در لوله‌های مرزی است. بنابراین هزینه کلی مطابق رابطه (۲) و جدول ۱ و براساس قطر لوله‌های مرزی میان پهنه‌ها محاسبه می‌شود.

$$Cost = \sum_{fm=1}^{N_{fm}} [C_{fm}(D_{fm})] + \sum_{gv=1}^{N_{gv}} [C_{gv}(D_{gv})] \quad (2)$$

که $Cost$: هزینه کلی ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری، N_{fm} : تعداد کنتورهای نصب‌شده در نواحی مرزی، $C_{fm}(D_{fm})$: هزینه کنتورهای نصب‌شده براساس قطر، N_{gv} : تعداد شیرهای مجزاساز نصب‌شده در نواحی مرزی، $C_{gv}(D_{gv})$: هزینه شیرهای مجزاساز نصب‌شده براساس قطر است. در جدول ۱ هزینه تهیه و نصب کنتورها و شیرهای مجزاساز براساس قطر نشان داده شده است.

جدول ۱- هزینه تهیه و نصب کنتورها و شیرهای مجزاساز براساس قطر (Yao et al., 2021)

قطر (mm)	شیر مجزاسازی (¥)	قیمت کنتور (¥)	قطر (mm)	شیر مجزاسازی (¥)	قیمت کنتور (¥)
۵۰	۲۲۵	۴۵۵	۴۰۰	۲۸۴۰	۶۳۰۰
۱۰۰	۴۰۰	۷۴۴	۵۰۰	۴۵۷۵	۱۰۲۰۰
۱۵۰	۶۷۵	۱۲۵۰	۶۰۰	۵۹۰۰	۱۴۳۰۰
۲۰۰	۹۴۵	۱۸۱۰	۷۰۰	۸۴۵۰	۲۰۵۰۰
۲۵۰	۱۳۱۵	۲۵۲۰	۸۰۰	۱۰۸۵۰	۲۳۰۰۰
۳۰۰	۱۷۷۰	۳۷۸۰	۹۰۰	۱۵۶۵۰	۳۴۲۳۰
۳۵۰	۲۱۸۰	۴۸۰۰	۱۰۰۰	۲۲۵۶۰	۵۰۳۵۰

$$Min f_1 = \sum_{fm=1}^{N_{fm}} [C_{fm}(D_{fm})] + \sum_{gv=1}^{N_{gv}} [C_{gv}(D_{gv})] \quad (3)$$

به‌منظور جلوگیری از ایجاد افت فشار گرهی در شبکه در اثر ایجاد

مبنای معیار پیمانگی می‌پردازد. از آن جایی که لزوماً الگوریتم‌های مختلف تعداد خوشه‌های یکسانی را تولید نمی‌کنند، بسیاری از معیارهای موجود جواب‌گوی مقایسه روش‌های مختلف خوشه‌بندی نیستند و امکان استفاده از آن‌ها برای ارزیابی این روش‌ها وجود ندارد. از طرفی، معیار پیمانگی، این امکان را می‌دهد که بتوان از آن برای تعیین تعداد خوشه‌ها نیز استفاده نمود. روند کلی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از الگوریتم جستجوی اول سطح به‌صورت: ۱- محاسبه امتیاز کل یال‌های شبکه؛ ۲- یافتن یالی که بیشترین امتیاز را دارد و حذف آن از شبکه؛ ۳- محاسبه مجدد امتیاز یال‌های باقیمانده و ۴- تکرار مراحل از گام دوم. روش گیروان-نیومن از شاخص پیمانگی برای ارزیابی ناحیه بندی شبکه استفاده می‌کند. این شاخص به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$M = \sum_{s=1}^c \left[\frac{l_s}{m} - \left(\frac{d_s}{2m} \right)^2 \right] \quad (1)$$

که M : پیمانگی، c : نشان‌دهنده تعداد خوشه‌ها، l_s : برابر با تعداد یال‌های موجود s ، d_s : برابر با مجموع درجه‌های کلیه گره‌های موجود در جامعه s و m : برابر با تعداد کل یال‌ها هستند. هرچه مقدار Q بیشتر باشد ناحیه‌بندی بهتری صورت گرفته است. پیمانگی ابتدا به‌عنوان معیاری برای تعیین مرحله توقف الگوریتم گیروان-نیومن مورد توجه بود، ولی به‌سرعت جزء مهم‌ترین معیارهای الگوریتم‌های تشخیص جوامع تبدیل شد. حداکثر مقدار پیمانگی زمانی به‌دست می‌آید که تمامی رئوس خوشه به‌هم متصل باشند و یالی خوشه‌ها را به‌هم متصل نکند. یکی از ویژگی‌های اساسی پیمانگی، امکان مقایسه خوشه‌بندی‌های

در مرحله ناحیه‌بندی که لوله‌های مرزی تعیین تکلیف می‌شوند، استفاده از کنتور و یا شیر مجزاساز براساس تابع هدف مورد استفاده و محدودیت ناشی از قید در نظر گرفته می‌شود. لذا مقدار تابع هدف در این مسئله براساس هزینه مطابق رابطه (۳) و محدودیت‌های بهینه‌سازی نیز مطابق رابطه (۴) تعریف شده است.

DMA، قید فشار به صورت رابطه (۴) در نظر گرفته می‌شود

$$\text{Subject to: } h_i \geq h_i^* \quad (4)$$

که h_i : فشار هیدرولیکی در گره i ، h_i^* : حداقل فشار متوسط گرهی است و در تحقیق حاضر برابر ۱۵ متر در نظر گرفته شد.

۲-۳-۲- شاخص تاب‌آوری (I_r)

شاخص تاب‌آوری یک ایده برای توانایی شبکه برای تأمین آب در شرایط پرتنش مانند افزایش درخواست اضافی آب ناشی از شکست‌های مکانیکی یا شکست‌های هیدرولیکی است. این معیار مطابق رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Todini, 2000).

$$I_r = \frac{\sum_{i=1}^{Nn} [d_i (h_i - h_i^*)]}{\sum_{k=1}^{Ns} [Q_k H_k] - \sum_{i=1}^{Nn} [d_i h_i^*]} \quad (5)$$

که d_i : تقاضای گرهی، h_i : فشار هیدرولیکی در گره i ، N_n : مجموع تعداد گره‌های شبکه، N_s : تعداد منابع، Q_k و H_k : دبی و فشار در مخزن و h_i^* : حداقل فشار متوسط گرهی است که در تحقیق حاضر ۱۵ متر در نظر گرفته شد.

۲-۱-۲- شاخص تشابه تقاضای گرهی (DSI)

شاخص (DSI) تشابه یکنواختی ابعاد DMAها در شبکه توزیع آب شهری است. این شاخص از انحراف معیار برای مقایسه تقاضا با متوسط تقاضا استفاده می‌کند. مطابق رابطه (۶) مقدار شاخص DSI محاسبه می‌شود (Liu and Han, 2018).

$$DSI = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^k [(Q_d - Q_{mean})^2]}{k}} \quad (6)$$

که K : تعداد DMA و Q_d : تقاضای گرهی در DMA k ام و Q_{mean} : متوسط تقاضای گرهی در کل شبکه توزیع آب شهری است.

۲-۳-۳- سن آب (WA)

سن آب زمان موردنیاز برای ذرات سیال برای پیمودن از منبع به گره‌های مصرف در شبکه است. سن آب بر سطح درصد کلر در آب مؤثر است. این شاخص به‌طور مؤثر بر کیفیت آب در شبکه توزیع آب اثرگذار است. این شاخص مطابق رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Grayman et al., 2009).

$$\overline{WA} = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\frac{\sum_{i=1}^T [WA_{j,i}]}{T} \right]}{n} \quad (7)$$

که \overline{WA} : متوسط سن آب در شبکه و $WA_{j,i}$: سن آب در گره j و در زمان i ام است (Grayman et al., 2009).

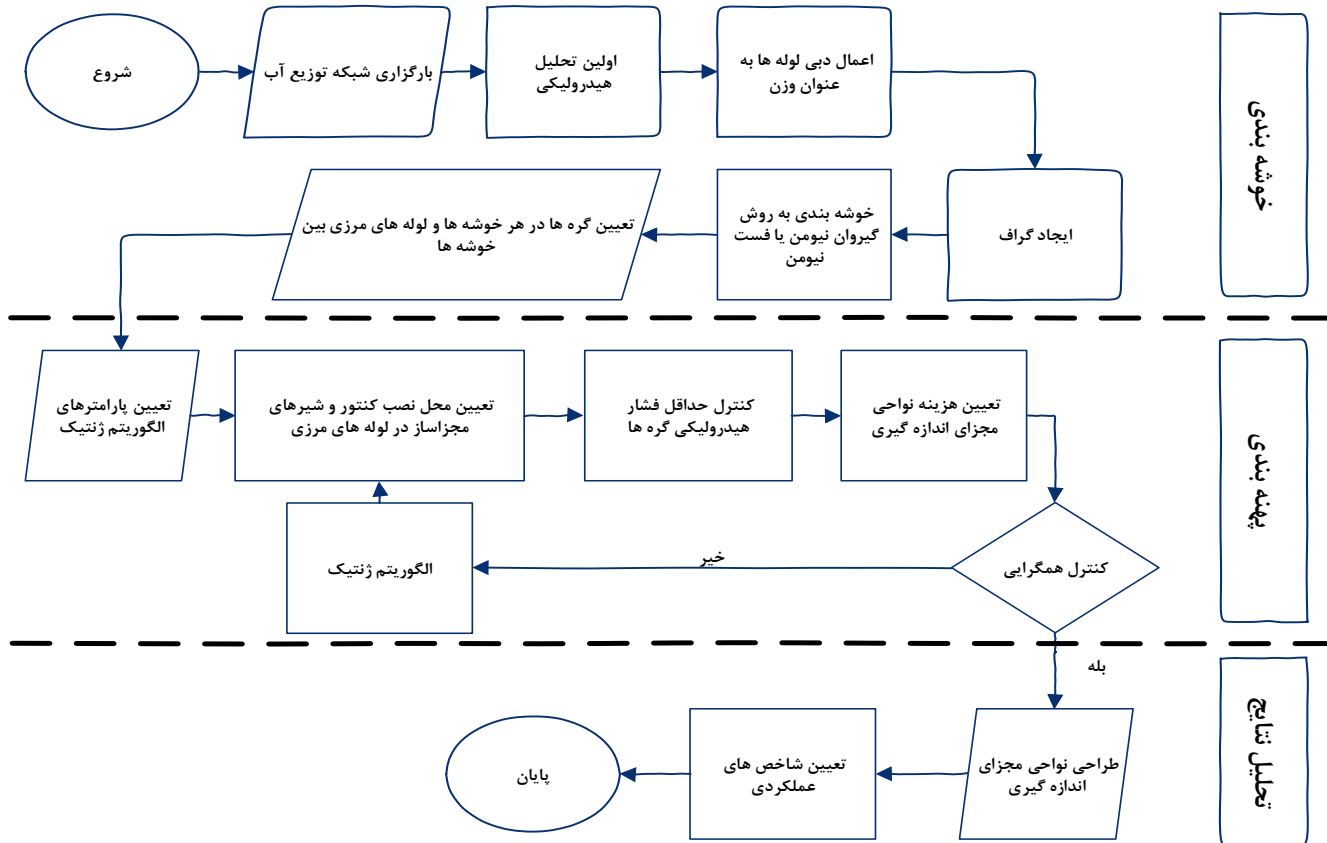
در شکل ۱ روندنمای انجام پهنه‌بندی بر روی شبکه‌های بالرما، مدنا و دی-تاون نشان داده شده است. پس از بارگذاری شبکه در نرم‌افزار متلب و با استفاده از افزونه تولکیت تحلیل اولیه بر روی شبکه صورت گرفته و سپس با استفاده از داده‌های هیدرولیکی اولیه از دبی گذرنده در لوله‌ها مشخص و به‌عنوان وزن در نظر گرفته می‌شوند. سپس این اوزان در قالب ماتریس مجاورت وارد الگوریتم خوشه‌بندی شده و خوشه‌بندی بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد. در ادامه با مشخص شدن لوله‌های مرزی، به کمک الگوریتم ژنتیک لوله‌های مرزی از نظر قرارگیری کنتور و شیرهای مجزاساز تعیین تکلیف می‌شوند. درنهایت با مشخص شدن DMAها با تعداد مختلف تجزیه و تحلیل نتایج برای تعیین حالت بهینه پهنه‌بندی با توجه به شاخص‌های هیدرولیکی، هزینه‌ای و کیفی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۴- شبکه مورد مطالعه

در این تحقیق از سه شبکه توزیع آب شهری بالرما، مدنا و دی تاون استفاده شده است. مشخصات شبکه بالرما در جدول ۲ و شکل ۲، مشخصات شبکه مدنا در جدول ۲ و شکل ۳ و در نهایت مشخصات شبکه دی تاون در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات شبکه‌های بالرما (Reca et al., 2008)، مدنا (Bragalli et al., 2012) و دی تاون (Marchi et al., 2014)

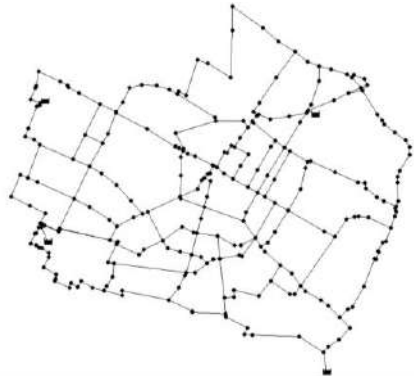
شرح	دی تاون	مدنا	بالرما	شرح	دی تاون	مدنا	بالرما
تعداد گره‌های مصرف	۳۸۸	۲۶۸	۴۴۳	حداقل فشار گره‌ای (m)	۲۱/۷۹	۱۸/۷	۲۰
تعداد لوله‌ها	۴۲۴	۳۱۷	۴۵۴	متوسط فشار گره‌ای (m)	۵۱/۱۴	۲۹/۶	۳۲/۲۸
تعداد مخازن	۱	۴	۴	بیشترین فشار گره‌ای (m)	۷۸/۳۶	۳۹/۲	۶۸/۴۶
دبی پیک تقاضای گره‌ای (l/s)	۲	۱/۱	۵/۵۵	انحراف از معیار فشار متوسط (m)	۱۵/۹۰	۴/۴	۱۰/۹
دبی پایه تقاضای گره‌ای (l/s)	۱	۰/۵۵	۲/۷۷۵	متوسط سن آب (hour)	۴/۶	۱/۴۹	۵/۵۵



شکل ۱- روندنمای انجام روش تحقیق



شکل ۴- نمای کلی شبکه دی تاوان



شکل ۳- نمای کلی شبکه مدنا



شکل ۲- نمای کلی شبکه بالارما

۳- نتایج و بحث

لذا تعداد پهنه‌ها بین ۱۶ تا ۲۰ قابل محاسبه است. لیکن در این تحقیق برای کنترل دقیق‌تر بین ۲ تا ۲۰ عدد DMA بر روی شبکه بررسی شده است. پارامترهای هزینه‌ای و هیدرولیکی و کیفی مطابق جدول‌های ۳ و ۴ با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به آن‌که در محدوده ۱۶ تا ۲۰ پهنه، شاخص‌های RI و DSI و M و WA و همچنین نتایج فشار به یکدیگر نزدیک بوده است، لذا با توجه به محدوده پیشنهادی با در نظر گرفتن کلیه جهات هیدرولیکی، کیفی، هزینه بین ۱۶ تا ۲۰ عدد DMA به‌عنوان محدوده بهینه با کمترین هزینه ممکن در نظر گرفته می‌شود. طبعاً

۳-۱- تحلیل شبکه بالارما به روش گیروان-نیومن

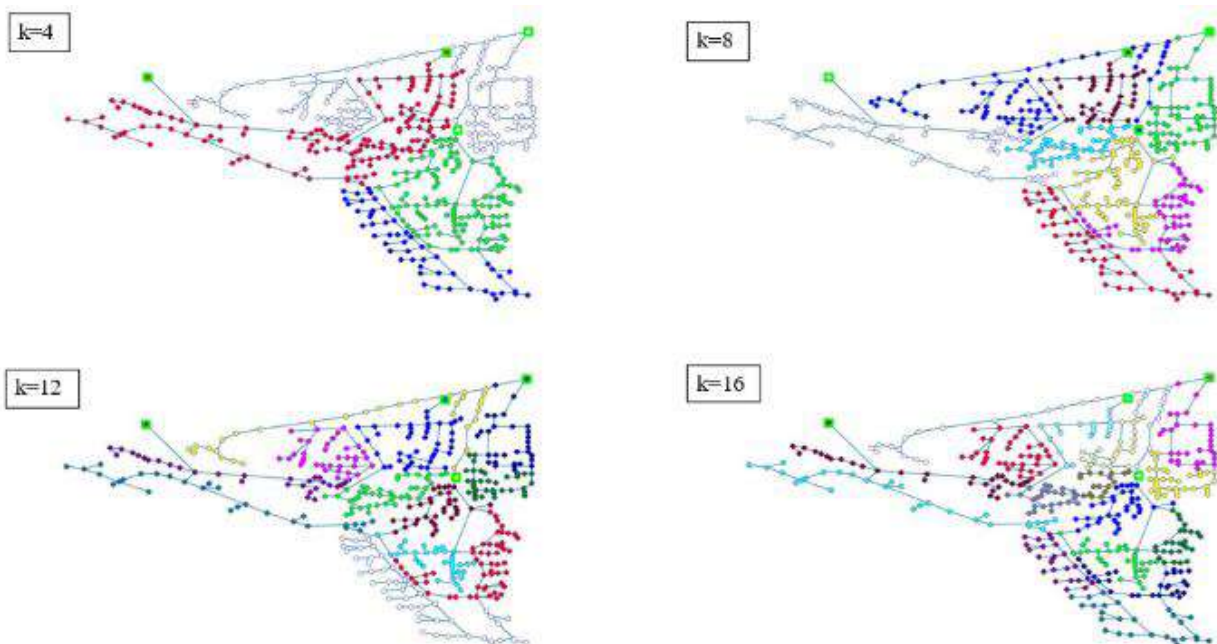
در شکل ۵ و جدول ۳ نتایج مدل‌سازی شبکه بالارما بررسی شده است. با توجه به توصیه IWA، با در نظر گرفتن این‌که پهنه‌ها بین ۴۲۰۰ تا ۵۰۰۰ مشترک را پوشش دهند و با در نظر گرفتن ۱۲۵۰ لیتر بر روز مصرف برای هر مشترک، میزان مصرف برای هر پهنه بین ۷/۲ الی ۶۰/۹ لیتر بر ثانیه محاسبه شده است. با توجه به آن‌که کل مصارف پایه شبکه ۱۲۱۸/۲ لیتر بر ثانیه است،

دقت کنترل نشت در پهنه‌ها افزایش می‌یابد.

در بازه معرفی شده تعداد بالاتر پهنه هزینه بالاتر ولوله‌های مرزی بیشتر را دارا بوده و در عوض با توجه به کوچک‌تر شدن پهنه‌ها،

جدول ۳- نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش گیروان-نیومن در شبکه بالرما

k	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
تعداد لوله‌های مرزی	۱	۳	۵	۶	۷	۱۰	۱۲	۱۳	۱۵	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶
تعداد کنتورها	۱	۳	۵	۵	۶	۹	۱۰	۱۱	۱۳	۱۵	۱۶	۱۸	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴
تعداد شیرهای مجزاساز	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
هزینه (₹)	۱۰۲۰۰	۱۵۴۵۵	۲۱۰۴۵	۲۱۲۷۰	۲۲۷۵۰	۳۳۲۸۰	۳۳۹۶۰	۳۸۷۶۰	۴۹۸۶۰	۵۵۹۱۰	۵۷۱۶۰	۶۲۱۹۰	۶۳۷۷۰	۶۹۳۶۰	۷۴۳۹۰	۸۳۵۰۰
RI	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۵	۱/۱۷	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۵
DSI	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۶
M	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸
(hr) WA	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۶
حداقل فشار (m)	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۹/۳۱	۱۸/۴۱	۱۸/۴۱	۱۸/۴۱	۱۷/۶۱	۱۸/۴۱	۱۷/۶۱	۱۷/۶۱	۱۸/۴۱	۱۸/۴۱	۱۷/۶۱
حداکثر فشار (m)	۶۸/۴۶	۶۸/۴۶	۶۸/۴۶	۶۸/۴۶	۶۸/۴۶	۶۸/۴۲	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸	۶۸/۲۸
متوسط فشار (m)	۳۲/۲۸	۳۲/۲۸	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	۳۱/۹۸	۳۲/۲۷	۳۱/۹۸	۳۱/۹۸	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	۳۱/۹۸
متوسط اضافه فشار (m)	۱۰/۹	۱۰/۹	۱۰/۹	۱۰/۸۹	۱۰/۸۹	۱۰/۸۹	۱۰/۸۹	۱۰/۸۹	۱۰/۸۹	۱۰/۸۲	۱۰/۸۲	۱۰/۸۲	۱۰/۸۲	۱۰/۸۲	۱۰/۸۲	۱۰/۸۲



شکل ۵- نتایج ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش گیروان-نیومن در شبکه بالرما

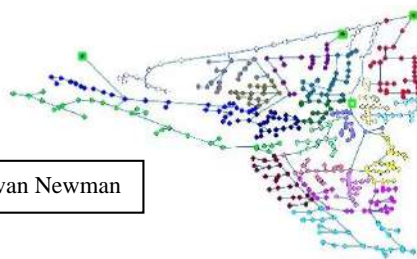
روش گیروان-نیومن بیشتر است. از نقطه نظر معیار DSI و تعداد لوله‌های مرزی و هزینه نیز مقادیر بالاتری در تعداد زون مشابه نسبت به روش گیروان-نیومن به دست آمده است. از نقطه نظر فشار، مطابق جدول ۴ نتایج دو روش به یکدیگر نزدیک است. در شکل ۶ نواحی مجزای اندازه‌گیری به دو روش گیروان-نیومن و فست نیومن در حالت تعداد دسته برابر ۲۰ با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل ۶ نیز وجود لوله‌های مرزی بیشتر روش فست نیومن نسبت به روش گیروان-نیومن مشهود است.

۳-۲- تحلیل شبکه بالرما به روش فست نیومن

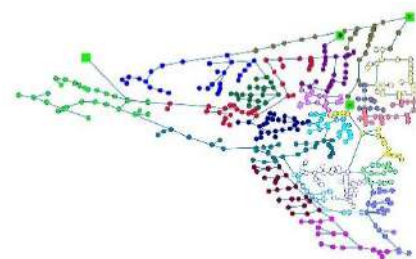
به منظور انجام مقایسه بهتر بین روش خوشه‌بندی فست نیومن و گیروان-نیومن مطابق جدول ۴ تحلیل نتایج شبکه بالرما به روش فست نیومن انجام شده است. با مقایسه نتایج روش گیروان-نیومن و فست نیومن مطابق جدول ۴ به وضوح پیدا است که روش فست نیومن تعداد لوله‌های مرزی بیشتر و در نتیجه هزینه بالاتری در مقایسه با روش گیروان-نیومن دارد. به طور متوسط میزان افزایش هزینه در بین تمامی حالت‌ها ۹ درصد از

جدول ۴- نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش فست نیومن در شبکه بالرما

k	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
تعداد لوله‌های مرزی	۱	۶	۹	۱۲	۱۴	۱۶	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶
تعداد کنتورها	۱	۶	۸	۱۱	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۲	۲۳
تعداد شیرهای مجزاساز	۰	۰	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳
هزینه (₹)	۱۰۲۰۰	۳۰۳۳۵	۴۰۶۴۰	۴۳۰۸۹	۴۹۴۶۹	۵۲۴۴۴	۶۹۵۹۴	۷۵۱۸۴	۷۸۲۴۴	۸۳۲۶۹
RI	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵
DSI	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۲	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۲
M	۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۸۸	۰/۸۸
(hr) WA	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶
حداقل فشار (m)	۲۰	۲۰	۱۸/۸۷	۱۸/۸۷	۱۷/۵۷	۱۷/۵۷	۱۷/۵۷	۱۷/۵۷	۱۷/۵۷	۱۷/۵۷
حداکثر فشار (m)	۶۸/۴۶	۶۸/۴۶	۶۸/۲۵	۶۸/۲۵	۶۷/۷۷	۶۷/۷۷	۶۷/۷۷	۶۷/۷۷	۶۷/۷۷	۶۷/۷۷
متوسط فشار (m)	۳۲/۲۸	۳۲/۲۸	۳۲/۲۴	۳۲/۲۴	۳۱/۹۵	۳۱/۹۵	۳۱/۹۵	۳۱/۹۵	۳۱/۹۵	۳۱/۹۵
متوسط اضافه فشار (m)	۱۰/۹	۱۰/۹	۱۰/۷۵	۱۰/۷۵	۱۰/۶۴	۱۰/۶۴	۱۰/۶۴	۱۰/۶۴	۱۰/۶۴	۱۰/۶۵



k = 20-Girvan Newman



k = 20-Fast Newman

شکل ۶- مقایسه نتیجه تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش گیروان-نیومن و فست نیومن

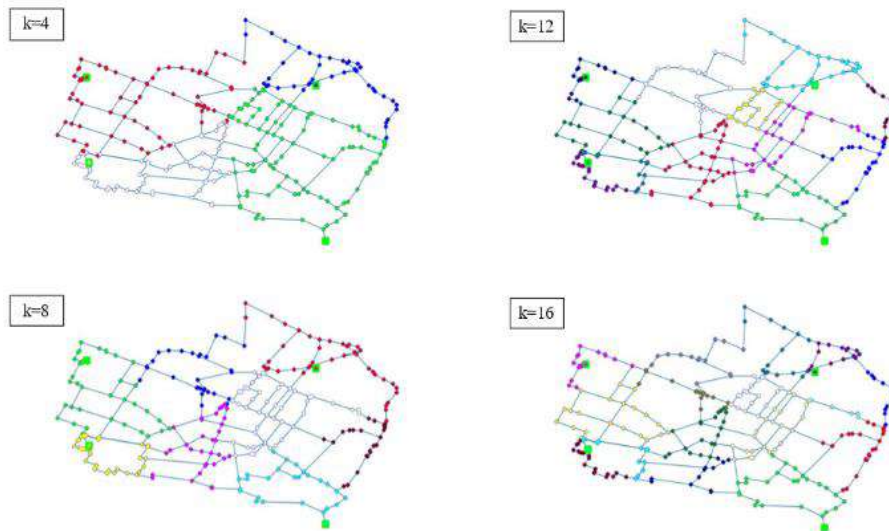
تعداد ۴ دسته به بعد معیار پیمانی افزایش قابل توجهی داشته است. در تعداد ۸ پهنه نیز مقدار معیار پیمانی افزایش یافته است. همچنین با توجه به نزدیک بودن شاخص‌ها در تعداد ۱۰ و ۸ پهنه و برای انتخاب هزینه کمتر تا تعداد ۸ پهنه به عنوان تعداد پهنه مناسب در نظر گرفته شده است. ضمناً از نقطه نظر متوسط فشار شبکه، در تعداد پهنه بین ۶ تا ۸، مقدار متوسط فشار شبکه حدود ۹ درصد کاهش پیدا کرده و مدیریت فشار با رعایت حداقل فشار مجاز در شبکه نیز به طور هم‌زمان در شبکه اعمال شده است. لذا در مجموع تعداد ۶ الی ۸ پهنه به عنوان تعداد پهنه مناسب پیشنهاد می‌شود.

۳-۲- تحلیل شبکه مدنا به روش گیروان-نیومن

نتایج ایجاد نواحی مجزای اندازه‌گیری بر روی شبکه مدنا در جدول ۵ و شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به توصیه IWA و با در نظر گرفتن ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ مشترک در هر DMA و مصرف ۱۲۵۰ لیتر بر روز مصرف برای هر مشترک، میزان مصرف در هر پهنه بین ۷/۲ تا ۷۲ لیتر بر ثانیه و میزان مصرف کلی ۱۴۵/۲ لیتر بر ثانیه برای کل شبکه، تعداد پهنه‌ای مجاز بین ۲ تا ۲۰ پهنه محاسبه شد. در این تحقیق بین ۲ تا ۲۲ پهنه مورد محاسبه قرار گرفت. با در نظر گرفتن معیار پیمانی مشاهده می‌شود، از

جدول ۵- نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش گیروان-نیومن در شبکه مدنا

k	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲
تعداد لوله‌های مرزی	۷	۱۵	۲۱	۲۶	۲۹	۳۳	۳۷	۴۰	۴۵	۴۹	۵۳
تعداد کنتورها	۱	۵	۶	۱۰	۱۳	۱۶	۱۸	۲۱	۲۳	۲۹	۳۲
تعداد شیرهای مجزاساز	۶	۱۰	۱۵	۱۶	۱۶	۱۷	۱۹	۱۹	۲۲	۲۰	۲۱
هزینه (₹)	۵۰۳۵	۱۳۸۱۴	۱۷۴۳۰	۲۱۶۸۰	۲۵۲۹۲	۳۰۱۹۶	۳۷۶۸۰	۳۹۶۴۴	۴۳۲۹۹	۴۷۸۴۶	۵۲۶۲۲
RI	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۷	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۷۵
DSI	۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱
M	۰/۴۶	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۷
(hr) WA	۱/۵۲	۱/۵۳	۱/۵۲	۱/۵۲	۱/۵۲	۱/۵۱	۱/۵	۱/۵	۱/۴۸	۱/۴۷	۱/۵
حداقل فشار (m)	۱۸/۸۷	۱۵/۴۴	۱۵	۱۵/۱۷	۱۶/۱۱	۱۶/۶۲	۱۶/۶	۱۵/۲۶	۱۵/۵۱	۱۵/۰۴	۱۵/۰۵
حداکثر فشار (m)	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۶۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲
متوسط فشار (m)	۲۷/۸۵	۲۶/۸۳	۲۶/۸۹	۲۶/۷۵	۲۶/۸۶	۲۷/۱۵	۲۶/۷۳	۲۵/۴۴	۲۶/۰۱	۲۵/۲۱	۲۶/۲۱
متوسط اضافه فشار (m)	۵/۵۸	۶/۴۴	۶/۴۷	۶/۵۸	۶/۱۹	۶/۱۶	۵/۰۹	۶/۴۱	۶/۵	۶/۳۸	۶/۲۳



شکل ۷- نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به‌روش گيروان-نیومن در شبکه مدنا

دیگر داشته است. طبیعاً این موضوع به شکل شبکه وابسته است. لیکن در محدوده در نظر گرفته‌شده به‌عنوان محدوده بهینه جواب، روش گيروان-نیومن نسبت به‌روش فست نیومن هزینه کمتری داشته و به‌عنوان روش منتخب در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۸ مقایسه نتایج فشار تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به‌روش گيروان-نیومن و فست نیومن نشان داده شده است.

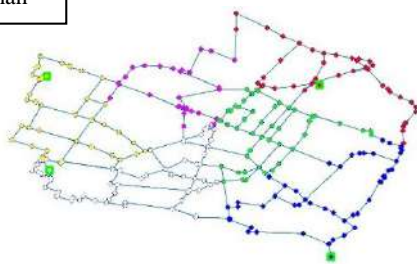
۳-۴- تحلیل شبکه مدنا به‌روش فست نیومن

در جدول ۶ نتایج ناحیه بندی شبکه توزیع آب شهری مدنا نشان داده شده است. با مقایسه نتایج روش فست نیومن با روش گيروان-نیومن می‌توان نتیجه گرفت که در شبکه مدنا هر دو روش نتایج نزدیک به یکدیگر داشته‌اند. به‌طوری‌که در برخی حالت‌ها هزینه و لوله‌های مرزی یک روش برتری هزینه‌ای نسبت به روش

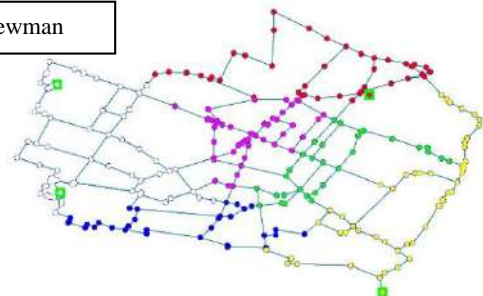
جدول ۶- نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به‌روش فست نیومن در شبکه مدنا

k	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲
تعداد لوله‌های مرزی	۱۰	۱۹	۲۳	۲۸	۳۱	۳۴	۳۷	۴۱	۴۴	۴۷	۵۰
تعداد کنتورها	۴	۷	۸	۹	۱۱	۱۶	۱۶	۱۹	۲۱	۲۴	۲۴
تعداد شیرهای مجزاساز	۶	۱۲	۱۵	۱۹	۲۰	۱۸	۲۱	۲۲	۲۳	۲۳	۲۶
هزینه (₹)	۱۲۶۵۹	۱۸۲۰۹	۲۰۶۵۹	۲۳۰۰۳	۲۶۰۰۱	۲۹۶۵۸	۳۱۲۲۷	۳۴۰۹۷	۳۷۵۰۳	۴۰۶۶۳	۴۱۹۶۹
RI	۰/۱۸۸	۰/۱۷۷	۰/۱۸۱	۰/۱۷۹	۰/۱۷۴	۰/۱۷	۰/۱۷۵	۰/۱۷۴	۰/۱۷۳	۰/۱۷۱	۰/۱۶۵
DSI	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۲
M	۰/۴۲	۰/۶۴	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۶۹	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۶
(hr) WA	۱/۵۳	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۴۹	۱/۴۸	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۸	۱/۴۶
حداقل فشار (m)	۱۸/۵۹	۱۶/۰۵	۱۶/۴۹	۱۶/۱۱	۱۵/۰۳	۱۵/۰۳	۱۶/۳۷	۱۶/۲۸	۱۵/۲۶	۱۶/۴۶	۱۶/۰۸
حداکثر فشار (m)	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲	۳۹/۲۲
متوسط فشار (m)	۲۸/۱۹	۲۶/۴۸	۲۷/۱۲	۲۶/۸۱	۲۶/۱۳	۲۵/۴۶	۲۶/۲۷	۲۶/۱۵	۲۵/۹۲	۲۵/۶۳	۲۴/۷۱
متوسط اضافه فشار (m)	۴/۲۸	۶/۱۷	۵/۴	۵/۴۸	۶/۱۵	۶/۹۱	۶/۲۱	۶/۲۱	۶/۳۷	۶/۷۵	۶/۳۱

k = 6-Girvan Newman



k = 6-Fast Newman



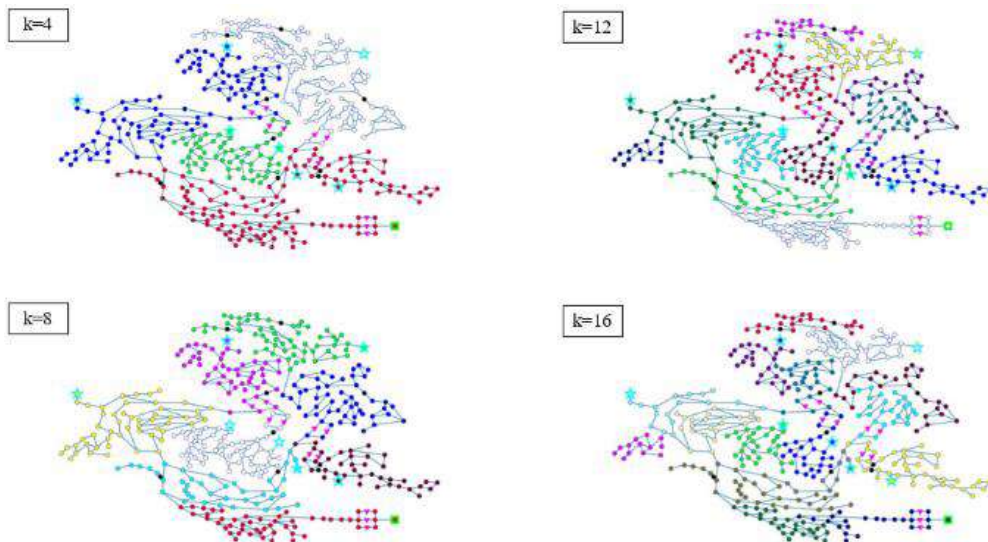
شکل ۸- مقایسه نتایج فشار تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به‌روش گيروان-نیومن و فست نیومن

تا ۱۰ پهنه نسبت به فاصله سایر پهنه‌ها کمتر است. ضمناً مقدار مصرف این شبکه نیز نسبت به شبکه مدنا بالاتر است و لذا برای افزایش دقت کنترل نشت، افزایش تعداد دسته‌ها نسبت به شبکه مدنا دقت عملیات نشت‌یابی را افزایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد ایجاد DMA در این شبکه منجر به کاهش ۲ درصدی متوسط فشار شبکه شده است. سایر شاخص‌ها نظیر RI، DSI و فشار در بین پهنه‌ها در این محدوده اختلاف قابل توجهی با یکدیگر نداشته و عملاً معیار هزینه (تعداد لوله‌های مرزی) و پیمانگی تعیین بازه بهینه تعداد پهنه‌ها اثرگذار هستند.

۳-۵- تحلیل شبکه دی-تاون به روش گیروان-نیومن
با توجه به آنکه مصرف شبکه دی-تاون ۳۸۸ لیتر بر ثانیه است و با در نظر گرفتن تعداد مشترکین بین ۱۱۰۰ تا ۵۰۰۰، تعداد پهنه‌ها بین ۵ تا ۲۴ محاسبه شده است. لیکن در این تحقیق بین ۲ تا ۲۴ کلاستر مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۷ و شکل ۹ نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش گیروان-نیومن نشان داده شده است. معیار پیمانگی در تعداد ۸ و ۱۰ پهنه به مقدار ۰/۷۹ رسیده است. در تعداد ۱۲ پهنه نیز مقدار پیمانگی ثابت مانده است. همچنین از نقطه نظر هزینه نیز اختلاف بین ۸

جدول ۷- نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش گیروان-نیومن در شبکه دی-تاون

k	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴
تعداد لوله‌های مرزی	۱	۳	۵	۷	۹	۱۱	۱۴	۱۷	۱۹	۲۳	۲۵	۲۷
تعداد کنتورها	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۹	۲۰	۲۰
تعداد شیرهای مجزاساز	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۴	۵	۵	۷	۶	۷
هزینه (₹)	۴۵۷۵	۸۹۰۵	۲۲۸۸۵	۲۷۲۱۵	۲۸۸۶۵	۳۶۴۸۰	۴۸۳۳۰	۵۴۰۷۹	۵۸۵۳۴	۶۸۶۳۸	۸۱۳۵۸	۸۵۲۲۷
RI	۲/۳۸	۲/۳۸	۲/۳۸	۲/۳۸	۲/۳۸	۲/۴	۲/۴۱	۲/۳	۲/۱۸	۲/۳	۲/۳	۲/۵۲
DSI	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۹
M	۰/۴۵	۰/۶۶	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۷
حداقل فشار (m)	۲۰/۹۳	۲۰/۹۳	۲۰/۹۳	۲۰/۹۳	۲۰/۹۳	۲۱/۶۳	۲۱/۶۳	۱۶/۲۷	۱۵/۵۵	۱۴/۳۲	۱۶/۲۷	۲۱/۳۶
حداکثر فشار (m)	۸۱/۵۷	۸۱/۵۷	۸۱/۵۷	۸۱/۵۷	۸۱/۵۷	۸۵/۱۶	۸۵/۱۶	۸۴/۹۹	۸۵/۱۳	۸۴/۹۹	۸۴/۹۹	۸۴/۹۹
متوسط فشار (m)	۵۰/۱۸	۵۰/۱۸	۵۰/۱۸	۵۰/۱۸	۵۰/۱۸	۵۰/۵۲	۵۰/۵۷	۴۹/۰۶	۴۷/۲۹	۴۹	۴۹/۰۳	۵۲/۱۹
متوسط اضافه فشار (m)	۱۶/۰۷	۱۶/۰۷	۱۶/۰۷	۱۶/۰۷	۱۶/۰۷	۱۶/۶۷	۱۶/۵۹	۱۷/۶۷	۱۶/۶	۱۷/۸	۱۷/۶۸	۱۷/۲۲



شکل ۹- مقایسه نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به روش گیروان-نیومن در شبکه دی-تاون

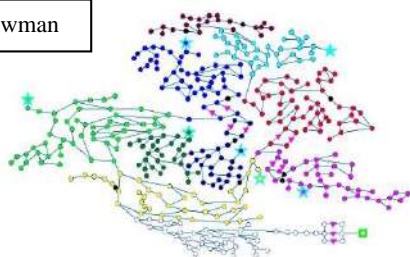
به روش دیگر داشته است. لیکن در محدوده در نظر گرفته شده به عنوان محدوده بهینه جواب، روش گیروان-نیومن نسبت به روش فست نیومن هزینه کمتری داشته است. لذا روش گیروان-نیومن به عنوان روش پیشنهادی در مقایسه با روش فست نیومن در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۱۰ مقایسه نتایج بین روش گیروان-نیومن و فست نیومن نشان داده شده است.

۳-۶- تحلیل شبکه دی-تاون به روش فست نیومن
در جدول ۸ و شکل ۱۰ نتایج شبکه دی-تاون به‌ازای ۲ تا ۲۴ حالت نشان داده شده است. با مقایسه نتایج روش فست نیومن با روش گیروان-نیومن می‌توان نتیجه گرفت که در شبکه مدنا هر دو روش نتایج نزدیک به یکدیگر داشته‌اند. به طوری که در برخی حالت‌ها هزینه و لوله‌های مرزی یک روش برتری هزینه‌ای نسبت

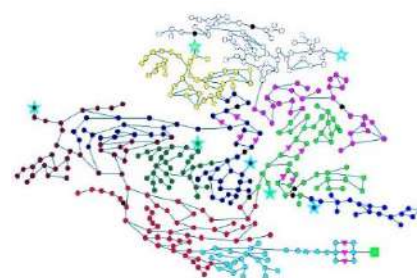
جدول ۸- نتایج تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری به‌روش فست نیومن در شبکه دی-تاون

k	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴
تعداد لوله‌های مرزی	۱	۴	۱۳	۱۷	۱۹	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۲	۳۵	۳۷
تعداد کنتورها	۰	۱	۳	۳	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۵	۱۶	۱۹
تعداد شیرهای مجزاساز	۱	۳	۱۰	۱۴	۱۵	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۷	۱۹	۱۸
هزینه (₹)	۴۵۷۵	۱۰۹۸۵	۲۹۰۶۰	۳۲۳۰۵	۳۳۶۵۵	۴۵۹۹۸	۴۸۷۶۸	۵۱۸۲۸	۵۴۸۸۸	۵۹۷۴۳	۶۲۶۶۳	۷۰۲۳۲
RI	۲/۳۸	۲/۳۹	۲/۳۳	۲/۲۸	۲/۲۸	۲/۲۸	۲/۲۸	۲/۲۸	۲/۲۹	۲/۲۶	۲/۲۸	۲/۲۵
DSI	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲
M	۰/۴۴۵	۰/۷۰۱	۰/۷۸۸	۰/۸۱۱	۰/۸۲۳	۰/۸۲۸	۰/۸۲۸	۰/۸۲۸	۰/۸۲۷	۰/۸۲۷	۰/۸۲۷	۰/۸۲۶
حداقل فشار (m)	۲۰/۹۳	۲۰/۹۷	۲۰/۹۷	۲۱/۰۱	۲۱/۷۸	۲۱/۰۱	۲۱/۸۱	۲۱/۸۱	۲۱/۰۱	۲۰/۱۶	۲۱/۸۱	۱۶/۷۲
حداکثر فشار (m)	۸۱/۵۷	۸۱/۵۸	۸۱/۷۶	۸۱/۴۷	۸۱/۴۴	۸۱/۴۴	۸۱/۴۴	۸۱/۴۴	۸۱/۴۴	۸۱/۴۴	۸۱/۴۴	۸۱/۴۴
متوسط فشار (m)	۵۰/۱۸	۵۰/۳۹	۴۹/۴۱	۴۸/۷۵	۴۸/۶۹	۴۸/۶۵	۴۸/۷۱	۴۸/۷۱	۴۸/۸۷	۴۸/۳۹	۴۸/۷۱	۴۸/۳۱
متوسط اضافه فشار (m)	۱۶/۰۷	۱۶/۱	۱۵/۴۹	۱۶/۲۳	۱۶/۲۱	۱۶/۱۵	۱۶/۰۲	۱۶/۰۲	۱۶/۲۵	۱۶/۴۲	۱۶/۰۱	۱۶/۴۹

k = 10-Girvan Newman



k = 10-Fast Newman



شکل ۱۰- مقایسه نتایج تشکیل DMA به روش گیروان-نیومن و فست نیومن در شبکه دی-تاون

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر روش جدیدی برای تشکیل نواحی مجزای اندازه‌گیری برای شبکه‌های توزیع آب مخصوصاً شبکه‌های قدیمی ارائه شد. روش پیشنهادشده بر روی سه شبکه بالرما، مدنا و دی-تاون به دو روش خوشه‌بندی گیروان-نیومن و فست نیومن اجرا شد. نتایج نشان داد که روش خوشه‌بندی گیروان-نیومن نسبت به روش فست نیومن از نظر تعداد لوله‌های مرزی، برای سه مسئله بررسی‌شده هزینه پایین‌تری داشته است. در بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص هزینه و شاخص پیمانی اثرگذاری بیشتری در تعیین محدوده تعداد پهنه بهینه داشتند. ضمناً نتایج نشان داد پهنه‌بندی در شبکه‌های توزیع آب مورد بررسی، سبب کاهش متوسط فشار بین ۲ تا ۹ درصد شبکه شده است که خود باعث کاهش نرخ نشت، حوادث شبکه و افزایش عمر شبکه خواهد شد. استفاده هم‌زمان معیارهای هیدرولیکی، کیفی (سن آب) و هزینه‌بر انتخاب بهینه نواحی مجزا در شبکه توصیه می‌شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Districted Metered Areas
- 2- Balerma

۶- مراجع

صادقی، ع ر، جوادیان‌زاده، م م، و پوردار، ه، (۱۴۰۰)، "ایجاد خودکار نواحی اندازه‌گیری مجزا در شبکه‌های توزیع آب

design using a resilience index based heuristic approach”, *Urban Water*, 2(2), 115-122.

Yao, H., Zhang, T., Shao, Y., Yu, T., and Lima Neto, I.E., (2021), “Improved modularity-based approach for partition of Water Distribution Networks”, *Urban Water Journal*, 18(2), 69-78.

Zeidan, M., Li, P., and Ostfeld, A., (2021), “DMA segmentation and multiobjective optimization for trading off water age, excess pressure, and pump operational cost in water distribution systems”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(4), 04021006.

Zhang, T., Yao, H., Chu, S., Yu, T., and Shao, Y., (2021), “Optimized DMA partition to reduce background leakage rate in water distribution networks”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(10), 04021071.



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

شهری با استفاده از الگوریتم ساختار جامعه و الگوریتم ژنتیک با هدف توزیع عادلانه فشار شبکه"، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۷(۲)، ۱۴۲-۱۵۳.

OP310، (۱۴۰۰)، *دستورالعمل ملاحظات اجرا و تکمیل یهینه بندی شبکه توزیع آب*، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، معاونت راهبردی و نظارت بر بهره برداری، ۹-۵۵.

Bader, D.A., Meyerhenke, H., Sanders, P., and Wagner, D., (2013), *Graph partitioning and graph clustering*, American Mathematical Society Providence, RI.

Bianchotti, J.D., Denardi, M., Castro-Gama, M., and Puccini, G.D., (2021), “Sectorization for water distribution systems with multiple sources: A performance indices comparison”, *Water*, 13(2), 131.

Bragalli, C., D'Ambrosio, C., Lee, J., Lodi, A., and Toth, P., (2012), “On the optimal design of water distribution networks: a practical MINLP approach”, *Optimization and Engineering*, 13(2), 219-246.

Bui, X.K., Marlim, M.S., and Kang, D., (2021), “Optimal design of district metered areas in a water distribution network using coupled self-organizing map and community structure algorithm”, *Water*, 13(6), 836.

Grayman, W.M., Murray, R., and Savic, D.A., (2009), “Effects of redesign of water systems for security and water quality factors”, In: *World Environmental and Water Resources Congress 2009*, Great Rivers, (pp. 1-11), <https://doi.org/10.18063/JSC.2015.01.004>.

Liu, J., and Han, R., (2018), “Spectral clustering and multicriteria decision for design of district metered areas”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(5), 04018013.

Mambretti, S., Raimondi, A., and Stroppa, F.F., (2021), “Graph theory and community detection for elementary DMA design”, *Sustainable Water Resources Management XI: Effective Approaches for River Basins and Urban Catchments*, 250, 121 Effective.

Marchi, A., Salomons, E., Ostfeld, A., Kapelan, Z., Simpson, A.R., Zecchin, A.C., Maier, H.R., Wu, Z.Y., Elsayed, S.M., and Song, Y., (2014), “Battle of the water networks II”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(7), 04014009.

Newman, M.E., and Girvan, M., (2004), “Finding and evaluating community structure in networks”. *Physical Review E*, 69(2), 026113.

Pearson, D., (2019), *Standard definitions for water losses*, IWA Publishing, London, UK.

Reca, J., Martinez, J., Banos, R., and Gil, C., (2008), “Optimal design of gravity-fed looped water distribution networks considering the resilience index”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(3), 234-238.

Sharma, A.N., Dongre, S.R., Gupta, R., Pandey, P., and Bokde, N.D., (2022), “Partitioning of water distribution network into district metered areas using existing valves”, *CMES-Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 131(3), 1515-1537.

Todini, E., (2000), “Looped water distribution networks

Research Paper

مقاله پژوهشی

Determining the Risk Level of Water Supply Wells in Imam Ali Rural Complex of Mashhad City by FMEA Method

تعیین سطح ریسک چاه‌های تأمین‌کننده آب مجتمع روستایی امام علی شهرستان مشهد به روش FMEA

Samaneh Moqarab Elahi^{1*} and Hashem Kouchakzadeh Dandansaz¹

1- M.Sc. of Civil Engineering-Environmental Engineering, Expert of Mashhad Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran.

* Corresponding Author, Email: sababakht88@gmail.com

سامانه مقرب الهی^{۱*} و هاشم کوچک‌زاده دندانساز^۱
۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-مهندسی محیط‌زیست، کارشناس شرکت آب و فاضلاب مشهد، مشهد، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: sababakht88@gmail.com

Received: 27/02/2024
Revised: 26/07/2024
Accepted: 07/10/2024
© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۵/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶
© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

Water safety planning is a comprehensive assessment and risk management approach that includes all stages of a drinking water supply chain, from the catchment to the consumer. A Water Safety Plan (WSP) ensures the safety of drinking water through this approach. In this study, risk factors were first identified and evaluated. In this research, the level of risks threatening the water supply sources of Imam Ali rural complex of Mashhad city was determined. A descriptive survey method based on the guide of the water safety program and the FMEA method of information analysis was implemented in which the required information was collected using the interview method, past records, a summary of experts' opinions, questionnaires and field visits. By calculating the RPN risk priority number, it was shown that water pollution due to the inflow of agricultural land effluent with a weight of 48.74 was the highest risk and the inflow of pollutants due to the lack of improvement of the wells with a weight of 19.25 was the lowest risk.

Keywords: Drinking water, Risk assessment, water safety program, Imam Ali rural complex.

چکیده

برنامه‌ریزی ایمنی آب یک ارزیابی جامع و مدیریت ریسک است، رویکردی که شامل تمام مراحل یک زنجیره تأمین آب آشامیدنی، از حوضه آبریز تا مصرف‌کننده است. یک طرح ایمنی آب (WSP) ایمنی آب آشامیدنی را از طریق این رویکرد تضمین می‌کند. در این مطالعه، عوامل خطر در ابتدا شناسایی و ارزیابی می‌شوند. در این پژوهش برای تعیین سطح ریسک‌های تهدیدکننده منابع تأمین آب مجتمع روستایی امام علی شهرستان مشهد از روش توصیفی پیمایشی که در آن اطلاعات موردنیاز با استفاده از روش مصاحبه، سوابق گذشته، جمع‌بندی نظرات خبرگان و پرسشنامه و بازدیدهای میدانی جمع‌آوری شده‌اند و به استناد راهنمای برنامه ایمنی آب و روش FMEA تجزیه تحلیل اطلاعات انجام شده است. با محاسبه عدد اولویت ریسک RPN نشان داده شد که آلودگی آب بر اثر ورود پساب زمین‌های کشاورزی با وزن ۴۸/۷۴ بالاترین ریسک و ورود آلاینده‌ها به دلیل عدم بهسازی دهانه چاه‌ها با وزن ۱۹/۲۵ دارای کمترین ریسک تشخیص داده شد.

کلمات کلیدی: آب شرب، ارزیابی ریسک، برنامه ایمنی آب، مجتمع روستایی امام علی (ع).

شناسایی کنند. مفاهیم مدرن «برنامه ایمنی آب» مشتمل بر پیش‌آگاهی لازم و پیشگیری در مورد آلودگی‌های محتمل، هشداردهی تغییرات در سامانه‌های آبی، حفاظت مصرف‌کنندگان آب در مقابل حملات بیولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی و سایبری آب است. عملکرد قابل قبول شبکه‌های آبرسانی از نظر کیفیت، وابسته به برنامه‌های بهره‌برداری و نگهداری است که از محاسبه و مدیریت ریسک می‌توان به‌عنوان یکی از این برنامه‌ها اشاره کرد (تفرشی و تابش، ۱۴۰۳).

طرح ایمنی آب یک رویکرد سیستماتیک است که هدف آن تضمین کیفیت آب توزیع‌شده بین مصرف‌کنندگان است. در سال ۲۰۰۴، سازمان بهداشت جهانی بیانیه‌ای مبنی بر اجرای طرح ایمنی آب صادر کرد. این طرح هم‌اکنون در ایران در حال انجام است (Kishipour and et al., 2021). ریسک در وسیع‌ترین معنای آن زیرمجموعه‌ای از عدم قطعیت‌ها است. تمام موقعیت‌های ریسک دارای عدم قطعیت هستند؛ اما عناصری از ریسک وجود دارد که معمولاً برای تشخیص مجموعه بزرگی از عدم قطعیت استفاده می‌شود. فرهنگ لغت بین‌المللی وبستر ریسک را به این شرح تعریف می‌کند: (۱) احتمال از دست دادن، آسیب، ضرر و یا تخریب؛ احتمال خطر، تهدید و مخاطره؛ (۲) شانس از دست دادن و یا مخاطره یک موضوع مهم تحت پوشش بیمه و (۳) مقداری از محصول که ممکن است از دست برود و احتمال از دست دادن آن.

ریسک به‌عنوان معیار و نشانگری برای پایداری باید برای در پروژه‌های مدیریت منابع آب مدنظر قرار گیرد. مدیریت هوشمند ریسک به کمک مدیران عدم قطعیت و پیامدهای مرتبط با ریسک در مراحل طراحی و بهره‌برداری از پروژه‌های مهندسی منابع آب، امری اجتناب‌ناپذیر است. همواره در پروژه‌های منابع آب، احتمالاتی مبنی بر عدم دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده وجود دارد. چنین مواردی نشان‌دهنده آن است که بسیاری از پروژه‌های مهندسی منابع آب در مراحل طرح‌ریزی، طراحی، اجرا (پیاده‌سازی) و بهره‌برداری به‌درستی ارزیابی نشده و به عدم قطعیت‌های موجود توجه نمی‌شود (Cazemier et al., 2014).

ریسک در اصطلاح عبارت است از امکان تفاوت «نتیجه مورد انتظار» از نتیجه وقوع یافته. هم‌چنین هنگامی که عدم قطعیت پدیده قابل اندازه‌گیری (عینی) یا تخمین (ذهنی) نباشد؛ ریسکی تعریف نمی‌شود. ریسک همواره با عدم قطعیت همراه است. معنای عمومی ریسک؛ احتمال از دست دادن (آسیب، ضرر و یا تخریب)، تهدید، مخاطره و در نهایت احتمال از دست دادن منفعت است. گزارش کمیسیون تنظیم مقررات هسته‌ای سال ۲۰۱۶ آمریکا

دسترسی به آب آشامیدنی سالم یک نیاز اساسی و از حقوق اولیه انسان‌ها است. افزایش تقاضای آب در تمامی بخش‌های مصرفی، اعم از «شرب و خدمات»، «صنعت» و «کشاورزی» موجب تغییر و کاهش کیفیت آب شده است. در حال حاضر نیز حجم بالایی از پساب‌های کشاورزی، شهری و صنعتی کنترل نشده‌ای وجود دارد که خطر بالقوه‌ای برای کاهش کیفیت منابع آب به حساب می‌آید و پیش‌بینی می‌شود این روند در سال‌های آتی ادامه داشته باشد. مأموریت اصلی تأسیسات بخش آب ارائه آبی پاک و سالم مطابق با تمام استانداردها و الزامات قابل اجرا با قیمتی مقرون به‌صرفه به‌منظور حفظ سلامت عمومی و افزایش پایداری اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی جوامعی است که به آن‌ها خدمت می‌کند.

بهترین روش برای اطمینان از کیفیت آب آشامیدنی اجرای سیستم مدیریتی جامع و یکپارچه با همکاری کلیه سازمان‌های ذی‌ربط است. شرکت‌های آب و فاضلاب در مناطق خشک با مسائل چندوجهی آلودگی آب‌های زیرزمینی طبیعی، هزینه‌های بالای تصفیه و نرخ پایین آب سر و کار دارند. این تأسیسات به منابع متناوب متکی هستند که منجر به خرابی‌های متعدد کیفیت آب در منبع، تصفیه، توزیع و سیستم‌های لوله‌کشی داخلی می‌شود (Haider et al., 2021). «برنامه ایمنی آب» (WSP) روشی سامان‌مند برای اطمینان از کمیت و کیفیت آب از منبع تا مصرف است. برنامه ایمنی آب براساس یک برنامه جامع، مخاطرات کیفیت آب و ریسک آن‌ها را بررسی می‌کند. عبارت «برنامه ایمنی آب» بیشتر در اروپا کاربرد داشته و در جاهای دیگر دنیا اغلب با عنوان «برنامه مدیریت خطر» به‌کار می‌رود.

برنامه ایمنی آب به‌عنوان مهم‌ترین اقدام برای تضمین کیفیت آب بوده که توسط سازمان جهانی بهداشت تهیه و اجرای آن به کشورهای عضو توصیه شده است. گستره عمل برنامه ایمنی آب از حوضه آبریز تا مصرف‌کننده را در بر گرفته و بر مبنای مدیریت ریسک تهیه می‌شود. برنامه ایمنی آب بهترین روش برای اطمینان پایدار از ایمن بودن یک سیستم تأمین آب آشامیدنی، استفاده از راه‌کارهای ارزیابی کامل ریسک‌ها و مدیریت کردن آن را شامل می‌شود، به‌طوری‌که در تمامی مراحل تأمین آب شرب از ابتدای حوضه آبریز تا نقطه مصرف را در برگیرد. وزارت نیرو به‌عنوان تأمین‌کننده و توزیع‌کننده آب آشامیدنی و شرکت آب و فاضلاب از طریق شناسایی ریسک‌های مربوط به سامانه‌های آبرسانی می‌توانند از بروز اتفاقاتی که می‌تواند آبرسانی را مختل نماید را

(WASH-1400) یکی از ساده‌ترین تعاریف فنی در زمینه ریسک را به شرح رابطه (۱) ارائه داده است:

$$(۱) \quad \text{بزرگی} \times \text{فراوانی} = \text{ریسک}$$

روش‌های تحلیل و ارزیابی ریسک را می‌توان براساس دو نگرش تقسیم‌بندی کرد: الف) روش‌های گذشته‌نگر و ب) روش‌های آینده‌نگر. روش‌های گذشته‌نگر به دنبال کشف ریشه حوادث ناهنجار و متضاد در گذشته هستند. هدف اصلی در این روش مشخص کردن علت وقوع حوادث ناخوشایند است. در این روش مقصر و یا مسئول حوادث ناخوشایند معلوم می‌شود و لذا از

تکرار این‌گونه اتفاقات جلوگیری می‌نماید. مدل تحلیلی ریشه‌یابی علی که کاربرد آن برای محیط‌های پیچیده توصیه می‌شود، از این دست است. روش‌های آینده‌نگر برای ارزیابی و تحلیل ریسک از روش‌های گذشته‌نگر مفیدتر هستند. از جمله مدل‌های آینده‌نگر می‌توان به ۱- مدل تحلیل مخاطرات و نقاط کنترل بحرانی (HACCP) (Kanyesigye et al., 2019)؛ ۲- مدل شکست و تحلیل اثر (FMEA) (Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2010)؛ و ۳- مدل تحلیل درخت خطا (FTA) (Hong et al., 2009) اشاره نمود. برخی دیگر از روابط ارزیابی ریسک که بیشتر از رابطه (۱) توسعه یافته‌اند جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- روابط ارزیابی ریسک (Ferrier and Haque, 2003; Arnold, 2005; Ekwere and et al., 2021)

شماره فرمول	معادله ارزیابی (برآورد) ریسک	تعریف متغیرها
(۲)	$R = C * T * C_m * S$	C: شانس (احتمال)؛ T: میزان مخاطره؛ C_m : شدت؛ S: مدت در معرض قرارگیری
(۳)	$R = H * V$	H: مخاطره (اثر و احتمال)؛ V: آسیب‌پذیری
(۴)	$R = P * V * n$	P: احتمال وقوع؛ V: آسیب‌پذیری؛ n: عواقب (اثر نامطلوب)
(۵)	$R = L * C$ $C = I * V$	L: احتمال (فراوانی)؛ C: عواقب؛ I: اثر؛ V: آسیب‌پذیری
(۶)	$R = F * V$ $V = \frac{Human + Built + Natural + Systems + Sevirity}{5}$	F: فراوانی؛ V: آسیب‌پذیری
(۷)	$R = H * E$	H: مخاطره؛ E: در معرض قرارگیری (به چه میزان و چه مدت)

همان‌گونه که در جدول ۱ مشخص است در اکثر روابط برآورد ریسک، دو عامل فراوانی و شدت اثر نقش دارند. در بسیاری از موارد، ارزیابی ریسک بر مبنای روش‌های کیفی نظیر ماتریس احتمال-اثر (FEMA) و موارد مشابه صورت می‌پذیرد. این روش‌ها برای ارزیابی ریسک مبتنی بر نظرات خبرگان هستند. در مطالعات دیگر نیز، ریسک به‌عنوان حاصل ضرب احتمال در اثر یک رخداد محسوب شده و دو شاخص «میزان تأثیر» و «احتمال وقوع» ریسک در قالب ماتریس احتمال-اثر ریسک مورد استفاده قرار گرفت (Shamsuzzoha et al., 2018; Figueras and Borrego, 2010). هم‌چنین در تهادی از پژوهش‌ها نیز از برخی روش‌های دیگر ارزیابی ریسک، نظیر FMEA استفاده شده است که میزان بزرگی ریسک بر اساس حاصل ضرب سه شاخص شدت، میزان کشف و احتمال وقوع ریسک محاسبه می‌شود (Wee et al., 2007).

عدم قطعیت در همه سامانه‌های مهندسی محور وجود دارد. زیرا همه این سیستم‌ها روی مدل‌سازی پدیده‌های فیزیکی تکیه دارند که ذاتاً تصادفی یا مدل‌سازی آن‌ها دشوار است. عدم

قطعیت‌ها ممکن است در حالت‌های خاص به ریسک تبدیل شوند و بر روی عملکرد سیستم منابع آب تأثیر ناخوشایندی داشته باشد. بنابراین در کارکرد سامانه‌های منابع آب به‌اندازه کافی انواع مختلف عدم قطعیت در نظر گرفته نشود، باید انتظار شکست پروژه‌ها را داشت. با این ذهنیت مدیران نیاز دارند تا تهدیدات اساسی را شناسایی و ریسک هرکدام را ارزیابی و مدیریت کنند (Bichai et al., 2022).

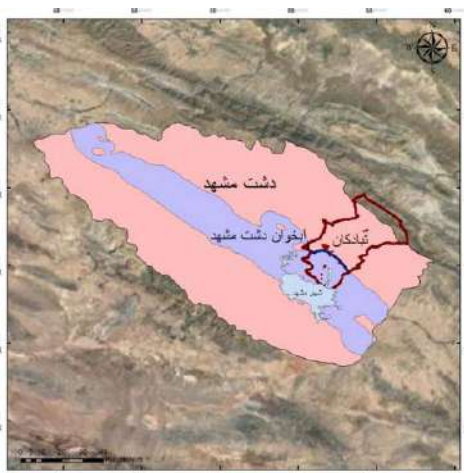
محسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی ارزیابی ریسک را با روش بررسی حالات بالقوه خرابی و خطر و تحلیل اثرات ناشی از آن در واحدهای کلرژنی ۴ تصفیه‌خانه منتخب در مشهد انجام دادند. نتایج نشان داد که به‌صورت کلی خطرات بالقوه با اولویت نخست بیشتر مربوط به سیستم‌های الکتریکی و در بخش حمل و نقل است و استفاده از تجهیزات استاندارد و حمل و نقل با استفاده از وسایل نقلیه مناسب برای کاهش ریسک این خطرات پیشنهاد شد. در تحقیق دیگری (Zhang et al., 2022) ریسک گزینه‌های انتقال آب به‌وسیله لوله را از مسافت‌های طولانی از طریق روش فازی برآورد نمودند. در انتها ایشان برنامه اضطراری

برخی از نقاط نظارت‌شده در ساختمان‌ها مقادیر پایین کلر باقی‌مانده و مقادیر بالای باکتری‌های را نشان دادند که نشان‌دهنده خطرات بالقوه مربوط به حضور بیوفیلیم‌ها است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به نام مجتمع امام علی (ع) واقع در دشت مشهد و در قسمت شمال شرقی شهر مشهد (شکل ۱) قرار گرفته و مشتمل بر ۴ حلقه چاه است.



شکل ۱- موقعیت مجتمع امام علی (ع) نسبت به دشت و آبخوان مشهد

۲-۲- روش نمونه‌گیری

داده‌های جمع‌آوری‌شده در این تحقیق بر مبنای چهارچوب‌های ارائه‌شده در برنامه ایمنی سازمان بهداشت از طریق مشاهده کردن، مکالمه نمودن، مصاحبه، پرسشنامه‌های گردآوری‌شده از ۱۵ نفر از همکاران آب و فاضلاب منطقه ۵ مشهد و اعضای گروه کمیته برنامه ایمنی آب شهرستان متشکل از ادارات مربوطه در زمینه برنامه ایمنی آب جمع‌آوری شد. روش تحقیق بر مبنای یک‌روش استاندارد در اجرای برنامه ایمنی آب ارائه‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی و دستورالعمل‌های اجرای برنامه ایمنی آب شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور طراحی شد. پس از آن‌که اطلاعات جمع‌آوری، استخراج و طبقه‌بندی شد جدول‌های توزیع‌های فراوانی و نسبت‌های توزیع آن تهیه شد. در مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها، اول اطلاعات و داده‌های جمع‌آوری‌شده در مسیر هدف پایه‌ریزی شده، پاسخ به سؤال یا سؤالات پژوهش و ارزیابی کردن فرضیه‌های تحقیق، مورد تجزیه

را برای حفاظت سامانه‌های انتقال در برابر مخاطرات تهیه نمودند. معصوم بیگی و همکاران (۱۴۰۰) شناسایی و ارزیابی ریسک تأسیسات آب شرب شهر طالقان را به روش FMEA مطالعه کردند. این مطالعه از نوع توصیفی تحلیلی بود که در سال ۱۳۹۹ در کل تأسیسات آب شرب طالقان انجام شد. شناسایی و تعیین انواع خطرات و تهدیدات بالقوه تأسیسات آبی با بررسی مستندات لازم، بازدیدهای میدانی، مشاهده، مصاحبه و نظرخواهی از متخصصان آبفای استان البرز انجام شد. در ادامه به کمک روش FMEA، ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی خطرات انجام و راه‌کارهای لازم برای کاهش خطر ارائه شد. در این مطالعه ۴۰ خطر بالقوه شناسایی شد. بیشترین خطرات متعلق به چاه‌های آب (۳۷/۵ درصد) بود. خطرات شناسایی‌شده ۷/۵، ۴۰ و ۵۲/۵ درصد به ترتیب مرتبط با کمیت، کیفیت آب و بهره‌برداری و نگهداری بودند. بالاترین عدد اولویت ریسک به ترتیب ۵۷۶، ۳۹۲ و ۳۴۳ مرتبط با تهدیدات بحرانی متعلق به آلودگی ناشی از منابع نقطه‌ای آلودگی اطراف چاه آب، حفاظت و امنیت ضعیف ایستگاه پمپاژ و نوسانات جریان آب در شبکه توزیع و مخازن بود. به ترتیب ۴۲/۳، ۳۵ و ۲۲/۵ درصد از ریسک‌ها در سطح بحرانی، متوسط و غیر بحرانی بودند. نتایج این مطالعه نشان داد زیرساخت آب از نظر بهره‌برداری و نگهداری در بخش‌های تأمین، تصفیه و توزیع تحت تأثیر تهدیدات مختلف شناسایی‌شده آسیب‌پذیر هستند و انجام اصلاحات لازم بر اساس اولویت‌های تعیین‌شده، برای پیشگیری از بروز حوادث احتمالی ضروری است.

(Nasari et al. (2022) با بررسی خطرات سیستم‌های آبرسانی روستایی شهر خرمشهر براساس طرح ایمنی آب با شناسایی و ارزیابی ۱۴ عامل خطر در شبکه توزیع و نقاط مصرف نشان به این نتیجه رسیدند که ۷۱/۵ درصد آن‌ها در سطح ریسک متوسط و ۲۸/۵ درصد در سطح ریسک بالا (بحرانی) قراردارند که پس از تعیین اقدامات کنترلی و اصلاحی ۹۲/۹ درصد عوامل خطر به سطح متوسط (قابل مدیریت) و ۷/۱ درصد به سطح بحرانی رسید. (Pérez Vidal et al. (2022) در پژوهش خود ریسک مصرف‌کننده آب در شهر کالی را ارزیابی کردند که در چارچوب برنامه‌های ایمنی آب (WSP) قرار می‌گیرد. ابزارهایی مانند ماتریس ریسک یا و یک ماتریس نیمه کمی برای تخمین ریسک استفاده شد. نتایج نشان داد درک پایین مصرف‌کنندگان از خطر سلامتی و عدم آگاهی در مورد مسئولیت خود در قبال حفاظت از کیفیت آب آشامیدنی، می‌تواند منجر به رفتار نامناسبی شود که بر یکپارچگی سیستم توزیع داخلی تأثیر می‌گذارد. اگرچه اکثر متغیرهای تجزیه و تحلیل شده با مقررات ملی مطابقت داشتند،

و تحلیل قرار گرفت.

در این تحقیق برای شناسایی کردن رابطه‌ها و تعیین کردن معیارهای تحقیق فعلی از روش اجرایی برنامه ایمنی آب سازمان بهداشت و روش FMEA و برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار EXEL و هم‌چنین نرم‌افزار GIS استفاده شد. FMEA روشی تحلیلی در ارزیابی ریسک است که سعی می‌کند تا حد امکان ریسک‌های بالقوه در منطقه‌ای که ارزیابی ریسک انجام می‌شود و هم‌چنین علل و آثار مرتبط با آن شناسایی و ارزیابی شود. این روش براساس به‌دست آوردن شماره اولویت ریسک (RPN) است. این عدد از ضرب احتمال وقوع یک خطر در احتمال تشخیص خطر در شدت خطر حاصل می‌شود. نمرات ریسک براساس سطوح پایین، متوسط و بالا (بحرانی) درجه‌بندی می‌شوند (Soliman, 2021).

۲-۳- روش انجام پژوهش

برای شناسایی ریسک از روش دلفی (ابتدا مصاحبه و سپس پرسشنامه) استفاده شد. در گام بعدی، شناسایی مخاطرات است که طی آن لیست کاملی از مخاطرات مرتبط با منابع آبی تهیه شد. در یک نگاه کلی منشأ مخاطرات را می‌توان به رخداد‌های

طبیعی (سیل، خشک‌سالی، تغییر اقلیم و غیره)، مدیریتی (اقتصادی، مالی، سیاستی و غیره)، فنی (توسعه و غیره)، اجتماعی (ارزش‌ها، تعارضات و غیره) و سیاسی-امنیتی (امنیت و غیره) تفکیک نمود. برای تحلیل مخاطرات، برای هر کدام از مخاطرات شناسایی‌شده در گام اول، شدت و احتمال مخاطره برآورد شد. در واقع در این مرحله ریسک تعیین خواهد شد. بدین ترتیب ابعاد هر مخاطره، مشخص می‌شود، سپس مخاطرات اولویت‌بندی شدند. معیارها و گزینه‌های تحقیق با حروف اختصاری به‌صورت جدول ۲ نام‌گذاری شده‌اند تا در جریان پژوهش به‌سادگی قابل‌ردیابی و مطالعه باشند.

به‌منظور بررسی میزان آسیب‌پذیری (ریسک کمی)، مواجهه با خطر و مخاطرات موجود در سیستم تأمین ابتدا میزان آسیب‌پذیری کمی سامانه تأمین در مجتمع امام علی (ع) بررسی شد. برای بررسی آسیب‌پذیری کیفی و میزان مواجهه با خطر ریسک کیفی در سامانه تأمین آب مجتمع امام علی (ع) مشخصات نقاط دفع پساب شامل دامداری‌ها، مراکز کشاورزی-پرورش طیور، کشتارگاه‌ها، حمام‌ها و غیره مشخص شد. ریسک‌های رایج براساس نظر صاحب‌نظران نیز مشخص شد (جدول ۳).

جدول ۲- معیارهای مطالعه

نماد	معیار	نماد	گزینه
O	احتمال وقوع خطر	W	منبع
S	شدت اثر خطر		
D	احتمال کشف خطر		

جدول ۳- رایج‌ترین ریسک‌های مشخص‌شده در سیستم آبرسانی مجتمع امام علی (منبع تأمین آب)

سامانه آبرسانی	عامل رویداد مخاطره‌آمیز	کد رویداد	نوع مخاطره	رویدادهای مخاطره‌آمیز
آب زیرزمینی	عدم آب‌بندی جداره چاه	W1	میکروبی- شیمیایی	آلودگی میکروبی به‌دلیل حصارکشی نامناسب و عدم وجود محدودیت دسترسی به چاه
آب زیرزمینی	مخازن سبتیک-فاضلاب خانگی	W2	میکروبی	آلودگی آب به‌علت وجود چاه‌های جذبی فاضلاب در مجاورت چاه آب شرب
آب زیرزمینی	خانگی-صنعت	W3	میکروبی- شیمیایی	آلودگی به‌دلیل دفن غیربهداشتی زباله در محدوده منبع آب زیرزمینی
آب زیرزمینی	کشاورزی	W4	شیمیایی	آلودگی آب در اثر ورود پساب زمین‌های کشاورزی مجاور چاه
آب زیرزمینی	خوردگی و یا نقص لوله جدار چاه	W5	میکروبی و شیمیایی	ورود آلاینده‌ها به‌دلیل غیرقابل نفوذ نبودن دهانه چاه
آب زیرزمینی	سیلاب‌های فصلی	W6	میکروبی و شیمیایی	کاهش کیفیت آب به‌دلیل سیل و بارندگی‌های شدید
آب زیرزمینی	خوردگی و یا نقص لوله جدار چاه	W7	میکروبی و شیمیایی	آلودگی آب در اثر ورود پساب زمین‌های صنعتی مجاور چاه
آب زیرزمینی	تغییرات فصلی	W8	فیزیکی	کاهش کیفیت شیمیایی آب به دلیل خشک‌سالی

۲-۳-۱- تعیین اولویت‌ها براساس هدف

در ابتدای کار همه مخاطرات فیزیکی-شیمیایی و میکروبی در منابع، به تفکیک شناسایی و نتایج آن طبق بندی و لیست شد. در این بخش از پژوهش برای تعیین وزن معیارها از نرم‌افزار ارزیابی ریسک FMEA و وزن‌دهی مطابق با دستورالعمل برنامه ایمنی آب استفاده شده است.

۲-۳-۲- تعیین میزان ریسک

تعیین میزان ریسک‌های شناسایی‌شده از رابطه (۸) تعیین شد. شدت ریسک یا خطر، احتمال وقوع و احتمال کشف به‌ترتیب براساس جدول‌های ۴ تا ۶ جای‌گذاری می‌شوند.

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad (8)$$

(احتمال کشف خطر) × (احتمال وقوع خطر) × (شدت خطر)

جدول ۴ - شدت ریسک (S)

رتبه	شدت اثر	شرح پیامد
۱۶	خیلی شدید	بیماری بالقوه
۸	شدید	اثرات بالقوه طولانی‌مدت بر سلامت
۴	متوسط	اثرات گسترده زیبایی‌شناختی یا درازمدت از نقطه‌نظر مقبولیت و مرتبط با سلامت
۲	خفیف	اثرات کوتاه‌مدت یا موضعی از نقطه‌نظر موضوعات زیبایی‌شناسی یا مقبولیت یا مرتبط با سلامت
۱	ناچیز	آب سالم و بدون خطر

جدول ۵ - احتمال وقوع (O)

رتبه	شدت اثر	شرح پیامد
۵	تقریباً قطعی	در گذشته رخ داده و می‌تواند مجدد روی دهد
۴	خیلی محتمل	در گذشته رخ داده و امکان بالقوه روی دادن مجدد را دارا است
۳	قابل پیش‌بینی	احتمال رخ دادن آن وجود دارد و تحت شرایط معینی می‌تواند به وقوع پیوندد
۲	غیرمحتمل	احتمال رخ دادن آن وجود دارد و به‌طور کامل نمی‌توان از آن جلوگیری نمود
۱	خیلی غیرمحتمل	در گذشته روی نداده است و احتمال زیاد در آینده رخ نخواهد داد

جدول ۶ - احتمال کشف (D)

رتبه	شدت اثر	شرح پیامد
۵	خیلی کم	احتمال خیلی کم دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی شود
۴	کم	احتمال کم دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۳	متوسط	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه آشکار شود
۲	زیاد	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه آشکار شود
۱	خیلی زیاد	احتمال خیلی زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه آشکار شود

۲-۳-۳- تعیین عدد RPN

برای وزن‌دهی میزان شدت خطر هرکدام از رویدادها، از نظر کارشناسان متخصص استفاده شد. به این شکل که پرسشنامه تهیه‌شده در هر واحد برای تکمیل و اظهارنظر در اختیار آن‌ها قرار گرفت و بالاترین تعداد از نظر فراوانی شدت خطر برای هر معیار در نظر گرفته‌شد. سپس با انجام بازدیدهای میدانی و مصاحبه با کارشناسان، همراه با گروه کارشناسان زیرمجموعه منطقه ۵ و تیم کارگروه ایمنی آب مجتمع امام علی، احتمال وقوع و کشف خطر هر رویداد جداگانه مشخص و وزن‌دهی شده و عدد RPN هر گزینه محاسبه و برطبق آن ریسک‌ها اولویت‌بندی شد. با توجه به

تعداد بالای محاسبات، عدد RPN به‌صورت میانگین محاسبه و به‌علت نداشتن ریسک بالا، ریسک‌های متوسط و پایین برای اقدامات کنترلی موردتوجه قرار گرفت (شکل ۲).

۲-۳-۴- تعیین سطح ریسک

در این مرحله، اولویت‌بندی ریسک‌ها به‌ترتیب ریسک زیاد، متوسط، کم انجام شد. در واقع به‌ترتیب از بالاترین عدد ریسک تا کمترین میزان اولویت‌بندی شد. در این پژوهش برای میزان سطح ریسک قابل‌قبول از معیار ریسک استفاده‌شد. معیار ریسک، شاخصی برای تفکیک ریسک‌های قابل‌قبول و غیر قابل‌قبول است.

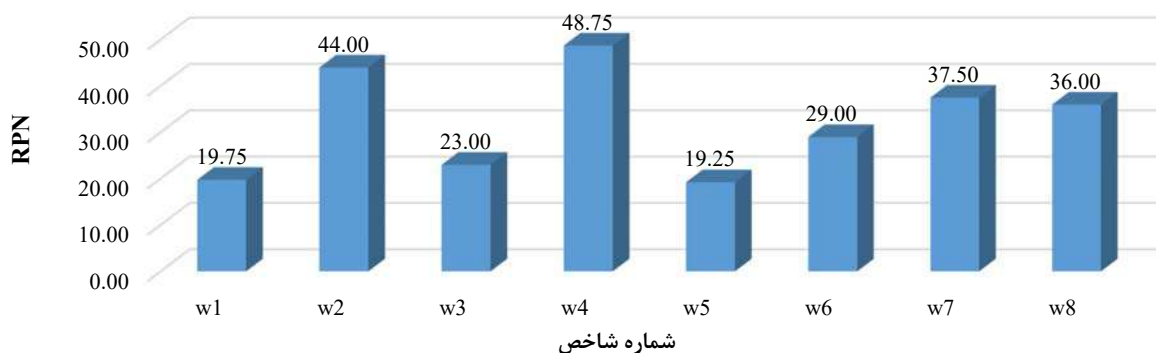
مدنظر قرار گرفته است. عدد ریسک منابع تأمین آب مجتمع امام علی نیز در جدول ۸ ارائه شده است.

ریسک‌هایی که عدد RPN آن‌ها بالاتر از معیار ریسک باشد غیر قابل قبول و اگر پایین‌تر از معیار ریسک باشد قابل قبول خواهد بود (جدول ۷).

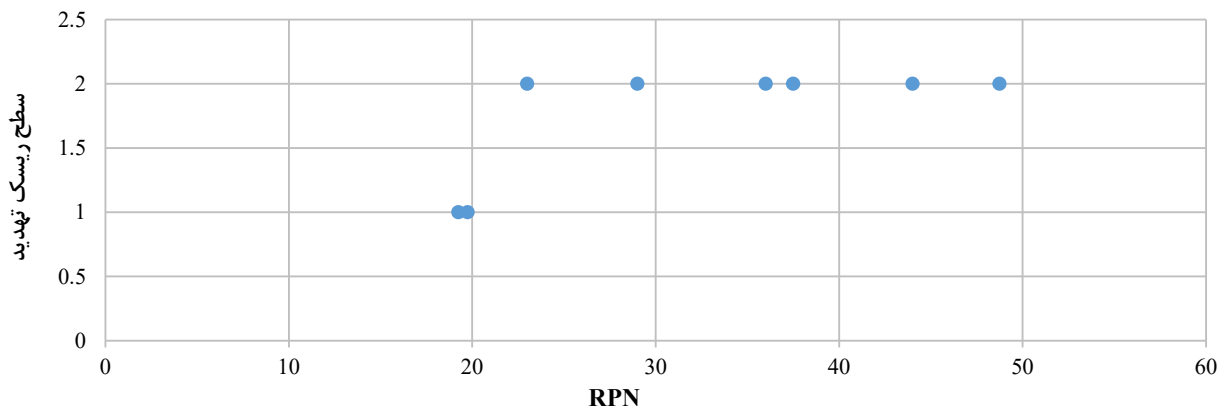
جدول ۷- میزان سطح ریسک

عدد RPN	سطح ریسک
$RPN < 200$	غیر قابل قبول (ریسک‌های بالا)
$20 < RPN < 200$	قابل قبول (ریسک‌های متوسط)
$RPN > 20$	عادی (ریسک‌های پایین)

برای تعیین میزان ریسک معیار برای هر جزء براساس عدد RPN و سطح بحران آن جزء نمودار نقطه‌ای ترسیم شد (شکل ۳). با توجه به نمودار اولین نقطه‌ای که در سطح نیمه بحرانی ۲ (ریسک متوسط) قرار گرفت، به عنوان ریسک معیار در نظر گرفته شد. این سطح با توجه به عدم وجود ریسک بالا و بحرانی



شکل ۲- عدد RPN ریسک چاه‌های آب شرب مجتمع امام علی



شکل ۳- میزان ریسک معیار تهدیدات احتمالی مؤثر بر چاه‌های آب شرب مورد مطالعه براساس RPN در روش FMEA

جدول ۸- عدد ریسک منابع تأمین آب مجتمع امام علی

شماره شاخص	میانگین حسابی RPN	فرآوانی ریسک متوسط	درصد فرآوانی ریسک متوسط	فرآوانی ریسک پایین	درصد فرآوانی ریسک پایین
w1	۱۹/۷۵	۱۶	۲۵	۴۸	۷۵
w2	۴۴/۰۰	۳۲	۵۰	۳۲	۵۰
w3	۲۳/۰۰	۲۸	۴۴	۳۶	۵۶
w4	۴۸/۷۵	۲۲	۳۴	۴۲	۶۶
w5	۱۹/۲۵	۲۲	۳۴	۴۲	۶۶
w6	۲۹/۰۰	۳۴	۵۳	۳۰	۴۷
w7	۳۷/۵۰	۲۲	۳۴	۴۲	۶۶
w8	۳۶/۰۰	۶۴	۱۰۰	۰	

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در گذشته، آب به‌عنوان منبع فراوان و ارزان تلقی می‌شد و فاضلاب نیز بدون هیچ هزینه و محدودیتی به منابع آب سطحی و یا به سامانه‌های فاضلاب تخلیه می‌شد، اما در حال حاضر توزیع ناهمگون زمانی و مکانی آب شیرین به لحاظ کمی از یک‌طرف و محدودیت‌ها و مشکلات روزافزون کیفی، تأمین منابع آب را برای بسیاری از کشورها به یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر تبدیل نموده است. علاوه بر این تقاضا برای منابع آبی به‌طور پیوسته در حال افزایش است. لذا تأمین آب کافی و باکیفیت همواره از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی مدیران و تصمیم‌گیران حوزه آب شهری بوده است.

به‌دلیل عدم قطعیت‌های فراوانی که در پروژه‌های تأمین آب وجود دارد، ریسک‌ها با درجه وقوع متفاوتی اهداف تأمین آب را تهدید می‌نمایند. لذا هدف این تحقیق، بررسی مخاطرات سیستم تأمین آب مجتمع امام علی و بررسی عدم قطعیت‌های موجود خواهد بود. این مهم با تحلیل کیفی و کمی ریسک با استفاده از تکنیک FMEA صورت‌گرفت و برای وزن‌دهی هر یک از گزینه‌ها از راهنمای برنامه ایمنی سازمان بهداشت جهانی و با استفاده از نظر خبرگان اقدام شد. تمامی شرکت‌کنندگان با توجه به سابقه و تحصیلات متفاوت دارای وزن یکسان در نظر گرفته شدند.

۳-۱- نتایج اولویت ریسک منابع تأمین آب از منظر وزنی

میزان ریسک چاه‌های آب شرب مجتمع امام علی به ترتیب اولویت عبارت بودند از:

- گزینه آلودگی سفره آب در اثر پساب‌های کشاورزی با وزن ۴۸/۷۵

- گزینه آلودگی آب به‌دلیل چاه‌های جذبی فاضلاب در مجاورت چاه با وزن ۴۴

- گزینه ورود آلودگی شیمیایی به‌علت نزدیکی شهرهای صنعتی با وزن ۳۷/۵

- گزینه کاهش کیفیت به‌علت خشک‌سالی و کمبود آب با وزن ۳۶

- گزینه تخریب کیفیت آب به‌دلیل سیل و باران‌های شدید با وزن ۲۹

- گزینه آلودگی آب به دلیل دفن غیربهداشتی زباله در محدوده حوضه آبریز با وزن ۲۳

- گزینه آلودگی میکروبی آب به‌علت عدم حصارکشی مناسب و عدم وجود محدودیت در دسترسی به چاه با وزن ۱۹/۷۵

- گزینه ورود آلاینده به‌علت غیرقابل نفوذ نبودن دهانه چاه با وزن ۱۹/۲۵

همچنین مشخص شد که سطح ریسک چاه‌های آب شرب مجتمع به‌طور کلی در محدوده ایمن است و با توجه به نبود مقادیر RPN بسیار بالا، احتمال وقوع مشکلات جدی در منابع آب این منطقه پایین است.

۳-۲- محدودیت‌های تحقیق و پیشنهادات

با توجه به محدودیت‌های موجود در پژوهش مانند عدم بررسی عیب‌های چندگانه و همچنین محدودیت‌های اولویت‌بندی ریسک براساس عدد RPN است که در برخی از مواقع ممکن است این اعداد باهم یکسان بوده و یا در صورت داشتن فاصله کم از یک‌دیگر اولویت‌بندی ریسک‌ها با مشکل مواجه شود. استفاده از سایر روش‌های ارزیابی ریسک مانند RAMCAP و ETA نیز پیشنهاد می‌شود. همچنین ارزیابی ریسک تهدیدات نوظهور مانند خطرات شیمیایی و بیولوژیکی در تأسیسات، حملات سایبری، حملات هوایی و موشکی، حوادث طبیعی و خرابکاری انسانی و سرقت براساس روش تحلیل خاکستری نیز پیشنهاد می‌شود.

۴- مراجع

- محسن‌زاده، ح.، رزم آرا، ح.، دشتی، ع.، روستا، ه.، نخعی فدافن، ه.، توکلی امینیان، ث.، روحبخش، م.، و فضائلی ترابی، ع.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی ریسک در واحدهای کلرزی تصفیه آب و فاضلاب به‌روش FMEA"، *نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، (۴)۵، ۳۱-۴۰. <https://doi.org/10.22112/jwwse.2020.221545.1193>
- مشهدی تفرشی، س.، و تابش، م.، (۱۴۰۳)، "محاسبه احتمال شکست کیفیت شبکه‌های توزیع آب به‌منظور برآورد ریسک با استفاده از شبکه‌های بی‌زین"، *نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، (۹)۱، ۳۲-۴۲. <https://doi.org/10.22112/JWWSE.2023.389324.1356>
- معصوم بیگی، ح.، سادات رسول، م.، و غنی‌زاده، ق.، (۱۴۰۰)، "شناسایی و ارزیابی ریسک در تأسیسات آب شرب شهر طالقان به‌روش FMEA (حالات شکست و آنالیز خطرات) در سال ۱۳۹۹"، *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*، (۴)۷، ۱-۱۴. <https://doi.org/20.1001.1.24236772.1400.7.4.1.3>
- Arnold, J., (2005), "Risk and risk assessment in health emergency management, prehospital and disaster medicine", *Prehospital and Disaster Medicine*, 20(3),143-54.
- Bichai, F., Smeets, P., Barrette, S., Deere, D., Ashbolt,

- Health Research*, 10(1), 47-58, <https://doi.org/10.32598/JAEHR.10.1.1236>.
- Pérez-Vidal, A., Amézquita-Marroquín, C. and Torres-Lozada, P., (2013), "Water safety plans: Risk assessment for consumers in drinking water supply systems", *Ingeniería y Competitividad*, 15, 237-251.
- Shamsuzzoha, M., Kormoker, T., and Ghosh, R.C., (2018), "Implementation of water safety plan considering climatic disaster risk reduction in Bangladesh: A study on Patuakhali Pourashava water supply system", *Procedia Engineering*, 212, 583-590, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.075>.
- Soliman, M.H.A., (2021), *Risk assessment using FMEA: A case of reliable improvement*, Amazon Digital Services LLC-KDP Print US, Washington.
- U.S.NRC, (2016), *Wash-1400: The introduction of risk assessment to the regulation of nuclear reactors*, United States Nuclear Regulatory Commission.
- Wee, S.Y., and Aris, A.Z., (2017), "Endocrine disrupting compounds in drinking water supply system and human health risk implication", *Environment international*, 106, 207-233, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.05.004>.
- World Health Organization (WHO), International Water Association (IWA), (2011), *Water safety plan quality assurance tool*, Geneva.
- Zhang, M., Zhao, H., Fan, L., and Yi, J., (2022), "Dynamic modulus prediction model and analysis of factors influencing asphalt mixtures using gray relational analysis methods", *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 1312-1321, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.120>.
- N.J., and Ferrero, G., (2022), "Water safety management during the initial phase of the Covid-19 pandemic: Challenges, responses and guidance", *International Journal of Water Resources Development*, 39(2), 337-359, <https://doi.org/10.1080/07900627.2021.2016378>.
- Cazemier, D.R., Lagacherie, P., and Martin-Clouaire, R., (2014), "A possibility theory approach for estimating available water capacity from imprecise information contained in soil databases", *Geoderma*, 103, 113-132.
- Dominguez-Chicas, A. and Scrimshaw, M.D., (2010), "Hazard and risk assessment for indirect potable reuse schemes: An approach for use in developing water safety plans", *Water Research*, 44(20), 6115-6123, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.007>.
- Ekwere, A.S., Oyonga, O.A., and Banda, M.M., (2021), "Assessment of effectiveness of Water Safety Plans (WSP) on water quality in rural communities of Anambra State, South-Eastern Nigeria", *Water Supply*, 21(2), 878-885, <https://doi.org/10.2166/ws.2020.353>.
- Ferrier, N., Emdad Haque, C., (2003), "Hazards risk assessment methodology for emergency managers: A standardized framework for application", *Natural Hazards*, 28, 271-290.
- Figueroa, M.J. and Borrego, J.J., (2010), "New perspectives in monitoring drinking water microbial quality", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7, 4179-4202, <https://doi.org/10.3390/ijerph7124179>.
- Haider, H., Alkhowaiter, M.H., Shafiquzzaman, M.D., Alreshdeh, M., AlSaleem, S.S., and Ghumman, A.R., (2021), "Source to tap risk assessment for intermittent water supply systems in arid regions: An integrated FTA-Fuzzy FMEA methodology", *Environmental Management*, 67(2), 324-341, <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01400-7>.
- Hong, E.S., Lee, I.M., Shin, H.S., Nam, S.W., and Kong, J.S., (2009), "Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: Application to the design of shield TBM", *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24(3), 269-277, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2008.09.004>.
- Kanyesigye, C., Marks, S.J., Nakanjako, J., Kansime, F., and Ferrero, G., (2019), "Status of water safety plan development and implementation in Uganda", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 4096, <https://doi.org/10.3390/ijerph16214096>.
- Kishipour, A., Mostafaloo, R., Mehdipour Rabori, M., Ghordouei-Milan, E., and Hosseini, F., (2021), "Experience of implementing water safety plan in Iran: A systematic review", *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 6(2), 43-55, <https://doi.org/10.18502/jehsd.v6i2.6536>.
- Naseri, I., Jalilzadeh, R., Verijkazemi, K., and Cheraghi, M., (2022), "Study of risks in rural water supply systems of Khorramshahr City, Iran, based on water safety plan", *Journal of Advanced in Environmental*

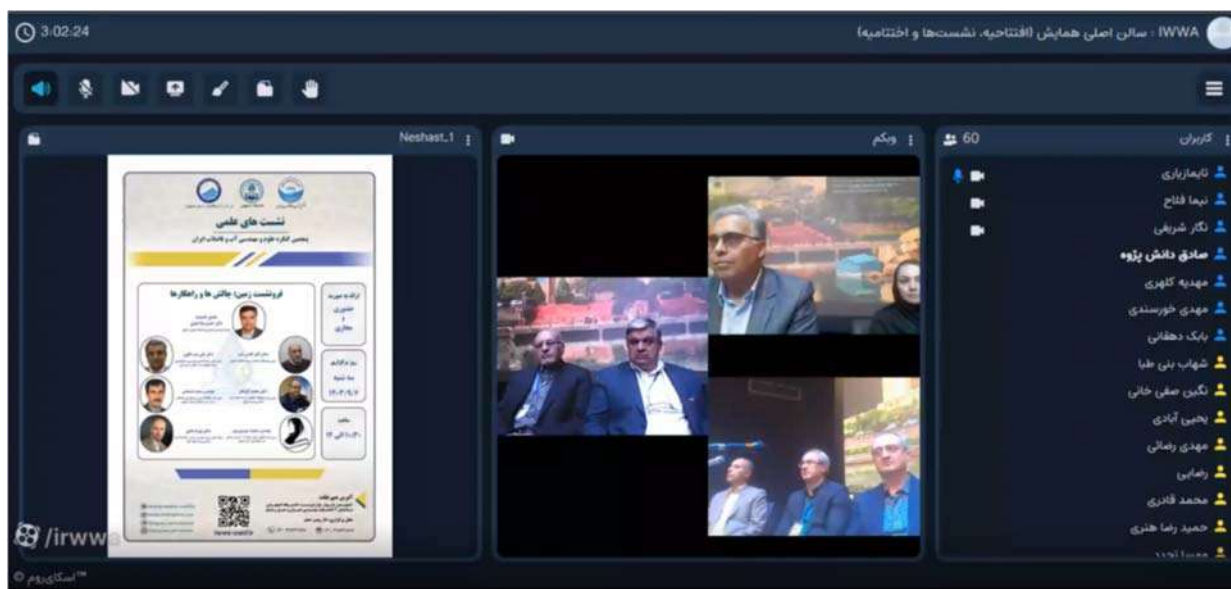


This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.



نشست علمی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها
(پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، ۶ تا ۸ آذرماه ۱۴۰۳، دانشگاه اصفهان)

لینک فیلم نشست: <https://www.aparat.com/v/ylr1g40>



اعضای نشست:

دکتر علی بیت‌الهی (رئیس بخش زلزله‌شناسی مهندسی و خطرپذیری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)
مهندس سعید شمسایی (مدیر دفتر مطالعات و بررسی‌های فنی فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان)
دکتر حمیدرضا صفوی (معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه صنعتی اصفهان، مدیر نشست)
دکتر اکبر قاضی فرد (رئیس پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه اصفهان)
دکتر محمد کوشافر (رئیس مرکز تحقیقات مطالعات آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان)
مهندس سعیده موسوی پور (رئیس گروه تلفیق و بیلان منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان اصفهان)
دکتر بهرام نادی (هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد)



دکتر علی بیت‌الهی:

با یاد و نام خدا. عرض سلام خدمت همه دوستان و عرض تشکر بابت کلیه عوامل برگزارکننده این کنگره بسیار ارزشمند. من خیلی سریع مطالب را عرض می‌کنم.

با توجه به تدوین برنامه هفتم و علی‌رغم پیگیری مکرر ما به ویژه از نمایندگان محیط‌زیست که یک بندی با عنوان طرح کاهش خطرات فرونشست در اصفهان در برنامه هفتم گذاشته



دکتر حمیدرضا صفوی:

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم، عرض سلام و احترام خدمت تمامی حضار محترم. در ادامه برنامه‌های این کنگره، میزبان ۶ نفر از متخصصان برجسته در حوزه فرونشست زمین خواهیم بود. تلاش می‌کنیم که این بخش را به صورت گفت‌وگویی سازنده برگزار کنیم و هر سخنران حداکثر ۱۰ دقیقه برای ارائه دیدگاه‌های خود در اختیار خواهد داشت.

شود، که متاسفانه فرونشست هم در برنامه هفتم نیامده است. بنابراین به این جمع‌بندی می‌رسیم که ما باید طوری صحبت کنیم که بتوانیم به آن عمل کنیم و اگر این اتفاق بیفتد قطعاً نتیجه‌بخش خواهد بود. در غیر این صورت طرح مجدد مسئله، آن را بی ارزش می‌کند. از نظر من هر طرحی که خطر بروز آن وجود دارد یک طرح ملی محسوب می‌شود. ما اثرات فرونشست را در مشهد خواهیم دید. در شیراز خواهیم دید. در تهران خواهیم دید. بنابراین یک الگو و طرح می‌تواند بسیار در دیدگاه ملی کمک‌کننده باشد.

در این بخش می‌خواهم به فرونشست در شهر اصفهان بپردازم. واضح است که فرونشست در اصفهان وجود دارد. هم‌چنین می‌دانیم که این فرونشست در اصفهان متقارن نیست. نقشه‌های مختلف نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از اصفهان فرونشست کم و در بخش‌هایی زیاد است. بنابراین ما گرادیان نشست داریم. آخرین بار در تحقیق آقای شریفی و همکاران که در سال ۲۰۲۴ منتشر شده نشان داده شده است که نشست نامتقارن است و در برخی قسمت‌ها در جوار فرونشست‌های بالا، فرونشست پایین وجود دارد. بنابراین وقتی چنین باشد در زون‌هایی که در مجاورت هم هستند ترک‌ها، شکاف‌ها و فروچاله‌ها شکل می‌گیرند که در اصفهان زیاد است. موضوع مهم در ناهمگنی نشست در اصفهان، تغییر مسیر زاینده‌رود است. براساس یک مقاله قدیمی که من پیدا کردم، زاینده‌رود در شمال اصفهان در جریان بوده است و کم‌کم در اثر این تغییرات به سمت جنوب می‌آید. اما اثر نهشته‌های درشت‌دانه در این مسیر به‌صورت ناهمگنی در دانه‌بندی رسوبات خود را باقی می‌گذارد و این ناهمگنی نیز خود، ناهمگنی و نامتقارنی را در فرونشست ایجاد می‌کند. یک برش خطی نشان می‌دهد که در دو طرف اصفهان ما دو لکه درشت‌دانه داریم و وسط آن ریزدانه است که فرونشست بیشتری را ایجاد می‌کند. هم‌چنین ما در پهنه‌های نشست در نقشه‌های فرونشست مشاهده می‌کنیم. یعنی در قسمت‌های مختلف فرونشست‌های متفاوت می‌بینیم که باعث ایجاد ترک‌هایی می‌شود که در اصفهان وجود دارد و بسیاری از مختصات ما را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. من باتوجه به تجربه خود می‌گویم که تا به حال در کمتر جایی دیده‌ام که به این شدت فرونشست وجود داشته باشد. من فرونشست‌های مختلف در اصفهان را به شکل نقشه آورده‌ام. همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقدار این فرونشست‌ها در محدوده‌های شهری بسیار بیشتر از قسمت‌های دیگر است. یعنی دقیقاً نامتقارنی در قسمت‌هایی است که بافت‌های فرسوده زیاد است. موضوع مهم دیگر این است که با بررسی‌های انجام‌شده در شمال به جنوب و

شرق به غرب مشاهده شده است که در فاصله ۴ کیلومتری، ۱۲۰ میلی‌متر اختلاف نشست وجود دارد. این نشست نرخ سرعت است. یعنی دیمانسیون آن سرعت است. یعنی ۱۲۰ میلی‌متر در سال. نکته حیاتی این است که نشست تجمعی در طول عمر یک سازه چقدر خواهد بود و سازه‌ها تا چه اندازه قادر به تحمل این تغییرات هستند. به‌عنوان مثال، اگر نشست ۱۰ سانتی‌متری ایجاد شود، در طول ۲۰ سال این مقدار می‌تواند به ۲ متر برسد که بسیار خطرناک است و قطعاً سازه‌ها توان تحمل آن را نخواهند داشت. رفتار نرخ فرونشست و نشست تجمعی را در این قسمت نشان داده‌ام. همان‌طور که مشاهده می‌کنید هر سال ۱۰ یا ۱۵ سانتی‌متر به عدد قبل اضافه می‌شود. این موضوع واقعیت بسیار خطرناک فرونشست زمین در اصفهان است. موضوع مهم بعدی وجود خاک واگرا در اصفهان است. البته ما به‌صورت دقیق پهنه‌بندی خاک‌های واگرا را نداریم و یکی از درخواست‌های ما تهیه آن است. فرسایش تونلی و شکاف‌ها در خاک‌های واگرا بسیار زیاد است. فرونشست زمین به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست، اما شواهد نشان می‌دهد که این پدیده در مناطق مجاور استادیوم و برخی مناطق شهری، مانند بخش‌های نزدیک به زاینده‌رود، شدت بیشتری دارد.

مطالعات نشان‌دهنده است که سطح آب زیرزمینی و حجم جریان زاینده‌رود رابطه مستقیمی با فرونشست زمین دارند. باین‌حال، میزان افت سطح آب زیرزمینی با فرونشست زمین رابطه یکنواخت ندارد. من در چند پیژومتری که بررسی کردم ۴۰ میلی‌متر به ازای ۱ متر افت آب، ۷۵ میلی‌متر به ازای ۱ متر افت آب و ۹۰ میلی‌متر به ازای ۱ متر افت آب را مشاهده کردم. به‌طور متوسط می‌توان گفت به ازای هر ۱ متر افت سطح آب، نشست زمین به‌طور میانگین حدود ۷ سانتی‌متر خواهد بود. اگر این ۷ سانتی‌متر ضرب در ۲۵ متر بشود، یعنی ما در پهنه اصفهان به‌طور متوسط ۱/۴۰ متر نشست داشته‌ایم. خطوط لوله‌ها نیز هم‌زمان پایین‌تر خواهند رفت که در صورت نامتقارن بودن نشست، مشکلاتی جدی ایجاد خواهد شد. کاهش نرخ فرونشست زمین با رهاسازی زاینده‌رود به‌شدت ارتباط دارد. این موضوع در مقاله آقای شریفی و همکاران در سال ۲۰۲۴ بررسی شده است. زمانی که آب زاینده‌رود رهاسازی شود فرونشست در سری‌های زمانی کاهش پیدا خواهد کرد. هم‌چنین رفتار فرونشست در مقابل کاهش نزولات جوی همانند کاهش سطح آب زیرزمینی نیست. یعنی نمی‌توان بارش کم باران را به این اتفاق نسبت زیادی داد. نکته پایانی این است که اگر با همین روند پیش برویم حدوداً ۵۰ سال تا مرگ کلی آبخوان فاصله داریم و حدوداً ۱۰ سال با

آبخوان زیر اصفهان فاصله داریم. یعنی زمانی که آب به‌طور کلی تمام شود و فرونشست کامل اتفاق بیفتد. این‌ها همه هشدارهایی است که بدانیم فرصت‌های ما بسیار محدود هستند. تجربیات متفاوتی در رابطه با کاهش نرخ فرونشست وجود دارد. مثلاً در دشت توکیو ۱۲/۵ سانتی فرونشست وجود داشته که در حال حاضر توانسته‌اند آن را به صفر برسانند. دانش فنی ما در شهر اصفهان به مراتب بیشتر از سایر کشورها است و اگر اقدام کنیم قطعاً موفقیت‌آمیز خواهد بود. انسان‌ها می‌توانند فرونشست را کنترل کنند. کاهش فرونشست با اقداماتی نظیر تغذیه، مباحث شهرسازی، چاه‌های جذبی، کاهش در معرض قرارگیری و کاهش آسیب‌پذیری موارد مهمی هستند که ما بر روی آن‌ها مطالعات زیادی انجام می‌دهیم.

در حال حاضر، تلاش‌هایی برای کاهش این بحران و ارائه راه‌کارهای مناسب انجام شده است. برخی از این پیشنهادها به هیئت محترم دولت ارائه شده‌اند تا اقدامات لازم برای کاهش این پدیده و جلوگیری از گسترش آن در دستور کار قرار گیرد. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنونم از جناب آقای دکتر بیت‌الهی و دعوت می‌کنم از همکار محترم جناب آقای دکتر کوشافر تا در رابطه با اثرات محیط‌زیستی فرونشست برای ما صحبت کنند.



دکتر محمد کوشافر:

به‌نام خداوند بخشنده و مهربان. سلام عرض می‌کنم خدمت حضار محترم. خیلی کوتاه صحبت می‌کنم و موضوع فرونشست را از منظر دیگری بررسی می‌کنم. به‌هر حال به‌دلایل مختلف در اصفهان زاینده‌رود خشک شد. پیامدهای متعددی داشت. یکی از پیامدهای آن فرونشست است. حال خود فرونشست نیز پیامدهای مختلفی دارد که یکی از تبعات آن مربوط به محیط‌زیست است. تمامی صحبت‌ها به این سمت می‌رود که خشکی زاینده‌رود و بحران فرونشست به‌هم مرتبط است. در موضوع فرونشست تمرکز زیادی بر روی بحران‌ها و آسیب‌ها بر روی پل‌ها، مکان‌های تاریخی، تاسیسات، فرهنگ، تمدن و خیلی از موارد دیگر است.

همان‌طور که جناب آقای دکتر عین‌الهی توضیح دادند واقعا هولناک است. اما در کنار آن اتفاقات دیگری در حال رخ دادن است که اگر به مخاطرات آن فکر نکنیم ممکن است در آینده نه‌چندان دور همان‌قدر اتفاقات هولناکی بیفتد و ما آمادگی مواجهه با آن‌ها را نداشته باشیم.

باتوجه به مطالعاتی که در زمینه فرونشست انجام شده است، در حوزه محیط‌زیست آب، خاک و هوا تحت‌تاثیر قرار می‌گیرند. همان‌طور که می‌دانید یکی از اولین اتفاقاتی که می‌افتد کاهش تخلخل خاک و به تبع آن کاهش هوا در خاک است. کاهش ظرفیت مخزن و جلوگیری از حرکت آب در خاک و میزان آب موجود در خاک نیز تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد و اگر از سطح خاک در نظر بگیریم، بروز آب در خاک کاهش خواهد یافت. بنابراین به‌دنبال کاهش نفوذ آب در خاک، پدیده فرونشست باعث افزایش احتمال وقوع سیل می‌شود و در محیط‌های برون شهری این مورد را بیشتر خواهیم دید. همان‌طور که در سال‌های اخیر سیل‌های بسیار متعددی در کشور اتفاق افتاد و یکی از دلایل آن کاهش نفوذ خاک در برابر شدت بارش موجود است.

موضوع مهم دیگری که وجود دارد این است که در اثر فرونشست، شیمی خاک نیز تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد. زمانی که هوا در خاک کم شود و یا آب در خاک نتواند حرکت کند، دانه‌های خاک نیز تغییر خواهند کرد. در این حالت خصوصیات شیمی خاک تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد و فرسایش خاک افزایش یافته و کیفیت آن کاهش می‌یابد. بنابراین این موضوع در محیط‌زیست می‌تواند اثر بگذارد.

خاک وظیفه استقرار گیاهان را دارد. در اثر فرونشست، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر می‌کند. همان‌طور که گفته شد هوا در خاک کاهش می‌یابد. جذب آب در خاک کاهش می‌یابد. خاک نشست کرده است و دیگر نمی‌تواند برای استقرار درخت و گیاهان مناسب باشد. اگر به آمار موجود در اصفهان مراجعه کنید متوجه خواهید شد که در ۱۰ سال اخیر آمار سقوط و واژگونی درختان بسیار زیاد بوده است.

مورد بعدی تخریب و تغییر زیستگاه است. برخی از حیوانات که در خاک زندگی می‌کنند با کاهش اکسیژن موجود در خاک و کاهش تخلخل خاک، محیط زندگی‌شان نا امن خواهد شد. بنابراین ممکن است که این حیوانات مجبور به تغییر محل زندگی خود شوند. بنابراین این تغییر محل زندگی ممکن است باعث ایجاد اختلال در زندگی انسان‌ها و حیوانات شود. مورد دیگری که لازم است موردتوجه قرارگیرد این است که فرونشست باعث افت کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز خواهد شد. افت کیفیت در آب‌های

زیرزمینی نیز خود باعث ایجاد اتفاقات دیگری خواهد شد. تمامی این موارد در صورت مدیریت ناپایدار تشدید خواهند شد و ممکن است اتفاقات جبران ناپذیری به وجود بیاورد.

در بخش بعدی در مورد راه کارها صحبت خواهیم کرد. ما راه کارهای دائمی و موقت داریم. راه کارهای فنی و غیرفنی داریم. راه کارهای اجتماعی داریم. می دانیم که مهم ترین راه کاری که برای اصفهان وجود دارد نگهداری زاینده رود است. این راه کارها در قسمت های مختلف کشور متفاوت است. در حال حاضر تامین آب و مدیریت مصرف آب یکی از راه کارهای کلی است. مورد مهمی که برای انجام راه کارها باید مدنظر قرارداد این است که در وهله اول تغییراتی که در محیط اتفاق افتاده است از پیشروی آن جلوگیری کنیم. یعنی شرایط به شکلی که هست ثابت بماند و بعد دست به انجام راه کارها بزنیم.

تعدادی آیین نامه وجود دارد که می تواند در تصمیم گیری های مدیریتی تاثیرگذار باشد. اولین مورد آیین نامه جلوگیری از تخریب و آلودگی غیرقابل جبران تالابها است. در این آیین نامه محافظت از تالابها بعد از آب شرب اولویت دارد و مدیران موظف هستند تا موارد موجود در این آیین نامه را رعایت کنند.

یک قانون دیگر نیز داریم تحت عنوان قانون جوانی جمعیت، سیاست کلی جمعیت این مورد را ذکر کرده است: بازتوزیع فضایی و جغرافیایی جمعیت، با ظرفیت زیستی با تاکید بر تامین آب، با هدف توزیع متعادل و کاهش فشار جمعیتی. چند کلمه کلیدی در اینجا هست. یعنی ارتباط آب و جمعیت در کشور نیازمند تعریف آب شرب و آب شغل است.

به عنوان نتیجه، یکی از نکاتی که در رابطه با فرونشست خیلی باید به آن توجه کنیم مخصوصا در حوزه زاینده رود، ارتباط بارگذاری جمعیت با منابع آب است. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنون از آقای دکتر. خدمت آقای دکتر نادی هستیم. استاد محترم دانشگاه آزاد نجف آباد که تحقیقات گسترده ای را در زمینه فرونشست در دشت های اصفهان انجام داده اند و چهره شناخته شده ما در بحث فرونشست های مربوط به استان هستند.



دکتر بهرام نادی:

به نام خدا. سلام عرض می کنم خدمت حضار محترم. در بحث فرونشست از لحاظ فنی بررسی های زیادی انجام شده است. اما چند نکته کلیدی را خدمت شما عرض می کنم. مورد اول این که فرونشست وابستگی زیادی با افت آب زیرزمینی دارد. یعنی اگر ما افت آب زیرزمینی داشته باشیم بالتبع فرونشست هم خواهیم داشت. نکته بعدی این که فرونشست تابعی از ضخامت آبرفت نیز هست. در مکانی که ضخامت آبرفت کم باشد، فرونشست نیز کمتر خواهد بود. در قسمت هایی که ضخامت آبرفت زیاد است به دلیل بیشتر بودن پتانسیل افت آب، فرونشست نیز بیشتر است. بنابراین ما با عدم تعادل فرونشست نیز سر و کار داریم و این عدم تعادل است که آسیب های جدی به سازه ها می زند. یعنی اگر فرونشست یکپارچه باشد حتی اگر ۱۰ متر هم باشد، آسیب نمی زند. آسیب شدید زمانی است که اختلاف نشست را داشته باشیم.

نکته کلیدی این است که راه حل مشکل فرونشست به گونه ای است که ما نمی توانیم به صورت یک مسئله مهندسی به آن نگاه کنیم و بگوییم اگر این چنین شود آن گاه این اتفاق رخ می دهد و ممکن است نتایج به صورت یک بعدی نباشد.

ما در رابطه با راه کارها چند نکته را می شنویم که در رابطه با آن ها صحبت می شود. ما طرح انتقال آب را داریم با حجم ۷۰ میلیون مترمکعب در سال برای این که وابستگی صنایع را از آب حذف کنیم و به فرونشست منتقل شود.

سازمان آب وزارت نیرو دفترچه بسیار خوبی را تهیه کرده است و من اعدادی را از این دفترچه می خوانم. یعنی اعداد و ارقامی را که من می خوانم یکی از آن ها برای حوضه آبریز اصفهان است. حوضه آبریز اصفهان را که در این دفترچه بررسی می کنم عنوان می کند که ۹۰ درصد برداشت های آب زیرزمینی مربوط به بخش کشاورزی است. مجدد تاکید می کنم که هدف ما از این صحبت ها پیدا کردن مقصر نیست. بلکه این صحبت ها برای یافتن مسیر بهتر است. صنعت و شرب یک عددی حدود ۱۰ درصد را دارند. صنعت به صورت مجاز و غیرمجاز مقداری حدود ۱۶۰ میلیون مترمکعب داشته است. فرض کنید که این ۱۶۰ میلیون مترمکعب را تماما انتقال دهیم. ۳ میلیون دلار به ازای هر مترمکعب آب باید هزینه تصفیه و انتقال آب را بدهیم. یعنی سالیانه حدود نیم میلیارد دلار باید هزینه کنیم تا بتوانیم بخش صنعت را از آب شرب جدا کنیم. بخش کشاورزی چیزی حدود ۲ میلیون و ۲۰ هزار مترمکعب در سال است. حال بخش صنعت و شرب که مجموعا حدود ۱۰ درصد است، اگر ما فقط ۱۰ درصد عملکرد را در بخش کشاورزی بهتر کنیم چه اتفاقی می افتد؟ شاید دیگر انتقال آب توجیهی نداشته باشد. منظور از شاید این است

که نمی‌توان گفت بحث انتقال آب درست یا نادرست است. فقط از یک نگاه دیگر به موضوع نگاه می‌کنیم. تنها چیزی که برای ما مهم است و در این اطلاعات موجود است این است که ۱۰ درصد از منابع آب زیرزمینی مربوط به صنعت و شرب است. روی ۹۰ درصد دیگر می‌شود سرمایه‌گذاری کرد. مگر می‌شود که من اقتصاد کشاورز را نبینم و بتوانم فرونشست را حل کنم؟ مگر می‌شود معیشت کشاورز را نبینم و بخواهم فرونشست را حل کنم؟ و نتیجه این ندیدن‌ها چه می‌شود؟ مردمی آسیب می‌بینند که خودشان به‌طور مستقیم مقصر این آسیب‌ها نبودند. آب به‌گونه‌ای مصرف شده و حال تاثیرات آن را بر روی آثار تاریخی، منزل‌های مسکونی، راه‌ها و حمل و نقل می‌بینیم. چیزی که آقایدکتر عنوان کردند و بسیار مهم است این است که ما بحث تغییرات فیزیکی تنها نداریم و بحث تغییرات شیمیایی نیز مطرح است. من در تحقیقاتی که انجام دادم بالای ۹۵۰ گود در شهرستان برداشتم. ۹۵۰ گود معنی‌اش این است که من ۹۵۰ بار دیوارهای ساختمان را درون شهر دیدم. این ۹۵۰ دیواری که دیدم مشاهده کردم که در مقایسه با ۲۰ سال قبل وقتی که من خیابان امام خمینی را گودبرداری می‌کنم لایه‌های آهکی که من در ابعاد ۱ سانتی‌متر می‌دیدم الان دانه‌های آهکی به ابعاد ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر شده است. این چیزی است که من به وضوح می‌بینم و فقط در یک گمانه نیست، بلکه در یک مطالعه بسیار وسیع مشاهده شده است. این تحقیقاتی که برگشت‌پذیر نیست و ما زیست‌بوم را تحت تاثیر قرار می‌دهیم با توسعه در این بخش به سمت مسیری می‌رویم که غیرقابل برگشت است. مفهوم نشست را خوب مدل کردم و دیدیم که وقتی در یک لایه حدود ۸۰ سانتی‌متر افت آب ایجاد می‌شود چیزی حدود ۱۰۰ سانتی‌متر نشست اتفاق می‌افتد. اما حتی اگر آب را به‌جای خود بازگردانم حدود ۳۰ درصد از نشست برمی‌گردد، اما همچنان ۷۰ درصد آن باقی می‌ماند. مگر این‌که تزریق انجام شود یعنی از دستگاه‌های مخصوص استفاده شود. ما این سیستم را برای مسائل ژئوتکنیک در قسمت‌های شمالی و جنوبی استفاده می‌کنیم و با فشار ۳۷۰ بار آب را تزریق می‌کنیم تا بتوانیم بهسازی را انجام دهیم. این مسائل فنی از لحاظ اجرایی فوق‌العاده پیچیده هستند، بنابراین آمار و ارقام بیهوده است. نکته بعد، خواهشیم این است که یک نگاه کلی بر روی کل ایران داشته باشیم. ایران رتبه سوم فرونشست را در کل دنیا دارد. رتبه اول چین، رتبه دوم اندونزی و سپس ایران. استان گلستان نزدیک به دریا است و تقریباً بحرانی‌ترین استان از لحاظ فرونشست است. حجم آب سطحی پشت سد گلستان حدود ۱۷ میلیون مترمکعب بود. استان خوزستان نیز فرونشست دارد، اما نرخ آن به اندازه

گلستان نیست. استان خوزستان به‌طور متوسط حدود ۳/۵ سانتی‌متر در سال فرونشست دارد. حجم آب موجود در مخزن سد خوزستان در ۳۱ شهریور ماه ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب بوده است. یعنی ما در استانی که ۱۷ میلیون مترمکعب آب بوده فرونشست داشتیم و همچنین در استانی که ۱۳ میلیارد مترمکعب آب داشته نیز فرونشست داشته‌ایم. حال اگر بخواهیم از این ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب تصویری داشته باشیم به این صورت است که حجم کل آب پست سدهای مهم ایران مجموعاً به جز خوزستان ۶/۵ میلیارد مترمکعب است. بنابراین مجموع استان‌ها با هم ۶/۵ استان خوزستان به تنهایی ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب فرونشست دارد، گلستان نیز فرونشست دارد. چه مشکلی وجود دارد که ما این موارد را می‌بینیم؟ آیا نگرش را باید تغییر دهیم؟ اگر خوزستان با این حجم از آب نتوانسته فرونشست خود را کنترل کند آیا من با ۲۰۰ میلیون مترمکعب می‌توانم فرونشست را کنترل کنم؟ اگر همین دیدگاه را داشته باشیم به‌نظر می‌رسد که نمی‌توانم.

برای سد زاینده‌رود چه اتفاقی افتاد؟ در ۳۱ شهریور ۲۰۷ میلیون متر مکعب بود. باید اصفهان، کاشان، یزد و چهارمحال را تغذیه می‌کرد. چه تناسبی بین این‌ها وجود دارد؟ بنابراین آب شرب هم وابسته است. اگر بخواهیم موضوع را حل کنیم به‌نظر می‌رسد که یک خرد جمعی می‌خواهد. یعنی جامعه‌شناس، اقتصاددان، مسائل فنی، امنیت قضایی و ... را می‌خواهد تا بتوان این گره بدی را که ایجاد شده است باز کنیم.

اگر اعداد و ارقام را نادیده بگیریم ممکن است که اشتباه کنیم. متأسفانه ما مسیر نادرستی را رفته‌ایم. نکته مربوط به این مسیر بد را خدمت شما خواهیم گفت. وزارت نیرو در بخشی به‌عنوان مجری مقصر است. بخشی هم به‌صورت قانون می‌توان گفت که اتفاق افتاده است. در سال ۱۳۴۷ قانون ملی شدن آب است. یعنی امکان مسدود کردن چاه‌ها بدون دادن خسارت به آب منطقه‌ای داده می‌شود. سال ۱۳۶۱ توزیع عادلانه آب است که ۱۵۰ هزار چاه بعد از این قانون مجاز اعلام می‌شود. بنابراین، این یک نگرش به آب است. نگرشی که ما بدون حفظ کردن آب قانونی را تصویب کردیم. یک بعدی است که ما می‌خواهیم امنیت قضایی را تامین کنیم به قیمتی که آب زیرزمینی را از دست بدهیم. این نگاه تک‌بعدی باید حذف شود و امیدوارم که این اتفاق بیفتد. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنون جناب آقای دکتر. ما در خدمت نمایندگان محترم

دستگاه‌های اجرایی هستیم. سرکار خانم مهندس موسوی رئیس گروه تلفیق و بیلان منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان که خواهش می‌کنم در مدت ده دقیقه مطالب خودشان را ارائه بفرمایند.



مهندس سعیده موسوی پور:

به‌نام خدا. عرض سلام و احترام دارم خدمت حضار گرامی. تشکر می‌کنم از برگزارکنندگان این کنگره بسیار ارزشمند. هم‌چنین تشکر می‌کنم برای فرصتی که به بنده و همکارانم داده شده است تا بتوانیم تجربیات خود را با دوستان عزیز به اشتراک بگذاریم.

همان‌طور که می‌دانید یکی از عمده‌ترین دلایل فرونشست، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف است که الان بیشتر دشت‌های کشور ما دچار این معضل شده‌اند. از جمله دشت اصفهان-برخورار که خطری که بناهای تاریخی ما را تهدید می‌کند برای ما بسیار حائز اهمیت بوده و از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است. این پدیده در صورتی که به‌درستی مدیریت نشود می‌تواند خسارات بسیار زیان‌باری برای ما به‌وجود بیاورد. بنابراین علل تاثیرگذار در فرونشست برای کنترل و مدیریت این پدیده بسیار حائز اهمیت است. بنابراین ما مطالعاتی را در این زمینه انجام داده‌ایم.

پدیده فرونشست یک پدیده بین رشته‌ای است و ما با یک تکنیک و یک روش نمی‌توانیم به دستاورد مورد نیازمان برسیم. ما برای شناسایی و مدیریت از چهار روش استفاده کردیم. تکنیک اول مطالعات هیدروژئولوژی است که ما تمام اطلاعات در این زمینه مثل زمین شناسی، هیدروشناسی و آبخوان را به‌طور جامع مطالعه کردیم. هیدروگراف آبخوان این دشت نشان می‌دهد که ما ۳ میلیارد مترمکعب آب در عرض ۴۰ سال که پایش را شروع کردیم کسری مخزن داشتیم. افت به‌طور متوسط سالیانه ۹۱ سانتی‌متر است. دستاوردی که در این بخش از مطالعه به‌دست آوردیم این بود که در قسمت‌هایی که افت سطح آب زیرزمینی دیده شده لزوماً منطبق بر مکان‌هایی که نرخ فرونشست بالا دارند نیست. بنابراین تصمیم گرفتیم که وارد تکنیک‌های دیگر و بررسی عوامل دیگر هم بشویم.

مرحله دوم منطق فازی است که ما برای اجرای این مرحله

پارامترهای موثر بر فرونشست را شناسایی کردیم؛ براساس میزان تاثیرشان بر روی فرونشست آن‌ها را وزن‌دهی کردیم. بعد از آن تمام پارامترهای وزن‌دهی شده را به‌صورت لایه‌های رستری تولید کردیم و در نهایت با همپوشانی این‌ها توانستیم نقشه پتانسیل فرونشست در دشت را تهیه کنیم.

مواردی مانند کاربری اراضی، ضرایب هیدرودینامیک آبخوان، فاصله از گسل، تغذیه خالص، افت سطح آب زیرزمینی، ضخامت اشباع آبخوان و ضخامت خاک رس تاثیرگذار بودند و تمامی این موارد مورد بررسی قرار گرفتند. بیشترین سهم مربوط به افت سطح آب زیرزمینی و ضخامت خاک رس می‌شود. در نهایت نقشه پتانسیل فرونشست دشت موردنظر را مشاهده می‌کنید. این نقشه به مدیران ما کمک بسیار زیادی می‌تواند داشته باشد. یعنی در قسمت‌هایی از این نقشه که نواحی پررنگ را مشاهده می‌کنید نباید بارگذاری مانند ساخت مسکن و غیره ایجاد شود.

تکنیک سوم رادار اینترفرومتری است. داده‌های موردنیاز برای ما داده‌های ماهواره‌ای بوده است. در نهایت نقشه فرونشست با استفاده از این تکنیک به‌دست آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قسمت‌هایی از شهر که با رنگ قرمز مشخص شده است مانند قسمت‌های پایین نقشه دچار فرونشست بالایی هستند.

نکته بسیار حائز اهمیت این است که اگر ملاحظه بفرمایید خط متروی ما در این‌جا دقیقاً از ایستگاه چمران تا ایستگاه قدس در منطقه با فرونشست بسیار بالا قرار گرفته‌اند. بنابراین، این نکته حتماً باید مورد بررسی قرار گیرد. سازه‌های خطی ما در نشست‌های نامتقارن بسیار آسیب‌پذیر هستند.

تکنیک چهارم مدل‌سازی و اجرای پکیج SUB است که فرونشست را به‌طور کامل مورد بررسی قرار داده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید نقشه‌های فرونشستی که از طریق سازمان زمین‌شناسی تهیه شده و در اختیار ما قرار گرفته در دو مرحله باهم کاملاً انطباق خوبی را نشان می‌دهد. تصاویری از مناطقی که فرونشست‌های زیاد داشتیم و ابنیه‌های تاریخی مشاهده می‌کنید.

در نهایت برای خروجی‌هایی که ما از مدل گرفتیم، چهار سناریو تعریف کردیم که با محوریت رهاسازی آب در رودخانه بوده است. در مرحله بعد برای آن‌ها که به نتیجه مطلوب برسیم یعنی ببینیم تحت چه شرایطی ممکن است که فرونشست مهار شود، کاهش ۳۰ درصدی چاه‌های کشاورزی و در مرحله بعد مسدودسازی چاه‌های مربوط به شهرداری که برای آبیاری فضای سبز استفاده می‌شود را مطالعه کردیم. نهایتاً با ۲۳۴ میلیون مترمکعب آب، کاهش ۳۰ درصدی چاه‌های کشاورزی و

در استان اصفهان و نصب ایستگاه‌های GPS نیز بسیار کمک‌کننده خواهند بود. ممنون از توجه شما.

دکتر حمیدرضا صفوی:

در ادامه در خدمت آقای دکتر قاضی فرد هستیم. استاد محترم دانشکده علوم زمین دانشگاه اصفهان که تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه فرونشست به‌خصوص در شهر اصفهان داشته‌اند.



دکتر اکبر قاضی فرد:

بسم‌الله الرحمن الرحیم. عرض سلام و ادب و احترام خدمت حضار محترم و با تشکر از برگزارکنندگان جلسه امروز. می‌گویند که قرن بیستم قرن فرونشست دشت‌ها بوده است، اما قرن ۲۱ قرن فرونشست شهرها است. متأسفانه در ایران اولین شهری که گریبان ایران را گرفته شهر اصفهان بوده است. به‌دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی که دارد و همچنین بسته‌شدن رودخانه. عوامل ایجاد فرونشست‌ها می‌تواند طبیعی باشد مانند فعالیت‌های تکتونیکی. آخرین باری که یک حرکت گسل در اصفهان اتفاق افتاد ۱/۸ میلیون سال قبل بوده است که ما اطلاعاتی در این مورد نداریم. همچنین می‌تواند در اثر فعالیت‌های انحلالی باشد مانند تخریب غارهای زیرزمینی که تا به حال در اصفهان رخ نداده است. عامل بعدی عوامل انسانی و فعالیت‌های معدنی است که در شهر اصفهان هیچ‌گونه فعالیت زیرزمینی نداریم. مورد چهارم برداشته مایعات از لایه‌های زیرین زمین است. به‌دلیل این که آب یک ماده غیرقابل تراکم است تا زمانی که در مخزنی در زیرزمین آب وجود داشته باشد فرونشست اتفاق نمی‌افتد. اما به‌محض این که آب تخلیه شود منافذ خاک از هوا پر می‌شود و خیلی راحت دچار تراکم شده و در نهایت فرونشست اتفاق می‌افتد.

موضوعی که دیگر دوستان نیز اشاره کردند این است که شهر اصفهان از میلیون‌ها سال پیش که رودخانه جاری بوده است در برخی از سال‌ها سیلاب اتفاق می‌افتاد و دانه‌های درشت را با خود می‌برد. این زمانی است که شاهین‌شهر در آن‌جا بوده است. به‌تدریج که گسل اتفاق افتاد جهت رودخانه نیز تغییر کرد و در نزدیکی سی و سه پل قرار گرفت. در گمانه‌زنی‌هایی که انجام شده مشاهده کردیم که برخی لایه‌ها رسی است و در برخی لایه‌ها شن وجود دارد. وجود دانه‌های شن به‌دلیل سیلاب‌هایی است که در

مسدودسازی چاه‌های شهرداری مشاهده شد که می‌توان به‌طور کلی فرونشست را مهار کرد.

دردست داشتن این مدل‌ها برای ما و مدیران بسیار حائز اهمیت است، چون می‌توانند ببینند که میزان آب نیاز است. چه مقدار پساب می‌توان برای آبیاری فضای سبز جایگزین شود و تمامی این اعداد و ارقام برای تصمیم‌گیری مدیران حائز اهمیت خواهد بود.

در آخر می‌خواهم با اشاره به اقداماتی که در آب منطقه‌ای شده است عرایضم را خاتمه بدهم. اقدامات آب منطقه‌ای در دو بخش حفاظتی و مطالعاتی بوده است. بخش حفاظتی پروژه تعادل‌بخشی ما است که بخش عمده آن شامل مسدودکردن چاه‌های غیرمجاز، جلوگیری از اضافه برداشت و نصب کنتورهای هوشمند بوده است. این موارد توسط اکپ‌های گشت بازرسی به‌طور منظم در سطح شهر در حال کنترل و بازرسی است. بخش دوم بخش مربوط به کارهای مطالعاتی است که اولین دشتی که ممنوع اعلام شده است حدود ۵۰ سال قبل بوده است. ما براساس نوسانات و افت سطح آب زیرزمینی که توسط هیدروگراف‌ها مشاهده می‌شود، دشت‌ها را ممنوع برداشت از آب زیرزمینی اعلام می‌کنیم. در حال حاضر از ۳۵ دشت موجود، ۲۹ دشت ممنوع برداشت و ۱۰ تا از آن‌ها ممنوع بحرانی هستند. این به‌منزله این است که تخصیص جدیدی در این دشت‌ها نباید داده شود. ما دائماً بیان منابع آب زیرزمینی را به‌صورت دوره‌ای اندازه‌گیری می‌کنیم، اب تجدیدپذیر و آب قابل برنامه‌ریزی را بررسی می‌کنیم. هدف ما این است که تمامی برداشت‌ها به میزان آب قابل برنامه‌ریزی برسد. مورد بعدی استقرار مدیریت یکپارچه بوده است. اخیراً ممنوعیت کف‌شکنی در دشت‌هایی که برای ما فرونشست محرز شده اعمال شده است. اگر سازمان زمین‌شناسی دشتی را که فرونشست دارد به ما اعلام کند، ما مجوز کف‌شکنی و جایجایی برای آن صادر نمی‌کنیم. همچنین ما در بسیاری از دشت‌ها مطالعات مربوط به فرونشست را انجام داده‌ایم.

اگر بخواهم در مورد راه‌کارها صحبت کنم اولین مورد آبدار شدن رودخانه‌ها است که نیازمند یک عزم ملی است و فقط کار یک دستگاه دولتی نیست و باید سازوکاری ایجاد کنیم تا حداقل پایداری اکولوژیک رودخانه را داشته باشیم و این موضوع به تغذیه آبخوان کمک می‌کند. جایگزینی پساب با چاه‌های شهرداری، ۷۰ حلقه چاه آب شربی که در زمان بحران آبی علی‌رغم مخالفت‌های زیاد کارشناسان حفاری شدند و بهتر است این چاه‌ها تعیین تکلیف شوند چون در فرونشست نامتقارن شهری بسیار تاثیرگذار هستند. اصلاح الگوی مصرف کشت، عدم استقرار صنایع پر آب

برخی سال‌ها اتفاق افتاده است. موردی که در رابطه با فرونشست وجود دارد و در همه‌جای دنیا نیز یکسان است این است که تنها خاک رس دچار فرونشست می‌شود. بیشترین حفاری برای ساخت راه آهن شهری انجام شده است که حدود ۴۲ متر بوده است. اما در شمال شهر اصفهان نزدیک ۳۰۰ متر رسوبات دیده می‌شود. اگر بخواهیم ببینیم که اصفهان تا چه مقداری دچار فرونشست می‌شود باید حتماً ببینیم که در این ضخامت‌ها چه مقدار رس وجود دارد، زیرا ما تناوبی از لایه‌ها را در زیرزمین مشاهده می‌کنیم. اگر همه لایه‌ها از شن بود هیچ مشکلی وجود نداشت و فرونشست اتفاق نمی‌افتاد اما ما هیچ‌گونه نظری نداریم و فقط می‌دانیم که تناوبی از لایه‌های رس، شن و یا ماسه وجود دارد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید در بخش‌هایی که آب برداشت شده لایه رسی فشرده شده و نشست کرده است.

هرسال که دوستان کارهای پژوهشی را انجام می‌دهند یک سال در شمال غرب اصفهان فرونشست دیده می‌شود و دو سال بعد در جنوب شرق اصفهان فرونشست دیده می‌شود. این موارد به دلیل پایین رفتن آب است و در هر سالی در یک منطقه آب پایین رفته و به لایه رس رسیده‌ایم. این موارد به این دلیل است که ما در رابطه با تناوب لایه‌های خاک اطلاعاتی نداریم. من هر سال به شهرداری این پیشنهاد را می‌دهم که شما باید یک شبکه درست کنید و این گمانه‌ها را بنزید حال ممکن است صد میلیارد هزینه داشته باشد. اما تا زمانی که ما ندانیم در زیر خاک چه خبر است هیچ‌گاه نمی‌توانیم پیش‌بینی انجام دهیم و نمی‌دانیم که این فرونشست واقعا در چه زمانی متوقف می‌شود. مسلماً اگر آب پایین نرود متوقف می‌شود. اما تا زمانی که آب در حال پایین رفتن است باید انتظار فرونشست را داشته باشیم.

ما عمق سنگ بستر در زیر شهر اصفهان را داریم. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در نزدیکی رودخانه بسیار کم است و زمانی که به سمت شمال حرکت می‌کنیم می‌بینیم که تا حدود ۳۰۰ متر هم می‌رسد. بنابراین همان‌طور که اشاره کردم ما حداکثر گمانه‌زنی را تا عمق ۴۲ متر برای عملیات مترو داشته‌ایم و از این ۴۵ متر تا ۳۰۰ متر ما حدوداً ۳۶۰ متر نقاط کور و ناشناخته داریم که حتماً باید شناسایی بشوند.

ما در ژئوتکنیک مبحثی به نام تحکیم داریم که اکثر دوستان آشنا هستند. ما اگر بتوانیم مغزه‌گیری انجام دهیم و روی آن‌ها آزمایش تحکیم انجام دهیم می‌توانیم بگوییم که در هر لایه چه مقدار فرونشست اتفاق می‌افتد. بنابراین ما به راحتی می‌توانیم فرونشستی که در ۱۰ یا ۲۰ سال آینده اتفاق می‌افتد را پیش‌بینی و شناسایی کنیم.

عوامل تشدیدکننده فرونشست در شهر اصفهان عبارتند از: برداشت بی‌رویه آب، کاهش آورد رودخانه زاینده‌رود، برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی، افزایش جمعیت شهر اصفهان به واسطه مهاجرت، استقرار و توسعه صنایع، تغییرات اقلیمی و خشکسالی، توسعه بی‌رویه فضای سبز خارج از توان تامین آب و عدم احساس خطر در بین مسئولین در سال‌های گذشته.

پیشنهادات مربوط به کاهش فرونشست در اصفهان عبارتند از: حذف، کاهش یا تغییر الگوی مصرف آب در فضای سبز شهری، ایجاد شبکه پایش سطح آب زیرزمینی، ایجاد شبکه پایش میزان فرونشست در شهر اصفهان، اجرای طرح‌های علاج‌بخشی از جمله تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی با استفاده از پساب تصفیه شده، نظارت بر برداشت آب زیرزمینی با نصب کنتورهای حجمی بر روی چاه‌های شهرداری و دیگر چاه‌ها و حذف چاه‌های عمیق در سطح شهر، تعیین خط قرمز برای حداکثر مجاز افت آب زیرزمینی و حداکثر مجاز فرونشست سالیانه. خیلی ممنون و متشکرم.

دکتر حمیدرضا صفوی:

خیلی ممنون. ارائه آخر را جناب آقای مهندس شمسایی مدیر محترم دفتر مطالعات و بررسی‌های فنی شرکت آب و فاضلاب استان انجام می‌دهند که اثرات فرونشست را بر روی تاسیسات آب و فاضلاب مانند لوله‌ها و تجهیزات ارائه خواهند کرد.



مهندس سعید شمسایی:

به نام آن که جان را فکرت آموخت/ چراغ دل به نور جان برافروخت. عرض سلام و ادب و احترام دارم خدمت کلیه دوستان و اساتید محترم. من به عنوان شاگرد در این جلسه مطالب بسیار خوبی را یاد گرفتم. انشالله که برای شما نیز سودمند بوده باشد. انشالله که بتوانیم مطالب را به یک عملیات اجرایی تبدیل کرده و نهایت استفاده را از آن‌ها بکنیم. موضوعی که من می‌خواهم درباره آن صحبت کنم بحث فرونشست و تاثیر آن بر یکی از شریان‌های حیاتی شهر، فاضلاب و تاسیسات فاضلاب، است.

اصطلاح عمومی فرونشست، حرکت عمودی ناشی از تغییراتی که بر روی سطح آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد و می‌تواند طبیعی و یا انسانی باشد. یک تفاوتی بین بحث فرونشست و تحکیم وجود

دارد و آن این است که علت وقوع تحکیم وزن خاک و سازه‌ها و تاسیسات بالادستی آن است که به تدریج و در طولانی مدت اتفاق می‌افتد. اما فرونشست خروج سیال از درون آبخوان و در بازه‌های زمانی کوتاه تعریف می‌شود.

در سال‌های اخیر، مطالعات و بررسی‌هایی انجام شده که نشان می‌دهد فرونشست زمین می‌تواند به دو شکل رخ دهد: یکنواخت و غیر یکنواخت. در حالت یکنواخت، سطح زمین به‌طور کلی تغییر می‌کند و تنش‌های فشاری را داریم، اما در حالت غیر یکنواخت، تنش‌های فشاری و کششی به‌شکل نامنظمی در نقاط مختلف ایجاد می‌شود که باعث تغییرات ساختاری در لایه‌های زمین می‌شود. این تنش‌ها می‌توانند به ایجاد شکاف در سطح زمین و تغییرات هیدرولیکی، هرچند جزئی، منجر شوند.



در سمت چپ تصویر، نمایی از یک تغییر ۶۰ درجه‌ای مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیرات فرونشست غیر یکنواخت است. در این شرایط، علاوه بر مرکز زمین، مناطق اطراف نیز تحت تأثیر تنش‌های کششی قرار می‌گیرند و همین امر باعث تغییر در ساختار خاک و لایه‌های زیرزمینی می‌شود. فرونشست‌های غیریکنواخت در شهر اصفهان باعث بروز حرکت‌های افقی در سطح خاک می‌شود. تأثیر این پدیده نه تنها در لایه‌های زیرسطحی، بلکه در سیستم‌های شهری مانند تاسیسات آب و فاضلاب نیز دیده می‌شود.

شهر اصفهان، دارای یکی از گسترده‌ترین شبکه‌های فاضلاب کشور با قدمتی نزدیک به ۶۰ سال است. چهار تصفیه‌خانه مهم در مناطق جنوب شرق، سپاهان‌شهر و سایر نقاط شهر فعال هستند. در حال حاضر، کل استان حدود ۹۰۰۰ کیلومتر شبکه فاضلاب دارد که معادل طول دور کره ماه است! اما شهر اصفهان حدود ۴۰۰۰ کیلومتر شبکه دارد. هم‌چنین، ۹۷ درصد جمعیت شهر تحت پوشش این شبکه قرار دارند (حدود ۲ میلیون نفر)، روزانه ۴/۵ مترمکعب در ثانیه فاضلاب تصفیه شده و به چرخه مصرف باز می‌گردد.

اما یکی از چالش‌های جدی در این سیستم، فرونشست زمین و تأثیر آن بر تاسیسات فاضلاب است. در برخی مناطق

شمال شرقی اصفهان، گرادیان نشست بسیار بالا بوده و این مسئله باعث تخریب تأسیسات و جدا شدن اتصالات لوله‌ها شده است. برای مثال، در برخی نقاط شهر، سالانه ۱۰ سانتی‌متر نشست ثبت شده که می‌تواند شیب حرکت فاضلاب را مختل کند و موجب انسداد لوله‌ها شود.

وقتی حرکت زمین شروع می‌شود، مثلاً ده سانت جابه‌جایی در یک بخش از شهر، آنگاه به‌موقع متوجه نشویم و اقدام نکنیم، نشست زمین اتفاق می‌افتد. باید در نظر بگیریم که در این شرایط چپ را از دست می‌دهیم. چهارراه‌ها، شبکه‌های انتقال آب، فاضلاب، و حتی زیرساخت‌ها دچار فاصله یا گسست می‌شوند. مثلاً من خودم جایی از شبکه را دیدم که نشست باعث شده بود یک بخش از لوله از بدنه جدا بشود و این جدایی باعث نشست شدید و آسیب جدی به سیستم شده بود. ما وقتی لوله‌کشی‌ها را طراحی می‌کنیم، یک سرعتی برای جریان آب و یک تناسبی بین فشار و مقاومت در نظر می‌گیریم. حالا وقتی نشست پیش می‌آید، این تناسب به هم می‌ریزد، مخصوصاً وقتی فضاهای خالی زیر شبکه‌ها ایجاد بشوند. در چنین شرایطی، سرعت جریان کم می‌شود، رسوب بیشتر می‌شود، و آلودگی‌ها راحت‌تر نفوذ می‌کنند. مثلاً دیدیم که در یک منطقه سفید، در اثر نشست، یک قسمت از شبکه تقریباً بدون فشار شده بود. یکی از پارک‌های تولید هیدروژن ما هم دچار مشکل شده بود. فشاری که روی لوله‌ها می‌آید در نتیجه نشست، باعث خرابی تدریجی شون می‌شود. یک جایی از شبکه را دیدم که در اثر فشار، ترک خورده بود و یک قسمتی از ظرفیت انتقالش از بین رفته بود. من خودم فکر می‌کنم اگر همین‌طور ادامه پیدا کند، ما یک بخشی از زندگی شهری را از دست می‌دهیم. بحث این است که وقتی زمین نشست می‌کند، لوله‌ها هم یا می‌برند یا تحت فشار می‌مانند. اگر لوله انعطاف‌پذیر نباشد، با کشش زمین می‌شکند. اما اگر از جنس مناسب باشد، می‌تواند مقداری از فشار را تحمل کند. این تجربه‌ای است که ما در سطح شهر اصفهان زیاد دیدیم. وقتی نشست بین دو نقطه از زمین ایجاد می‌شود، لوله‌ای که آن وسطه دچار کشش می‌شود و ممکن است بشکند، ما با استفاده از فناوری‌های جدید مثل پلی‌اتیلن‌های مقاوم، توانستیم بعضی از این مشکلات را کم کنیم، چون این مواد انعطاف‌پذیرند و در برابر کشش مقاوم‌تر عمل می‌کنند. ما در بعضی خیابان‌ها دیدیم که نشست باعث باز شدن درزها، جابه‌جایی موزاییک‌ها و حتی ترکیدن لوله‌های اصلی شده است. لوله‌هایی که نشست کردن، معمولاً درگیر خاک نرم و سست بودند. این لایه‌ها توان نگاه داشتن فشار را ندارند. یکی از خیابان‌ها در منطقه ستارخان، یک نشست بزرگ داشت که باعث شد فضای

یکی از مسائل مهم دیگر، ارتباط آبخوان‌ها با رودخانه زاینده‌رود است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل کاهش جریان رودخانه، افت شدیدی داشته است. این سؤال مطرح است که آیا احیای این منابع در آینده امکان‌پذیر است؟ پاسخ مثبت است، اما نیازمند همکاری همه نهادهای مرتبط و تأمین منابع مالی در سطح ملی است. تنها با یکپارچه‌سازی مدیریت منابع آب و اتخاذ سیاست‌های پایدار می‌توان از پیامدهای منفی فرونشست جلوگیری کرد و تأسیسات شهری را حفظ نمود.



جمع‌بندی پرسش‌ها و پاسخ‌ها

بازنگری در تخصیص منابع آب رودخانه: برای مدیریت بهینه منابع آب، نیازمند بازنگری در تخصیص منابع و مصارف هستیم. این امر نیاز به عزم و اراده استانی دارد.

نقش مطالعات دانشگاهی در مدیریت بحران‌ها: یکی از سؤالات مطرح این است که چرا مطالعات دانشگاهی منجر به محاسبه نرخ دقیق فرونشست نشده‌اند و بیشتر بر رفتار لایه‌های مختلف تمرکز داشته‌اند. آیا بهتر نیست که این مطالعات، در کنار ارائه ایده‌ها و راه‌کارها، در مسیر عملیاتی شدن و کمک به حاکمیت برای مقابله با فرونشست به کار گرفته شوند؟

راه‌کارهای جبران کمبود منابع آب: آقای دکتر اشاره کردند که مسئله اصلی محاسبات عددی نیست، بلکه راه‌حل‌ها مهم هستند. اگر بتوانیم این ۱۰۰ میلیون مترمکعب ناترازی را جبران کنیم، مشکل تا حد زیادی حل می‌شود. این جبران یا از طریق کاهش برداشت از چاه‌ها یا افزایش تغذیه آبخوان‌ها امکان‌پذیر است.

اهمیت رویکردهای عملی و خرد جمعی: ما باید به جای صرفاً بحث‌های نظری، به راه‌کارهای عملی و تصمیم‌گیری بر پایه خرد جمعی بپردازیم. برای مثال، در مورد احیای دائمی زاینده‌رود، در حال حاضر یک راه‌کار اصلی و قطعی در دسترس نیست. اما یکی از راه‌کارهای موقت، تغذیه آبخوان است. سوال اساسی این‌جا است که این آب را از کجا تأمین کنیم؟

چالش‌های تأمین آب و نقش تصفیه پساب: در حوزه بسته

بزرگی زیر آسفالت خالی بشود و ما نتوانیم به‌موقع عملیات تعمیر را انجام بدهیم. وقتی نشست زمین اتفاق می‌افتد، جدا شدن اتصالات، نفوذ آب یا پساب و از دست رفتن عملکرد سیستم کاملاً محتمل می‌شود. تأسیسات مکانیکی تصفیه‌خانه‌ها هم درگیر این موضوع می‌شوند. یک جاهایی که اتصال بین حوضچه‌ها قطع شده، فرآیند تصفیه به مشکل خورده، چون نمی‌توانیم انتقال دائمی و پیوسته فاضلاب را تضمین کنیم. اگر نشست ادامه‌دار باشد، لایه‌های هیدروشمیایی هم دچار مشکل می‌شوند، که خودش باعث افت کیفیت خروجی تصفیه‌خانه می‌شود. ما نیاز داریم از اتصالاتی استفاده کنیم که در برابر کشش، فشار و نشست زمین مقاوم باشند. در یکی از پروژه‌ها از لوله‌هایی استفاده کردیم که خاصیت پلی‌رولا داشتند؛ این باعث شد که حتی وقتی زمین نشست کرد، لوله بدون پارگی خودش را با تغییر شکل زمین تطبیق بدهد. این یک تکنولوژی نسبتاً جدیدی است که ما در چند سال گذشته استفاده کردیم.

از طرف دیگر، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها یکی از راه‌کارهای موقته که می‌تواند نشست را کاهش بدهد. با استفاده از پساب تصفیه‌شده، می‌شود به سفره‌های آب زیرزمینی کمک کرد. البته این موضوع نیاز به بررسی‌های محیط‌زیستی دارد، چون ممکن است کیفیت آب تزریقی مناسب نباشد و خودش آلودگی جدید ایجاد کند. الان در شهر اصفهان، مقدار قابل‌توجهی پساب داریم که در تصفیه‌خانه‌ها فرآوری شده است. می‌توانیم از آن برای تغذیه سفره‌ها استفاده کنیم، ولی چالش‌های فنی، اقتصادی و حقوقی دارد. مثلاً بعضی از این آب‌ها قرارداد فروش دارند، یا برای مصارف صنعتی در نظر گرفته شده‌اند. ما باید ببینیم آیا دولت می‌تواند ورود کند و بخشی از این منابع را برای تزریق به سفره‌ها تخصیص بدهد یا نه. در نهایت، مهم است که مطالعاتی که انجام می‌دهیم، فقط عدد و رقم تولید نکنند. باید بتوانند به راه‌کار تبدیل بشوند. الان همکاران دانشگاهی‌مان می‌توانند در کنار مسئولان اجرایی، وارد عمل بشوند تا راه‌کاری برای مهار نشست زمین در اصفهان ارائه بدهند. نشست زمین، فقط یک مشکل فنی نیست؛ یک بحران اجتماعی، اقتصادی و حتی روانی است. اگر همکاری جمعی نباشد، فقط با حرف‌زدن و جلسه گرفتن، هیچ‌کدام از این مشکلات حل نمی‌شود. در پایان باید بگویم، حفظ جریان دائمی زاینده‌رود امکان‌پذیر است، ولی نیاز به اراده ملی دارد. همه سازمان‌ها باید همکاری کنند تا بتوانیم حبابه محیط‌زیستی رودخانه را حفظ کنیم. بازنگری در مصارف، برنامه‌ریزی دقیق و استفاده از فناوری‌های مناسب، از جمله کارهایی است که باید سریع‌تر به آن ورود کنیم.

زاینده‌رود، آب و پساب از یکدیگر جدا نیستند. اگر آبی را برای استفاده در صنعت اختصاص دهیم، در واقع آن را از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر منتقل کرده‌ایم، بدون این‌که واقعاً از بار مصرفی حوزه کاسته شود. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی، تزریق پساب تصفیه‌شده به منابع آب اصفهان است. این امر چالش‌هایی دارد، از جمله:

۱) چالش محیط‌زیستی، کیفیت آب تزریقی باید استانداردهای لازم را داشته باشد.

۲) چالش فنی، با توجه به پتانسیل فنی موجود در اصفهان، متخصصان می‌توانند راه‌کاری ارائه دهند که کیفیت آب تزریقی حفظ شود.

۳) چالش اقتصادی: این پروژه هزینه‌بر است، اما دارای ارزش اقتصادی نیز هست و شرکت‌های وابسته به وزارت نیرو می‌توانند آن را برای فروش مدیریت کنند. با این‌حال، نیاز است که دولت نیز در تأمین بودجه ورود کند.

۴) چالش حقوقی: قراردادهای منعقدشده و مسائل مالی باید با در نظر گرفتن قوانین موجود حل و فصل شوند.

راه‌کارهای عملیاتی و نقش شهرداری در مدیریت آب: در حال حاضر، شهرداری با استفاده از چاه‌های سطح شهر، آب را برای ایجاد فضای سبز برداشت می‌کند. اگر این آب با عملیات تکمیلی تصفیه شود، می‌توان از آن در سطح گسترده‌تری استفاده کرد. در این راستا، شهرداری اصفهان تاکنون چندین قرارداد منعقد کرده و تصفیه‌خانه‌های تکمیلی در حال احداث هستند. اثرات فرونشست بر زیرساخت‌های شهری: فرونشست زمین موجب جدا شدن فلنج‌های شبکه‌های آب‌رسانی و ایجاد نشتی‌های متعدد شده است. این مسئله بر سایر زیرساخت‌ها مانند مترو، گاز و مخابرات نیز تأثیر می‌گذارد. در حوزه آب و فاضلاب، این تغییرات بسیار سریع‌تر خود را نشان می‌دهند و نیاز به اقدامات فوری دارند.

نتیجه‌گیری و برنامه‌ریزی آینده برای مدیریت بهینه منابع آب و مقابله با فرونشست: باید راه‌کارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت تدوین شود. اقدامات اصلاحی در شبکه فاضلاب اصفهان آغاز شده و باید با تقویت اعتبارات و اجرای برنامه‌های عملیاتی ادامه یابد. از سوی دیگر، برنامه‌هایی مانند تزریق پساب تصفیه‌شده، مدیریت بهینه مصرف و جلوگیری از تغییرات کاربری نامناسب، می‌توانند بخشی از راه‌کارهای پایدار باشند.

رتبه سوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۳ در مقطع دکتری
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده مهندسی شیمی

عنوان: حذف داروی تتراسایکلین از آب‌های آلوده توسط فوتوراکتور سلول سوختی با کامپوزیت چندجزئی ZnO/Bi₂MoO₆/MIL-101 بر پایه شیشه رسانا (فوتوآند) و اکسید مس بر پایه توری مسی (فوتوکاتد)

نگارش: محبوبه حاجی علی

استاد راهنما: دکتر مهرداد فرهادیان

تاریخ: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

چکیده

و ولتاژ مدار باز به ترتیب $۳۰/۵۸ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ، $۱۳۹/۲ \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ، $۱۳۹/۲ \text{ mV}$ و ۷۷۲ به دست آمد. اثر الکترولیت‌های NaCl ، Na_2SO_4 و NaHCO_3 بررسی شد.

در سیستم سلول سوختی فوتوکاتالیستی پیوسته، تثبیت کامپوزیت ZnO/ Bi₂MoO₆/ MIL-101(Fe) بر روی FTO نوار انرژی را از $۲/۳$ به $۲/۲$ الکترون ولت کاهش داد. شرایط بهینه در در دبی جریان: $۲/۵ \text{ mL}/\text{min}$ ، pH: ۷، کاتالیست لایه نشانی شده: $۰/۸۷ \text{ mg}/\text{cm}^2$ و غلظت تتراسایکلین: ۸۰ ppm تعیین شد. در شرایط بهینه، سایر پارامترها هم چون راندمان تخریب ($۸۸/۸\%$)، ولتاژ مدار باز ($۱/۰۳ \text{ V}$)، جریان اتصال کوتاه ($۲/۵ \text{ mA}/\text{cm}^2$) و حداکثر توان تولیدی ($۰/۸۷ \text{ mW}/\text{cm}^2$) به دست آمد. رژیم جریان با توزیع زمان اقامت در فوتوراکتور مورد بررسی با داده‌های تجربی نشان‌دهنده ۶ راکتور سری از راکتورهای مخلوط ایده‌آل با اندازه مساوی به دست آمد.

کلید واژه‌ها: Cu /CuO، ZnO /Bi₂MoO₆ /MIL-101(Fe)، فوتوآند، فوتوکاتد، لایه نشانی، تتراسایکلین

فوتوکاتالیست ZnO/ Bi₂MoO₆/ MIL-101(Fe) با استفاده از روش حلال گرمایی سنتز و با آنالیزهای XRD، FTIR، SEM، TGA، XPS، BET، PL، UV-vis DRS، TEM، EDX مشخصه‌یابی شد. کامپوزیت بهینه با نوار انرژی eV $۲/۳$ سبب افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی برای تخریب تتراسایکلین شد. در شرایط بهینه فرایندی که غلظت تتراسایکلین: ۲۰ ppm، غلظت کاتالیست: $۰/۳۸$ گرم در لیتر، pH محلول: ۷، و زمان تابش: ۹۰ دقیقه است، راندمان حذف و TOC به ترتیب $۹۶/۱$ و $۸۷/۴$ درصد به دست آمد. تست سمیت با استفاده از رشد باکتری اشرفیسا کلی انجام شد و غیر سمی بودن محصولات میانی را در طول فرآیند فوتوکاتالیستی تایید کرد.

در سیستم سلول سوختی فوتوکاتالیستی ناپیوسته خواص الکتروشیمیایی و جریان نوری به دست آمده در فوتوآند ZnO/ Bi₂MoO₆/ MIL-101 (Fe)/ FTO بیشتر از ZnO/ Bi₂MoO₆/ FTO و ZnO/ FTO به دست آمد. در شرایط بهینه (غلظت تتراسایکلین: ۴۰ ppm، pH: ۶، شدت نور: $۹/۲۵ \text{ mW}/\text{cm}^2$)، زمان تابش: ۹۰ min، راندمان حذف تتراسایکلین و TOC به ترتیب $۹۵/۱\%$ و $۸۹/۶\%$ محاسبه شد. حداکثر توان، جریان اتصال کوتاه

رتبه سوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۳ در مقطع کارشناسی ارشد
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده بهداشت

عنوان: بررسی راندمان حذف آنتی بیوتیک‌های آموکسی سیلین و سفالکسین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری
(مطالعه موردی در شهر اصفهان)

نگارش: مه‌ری سمندری

استاد راهنما: دکتر حسین موحدیان

تاریخ: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

چکیده

(جمعا ۵۲ نمونه) جمع‌آوری شد. آنالیز نمونه‌ها بلافاصله پس از انتقال آن‌ها، در کلدباکس به‌همراه یخ خشک، به آزمایشگاه انجام شد. ابتدا نمونه‌ها سانتریفیوژ شده و سپس از فیلتر سرسرنگی عبور داده‌شد. تعیین مقادیر آنتی‌بیوتیک‌ها در فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌کمک دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارکرد بالا (HPLC) انجام شد.

یافته‌ها: در تصفیه‌خانه فاضلاب شرق اصفهان به‌روش برکه‌تثبیت تلفیقی، میانگین راندمان حذف آنتی‌بیوتیک‌های پنی‌سیلین $19/42 \pm 89/80\%$ ، آمپی‌سیلین $19/84 \pm 86/22\%$ ، سفالکسین $23 \pm 78/75\%$ ، و آموکسی‌سیلین $31/38 \pm 34/35\%$ به‌دست آمد. در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان به‌روش لجن‌فعال متعارف، میانگین راندمان حذف آنتی‌بیوتیک سفالکسین $65/76 \pm 87/21\%$ ، پنی‌سیلین $21/85 \pm 82/76\%$ ، آمپی‌سیلین $85/88 \pm 66/24\%$ ، و آموکسی‌سیلین $33/29 \pm 54/82\%$ است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان‌داد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری شهر اصفهان قادر به حذف کامل آنتی‌بیوتیک‌ها نبوده و به‌دلیل تخلیه پساب در آب رودخانه و یا استفاده از پساب برای آبیاری محصولات کشاورزی باید تدابیری اندیشیده شود.

واژگان کلیدی: باقی‌مانده آنتی‌بیوتیک‌ها، تصفیه‌خانه فاضلاب، لجن‌فعال، برکه‌تثبیت، راندمان حذف، آلاینده‌های نوظهور، بتالاکتام.

مقدمه: آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به آلاینده‌های پرخطر و نوظهور دارویی و خصوصا آنتی‌بیوتیک‌ها، که یکی از پرکاربردترین داروها هستند، از موضوعات اصلی در دهه‌های اخیر است. حضور این آلاینده‌ها، حتی در غلظت‌های پایین اثرات قابل‌ملاحظه‌ای بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارد و باید حتی‌الامکان از ورود آن‌ها به آب‌های پذیرنده و خاک جلوگیری کرد. با توجه به این‌که پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از جمله مهم‌ترین منابع ورود آن‌ها به محیط‌زیست هستند، هدف اصلی این مطالعه بررسی راندمان حذف آنتی‌بیوتیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری است. به‌این منظور، در این طرح برای بررسی و مقایسه روش‌های تصفیه فاضلاب شهری و عملکرد آن‌ها در حذف آنتی‌بیوتیک‌ها، تصفیه‌خانه فاضلاب شرق اصفهان به‌روش تلفیقی برکه‌های تثبیت و لاگون هوادهی و تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان به‌روش لجن‌فعال به‌منظور بررسی راندمان حذف آنتی‌بیوتیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در نظر گرفته شده است.

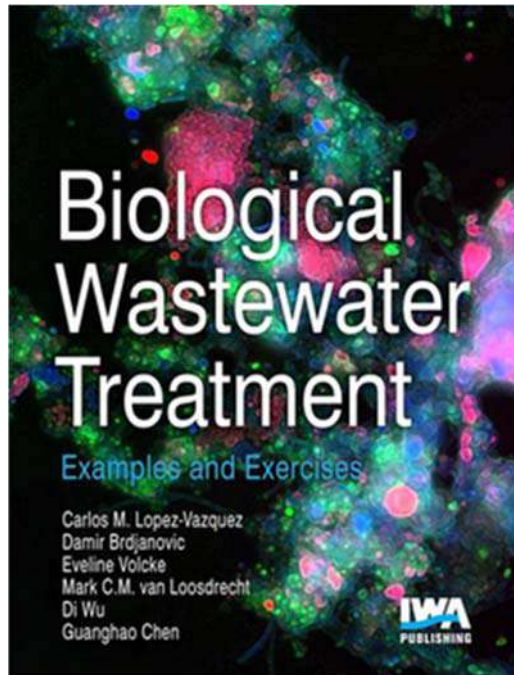
مواد و روش‌ها: این مطالعه، مطالعه‌ای توصیفی-تحلیلی است، که برای بررسی راندمان حذف آنتی‌بیوتیک‌های آمپی‌سیلین، آموکسی‌سیلین، پنی‌سیلین و سفالکسین که در گروه آنتی‌بیوتیک‌های پرمصرف و رایج بتالاکتام‌ها قراردارند، در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر اصفهان انجام شده است. نمونه‌ها از فاضلاب ورودی و پساب خروجی هر دو تصفیه‌خانه در ۱۳ نوبت

عنوان:

Biological Wastewater Treatment: Examples and Exercises

ناشر: IWA

زمان انتشار: ۲۰۲۳



ویرایش جدید پر فروش‌ترین اثر IWA Publishing یعنی "تصفیه فاضلاب زیستی: اصول، مدل‌سازی و طراحی" منتشر شد. کتاب شامل فصول مختلف به شرح زیر است:

- ◇ توسعه تصفیه فاضلاب: مرور تاریخیچه و پیشرفت فناوری‌های تصفیه فاضلاب و چالش‌های آتی.
- ◇ مبانی میکروبیولوژی و متابولیسم: آشنایی با اصول میکروبیولوژی و مسیرهای متابولیکی در تصفیه فاضلاب.
- ◇ ویژگی‌های فاضلاب: بررسی ترکیب شیمیایی و فیزیکی فاضلاب و تأثیر آن بر عملکرد سیستم‌ها.
- ◇ حذف ماده آلی: توضیح فرآیندهای بیولوژیکی حذف آلودگی‌های آلی.
- ◇ حذف نیتروژن: بررسی فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون برای کاهش نیتروژن.
- ◇ حذف پیشرفته فسفر: معرفی استراتژی‌ها و فناوری‌های نوین حذف فسفر به صورت بیولوژیکی.
- ◇ تصفیه مبتنی بر سولفور: ارائه روش‌های نوین استفاده از ترکیبات سولفوری در بهبود تصفیه.
- ◇ ضدعفونی فاضلاب: مروری بر روش‌های ضدعفونی پس از تصفیه برای تضمین بهداشت.
- ◇ هوادهی و مخلوط‌سازی: بررسی اصول تأمین اکسیژن از طریق هوادهی و مخلوط‌سازی در سیستم‌های بیولوژیکی.
- ◇ رسوب جمعی: تشریح پدیده افزایش حجم رسوب در سیستم‌های فعال شده و راهکارهای کنترل آن.
- ◇ کنترل فرآیند: مرور استراتژی‌های پیشرفته کنترل برای بهبود کارایی تصفیه.
- ◇ تصفیه بی‌هوازی: بررسی فرآیندهای بی‌هوازی با هدف بازیابی انرژی.
- ◇ تسویه نهایی: بررسی طراحی مخازن تسویه برای جداسازی جامدات از مایع.

اطلاعات بیشتری از این کتاب در لینک زیر موجود است:

<https://iwaponline.com/ebooks/book/871/Biological-Wastewater-TreatmentExamples-and>

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

- جلسات امکان‌سنجی محل همایش ۱۴۰۰ (۱۷ دی ماه)
- برگزاری جلسه شانزدهم شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۱۹ دی ماه)
- برگزاری وینار تخصصی ۵۰ (۱۹ دی ماه)
- برگزاری جلسه نود و ششم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۶ دی ماه)
- برپایی غرفه انجمن در نمایشگاه آب و فاضلاب (۳ تا ۶ بهمن ماه)
- برگزاری مجمع عمومی سالیانه انجمن و انتخابات دوره چهارم هیئت مدیره (۴ بهمن ماه)
- تمدید تفاهم‌نامه با شرکت آبفای کاشان (۸ بهمن ماه)
- برگزاری جلسه نود و هفتم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۱۷ بهمن ماه)
- برگزاری وینار مشترک با دانشگاه صنعتی اصفهان (۲۳ بهمن ماه)
- برگزاری وینار تخصصی ۵۱ (۲۴ بهمن ماه)
- انجام مرحله اول المپیاد آب و فاضلاب (۲۶ بهمن ماه)
- اتمام مهلت مسابقه ایده برتر (۳۰ بهمن ماه)
- برگزاری مصاحبه تاریخ شفاهی (بهمن ماه)
- برگزاری مرحله دوم المپیاد آب و فاضلاب (۱۵ اسفندماه)
- برگزاری وینار تخصصی ۵۲ (۲۱ اسفندماه)
- برگزاری جلسه نود و هشتم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۲ اسفندماه)
- انتشار نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، دوره ۹، شماره ۴، اسفندماه ۱۴۰۳

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
Iran Water & Wastewater Association

Vol. 9, No. 107, February 2025

سال نهم، شماره صد و هفتاد و هفتم، بهمن ۱۴۰۳

مطلب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- فناوری‌های جدید
- معرفی کتاب
- معرفی پروژه‌ها
- معرفی استنادها



همکاران این شماره:

دکتر محمود تاش
دکتر جعفر بزدی
زهرا طغوزانه
محمدرضا سمودی مقدم
سلمان اسپهبدی‌نیا

از سنت تا نوآوری؛ مدیریت آب در روزهای پایانی سال

سخت‌نویس:
سولیا با توجه به وضعیت سیستم‌های تأمین آب به ازای برقی، انجام ساخت و بهره‌برداری از ظرف‌ها به بهترین وجه می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها شود.

سخت‌نویس:
در آستانه بهار و با برگزاری سنت دیرینه خاتمه‌گانی، افزایش فعالیت‌های نظامی در سال‌های منجر به افزایش موفقت مصرف آب می‌شود. این افزایش مصرف، به‌ویژه در شرایطی که با ماه رمضان و مراسم افطاری و همچنین برگزاری مهمانی‌های نوروز همزمان می‌شود، کمبود مصرف آب را تشدید داده و مشکلاتی مانند کاهش فشار آب و عدم یکتا شدن در توزیع را به همراه دارد. برای مقابله با این چالش، کنونی راهکارهای مدیریت جامع ضروری است. اقدامات پیشنهادی شامل تسهیل‌دهی دقیق زمان‌بندی فعالیت‌های نظامی، بهره‌گیری از تجهیزات پیشرفته با مصرف بهینه آب و پیشگیری از هدررفت ناشی از نشتی تأسیسات است. افزون بر این، ترویج فرهنگ مصرف مسئولانه از طریق آموزش و اطلاع‌رسانی و تشویق به استفاده از خدمات تخصصی نگهداری مانند قابلمه‌پوشی و کارواش، نقش مهمی در بهبود کارایی شبکه‌های آبرسانی خواهد داشت. با مشارکت فعال نهادهای دولتی، بخش خصوصی و جامعه علمی، کنونی سیاست‌های مدیریت بهینه می‌تواند اثرات افزایش ناگهانی مصرف آب در ایام خاتمه‌گانی، ماه رمضان و مراسم نوروز را مهار کند. این رویکرد منجر به تأمین یکتا شدن و پایدار آب در این دوره‌های پرچالش شده و هزینه‌های تأمین و تصفیه آب را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

سخت‌نویس:
با نظر به طولانی‌ترین زمان‌های انتظار برای دریافت آب در دوره‌های پرآلودگی، استفاده از روش‌های تصفیه آب در منزل می‌تواند به عنوان راهکار مناسب، جابه‌جا شود.

سخت‌نویس:
۱. نصب سیستم‌های پایش و نظارت
۲. بهره‌برداری از سیستم‌های تصفیه آب
۳. آموزش و ترویج فرهنگ مصرف بهینه

اطلاعات بیشتر: www.iwwa.ir
تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۳۳
پست الکترونیک: info@iwwa.ir
آدرس: تهران، میدان قاجار، بین خیابان قاسمی و رستاق پناه، پلاک ۲۱۹، طبقه ۳، واحد ۳
نشانی اینترنتی: www.iwwa.ir
نشانی کارگزاری: www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
Iran Water & Wastewater Association

Vol. 9, No. 106, January 2025

سال نهم، شماره صد و شصت و ششم، دی‌ماه ۱۴۰۳

مطلب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- فناوری‌های جدید
- معرفی کتاب
- معرفی پروژه‌ها
- معرفی استنادها



همکاران این شماره:

دکتر محمود تاش
دکتر جعفر بزدی
زهرا طغوزانه
محمدرضا سمودی مقدم
سلمان اسپهبدی‌نیا

خاموشی برق، بحران آب: چالش‌ها و راهکارها

سخت‌نویس:
سولیا با توجه به وضعیت سیستم‌های تأمین آب به ازای برقی، انجام ساخت و بهره‌برداری از ظرف‌ها به بهترین وجه می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها شود.

سخت‌نویس:
مشکل فاضلی برقی در روزهای اخیر به یک مسأله قابل توجه تبدیل گشته است. این وضعیت تأثیرات منفی زیادی بر زندگی روزمره افراد گذاشته و مشکلات فراوانی ایجاد کرده است. قطع برق در بسیاری از مناطق تنها به خاموشی تجهیزات صنعتی محدود نمی‌شود، بلکه خطر قطع دسترسی به آب شرب را نیز به همراه دارد. سیستم‌های تأمین آب به انرژی برق وابسته‌اند و هرگونه اختلال در برق، عملکرد تصفیه‌خانه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ را مختل می‌کند. در صورت قطع برق، این سیستم‌ها قادر به تأمین آب نخواهند بود. این مسأله به‌ویژه در مناطق شهری و کلانشهرها می‌تواند ذخایر آب را کاهش داده و دسترسی به آب شرب را تهدید کند. در ساختارهای چندطبقه، بدون عملکرد پمپ‌های تقویت فشار، آب به طبقات بالاتر نمی‌رسد. همچنین، قطع برق باعث توقف فرآیند تصفیه آب شده و ذخایر آبی موجود را کاهش می‌دهد. کاهش فشار آب و تخلیه ذخایر مخازن محلی نیز از دیگر پیامدهای این بحران است. در شرایط فاضلی طولانی‌مدت، ذخایر آبی خانگی و صنعتی تخلیه شده و تأمین دوباره آن دشوار می‌شود. مشکلات جدی قطع برق و کمبود آب که بیشتر نیز هشدار داده شده بود، اکنون نیاز به اقدام فوری دارد. برای مقابله با این بحران، استفاده از زیرساخت‌های پایدار مانند زیرساخت‌های برقی اضطراری و مخازن ذخیره محلی ضروری است. همچنین، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود مدیریت یکپارچه برقی و آب می‌تواند مؤثر باشد. تنها با آگاهی عمومی و برنامه‌ریزی دقیق می‌توان از این بحران‌ها جلوگیری کرده و پایداری منابع حیاتی را تضمین کرد.

سخت‌نویس:
سولیا با توجه به وضعیت سیستم‌های تأمین آب به ازای برقی، انجام ساخت و بهره‌برداری از ظرف‌ها به بهترین وجه می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها شود.

سخت‌نویس:
۱. بررسی سیستم‌های تأمین آب
۲. بررسی سیستم‌های تصفیه آب
۳. آموزش و ترویج فرهنگ مصرف بهینه

اطلاعات بیشتر: www.iwwa.ir
تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۳۳
پست الکترونیک: info@iwwa.ir
آدرس: تهران، میدان قاجار، بین خیابان قاسمی و رستاق پناه، پلاک ۲۱۹، طبقه ۳، واحد ۳
نشانی اینترنتی: www.iwwa.ir
نشانی کارگزاری: www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
Iran Water & Wastewater Association

Vol. 9, No. 108, March 2025

سال نهم، شماره صد و هشتاد و هشتم، اسفند ۱۴۰۳

مطلب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- فناوری‌های جدید
- معرفی کتاب
- معرفی پروژه‌ها
- معرفی استنادها



همکاران این شماره:

دکتر محمود تاش
دکتر جعفر بزدی
زهرا طغوزانه
محمدرضا سمودی مقدم
سلمان اسپهبدی‌نیا

بحران آب تهران؛ هر قطره ارزشمندتر از همیشه

سخت‌نویس:
با کاهش بارندگی در دوره‌های اخیر و افت قابل توجه سطح آب در سد‌ها، تهران در وضعیت بحرانی تأمین آب قرار گرفته است. از این رو، اجرای اقدامات تخصصی و فوری به منظور کاهش تأثیرات بحران ضروری می‌نماید. نصب سیستم‌های پیشرفته اندازه‌گیری و پایش در نقاط بحرانی شبکه، امکان شناسایی نشت‌های احتمالی و اجرای تعمیرات به موقع را فراهم می‌کند. این اقدام می‌تواند موجب کاهش از دست رفتن آب شود و کارایی شبکه‌های توزیع آب را افزایش دهد. علاوه بر این، استفاده از ابزارهای دیجیتال برای اجرای جرم‌بندی دقیق آب در سطح خانوارها و نواحی مختلف، موجب کنترل مصرف غیرضروری و توزیع متصفه‌شده آب خواهد شد. همچنین، بهره‌گیری از فناوری‌های بازیافت آب فاضلاب و استفاده از آن در مصارف غیرآشامیدنی، به عنوان یک راهکار سریع و عملی، می‌تواند فشار وارده بر منابع اصلی آب را کاهش دهد. از سوی دیگر، با اینکه بارش‌های بهاری می‌تواند ذخایر آبی را افزایش دهد، نوسانات آن قابل اتکا نیست. از این رو، بودجه‌بندی دقیق و تخصیص منابع مالی برای بهبود و نگهداری زیرساخت‌های آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در نهایت، ترکیب اقدامات فنی دقیق، جرم‌بندی هوشمند و بهره‌گیری از منابع مالی اختصاصی‌رفته، می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات بحران و تضمین تأمین آب پایدار در شهر تهران ایفا کند.

سخت‌نویس:
۱. نصب سیستم‌های پایش و نظارت
۲. بهره‌برداری از سیستم‌های تصفیه آب
۳. آموزش و ترویج فرهنگ مصرف بهینه

اطلاعات بیشتر: www.iwwa.ir
تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۳۳۳۳
پست الکترونیک: info@iwwa.ir
آدرس: تهران، میدان قاجار، بین خیابان قاسمی و رستاق پناه، پلاک ۲۱۹، طبقه ۳، واحد ۳
نشانی اینترنتی: www.iwwa.ir
نشانی کارگزاری: www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir
نشانی www.iwwa.ir

لینک آپارات	موضوع (ارائه دهنده)	رویداد	ردیف
https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845	ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب (دکتر عبدالله رشیدی)	وبینارهای تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	۱
https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=28327448	راه کارهای بهبود کیفیت پساب برکه‌های تثبیت فاضلاب (دکتر حسین ساسانی)		
https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530	مروری بر ظرفیت‌های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه آب کشور (دکتر مجتبی شفیعی)		
https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237	نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)		
https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968	مدیریت شورابه‌های ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی با تاکید بر فناوری‌های ZLD (دکتر عباس اکبرزاده)		
https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673	چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب (دکتر مسعود یونسین، مهندس سلیمه رضایی‌نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)		
https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803	ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری قابلیت‌ها و محدودیت‌ها (دکتر کوروش بهزادپان)		
https://www.aparat.com/v/FPtCY?playlist=34242002	سواد آبی در جوامع شهری (دکتر شروین جمشیدی)		
https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047	تأثیرات شرایط اقلیمی بر روی ظرفیت شبکه‌ها و شکست (دکتر احسان روشنی)		
https://www.aparat.com/v/W8P7J?playlist=35547113	ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA) (مهندس هانیه صفرپور)		
https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652	کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب (دکتر سیدحسین سجادی‌فر)		
https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753	توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با رویکرد تمرکززدایی (دکتر علی حقیقی)		
https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090	نقشه‌راه برای ارتقای شبکه‌های آبرسانی موجود به هوشمند (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)		
https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690	مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب (دکتر مسعود تابش)		
https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474	آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط‌زیست و بهداشت محیط (دکتر رحیم عالی)		
https://www.aparat.com/v/hwC9I?playlist=39248099	بررسی ۲۵,۰۰۰ مقاله محیط‌زیست برای یافتن داغترین موضوعات تحقیقاتی (دکتر علیرضا بازارگان)		
https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537	توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور لحاظ دریاچه‌ها و مخازن (دکتر شروان قراری)		
https://www.aparat.com/v/epxDt	مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در ژاپن (دکتر یحیی محزون)		
https://www.aparat.com/v/EaeTg	سیستم‌های آبی پایدار و تاب‌آور (دکتر راضیه فرمانی)		
https://www.aparat.com/v/3sxtT?playlist=737673	ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های توزیع آب (دکتر سعید هاشمی)		
https://www.aparat.com/v/Fcvyw?playlist=737673	بازچرخانی و مدیریت کیفی زهاب‌های کشاورزی (دکتر بهمن یارقلی)		

https://www.aparat.com/v/IFHhK?playlist=737673	بازچرخانی آب‌های خاکستری در ساختمان‌های بلندمرتبه و مجتمع‌های مسکونی جدید در قالب مباحث الزامی جهت ساخت مسکن (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)
https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673	مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب شهری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)
https://www.aparat.com/v/D7BvT	طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر امین ابراهیم بخشی پور)
https://www.aparat.com/v/rKPvH/	چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع آب (دکتر مهدی دینی)
https://www.aparat.com/v/jTbgx/	مدلسازی سیلاب و زهکشی شهری - اهمیت و رویکردها و مقدمه‌ای بر مدل TU-FLOW و کاربردهای آن (دکتر حامد توکلی‌فر، دکتر دانکن کیتس)
https://www.aparat.com/v/Nig5q/	کاربرد متدولوژی ارزش برای بهبود پروژه‌های بزرگ آب و آبفا (دکتر کامران امامی)
https://www.aparat.com/v/AxQw3	آلودگی منابع آب و خاک به آرسنیک و روش‌های پالایش آن (دکتر بهمن یارقلی)
https://www.aparat.com/v/kdcZC	مدل‌های داده‌محور و برخط پیش‌بینی سیلاب در سیستم‌های جمع‌آوری آب باران شهری (مهندس فرزاد پیاده)
https://www.aparat.com/v/cQevG	پیل سوختی میکروبی به‌عنوان یک راه‌حل پایدار برای تصفیه فاضلاب: از تحقیق تا کاربرد (دکتر علیرضا ولی‌پور مرنندی)
https://www.aparat.com/v/zNPCU	بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب: وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو (دکتر مسعود طاهریون)
https://www.aparat.com/v/AOrNB	اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب‌های شهری: از مدل‌سازی تا رویکردهای مدیریتی مبتنی بر توسعه پایدار (دکتر یاسر طهماسبی بیرگانی)
https://www.aparat.com/v/5SVaJ	نبرد شبکه‌های متمرکز و غیرمتمرکز: جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی (مهندس سینا حصارکزازی)
https://www.aparat.com/v/Q3Sck	مدیریت ناترازی تولید و مصرف آب با تکیه بر مدیریت مصرف آب (دکتر عباس اکبرزاده)
https://www.aparat.com/v/Onls2	واکاوی تجربه کشور چین در حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت مصرف آب (دکتر بنفشه زهرایی)
https://www.aparat.com/v/TtlmP	ضربه آبی، چرا و چگونه؟ از مفاهیم تا اجرا (مهندس ابوالفضل رضایی‌راد)
https://www.aparat.com/v/ieWtp	پکیج‌های تصفیه فاضلاب: معیارهای طراحی و روش ساخت (مهندس حمیدرضا خسروجردی)
https://www.aparat.com/v/DeoFP	سپتاز، یک معضل محیط‌زیستی کشور، چالش‌ها، راه‌حل‌ها

	(دکتر ذبیح اله یوسفی)		
https://apararat.com/v/Fvb7q	قدرت تحول آفرین سنجش از دور و هوش مصنوعی (دکتر احد نظریور)		
https://www.apararat.com/dashboard/vidostat/185Cp	مطالعه ترکیبات مختل کننده غدد درون ریز (EDCs) در رودخانه کارون و تصفیه خانه فاضلاب (دکتر علی اکبر بابائی)		
https://apararat.com/v/n5B73	بررسی انواع میکرو پلاستیک ها و استر فتالات ها در فاضلاب و نقش واحدهای تصفیه خانه فاضلاب در حذف آن ها (مطالعه موردی تصفیه خانه فاضلاب اهواز) (دکتر افشین تکدستان)		
https://www.apararat.com/v/JL0OZ	معرفی نسل جدید مواد اولیه PE100-RD مناسب جهت لوله و اتصالات پلی اتیلنی مورد استفاده در سامانه های لوله گذاری انتقال آب با گندزاداهای پایه کلر (دکتر غلامرضا پیرچراغی، مهندس حمیدرضا شمسی و مهندس علیرضا صحاف امین)		
https://www.apararat.com/v/XIujP	چرخه معیوب آب بدون درآمد و مکانیسم نشت آب شناخت و راهکار (مهندس محمدرضا عزیزی)		
https://www.apararat.com/v/yas7w5j	مدل یادگیری ماشین ارتقا یافته توسط فیزیک مسئله برای مدل سازی شبکه های جمع آوری فاضلاب (دکتر علی حقیقی)		
https://www.apararat.com/v/vrwl09a	ارتقای عملکرد تصفیه خانه های فاضلاب به کمک ابزار مدل سازی و استراتژی های کنترل هوشمند (مهندس علی خواجهیان)		
https://www.apararat.com/v/qxu7o4r	نحوه طراحی، نگهداری و تعمیرات و تعویض شیرآلات شبکه های توزیع آبرسانی شهری (مهندس روح الله توکلی)		
https://www.apararat.com/v/rbq717e	چالش های مدل سازی شبکه توزیع آب در شرکت های آب و فاضلاب (مهندس محمدامین غیبی)		
https://apararat.com/v/ckv6314	کاربرد مدل پویایی سیستم در مدیریت و برنامه ریزی آب شهری (مهندس صادق دانش پژوه)		
https://www.apararat.com/v/iojt09e	نمک زدایی آب در ایران: وضعیت موجود، چالش ها و فرصت ها (دکتر مسعود طاهریون)		
https://www.apararat.com/v/xpl25f3	شبکه های توزیع آب هوشمند با رویکرد پایش شبکه آب و مدل های داده مبنا (مهندس محمد رجیبی)		
https://apararat.com/v/nqkqe80	تعیین محل نشت ها در شبکه های توزیع آب به روش شبیه سازی هیدرولیکی (دکتر رضا معاشری)		
https://www.apararat.com/v/znmnpnv/	بررسی نوسانات جریان در شبکه های توزیع آب شهری با وجود مخازن ذخیره آب داخل ساختمان ها (دکتر رامتین مظاهری)		
https://irwwa.ir	مسائل و چالش های کلیدی برای مدیریت شبکه های توزیع آب در شرایط عدم قطعیت		

	(Prof. Maria Conceicao Cunha)		
https://apararat.com/v/oorl4x9	مدل‌های شکست برای سیستم‌های آب شهری: قابلیت انتقال و عدم قطعیت‌ها (Dr-Ing. Bahnam Askari Lasaki)		
https://www.apararat.com/v/6OhwE?playlist=31020035	سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	۲
https://www.apararat.com/v/IXWfd?playlist=31174320	تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.apararat.com/v/7JxVU?playlist=35531526	هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.apararat.com/v/lSgM7?playlist=31219788	بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.apararat.com/v/tn4E9?playlist=32316111	چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/DZzYX?playlist=879646	تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.apararat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246	استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.apararat.com/v/o1gel?playlist=36877054	چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آتی نیرو در حوزه آب		
https://www.apararat.com/v/LxjEw?playlist=879646	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/s3lwQ?playlist=879646	کاهش تلفات واقعی		
https://www.apararat.com/v/nBNj5?playlist=879646	تلفات ظاهری آب		
https://www.apararat.com/v/PO35T?playlist=879646	مدیریت مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/xyr2O?playlist=879646	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.apararat.com/v/dVKvu?playlist=879646	مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.apararat.com/v/hEXdv?playlist=879646	مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود		
https://www.apararat.com/v/Ax3cG?playlist=879646	دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		
https://www.apararat.com/v/xyr2O	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.apararat.com/v/BFhCa	رویکردهای برنامه ایمنی آب		
https://www.apararat.com/v/LxjEw	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/Lzf1g	چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی		
https://www.apararat.com/v/B5Lle	تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.apararat.com/v/41JAS	چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://apararat.com/v/jBUwJ	بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب		
https://apararat.com/v/eotT5	مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب		
https://apararat.com/v/qOUfQ	راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی		
https://apararat.com/v/yLr1g40	نشست تخصصی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها		
https://apararat.com/v/wjprm10	نشست تخصصی کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب		
https://apararat.com/v/cawfci9	نشست تخصصی مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.apararat.com/v/hcuOk?playlist=5771644	مراسم افتتاحیه	اولین کنگره علوم و مهندسی آب و	۳
https://www.apararat.com/v/j2IAK?playlist=5771644	نشست تخصصی اول؛ سیاست‌های تأمین آب شرب در ایران		
https://www.apararat.com/v/LajYD?playlist=5771644	نشست تخصصی دوم؛ سیاست‌های صنعت جمع‌آوری فاضلاب و بازیافت پساب		

https://www.aparat.com/v/6LBfm?playlist=5771644	نشست تخصصی سوم؛ تأثیر مسائل اجتماعی، فرهنگی و مشارکت جامعه در مدیریت مصرف آب	فاضلاب ایران (۱۳۹۵)	۴
https://www.aparat.com/v/hr4Un?playlist=5771644	مراسم اختتامیه	اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	
https://www.aparat.com/v/AmjKX	مراسم افتتاحیه	دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی (۱۳۹۷)	۵
https://www.aparat.com/v/PO35T	نشست تخصصی اول؛ مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/nBNj5	نشست تخصصی دوم؛ تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/s3lwQ	نشست تخصصی سوم؛ کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/wmjDk	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/SAOxw	مراسم افتتاحیه	دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی (۱۳۹۷)	۶
https://www.aparat.com/v/hEXdv	نشست تخصصی اول؛ مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود		
https://www.aparat.com/v/dVKvu	نشست تخصصی دوم؛ مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم‌آبی		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG	نشست تخصصی سوم؛ دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		
https://www.aparat.com/v/pYO7g	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/SHiuG	مراسم افتتاحیه	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	۷
https://www.aparat.com/v/tn4E9	نشست تخصصی اول؛ چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/DZzYX	نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ	نشست تخصصی سوم؛ استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.aparat.com/v/nQ2Ez	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/V7BNT	مراسم افتتاحیه	اولین همایش ملی	۸
https://www.aparat.com/v/6OhwE	نشست تخصصی اول؛ سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور		
https://www.aparat.com/v/IXWfd	نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU	نشست تخصصی سوم؛ هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/lSgM7	نشست تخصصی چهارم؛ بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/cGUln	کلینیک صنعت اول؛ شبکه‌های توزیع آب		
https://www.aparat.com/v/ntsvY	کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/Fz5wu	کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه فاضلاب و بازیافت آب		
https://www.aparat.com/v/IKLRc	کلینیک صنعت چهارم؛ شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/yLp7u	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/FWHLM	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/xyr2O	نشست تخصصی اول؛ نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب		

	به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور	مدیریت	
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی دوم؛ رویکردهای برنامه ایمنی آب	کیفیت آب	
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نشست تخصصی سوم؛ نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب	و سومین	
https://www.aparat.com/v/5c82a	کلینیک صنعت اول؛ محور شبکه‌های توزیع آب و کاهش هدررفت	همایش ملی	
https://www.aparat.com/v/KnEdF	کلینیک صنعت دوم؛ محور بازیافت آب	مدیریت	
https://www.aparat.com/v/A5wkz	کلینیک صنعت سوم؛ محور کیفیت آب	مصرف آب	
https://www.aparat.com/v/OgGXj	مراسم اختتامیه	(۱۴۰۰)	
https://www.aparat.com/v/OB57I	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی	چهارمین	
https://www.aparat.com/v/B5Lle	نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد	کنگره علوم	
https://www.aparat.com/v/41JAS	نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز	و مهندسی	
https://www.aparat.com/v/16VTE	کلینیک صنعت اول؛ محور کیفیت آب	آب و	
https://www.aparat.com/v/PupUv	کلینیک صنعت دوم؛ محور شبکه‌های توزیع و هدررفت آب	فاضلاب	
https://www.aparat.com/v/hr8Qs	کلینیک صنعت سوم؛ محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب	ایران	
https://www.aparat.com/v/nRdX3	مراسم اختتامیه	(۱۴۰۱)	
https://www.aparat.com/v/kIHYq	پیام آقای مهندس محمودیان		
https://www.aparat.com/v/Uaun9	کارگاه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/dashboard/vidostat/UwoCu	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/dashboard/vidostat/YHG53	سخنرانی جناب آقای دکتر مهدی قاسمیه	دومین	
https://www.aparat.com/dashboard/vidostat/Q5jre	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تابش	همایش ملی	
https://www.aparat.com/dashboard/vidostat/Ovg0e	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تجریشی	کیفیت آب	
https://www.aparat.com/v/Zz6aS	سخنرانی سرکار خانم دکتر سمیه رفیعی	و چهارمین	
https://www.aparat.com/dashboard/vidostat/Gs89r	مراسم تجلیل از پیشکسوتان برگزیده	همایش ملی	
https://www.aparat.com/v/jBUwJ	نشست تخصصی اول؛ بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب	مدیریت	
https://www.aparat.com/v/eofT5	نشست تخصصی دوم؛ مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب	مصرف آب	
https://www.aparat.com/v/qOUfQ	نشست تخصصی سوم؛ راه‌کار و چالش‌های سرمایه‌گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه‌های آبرسانی	با رویکرد	
https://www.aparat.com/v/GDMw7	کلینیک صنعت اول؛ طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب و مدیریت مصرف	کاهش	
https://www.aparat.com/v/HuZRi	کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب و پساب	هدررفت و	
https://www.aparat.com/v/nCJ0p	کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی	بازیافت	
https://www.aparat.com/v/j90wr	مراسم اختتامیه	(۱۴۰۲)	
https://www.aparat.com/v/fhttc6r	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/ylr1g40	نشست تخصصی فرونشست زمین، چالش‌ها و راه‌کارها	پنجمین	
https://www.aparat.com/v/wjprm10	نشست تخصصی کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب	کنگره علوم	
https://www.aparat.com/v/cawfci9	نشست تخصصی مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب	و مهندسی	
https://www.aparat.com/v/wyioho8	کلینیک صنعت-محور طراحی و بهره‌برداری از شبکه توزیع آب و مدیریت مصرف	آب و	
https://www.aparat.com/v/bxcbjtu	کلینیک صنعت - محور تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی	فاضلاب	
https://www.aparat.com/v/iyzomj1	مراسم اختتامیه	ایران	
		(۱۴۰۳)	

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکنندگان	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
اولین کنفرانس ملی هیدروژئولوژی ایران	دانشگاه تبریز	دانشگاه تبریز	۲۰ و ۲۵ اردیبهشت ماه ۱۴۰۴	https://hydrogeo.tabrizu.ac.ir/
نخستین کنفرانس هیدروانفورماتیک و هوش مصنوعی در مهندسی آب	دانشگاه فردوسی مشهد	دانشگاه فردوسی مشهد	۲۶ و ۲۷ شهریورماه ۱۴۰۴	HYDROAI.UM.AC.IR
چهاردهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران	دانشگاه صنعتی شریف	دانشگاه صنعتی شریف	۲ مهرماه تا ۱ آبان ماه ۱۴۰۴	https://14icce.sharif.edu/
بیست و چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران	انجمن هیدرولیک ایران - دانشگاه بیرجند	دانشگاه بیرجند	۷ و ۸ آبان ماه ۱۴۰۴	https://www.conf.iha.ir/
پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت و سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب	انجمن آب و فاضلاب ایران		آذرماه ۱۴۰۴	https://iwwa-conf.ir/

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
IWA Resource Recovery Cluster Conference – Supported	Leeuwarden, Netherlands	19 – 23 May 2025	https://www.wetsus.nl/iwa-rr-2025/
11th Microbial Ecology and Water Engineering (MEWE) Conference: Managing Water Microbiomes	Atlanta/United States of America	03 - 05 Jun 2025	http://www.mewe11.org
22nd Health-Related Water Microbiology Conference	Amersfoort, Netherlands	15 – 20 June 2025	https://watermicro2025.nl/
7th IWA International Conference on eco-Technologies for Wastewater Treatment	Stockholm, Sweden	23 – 26 June 2025	https://www.ecostp2025.org/
14th IWA Specialist Group for Instrumentation, Control, and Automation (ICA)	Oslo/Norway	30 Jun - 02 July 2025	iwa-ica2025.net
12th International Water Association Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries	Turkey	10 - 12 Sep 2025	https://agro2025.itu.edu.tr/
IWA Membrane Technology Conference 2025	Austria	15 – 19 September 2025	https://mtc2025.org/
13th Urban Drainage Modelling Conference	Innsbruck, Austria	15 – 19 September 2025	http://www.udm2025.org/
IWA Efficient Conference 2025	Netherlands	17 - 19 Sep 2025	https://www.awa.asn.au/efficient2025
7th Young Water Professional Mexico Regional Conference	Mexico	24 - 26 Sep 2025	https://7th-iwa-ywpmexico-2025.com/
10th IWA-ASPIRE Conference and Water New Zealand Conference & Exhibition	New Zealand	29 Sep – 3 Oct 2025	https://www.iwaaspire2025.org/
The 19th IWA Conference on Sludge Management - Toward Material Cycle and Low Carbon Society	Kyoto/Japan	21-24 October 2025	Iwa-19th-sludgemanagement.jp
IWA XV Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion: Contributing to the energy transition and decarbonization	Brazil	14 – 17 Oct 2025	https://daal.ufc.br/?lang=en
The 19th IWA Conference on Sludge Management - Toward material cycle and low carbon society	Japan	21 – 24 Oct 2025	https://iwa-19th-sludgemanagement.jp/
IWA Water and Development Congress & Exhibition 2025	Thailand	8 – 12 Dec 2025	https://waterdevelopmentcongress.org/



پنجمین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۳



یادواره

پروفسور ناصر رازقی

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

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۳

مرحله دوم: به صورت تشریحی

(متعاقباً اعلام می شود)

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

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

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

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

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

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۱۰۰ هزار تومان

سایرین: ۱۵۰ هزار تومان



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

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



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

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

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

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

iwwa.competitions@gmail.com

ارسال فرمایید.

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





تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب

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

بر اساس اولین بار ثبت تاریخ
صنعت آب و فاضلاب از
دریچه دوربین ما از زبان خبرگان
این صنعت



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



https://t.me/OH_iwwa



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

نام شرکت	سطح عضویت	لوگو
مهندسين مشاور آبساران	الماسی	 <p>آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir</p>
شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	الماسی	 <p>وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (مادر تخصصی)</p> <p>شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان</p>
شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی	الماسی	 <p>وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (مادر تخصصی)</p> <p>شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی</p>
مهندسين مشاور طرح و تحقیقات اصفهان	الماسی	 <p>مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب فاضلاب</p>
شرکت آب و فاضلاب کاشان	الماسی	 <p>وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (مادر تخصصی)</p> <p>شرکت آب و فاضلاب کاشان</p>
فرآیند ارقام پرداز	الماسی	 <p>FAPCO® شرکت فرآیند ارقام پرداز</p>
شرکت آب و فاضلاب مشهد	طلایی	 <p>وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب مشهد (مادر تخصصی)</p>
فناور ایمن لوتوس	طلایی	 <p>شرکت فناور ایمن لوتوس</p>
شرکت مهندسی خطوط لوله توانا	طلایی	 <p>TAVANA</p>

 <p>طوس آب شرکت مهندسی مشاور</p>	نقره‌ای	مهندسی مشاور طوس آب
 <p>مهندسین مشاور پارس آبرین آب</p>	نقره‌ای	مهندسین مشاور پارس آبرین آب
 <p>پویاک</p>	نقره‌ای	پویاک
 <p>صنایع و اکيوم پارس</p>	نقره‌ای	صنایع و کیوم پارس
 <p>مهندسین مشاور آبران</p>	نقره‌ای	مهندسین مشاور آبران
 <p>زعدآب</p>	نقره‌ای	خدمات مهندسی برق و الکترونیک رعدآب
 <p>رشاب طرح</p>	نقره‌ای	رشاب طرح
 <p>POD Persia Optimized Designing شرکت بهینه طراحی پرشیا</p>	نقره‌ای	بهینه طراحی پرشیا
 <p>مهندسین مشاور زاینده آب سهام خاص ZAYANDAR CONSULTING ENGINEERS CO.</p>	نقره‌ای	زاینده آب
 <p>مهندسین مشاور یکم</p>	برنزی	مهندسین مشاور یکم
 <p>ABRAM ETTESAL</p>	برنزی	آبان بسیار پارسیان
 <p>مگا MGE فراگیر انرژی و پالایش مادیار Madyar Global Energy And Water Treatment Co</p>	برنزی	فراگیر انرژی و پالایش مادیار

 <p>هپیکو Hapico</p>	برنزی	خط لوله هامون (هپیکو)
 <p>S.A.A Sanjesh Afzar Asia Co. Ltd.</p>	برنزی	سنجش افزار آسیا
 <p>وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور شرکت آب و فاضلاب استان فارس</p>	برنزی	آب و فاضلاب فارس
 <p>شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی</p>	برنزی	شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی
 <p>مهندسين مشاور آينده ميترا</p>	برنزی	مهندسين مشاور آينده ميترا
 <p>گوه صیبا شرکت مهندسی و سافت بوئیر و تجهیزات مینا</p>	برنزی	شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا
 <p>آب سو شرکت مهندسی مشاور آب سو</p>	برنزی	شرکت مهندسی مشاور آب سو
 <p>FANAVARAN KHERAD RAD Industrial company شرکت مهندسی فن آوران خرد راد</p>	برنزی	شرکت مهندسی فن آوران خرد راد
 <p>فراآیند زیست ثبت: ۸۴۲۶۶</p>	برنزی	شرکت فرآیند زیست
	برنزی	شرکت دریارود جنوب

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

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۲۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۴۰۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۹۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۱۲۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

حق عضویت اعضای حقیقی

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

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبا: IR930180000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

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

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

جدول مزایای اعضای حقوقی طرح جدید

الماسی (سالانه ۲۵) (میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۲۰) (میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۱۵) (میلیون تومان)	برنزی (سالانه ۱۰) (میلیون تومان)	سطح عضویت (مبلغ پرداختی) مزایای عضویت
۱۵ سالانه میلیون تومان	۱۲ سالانه میلیون تومان	۸ سالانه میلیون تومان	۵ سالانه میلیون تومان	دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در ذیل جدول شرح داده شده است)
*	*	*	*	درج لوگوی شرکت در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و خبرنامه و سایت انجمن (با مشخص بودن سطح عضویت) در مدت زمان عضویت
*	*	*	*	دریافت اشتراک یک ساله نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به صورت رایگان (۴ شماره) در مدت زمان عضویت
*	*	*	*	درج رایگان آگهی نیم صفحه (با متن دلخواه) در یک شماره نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب در مدت زمان عضویت
*	*	*	*	ارائه ۵۰٪ تخفیف در اجاره غرفه نمایشگاهی هم‌زمان با همایش‌های سالانه انجمن در مدت زمان عضویت (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)
*	*	*	*	امکان انتقال ۵۰٪ از اعتبار باقیمانده به سال بعد (در صورت تمدید عضویت)
*	*	*	*	امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس پروژه‌ها و عملکرد محصولات و ...) مشترک با انجمن (پس از ارائه پروپوزال و انجام هماهنگی‌های لازم) در مدت زمان عضویت
*	*	*	*	دریافت گواهی عضویت دوزبانه
*	*	*	*	دریافت پرچم رومی‌زی انجمن آب و فاضلاب ایران

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

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

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

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

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

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

- فایل حق چاپ (Copy Right): نام‌ای 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): نام‌ای 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 حروف چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013 یا بالاتر

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

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

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

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

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

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

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

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

❖ چکیده فارسی:

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

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

❖ متن مقاله:

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

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

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

❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

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

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

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

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

❖ معادلات:

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

❖ مراجع:

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

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

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

در نگارش انواع مراجع از فرمت زیر استفاده شود:

• مقاله فارسی:

تابش، م.، بهبودیان، ص.، و بیگی، س.، (۱۳۹۳)، "پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب شرب (مطالعه موردی: شهر نیشابور)"،

تحقیقات منابع آب/ایران، ۱۰(۳): ۱۴-۲۵.

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

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

• مقاله غیر فارسی:

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

• مقاله منتشر نشده:

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

• کتاب:

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

• بخشی از کتاب:

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

• موسسه به جای نویسنده:

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

• مقالات کنفرانسی:

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

• پایان نامه:

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

• سایت اینترنتی:

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

دستورالعمل استفاده از هوش مصنوعی و مدل‌های زبانی

در تهیه مقالات

مقدمه

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

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

۱- استفاده از هوش مصنوعی به‌عنوان دستیار پژوهشی و

ابزار ویرایش

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

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

نتایج پژوهشی

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

۳- شفاف‌سازی در مورد استفاده از هوش مصنوعی

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

۴- استفاده از هوش مصنوعی در جستجوی منابع علمی

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

۵- حفظ استقلال علمی پژوهشگران و اصالت تحقیقات

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

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

۶- مسئولیت‌پذیری نویسندگان در برابر محتوا

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

نتیجه‌گیری

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

❖ تذکر مهم:

براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۴ به مجله ارسال می‌شود باید مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ پنج میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۳۱۰۱-۰۹۹۰-۸۳۷۰-۵۸۵۹ به‌نام انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه دانشگاه (کد ۱۸۶) واریز و فیش آن را به‌همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 9, No. 4, Winter 2025

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

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

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

Editorial Board:



Farmani, R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Exeter (UK)
Giustolisi, O. (Ph.D.): Professor, University of Bari (Italy)
Jalili Ghazizadeh, M.R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Nazif, S. (Ph.D.): Associate Professor, University of Tehran
Rashidi Mehrabadi, A. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Safavi, H.R. (Ph.D.): Professor, Isfahan University of Technology
Sajadifar, S.H. (Ph.D.): Tehran Water and Wastewater Engineering Company and Assistant Professor, Islamic Azad University
Sarrafzadeh, M.H. (Ph.D.): Professor, University of Tehran and Chairholder of UNESCO Chair on Water Reuse
Savic, D. (Ph.D.): Professor, University of Exeter (UK)
Tabesh, M. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Takdastan, A. (Ph.D.): Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Science
Talebbeydokhti, N. (Ph.D.): Professor, Shiraz University
Tanyimboh, T. (Ph.D.): Associate Professor, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa
Torabian, A. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Vosoghi, M. (Ph.D.): Professor, Sharif University of Technology
Yazdi, J. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti

Industrial Water and Wastewater Policy Council:

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

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



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 9, No. 4, Winter 2025

Preface (New Strategies for Identifying and Controlling Pollution in Water Distribution Networks: From Real-Time Monitoring to Artificial Intelligence) 2
Dr. Jafar Yazdi

Papers

Review of Rapid Identification Methods of Bacteria in Water and Wastewater 3
Mahdi Asadi

Biosorption of Nickel Heavy Metal from Aqueous Solutions Using Microalgae *Chaetoceros sp.* 15
Nastaran Hajili, Mahnaz Sadat Sadeghi and Farnaz Rafiei

Investigating the Effect of Urban Wastewater Sludge on Color Quality and Growth Performance of Safflower Plant (*Carthamus tinctorius*) 27
Anahita Rashtian, Sayed Mohammad Mosavi Hasanabad, Afagh Abandeh Saravi and Sayed Abolfazel Varasta

Performance Evaluation of Ceramic Membranes in the Pre-treatment of Reverse Osmosis for the Removal of Suspended Solids and Organic Matter from Well Water 37
Hannaneh Estabar and Mohammad Saleh Shafeeyan

Creating Districted Metered Areas in the Water Distribution Network Using Optimal Selection Indices 57
Mohammad Kakeshpour, Mohammadreza Jalili Ghazizadeh, Seyed Abbas Hoseyni and Ahmad Sharafati

Determining the Risk Level of Water Supply Wells in Imam Ali Rural Complex of Mashhad City by FMEA Method 70
Samaneh Moqarab Elahi and Hashem Kouchakzadeh Dandansaz

General Section

Round-Table (Scientific Meeting on Land Subsidence, Challenges and Solutions) 79

Best Thesis 90

Book Presentation 92

IWWA News 93