



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هشتم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هشتم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

انجمن آب و فاضلاب ایران

۲ پیشگفتار (هوشمندسازی سامانه‌های آبرسانی: مسیری اجتناب‌ناپذیر برای صنعت آب و فاضلاب کشور)
دکتر ستار صالحی

مقالات علمی

۳ مروری بر حذف بور از آب دریا با استفاده از فناوری اسمز معکوس
زهره موسوی‌نسب، شیدا اسمعیل‌زاده و امیرحسین حقیقی

۱۵ مروری بر عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون اصلاح شده با نانومواد معدنی، کربنی و ترکیبی از آن‌ها
فاطمه پسندیده پور، فواد غلامی و آذر اسدی

۲۹ حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين با روش اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده توسط سرباره صنایع
فولاد از پساب دارویی
ناصر مهرداد، افشین تكدستان، لاله خسروی‌پور، غلامرضا نبی بیدهندی و معصومه طاهریان

۴۱ ارزیابی تلفیق روش‌های مدیریت فشار با عملیات مدیریت شبکه به منظور کاهش هدررفت آب با استفاده از
تکنیک تصمیم‌گیری تاپسیس - ویکور
محمدهادی حقیقت‌نژاد، رضا توکلی مقدم و حسین عموزاده خلیلی

۴۹ تعیین میزان سرانه شرب در راستای اجرای پروژه جداسازی آب شرب و بهداشتی (مطالعه موردی: حوزه شهری
بجستان)
فاطمه محمدزاده، محمدرضا اختصاصی، سید زین‌العابدین حسینی، عبدالرسول نگارش و محمد علایی

۶۰ بررسی نقش بازاریابی داخلی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت بر قصد ترک شغل و نقش میانجی‌گری تعهد
سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان
ابوالفضل خسروی، مهدی فتحیان نجف‌آبادی، محمد رضا فتحی، سمیه رضی محب سراج و روح‌الله جوادی

مطالب عمومی

۷۱ مصاحبه (دکتر عباس اکبرزاده)

۷۳ میزگرد (نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی)

۹۱ پایان‌نامه برتر

۹۵ معرفی کتاب

۹۶ ایده برتر

۹۸ اخبار انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

این نشریه دارای مجوز کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، به شماره ۱۲۹/۳/۱۸/۲۹۰ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ و مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ۸۶۰۹۲ مورخ ۱۳۹۸/۱۰/۳۰ است.

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر تیکو تانیمبو: دانشیار، دانشگاه ویت واتر سراند، ژوهانسبورگ، آفریقای جنوبی

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

دکتر افشین تكدستان: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاپور اهواز

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

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

دکتر دراگان ساویچ: استاد، دانشگاه اگزتر، لندن

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

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

بازیافت آب

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

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

دکتر راضیه فرمانی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان

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

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

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

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

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

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

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

ناهید اختری

ناهید اختری، دکتر سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

فرشیوه

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه



شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

چاپ:

پیشگفتار (دکتر ستار صالحی: هوشمندسازی سامانه‌های آبرسانی: مسیری اجتناب‌ناپذیر برای صنعت آب و فاضلاب کشور) ۲

مقالات علمی

مروری بر حذف بور از آب دریا با استفاده از فناوری اسمز معکوس ۳
زهره موسوی‌نسب، شیدا اسمعیل‌زاده و امیرحسین حقیقی

مروری بر عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون اصلاح شده با نانومواد معدنی، کربنی و ترکیبی از آن‌ها ۱۵
فاطمه پسندیده پور، فواد غلامی و آذر اسدی

حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين با روش اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده ۲۹
توسط سرباره صنایع فولاد از پساب دارویی
ناصر مهردادی، افشین تکدستان، لاله خسروی‌پور، غلامرضا نبی بیدهندی و معصومه طاهریان

ارزیابی تلفیق روش‌های مدیریت فشار با عملیات مدیریت شبکه به منظور کاهش هدررفت آب ۴۱
با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری تاپسیس - ویکور
محمدهادی حقیقت‌نژاد، رضا توکلی‌مقدم و حسین عموزاد خلیلی

تعیین میزان سرانه شرب در راستای اجرای پروژه جداسازی آب شرب و بهداشتی ۴۹
(مطالعه موردی: حوزه شهری بجستان)
فاطمه محمدزاده، محمدرضا اختصاصی، سید زین‌العابدین حسینی، عبدالرسول نگارش و محمد علایی

بررسی نقش بازاریابی داخلی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت بر ۶۰
قصد ترک شغل و نقش میانجی‌گری تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان
ابوالفضل خسروی، مهدی فتحیان نجف آبادی، محمد رضا فتحی، سمیه رضی محب سراج و روح الله جوادی

مطالب عمومی

مصاحبه (دکتر عباس اکبرزاده) ۷۱
میزگرد (نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی) ۷۳
پایان‌نامه برتر ۹۱
معرفی کتاب ۹۵
ایده برتر ۹۶
اخبار انجمن ۹۸



هوشمندسازی سامانه‌های آبرسانی: مسیری اجتناب‌ناپذیر برای صنعت آب و فاضلاب کشور



دکتر ستار صالحی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار،
عضو کارگروه ملی هدررفت واقعی در شبکه‌های توزیع آب و
عضو هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران

توسعه روزافزون فناوری در تمام جوانب زندگی بشر در سطح دنیا کاملاً محسوس و غیرقابل انکار است. در همین راستا کاربرد فناوری‌های پیشرفته در صنایع مختلف هم‌چون صنایع مرتبط با جوامع بشری نیز مورد توجه بسیاری از دولتمردان در کشورهای مختلف قرار گرفته است. به‌طوری‌که عملاً بسیاری از فرآیندهای پیچیده عملیاتی در این صنایع بدون استفاده از فناوری‌های پیشرفته، غیرقابل تحلیل و برنامه‌ریزی خواهد بود؛ و یا حداقل مدیریت این فرایندها را با مشکلات متعددی مواجه خواهد نمود. صنعت آب و فاضلاب یکی از مهم‌ترین صنایع مرتبط با جوامع بشری است که در اجزای مختلف آن اعم از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب و هم‌چنین سامانه‌های آبرسانی و جمع‌آوری فاضلاب، استفاده از فناوری برای مدیریت صحیح بهره‌برداری از این اجزا ضروری است.

از جمله مهم‌ترین اجزای صنعت آب و فاضلاب کشور، سامانه‌های آبرسانی در شهرهای مختلف است. این سامانه‌ها عمدتاً متشکل از تأسیسات نگهداری آب (مخازن)، تأسیسات پمپاژ، خطوط انتقال آب و شبکه‌های توزیع آب هستند. یکی از ملزومات اساسی در حوزه بهره‌برداری از سامانه‌های آبرسانی، نظارت بر عملکرد تأسیسات این حوزه است. در واقع از آن‌جا که سلامت و بهداشت جوامع بشری با عملکرد صحیح سامانه‌های آبرسانی گره خورده، لذا هرگونه خلل در بهره‌برداری صحیح از تأسیسات آبرسانی می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری داشته باشد. از مهم‌ترین مشکلات بهره‌برداری سامانه‌های آبرسانی ایجاد حادثه در هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده این سامانه از جمله شبکه‌های توزیع آب است؛ به‌طوری‌که برخی از این حوادث می‌تواند منجر به اختلال در کمیت و کیفیت آبرسانی به مشترکین شرکت‌های آب و فاضلاب شود. از این حیث، بهره‌برداری اصولی و صحیح یکی از

مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران شرکت‌های آب و فاضلاب در تمام استان‌های کشور بوده است.

در راستای بهره‌برداری اصولی تأسیسات سامانه‌های آبرسانی، ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مختلفی استفاده می‌شود که با استفاده از این ابزارها، داده‌های موردنیاز برای تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های عملیاتی و مدیریتی جمع‌آوری می‌شود. با این حال تا پیش از توسعه فناوری، فرآیند جمع‌آوری، قرائت و ثبت این داده‌ها می‌توانست با خطا و عدم قطعیت‌های مختلفی همراه باشد که در نهایت بر روی دقت داده‌ها و اعتمادپذیری آن‌ها اثرات نامطلوبی داشت. با توسعه فناوری در سطح کشورهای بین‌المللی، سامانه‌های آبرسانی نیز هم‌چون دیگر اجزای صنعت آب و فاضلاب به سمت هوشمندسازی پیش می‌رود. هوشمندسازی در بهره‌برداری سامانه آبرسانی شامل نظارت دقیق و برخط (Online) تأسیسات آبرسانی با استفاده از روش‌های پیشرفته سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است، که البته این هوشمندسازی می‌تواند دارای سطوح مختلفی باشد.

براساس تقسیم‌بندی ارائه شده توسط انجمن جهانی آب (IWA)، سامانه‌های آبرسانی از لحاظ هوشمندسازی به چهار دسته ابتدایی، متعارف، هوشمند و فوق هوشمند طبقه‌بندی می‌شوند. هدف از هوشمندسازی سامانه‌های آبرسانی، توسعه روش‌های نظارتی از حالت پایه، به حالت متعارف و در نهایت به حالت هوشمند و در شرایط آرمانی به صورت فوق هوشمند است. هدف از یک سامانه آبرسانی هوشمند آن است که به صورت برخط (آنلاین) داده‌های فراوان (Big Data) به دست آمده از فعالیت‌های مرتبط با مدیریت فشار، مدیریت نشت، مدیریت حوادث شبکه، مدیریت مصرف مشترکین، قرائت کنتورها و هم‌چنین نگهداری و تعمیرات شبکه و بسیاری دیگر از فعالیت‌های مرتبط با بهره‌برداری از سامانه‌های آبرسانی را با استفاده از روش‌های هوشمند هم‌چون آموزش ماشین (Machine Learning) و آموزش عمیق (Deep Learning) مورد ارزیابی و تحلیل قرار داده؛ عیوب مربوط به هر بخش از سامانه شناسایی شده و روش‌های بهبود نواقص موجود به صورت برنامه‌ریزی شده پیاده‌سازی شود.

امروزه در شرکت‌های آب و فاضلاب ایران، هوشمندسازی سامانه‌های آبرسانی یکی از موضوعات مورد توجه است، به‌طوری‌که از سال ۱۴۰۰ کارگروهی ملی توسط شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور از متخصصین و دانشگاهیان داخلی تشکیل شد، تا بر روی دستورالعمل هوشمندسازی سامانه‌های آبرسانی که توسط شرکت آب و فاضلاب کاشان در حال تدوین است، نظارت کامل داشته و تدوین این دستورالعمل مهم را در مسیر صحیح هدایت کند. طی برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته قرار بر این است که این دستورالعمل در سال جاری به شرکت‌های مختلف آب و فاضلاب در کل کشور ابلاغ شود.

Review Paper

مقاله مروری

A Review on Boron Removal from Seawater Using Reverse Osmosis Technology

مروری بر حذف بور از آب دریا با استفاده از فناوری اسمز معکوس

Zohreh Moosavinasab^{1*}, Sheida Esmailzadeh² and Amirhosein Haghighi³

1- Assistant Professor, Department of Geology, Estahban branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran.

2- Associate Professor, Department of Chemistry, Darab branch, Islamic Azad University (and Department of Applied Researches, Chemical, Petroleum & Polymer Engineering Research Center, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz), Iran.

3- Assistant Professor, Department of Polymer Engineering, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

*Corresponding Author, Email: z_moosavinasab@iauest.ac.ir

Received: 13/11/2021

Revised: 20/01/2022

Accepted: 15/02/2022

© IWWA

زهره موسوی نسب^{۱*}، شیدا اسمعیل‌زاده^۲ و امیرحسین حقیقی^۳

۱- استادیار زمین‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد استهبان، استهبان، ایران.

۲- دانشیار شیمی معدنی، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد داراب (و گروه پژوهش‌های شیمی کاربردی، مرکز تحقیقات مهندسی شیمی، نفت و پلیمر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز)، ایران.

۳- استادیار مهندسی پلیمر، گروه مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، شیراز، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: z_moosavinasab@iauest.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

It is predicted that by 2050, more than 48% of the world's population will face water shortages. Desalination of seawater as the best way to supply fresh water has been on the rise for the past three decades. Membrane desalination methods, especially reverse osmosis, have become more popular than other methods due to their lower energy consumption. Despite the success of this method in removing seawater salts, contaminants such as boron are still found in the produced water due to the presence of boron as boric acid in seawater, which due to its small molecular size, leaks into the produced water through membranes. The average concentration of boron in seawater is 4.6 mg/l, which comes from various natural sources such as volcanic activity as well as anthropogenic sources. High levels of boron are harmful to human health and agricultural products. Factors such as pH, temperature and ionic strength of feed water have a great impact on boron removal in membrane processes. By examining credible sources, while pointing to the importance of boron and its removal methods, this validity review article addresses the challenges of boron removal by reverse osmosis as the most common seawater desalination technology.

Keywords: Boron Removal, Seawater Desalination, Reverse Osmosis, Membrane Processes.

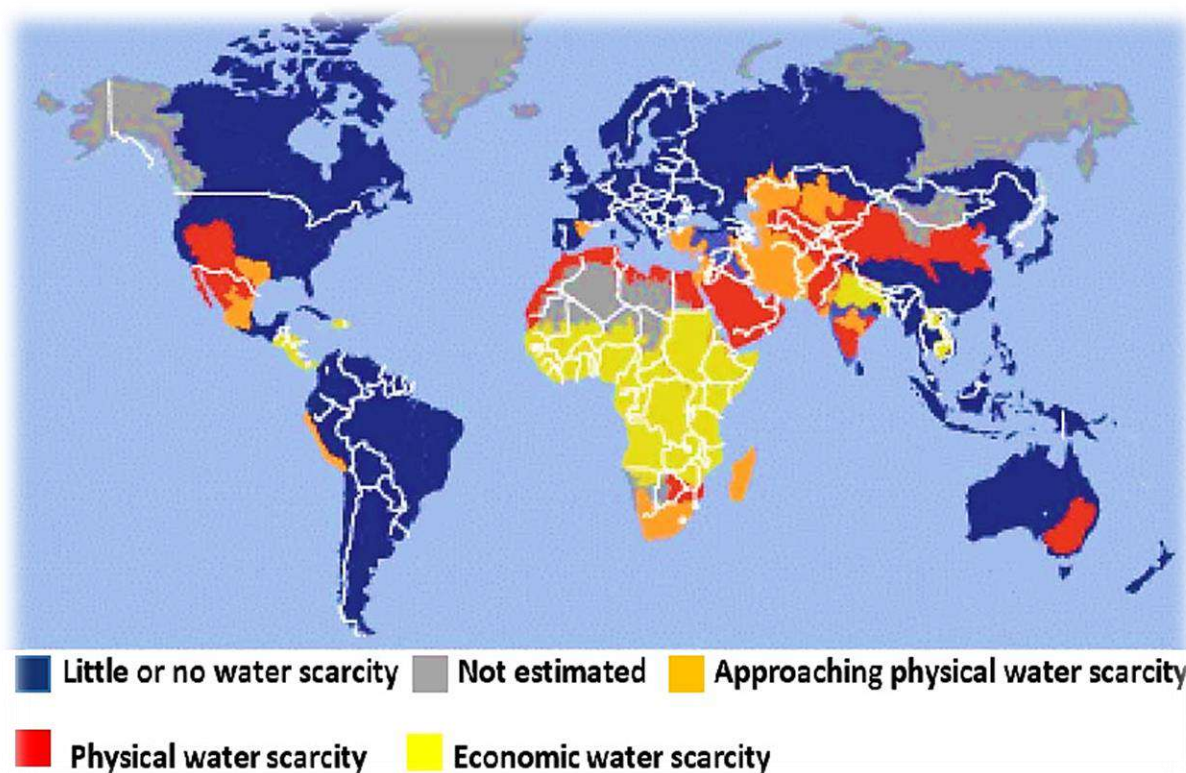
چکیده

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۴۸ درصد مردم جهان با کم‌آبی مواجه شوند. نمک‌زدایی از آب دریا به‌عنوان بهترین راه تامین آب شیرین، طی سه دهه گذشته روندی صعودی داشته است. روش‌های نمک‌زدایی غشایی به‌ویژه روش اسمز معکوس به‌دلیل مصرف انرژی پایین‌تر، محبوب‌تر از سایر روش‌ها شده است. علی‌رغم موفقیت این روش در حذف املاح آب دریا، آلاینده‌هایی مانند بور هنوز در آب تولیدی مشاهده می‌شود. علت آن حضور بور به‌صورت اسید بوریک در آب دریا است که به‌دلیل اندازه مولکولی کوچک، از طریق غشاهای آب تولیدی نشت می‌کند. غلظت متوسط بور در آب دریا ۴/۶ میلی‌گرم بر لیتر است که از منابع مختلف طبیعی مانند فعالیت‌های آتشفشانی و نیز منابع انسان‌زاد تامین می‌شود. مقادیر بالای بور، برای سلامت انسان و محصولات کشاورزی مضر است. عواملی چون pH، دما و قدرت یونی آب خوراک تاثیر زیادی بر حذف بور در فرایندهای غشایی دارند. این مقاله مروری روایی، با بررسی منابع معتبر، ضمن اشاره به اهمیت بور و روش‌های حذف آن، به چالش‌های حذف بور به‌روش اسمز معکوس به‌عنوان رایج‌ترین فناوری روز نمک‌زدایی آب دریا می‌پردازد.

کلمات کلیدی: حذف بور، نمک‌زدایی آب دریا، اسمز معکوس، فرایندهای غشایی.

اتخاذ کنند (Zetland, 2021). بین تقاضای آب و منابع آب شرب فاصله زیادی وجود دارد. انتظار می رود تا سال ۲۰۵۰ تقریباً نیمی از مردم جهان با مشکلات کم آبی زندگی روبرو شوند (Kürklü et al., 2017). حتی اگر تا سال ۲۰۳۰ پیشرفت‌های فناوریانه و فراساختاری ظهور پیدا کند، هنوز ۳۰ درصد کسری در تامین آب مورد تقاضا وجود خواهد داشت (Boccaletti et al., 2010). موسسه بین‌المللی آب^۱ بر این اساس، چهار گروه معرفی کرده است: مناطق فاقد کمبود آب، مناطق در شرف وقوع کمبود آب، مناطق با کمبود آب فیزیکی و مناطق دارای کمبود آب اقتصادی (شکل ۱). زیرساخت ضعیف و توزیع نامتوازن آب، باعث کمبود آب اقتصادی شده است. کمبود فیزیکی زمانی است که در دسترس بودن منابع آب نمی‌تواند تقاضا را تامین کند مانند نواحی خشک خاورمیانه و آفریقا. اگر آب مصرفی برای کشاورزی ۷۰ مرتبه بیش از آب مصرفی برای آشامیدن و مصارف خانگی باشد چنین منطقه‌ای به تدریج دچار کمبود آب، آلودگی رودها، کمبود آب زیرزمینی و توزیع نامتوازن آب خواهد شد.

از ۷۰ درصد پوشش آبی سطح زمین، تنها ۲/۵ درصد آن آب شیرین و بقیه شامل آب شور دریاها و اقیانوس‌ها است. هفتاد درصد این آب شیرین در لایه‌های یخ، یخچال‌های طبیعی، برف و یخبندان‌های دائمی در مناطق قطبی و قله کوه‌ها محبوس شده است و فقط ۳۰ درصد باقی‌مانده قابل استفاده است که از این مقدار، تنها یک درصد آن به آسانی در دسترس است. پس تقریباً تنها ۰/۰۷ درصد آب‌های روی زمین قابل دسترس برای حدود ۸ میلیارد نفر انسان است (Kürklü et al., 2017). تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ دو سوم جمعیت جهان با کمبود آب مواجه شوند. ورود اخیر آب به بازار سهام، نمونه‌ای از چالش‌هایی است که قرن بیست و یکم با آن روبرو خواهد شد (Tappe, 2020). در این خصوص، دولت‌ها باید برای رفع نگرانی‌های اجتماعی در مورد دسترسی فقیرترین افراد جوامع به آب و نیز تضمین منابع آب مناسب برای مقاصد صنعتی و خانگی سیاست‌های کاربردی



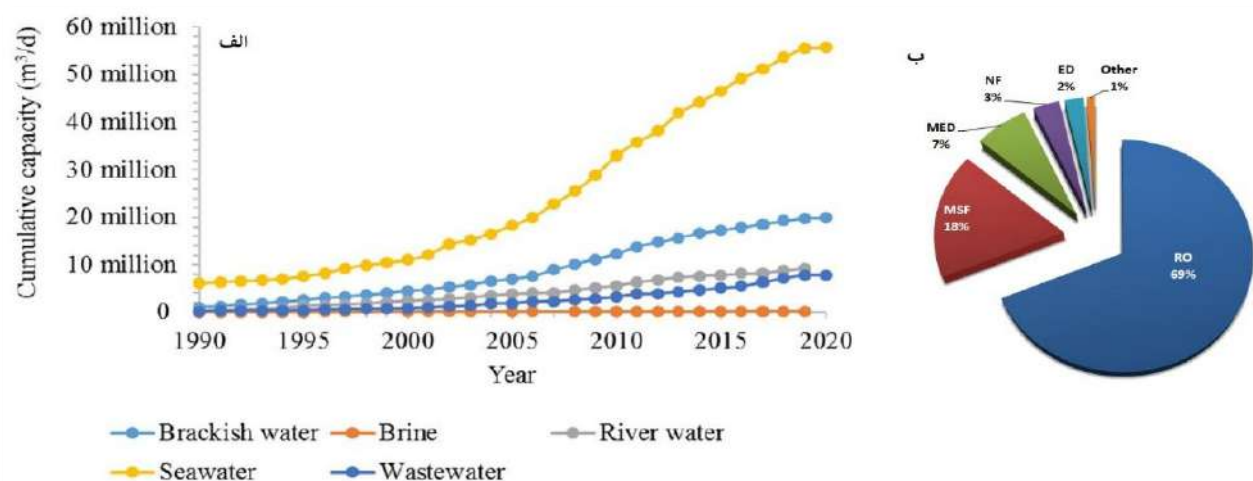
شکل ۱- نقشه جزئیات تنش آبی در دنیا (Rahmawati, 2011)

نمک‌زدایی آب دریا از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ روند صعودی قابل ملاحظه‌ای داشته است (شکل ۲-الف). بالغ بر ۲۱۰۰۰ واحد نمک‌زدایی آب در دنیا وجود دارد که بیش از ۵۰ درصد آن‌ها از آب دریا و مابقی از آب لب‌شور استفاده می‌کنند (Curto et al.,

از میان تلاش‌های متعدد برای پر کردن شکاف میان عرضه و تقاضای آب، نمک‌زدایی از آب دریا، به‌ویژه در نواحی خشک مانند خاورمیانه و آفریقا که از کم باران‌ترین مناطق دنیاست، بهترین شیوه تامین آب شیرین بوده است (Rahmawati, 2011).

به مولکول‌های منتخب، اجازه عبور می‌دهد. اگر دو محلول با غلظت‌های مختلف املاح، با یک غشای نیمه‌تراوا از هم جدا شوند، در اسمز مستقیم، حلال به‌طور خودجوش از محلول رقیق‌تر به محلول غلیظ‌تر می‌رسد تا پتانسیل انرژی هر دو محلول متعادل شود. اگر گرادیان فشار خارجی بزرگتر از فشار اسمزی روی غشا اعمال شود، جهت جریان برعکس شده و اسمز معکوس رخ خواهد داد (Curto et al., 2021).

2021). فناوری‌های شیرین‌سازی انواع مختلفی دارد که به دو دسته کلی تقطیر حرارتی و جداسازی غشایی تقسیم بندی می‌شود. با افزایش قیمت انرژی در سال‌های اخیر، روش‌های غشایی، به‌ویژه اسمز معکوس، به‌دلیل نیاز به مصرف انرژی و فضای نصب کمتر نسبت به سایر روش‌ها رایج‌تر شده است (شکل ۲-ب)؛ به‌گونه‌ای که تا سال ۲۰۱۹ حدود ۶۹ درصد فرایند نمک‌زدایی جهان را به‌خود اختصاص می‌داد (Jones et al., 2019). اسمز معکوس فناوری مبتنی بر غشاهای نیمه‌تراوا است که تنها



شکل ۲- ظرفیت کل واحدهای نمک‌زدایی آب در دنیا: الف) براساس کیفیت آب خوراک (Eke et al., 2020)؛ ب) برحسب نوع فناوری نمک‌زدایی: RO^۱ اسمز معکوس، MED^۲ تقطیر چند اثره، NF^۳ تصفیه نانو و ED^۴ الکترودیالیز (Jones et al., 2019)

مقادیر بالاتر از سازمان بهداشت جهانی را در نظر گرفتند: نخست، عدم وجود داده‌های مبتنی بر تأثیرات سوء بور بر سلامت انسان و دیگری، مشکل و هزینه‌بر بودن دستیابی به حد استاندارد (Tu et al., 2010). در سال ۲۰۱۱ سازمان بهداشت جهانی مقدار جدید ۲/۴ میلی‌گرم بر لیتر بور را برای آب آشامیدنی اعلام و منتشر کرد. گرچه این دستورالعمل مبتنی بر سلامت انسان است اما برخی واحدهای اسمز معکوس هنوز میزان بور آب تولیدی خود را روی ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر یا حتی کمتر از آن تنظیم کرده‌اند تا با ملزومات کشاورزی جور در بیاید. زیرا برخی محصولات کشاورزی نسبت به میزان بور حساس هستند. مطالعات گسترده در انگلستان و آمریکا نیز نشان داد که دریافت بور از هوا و غذا کمتر از حد پیش‌بینی شده است. این واقعیت باعث شد حد مجاز بور در آب آشامیدنی به میزان ۱۰ تا ۴۰ درصد افزایش یابد (Hilal et al., 2011). علی‌رغم این واقعیت، برخی کشورها مانند عربستان هنوز حد مجاز بور را ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر در نظر می‌گیرند.

برای حذف بور تاکنون روش‌های متعددی مانند انعقاد-رسوب‌دهی، تبادل یونی و الکترودیالیز پیشنهاد شده است.

علی‌رغم این‌که روش اسمز معکوس در حذف تمام املاح آب دریا و تامین آب شیرین موفق بوده است، اما آلاینده‌های اندکی مانند بور هنوز در آب تولیدی مشاهده می‌شود. علت این امر آن است که بور در pH طبیعی آب دریا به‌صورت اسید بوریک تجزیه نشده حضور دارد که به‌دلیل اندازه مولکولی کوچک، از طریق غشاهای آب شیرین تولیدی نشت می‌کند (Hilal et al., 2015). مشکل ناشی از مقادیر بالای بور در سال ۱۹۹۷ در منطقه ایلات^۶ فلسطین اشغالی مشاهده شد که کشاورزان از پساب بازیافتی برای آبیاری استفاده کردند و این امر منجر به سمی شدن برخی محصولات و از بین رفتن رنگ برگ آن‌ها شد. نخستین بار در سال ۱۹۸۴ محتوای بور توسط سازمان بهداشت جهانی به‌عنوان یکی از الزامات استاندارد آب آشامیدنی شناخته شد. به‌دلیل این‌که تحقیقات نشان داد بور برای حیوانات مضر است، در سال ۱۹۹۳ سازمان بهداشت جهانی حد مجاز ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر را برای بور در آب آشامیدنی مقرر کرد و پس از چند سال، این استاندارد را تا حد ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر بالا برد (WHO, 2003). اما به‌دلیل مشکل بودن حذف بور در فرایند تصفیه آب، این حد مجاز در نواحی مختلف متفاوت است. برخی کشورها به دو دلیل،

است. بور در لوازم آرایشی، شامپو و سایر محصولات مراقبت فردی (روغن بچه، رژلب، کرم و لوسیون) نیز وجود دارد اما جذب پوستی آن پایین است. وجود بور در غذاها ناشی از حضور آن در فرایند کشاورزی است بنابراین مقدار آن در مواد غذایی بشدت بستگی به مکان دارد. در غذاهای فراوری شده میزان بور می‌تواند از حد ناچیز تا ۲۶ میکروگرم بر لیتر محصول باشد. بور در بافت‌های حیوانی نیز وجود دارد اما مواجهه انسان با بور از طریق مصرف گوشت ناچیز است (Jaehong et al., 2009; Hilal et al., 2011).

۲-۲- اهمیت بور از دیدگاه سلامت و بوم‌شناسی

بور عنصری ریزمغذی برای انسان است و نیز نقش موثری در رشد محصولات گیاهی دارد. دریافت مقادیر کم بور، روی عملکرد سلولی و موثر بودن سایر مواد مغذی تاثیر می‌گذارد. میان بور و ویتامین D و نیز کلسیم برهم‌کنش وجود دارد که بر متابولیسم استروژن و فعالیت‌های مغزی تاثیر می‌گذارد. دریافت متوسط روزانه بور برای مردان بالغ حدود ۱/۵ میلی‌گرم در روز است (EPA, 2008). بور در ساخت داروهای ضد صرع، مالاریا و غیره کاربرد دارد. بیماری‌رانی که با این داروها تحت درمان قرار می‌گیرند دچار سوء هاضمه، بی‌اشتهایی و درماتیت می‌شوند. اما اگر دوز مصرف کاهش یابد، علائم ناپدید می‌شود. علائم مسمومیت با بور در انسان شامل: تهوع، استفراغ، اسهال، تورم پوست، بی‌حالی، کم‌اشتهایی، کاهش وزن و کاهش میل جنسی است (Hunt and Benjamin, 2003). سازمان بهداشت جهانی محدوده ایمن میانگین مصرف بور برای بزرگسالان را ۱ تا ۱۳ میلی‌گرم در روز اعلام کرده است (WHO and IPCS, 1998). اغلب ترکیبات بور سمیت کمی دارند اما دوزهای بیش از ۱۵ یا ۲۰ گرم اسید بوریک برای بزرگسالان، ۲ تا ۳ گرم برای نوزادان و ۵ تا ۶ گرم برای کودکان می‌تواند کشنده باشد که منجر به کاهش گردش خون، استفراغ مداوم و اسهال و به‌دنبال آن شوک و کما می‌شود. مهم‌ترین منبع قرارگرفتن انسان در معرض بور در درجه اول، از طریق مواد غذایی مانند میوه‌ها و سبزیجات و در وهله دوم از طریق مواد مصرفی آرایشی، داروئی و حشره‌کش‌ها است (Kabay et al., 2015). تاکنون گزارشی مبنی بر سرطان‌زایی بور و ترکیبات آن در انسان ارائه نشده است. در حیوانات دریافت اندک بور می‌تواند باعث عملکرد نادرست سلولی شده و روی فعالیت سبزیجات و مواد مغذی تاثیر بگذارد (EPA, 2008). محصولات کشاورزی برای رشد خود به مقادیر اندک بور نیازمندند. به‌همین دلیل بور به‌شکل بورات سدیم و اسید بوریک یکی از اجزای سازنده کودها است. مواجهه زیاد با بور خرابی برگ‌ها، کاهش محصول میوه و رسیدن

علی‌رغم این‌که روش‌هایی مانند انواع نمک‌زدایی حرارتی (مانند تقطیر چند اثره) ممکن است برای حذف بور موثرتر باشد، اما از آن‌جا که در فرایند نمک‌زدایی از آب دریا باید هم‌زمان، ملاحظات دیگری چون هزینه عملیاتی، بازده، مصرف انرژی و امکان‌سنجی اجرایی را نیز مدنظر قرار داد، لذا روش اسمز معکوس علی‌رغم دارا بودن برخی محدودیت‌ها، هم‌چنان در این زمینه پیش‌تاز است (Bhagyaraj et al., 2021). هرچند غشاهای سامانه اسمز معکوس تک‌گذره، نمک‌های محلول در آب را در حد استاندارد آب آشامیدنی حذف می‌کند اما در مورد دستیابی به استاندارد بور، این غشاهای به‌تنهایی کارساز نیستند (Xu et al., 2010). لذا حذف بور از مباحث مهم در فرایند اسمز معکوس است.

۲- کلیات بور

۲-۱- رخداد بور در محیط‌زیست

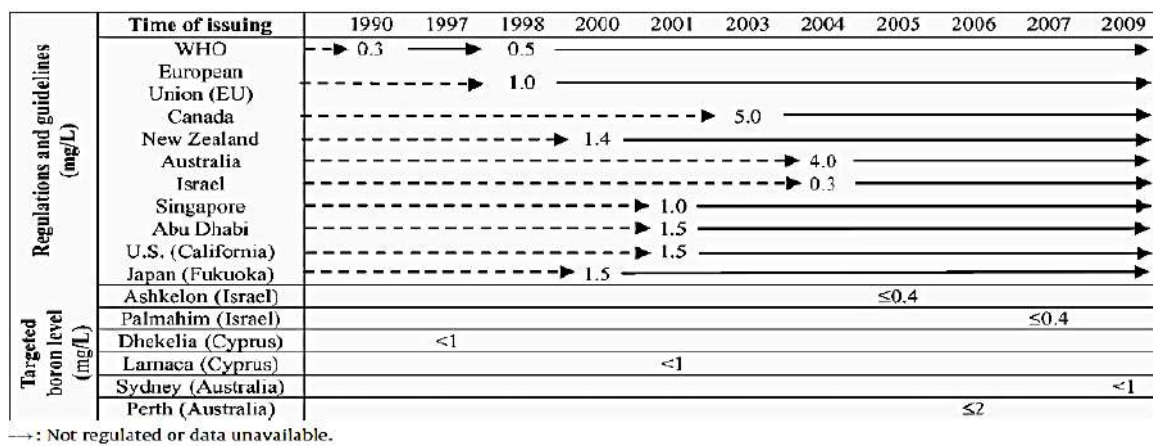
فعالیت‌های آتشفشانی و زمین‌گرایی از دیرباز منبع اصلی ورود بور به جو زمین و اقیانوس بوده و هوازدگی سنگ‌ها و فعالیت‌های انسانی مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی، معادن و آتش‌سوزی‌های مرتبط با کشاورزی تنها سهم کمی در این زمینه دارند. میزان بور در جو متغیر بوده و معمولاً بین ۰/۲ تا ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر است. در آب‌کره، مخزن اصلی بور، آب دریا است (مقدار کل ۱۰^{۱۵} کیلوگرم) که تا حد زیادی با سایر مخازن بور مانند آب‌های زیرزمینی (۱۰^{۱۱} کیلوگرم)، یخ (۱۰^{۱۱} کیلوگرم) و آب‌های سطحی (۱۰^۸ کیلوگرم) تفاوت دارد. بور از اجزای اصلی آب دریا (به‌طور متوسط ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر) و برخی از آب‌های زیرزمینی در مناطق آتشفشانی فعال است. غلظت نسبتاً بالای بور در آب‌ها در مقایسه با پوسته زمین نشان می‌دهد این عنصر بسیار متحرک است. بور در فرایندهای مهم خاک مانند چرخه زیست‌شناختی درون خاک، رطوبت‌سازی، جایگزینی در کانی‌های رسی و تشکیل کلوئیدها نیز دخیل است. بور در خاک عمدتاً به‌صورت جذب سطحی، کیلیت شده یا یون‌های کمپلکس با گیاه‌خاک حضور دارد و میزان آن در خاک‌های معمولی بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (Kabay et al., 2015). بور به‌دلیل وزن سبک، قیمت پایین و مقاومت در برابر تنش و مواد شیمیایی، کاربرد گسترده‌ای در صنایع ساخت ظروف آزمایشگاهی، شیشه‌های پیرایه، شیشه پنجره، صنایع پلاستیک و فایبرگلاس، و صنایع خودرو دارد (Inamuddin et al., 2021). مصرف شوینده‌ها، قارچ‌کش‌ها، ضدعفونی‌کننده‌ها، حشره‌کش‌ها و کودهای شیمیایی نیز از دیگر راه‌های ورود بور به محیط‌زیست

مقادیر استاندارد بور در آب آشامیدنی ظاهراً براساس حد تحمل گیاهانی است که حساس‌ترین گونه‌ها نسبت به بور هستند. مثلاً در فلسطین اشغالی استاندارد بور خیلی سخت‌گیرانه است (کمتر از ۰/۴ میلی گرم بر لیتر) زیرا مرکبات که گونه‌های حساس به بور هستند، از نظر کشاورزی در آن منطقه حائز اهمیت است. در کانادا حد مجاز بور در آب آشامیدنی ۵ میلی گرم بر لیتر است و دلیل آن احتمالاً این است که رخداد بور در آب شیرین این ناحیه بسیار کم است و اصولاً نمک‌زدایی آب دریا در کانادا انجام نمی‌شود. فناوری‌های حذف بور نیز می‌تواند موثر بر دستورالعمل‌ها باشد. همان‌گونه که ذکر شد، سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۹۸ حد مجاز بور در آب آشامیدنی را به ۰/۵ میلی گرم در لیتر افزایش داد که ناشی از نبود فناوری مقرون به صرفه برای حذف بور بود. با توجه به گسترش نمک‌زدایی و فناوری‌های حذف بور، پیش‌بینی می‌شود استانداردهای بور در آب آشامیدنی طی سال‌های آتی سختگیرانه‌تر شود. به همین دلیل، بیشتر واحدهای نمک زدایی، به صورت پیش‌گیرانه تولید آب با بور پایین را هدف قرار می‌دهند (Tu et al., 2010).

زود هنگام میوه را به دنبال دارد. حد بهینه غلظت بور در کشاورزی ۵/۳-۰/۰ میلی گرم بر لیتر است (Jaehong et al., 2009). مسمومیت با بور در مناطقی مانند غرب آسیا که دارای خاک‌های قلیایی و شور بوده و بارش و شستشوی خاک بسیار محدود است، منجر به کاهش محصول شده است. در چنین مناطقی اگر گیاهان با آب دارای بور و نمک بالا آبیاری شوند، به طور هم‌زمان دچار تنش ناشی از مسمومیت با بور و شوری می‌شوند (et al., 1997). Nable). حد تحمل بور در محصولات مختلف کشاورزی و باغداری متفاوت است. برخی مانند مرکبات و گندم حساس تا بسیار حساس و گوجه فرنگی و پنبه مقاوم هستند (Hilal et al., 2011).

۲-۳- مقررات و دستورالعمل‌ها در رابطه با بور

مقادیر استاندارد و دستورالعمل‌ها در رابطه با غلظت بور در آب آشامیدنی در سراسر جهان بسیار متفاوت است (شکل ۳) و از ۰/۵ تا ۵ میلی گرم بر لیتر تغییر می‌کند (WHO, 2003). حداکثر غلظت مجاز در آب آشامیدنی معمولاً با در نظر گرفتن عواملی مانند: سلامت انسانی و بوم‌شناختی، ویژگی‌های اجتماعی و طبیعی، فناوری‌های موجود و مقرون به صرفه بودن تعیین می‌شود.



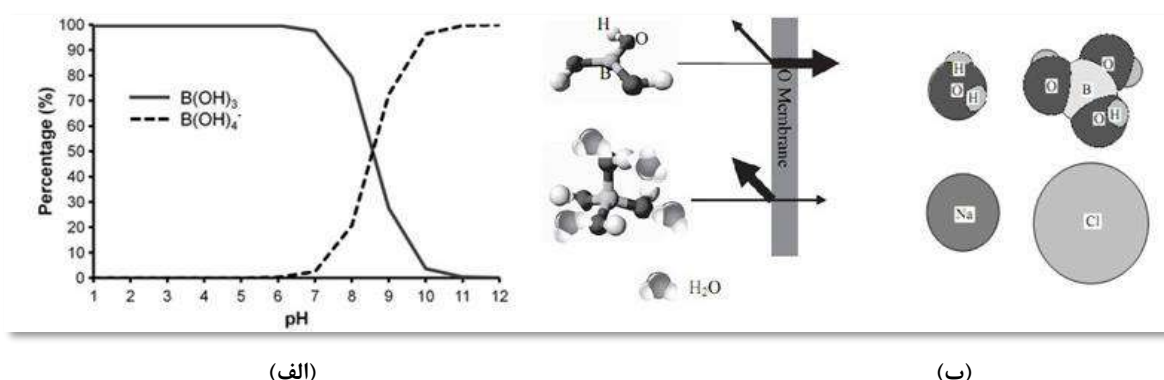
شکل ۳- دستورالعمل‌ها و مقررات میزان بور در آب آشامیدنی (WHO, 2003)

حل شده به صورت گونه‌های مختلف حضور دارد. در غلظت‌های کم بور (کمتر از ۲۱۶ میلی گرم بر لیتر) بور حل شده به صورت گونه‌های تک‌هسته‌ای مثل $B(OH)_3^-$ و $B(OH)_4^-$ است. در غلظت‌ها و pH بالاتر، گونه‌های چندهسته‌ای مثل $B_2O(OH)_6^{2-}$ یا گونه‌هایی که حلقه‌های B_3O_3 دارند مانند $B_3O_3(OH)_4^-$ و $B_4O_5(OH)_4^{2-}$ تشکیل می‌شوند. چون غلظت بور در آب دریا حدود ۴/۸ میلی گرم بر لیتر است بنابراین تنها گونه‌های تک هسته‌ای $B(OH)_3$ و $B(OH)_4$ در آب دریا حضور دارند. در pH خنثی بور در آب به شکل اسید بوریک تجزیه نشده است و چون یون‌های OH^- آب را جذب و H^+ آزاد می‌کند یک

۳- شیمی بور و کمپلکس‌سازی آن

بور یک شبه فلز گروه ۱۳ جدول تناوبی با عدد اتمی ۵ و وزن اتمی ۱۰/۸۱ است. حالت‌های اکسایش بور متفاوت است اما عمدتاً به شکل B^{+3} است. بور یک عنصر دارای کمبود الکترون است که تمایل قوی به تشکیل پیوندهای کووالانسی به شدت پایدار با اتم‌های الکترون‌گاتو مانند اکسیژن دارد که هم تشکیل BO_3 با ساختار مثلثی و هم BO_4 با بار منفی و ساختار چهار وجهی می‌دهد. بنابراین بور اغلب به صورت ترکیب با اکسیژن یافت می‌شود (EPA, 2008). بسته به غلظت بور در محیط آبی، بور

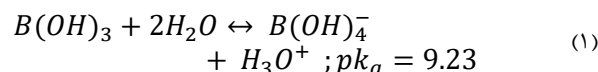
بود (شکل ۴-الف). انتشار اسید بوریک از طریق غشا، حاصل دفع اندک اسید بوریک است که با گروه‌های فعال در غشا، پیوندهای هیدروژنی تشکیل می‌دهد. شکل ۴-ب ابعاد مولکول‌های آب، اسید بوریک، بورات، سدیم و کلرید را نشان می‌دهد. اسید بوریک به‌طور ضعیفی هیدراته شده و شعاع هیدراته کوچکی دارد. به‌همین دلیل، در فرایند نمک‌زدایی، غشاهای اسمز معکوس تقریباً تمام یون‌های نمک موجود در آب دریا را براساس اندازه بزرگ آن‌ها نسبت به منافذ غشا، حذف می‌کنند اما گونه‌های بور همراه با مولکول آب به‌راحتی از سطح غشا عبور می‌کنند (Najid et al., 2021). لذا در روش‌های حذف بور تلاش بر فراهم‌آوردن شرایطی است که منجر به یونیزه شدن (باردار شدن) اسید بوریک و یا کمپلکس‌سازی بور با مواد مختلف شود تا بتوان به‌ترتیب، به شیوه دفع بارهای هم‌نام یا دفع ناشی از بزرگ بودن اندازه، بور را از آب حذف کرد. گاهی نیز کوچک‌تر کردن منافذ غشا (غشاهای نانو) مدنظر قرار گرفته است.



شکل ۴-الف) تاثیر pH بر توزیع اسید بوریک و بورات در آب دریا (Hilal et al., 2011)؛ ب) مقایسه مولکول‌های آب، اسید بوریک، بورات و یون‌های سدیم و کلر (Hung et al., 2009)

کشاورزی و شرب با حداقل میزان بور انجام شده است. بیشتر این مطالعات، به‌روش بالا بردن pH و تجزیه اسید بوریک به یون‌های بورات، روش‌های تلفیقی (هیبریدی) با رزین‌های تبادل یونی یا کی‌لیت‌کننده‌های جذبی اشاره داشته‌اند. برخی از این مطالعات عبارتند از: استفاده از جاذب‌های انتخابگر بور (Simmonnot et al., 2000) و یا تلفیق اسمز معکوس با رزین‌های انتخابگر بور (Sassi and Mujtaba, 2013; Lin et al., 2020). اما هزینه بالای بازسازی رزین و دفع پساب استفاده از این روش‌ها را محدود می‌کند (Najid et al., 2021). حذف بور توسط غشاهای نانو و اسمز معکوس در حضور پلی‌آل‌ها که بسیار موثر بوده و هم‌چنین مانع تجمع رسوب بر روی غشا می‌شود (Geffen et al., 2006). ترکیبات پلی‌آل (زایلیتول، گلیسرول، سوربیتول و مانیتول) دارای چند گروه هیدروکسیل است که می‌تواند با تولید کمپلکس‌های آنیونی با اسید بوریک، مولکول‌های بزرگی تشکیل دهد که

اسید لوییسی است (رابطه ۱). در جهت عکس و تبدیل بورات به اسید بوریک، یون OH^- آزاد می‌کند که به H^+ چسبیده و تشکیل آب می‌دهد (Redondo et al., 2003). در pH های کمتر از pK_a اسید بوریک به‌صورت تجزیه نشده حضور دارد.



اسید بوریک و ترکیبات بورات قابلیت واکنش و تشکیل کمپلکس با ترکیبات شیمیایی محتوی چند گروه هیدروکسیل (پلی‌آل‌ها) مانند مانیتول دارد. این امر، اسیدیته اسید بوریک و محلول‌های بورات را افزایش می‌دهد (Geffen et al., 2006). دفع اسید بوریک در اغلب غشاهای تجاری اسمز معکوس آب دری^۸ ۸۲-۹۲ درصد و در غشاهای اسمز معکوس آب‌های لب‌شور^۹ ۳۰-۸۰ درصد است. علاوه‌بر این، در pH حدود ۱۰/۵ دفع بور بیش از ۹۸ درصد بوده و تقریباً تمام بور به شکل یون‌های بورات خواهد

میزان بور در محلول‌های آگین را با روش‌های طیف‌نورسنجی و طیف‌سنجی می‌توان تعیین کرد. روش‌های طیف‌سنجی براساس واکنش‌های رنگ‌سنجی بور با برخی از معرف‌های خاص است که برای تجزیه صحرایی مناسب است اما حد آشکارسازی آن‌ها برای پایش بور در فرایند نمک‌زدایی آب دریا مناسب نیست. روش‌های طیف‌سنجی نشری مانند ICP-AES یا ICP-MS حد آشکارسازی بسیار بهتری دارند. اخیراً کروماتوگرافی یونی (IC) نیز به‌عنوان روشی جدید برای پایش غلظت بور در فرایند نمک‌زدایی به‌کار می‌رود (Kabay et al., 2015).

۴- پیشینه مطالعات در زمینه حذف بور توسط فرایندهای غشایی

تاکنون مطالعات زیادی برای دستیابی به آب مناسب برای

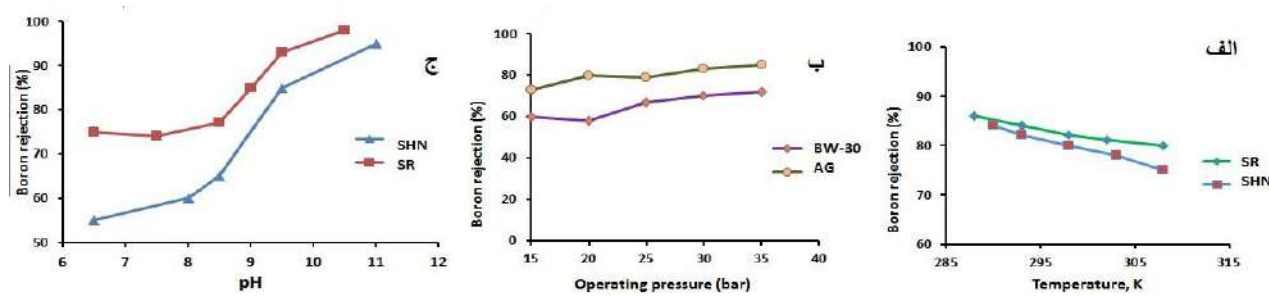
به کلرید تحمل بیشتری دارند اما معایبی نیز مانند: قابلیت زیست تخریب پذیری، گستره محدود pH (۴-۸) و دما (۰-۳۵ درجه سانتیگراد) و هیدرولیز شدن گروه عملکردی بوسیله اسیدها و بازها دارند. به همین دلیل غشاهای کامپوزیت پلی آمید توسط سازنده های مختلف^{۱۱} ساخته شد تا بر این مشکلات غلبه کند. امروزه دو ساختار برای غشاهای اسمز معکوس موجود است: غشاهای نامتقارن و غشاهای کامپوزیت فیلم نازک. از جمله مزایای غشاهای کامپوزیت این است که هر لایه آنرا می توان به طور مستقل بهینه کرد. مزایای دیگر این نوع غشاها، محدوده pH گسترده، حساسیت کمتر به حملات بیولوژیکی و هیدرولیک مناسب است.

به طور کلی تا به امروز چهار چالش مرتبط با غشاهای اسمز معکوس آب دریا وجود داشته است: نیاز به معاوضه دائمی، دفع نسبتاً کم بور در طراحی تک گذره، جرم گرفتگی غشاء و مقاومت ضعیف غشاء در برابر کلر (Lim et al., 2021). مطالعات تجربی نشان داده است با افزایش دما، هم ثابت تراوایی و هم ضریب انتقال جرمی بور افزایش می یابد. به عبارتی با افزایش دمای آب، حذف بور کاهش خواهد یافت (شکل ۵-الف) (et al., 2009) (Hung). حذف بور با افزایش فشار عملیاتی افزایش می یابد (شکل ۵-ب) (Cengelloglu et al., 2008). افزایش pH باعث ایجاد بار منفی بیشتر روی سطح غشا می شود. هم چنین در pH بالا اسید بوریک تجزیه شده و این امر باعث دافعه بین یون های بورات با بار منفی و سطح منفی غشا و در نتیجه، حذف بور می شود. حذف بور در pH حدود ۹/۵ به طور قابل توجهی افزایش می یابد و در pH برابر با ۱۱ به حداکثر خود (بیش از ۹۹٪) می رسد (شکل ۵-ج) (Hung et al., 2009). در یکی از جدیدترین مطالعات، غشاهای تجاری معرفی شد که حتی در pH برابر با ۷ تا ۷/۵ بازده حذف بور ۸۵ تا ۸۸٪ داشته و با افزایش pH تا حد ۱۰ این مقدار به ۹۰ تا ۹۵٪ افزایش خواهد یافت (Regis et al., 2022) با افزایش قدرت یونی محلول نیز حذف بور کاهش می یابد (Rahmawati, 2011). جرم گرفتگی غشاها چالش مهمی است که توسط جرم های مختلفی مانند پوسته غیر آلی، ریزجانداران، ذرات کلوئیدی و مواد آلی ایجاد می شود. جرم گرفتگی زیستی غشا، حذف بور را تا حد ۴۵٪ در غشا اسمز معکوس و حدود ۴۴٪ در غشا نانو کاهش می دهد (پسندیده پور و همکاران، ۱۴۰۰؛ Tu et al., 2010). برای رفع این مشکل راه کارهای متعددی بر دو مبنای اصلی کاهش زبری سطح غشا و افزایش آب دوستی و بار سطحی غشا به کار گرفته می شود (Lin et al., 2020).

به راحتی توسط غشای اسمز معکوس و در pH آب دریا حذف شود (Park et al., 2015). این ترکیبات در سامانه های تلفیقی نانو-اسمز معکوس نیز به کار گرفته می شود (Lin et al., 2020). رویکرد دیگر، فرآیندهای تلفیقی است. مانند تلفیق اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس و تبادل یونی (Nadav and Koutsakos, 2013). تلفیق کی لیت کننده های جذبی با اسمز معکوس (Güle et al., 2011) و تلفیق الکترو دیالیز و اسمز معکوس همراه با بالا بردن pH (Tang et al., 2017). از دیگر رویکردها، طراحی اسمز معکوس دو مرحله ای (دو گذره) با افزایش pH در مرحله دوم بوده است؛ زیرا افزایش pH در مرحله اول خطر پوسته زنی و رسوب کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم را به دنبال خواهد داشت (Tang et al., 2017). هم چنین در پژوهشی، دو گذر اسمز معکوس با استفاده از غشاهای تجاری نسل جدید بدون تنظیم pH آن ها و با اعمال فشارهای ۵۴ و ۱۵ بار به ترتیب در گذر اول و دوم به کار گرفته شد (Farhat et al., 2013). استفاده از سامانه اسمز معکوس تک گذره با قرار دادن ۷ غشا در هر مخزن تحت فشار تلاشی جدید در این راستا بوده است. در این طراحی، برخی غشاهای تجاری علی رغم عملکرد بهتر برای حذف بور، بازده تولید آب شیرین پایین تری نشان دادند (Ruiz-García and Nuez, 2021). استفاده از سامانه یکپارچه اسمز معکوس پساب-آب دریا^{۱۰} با قابلیت صرفه جویی در انرژی و مزایای اقتصادی نیز به کار گرفته شده است اما برای حذف بور، محدودیت هایی در طراحی از نظر درصد اختلاط پساب-آب دریا، فشار عملکردی و نوع غشای مورد استفاده وجود دارد (Lee et al., 2021). از دیگر تلاش های اخیر، تلفیق سامانه اسمز معکوس با فرآیند الکتروشیمیایی است که می تواند ولتاژهای مختلفی را در سطح غشا روکش شده با یک لایه کربنی در نقش کاتد اعمال کند. میدان الکتریکی خارجی موجب الکترو لیز آب و بالا رفتن موضعی pH در سطح غشا می شود که ضمن کمک به دفع بور، نیاز به افزودن مقادیر زیاد مواد قلیایی برای افزایش pH را رفع و به طور بالقوه می تواند نیاز به طراحی گذر دوم را برطرف کند (Bao et al., 2021).

۵- عوامل موثر بر حذف بور در روش های غشایی

عوامل موثر بر حذف بور در روش های غشایی عبارتند از: شیمی و رفتار غشا، فشار و دمای عملیاتی، pH، قدرت یونی محلول و جرم گرفتگی غشا. در ابتدا غشاهایی از جنس استات سلولز غیر متقارن برای فرایند اسمز معکوس طراحی شد. گرچه این غشاها نسبت



شکل ۵- رابطه درصد حذف بور در برخی غشاهای تجاری: الف) با دما (Hung et al., 2009)؛ ب) با فشار عملیاتی (Cengelloglu et al., 2008)؛ و ج) با pH محلول (Dydo et al., 2005)

۶- مروری بر فناوری‌های حذف بور و انواع پیکربندی سامانه اسمز معکوس با هدف حذف بور

که جذب سطحی و تصفیه غشایی را طی یک فرآیند با هم ترکیب می‌کند، اخیراً مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. فناوری جذب سطحی عمدتاً برای محلول‌های رقیق به کار می‌رود؛ درحالی‌که روش‌های تبادل یونی و غشایی برای محلول‌های غلیظ استفاده می‌شود. در روش‌های جذب سطحی از جاذب‌های مختلفی مانند سیلیس، کربن فعال، خاک رس، خاکستر بادی، مواد معدنی طبیعی، مواد زیستی، نانوذرات، هیدروکسیدهای دو لایه‌ای، رزین‌های انتخاب‌گر بور و غشاهای کمپلکس‌ساز استفاده می‌شود. اخیراً، محققان بیشتر بر روی جاذب‌هایی با گروه‌های عاملی کیلیت‌کننده، خاک رس، اکسیدهای فلزی و مواد طبیعی تمرکز کرده‌اند. برای پساب‌های با غلظت بور بالا یا با ساختار پیچیده، روش‌های انعقاد (انعقاد الکتریکی و انعقاد شیمیایی) کارآمدتر است که بور محلول را به جامد نامحلول تبدیل می‌کند (Bhagyaraj et al., 2021).

همان‌گونه که در بخش پیشینه مطالعات ذکر شد، فناوری‌های مختلفی برای حذف موثر بور از آب دریا تا حد استاندارد، مورد مطالعات تجربی قرار گرفته است. فناوری‌های پیشنهاد شده هرکدام دارای مزایا و معایبی است (Xu et al., 2010) (جدول ۱). موثرترین راه حذف بور محلول، استفاده از روش‌های نمک‌زدایی حرارتی است. امروزه به دلیل مصرف بالای انرژی، کشورهای توسعه‌یافته بیش از این از روش‌های مذکور حمایت نمی‌کنند؛ اما در برخی نقاط در مقیاس کوچک و با استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند راهگشا باشد (سامی‌حصار و همکاران، ۱۳۹۸). رویکردهای متفاوت پیشنهاد شده برای حذف بور همگی وابسته به دو راهبرد است: جداسازی به کمک جذب سطحی روی یک بستر یا جداسازی به روش تصفیه غشایی. رویکردهای تلفیقی نیز

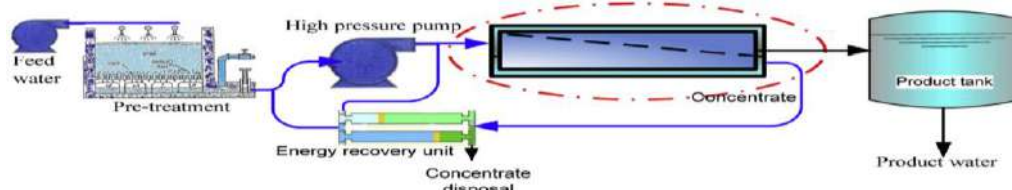
جدول ۱- خلاصه مزایا و معایب روش‌های حذف بور

دسته‌بندی روش	روش‌ها	مزایا	معایب
تصفیه فیزیکی- شیمیایی	انعقاد-رسوب‌دهی	بازده بالا (۹۰٪)	فرایند پیچیده، جابجایی لجن، هزینه ماده معرف
فرایند جذب سطحی	رزین تبادل یونی	بازده بالا (۹۰-۹۹٪)، بدون گاز زدا، سرمایه‌گذاری کم، عملیات ساده، انتخاب بور بالا	رزین مخصوص بور، هزینه رزین و بازسازی، مدیریت پسماند، مسائل مرتبط با فولینگ، هزینه عملیاتی بالا
فرایندهای غشایی	الکترودیالیز	بازده بالا (۹۰-۹۶٪)، حداقل نیاز به افزودنی‌های شیمیایی، فرایندهای شناخته شده، کاهش انرژی مورد نیاز	هزینه بالای سرمایه‌گذاری، مدیریت پسماند، هدایت الکتریکی پایین، تأثیر کلرید، تعویض مکرر الکترود
	۱ یا ۲ یا ۳ مرحله اسمز معکوس در شرایط قلیایی	بازده بالا (۹۰-۹۵٪) در pH بین ۱۰ تا ۱۱، عملیات ساده، فروش آسان	غشاء خاص بور، هزینه شیمیایی، پایداری غشاء، پوسته‌زنی غشاء، هزینه انرژی بالا، پایش مکرر غشا
	۲ یا ۳ مرحله اسمز معکوس در شرایط قلیایی	بازده بالا (۹۰-۹۵٪) در pH بین ۱۰ تا ۱۱، عملیات ساده، مقرون به صرفه برای آب آشامیدنی با نیاز ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، فروش آسان	غشای مخصوص بور، مصرف انرژی بالا، بازافت کلی کم، پوسته‌زنی غشاء، پایش مکرر غشا
	طراحی آبشاری ^{۱۲}	بازده بالا (بیش از ۹۰٪)، بدون پوسته‌زنی غشاء، هزینه پایین آب	فرایند پیچیده، کنترل دوز مواد شیمیایی، هزینه غشا
طراحی تلفیقی	اسمز معکوس + تبادل یونی	بازده بالا (بیش از ۹۰٪)، مصرف انرژی پایین، مقرون به صرفه برای آب آبیاری با نیاز ۰/۵ میلی گرم بر لیتر بور	فرایند پیچیده، رزین‌های مخصوص بور، بازتولید رزین

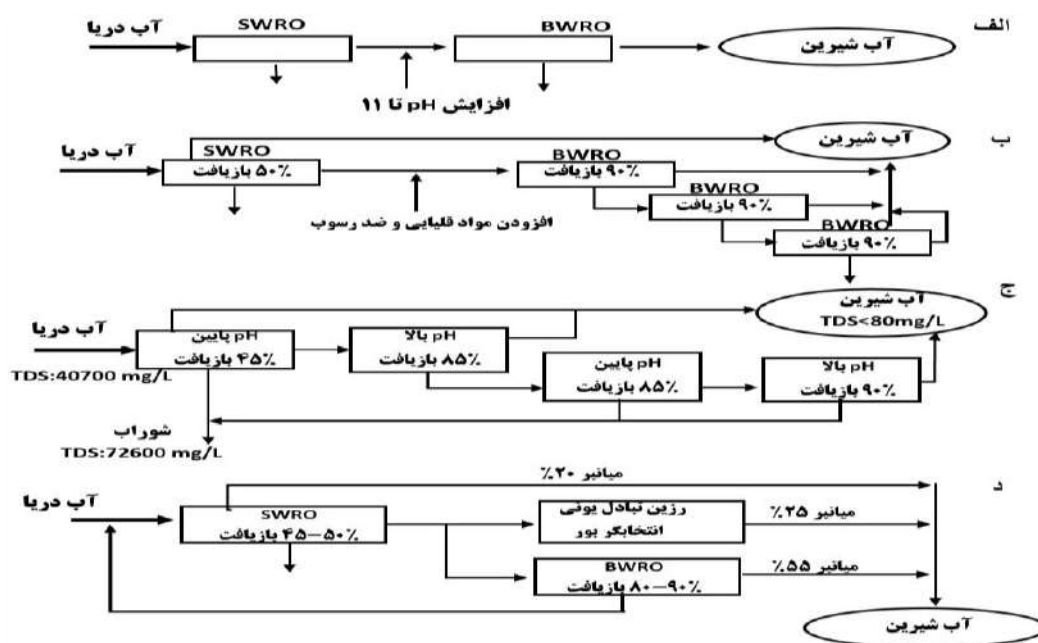
هر دو انتهای مخزن‌های غشا جمع‌آوری می‌شود (شکل ۷-ب). تراوه از انتهای خوراک با شوری و غلظت بور کمتر برای اختلاط استفاده می‌شود درحالی‌که تراوه حاصل از انتهای کنسانتره با غلظت بور بالاتر وارد گذر دوم می‌شود. در تراوه گذر اول، pH باید تا حد ۱۰ افزایش یابد سپس به‌صورت خوراک وارد گذر دوم شود. چون چنین شرایط pH بالا می‌تواند منجر به رسوب نمک‌های محلول شود، نیاز است ماده ضد رسوب^{۱۵} به خوراک گذر دوم اضافه شود. مشکل دیگر آرایش چندگذره، افزایش هزینه عملیاتی ناشی از بازده پایین سامانه است. زمانی که نمک‌های محلول آب خوراک بسیار بالا است و استاندارد آب تولیدی سخت‌گیرانه است، یک سامانه اسمز معکوس پیچیده مانند منطقه آشکلون فلسطین اشغالی که دارای چهار گذر اسمز معکوس به‌صورت سری است، می‌تواند استفاده شود (شکل ۷-ج) (Gorenflo et al., 2017). در این سامانه در گذر اول pH پایین است و جامدات محلول حذف می‌شود. در گذر دوم pH بالاتر از ۱۰ به حذف بور کمک می‌کند. نوع دیگر طراحی، سامانه تلفیقی فناوری غشایی با تبادل یونی است (شکل ۷-د) (Redondo et al., 2003).

فرایند اسمز معکوس، در طراحی عادی تک مرحله‌ای^{۱۳} با یک غشای ساده، حذف یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم را به‌منظور نمک‌زدایی از آب انجام می‌دهد (شکل ۶). فرایند اسمز معکوس نیاز به فشار بالا دارد تا بتواند بر فشار تفاضلی اسمز که بین آب دریا خوراک و جریان آب تولیدی وجود دارد غلبه کند. اما این طراحی برای کاهش بور تا حد ۵ ppm یا کمتر موثر نیست (Kürklü et al., 2017). لذا برای رفع این مشکل، تاکنون چند مدل پیکربندی برای سامانه‌های اسمز معکوس پیشنهاد شده است.

در عمل، سامانه اسمز معکوس آب دریا شامل دو گذر است که در گذر اول pH خنثی و در گذر دوم به ۱۱ می‌رسد تا بور را تا حد کمتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر حذف کند (شکل ۷-الف). تعداد گذرها بستگی به ویژگی‌های آب خوراک و استانداردهای آب تولیدی دارد. چون جامدات محلول در آب (TDS)، پس از اولین گذر به‌شدت کاهش می‌یابد، در گذر دوم می‌توان از غشاهای اسمز معکوس آب لب‌شور استفاده کرد تا انرژی ذخیره شود. طراحی خلافت‌های نخستین بار در منطقه ایلات فلسطین اشغالی به‌کار گرفته شد. در این سامانه، در گذر اول، تراوه^{۱۴} خروجی از



شکل ۶- سامانه نمک‌زدایی اسمز معکوس آب دریا. غشای اسمز معکوس به ورت خط چین قرمز است (Kabay et al. 2015)



شکل ۷- الف) سامانه نمک‌زدایی و حذف بور دوگذره؛ ب) پیکربندی واحد نمک‌زدایی آب دریا در ایلات فلسطین اشغالی؛ ج) نمک‌زدایی آب دریا در آشکلون فلسطین اشغالی؛ و د) سامانه حذف بور تلفیقی اسمز معکوس/رزین تبادل یونی (Tu et al., 2010)

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

علی‌رغم نقش مهم بور به‌عنوان یک ریزمغذی برای گیاهان و حیوانات، انتشار بور از منابع مختلف طبیعی و انسان‌زاد، محط زیست را به خطر می‌اندازد. این امر منجر به ورود بور به منابع آبی مختلف و از جمله دریا شده که باید مطابق با استانداردها برای شرب و آبیاری تصفیه شوند. با توجه به ضرورت استفاده از نمک‌زدایی آب دریا به‌عنوان مهم‌ترین راهکار معطل کمبود آب، حذف بور یکی از چالش‌های مهم در فرایند شیرین‌سازی آب دریا محسوب می‌شود. فناوری‌های متعددی برای نمک‌زدایی آب دریا و نیز حذف بور وجود دارد که موثرترین آن‌ها، روش‌های حرارتی است اما امروزه به‌دلیل مصرف بالای انرژی، دیگر مورد توجه کشورهای توسعه‌یافته نیست. اسمز معکوس هرچند پر کاربردترین فناوری روز نمک‌زدایی آب دریا است اما برای حذف موثر بور تا حد استاندارد، به تنهایی کافی نبوده و نیاز به طراحی چندگذره دارد که در گذر دوم پس از حذف نمک‌ها، pH افزایش داده شود. اما این امر، باعث افزایش هزینه خواهد شد. پیشنهادات متنوع ارائه شده برای حل این مشکل عبارتند از: طراحی غشاهای جدید با قابلیت بالای حذف بور، تلفیق اسمز معکوس با سایر فرایندها نظیر تبادل یونی، نانوفیلتراسیون، الکترودیونیزاسیون، جذب سطحی، انعقاد و ته‌نشینی که هر یک مزایا و محدودیت‌هایی دارد. چالش اصلی در روش تبادل یونی، نیاز به پس‌تصفیه، بازسازی رزین‌ها و دفع پسماد حاصله است. نانوفیلتراسیون به‌عنوان یک فرایند پیش‌تصفیه، با مشکل جرم‌گرفتگی غشا و نیاز به پاک‌سازی شیمیایی متناوب مواجه است. اخیراً روش الکترودیونیزاسیون به‌دلیل مزایای فراوان مانند کیفیت خوب آب شیرین تولید شده، مصرف انرژی کمتر و عدم نیاز به کاربرد مواد شیمیایی به‌عنوان یک فناوری سبز و امیدوارکننده در نظر گرفته شده است. در روش‌های جذب سطحی، رزین‌های کیلیت‌کننده نتایج امیدبخشی را برای کاربردهای صنعتی نشان داده‌اند، به‌ویژه که اخیراً به کمک تکنیک‌های ابتکاری مانند افزایش سطح، بهبود آب‌دوستی زمینه و استفاده از اجزای مغناطیسی، کارایی آن‌ها بهبود بخشیده شده است. جاذب‌های مبتنی بر خاک رس، با وجود سازگاری با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه بودن، گزینش‌پذیری ضعیفی نسبت به بور نشان می‌دهد که کاربرد آن‌ها را محدود می‌کند. اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی نیز برای حذف بور مفید بوده و می‌توان کامپوزیت‌های اکسید فلزی پایدار جدیدی را برای حذف بور طراحی کرد. به‌لحاظ چشم‌انداز روش‌های حذف بور در آینده نزدیک، باید ذکر کرد که جاذب‌های مغناطیسی در

طول فرایند جذب، سریع و کارآمد عمل می‌کنند. از این‌رو، در آینده، طراحی مواد مغناطیسی در اندازه نانو با سطح بالا که پس از جذب، امکان جداسازی سریع با استفاده از روش‌های جدایش مغناطیسی را فراهم کند، مورد توجه قرار خواهد گرفت. همچنین ایجاد جاذب‌هایی که بدون نیاز به افزودن مواد شیمیایی و در pH طبیعی آب دریا بتواند حداکثر جذب بور را داشته باشد، مهم خواهد بود. افزایش انتخابگری بور توسط جاذب‌ها و بازسازی موثر جاذب برای استفاده مجدد از دیگر اولویت‌های پژوهشی در این راستا است. توسعه پلیمرهای جدید به‌عنوان تکیه‌گاه عوامل کی‌لیت‌کننده برای حذف موثر بور، طراحی گروه‌های عملکردی پیچیده جدید که بتواند به‌طور سریع و کارآمد در pH های مختلف با بور کمپلکس‌سازی کند، توسعه جاذب‌های ارزان قیمت از مواد طبیعی مانند پلیمرهای زیستی و ضایعات کشاورزی و توسعه فناوری‌های ترکیبی جدید برای افزایش کارایی حذف بور، از دیگر علاقه‌مندی‌های پژوهشگران برای مطالعات آتی است. در نهایت و به‌عنوان نتیجه کلی باید ذکر کرد که انتخاب بهترین روش برای حذف بور در فرایند شیرین‌سازی آب دریا، بستگی به شرایط منطقه، غلظت محلی بور، استانداردهای منطقه‌ای برای آب شرب، در دسترس بودن جاذب‌های مناسب، منابع و هزینه‌های انرژی مصرفی، هزینه سرمایه‌گذاری و به‌طور خلاصه، کلیه ملاحظات اقتصادی، محیط‌زیستی، اجتماعی در آن منطقه خاص دارد. البته هم‌چنان نیاز به تحقیقات پایه‌ای برای فهم بهتر فرایند حذف بور، تاثیرات قدرت یونی محلول، اثر جرم‌گرفتگی و پاک‌سازی شیمیایی غشاها بر حذف بور، مدل‌سازی ریاضی حمل بور از طریق غشاها در شرایط هیدرولیکی مختلف و در نهایت اندیشیدن به استفاده از سایر فناوری‌های نمک‌زدایی آب دریا به‌غیر از اسمز معکوس وجود خواهد داشت.

۹- پی‌نوشت‌ها

- 1- International Water Management Institute (IWMI)
- 2- Reverse Osmosis (RO)
- 3- Multi Effect Distillation (MED)
- 4- Nano Filtration (NF)
- 5- Electrodialysis (ED)
- 6- Eilat
- 7- Polyols
- 8- Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)
- 9- Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)
- 10- Waste Water- Sea Water (WW-SW)
- 11- Dow/Filmtech - Nitto Denko/Hydranautics –TORAY
- 12- Cascade
- 13- Single pass reverse osmosis
- 14- Permeate
- 15- Antiscalant

- removal from saline water: A comprehensive review", *Desalination*, 273(1), 23-35, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.012>.
- Hung, P.V.X., Cho, S-H., and Moon, S-H., (2009), "Prediction of boron transport through seawater reverse osmosis membranes using solution-diffusion model", *Desalination*, 247(1-3), 33-44.
- Hunt, C.D., and Benjamin, C., (2003), "Boron", In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, Academic Press, Oxford, 566-574.
- Inamuddin, Ahamed, M.I., Lichtfouse, E., and Asiri, A.M., (2021), *Green adsorbents to remove metals, dyes and boron from polluted water*, Environmental Chemistry for a Sustainable World 49, Springer Nature Switzerland AG, 462 p.
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M.T.H., Smakhtin, V., Kang, S.M., (2019), "The state of desalination and brine production: A global outlook", *Science of The Total Environment*, 657, 1343-1356, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>.
- Kabay, N., Bryjak, M., and Hilal, N., (2015), *Boron separation processes*, Elsevier; 1st Edition, 412 p.
- Kürklü, S., Velioğlu, S., Ahunbaya, M.G., Tantekin-Ersolmaz, S.B., and Krantz, W.B., (2017), "A novel energy-efficient concurrent desalination and boron removal (CDBR) process", *Desalination*, 423, 79-94, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.09.005>.
- Lim, Y.J., Goh, K., Kurihara, M., and Wang, R., (2021), "Seawater desalination by reverse osmosis: Current development and future challenges in membrane fabrication, A review", *Journal of Membrane Science*, 629, 119292, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119292>.
- Lin, J.Y., Mahasti, N.N.N., and Huang, Y.H., (2020), "Recent advances in adsorption and coagulation for boron removal from wastewater: a comprehensive review", *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124401, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124401>.
- Nable, R.O., Bañuelos, G.S., and Paull, J.G., (1997), "Boron toxicity", *Plant and Soil*, 193(1), 181-198.
- Nadav, N., Koutsakos, E., (2013), "Innovative design of the UF and SWRO Limassol desalination plant in Cyprus", *Desalination and Water Treatment*, 51(1-3), 95-100.
- Najid, N., Kouzbou, S., Ruiz-García, A., Fellaou, S., Gourich, B., and Stiriba, Y., (2021), "Comparison analysis of different technologies for the removal of boron from seawater: A review", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 1-20, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105133>.
- Park, B., Lee, J., Kim, M., Sun Won, Y., Lim, J.K., and Kim, S. (2015) "Enhanced boron removal using polyol compounds in seawater reverse osmosis processes", *Desalination and Water Treatment*, 57(17), 7910-7917, <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1038596>.
- Rahmawati, K., (2011), "Boron removal in seawater reverse osmosis system", M.Sc. Thesis, King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal, Kingdom of Saudi Arabia.
- پسندیده‌پور، ف.، غلامی، ف.، و اسدی، آ.، (۱۴۰۰)، "مروری بر عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون اصلاح شده با نانومواد معدنی، کربنی و ترکیبی از آن‌ها"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۸(۱)، <https://doi.org/10.22112/jwwse.2022.316060.1297>.
- سامی‌حصار، ب.، زرغامی، م.، یگانی، ر.، و صباحی، م.، (۱۳۹۸)، "طراحی سیستم آب‌شیرین‌کن خورشیدی به‌روش اسمز معکوس- فتوولتائیک (مطالعه موردی: آب لب‌شور روستای سربند اردبیل)"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۴(۲)، ۳۷-۴۶.
- Bao, X., Long, W., Liu, H., and She, Q., (2021), "Boron and salt ion transport in electrically assisted reverse osmosis", *Journal of Membrane Science*, 637, 119639, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119639>.
- Bhagyaraj, S., Al-Ghouti, M.A., Kasak, P., and Krupa, I., (2021), "An updated review on boron removal from water through adsorption processes", *Emergent Materials*, 4, 1167-1186.
- Boccaletti, G., Grobbel, M., and Stuchey, M.R., (2010), "The business opportunity in water conservation", *McKinsey Quarterly*, December 1, 67-75.
- Cengeloglu, Y., Arslan, G., Tor, A., Kocak, I., and ve Dursun, N., (2008), "Removal of boron from water by using reverse osmosis", *Separation and Purification Technology*, 64(2), 141-146.
- Curto, D., Franzitta, V., and Guercio, A., (2021), "A review of the water desalination technologies", *Applied Sciences*, 11(2), 670.
- Dydo, P., Turek, M., Ciba, J., Trojanowska, J., and Kluczka, J., (2005), "Boron removal from landfill leachate by means of nanofiltration and reverse osmosis", *Desalination*, 185(1-3), 131-137.
- Eke, J., Yusuf, A., Giwab, A., and Sodi, A., (2020), "The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity", *Desalination*, 495, 114633, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114633>.
- EPA, (2008), *Drinking water health advisory for boron*, Health and Ecological Criteria Division Office of Science and Technology Office of Water, Document Number: 822-R-08-013, Washington, D.C., USA.
- Farhat, A., Ahmad, F., Hilal, N., and Arafat, H.A., (2013), "Boron removal in new generation reverse osmosis (RO) membranes using two-pass RO without pH adjustment", *Desalination*, 310, 50-59, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.003>.
- Geffen, N., Semiat, R., Eisen, M., and Balazs, Y.S., (2006), "Boron removal from water by complexation to polyol compounds", *Journal of Membrane Science*, 286(1-2), 45-51.
- Hilal, N., Kim, G., and Somerfield, C., (2011), "Boron

- Redondo, J., Busch, M., and De Witte, J.P., (2003), "Boron removal from seawater using FILMTECTM high rejection SWRO membranes", *Desalination*, 156(1-3), 229-238.
- Regis, A.O., Vanneste, J., Acker, S., Martínez, G., Ticona, J., García, V., Alejo, F.D., Zea, J., Krahenbuhl, R., Vanzin, G., and Sharp, J.O., (2022), "Pressure-driven membrane processes for boron and arsenic removal: pH and synergistic effects", *Desalination*, 522, 115441, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115441>.
- Ruiz-García, A., and Nuez, I., (2021), "Performance evaluation and boron rejection in a SWRO system under variable operating conditions", *Computers and Chemical Engineering*, 153, 07441, <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107441>.
- Tang, Y.P., Luo, L., Thong, Z., and Chung, T.S., (2017), "Recent advances in membrane materials and technologies for boron removal", *Journal of Membrane Science*, 541, 434-446, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.07.015>.
- Tappe, A., (2020), "Investors can now trade water futures-CNN", Accessed on 12 December 2020, <https://edition.cnn.com/2020/12/07/investing/water-futures-trading/index.html>.
- Tu, K.L., Nghiem, L.D., and Chivas, A.R., (2010), "Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater desalination applications", *Separation and Purification Technology*, 75(2), 87-101.
- WHO and IPCS, (1998), *Boron*, World Health Organization, Geneva, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42046>
- WHO, (2003) *Boron in drinking-water, Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality*, WHO/SDE/WSH/03.04/54, Geneva.
- Xu, J., Xu, J., Gao, X., Chen, G., Zou, L., and Gao, C. (2010) "High performance boron removal from seawater by two-pass SWRO system with different membranes", *Water Science and Technology: Water Supply*, 10(3), 327-336.
- Zetland, D. (2021) "The role of prices in managing water scarcity", *Water Security*, 12, 100081, scarcity", *Water Security*, 12, 100081, <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100081>.



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

Review Paper

مقاله مروری

**A Review of the Performance of
Nanofiltration Membranes Modified with
Inorganic, Carbon Nanomaterials and their
Combinations**

**مروری بر عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون
اصلاح شده با نانومواد معدنی، کربنی و ترکیبی از
آنها**

**Fatemeh Pasandidehpour¹, Foad Gholami²
and Azar Asadi^{3*}**

1- M.Sc. Student in Applied Chemistry, Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, Razi University, Kermanshah, Iran.

2- Ph.D. Student in Applied Chemistry, Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, Razi University, Kermanshah, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Applied Chemistry, Faculty of Gas and Petroleum, Yasouj University, Gachsaran, Iran.

*Corresponding Author, Email: a.asadi@yu.ac.ir

فاطمه پسندیده پور^۱، فواد غلامی^۲ و آذر اسدی^{۳*}

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

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

۳- استادیار، گروه شیمی کاربردی، دانشکده نفت و گاز گچساران، دانشگاه یاسوج، گچساران، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: a.asadi@yu.ac.ir

Received: 21/11/2021

Revised: 11/01/2022

Accepted: 13/01/2022

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

Nowadays, membranes are widely used in various industries due to their advantages such as high removal efficiency and the ease of operation. However, membrane clogging is an important limiting factor in this process which is related to the hydrophobicity of membrane materials. Although reverse osmosis and nanofiltration processes were used to purify water, the use of nanofiltration is more cost-effective as the nanofiltration process is conducted at a lower pressure and plays a major role in water treatment and desalination. Recently, many researches has reported the improvements in the ability of nanofiltration process to reject salts, dyes, and heavy metals and also to reduce the clogging of nanofiltration membranes. Membrane clogging is the largest and most challenging barrier to membrane processes, greatly reducing membrane performance and membrane life, and increasing operating cost. In this review article, different methods of nanofiltration membrane modification using nano-minerals, carbon as well as mineral / carbon composite materials has been investigated in order to improve the performance of nanofiltration membranes.

Keywords: Hydrophilic Nanomaterials, Membrane Clogging, Nanofiltration Membrane, Polymer Membranes.

چکیده

امروزه غشاها با توجه به مزایایی که دارند از جمله توانایی حذف بالا و سادگی در راهبری کاربرد زیادی در صنعت دارند ولی گرفتگی غشا عاملی مهم در محدودیت این فرآیند است، که به خاصیت آب‌گریزی مواد سازنده غشا مربوط می‌شود. اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون برای تصفیه آب مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ اما با توجه به این که فرآیند نانوفیلتراسیون در فشار پایین‌تری راهبری می‌شود و در تصفیه آب، پساب و نمک‌زدایی نقش زیادی دارد، به‌کارگیری نانوفیلتراسیون مقرون به‌صرفه‌تر است. امروزه پژوهش‌های زیادی در راستای بهبود توانایی حذف نمک‌ها و هم‌چنین کاهش گرفتگی غشا نانوفیلتراسیون صورت گرفته است. گرفتگی غشا بزرگترین و چالش برانگیزترین مانع در اجرای فرایندهای غشایی است و به‌مقدار زیادی عملکرد غشا و عمر غشا را کاهش و هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد. در این مقاله مروری، روش‌های مختلف اصلاح غشای نانوفیلتراسیون با استفاده از نانو مواد معدنی، کربنی و هم‌چنین مواد ترکیبی معدنی/کربنی به‌منظور بهبود عملکرد غشای نانوفیلتراسیون مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: نانوفیلتراسیون، غشاهای پلیمری، نانومواد آب‌دوستی، گرفتگی غشا.

سیالات یا یون‌های گوناگون به کار می‌گیرد. به دلیل این که این غشاهای در فشارهای بسیار پایین‌تری کار کرده و برخی از آن‌ها می‌توانند در مواردی که حذف بالای مواد آلی و حذف متوسط مواد معدنی مورد نیاز است، کاربرد داشته باشند. این روش قادر به تغلیظ شکر، نمک‌های دوزفیتی و پروتئین‌ها است (قنوتی نسب و ابراهیمی، ۱۳۹۵). از غشاهای نانوفیلتراسیون معمولی برای نرم‌سازی آب استفاده می‌شود که در آن سختی آب کم شده و مواد آلی، باکتری‌ها و ناخالصی‌های دیگر از آب جدا می‌شوند. به دلیل نیاز به فشار کمتر نانوفیلتراسیون نسبت به اسمز معکوس و کاهش هزینه انرژی، درخصوص نمک زدایی از آب حاوی مقادیر بالا از املاح برای مصارف آشامیدن، توجه به نانوفیلتراسیون فزاینده است. غشاهای نانوفیلتراسیون را می‌توان به دو گروه سرامیکی و پلیمری طبقه‌بندی کرد.

دو نوع غشای سلولز استات و غشای کامپوزیت لایه نازک پلی‌امید موفق‌ترین غشاهای نانوفیلتراسیون در بازار هستند. غشای سلولز استات به دلیل تولید آسان و ارزان بودن بخش کوچکی از بازار را در اختیار دارد ولی معایبی دارد که از آن جمله می‌توان به محدوده عملکرد غشا در pH بین ۴ تا ۶، از بین رفتن کارایی غشا در بالاتر از دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و جذب راحت باکتری روی سطح غشا اشاره کرد. غشا کامپوزیت لایه نازک پلی‌امید نیز به دلیل قابلیت خوب در پس زدن نمک در بازار تجاری موفق بوده اما معایبی مثل مقاومت کم در برابر فشار، اکسید کننده‌ها، کلر و حرارت را دارد. همچنین غشاهای نانوفیلتراسیون موجود در بازار، به سرعت منافذشان گرفته می‌شود و از طول عمر آن‌ها کاسته می‌شود. در این خصوص، غشاهای جدید پلیمری ترکیب شده با فناوری نانو مشکلات گذشته را برطرف کرده است. از جمله موادی که می‌توانند در بهبود عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون پلیمری نقش ایفا کنند عبارتند از: (۱) غشاهای پوشش داده شده از نانوکانی‌های سیلیکاتی؛ (۲) غشاهای پلیمری-پروتئینی پیوندی و یا شبه‌زیستی؛ (۳) غشاهای ترکیب شده با نانولوله‌های کربنی؛ (۴) غشاهای کopolymerی خودآرا؛ (۵) غشاهای پایه گرافنی و (۶) نانوکامپوزیت‌های لایه نازک آلی-غیر آلی.

فرایند غشای نانوفیلتراسیون منجر به پس‌زدن ذرات بزرگ‌تر از یک نانومتر مثل مولکول‌های آلی با وزن زیاد، یون‌های چند ظرفیتی و در مواردی یون‌های تک ظرفیتی می‌شود. غشاهای نانوفیلتراسیون معمولاً ضخامتی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرومتر با یک لایه تفکیک کننده و منافذی با قطر کمتر از ۰/۰۰۲ میکرومتر را دارا هستند. فشار عبوری غشا معمولاً بین ۳/۵ تا ۱۶ بار است

آب یک منبع اساسی برای زندگی انسان است، با این حال، طبق تخمین شورای جهانی آب، ۳/۹ میلیارد نفر در مناطق کم آب روی زمین تا سال ۲۰۳۰ زندگی می‌کنند (Ji et al., 2017). از آنجایی که تمام فعالیت‌های بشر وابسته به آب است، با افزایش جمعیت جهان، مقدار زیادی پساب‌های فاضلاب روزانه در مناطق خانگی، صنعتی و کشاورزی تولید می‌شود. با این حال منابع آب شیرین مطابق با رشد روزافزون جمعیت و نیازهای استفاده از آب دوباره پر نمی‌شوند. این امر منجر به رقابت شدید و توزیع ناعادلانه منابع آب شیرین در بخش‌های مختلف شده است. تولید فاضلاب اجتناب ناپذیر است؛ زیرا بخشی جدایی ناپذیر در تمام بخش‌های زندگی را تشکیل می‌دهد. همه این فاضلاب‌ها آب تمیز همراه با آلاینده‌ها هستند، بنابراین با تصفیه کارآمد فاضلاب می‌توان منابع آب شیرین را تکمیل کرد و آب آشامیدنی برای همه در دسترس باشد. در سال‌های گذشته تلاش‌های زیادی برای معرفی انواع تکنولوژی‌های تصفیه فاضلاب صورت گرفته است که می‌توان فیلتراسیون غشایی، انعقاد و لخته‌سازی و تصفیه بیولوژیکی را نام برد. یکی از فناوری‌های تصفیه فاضلاب که افزایش عمده‌ای داشته، فناوری غشا است. فناوری غشا به دلیل مزایایی همچون انعطاف‌پذیری، انرژی کم، هزینه عملیاتی پایین و همچنین سازگاری با محیط‌زیست قابل توجه بوده و گزینه مطلوبی در فرآیندهای تصفیه فاضلاب، جداسازی و تصفیه مواد در بخش‌های صنعتی مانند غذایی و دارو است. (Obotey and Rathilal, 2020)؛ صرافزاده، ۱۳۹۶).

غشا وسیله‌ای است که جداسازی را عموماً براساس اندازه مولکولی آن‌ها ممکن می‌سازد. غشا به صورت فازی که اجزای جداشونده خوراک با سرعت‌های متفاوت از آن عبور می‌کنند، عمل می‌کند. در این روش، معمولاً تغییر فازی صورت نمی‌گیرد و محصولات نیز در هم‌دیگر قابل امتزاج هستند. چگونگی کار غشا توسط خواص فیزیکی و شیمیایی آن مشخص می‌شود. خواص فیزیکی شامل اندازه و شکل حفره‌های موجود در غشا و نوع آن‌ها است. خواص شیمیایی غشا عبارتند از بار سطحی آن، توانایی جذب اجسام دیگر و امکان انجام واکنش با سایر مواد. آب‌گریزی و یا آب‌دوستی غشا حاصل خواص فیزیکی و شیمیایی آن است (قنوتی نسب و ابراهیمی، ۱۳۹۵؛ یادگاری و همکاران، ۱۳۹۶).

۲- نانوفیلتراسیون (NF)

شکلی از فیلتراسیون است که غشاهای را به منظور جداسازی

(فریدی و سروری، ۱۳۹۴).

۳- ساختار و ویژگی مواد سازنده غشاها

به‌طور کلی مواد سازنده غشاها ساختار و ویژگی‌های متنوعی دارند. در این میان مواد پلیمری متفاوتی مانند پلی‌سولفون (PSF)، پلی‌اتر سولفون (PES)، پلی‌وینیلیدن فلوراید (PVDF)، پلی‌اتر ایمید (PA)، پلی‌اتر ایمید (PEI)، پلی‌وینیل کلراید (PVC) و غیره به‌عنوان ماده پایه در ساخت غشا مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از موادی که به‌طور گسترده در ساخت غشا قابل استفاده است، پلی‌اتر سولفون است که خواصی از جمله مقاومت شیمیایی، ویژگی گرمایی و مکانیکی بسیار مناسبی دارد. پلی‌سولفون نیز به‌دلیل هزینه پایین‌تر، در دسترس بودن، پایداری شیمیایی و گرمایی مناسب به‌طور گسترده استفاده می‌شود. عمده‌ترین مشکل پلیمرهای ذکر شده که در ساخت غشا مورد استفاده قرار می‌گیرند آب‌گریزی نسبی آنها است که عامل گرفتگی غشاها و کاهش شار نفوذی در حین عملیات می‌شود (غلامی و مهدوی، ۱۳۹۹). کاهش شار نفوذی، یکی از محدودیت‌های اساسی در فرآیندهای غشایی است؛ که در نتیجه لایه تشکیل شده از ترکیباتی که از فیلتر غشایی عبور نکرده‌اند، ایجاد می‌شود. به کاهش غیرقابل برگشت و طولانی‌مدت جریان، انسداد غشایی گفته می‌شود. شکل‌های مختلف انسداد غشا، بستگی به اندازه و شکل ذرات جامد و همچنین اندازه منافذ غشا دارند (رودسری و همکاران، ۱۳۹۱).

انسداد غشایی به چهار صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

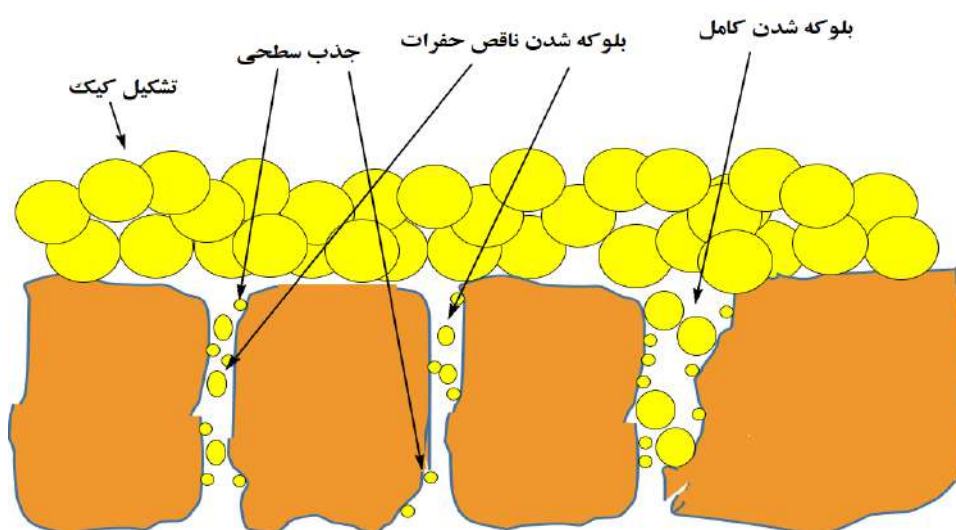
الف: بلوکه شدن کامل حفرات غشا (complete pore blocking): (blocking) زمانی اتفاق می‌افتد که اندازه ذرات ورودی بزرگ‌تر از اندازه منافذ غشا باشد و باعث بسته‌شدن بخشی از منافذ شود. اتفاقی که در نهایت رخ می‌دهد کاهش سطح غشا است (رودسری و همکاران، ۱۳۹۱).

ب: بلوکه شدن ناقص حفرات غشا (partial pore blocking): این پدیده هم مانند حالت قبل زمانی اتفاق می‌افتد که درشت مولکول‌ها به داخل منافذ باز دسترسی پیدا کنند و باعث بستن آن شوند. با این تفاوت که ممکن است یک حالت بلوکه شدن یا نشدن اتفاق بیفتد و ذرات عبوری با تشکیل یک پل در ورودی حفرات بدون بلوکه کردن کامل، باعث انسداد شوند (رودسری و همکاران، ۱۳۹۱).

پ: تشکیل کیک (cake formation): این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که درشت مولکول‌ها نمی‌توانند به درون منافذ وارد شوند و باعث تشکیل کیک بر روی سطح غشا می‌شوند. بنابراین مقاومت غشا به دلیل وجود لایه کیک ایجاد شده، افزایش می‌یابد (رودسری و همکاران، ۱۳۹۱).

ت: بلوکه شدن داخلی منافذ (internal pore blocking): علت این پدیده ورود ذرات به درون منافذ غشا، رسوب بر سطوح منافذ و یا جذب سطحی آنها است و باعث کاهش حجم منافذ می‌شود. در صورت بلوکه شدن داخلی منافذ، مکانیسم انسداد غشایی مستقل از سرعت جریان متقاطع است (رودسری و همکاران، ۱۳۹۱).

چهار حالت مکانیسم انسداد غشایی گفته شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- شکل گرافیکی از انواع گرفتگی در سطح غشا

۴- روش‌های ساخت غشا

روش‌های زیادی برای ساخت غشاهای پلیمری مورد استفاده است؛ اما در ادامه تعدادی از پرکاربردترین روش‌های ساخت غشا ارائه شده است.

۴-۱- پختن (Sintering)

در این روش ذرات در اندازه‌های مشخصی را فشرده کرده و سپس آن‌را با افزایش دما می‌پزند. این روش برای ساخت غشاهای متخلخل از مواد آلی و معدنی کاربرد دارد. تخلخل غشا در این روش معمولاً کم است. غشاهای میکروفیلتراسیون (MF) با این روش ساخته می‌شوند (فردی و همکاران، ۱۳۹۶).

۴-۲- کشیدن (Stretching)

در این روش تخلخل بیشتر از روش پختن است، اما حفرات غشا کم‌اکان در اندازه میکرو هستند. با استفاده از مواد پلیمری نسبتاً کریستالی فیلم اکستروژن شده ساخته و سپس در جهت عمود بر جهت اکستروژن کشیده می‌شود. در نتیجه ناحیه کریستالی به موازات جهت اکستروژن قرار می‌گیرد و ساختار متخلخل به دلیل فشار مکانیکی اعمال شده ساخته می‌شود.

۴-۳- قلم زنی (Track-Etching)

در این روش غشا با قرارگیری فیلم در برابر تابش ذرات پر انرژی، که عمود تابیده می‌شوند، به دست می‌آید. در مرحله بعد فیلم در حمام اسیدی یا بازی قرار گرفته و مواد پلیمری به موازات مسیرهای حک شده قرار می‌گیرند تا حفره‌ها با توزیع اندازه ذرات کم تشکیل شود.

۴-۴- شستن قالب (Template Leaching)

در این روش غشا متخلخل با شستن یکی از ترکیبات ذوب شده در ساختار غشا ساخته می‌شود. غشاهای شیشه‌ای با این روش ساخته می‌شوند. قطر حفرات در این روش حداقل ۰/۵ μm است.

۴-۵- پوشش‌دهی (Coating)

غشاهای کامپوزیت شامل دو ماده مختلف هستند، غشا پایه که استحکام غشا را تامین می‌کند و لایه نازک که تعیین کننده انتخاب پذیری و خصوصیات غشا است. این فرآیند به روش‌های پوشش‌دهی زیر انجام می‌شود.

۴-۵-۱- پوشش غوطه‌وری

در صورتی از این روش استفاده می‌شود که لایه‌ای نازک متراکم و بسیار نازک باشد که در اسمز معکوس، جداسازی گازها و تراوش تبخیری کاربرد دارد. در این روش غشا در حمام شامل محلول پوشش دهنده غوطه‌ور شده، لایه‌ای از ماده روی سطح غشا می‌چسبد که با قراردادن غشا در آون، حلال تبخیر شده و پیوندهای عرضی اتفاق می‌افتد.

۴-۵-۲- پلیمریزاسیون پلاسمایی

در این روش پلازما با یونیزاسیون گاز با استفاده از تخلیه الکتریکی در فرکانس بالا تولید می‌شود. گاز و واکنش دهنده، جداگانه ولی هم‌زمان وارد راکتور می‌شوند. وقتی گاز وارد راکتور می‌شود، یونیزه شده و رادیکال‌ها تشکیل می‌شوند و با ته‌نشینی محصول بر روی غشا لایه نازک تشکیل می‌شود.

۴-۵-۳- پلیمریزاسیون سطحی

در ابتدا لایه پایه درون حمام محلول آبی که دارای مونومر فعال است حل می‌شود. سپس لایه پایه درون حمام دوم که دارای حلال غیرقابل امتزاج در آب و مونومر فعال است قرار می‌گیرد تا لایه‌ی متراکم پلیمری تشکیل شود.

۴-۵-۴- پلیمریزاسیون در محل

این روش شامل پراکندگی و توزیع لایه خاک رس در مونومر است، که در نتیجه آن پلیمریزاسیون با اعمال حرارت، تابش و غیره انجام می‌شود.

۴-۶- وارونگی فاز (Phase Inversion)

در این فرآیند انتقال پلیمر به صورت کنترل شده از حالت مایع به جامد اتفاق می‌افتد و در نتیجه غشا تشکیل می‌شود (فردی و همکاران، ۱۳۹۶).

۵- روش‌های مختلف اصلاح غشا

یکی از معضلات اصلی استفاده از فرآیندهای غشایی گرفتگی غشا است که راه حل اصلی برای کاهش آن، اصلاح سطح است که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

۵-۱- توسعه غشاهای پلیمری با گرفتگی پایین از طریق پیونددهی آغازشونده با نور

در حال حاضر پلیمریزاسیون پیوندی آغازشونده با اشعه

۵-۳- روش پلیمریزاسیون بین سطحی

در ابتدا، پایه متخلخل به درون یک محلول آبی که معمولاً حاوی یک پلیمر واکنش پذیر یا یک دی‌آمین است غوطه‌ور می‌شود. سپس پایه خیس شده به درون یک حلال فرو برده می‌شود. با توجه به عدم امتزاج پذیری فاز آبی و حلال، واکنش در فصل مشترک این دو فاز انجام می‌شود. در غشاهای حاصل از روش پلیمریزاسیون بین سطحی، خواص آب‌دوستی و بار از عوامل مهم تعیین کننده در میزان تراوش‌پذیری آب و یا درصد دفع حل شونده‌های موجود در خوراک باعث می‌شود تا غشا دیرتر دچار خوردگی و آسیب در مقابل این ذرات شود (نبی‌زاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

۵-۴- روش‌های جدایی فاز

این روش خود به ۴ روش ترسیب به‌وسیله غوطه‌وری، روش انعقاد حرارتی، ترسیب به‌وسیله جذب با بخار آب و تبخیر حلال تقسیم می‌شود. دو روش اول کاربرد بیشتری دارند که در ادامه توضیح داده خواهند شد (نبی‌زاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

۵-۴-۱- ترسیب به‌وسیله غوطه‌وری

ابتدا پلیمر آمورف در یک حلال مناسب به‌طور کامل حل می‌شود و سپس محلول پلیمری بر روی یک سطح مسطح مانند شیشه به وسیله فیلم کش قالب‌گیری می‌شود. سپس شیشه حامل فیلم به درون حمام حاوی ضد حلال غوطه‌ور می‌شود و بعد از آن عملیات حرارتی بر روی غشا با هدف خروج کامل باقی‌مانده حلال صورت می‌گیرد (نبی‌زاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

۵-۴-۲- روش انعقاد حرارتی

در این روش ابتدا پلیمر در حلال مناسبی حل می‌شود. سپس محلول می‌تواند به شکل مورد نظر قالب‌گیری شود و با گذشت زمان و سرد شدن فیلم حلال از درون فیلم خارج شده و به‌صورت لایه‌ای در بالای آن ظاهر می‌شود. این روش کاربرد بسیار گسترده‌ای در ساخت غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلترها دارد و در آن غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون از انجام فرآیند پلیمریزاسیون بر روی یک غشا متخلخل حاصل می‌شوند (نبی‌زاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

۶- بررسی روش‌های اصلاح غشا

۶-۱- اصلاح غشا با نانومواد معدنی

با توجه به این که استفاده از نانوذرات از جمله روش‌های آسان،

ماورای بنفش (UV) برای اصلاح سطح غشاهای پلیمری کاربرد زیادی دارد. برخی مونومرهای آب‌دوست مختلف مانند: اکریلیک اسید (AA)، هیدروکسی اتیل متاکریلات (HEMA)، آکریلامیدو متیل پروپان سولفونیک اسید (AMPS) و غیره برای اصلاح غشاهای میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس استفاده می‌شوند.

۵-۲- اصلاح پلاسمایی غشاهای پلیمری

این روش در دو دهه گذشته برای افزایش آب‌دوستی سطح غشا بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. اصلاح پلاسمایی غشا معمولاً با ۳ روش مختلف انجام می‌شود: ۱- به‌وسیله بخارهای قابل پلیمر شدن؛ ۲- به‌وسیله مولکول‌های گازی غیر پلیمر شونده و ۳- پیوند زنی القایی پلاسما برای زنجیرهای پلیمر به سطح غشا. در میان این روش‌ها، روش‌های ۲ و ۳ بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه این سه روش شرح داده شده‌اند.

۵-۲-۱- اصلاح غشا در پلاسمای مولکول‌های قابل پلیمر شدن

در این روش، از مونومرها برای اصلاح سطح غشا استفاده می‌شود. همچنین، از ته‌نشین کردن لایه‌های پلیمری جدید با ضخامت چند نانومتر تا ۱ میکرومتر استفاده می‌شود (کتابی و دهقانی، ۱۳۹۵).

۵-۲-۲- اصلاح غشا در پلاسمای گازهای غیر قابل پلیمر شدن

این روش بر اصلاح غشاهای پلی سولفون و پلی‌اترسولفون توسط پلاسمای هوا، اکسیژن، نیتروژن، آمونیاک، دی اکسید کربن یا آب تمرکز دارد. نشان داده شده است که گروه‌های کربونیل، هیدروکسیل و کربوکسیل بر سطح غشای پلی‌سولفون به‌وسیله اصلاح با پلاسمای اکسیژن نشانده شدند و نسبت اکسیژن به کربن از ۳۳ درصد در غشاهای اصلاح نشده به ۴۸ تا ۵۴ درصد در غشاهای اصلاح شده افزایش یافت. این امر بیانگر این است که خاصیت آب‌دوستی سطح غشا در طی اصلاح به‌وسیله پلاسما، تغییر می‌کند (کتابی و دهقانی، ۱۳۹۵).

۵-۲-۳- پیوند سطح غشا به‌وسیله القای پلاسمایی

رادیکال‌های تولید شده بر سطح پلیمر به‌وسیله پلاسما در حضور خلاء پایدارند و وقتی که در معرض مونومرهای گازی باشند می‌توانند به سرعت واکنش دهند (کتابی و دهقانی، ۱۳۹۵).

و همچنین باعث افزایش انرژی برهم کنش بین سطح غشا و آب می‌شود و در نتیجه باعث بهبود ترشوندگی و بالا رفتن شار آب خالص می‌شود. افزایش میزان جداسازی و دفع الکتروستاتیکی یون‌های SO_4^{2-} به دلیل افزایش بار منفی سطح غشا با افزودن سدیم سیترات که دارای گروه‌های هیدروکسیل است، توضیح داده شد.

در پژوهشی دیگر بنده‌علی و همکاران (۱۳۹۸)، ابتدا نانوذرات تیتانیوم دی اکسید (TiO_2) را با استفاده از ترکیب آل-سیستین/گلیسیدیل پاس اصلاح کردند و سپس نانوذرات ترکیبی تهیه شده را برای ساخت و اصلاح غشاهای نانوفیلتراسیون بر پایه پلی اتر ایمید به کار گرفتند. امروزه، نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با داشتن خواصی چون سطح ویژه و آب‌دوستی بالا و نیز خاصیت خود تمیز شونده و ضد گرفتگی مناسب، بسیار مورد توجه صنایع غشایی قرار گرفته است. همچنین، اکتا گلیسیدیل اکسی پروپیل سیلیسیوکسان با نام تجاری «پاس» یک مولکول آلی-معدنی با انعطاف‌پذیری بالا برای ایجاد گروه‌های عاملی بر سطح نانوذرات است که سازگاری مناسب با مواد آلی و غیرآلی دارد و خواص مکانیکی و حرارتی آن مطلوب است. نتایج به‌دست آمده، بالاترین میزان شار آب خالص و بیشترین میزان پس‌دهی نمک سدیم سولفات را برای غشای حاوی ۱ درصد وزنی نانوذرات نشان دادند، که به دلیل حضور گروه‌های آب‌دوست در سطح غشا نسبت داده شد. همچنین، نتایج به‌دست آمده حاکی از بهبود خواص ضد گرفتگی غشای اصلاح شده محتوی نانوذرات در مقایسه با غشای حالت پایه بودند.

مقدسی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی دیگر غشاهای نانوکامپوزیتی بر پایه پلی اتر سولفون و با استفاده از نانوذرات سولفون شده اکسید سیلیس (SiO_2-SO_3H) را به کمک روش تغییر فاز ساختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد با افزایش نانوذره سیلیکای سولفون شده بهبود قابل توجهی در میزان شار عبوری و پس‌دهی غشای اصلاح شده حاصل شد. همچنین مقاومت مکانیکی غشای اصلاح شده بین ۱۵ تا ۲۵ درصد نیز افزایش یافت. غشای بهینه حاوی ۰/۱ درصد وزنی نانوذره گزارش شد.

عشقی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) از غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری برای حذف فلزات سنگین از آب با هدف حذف یون‌های مس، استفاده کردند. آن‌ها اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید روی (ZnO) را بر عملکرد غشای نانوفیلتراسیون ساخته شده از پلی وینیل کلراید بر حسب شار آب خالص، درصد پس‌دهی و مقاومت مکانیکی مورد ارزیابی قرار دادند. از آن جایی که نانوذرات اکسید روی میل بیشتری به آب دارند، با اضافه شدن این

مقرون به صرفه و همچنین موثر در کارایی غشاها است بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نانوذرات استفاده شده در توسعه غشاهای نانوجندسازهای به‌طور معمول عبارتند از: تیتانیوم دی اکسید (TiO_2)، روی اکسید (ZnO)، اکسید آهن (FeO)، اکسید سیلیس (SiO_2)، آلومینیم اکسید (Al_2O_3). استفاده از نانومواد در ساختار غشا منجر به ایجاد ساختار متخلخل‌تری در غشا می‌شود که معمولاً نسبت به غشای حالت پایه، شار آب بالاتری دارد (غلامی و مهدوی، ۱۳۹۹).

در یک مطالعه پژوهشی، پرویزیان و همکارانش (۱۳۹۹) تاثیر نانوذره روی اکسید (ZnO) را بر بهبود عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون بر پایه PVDF/PES بررسی کردند. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات در ساخت غشاها مورد ارزیابی قرار گرفت که حالت بهینه ۰/۱ درصد وزنی نانوذره گزارش شد. نانوذره روی اکسید استفاده شده در این پژوهش نسبت به سایر نانوذرات مقرون به صرفه تر است و همچنین، این نانوذره خواص آب‌دوستی، مکانیکی و دیگر خواص و ویژگی‌های جداسازی غشا را ارتقا بخشید. در اثر افزودن نانوذرات روی اکسید کاهش زاویه تماس گزارش شد که به دلیل افزایش خاصیت آب‌دوستی غشا است. در ۰/۱ درصد وزنی از نانوذرات شاهد افزایش فلاکس آب خالص بودند، که علت این افزایش را می‌توان از یک سو به افزایش تخلخل و افزایش اندازه حفرات سطحی و از سوی دیگر، به افزایش میزان آب‌دوستی نسبت داد. همچنین در مورد فاکتور پس‌دهی نمک سدیم سولفات در غشای ۰/۱ درصد وزنی شاهد بالاترین درصد پس‌دهی بودند، که نتیجه گرفتند کاهش خاصیت آب‌گریزی، بهبود خواص ضدگرفتگی و نیروهای دافعه الکتروستاتیک منجر به افزایش میزان پس‌دهی نمک شده است. بنابراین ۰/۱ درصد وزنی از نانوذره روی اکسید (ZnO) پس‌دهی بیشتر و میزان شار آب عبوری بیشتری را نشان داد.

در پژوهشی دیگر، مرادی و همکاران (۱۳۹۹) غشاهای نانوفیلتراسیون بر پایه پلی اتر سولفون را با استفاده از روش وارونگی فاز ساختند. در ساخت غشاها از نانوذرات اکسید آهن (FeO) با غلظت ۰/۵ درصد وزنی و غلظت‌های مختلف از سدیم سیترات استفاده کردند. در این پژوهش، از ماده سدیم سیترات به عنوان افزودنی برای بهبود پراکندگی نانوذرات اکسید آهن استفاده شد. همچنین، محلول آبی Na_2SO_4 با غلظت ۰/۰۱ مولار را به عنوان محلول خوراک برای ارزیابی عملکرد نانوفیلتراسیون تهیه کردند. نتایج، بالاترین شار آب خالص و پس‌دهی نمک را در غشای محتوی ۰/۵ درصد وزنی نانوذرات و ۰/۳ درصد وزنی سدیم سیترات نشان داد. افزایش آب‌دوستی سطح غشا باعث جذب آب

اکسید روی و پلی وینیل کلراید نیاز است. به همین دلیل مقاومت مکانیکی غشاهای نانوکامپوزیتی حاوی نانوذرات تقویت می‌شود. نتایج به دست آمده نشان داد که غشاهای ساخته شده در محدوده غلظت ۰/۲ تا ۰/۳ درصد وزنی از نانوذرات اکسید روی دارای بهترین عملکرد از نظر افزایش شار آب بدون کاهش چشم‌گیر در مقدار پس‌دهی بودند.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از عملکرد و نتایج پژوهش‌های ذکر شده آورده شده است.

نانوذرات، سرعت نفوذ آب به داخل فیلم پلیمری افزایش یافته و شاهد افزایش شار عبوری بودند. از طرف دیگر با اضافه شدن نانوذرات اکسید روی، آب‌دوستی سطح غشا نیز افزایش یافت که منجر به افزایش شار عبوری شد. افزودن نانوذرات آب‌دوست اکسید روی در ساختار غشا اثری دو جانبه بر پس‌دهی دارد. در این پژوهش، با توجه به تغییر جزئی میزان پس‌دهی نتیجه گرفتند که این دو اثر تقریباً همدیگر را خنثی کرده‌اند و بنابراین میزان پس‌دهی تغییر خاصی نکرده است. در غلظت‌های ۰/۲ تا ۰/۳ درصد وزنی، انرژی بیشتری برای شکستن پیوند بین نانوذرات

جدول ۱- عملکرد پژوهش‌های اصلاح غشا با نانومواد معدنی

نوع پلیمر	هدف	روش اصلاح	غشای مطلوب	زاویه تماس (°)	فلکس (L/m ² .h)	پس‌دهی	مرجع
پلی وینیلیدین فلوراید/پلی اتر سولفون	ساخت غشای نانوفیلتراسیون با مقاومت‌های شیمیایی و حرارتی بالا	Mix matrix membrane	0/1% وزنی	66.5	19.97	82% (سدیم سولفات 1000 mg/L)	پرویزیان و همکاران (۱۳۹۹)
پلی اتر سولفون	بررسی اثر غلظت سدیم سیترات و اکسید آهن در عملکرد جداسازی غشای NF	Mix matrix membrane	0.3% وزنی سدیم سیترات	51.2	47	68% (سدیم سولفات 0.01 mol/L)	مرادی و همکاران (۱۳۹۹)
پلی اتر ایمید	اصلاح نانوذرات TiO ₂ با آل-سیستین/گلیسیدیل پاس و ساخت غشا بر پایه پلی اتر ایمید	Mix matrix membrane	1% وزنی	30-50	22.03	78% (سدیم سولفات 1000 mg/L)	بنده‌علی همکاران (۱۳۹۸)
پلی اتر سولفون	اصلاح ساختار غشا با استفاده از نانوذرات سولفون شده اکسید سیلیس	Mix matrix membrane	0.1% وزنی	44	افزایش شار عبوری تا 200%	70% (سدیم سولفات 0.01 mg/L)	مقدسی و همکاران (۱۳۹۷)
پلی وینیل کلراید	ساخت غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری برای حذف فلزات سنگین از آب برای حذف یون‌های مس	Mix matrix membrane	0.2-0.3 % وزنی	-	32	48% نیترات مس 1000 mg/L	عشقی‌پور و همکاران (۱۳۹۴)

نانولوله‌های کربنی نخستین بار در سال ۱۹۹۱ به عنوان عضوی از خانواده مواد کربنی گزارش شدند. نانولوله‌های کربنی، تک دیواره (SWCNT) یا چند دیواره (MWCNT) هستند. نانولوله‌های کربنی (CNTs) به‌ویژه نانولوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNT) مزایایی از جمله: خلوص بالاتر، هزینه تولید کمتر و افزایش مقیاس آسان دارند.

مزیت استفاده از گرافن اکساید نسبت به CNTs در این است که در روش‌های تهیه گرافن اکساید، فرآورده آب‌دوست از صفحه‌های گرافیت به دست می‌آید، در صورتی که CNTs، به‌طور ذاتی آب‌گریز و بی اثرند و بنابراین به اسیدکاری نیاز دارند. هم‌چنین، مزیت دیگر استفاده از گرافن اکساید با فرم مسطحی که دارد نسبت به CNTs (همتای لوله‌ای گرافن اکساید) در این

۶-۲- اصلاح با نانومواد کربنی

در طی چند سال گذشته، فناوری نانوکربن به دلیل ویژگی متفاوت در مقایسه با پیش ماده‌های ماکرو یا میکرو آن‌ها توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. مواد نانوکربنی مانند گرافن اکساید به علت انعطاف‌پذیری ساختار، زیاد بودن نسبت مساحت به سطح، تحرک عالی در حمل بار، رسانایی الکتریکی و گرمایی خوبی که دارند توجه‌های زیادی را به خود جلب کرده‌اند. صفحه‌های دو بعدی گرافن اکساید پایداری مکانیکی، ویژگی پایداری فیزیکی-شیمیایی قابل قبول و حفرات نانومتری داشته و به همین دلیل در تصفیه آب کاربرد داشته که آن‌را به یک افزودنی جذاب در تهیه غشاهای پلیمری تبدیل می‌کند (به‌خصوص برای NF و نمک زدایی).

است که گرافن اکساید در دو طرف برای عامل دار کردن مکان های بیشتری دارد (غلامی و مهدوی، ۱۳۹۹). جدول ۲ خلاصه ای از دستاوردهای چند مطالعه پژوهشی را ارائه می دهد.

مقدسی پور و همکاران (۱۳۹۸) غشاهای نانوفیلتراسیون پلیمری بر پایه پلیمر پلی اتر سولفون را به روش غوطه وری در حمام غیر حلال تهیه کردند و با استفاده از ترکیب پلیمر کیتوسان و نانوصفحه های گرافن اکساید، اصلاح سطح انجام دادند. آن ها اثر این لایه نشانی را بر خواص عملکردی و ضد گرفتگی غشا مورد ارزیابی قرار دادند. میزان آب دوستی سطح غشا را با استفاده از اندازه گیری زاویه تماس آب تخمین زدند. غشای حالت پایه بیشترین مقدار زاویه تماس را نشان داد که این مقدار به دلیل ذات و طبیعت آب گریز پلیمر پلی اتر سولفون است. بعد از فرایند لایه نشانی ترکیب کیتوسان و نانوصفحه های گرافن اکساید بر روی سطح، مقدار زاویه تماس به صورت قابل توجهی کاهش یافت که بیانگر افزایش مقدار آب دوستی سطح غشا در غشاهای اصلاح شده نسبت به حالت پایه است. اگرچه این نتایج به دست آمده از زاویه تماس آب نشان دهنده افزایش میزان آب دوستی در سطح غشاهای اصلاح شده بود و انتظار می رفت که میزان شار آب نیز بهبود یابد؛ اما نکته ای که باید در نظر گرفت، افزایش میزان ضخامت لایه جداساز در سطح غشا در اثر لایه نشانی است که به عنوان پارامتری مهم در مقدار شار آب تأثیری منفی گذاشته است. براساس نتایج گزارش شده، میزان پس دهی نمک در غشای اصلاح شده نسبت به غشای اصلاح نشده افزایش گسترده ای داشته که گفته شده می تواند به دلیل قابلیت جذب و پوشش حفره ها با پلیمر کیتوسان موجود در سطح باشد. بنابراین بهبود خواص ضد گرفتگی در غشای حاوی ۲ درصد وزنی نانو صفحه های گرافن اکساید، می تواند به بهبود میزان آب دوستی سطح این غشا نسبت داده شود. علاوه بر آن سطح صاف تر این غشا در مقایسه با نمونه اصلاح نشده نیز عامل مهم دیگری در کاهش پدیده گرفتگی شناخته شده است.

Abdi et al. (2018) MMGO هیبرید (metformin/GO/Fe₃O₄ hybrid) را از طریق وارونگی فاز وارد پلیمر پلی اتر سولفون (PES) کردند. زاویه تماس غشاها با افزایش مقدار ترکیب آب دوست MMGO، کاهش یافت. که دلیل آن، این واقعیت گزارش شده است که آب دوستی سطح غشاها با افزایش غلظت هیبرید MMGO به دلیل ماهیت آب دوست آن ها افزایش یافته است. غشای PES حالت پایه کمترین شار آب خالص و غشای M3 (۵ درصد وزنی) بیشترین شار آب خالص را در بین غشاهای تهیه شده داشت. نتایج به دست آمده نشان داد که افزودن

هیبرید آب دوست MMGO علاوه بر بهبود آب دوستی سطح غشا، باعث بهبود شار آب خالص نیز شده است که نشان دهنده اثر مثبت نانوذرات بر روی انتقال آب در سراسر غشا است. با افزودن ۱ درصد وزنی هیبرید MMGO، شار آب خالص کاهش یافت. این رفتار مشاهده شده را به تجمع هیبرید MMGO در غلظت بالاتر نسبت دادند، که منجر به انسداد منافذ غشا می شود. آن ها پارامترهای زبری سطح را بررسی کردند که زبری سطح غشای PES حالت پایه بیشتر از غشای PES تعبیه شده در MMGO بود. علت این کاهش زبری سطح در غشاهای اصلاح شده، تبادل آهسته حلال و غیر حلال در طی فرایند وارونگی فاز به دلیل گرانیوی بالا گزارش شد. هم چنین مشخص شد که غشایی با زبری کمتر، قابلیت ضد رسوب بالاتر و نسبت بازیابی شار بالاتری دارد و اتم N در گروه آمین به علت دارا بودن جفت الکترون ناپیوندی تأثیر به سزایی بر روی جذب یون های فلزات سنگین دارد. علت به کار بردن متفورمین در این پژوهش این است که از آن به عنوان یک عامل آمینی با محل های اتصال بیشتر برای به دست آوردن یک جاذب مغناطیسی استفاده کردند. غشای نانوفیلتراسیون ساخته شده با ۵ درصد وزنی MMGO بیشترین تمایل را برای حذف یون های مس (۹۲٪) از خود نشان داد. هم چنین، پس دهی رنگ 16 direct red در غلظت های مختلف MMGO تقریباً یکسان بود (۹۹٪)، در حالی که برای غشای PES حالت پایه ۹۱٪ بود. در نتیجه غشای ۵ درصد وزنی MMGO به عنوان بهترین غشا عمل کرد.

Zarrabi et al. (2016) از نانولوله های کربنی چند دیواره آمین دار (NH₂-MWCNT) به عنوان یک اصلاح کننده آب دوست استفاده کردند. با افزایش غلظت NH₂-MWCNT در لایه پلی آمید، زاویه تماس کاهش پیدا کرد که نشان دهنده افزایش آب دوستی غشای NF بود. در واقع این کاهش زاویه تماس، می تواند مربوط به ساختار لوله ای MWCNT و ویژگی آب دوستی گروه های آمین روی سطح غشا باشد. شار آب با افزایش غلظت NH₂-MWCNT تا ۰/۱ درصد وزنی، افزایش یافت. علت این افزایش به خواص MWCNT و عملکرد آن با NH₂ نسبت داده شد. با افزایش بیشتر NH₂-MWCNT، پس دهی نمک های Na₂SO₄ و NaCl افزایش یافت که علت آن وجود بیشتر گروه های عملکردی در سطح لایه پلی آمید بود. به دنبال آن بار سطحی افزایش یافته و دافعه بین املاح و سطح غشا زیاد شد. در نتیجه پس دهی نمک ها بهبود پیدا کرد. در نهایت عملکرد جداسازی مطلوب و بالاترین قابلیت ضد رسوب برای غشای اصلاح شده در ۰/۰۵ درصد وزنی NH₂-MWCNT مشاهده شد.

جدول ۲- نتایج پژوهش‌های اصلاح با نانومواد کربنی

نوع پلیمر	هدف	روش اصلاح	غشای مطلوب	زاویه تماس (°)	فلاکس (L/m ² .h)	پس‌دهی (%)	FRR (%)	مرجع
پلی اتر سولفون	ترکیب کیتوسان و گرافن اکساید بر غشای PES	لایه نشانی	2% وزنی	47	15	89% (نمک 1000 ppm)	—	مقدسی پور و همکاران (۱۳۹۸)
پلی اتر سولفون	بررسی عملکرد حذف رنگ و یون مس غشای NF اصلاح شده با MMGO	Mix matrix membrane	0.5 wt.% MMGO	58	36.1	Copper ions=92% (200 mg/L) Direct red 16=99%	90.6%	Abdi et al. (2018)
پلی ایمید	بهبود آب‌دوستی و عملکرد جداسازی و مقاومت در برابر رسوب	اصلاح سطح	0.005 wt.% NH ₂ -MWCNT	47.3	50	Na ₂ SO ₄ =95.72% (2000 ppm) NaCl=36.71% (2000 ppm)	—	Zarrabi et al. (2016)
پلی اتیلن ایمید	نرم شدن آب و حذف یون‌های فلزات سنگین	اصلاح سطح	M-4 (X _{PDA} -MWCNTs/PEI = 0.05)	—	—	ZnCl ₂ =93% MgCl ₂ =91.5% CuCl ₂ =CaCl ₂ =90.5%	—	Zhao et al. (2016)
پلی وینیل کلراید	ساخت غشای پلیمری و بهبود ویژگی‌های سطح آن برای عملکرد بهتر	Mix matrix membrane	0.25wt.% TETA-MWCNT	59	107.9	lanasol blue 3R dye=86.3% (100 ppm) BSA=97.66% (250 ppm)	69.6%	Vatanpour and Haghighat (2019)

(تک ظرفیتی) بر همکنش دافعه الکتروستاتیک ضعیف‌تری نسبت به یون‌های چند ظرفیتی (Zn^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+}) دارد. همچنین دلیل دیگر این ترتیب، کاهش شعاع کاتیونی هیدراته از Zn^{2+} به سمت Ca^{2+} گزارش شده است. در شرایط بهینه ($X_{PDA-MWCNTs/PEI} = 0.05$) شاهد نرم شدن آب بودند که در واقع Ca^{2+} و Mg^{2+} حذف شدند. علاوه بر آن، حذف یون‌های فلزی سنگین مانند Zn^{2+} و Cu^{2+} و بازیابی مولکول‌های کاتیونی به‌عنوان مثال رنگ‌های کاتیونی و آنتی بیوتیک‌ها را به‌دنبال داشت.

Vatanpour and Haghighat (2019) برای ساخت غشای نانوفیلتراسیون پلی وینیل کلراید (PVC) از نانولوله‌های کربنی چند جداره اصلاح شده با تری اتیلن تترا آمین (TETA) استفاده کردند. در این پژوهش، درصد‌های مختلف TETA-MWCNTs به محلول اضافه شده و فیلم‌های غشایی تشکیل شده در آب قرار گرفتند. عملکرد غشاها را از نظر نفوذپذیری رنگ، آب و پروتئین و همچنین پس‌دهی پروتئین و رنگ Lanazol blue 3R، مورد بررسی قرار دادند. زاویه تماس با افزودن TETA-MWCNTs،

Zhao et al. (2016) غشاهای نانوفیلتراسیون نانوکامپوزیت را با قراردادن یکنواخت نانولوله‌های کربنی چند دیواره اصلاح شده با پلی دوپامین (PDA-MWCNT) در غشاهای کامپوزیت پلی‌آمید، ساختند. با اصلاح پلی دوپامین، پراکندگی خوب MWCNTها در محلول‌های آبی پلی‌اتیلن‌ایمین (PEI) به‌دست آمد. اثر غلظت‌های مختلف PDA-MWCNTs را بر روی عملکرد جداسازی NF مورد بررسی قرار دادند. این ترکیب تا آستانه‌ی $X_{PDA-MWCNTs/PEI} = 0.05$ باعث بهبود فلاکس آب شد که فراتر از آن شاهد کاهش شار آب بودند. محتوای PDA-MWCNT بالاتر ممکن است فضای بیشتری از لایه پلی‌آمید را اشغال کند که این لایه در مقایسه با غشای اصلی، لایه ضخیم‌تری را تشکیل می‌دهد. به‌همین علت مقاومت غشا بیشتر از غلظت ۰/۰۵ زیاد شده و در نتیجه باعث کاهش شار آب شد. پس‌دهی هفت نمک معدنی را برای غشای ۰/۰۵ ورزنی مورد بررسی قرار دادند؛ که ترتیب آن‌ها به‌صورت زیر گزارش شد: $MgSO_4 > Na_2SO_4 > NaCl$ ، $ZnCl_2 > MgCl_2 > CuCl_2 \approx CaCl_2$ ، طبق اصل دافعه الکتروستاتیک، Na^+

کاهش یافت. با افزودن ۱ درصد وزنی نانولوله‌های کربنی اصلاح شده، زاویه تماس از ۶۷/۷ درجه برای غشای حالت پایه و اصلاح نشده به ۵۱/۶ درجه کم شد. علت این افزایش در آب‌دوستی، وجود گروه‌های قطبی مانند آمین در TETA-MWCNTs گزارش شد. ایجاد پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب و گروه‌های عملکردی MWCNTها، آب‌دوستی غشاهای ساخته شده را افزایش داده؛ هم‌چنین باعث افزایش نفوذپذیری نیز شدند. نفوذپذیری در غشای حاوی ۰/۲۵ درصد وزنی TETA-MWCNT به بالاترین مقدار خود رسید و افزودن مقادیر بیشتر با مسدود کردن منافذ غشا باعث کاهش شار شد. علت این که شار آب از $61/9 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ برای غشای PVC حالت پایه به $107/9 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ برای غشای TETA-MWCNT/PVC با ۰/۲۵ درصد وزنی رسید، افزایش آب‌دوستی سطح غشا و ساختار متخلخل تر غشا، گزارش شد. با افزایش مقدار نانولوله‌های کربنی اصلاح شده، شار به دلیل انسداد منافذ غشا با این مقدار اضافی و کاهش تخلخل، کم شد. همه غشاهای اصلاح شده درصد بازیابی شار بهتر و خواص ضد رسوب بهتری را در مقایسه با غشای PVC خالص، از خود نشان دادند. برای ارزیابی عملکرد ضد رسوب غشاهای NF ساخته شده محلول آلبومین سرم گاوی (BSA) در غلظت 250 mg/L استفاده شد. مشاهده شد که غشای NF اصلاح نشده، کمترین شار و کمترین پس‌دهی را برای BSA و غشای حاوی ۰/۲۵ درصد وزنی MWCNT اصلاح شده بیشترین شار را از خود نشان داد. هم‌چنین نتایج درباره پس‌دهی رنگ به‌وضوح نشان داد که قابلیت پس‌دهی برای غشاهای اصلاح شده زیاد شد که به افزایش آب‌دوستی آن‌ها نسبت داده شده و در نهایت از جذب مولکول‌های رنگ جلوگیری کرد. نتایج نشان داد که افزودن ۰/۲۵ درصد وزنی TETA-MWCNTs برای دستیابی به بهترین نتایج برای فلاکس آب، فلاکس محلول BSA و پس‌دهی رنگ بهینه است.

۶-۳- اصلاح با مواد ترکیبی معدنی/کربنی

همان‌طور که پژوهش بر روی نانوذرات پایه کربنی و مواد معدنی ادامه دارد، پژوهش بر روی نانومواد نوین از ترکیب موادی مانند GO-TiO_2 ، ZnO-MWCNT و ZnO-GO نیز در جریان است. امروزه به دلیل بحران‌های آب و انرژی، تقاضای زیادی برای به‌کار بردن نوع جدیدی از نانوذرات ترکیبی با ویژگی‌های تقویت شده نسبت به نانوذرات منفرد، وجود دارد (غلامی و مهدوی، ۱۳۹۹). جدول ۳ خلاصه‌ای از این پژوهش‌ها را ارائه می‌دهد.

Safarpour et al. (2015) غشای TFN-NF را به‌وسیله پلیمریزاسیون سطحی بین مونومرهای PIP و TMC و

rGO/TiO_2 به‌عنوان اصلاح کننده آب‌دوست، تهیه کردند. عملکرد جداسازی غشاها با استفاده از محلول‌های Na_2SO_4 و 2000 mg/L NaCl آزمایش شدند. هم‌چنین مقاومت در برابر گرفتگی غشاها را با استفاده از پروتئین آلبومین سرم گاوی (BSA) به‌عنوان یک عامل گرفتگی، مورد مطالعه قرار دادند. با افزایش غلظت rGO/TiO_2 زبری سطح غشاها کاهش یافت؛ که علت آن پیوند هیدروژنی بین لایه پلی آمید و گروه‌های عملکردی rGO/TiO_2 گزارش شد. هم‌چنین این افزایش غلظت نانوکامپوزیت rGO/TiO_2 در لایه فعال TFC، باعث کاهش زاویه تماس شد و این موضوع آب‌دوستی بهتر غشای TFN را نسبت به غشای TFC تایید کرد. کاهش در زاویه تماس غشاهای TFN را مربوط به حضور گروه‌های عملکردی اکسیژن دار و آب‌دوستی گرفتن اکساید و TiO_2 و نانوکامپوزیت rGO/TiO_2 دانستند. شار آب غشای ۰/۰۰۵ درصد وزنی $\text{rGO/TiO}_2/\text{NF}$ در مقایسه با غشاهای ۰/۰۰۵ درصد وزنی TiO_2/NF و ۰/۰۰۵ درصد وزنی GO/NF ، بالاتر بود که عملکرد عالی نانوکامپوزیت ترکیبی rGO/TiO_2 را نشان داد. به‌علت شارژ منفی غشاهای حاوی گرفتن اکساید، انتظار داشتند که غشاهای حاوی rGO/TiO_2 عملکرد دفع نمک بالاتری نشان دهند. غشای TFN با بار منفی پس‌دهی قابل توجهی برای یون چند ظرفیتی SO_4^{2-} ($> 90\%$) از خود نشان داد. غشای ۰/۰۰۵ درصد وزنی $\text{rGO/TiO}_2/\text{NF}$ حداکثر مقدار پس‌دهی نمک را ارائه داد. آزمایش‌های ضد گرفتگی BSA برای ارزیابی میل پروتئین برای تجمع روی سطح غشاهای NF آماده شده، انجام شد. همه غشاها مقدار نسبتاً کمی پروتئین جذب کردند. درصد جذب با افزایش غلظت نانوکامپوزیت rGO/TiO_2 کاهش یافت. علت این جذب پایین غشاهای TFN، می‌تواند مربوط به آب‌دوستی بالای این غشاها در مقایسه با غشای NF خالص باشد که این موضوع با اندازه‌گیری زاویه تماس تایید شد. علاوه بر آب‌دوستی، عواملی مانند زبری سطح و بار نیز بر جذب پروتئین بر روی غشا نیز تاثیر دارند. این محققین مشاهده کردند که غشای NF خالص و اولیه پس از حدود ۱۰۰ دقیقه فیلتراسیون BSA کاهش شار نسبتاً شدیدی را دارد که نشان‌دهنده گرایش رسوب‌پذیری بالای آن است. این میزان از دست دادن شار در غشای اصلاح شده کاهش یافت و در نتیجه مقاومت در برابر گرفتگی آن‌ها را تایید کرد. در نهایت، نتایج نشان داد که شار آب و پس‌دهی نمک در غشای TFN-NF حاوی مقدار بهینه نانوکامپوزیت rGO/TiO_2 (۰/۰۰۵ درصد وزنی) بیشتر از غشاهای NF تجاری و TFN گزارش شده است.

جدول ۳- نتایج پژوهش‌های اصلاح با مواد ترکیبی معدنی/کربنی

نوع پلیمر	هدف	روش اصلاح	غشای مطلوب	زاویه تماس (°)	فلاکس (L/m ² .h)	پس‌دهی (%)	مرجع
پلی سولفون	بهبود عملکرد جداسازی و ضد رسوب غشای TFN-NF	اصلاح سطح	0.005 درصد وزنی rGO/TiO ₂	52.9	60.6	Na ₂ SO ₄ =93/57% (2000 ppm) NaCl=36.61% (2000 ppm)	Safarpour et al. (2015)
پلی آمید	بررسی عملکرد نمک‌زدایی، حفظ رنگ و خواص ضد باکتری	اصلاح سطح	MTFN-2 (0.2 درصد وزنی rGO/TiO ₂ /Ag)	—	52	Dye retention=98% (0.5 gr/L) Na ₂ SO ₄ =96% (1 gr/L) CaCl ₂ =76% NaCl=55.57%	Abadikhah et al. (2019)
پلی اتر ایمید	بررسی تاثیر بارگذاری (dopamine DTiO ₂ modified (TiO ₂ بر نفوذ، پس‌دهی رنگ‌ها و نمک‌ها	اصلاح سطح	GDP ₁ P ₂ -0.6	17.5	41.6	MgCl ₂ =6% MgSO ₄ =4.4% NaCl=3.3% Na ₂ SO ₄ =2.5% Crystal Violet(CV)=99.9% Eriochrome black T(ET)=99/9% Safranin T(ST)=96% Alizarin yellow GG(AG)=89.4% (100 ppm)	Xu et al. (2020)
پلی اتر سولفون	ارزیابی عملکرد و خواص ضد رسوب PES ترکیب شده با ZnO, MWCNT	Mix matrix membrane	PES 3 ZnO=0.5 درصد وزنی) MWCNT=0.5 درصد وزنی)	58.7	44	88/51% (HA=50 mg/L)	Pang et al. (2019)

ویژگی‌های آب‌دوستی عالی در غشای MTFN-2 (21 °) ثبت شد. در واقع قرار دادن نانوذرات TiO₂ و Ag در ورق‌های گرافن اکساید، آب‌دوستی بالا و خواص ضد رسوب را فراهم کرد. ترکیب نانوذرات باعث افزایش نفوذپذیری و پس‌دهی غشای TFN مقایسه با غشای TFC شد. هم‌چنین با ترکیب rGO/TiO₂/Ag شار آب افزایش یافت. بالاترین مقدار حذف نمک (> 95%) برای محلول خوراک Na₂SO₄ گزارش شد و پس‌دهی CaCl₂ در MTFN-2 بالاترین مقدار ۷۶٪ گزارش شد. این مقدار پس‌دهی کمتر در CaCl₂ نسبت به Na₂SO₄ مربوط به شعاع یونی کمتر Cl⁻ است. خواص آنتی‌باکتریال در غشاهای مختلف TFC, G-TFN, MTFN-2 (GO = 0005) درصد وزنی و MTFN مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، G-TFN میزان زنده ماندن باکتری (Escherichia coli) را تا ۶۶/۹٪ کاهش داد. با این حال، غشاهای اصلاح شده مبتنی بر گرافن فعالیت ضد باکتریایی بسیار بهتری در مقایسه با تک گرافن نشان دادند. در واقع، فعالیت آنتی میکروبی نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر گرافن اصلاح شده با TiO₂ و Ag در غلظت‌های مختلف نانوکامپوزیت‌ها همراه با کاهش سلول‌های

در پژوهشی دیگر، Abadikhah et al. (2019) عملکرد نمک‌زدایی، حفظ رنگ و خواص ضد باکتریایی غشای TFN ساخته شده توسط ترکیب جدید نانوکامپوزیت rGO/TiO₂/Ag بر روی لایه فعال پلی‌آمید را بررسی کردند. خواص فیزیکوشیمیایی و عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون MTFN پس از ترکیب با غلظت‌های مختلف rGO/TiO₂/Ag مورد بررسی قرار گرفت. زبری سطح غشای MTFN-1 (۰/۵ درصد وزنی rGO/TiO₂/Ag) با R_a = 72.3 nm زبرتر از غشای TFC با R_a = 45.1 nm بود و دلیل آن تشکیل ساختار برگ مانند با وجود ترکیب rGO/TiO₂/Ag گزارش شد. این قله‌ها و دره‌ها در MTFN-2 (۰/۲ درصد وزنی) و MTFN-3 (۰/۴ درصد وزنی) بیشتر شد. سطوح زبرتر به پوشش سطح غشا با ساختارهای برگ مانند و تجمع نانوذرات نسبت داده شد. اندازه‌گیری زاویه تماس آب، آب‌دوستی سطح غشا را تایید کرد. شکل‌گیری لایه فعال PA روی بستر PES باعث کاهش زاویه تماس از 93 ° (برای لایه PES) به 46 ° برای غشای اصلاح شده شد. زاویه تماس غشاهای MTFN کمتر از 30 ° بود که مزایای ترکیب نانوکامپوزیت‌ها در غشاهای TFN را نشان می‌دهد.

بالاتر است. در طول فرایند NF پس‌دهی Na_2SO_4 نسبتاً کم است (2/1%-3/2%) درحالی‌که برای رنگ ET زیاد و ثابت است (99/9%-99/4%). توضیح این مقدار کاهش حفظ رنگ، قطبی شدن غلظت رنگ بر روی سطح غشا است که باعث نفوذ مولکول‌های رنگ از طریق غشا می‌شود. لازم به ذکر است که غلظت رنگ هم‌چنین انتقال Na_2SO_4 را با جلوگیری از تماس بین نمک و PEI تضعیف می‌کند. به‌طور خلاصه، غشاهای کامپوزیت GO/DTiO₂-PDA-PEI، به‌خصوص غشای GDP₁P₂-0.6 توانایی زیادی برای کاربرد در تصفیه رنگ نشان دادند.

Pang et al. (2019) اثر اضافه کردن روی اکسید (ZnO) و نانولوله کربنی چند جداره (MWCNT) در غشای PES را با نسبت‌های مختلف مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج، غشای مخلوط با نانوپرکننده در مقایسه با غشای اصلاح نشده ضخیم‌تر بود که با افزودن MWCNT ضخامت کمی کاهش پیدا کرد. زبری سطح در نسبت MWCNT کم و نسبت ZnO بالا (PES 1) به‌دلیل تجمع ZnO بر روی سطح غشا و افزایش تبادل حلال و غیر حلال بالا گزارش شد. درحالی‌که با افزایش نسبت MWCNT ویسکوزیته محلول بالا رفت و تبادل حلال و غیرحلال به تاخیر افتاد. در نهایت، چنین شرایطی سطح غشا را صاف‌تر کرد. زاویه تماس غشای اصلاح شده نیز کمتر از غشای اصلاح نشده بود که علت آن آبدوست بودن سطح غشای اصلاح شده گزارش شد. پس از افزودن ZnO، زاویه تماس به‌دلیل آبدوستی نانوذرات ZnO و کمک به پخش آب، مقداری کاهش یافت. هنگامی‌که بخشی یا تمام پر شونده با MWCNT جایگزین شد، آبدوستی غشا بهبود پیدا کرد و زاویه تماس کمتر شد که ناشی از زبری سطح کمتر است. مشخص شد که یک سطح آبدوست‌تر توانایی بیشتری در دفع مواد آب‌گریز مانند اسید هیومیک، BSA و روغن دارد. افزودن ZnO و MWCNT زمانی که نسبت نانولوله کربنی 0.8 درصد وزنی و نسبت روی اکسید 0.2 درصد وزنی باشد، باعث بهبود فلاکس آب مقطر به‌دلیل افزایش تخلخل غشا، اندازه منافذ و آبدوستی شد. از نظر شار نفوذ HA، روند تقریباً مشابه فلاکس آب مقطر است. این موضوع توسط شار HA غشای PES 1 در مقایسه با PES 0 ثابت شد. با افزودن MWCNT، شار آب به‌میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرد و هم‌چنین افزودن ZnO و MWCNT باعث افزایش شار HA تا ۵ برابر شد؛ که به‌دلیل افزایش اندازه منافذ، تخلخل و آبدوستی غشا بود. بهبود این عوامل باعث کاهش مقاومت انتقال آب در سراسر غشا شد. کاهش شار ناشی از جذب HA روی MWCNT که بر روی سطح غشا یافت شد، باعث تشکیل کیک یا انسداد منافذ شد. کاهش شار

زنده ارائه شد؛ به‌صورتی که در ۰/۵، ۰/۲ و ۰/۴ درصد وزنی از rGO/TiO₂/Ag این مقدار به‌ترتیب به ۰/۸/۶، ۰/۲/۲ و ۰/۰ رسید. در نتیجه تمام غشاهای نانوکامپوزیت اصلاح شده دارای فعالیت آنتی باکتریالی بالایی بودند.

در پژوهش بعدی، Xu et al. (2020) از غشای نانوفیلتراسیون کامپوزیتی GO/DTiO₂-PDA-PEI استفاده کردند. به‌منظور تجزیه و تحلیل عملکرد غشاهای کامپوزیت GO/DTiO₂-PDA-PEI، نفوذ و پس‌دهی غشاهای GDP₁P₂-0.6، GDP₁-0.6، GDP₂-0.6 و GDP₁P₂-0.6 مورد بررسی قرار گرفتند. (D = G = GO). اندازه‌گیری زاویه تماس آب به‌منظور ارزیابی آبدوستی سطح غشاهای کامپوزیت انجام شد؛ که غشای اصلاح نشده بالاترین زاویه تماس (۴۶/۸ درجه) را نشان داد. با افزودن DTiO₂ آبدوست، این مقدار به ۳۳/۶ درجه رسید که تاثیر گروه آبدوست -OH و -NH₂ سطح غشاهای GD-0.6 را نشان داد. زاویه تماس غشای GDP₁-0.6 اصلاح شده با PDA، به ۳۶/۹ درجه افزایش پیدا کرد؛ که مربوط به ذرات PDA روی سطح غشا یا کاهش گروه‌های هیدروکسیل و اپوکسی ناشی از اتصال -NH₂ به صفحات پایه، گزارش شد. در نهایت در مورد غشای GDP₁P₂-0.6 زاویه تماس به ۱۷/۵ درجه رسید که نشان‌دهنده شدت آبدوستی ناشی از پیوند PEI است. کمترین نفوذپذیری (۳/۲ L/m².h.bar) و بیشترین حذف نمک (۶۱/۹ تا ۴۱/۱٪) برای GDP₁P₂-0.6 گزارش شد؛ که به نانوصفحات بسیار متراکم گرفتن اکساید نسبت داده شد. در مقایسه با GDP₁P₂-0.6، پراکندگی DTiO₂ نفوذپذیری را افزایش داده (۴۱/۲ L/m².h.bar) و حذف نمک‌ها را کاهش داد. علاوه‌بر این، غشای GDP₁P₂-0.6 رنگ‌های مختلف را تقریباً کامل حذف کرد که می‌تواند به اثر ترکیبی برهمکنش‌های Donnan و الکتروستاتیک نسبت داده شود. برای بهینه سازی نفوذ آب، پس‌دهی رنگ‌ها و نمک‌ها در غشای نانوفیلتراسیون GO/DTiO₂-PDA-PEI عملکرد بارگذاری DTiO₂ را بررسی کردند. با افزودن DTiO₂ نفوذ غشاها از ۱۲/۳ L/m².h.bar برای GDP₁P₂-0.2 به ۷۵/۵ L/m².h.bar برای GDP₁P₂-1 رسید. پس‌دهی نمک‌ها و رنگ‌ها با افزودن DTiO₂، مطابق با اثر متقابل غشای NF، کاهش یافت. هم‌چنین، نتایج نشان داد که بار غشاهای کامپوزیت سهم زیادی در عملکرد رنگ‌ها دارد؛ به‌طوری‌که رنگ‌های مثبت (CV, ST) را می‌توان به‌راحتی با دفع بار گروه‌های آمینه GDP₁P₂-0.6 در مقایسه با غشاهای GDP₁-0.6 با بار منفی حذف کرد. در عملکرد بلندمدت غشای GDP₁P₂-0.6، با گذشت زمان نفوذپذیری آب کمی کاهش یافته که احتمالاً به‌دلیل تجمع رنگ در غلظت‌های

پس از آزمایش با استفاده از محلول HA به طور قابل توجهی در FRR منعکس شد. مقدار FRR بالا در PES 3 به دلیل رسوب HA تشکیل شده بر روی سطح غشا بود که می توان آن را شستشو داد. همچنین غشاهای حاوی ZnO خواص ضد باکتریایی قابل توجهی را نشان دادند که به موجب آن باکتری های کمتری روی غشا چسبیده بودند. زاویه تماس آب در غشای PES با نسبت مساوی از ZnO و MWCNT (PES 3) پایین بود که نشان دهنده خواص غشای PES و آب دوستی بیشتر سطح غشا است. همچنین غشای PES 3 با نسبت بازیابی شار بالاتر، خواص ضد رسوب موثری را نشان داد.

۷- نتیجه گیری

در حال حاضر، گرفتگی غشا بزرگترین و چالش برانگیزترین مانع در اجرای فرایندهای غشایی است و به مقدار زیادی عملکرد و عمر غشا را کاهش و هزینه های عملیاتی را افزایش می دهد. با بررسی مقاله های علمی، مشاهده می شود نانوفیلتراسیون (NF) که یکی از فرایندهای برپایه فشار است برای کنترل گرفتگی به کمک غشاهای اصلاح شده پرداخته و همچنین از غشاهای NF برای تصفیه آب و پساب و آلاینده های مختلف مانند رنگ، یون های فلزی سنگین (Cu^{2+} و Zn^{2+}) و نمک زدایی استفاده می شود. امروزه علاوه بر استفاده از نانومواد معدنی (FeO و TiO_2 , ZnO) و نانومواد کربنی (GO و MWCNT) در اصلاح غشا، از ترکیب مواد معدنی و کربنی نیز استفاده می شود که مزایای زیادی دارد؛ از جمله باعث بهبود در آب دوستی سطح غشا، خواص ضد رسوب و ضد باکتری می شوند. در نهایت، استفاده از روش های نوین و جدید در فرایندهای غشایی برای بهبود ویژگی های غشا یک امر لازم و ضروری است.

۸- مراجع

اسداله فردی، ا. غ.، موسوی، س. ز. و موسوی، س. م.، (۱۳۹۶)، "مروری بر دستاوردهای اخیر در زمینه ساخت غشای نانوفیلتراسیون در تصفیه آب"، دومین کنفرانس ملی یافته های نوین پژوهشی و آموزشی عمران معماری شهرسازی و محیط زیست / ایران، تهران.

بنده علی، س.، مقدسی، ع.، پرویزیان، ف. و حسینی، س.، (۱۳۹۸)، "بهبود عملکرد جداسازی غشاهای نانوفیلتراسیون برپایه پلی اترایمید توسط نانوذرات عامل دار دی اکسید

تیتانیوم"، پژوهش نفت، ۲۹ (۹۸-۶)، ۱۰۸-۱۱۹.

پرویزیان، ف.، سعدی، س.، حسینی، س. م. و بنده علی، س.، (۱۳۹۹)، "مطالعه و بررسی تأثیر نانو ذرات روی اکسید بر بهبود عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون بر پایه PVDF/PES"، پژوهش نفت، ۳۰ (۹۹-۲)، ۱۱۳-۱۲۶.

فریدی، ا. و سروری، م.، (۱۳۹۴)، "تصفیه آب با استفاده از غشای پلیمری نانوفیلتراسیون"، فناوری نانو، ۱۴ (۲۱۵)، ۲۷-۳۶.

صرافزاده، م. ح.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی فنی و اقتصادی روش های نمک زدایی از آب دریا با در نظر گرفتن ویژگی های بومی در نقاط مختلف دنیا"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۲ (۱)، ۳۷-۲۸.

رودسری، ل. پ.، هراتیان، پ.، وندی، س. س.، گانی، س. ل. و بوستانی، ا.، (۱۳۹۱)، "کاربرد فیلتراسیون غشایی در صنعت ماء الشعیر"، فصلنامه علوم تغذیه و صنایع غذایی / ایران، ۷ (۵)، ۸۸۶-۸۷۷.

عشقی پور، ر.، مقدسی، ع.، حسینی، س. م. و باقری پور، ا.، (۱۳۹۴)، "بررسی تأثیر نانوذرات اکسید روی بر خواص فیزیکی و عملکرد جداسازی غشای نانوفیلتراسیون بر پایه پلی وینیل کلراید"، نشریه علمی فرآیند نو، ۱۱ (۵۵)، ۵-۱۶.

غلامی، ن. و مهدوی، ح.، (۱۳۹۹)، "مروری بر غشاهای نانوصافش بستر مختلط برپایه پلی سولفون و پلی اترسولفون/ نانوذرات کربنی"، پژوهش های کاربردی در شیمی، ۱۴ (۴)، ۱-۲۴.

قنوتی نسب، ع. و ابراهیمی، م.، (۱۳۹۵)، "مطالعه ای مروری بر غشا و بررسی انواع فرایندهای جداسازی غشایی"، سومین کنفرانس سراسری نوآوری های اخیر در شیمی و مهندسی شیمی، تهران.

کتابی، م. و دهقانی، ا.، (۱۳۹۵)، "مروری بر روش های نوین اصلاح سطح غشاهای پلیمری برای کاهش رسوب بیوکلوئیدی"، سومین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در علوم شیمی و مهندسی شیمی و سومین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در زیست شناسی، تهران.

مرادی، س.، مقدسی، ع. و بنده علی، س.، (۱۳۹۹)، "اصلاح غشاهای نانوفیلتراسیون بر پایه پلی اترسولفون PES توسط افزودن نانوذرات اکسید آهن اصلاح شده با سورفاکتانت سدیم سیترات"، نشریه علوم و مهندسی جداسازی، ۱۲ (۲)، ۱۷-۱.

مقدسی، ع.، پور، ا. ب.، حسینی، س. و پرویزیان، ف.، (۱۳۹۸)، "اصلاح سطح غشای نانوفیلتراسیون بر پایه پلی اتر سولفون

Management, 242, 90-97.

- Xu, Y., Peng, G., Liao, J., Shen, J., and Gao, C., (2020), "Preparation of molecular selective GO/DTiO₂-PDA-PEI composite nanofiltration membrane for highly pure dye separation", *Journal of Membrane Science*, 601, 117727.
- Zarrabi, H., Yekavalangi, M. E., Vatanpour, V., Shockravi, A., and Safarpour, M., (2016), "Improvement in desalination performance of thin film nanocomposite nanofiltration membrane using amine-functionalized multiwalled carbon nanotube", *Desalination*, 394, 83-90.
- Zhao, F.-Y., Ji, Y.-L., Weng, X.-D., Mi, Y.-F., Ye, C.-C., An, Q.-F., and Gao, C.-J., (2016), "High-flux positively charged nanocomposite nanofiltration membranes filled with poly (dopamine) modified multiwall carbon nanotubes" *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(10), 6693-6700.



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

- با استفاده از لایه نازک پلیمری کیتوسان- نانو صفحه هایگرافن اکساید جهت کاهش گرفتگی و بهبود عملکرد غشا"، *مجله پژوهش نفت*، ۲۹(۱۰۵)، ۴۶-۶۰.
- مقدس، ع.، نژاد، م.ا.، پرویزیان، ف.، حسینی، س.، و پور، اب.، (۱۳۹۷)، "اصلاح خواص جداسازی و ساختاری غشای نانوفیلتراسیون بر پایه پلی اتر سولفون با استفاده از نانوذرات سولفونه شده اکسید سیلیس"، *مجله پژوهش نفت*، ۲۸(۱۰۰)، ۱۰۸-۱۲۲.
- نبی‌زاده مقدم، ن.، رمضان‌یان، ن.، و ظهوری، غ.، (۱۳۹۴)، "غشاهای پلیمری و کاربرد آن در تصفیه آب"، *پنجمین همایش علمی مهندسی فرآیند، پالایش و پتروشیمی، تهران. یادگاری، ف.، عبدالله‌زاده شرقی، ا.، و عدل، م.، (۱۳۹۶)، "حذف بیولوژیکی نیترات از آب آشامیدنی در سیستم هیبریدی بیوراکتور انوکسیک - بیوراکتور غشایی"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۲(۲)، ۲۴-۳۳.*
- Abadikhah, H., Naderi Kalali, E., Khodi, S., Xu, X., and Agathopoulos, S., (2019), "Multifunctional thin-film nanofiltration membrane incorporated with reduced graphene oxide@ TiO₂@ Ag nanocomposites for high desalination performance, dye retention, and antibacterial properties", *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11(26), 23535-23545.
- Abdi, G., Alizadeh, A., Zinadini, S., and Moradi, G., (2018), "Removal of dye and heavy metal ion using a novel synthetic polyethersulfone nanofiltration membrane modified by magnetic graphene oxide/metformin hybrid" *Journal of Membrane Science*, 552(15), 326-335.
- Ji, Y., Qian, W., Yu, Y., An, Q., Liu, L., Zhou, Y., and Gao, C., (2017), "Recent developments in nanofiltration membranes based on nanomaterials", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25(11), 1639-1652.
- Obotey Ezugbe, E., and Rathilal, S., (2020), "Membrane technologies in wastewater treatment: A review", *Membranes*, 10(5), 89.
- Pang, W.Y., Ahmad, A.L., and Zaulkiflee, N.D., (2019), "Antifouling and antibacterial evaluation of ZnO/MWCNT dual nanofiller polyethersulfone mixed matrix membrane", *Journal of Environmental Management*, 249, 109358.
- Safarpour, M., Vatanpour, V., Khataee, A., and Esmaeili, M., (2015), "Development of a novel high flux and fouling-resistant thin film composite nanofiltration membrane by embedding reduced graphene oxide/TiO₂", *Separation and Purification Technology*, 154, 96-107.
- Vatanpour, V., and Haghighat, N., (2019), "Improvement of polyvinyl chloride nanofiltration membranes by incorporation of multiwalled carbon nanotubes modified with triethylenetetramine to use in treatment of dye wastewater", *Journal of Environmental*

Research Paper

مقاله پژوهشی

The Removal of Azithromycin Antibiotic by Advanced Oxidation Method of Sodium Persulfate Activated by Steel Industry Slag from Pharmaceutical Effluent

Naser Mehrdadi¹, Afshin Takdastan^{2*}, Laleh Khosravi
Pour³, Gholamreza Nabi Bidhendi¹ and Masoume Taherian⁴

1- Professor, Faculty of Environment, University of Tehran,
Tehran, Iran.

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

3- Ph.D. Student in Water and Wastewater Engineering, Aras
International Campus, University of Tehran, Aras, Iran.

4- Department of Environmental Health Engineering, School of
Public Health, Jundishapur University of Medical Sciences,
Ahvaz, Iran.

*Corresponding Author, Email: afshin_ir@yahoo.com

Received: 07/10/2021

Revised: 02/02/2022

Accepted: 25/02/2022

© IWWA

Abstract

Nowadays, the contamination of water resources with antibiotics are known as one of the major pollutants in the environment due to their widespread use, toxicity, causing drug resistance, and lasting effects. This study was designed to evaluate the efficiency of the advanced oxidation process of sodium persulfate activated with steel industry slag in the presence of ultraviolet rays, solution temperature, and pH aimed at eliminating the Azithromycin antibiotic from aqueous and effluent media. In the present study, the effect of the variables, including pH, solution temperature, reaction time, initial concentration of antibiotics, sodium persulfate concentration, and UV ray intensity was examined on the process efficiency. A High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) machine was also used to measure the concentration of the Azithromycin antibiotic. According to the study results, under optimal and certain conditions in which sodium persulfate: 2 mM, pH: 2, iron ions level in the steel industry slag: 0.4 g/l, UV intensity: 8 watts, and during 60 minutes, the elimination efficiency rates of Azithromycin antibiotic, COD, and TOC were obtained as 91%, 57/4%, and 43/8%, respectively with a mineralization level higher than 55%. The rate of Azithromycin antibiotic removal was directly related to the concentrations of iron ions, sodium persulfate, UV intensity, and the temperature. However, increase in the pH from 2 to 10 led to decrease in the process efficiency from 81% to 43%, and enhance in the initial concentration of Azithromycin antibiotic from 5 to 50 mg/l also reduced the removal rate of the antibiotic from 73% to 43%. The research revealed that the advanced oxidation process of sodium persulfate activated by steel industry slag in the presence of ultraviolet rays can be used as a proper method with high efficiency to eliminate the high concentration of antibiotics found in a real sewage sample.

Keywords: Advanced oxidation, Steel industry slag, Azithromycin antibiotic, Hospital effluent.

حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین با روش اکسیداسیون پیشرفته
پرسولفات سدیم فعال شده توسط سرباره صنایع فولاد از پساب

دارویی

ناصر مهرداد^۱، افشین تکدستان^{۲*}، لاله خسروی پور^۳، غلامرضا نبی
بیدهندي^۱ و معصومه طاهریان^۴

۱- استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- استاد مرکز تحقیقات فناوری های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز،
ایران.

۳- دانشجوی دکتری مهندسی آب و فاضلاب، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، ارس،
ایران.

۴- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز،
ایران

*نویسنده مسئول، ایمیل: afshin_ir@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۶

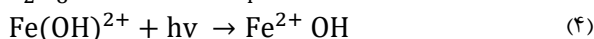
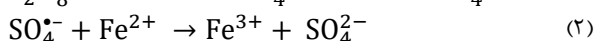
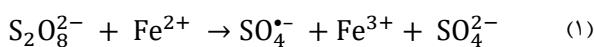
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

امروزه ورود آنتی‌بیوتیک‌ها به منابع آبی به علت گستردگی مصرف، سمی بودن، ایجاد مقاومت دارویی و اثرات پایدار، به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم در محیط به شمار می‌روند. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد، در حضور اشعه ماورای بنفش، دمای محلول و pH، به منظور حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین از محیط‌های آبی و پساب است. در این مطالعه، اثر متغیرهای pH، دمای محلول، زمان واکنش، غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک‌ها، غلظت پرسولفات سدیم و شدت اشعه ماورای بنفش، بر کارایی فرایند بررسی شد. غلظت آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین نیز، توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا اندازه‌گیری شد. براساس نتایج این مطالعه، در شرایط بهینه و خاصی که در آن، غلظت پرسولفات سدیم برابر ۲ میلی‌مولار، pH برابر ۲، میزان یون‌های آهن موجود در سرباره صنایع فولاد معادل ۰/۴ گرم در لیتر، شدت اشعه ماورای بنفش برابر ۸ وات و زمان تماس ۶۰ دقیقه است، راندمان حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین، COD و TOC به ترتیب برابر با ۹۱٪، ۵۷/۴٪ و ۴۳/۸٪ و میزان معدنی‌سازی بیشتر از ۵۵٪ به دست آمد. میزان حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین رابطه مستقیمی با غلظت یون‌های آهن، پرسولفات سدیم، شدت اشعه ماورای بنفش و درجه حرارت داشت؛ در حالی که با افزایش میزان pH از ۲ به ۱۰ میزان بازدهی فرایند از ۸۱٪ به ۴۳٪ و با افزایش غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین از ۵ به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان حذف آنتی‌بیوتیک را از ۷۳٪ به ۴۳٪ کاهش داد. در این تحقیق مشخص شد، فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد در حضور اشعه ماورای بنفش، یک روش مناسب با کارایی موثر به منظور حذف غلظت بالای آنتی‌بیوتیک‌های موجود در یک نمونه فاضلاب واقعی است.

کلمات کلیدی: اکسیداسیون پیشرفته، سرباره صنایع فولاد، آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین، پساب بیمارستانی.

بیشتری هستند (Babaei et al., 2015; García Perdomo et al., 2022). فعال سازی پرسولفات برای تولید رادیکال سولفات ($SO_4^{\bullet-}$) از طریق روش های مختلفی مانند کاتالیز فلزی، الکتروشیمی، حرارت و تابش اشعه ماورای بنفش انجام می شود. در میان این تکنیک ها، یون آهن دو ظرفیتی به دلیل غیر سمی بودن، ارزان قیمت بودن و موثر بودن، به طور گسترده ای برای فعال سازی پرسولفات مورد استفاده قرار می گیرد. هم چنین، نور ماورای بنفش می تواند نقش مهمی در بهبود میزان تجزیه و تخریب مواد آلی داشته باشد (Jorfi et al., 2017). فعال سازی پرسولفات با استفاده از Fe^{+2} سرباره صنایع فولاد را می توان از طریق معادلات (۱) تا (۴) بیان کرد (Shiraz et al., 2018).



سرباره، یکی از زائدات صنعت فولاد است که برای این صنعت مزاحمت زیادی ایجاد می کند. اما امروزه با شناخت مصارف متعدد آن، مانند کاربرد در مصالح ساختمانی و راه سازی، از یک ماده مزاحم به یک ماده مفید و اقتصادی تبدیل شده است (Takdastan et al., 2017). یکی از کاربردهای سرباره، استفاده به عنوان جاذب در حذف آلاینده های محیط زیست است. در مطالعات انجام شده، کاربرد موفق سرباره به عنوان جاذب در حذف فسفات، آمونیوم، آلاینده های آلی و فلزات سنگینی مانند مس، آرسنیک، سرب و غیره گزارش شده است (Kurt et al., 2017).

در این مطالعه، فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده توسط یون های آهن موجود در سرباره صنایع فولاد در حضور اشعه ماورای بنفش با طول موج مشخص به منظور حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین از محلول های آبی و پساب انجام گرفت. هم چنین، میزان تجزیه پذیری زیستی و درجه معدنی سازی نیز اندازه گیری شد و در پایان، آزمایش های مشابه در نمونه واقعی فاضلاب بیمارستانی حاوی مقادیر مشخصی از آنتی بیوتیک آزیترومایسین انجام شد تا کاربرد و میزان کارایی فرایند فوق در محیط طبیعی مشخص شود. این تحقیق تحت متغیرهای ورودی مانند pH محلول، غلظت یون آهن، غلظت پرسولفات سدیم، میزان دما، مدت زمان واکنش، غلظت اولیه آنتی بیوتیک و شدت اشعه ماورای بنفش انجام شد.

پساب حاوی ترکیبات دارویی و آنتی بیوتیک ها، مانند پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب بیمارستانی و شرکت های داروسازی، به عنوان یکی از مشکلات در رابطه با آلودگی محیط زیست شناخته می شوند. برخی از ترکیبات دارویی به ویژه آنتی بیوتیک ها، اثرات نامطلوبی بر انسان و محیط زیست حتی در غلظت های کم محیطی ایجاد می کنند (Liu et al., 2012, 2021). از مهم ترین اثرات منفی حضور آنتی بیوتیک ها، توسعه مقاومت میکروبی است. از خواص آنتی بیوتیک ها، می توان به قابلیت تجزیه بیولوژیکی کم، سمیت بالا، خاصیت سرطان زایی و موتاژنی صدمه به DNA و لنفوسیت، افزایش آلرژی در انسان، گسترش باکتری های مقاوم به آنتی بیوتیک ها و ایجاد عوارض پیش بینی نشده بر روی انسان و حیوانات اشاره کرد (Gao et al., 2012). گسترش مصرف آنتی بیوتیک ها به منظور مصارف انسانی، کشاورزی، دام و طیور و غیره، باعث افزایش حضور این آلاینده در منابع آبی شده و به علت متابولیسم شدن ناقص در بدن و احتمال تخلیه بیشتر به محیط زیست، از جایگاه ویژه ای برخوردار هستند (Jeong et al., 2010; Liu et al., 2021). در تصفیه فاضلاب به کمک فرایند اکسیداسیون پیشرفته، مواد دارویی کاملاً اکسید و حذف می شوند و از فازی به فاز دیگر منتقل نمی شوند (Michael et al., 2013). آنتی بیوتیک آزیترومایسین، نوعی آنتی بیوتیک ماکرولید با فرمول $C_{38}H_{72}N_{12}O_{12}$ و وزن مولکولی $g \cdot mol^{-1}$ ۷۴۸/۹۸۴ است که در درمان طیف وسیعی از عفونت های باکتریایی مورد استفاده قرار می گیرد (Hu, 2022). روش های اکسیداسیون پیشرفته بر پایه منورسولفات، با فعال سازی فیزیکی و شیمیایی از اقبال بیشتری به منظور تصفیه فاضلاب برخوردار هستند. این رویکرد به دلیل ماهیت آن، در تصفیه طیف گسترده ای از آلاینده ها در محیط های آبی و پساب و تبدیل آلاینده ها به مواد غیر آلی بی ضرر از جمله CO_2 ، H_2O و غیره مورد استفاده قرار می گیرد (Ahmadi et al., 2017a). فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)، برای تجزیه ترکیبات آلی گزینه ای مناسب در مقایسه با روش های متداول تصفیه بوده و دارای مزایای نظیر عدم تولید مقادیر زیاد لجن در مقایسه با سایر روش ها است. هم چنین، به دلیل پایداری پرسولفات و مقرون به صرفه بودن در مقایسه با سایر اکسیدکننده ها مانند O_3 ، H_2O_2 توجه متخصصین محیط زیست را برای اهداف تصفیه و پاک سازی به خود جلب کرده است. در مقایسه با رادیکال های هیدروکسیل، رادیکال های سولفات دارای پتانسیل اکسیداسیون و نیمه عمر

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد شیمیایی

در این مطالعه تجربی آزمایشگاهی، مواد شیمیایی مورد نیاز شامل سولفات جیوه ($HgSO_4$)، سولفات نقره (Ag_2SO_4)، دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$)، اسید سولفوریک، اسید کلریدریک (HCl)، هیدروکسید سدیم ($NaOH$)، تیو سولفات سدیم ($Na_2S_2O_3$)، پرسولفات سدیم ($Na_2S_2O_8$) و اسید نیتریک از شرکت Merck آلمان و پودر آنتی بیوتیک آزیترومايسين با خلوص بالا ($>98\%$) از شرکت Aldrich تهیه شده است. محلول ذخیره آنتی بیوتیک، با مقدار مشخصی از پودر آنتی بیوتیک در آب مقطر (DI) به دست آمده که در غلظت های مطلوب رقیق و تا زمان انجام آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری می شود. برای تهیه کلیه محلول های آزمایش، از آب دیونیزه استفاده شد. همچنین، برای تنظیم pH محلول، از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار استفاده شد. از سرباره صنایع فولاد نیز، به عنوان جاذب برای حذف آنتی بیوتیک آزیترومايسين استفاده شد.

۲-۲- دستگاه های مورد نیاز

در این مطالعه، از یک راکتور به حجم ۵۰۰ میلی لیتر، به ابعاد ۳۵۰ میلی متر قطر و ۱۰۰۰ میلی متر ارتفاع از جنس کوارتز، سرعت قابل تنظیم از ۶۰ تا ۴۵۰ دور در دقیقه، تحمل دمایی از (۴۰-) تا (۲۰۰+) درجه سانتی گراد استفاده شد. برای اندازه گیری میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، از دستگاه اسپکتروفتومتر (DR4000 HACH) استفاده شد و به منظور تنظیم و اندازه گیری pH، دستگاه pH متر مدل HQ 40d (HACH) مورد استفاده قرار گرفت. اندازه گیری و سنجش غلظت آنتی بیوتیک آزیترومايسين، توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC-UV) مدل Agilent 1220 infinity system، مجهز به آشکارساز اشعه ماورای بنفش با طول موج ۲۷۵ نانومتر، با استفاده از ستون C18 به ابعاد ۴/۶ mm × ۲۵۰ mm با ذرات به قطر ۰/۵ میکرون، حجم تزریق ۲۰ میکرو لیتر و دمای ستون ۲۳ درجه سانتی گراد، با سرعت جریان ۱ میلی لیتر در دقیقه انجام شد. برای آنتی بیوتیک آزیترومايسين مخلوطی از استونیتریل ۰/۸۸، متانول ۰/۱۰ و بافر فسفات به عنوان فاز متحرک استفاده شد. کل کربن آلی (TOC)، با استفاده از آنالیزگر کل کربن آلی SHIMADZU، VCHS/CSN ساخت ژاپن اندازه گیری شد. لامپ های UV مورد استفاده در این مطالعه، با شدت های ۴

۶ و ۸ وات مدل PHILIPS ساخت کشور لهستان بودند. همچنین کلیه دستگاه های مورد استفاده، قبل از انجام آزمایش های مطابق با کاتالوگ های مربوطه کالیبره شده و منحنی کالیبراسیون آنها رسم شد.

۲-۳- تهیه و آماده سازی سرباره

برای افزایش قابلیت سرباره به عنوان جاذب، از روش های اصلاحی استفاده می شود. از این رو، سرباره ابتدا اصلاح و سپس به عنوان جاذب استفاده شد. به منظور اصلاح جاذب، ابتدا سرباره خرد و سپس، توسط سرندهای مش ۵۰ و ۷۰ برای دستیابی به سرباره با اندازه های بین ۰/۲ تا ۰/۳ میلی متر الک شد. سپس، سرباره با اسید هیدروکلریک ۱ مولار پیش تصفیه شد. در مرحله آخر، سرباره چند بار با آب دیونیزه شستشو داده شد تا ناخالصی های آن حذف شود و سپس در فور با دمای ۱۰۵ °C، به مدت ۴ ساعت خشک شد. مراحل شستشو در بشر یک لیتری انجام و برای جداسازی سرباره از فیلتر کاغذی (واتمن ۴۰) استفاده شد.

۲-۴- روش انجام آزمایش

در این مطالعه که در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت انجام گرفت، آزمایش های مربوطه در یک راکتور با حجم ۵۰۰ میلی لیتر حاوی ۲۵۰ میلی لیتر محلول واکنش انجام گرفت. برای این منظور، ابتدا فاضلاب سنتتیک حاوی غلظت های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر آنتی بیوتیک آزیترومايسين ساخته شد و پس از انتقال به راکتور و تنظیم pH و دما، غلظت های مشخصی از یون های آهن و پرسولفات سدیم به محلول درون راکتور اضافه شد. به دنبال آن، استفاده از لامپ های UV با شدت های ۴، ۶ و ۸ وات و نیز، اختلاط محتویات درون راکتور با شدت ۳۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت. پس از گذشت زمان مورد نظر ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه و به منظور اندازه گیری غلظت آنتی بیوتیک آزیترومايسين، نمونه پساب حاصل توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مجهز به آشکارساز اشعه ماورای بنفش آنالیز شد. متغیرهای این تحقیق، شامل غلظت آنتی بیوتیک آزیترومايسين ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر، pH برابر ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰، زمان ماند محلول واکنش درون راکتور به مدت ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه، غلظت پرسولفات سدیم ۰/۱-۲ میلی مولار، شدت اشعه ماورای بنفش ۴، ۶ و ۸ وات و دمای محلول ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی گراد است. برای اندازه گیری تاثیر پارامترها در هر مرحله، فقط یکی از پارامترها به عنوان متغیر

تجزیه موثر پرسولفات سدیم و تولید رادیکال‌های $OH^{\bullet}$ و $SO_4^{\bullet-}$ می‌شوند (Jorfi et al., 2016; Shiraz et al., 2018). مطالعه‌ای توسط Shankaraiah et al. (2016) در باره تجزیه آنتی بیوتیک نورفلوکساسین در محلول آبی با استفاده از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته انجام شد. براساس نتایج این مطالعه در شرایط بهینه شامل pH برابر ۳، غلظت H_2O_2 برابر ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، غلظت آهن برابر ۳۰ میلی گرم در لیتر و غلظت اولیه دارو برابر ۱۵۰ ppm، بالاترین راندمان حذف آنتی بیوتیک با روش فوتوفنتون به دست آمد که سبب حذف ۹۶ درصدی نورفلوکساسین شد.

۳-۲- تاثیر pH محلول

pH محلول، به دلیل تاثیر در تغییر درجه یونیزاسیون آلاینده‌ها و اکسیدان‌ها ویژگی‌های سطح و حلالیت عوامل واکنش، یکی از موثرترین پارامترها در سیستم‌های اکسیداسیون است (Kermani et al., 2018b; Rezaei Kalantray et al., 2016). اثر pH در محدوده ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ بر بازدهی حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین در حضور ۰/۲ گرم بر لیتر، یون آهن و ۳ میلی مولار پرسولفات سدیم برای غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر آنتی بیوتیک آزیترومایسین، طی زمان واکنش ۶۰ دقیقه و در حضور لامپ UV با شدت اشعه ۸ وات انجام گرفت. در این آزمایش، با افزایش pH از ۲ به ۱۰، بازدهی فرایند در حذف آزیترومایسین در مدت زمان ۶۰ دقیقه، از ۸۱٪ به ۴۳٪ کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، این فرایند برای حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین در محیط‌های اسیدی عملکرد بهتری در مقایسه با محیط‌های خنثی و قلیایی دارد. بنابراین، مقدار pH بهینه برای انجام مراحل بعدی آزمایش، برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود. نتایج توضیحات فوق، در شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج به دست آمده از این تحقیق، با نتایج سایر محققان ارتباط معناداری دارد. خزایی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی کارایی فرایند UV/پراکسی مونو سولفات در حذف آنتی بیوتیک سفکسیم از محلول‌های آبی، به این نتیجه رسیدند که با افزایش pH محلول از ۳ به ۹، میزان راندمان حذف آنتی بیوتیک سفکسیم از ۹۷٪ به ۹۳٪ کاهش می‌یابد. کمانی و همکاران (۱۳۹۷) در مورد کارایی فرایند تلفیقی اولتراسونیک-پرسولفات در کاهش مواد آلی فاضلاب سنتتیک لبنی مطالعه‌ای را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که راندمان کلی فرایند در pH اسیدی نسبت به pH قلیایی برتری دارد؛ به طوری که با افزایش pH از ۵ به ۹، کارایی فرایند حذف مواد آلی از فاضلاب سنتتیک کاهش می‌یابد.

انتخاب و سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شدند. مقدار بهینه و تاثیر هریک از متغیرها بر میزان حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین مشخص شد. تمامی آزمایشات، با سه بار تکرار و انحراف معیاری در حدود کمتر از ۵٪ انجام شد. پس از بهینه سازی فرآیند، سینتیک تخریب و مطالعات درجه معدنی سازی صورت گرفت. همچنین، کارایی فرایند در نمونه فاضلاب واقعی بیمارستانی حاوی آنتی بیوتیک آزیترومایسین تحت شرایط بهینه بررسی و در نهایت میزان حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین (%R) و میزان معدنی سازی از معادلات (۵ و ۶) محاسبه شد.

$$Re\% = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100 \quad (5)$$

که C_0 : نشان دهنده غلظت اولیه و C_t : نشان دهنده غلظت نهایی آنتی بیوتیک (میلی گرم در لیتر) است.

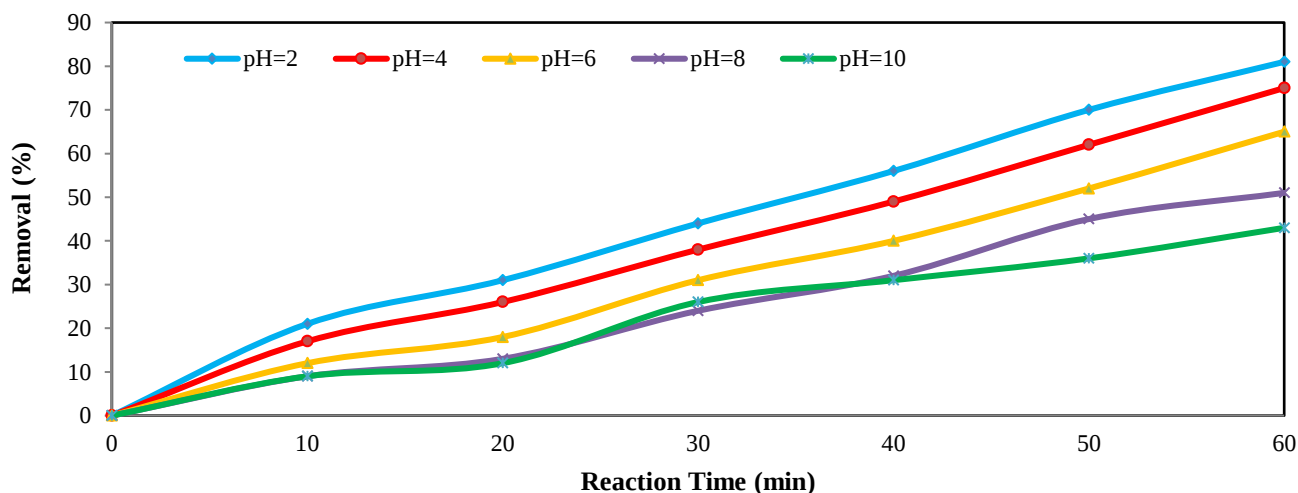
$$Mineralization(\%) = \left(\frac{TOC_T}{TOC_0} \right) \times 100 \quad (6)$$

که TOC_0 و TOC_T : به ترتیب نشان دهنده میزان کل کربن آلی اولیه و میزان کل کربن آلی نهایی (میلی گرم در لیتر) است. در این تحقیق، اندازه گیری تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی براساس آخرین روش‌های ارائه شده کتاب استاندارد متد ویرایش ۲۰ انجام گرفته است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- عملکرد فرایند

حذف آنتی بیوتیک‌ها با استفاده از فرایندهای منفرد، به دلیل قدرت اکسیداسیون ناچیز پرسولفات سدیم و اشعه ماورای بنفش دارای راندمان پایین هستند که می‌تواند ناشی از عدم وجود رادیکال‌های اکسیدکننده برای تخریب کارآمد آلاینده‌ها نیز باشد (Norzaee et al., 2017; Takdastan et al., 2018). عملکرد مولکول‌های پرسولفات سدیم به همراه اشعه ماورای بنفش، توانایی بیشتری در حذف آنتی بیوتیک نسبت به یون آهن موجود در سرباره دارد. در نتیجه می‌توان تولید بیشتر رادیکال‌های سولفات در واکنش بین پرسولفات سدیم و اشعه ماورای بنفش نسبت به یون آهن را توصیف کرد (Jafari et al., 2017; Jorfi et al., 2017). اما اتصال Fe^{+2} موجود در سرباره، پرسولفات سدیم و اشعه ماورای بنفش با یکدیگر، باعث افزایش حذف آنتی بیوتیک می‌شود که این امر، به دلیل وجود فعال کننده‌های مختلفی است که منجر به



شکل ۱- تاثیر مقادیر مختلف pH بر بازدهی حذف آزیترومایسین توسط فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد

یون فروس به ۰/۵ گرم بر لیتر، بازدهی آن به ۷۹/۱٪ کاهش یافت. نتایج نشان داد که افزایش مقادیر یون فروس، تا یک حد مشخصی می تواند بازدهی فرایند در حذف آنتی بیوتیک را ارتقا دهد و افزایش بیشتر غلظت یون فروس، تاثیر قابل توجهی بر روی بازدهی فرایند ندارد. این پدیده را می توان به تاثیر SO_4^{2-} با وجود یون های آهن اضافی و خود اتصالی ذرات آهن که باعث کاهش تعداد مکان های واکنش دهنده کاتالیزور در غلظت های بیشتر می شود، نسبت داد (Babaei et al., 2015). در نتیجه، غلظت بهینه یون فروس برای حذف حداکثری آزیترومایسین برابر با ۰/۴ گرم بر لیتر انتخاب شد. در بسیاری از مطالعات مشابه پیرامون حذف آلایندہ ها توسط فرایند اکسیداسیون پیشرفته منوپرسولفات، یافته های مشابهی توسط محققان گزارش شده است. حمزه زاده و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی عملکرد فرایند نانو/ پرسولفات در حذف مترونیدازول از محلول های آبی دریافتند که افزایش غلظت آهن دو ظرفیتی از مقادیر مشخص، باعث افزایش حجم لجن و کاهش کارایی فرایند به علت پدیده جذب رادیکال های پرسولفات توسط آهن دو ظرفیتی می شود. در مطالعه ای که توسط Ahmadi et al. (2017b) با هدف ارزیابی فرایند فوتوفنتون در حذف آلایندہ های آنیلین و بنزوتریازول صورت گرفت، مشاهده شد که افزایش بیش از حد یون های آهن در محیط واکنش اثر نامطلوبی بر روی عملکرد فرایند دارد. آنان دو دلیل عمده را برای این پدیده گزارش کردند: الف) واکنش یون های اضافی فروس با رادیکال های آزاد و ممانعت از واکنش آن ها با ترکیبات آلی ب) تولید مقادیر مازاد رادیکال های آزاد در محلول واکنش که طی واکنش با یکدیگر منجر به تولید مجدد $S_2O_8^{2-}$ می شوند.

رادیکال های هیدروکسیل، بیشتر می توانند در محیط های قلیایی تشکیل شوند؛ در حالی که غلظت رادیکال سولفات ($SO_4^{\cdot -}$) در شرایط اسیدی بیشتر است (Rao et al., 2014; Xu and Li, 2010; García Perdomo et al., 2022). از آنجایی که رادیکال های سولفات، پتانسیل اکسیداسیون بیشتری نسبت به هیدروکسیل دارند، حذف بیشتر آلایندہ ها در مقادیر pH اسیدی امکان پذیر است (Avetta et al., 2015; Kim et al., 2020). در شرایط بسیار اسیدی، فراوانی یون های هیدروژن (H^+) ممکن است منجر به تجزیه مولکول های پرسولفات سدیم و مهار هر دو رادیکال هیدروکسیل و سولفات شوند (Kermani et al., 2018a; Li et al., 2017; Tavassoli et al., 2018). کاهش حذف آنتی بیوتیک در شرایط قلیایی، می تواند ناشی از رسوب هم زمان آهن و تشکیل کمپلکس هیدروکسید، تبدیل رادیکال های سولفات به رادیکال های هیدروکسید باشد که گونه هایی با پتانسیل اکسیداسیون پایین تر تولید می کند (Rao et al., 2014; Shiraz et al., 2018).

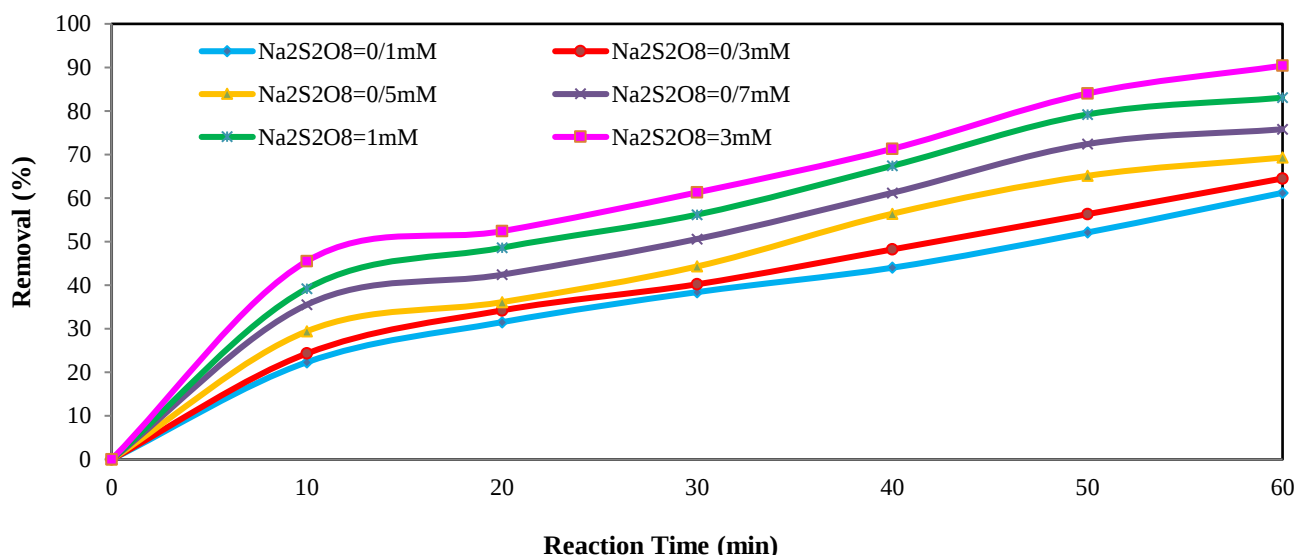
۳-۳- تاثیر غلظت های مختلف آهن موجود در سرباره صنایع فولاد

در این مرحله، تاثیر غلظت های مختلف یون فروس موجود در سرباره صنایع فولاد بر حذف آزیترومایسین، در pH بهینه برابر با ۲ و در حضور ۲ میلی مولار پرسولفات سدیم، طی مدت زمان ۶۰ دقیقه، در حضور لامپ UV با شدت ۸ وات و دمای ۲۰ درجه سانتی گراد اندازه گیری شد. بعد از ۶۰ دقیقه واکنش و با افزایش غلظت یون آهن از ۰/۱ به ۰/۴ گرم بر لیتر، بازدهی حذف برای آزیترومایسین از ۵۸/۲٪ به ۸۵٪ افزایش و سپس با افزایش مقدار

۴-۳- تاثیر غلظت پرسولفات سدیم

غلظت پرسولفات سدیم به دلیل تولید رادیکال‌های اکسیدکننده سولفات، تاثیر قابل توجهی در اکسیداسیون آنتی‌بیوتیک هدف دارد. در این مرحله، تاثیر مقادیر مختلف اکسیدان پرسولفات سدیم در ۷ سطح ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵، ۲ میلی‌مولار در حذف آزیترومايسين در حضور ۰/۴ گرم بر

لیتر یون فروس، pH برابر ۲، طی مدت زمان ۶۰ دقیقه و در حضور اشعه ماورای بنفش با شدت ۸ وات انجام شد. طی نتایج به دست آمده و مطابق شکل ۲ مشاهده شد که بازدهی حذف آنتی‌بیوتیک با افزایش مقدار پرسولفات سدیم از ۰/۱ به ۲ میلی‌مولار، افزایش می‌یابد.



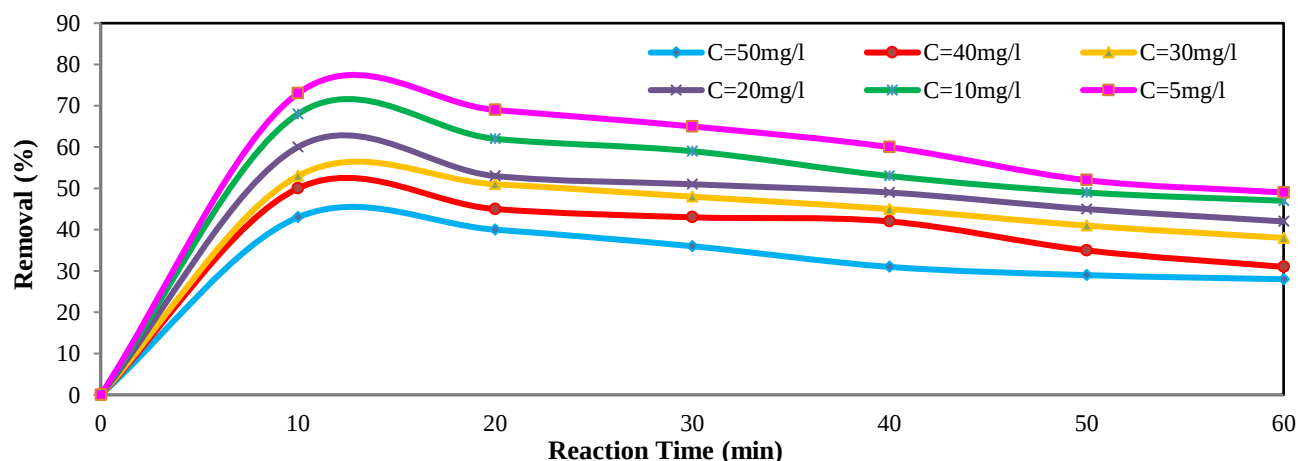
شکل ۲- تاثیر مقادیر مختلف پرسولفات سدیم بر بازدهی حذف آزیترومايسين توسط فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد و یون‌های فلزی

فنل در محیط‌های آبی با کاربرد پرسولفات فعال شده با نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت پرسولفات از ۲۵ به ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کارایی حذف فنل افزایش می‌یابد؛ به طوری که کارایی حذف فنل از حدود ۵٪ در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پرسولفات به حدود ۸۹٪ در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۹۸/۵٪ در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پرسولفات می‌رسد.

۳-۵- تاثیر غلظت آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين

برای انجام این مرحله از آزمایش، آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين در غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH برابر ۲، سطح دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد، زمان واکنش ۶۰ دقیقه و غلظت پرسولفات سدیم ۲ میلی‌مولار بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، وقتی غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک از ۵ میلی‌گرم در لیتر به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد، بازدهی حذف آزیترومايسين به ترتیب از ۷۳٪ به ۴۹٪ کاهش می‌یابد.

بازدهی حذف برای مقادیر ۰/۱ و ۲ میلی‌مولار پرسولفات سدیم برای آزیترومايسين برابر با ۶۱٪ و ۹۴٪ بوده و حداکثر راندمان حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين در غلظت ۲ میلی‌مولار پرسولفات سدیم به دست آمده است. بنابراین، مقدار پرسولفات سدیم بهینه در این آزمایش، برابر ۲ میلی‌مولار در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از غلظت‌های بیشتر پرسولفات سدیم، تعداد بیشتری رادیکال سولفات تولید می‌شود که حذف آلاینده‌ها را تسریع می‌کند (Ahmadi et al., 2017b; Babaei et al., 2017). در واقع، با افزایش نسبت مولی پرسولفات سدیم نسبت به آلاینده، مولکول‌های اکسیدان بیشتری برای حذف مواد آلی تشکیل می‌شود که کارایی حذف را بهبود می‌بخشد (Jafari et al., 2017; Kermani et al., 2018b). حمزه‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) مطالعه‌ای با عنوان بررسی کارایی فرایند نانو / پرسولفات در حذف آنتی‌بیوتیک مترونیدازول انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که هرچه میزان غلظت پرسولفات بیشتر باشد، میزان حذف آنتی‌بیوتیک مترونیدازول بیشتر است. در مطالعه‌ای که Shokouhi et al. (2017) با عنوان اکسیداسیون سونوشیمیایی



شکل ۳- تاثیر غلظت‌های مختلف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين بر بازدهی حذف آن توسط فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد

بنفش ۴، ۶ و ۸ وات در نظر گرفته شد. طبق نتایج به دست آمده که در جدول ۱ ارائه شده است، میزان حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين رابطه مستقیمی با شدت اشعه ماورای بنفش دارد.

جدول ۱- تاثیر شدت اشعه ماورای بنفش (UV) بر بازدهی حذف

آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين

اشعه ماورای بنفش (وات)	۴	۶	۸
درصد حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين	۸۶/۳٪	۹۱/۴٪	۹۸/۲٪

بازدهی حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين، هنگامی که شدت اشعه ماورای بنفش برابر ۴، ۶ و ۸ وات باشد، به ترتیب برابر با ۸۱/۵، ۸۶/۴ و ۹۷ درصد به دست آمد. بنابراین حداکثر راندمان حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين در این آزمایش، در شدت ۸ وات اشعه ماورای بنفش حاصل شد؛ لذا، لامپ UV با شدت ۸ وات برای ادامه آزمایش‌ها انتخاب و استفاده شد. این پدیده را می‌توان به تأثیر مهار ($SO_4^{\bullet-}$) به علت تولید یون‌های آهن اضافی از سنگدانه‌ها و متصل شدن ذرات آهن که تعداد مکان‌های واکنش‌دهنده کاتالیزور را در غلظت‌های بالا کاهش می‌دهد، نسبت داد (Jorfi et al., 2017). (Jorfi et al., 2017). در بررسی بازدهی فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته بر روی تجزیه مواد آلی نشان دادند که با افزایش شدت امواج UV، میزان تجزیه مواد آلی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و حداکثر بازدهی معدنی‌سازی فرایند در بالاترین شدت لامپ UV حاصل شده است. در مطالعه‌ای دیگر که توسط Barndök et al. (2016) بر روی کاربرد فرایند فوتوفنتون در تجزیه مواد آلی صورت گرفت، مشاهده شد که عملکرد فرایند در تجزیه مواد آلی در شدت‌های

حذف آنتی‌بیوتیک با غلظت اولیه آن، رابطه مستقیم دارد (Ferkous et al., 2017). به‌طور کلی در غلظت‌های پایین، مولکول‌های آلاینده می‌توانند به‌طور عمده حذف شوند؛ زیرا تعداد گونه‌های واکنش‌پذیر کافی است. این درحالی است که در غلظت‌های بیشتر آلاینده کمبود رادیکال‌های اکسیدکننده باعث رقابت بین واسطه‌ها و مولکول‌های آلاینده برای گونه‌های واکنش‌پذیر می‌شود (Esrafil et al., 2016; Ghauch et al., 2017; Jafari et al., 2017). در مطالعه‌ای که خزایی و همکاران (۱۳۹۸) با عنوان بررسی کارایی فرایند UV/پراکسی مونوسولفات در حذف آنتی‌بیوتیک سفکسیم از محلول‌های آبی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک از ۵ به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، کارایی حذف آنتی‌بیوتیک سفکسیم از ۹۳/۱۸ به ۹۱/۳۷ درصد کاهش پیدا می‌کند؛ یعنی میزان غلظت آنتی‌بیوتیک با میزان کارایی فرایند حذف رابطه معکوس دارد. در مطالعه‌ای که حمزه‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) به‌عنوان بررسی فرایند نانو/پرسولفات در حذف آنتی‌بیوتیک مترونیدازول از محیط‌های آبی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که در شرایط بهینه، بیشترین راندمان حذف مربوط به زمانی است که مترونیدازول در کمترین غلظت خود است.

۳-۶- تاثیر شدت اشعه ماورای بنفش (UV)

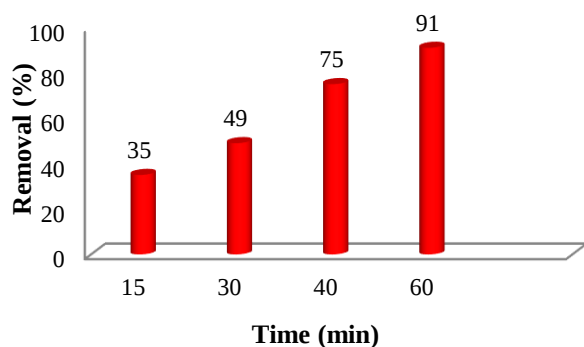
در فرایند اکسیداسیون پیشرفته، شدت اشعه ماورای بنفش عامل مهمی در حذف آلاینده‌ها است. در این مرحله از آزمایش، آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر، pH برابر ۲، دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، زمان واکنش ۶۰ دقیقه، غلظت پرسولفات سدیم ۲ میلی‌مولار و میزان شدت اشعه ماورای

دارد.

Kordestani et al. (2020) مطالعه‌ای با عنوان اکسیدانیو فتوفنتون فاضلاب دارویی حاوی آنتی بیوتیک‌های مروپنم و سفتریاکسون انجام دادند. براساس نتایج این مطالعه با افزایش دما از ۲۰ به ۵۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت تجزیه مروپنم و سفتریاکسون به ترتیب از ۹۲ به ۹۷/۲ درصد و از ۸۸ به ۹۳/۴ درصد طی واکنش ۶۰ دقیقه‌ای افزایش یافت. از این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که دما بر تجزیه مولکول‌های آلاینده‌های هدف تأثیر مؤثری دارد.

۳-۸- بررسی تأثیر اثر زمان

در این مرحله، آزمایش با استفاده از سطح بهینه دما، pH، پرسولفات سدیم و غلظت بهینه آنتی‌بیوتیک و در سطوح زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه انجام شد. میزان دمای بهینه ۴۰ درجه سانتی‌گراد، pH برابر ۲، ۲ میلی‌مولار پرسولفات سدیم و میزان آنتی‌بیوتیک ۵ میلی‌گرم در لیتر است. طبق نتایج به دست آمده که در شکل ۵ نشان داده شده، در سطوح بهینه پارامترها، بهترین زمان واکنش برای حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین ۶۰ دقیقه است.



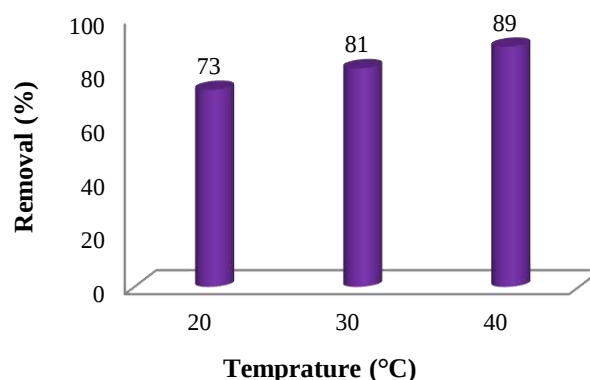
شکل ۵- تأثیر مقادیر مختلف زمان واکنش بر بازدهی حذف آزیترومایسین در سطوح زمانی (۱۵-۶۰) دقیقه

Khaloo et al. (2021) مطالعه‌ای با عنوان سنتز و کاربرد فتوکاتالیست $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{rGO}$ در تخریب فتوشیمیایی اریترمایسین از محلول‌های آبی را انجام دادند. نتایج مطالعه اثر مدت زمان تابش نشان داد با افزایش زمان واکنش فتوکاتالیزوری تخریب اریترمایسین، راندمان حذف افزایش یافته و در ۱۴۰ دقیقه این واکنش کامل می‌شود. با افزایش زمان گونه‌های فعال تولید شده در سطح فتوکاتالیست، زمان بیشتری برای تماس با آلاینده و انجام بیشتر واکنش‌های اکسیداسیون تخریبی خواهند داشت.

بالتر لامپ UV مطلوب‌تر بوده و ارتقای نرخ تجزیه ماده آلی به دلیل تولید بیشتر رادیکال‌های اکسنده در سیستم، در شدت‌های بالاتر امواج نور UV حاصل می‌شود.

۳-۷- تأثیر دمای محلول

دما در تجزیه مولکول‌های پرسولفات سدیم و تولید رادیکال‌های سولفات در سیستم اکسیداسیون پیشرفته، نقش انکارناپذیری دارد. در این مرحله، عملکرد فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد در حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین با غلظت اولیه ۵ میلی‌گرم در لیتر و در محدوده دمایی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد، pH برابر ۲، مدت زمان واکنش ۶۰ دقیقه، میزان اشعه ماورای بنفش ۸ وات و غلظت پرسولفات سدیم ۲ میلی‌مولار بررسی شد و نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- تأثیر دمای محلول بر روی بازدهی حذف آزیترومایسین توسط فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد در محدوده ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد

نتایج بیانگر آن است که بعد از ۶۰ دقیقه واکنش، افزایش دمای محلول تأثیر مطلوبی بر روی عملکرد فرایند مذکور در حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین داشته؛ به گونه‌ای که با افزایش دمای محلول از ۲۰ به ۴۰ درجه سانتی‌گراد، راندمان حذف آزیترومایسین از ۷۳٪ به ۸۹٪ افزایش یافته است. در نتیجه، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان دمای بهینه برای حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین توسط فرایند اکسیداسیون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد انتخاب شد. علت احتمالی این افزایش را می‌توان به افزایش درصد تجزیه پرسولفات سدیم و تشکیل بیشتر رادیکال‌های سولفات ($\text{SO}_4^{\bullet-}$) در دمای بالاتر نسبت داد (Ji et al., 2015; Tan et al., 2012). نتایج این تحقیق، با مطالعات انجام شده توسط سایر محققان کاملاً مطابقت

۳-۹- مطالعات معدنی‌سازی و تجزیه بیولوژیکی

میزان معدنی‌سازی توسط فرایند اکسیداسيون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد، با استفاده از دو شاخص COD و TOC مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مرحله، آزمایش‌های اکسیداسيون تحت شرایط بهینه طی مدت زمان ۶۰ دقیقه انجام شدند و سپس غلظت‌های COD و TOC سنجش شد. نتایج نشان داد که فرایند اکسیداسيون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد، تحت شرایط بهینه قادر است $57/4\%$ از COD و $43/8\%$ از TOC را برای آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين حذف نماید. عدم تخریب کامل COD و TOC به دلیل واسطه‌های مختلف است که به راحتی در مقایسه با ترکیبات اصلی اکسید نمی‌شوند (Kermani et al., 2018b). در سایر مطالعات پیرامون فرایندهای اکسیداسيون پیشرفته، حذف کامل COD حاصل نشده که با نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر هم‌خوانی دارند. (Takdastan et al. (2018 در بررسی عملکرد فرایند فوتوفنتون در حذف آزیترومايسين از محیط‌های آبی، بازدهی معدنی‌سازی را بر مبنای شاخص TOC برابر با $43/7\%$ گزارش کردند. در مطالعه (Mondal et al. (2018 نتیجه استفاده از فرایند فوتوفنتون اصلاح شده، بازدهی معدنی سازی بر مبنای شاخص TOC ۶۰ درصد گزارش شد.

در پایان آزمایش Zahn-Wellens (تجزیه‌پذیری زیستی)، نمونه‌های حاوی آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين قبل و بعد از تصفیه توسط فرایند اکسیداسيون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با یون‌های آهن موجود در سرباره صنایع فولاد، به همراه یک نمونه شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت. در طول دوره، ۲۸ روزه مقادیر COD باقی‌مانده هر سه نمونه مورد سنجش قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مقادیر باقی مانده COD آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين، برای هر دو نمونه (نمونه خام و تصفیه شده) روند کاهشی داشته و مقادیر COD نمونه فاضلاب خام از ۴۵ به $28/7$ میلی گرم بر لیتر و برای نمونه تصفیه شده از $20/4$ به $6/8$ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت. هم‌چنین با افزایش زمان تصفیه بیولوژیکی، درصد تجزیه زیستی هر دو نمونه خام و تصفیه شده افزایش پیدا کرده و درصد تجزیه‌پذیری زیستی برای نمونه‌های تصفیه شده به مراتب بیشتر از نمونه‌های خام بود؛ به گونه ای که میزان تجزیه‌پذیری زیستی آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين 42% برای نمونه خام و $78/6\%$ برای نمونه تصفیه شده حاصل شد.

۳-۱۰- بررسی بازدهی فرایند اکسیداسيون پیشرفته پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد در حذف آنتی‌بیوتیک تتراسایکین از نمونه فاضلاب واقعی بیمارستان نفت اهواز

در این مرحله از آزمایش، پس از تهیه نمونه فاضلاب از تصفیه‌خانه فاضلاب بیمارستان بزرگ نفت اهواز و اندازه‌گیری برخی مشخصات شیمیایی که شامل COD برابر 590 میلی گرم در لیتر، BOD برابر 350 میلی گرم در لیتر و میزان pH برابر $6/7$ بود و سنجش میزان آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين، مشاهده شد که در بعضی از روزها، نمونه فاضلاب حاوی غلظت‌های بسیار پایین (کمتر از 20 میکروگرم در لیتر) آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين و در زمان‌هایی هم نمونه‌ها حاوی 20 الی 21 میلی گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين بود. در نهایت، به منظور ارزیابی بازدهی فرایند، غلظت آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين در نمونه فاضلاب واقعی، 20 میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد. پس از شناسایی ویژگی‌های پساب، عملکرد فرایند اکسیداسيون پیشرفته مونو پرسولفات سدیم فعال شده با سرباره صنایع فولاد تحت شرایط بهینه در حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين از نمونه فاضلاب واقعی، مورد ارزیابی و با بازدهی فرایند برای نمونه‌های سنتتیک مورد مقایسه قرار گرفت. تحت این شرایط، بازدهی حذف آزیترومايسين برای نمونه‌های سنتتیک $93/4\%$ و برای نمونه‌های واقعی فاضلاب 78% به دست آمد.

راندمان حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين برای نمونه‌های واقعی، تا حدودی کمتر از نمونه سنتتیک بوده است. کاهش بازدهی فرایند در نمونه واقعی، ممکن است به دلیل حضور عوامل مزاحم نظیر کاتیون‌ها و آنیون و یا دیگر مواد آلی باشد. حضور کاتیون‌ها و آنیون‌ها، در این جا می‌توانند در نقش اسکاوینجرهای معدنی وارد واکنش شده و رادیکال‌های آزاد موجود در سیستم را مصرف نمایند. بنابراین، از این طریق مانع واکنش بین رادیکال‌های آزاد و ماده آلی می‌شوند. در فاضلاب بیمارستانی، طیف گسترده‌ای از ترکیبات دارویی و آلی حضور داشته که می‌توانند با رادیکال‌های آزاد واکنش دهند و آن‌ها را مصرف کنند. از این رو، بازدهی حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومايسين کاهش می‌یابد.

۴- نتیجه گیری

بر اساس یافته‌های به دست آمده، فرایند اکسیداسيون پیشرفته مونوپرسولفات سدیم فعال شده با یون‌های آهن موجود در سرباره صنایع فولاد، در شرایط بهینه و خاصی که در آن غلظت پرسولفات

مونوسولفات در حذف آنتی‌بیوتیک سفیکسیم از محلول‌های آبی"، *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان*، ۲۴(۴)، ۲۲-۴۰.

Ahmadi, M., Kakavandi, B., Jaafarzadeh, N., and Babaei A.A., (2017a), "Catalytic ozonation of high saline petrochemical wastewater using PAC@ FeIIFe2IIIIO4: Optimization, mechanisms and biodegradability studies", *Separation and Purification Technology*, 177, 293-303.

Ahmadi, M., Kakavandi, B., Jorfi, S., and Azizi, M., (2017b), "Oxidative degradation of aniline and benzotriazole over PAC@ FeIIFe2IIIIO4: A recyclable catalyst in a heterogeneous photo-Fenton-like system", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 336, 42-53.

Avetta, P., Pensato, A., Minella, M., Malandrino, M., Maurino, V., Minero, C., Hanna, K., and Vione, D., (2015), "Activation of persulfate by irradiated magnetite: Implications for the degradation of phenol under heterogeneous photo-Fenton-like conditions", *Environmental science and Technology*, 49(2), 1043-1050.

Babaei, A.A., Azari, A., Kalantary, R.R., and Kakavandi, B., (2015), "Enhanced removal of nitrate from water using nZVI@MWCNTs composite: Synthesis, kinetics and mechanism of reduction", *Water Science and Technology*, 72(11), 1988-1999.

Babaei, A.A., Kakavandi, B., Rafiee, M., Kalantarhormizi, F., Purkaram, I., Ahmadi, E., and Esmaeili, S., (2017), "Comparative treatment of textile wastewater by adsorption, Fenton, UV-Fenton and US-Fenton using magnetic nanoparticles-functionalized carbon (MNPs@C)", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56, 163-174.

Barndök, H., Blanco, L., Hermosilla, D., and Blanco, Á., (2016), "Heterogeneous photo-Fenton processes using zero valent iron microspheres for the treatment of wastewaters contaminated with 1, 4-dioxane", *Chemical Engineering Journal*, 284, 112-121.

Esrafil, A., Rezaei Kalantary, R., Azari, A., Ahmadi, E., and Gholami, M., (2016), "Removal of diethyl phthalate from aqueous solution using persulfate-based (UV/Na2S2O8/Fe2+) advanced oxidation process", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 25(132), 122-135.

Ferkous, H., Merouani, S., Hamdaoui, O., and Pétrier, C., (2017), "Persulfate-enhanced sonochemical degradation of naphthol blue black in water: Evidence of sulfate radical formation", *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 580-587.

Gao, L., Shi, Y., Li, W., Niu, H., Liu, J., and Cai, Y., (2012), "Occurrence of antibiotics in eight sewage treatment plants in Beijing, China", *Chemosphere*, 86(6), 665-671.

García Perdomo, C.M., Ramírez Minota, P.A., Zúñiga-Benítez, H., and Peñuela, G.A., (2022), "Cephalexin removal by persulfate activation using simulated sunlight and ferrous ions", *Water Science and Technology*, 85(1), 52-62.

سدیم ۲ میلی‌مولار، pH برابر ۲، میزان یون‌های آهن موجود در سرباره صنایع فولاد ۰/۴ گرم در لیتر، شدت اشعه ماورای بنفش ۸ وات و در مدت زمان تماس ۶۰ دقیقه باشد، قادر به حذف آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین به میزان ۹۳/۴٪ از فاضلاب سنتتیک و ۷۸٪ از فاضلاب واقعی بیمارستانی است. هم‌چنین راندمان حذف با مقدار pH محلول رابطه عکس داشت و استفاده از دوزهای آهن تا ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر منجر به حذف بیشتر آنتی‌بیوتیک شد. هم‌چنین، با افزایش غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک آزیترومایسین از ۵ به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف از ۷۳٪ به ۴۹٪ کاهش یافت؛ در حالی‌که با افزودن دوزهای بیشتر پرسولفات سدیم به محلول، سیستم توانایی بالاتری در حذف آنتی‌بیوتیک از محلول آبی نشان داد. این فرایند، عملکرد موثری در افزایش قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی آلاینده‌های آلی داشته و می‌تواند به‌عنوان یک روش موثر در پیش‌تصفیه فاضلاب‌های حاوی آنتی‌بیوتیک و یا مواد آلی سخت تجزیه‌پذیر و قبل از فرایندهای بیولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت، سیستم اکسیداسیون پیشرفته بر پایه رادیکال سولفات با اکسیداسیون بالا، به‌منظور تخریب مواد آلی مقاوم به تجزیه از جمله آنتی‌بیوتیک‌ها با استفاده از اکسید آهن موجود در پسماند دور ریز سرباره صنایع فولاد به‌عنوان روشی جدید، کارآمد و بدون تولید آلودگی ثانویه در محلول‌های آبی است.

۵- مراجع

تک‌دستان، ا.، ابطحی، م.، سرشیر، ع.، بازفکن، م.، و سعیدی، ر.، (۱۳۹۶)، "بررسی سرباره اصلاح شده شرکت فولاد خوزستان در حذف آلومینیوم از محلول‌های آبی"، *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*، ۳، ۷۸-۸۵.

توسلی، ص.، بذرافشان، ا.، کرد مصطفی پور، ف.، مقصودی، ز.، بالاک، د.، کمانی، ح.، و الله زارعی، ع.، (۱۳۹۷)، "کارایی پرسولفات فعال‌شده با اشعه ماورای بنفش در حذف افلوکسازین از محلول‌های آبی"، *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۲۸، ۱۱۶-۱۲۹.

حمزه‌زاده، ا.، فضل‌زاده، م.، و رحمانی، ک.، (۱۳۹۶)، "بررسی کارایی فرآیند نانو/پرسولفات (nZVI/PS) در حذف مترونیدازول از محیط‌های آبی"، *مجله مهندسی بهداشت محیط*، ۴(۴)، ۳۰۷-۳۲۰.

خزایی، ر.، رحمانی، ع.، صیدمحمدی، ع.، فردمال، ج.، و لیلی، م.، (۱۳۹۸)، "بررسی کارایی فرآیند UV/پراکسی

- pharmaceutical wastewater containing meropenem and ceftriaxone antibiotics: Influential factors, feasibility, and biodegradability studies", *Toxin Reviews*, 39(3), 292-302.
- Kurt, A., Mertm, B.K., Özeninm, N., Sivrioğlu, Ö., and Yonar, T., (2017), *Treatment of antibiotics in wastewater using advanced oxidation processes (AOPs)*, Open Access Peer-Reviewed Chapter from the Edited Volume *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*, 175.
- Li, R., Kong, J., Liu, H., Chen, P., Liu, G., Li, F., and Lv, W., (2017), "A sulfate radical based ferrous-peroxydisulfate oxidative system for indomethacin degradation in aqueous solutions", *RSC Advances*, 7(37), 22802-22809.
- Liu, P., Wu, Z., Abramova, A.V., and Cravotto, G., (2021), "Sonochemical processes for the degradation of antibiotics in aqueous solutions: A review", *Ultrasonics Sonochemistry*, 74, 105566.
- Liu, X., Lee, J., Ji, K., Takeda, S., and Choi, K., (2012), "Potentials and mechanisms of genotoxicity of six pharmaceuticals frequently detected in freshwater environment", *Toxicology Letters*, 211(1), 70-76.
- Michael, I., Rizzo, L., McArdell, C., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., and Fatta-Kassinos, D.J.W.R., (2013), "Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: A review", *Water Research*, 47(3), 957-995.
- Mondal, S.K., Saha, A.K., and Sinha, A., (2018), "Removal of ciprofloxacin using modified advanced oxidation processes: Kinetics, pathways and process optimization", *Journal of Cleaner Production*, 171, 1203-14.
- Norzaee, S., Bazrafshan, E., Djahed, B., Kord Mostafapour, F., Khaksefidi, R., (2017), "UV activation of persulfate for removal of penicillin G antibiotics in aqueous solution", *The Scientific World Journal*, 2017, Article ID 3519487, <https://doi.org/10.1155/2017/3519487>.
- Rao, Y., Qu, L., Yang, H., and Chu, W., (2014), "Degradation of carbamazepine by Fe (II)-activated persulfate process", *Journal of Hazardous Materials*, 268, 23-32.
- Rezaei Kalantry, R., Jonidi Jafari, A., Esrafil, A., Kakavandi, B., Gholizadeh, A., and Azari, A., (2016), "Optimization and evaluation of reactive dye adsorption on magnetic composite of activated carbon and iron oxide", *Desalination and Water Treatment*, 57(14), 6411-6422.
- Shankaraiah, G., Poodari, S., Bhagawan, D., Himabindu, V., and Vidyavathi, S., (2016), "Degradation of antibiotic norfloxacin in aqueous solution using advanced oxidation processes (AOPs), A comparative study", *Desalination and Water Treatment*, 57(57), 27804-27815.
- Shiraz, A.D., Takdastan, A., and Borghei, S.M., (2018), "Photo-Fenton like degradation of catechol using persulfate activated by UV and ferrous ions: Influencing operational parameters and feasibility studies", *Journal of Molecular Liquids*, 249, 463-469.
- Ghauch, A., Baalbaki, A., Amasha, M., El Asmar, R., and Tantawi, O., (2017), "Contribution of persulfate in UV-254 nm activated systems for complete degradation of chloramphenicol antibiotic in water", *Chemical Engineering Journal*, 317, 1012-1025.
- Hu, M., (2022), "The mechanism of amoxicillin and azithromycin to treat acute tonsillitis", *Proceedings of the 3rd International Symposium on Artificial Intelligence for Medicine Sciences*, (pp. 334-338).
- Jafari, A.J., Kakavandi, B., Jaafarzadeh, N., Kalantary, R.R., Ahmadi, M., and Babaei, A.A., (2017), "Fenton-like catalytic oxidation of tetracycline by AC@ Fe₃O₄ as a heterogeneous persulfate activator: Adsorption and degradation studies", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 45, 323-333.
- Jeong, J., Song, W., Cooper, W.J., Jung, J., and Greaves, J., (2010), "Degradation of tetracycline antibiotics: mechanisms and kinetic studies for advanced oxidation/reduction processes", *Chemosphere*, 78(5), 533-540.
- Ji, Y., Fan, Y., Liu, K., Kong, D., and Lu, J., (2015), "Thermo activated persulfate oxidation of antibiotic sulfamethoxazole and structurally related compounds", *Water Research*, 87, 1-9.
- Jorfi, S., Barzegar, G., Ahmadi, M., Soltani, R.D.C., Takdastan, A., Saeedi, R., and Abtahi, M., (2016), "Enhanced coagulation-photocatalytic treatment of Acid red 73 dye and real textile wastewater using UVA/synthesized MgO nanoparticles", *Journal of Environmental Management*, 177, 111-118.
- Jorfi, S., Kakavandi, B., Motlagh, H.R., Ahmadi, M., and Jaafarzadeh, N., (2017), "A novel combination of oxidative degradation for benzotriazole removal using TiO₂ loaded on FeIIFe₂IIIIO₄@C as an efficient activator of peroxy monosulfate", *Applied Catalysis B: Environmental*, 219, 216-230.
- Kermani, M., Kakavandi, B., Farzadkia, M., Esrafil, A., Jokandan, S.F., and Shahsavani, A., (2018a), "Catalytic ozonation of high concentrations of catechol over TiO₂@Fe₃O₄ magnetic core-shell nanocatalyst: Optimization, toxicity and degradation pathway studies", *Journal of Cleaner Production*, 192, 597-607.
- Kermani, M., Mohammadi, F., Kakavandi, B., Esrafil, A., and Rostamifasih, Z., (2018b), "Simultaneous catalytic degradation of 2, 4-D and MCPA herbicides using sulfate radical-based heterogeneous oxidation over persulfate activated by natural hematite (α -Fe₂O₃/PS)", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 117, 49-59.
- Khaloo, S.S., Ghalkhani, M., and Soholi, E., (2021), "Synthesis and application of TiO₂/SiO₂/rGO photocatalyst for photochemical degradation of erythromycin in aqueous solutions", *Journal of Health in the Field*, 9(1).
- Kim, T., Kim, S., Tak, H., Kim, K., Chung, C-W., and Lee, M., (2020), "Mechanisms at different pH for stabilization of arsenic in mine tailings using steelmaking slag", *Minerals*, 10(10), 900.
- Kordestani, B., Takdastan, A., Jalilzadeh Yengejeh, R., and Neisi, A.K., (2020), "Photo-Fenton oxidative of

- Shokouhi, R., Poureshgh, Y., Almasi, H., and Shabanloo, A., (2016), "Sonochemical oxidation of phenol using persulfate activated by zerovalent iron nanoparticles in aqueous environments", *Journal of Occup Environ Health*, 2(1), 7-17.
- Takdastan, A., Abtahi, M., Sarshir, A., Bazafkan, M., and Saeidi, R., (2017), "Investigation of Khuzestan Steel Company's modified slag in removal of Aluminum from Aqueous solutions: Adsorption isotherm and kinetic studies", *Journal of Health Research in Community*, 3(2), 78-85.
- Takdastan, A., Kakavandi, B., Azizi, M., and Golshan, M., (2018), "Efficient activation of peroxymonosulfate by using ferrous oxide supported on carbon/UV/US system: A new approach into catalytic degradation of bisphenol A", *Chemical Engineering Journal*, 331, 729-743.
- Tan, C., Gao, N., Deng, Y., An, N., and Deng, J., (2012), "Heat-activated persulfate oxidation of diuron in water", *Chemical Engineering Journal*, 203, 294-300.
- Tavassoli, P., Bazrafshan, E., Kord Mostafapour, F., Maghsoodi, Z., Balarak, D., Kamani, H., and Allah Zarei, A., (2018), "Efficiency of UV activated persulfate in removal of ofloxacin from aqueous solutions", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 28(159), 116-129.
- Xu, X-R., and Li, X-Z., (2010), "Degradation of azo dye Orange G in aqueous solutions by persulfate with ferrous ion", *Separation and Purification Technology*, 72(1), 105-111.



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Evaluation of Integration of Pressure Management Methods with Network Management Operations to Reduce Water Loss Using Topsis-Vikor Decision Making Technique

ارزیابی تلفیق روش‌های مدیریت فشار با عملیات مدیریت شبکه به منظور کاهش هدررفت آب با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری تاپسیس - ویکور

Mohamadhadi Haghighatnejad¹, Reza Tavakkoli-Moghaddam² and Hossein Amoozad-Khalili^{3*}

محمدهادی حقیقت‌نژاد^۱، رضا توکلی مقدم^۲ و حسین عموزاد خلیلی^{۳*}

1- Master of Technology Management, Research and Development Policy Orientation, Shiraz Water and Wastewater Company, Shiraz, Iran.

۱- کارشناس ارشد مدیریت تکنولوژی، گرایش سیاست‌های تحقیق و توسعه، شرکت آب و فاضلاب شیراز، شیراز، ایران.

2- Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

۲- استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

3- Assistant Professor Department of Industrial Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.

۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.

*Corresponding Author, Email: amoozad92@yahoo.com

*نویسنده مسئول، ایمیل: amoozad92@yahoo.com

Received: 03/10/2021

Revised: 11/06/2022

Accepted: 03/07/2022

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

In order to optimally manage the pressure and reduce the non-revenue water as much as possible, taking into account the costs of each activity, it is necessary to examine the priority of each solution by scientific methods and considering the costs, efficiency and duration of implementation. Therefore, in order to avoid cost wastage and efficient use of financial resources, it is necessary to use a comprehensive and systematic approach to identify different strategies that can be used to manage urban water pressure, the benefits and Compare their disadvantages. In the statistical population of this research, the knowledge and experience of 35 experts in the water and wastewater industry were used. Also in order to prioritize the proposed operations with the aim of reducing non-revenue water based on three criteria: the impact of the project, the duration of the project and the cost of the project, the integrated TOPSIS-VIKOR method has been used. Findings indicate that in the first priority, the installation of online data loggers pressure gauges, the second priority is the continuous updating of water maps and GIS network mapping, and in the third priority the completion of its information layers including pipe life, material and diameter, were located.

برای مدیریت بهینه فشار و کاهش هرچه بیشتر آب بدون درآمد با در نظر گرفتن هزینه‌های هر فعالیت، لازم است تا اولویت هر کدام از راه‌کارها با روش‌های علمی و با توجه به هزینه‌ها، کارایی و مدت زمان اجرا بررسی شوند. بنابراین، به منظور جلوگیری از اتلاف هزینه و استفاده بهینه از منابع مالی، ضروری است تا با بهره‌گیری از یک رویکرد جامع و نظام‌مند، راهبردهای مختلفی که به منظور مدیریت فشار آب شهری قابل استفاده هستند، شناسایی شده و مزایا و معایب آن‌ها مقایسه شود. در جامعه آماری این تحقیق، از دانش و تجربیات ۳۵ خبره در صنعت آب و فاضلاب کمک گرفته شد. همچنین به منظور اولویت‌بندی عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد مبتنی بر ۳ معیار میزان تاثیر اجرای طرح، مدت زمان اجرای طرح و میزان هزینه اجرای طرح، از روش تلفیقی تاپسیس - ویکور استفاده شد. یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که به ترتیب در اولویت اول، نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط، اولویت دوم، به‌روز رسانی مستمر نقشه‌های آب و تهیه نقشه GIS شبکه و در اولویت سوم، تکمیل لایه‌های اطلاعاتی آن شامل عمر لوله، جنس و قطر و غیره قرار گرفتند.

Keywords: Pressure Management, Non-Revenue Water, Multi-Criteria Decision Making methods.

کلمات کلیدی: مدیریت فشار، آب بدون درآمد، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره.

توسط مشترکین و غیره اشاره نمود. بدیهی است با توجه به وضعیت موجود در این شرکت می‌توان برای کاهش میزان آب بدون درآمد در هریک از مقوله‌های فوق برنامه‌ریزی‌ها و عملیات متعددی را انجام داد. هدف این تحقیق ارزیابی و تحلیل روش‌های مدیریت فشار با هدف کاهش هدررفت آب با استفاده از روش تلفیقی تاپسیس^۲ - ویکور^۳، در شبکه‌های آبرسانی و تعمیم آن است. فشار به‌عنوان یکی از عوامل موثر و قابل کنترل در شبکه‌های توزیع نقش مهمی در نحوه چگونگی توزیع آب دارد. هم‌چنین کنترل فشار در شبکه‌های اجرا شده تنها از طریق تنظیم شیرآلات کنترلی میسر است.

۲- مبانی نظری تحقیق

مدیریت فشار یک ابزار کارآمد برای بهره‌وری بیشتر از شبکه‌ها آبرسانی است. عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد منجر به کاهش میزان نشت و افزایش عمر تاسیسات و تجهیزات شبکه، کاهش تعداد حوادث و اتفاقات و هم‌چنین کاهش آب مصرفی می‌شود. در تحقیقی با انتخاب یک DMA و تغییرات فشار به‌صورت فیزیکی و فشارسنجی و تلفیق هم‌زمان نتایج با خروجی نتایج نرم‌افزارهای هیدرولیکی، یک روش پیاده‌سازی مدیریت فشار بر روی شبکه آبرسانی ارائه شد. در این روش شبکه توزیع آب به چندین زون فشاری تقسیم و سپس مقادیر دبی لحظه‌ای ورودی به هر زون فشاری و فشار در شبکه اندازه‌گیری می‌شود. سپس با تغییر شرایط و مقادیر خروجی شیرهای فشارشکن، تاثیر تغییرات فشار در میزان تغییرات حداقل جریان شبانه و تاثیر آن روی میزان نشت از شبکه توزیع آب نشان داده می‌شود (تابش و بیگی، ۱۳۹۶).

با استفاده از بهینه‌سازی تنظیم فشار خروجی شیرهای فشارشکن، روشی ارائه شد تا فشار شبکه آب درگره‌های مصرفی تا حد امکان به تابع هدف معرفی شده (طبق استاندارد شبکه‌های آبرسانی) نزدیک شود. برای حل مسئله بهینه‌سازی از الگوریتم فراکاوشی زنبور عسل استفاده شد که به‌وسیله نرم‌افزار Matlab نوشته شده بود. مدل‌سازی شبکه آب در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شد. نتایج حاکی از افزایش قابلیت اطمینان شبکه و کاهش نشتی‌های کنترل نشده داشت. هم‌چنین سطح فشار در نواحی مختلف شبکه در حالت مطلوب قرار گرفت (صالحی و همکاران، ۱۳۹۵).

در تحقیقی به‌کمک یک مدل ترکیبی که با تلفیق نرم‌افزارهای EPANET و Matlab ایجاد شده، این روش بررسی و

امروزه آب یکی از بزرگترین چالش‌های قرن است که می‌تواند در آینده بسیار نزدیک منشا بسیاری از تحولات منفی و مثبت جهان قرار گیرد. با توجه به افزایش روز افزون جمعیت، توسعه صنایع، تغییرات آب و هوا و افزایش آلودگی منابع آب شیرین، دسترسی به آب کافی و مناسب در برخی از کشورها به یک بحران جدی تبدیل شده است. منابع آبی کشور ایران نیز در مرحله بحرانی قرار دارد و مشکل کمبود آب و کیفیت آن مشکلات زیادی را برای مسئولان و کارشناسان امر به‌وجود آورده است. در سال‌های اخیر کمبود شدید منابع و افزایش سریع هزینه‌های تولید آب باعث شده که مدیریت فشار شبکه‌های آب مورد توجه قرار گیرد بنابراین در کنار تامین آب از منابع جدید باید از هدر رفتن آب در مراحل انتقال، تصفیه، ذخیره و توزیع به‌عنوان یک فعالیت درازمدت و با برنامه‌ریزی مدون جلوگیری نمود (ایدی و همکاران، ۱۳۸۷). مدیران در شرکت‌های آب و فاضلاب به دو دلیل مهم سعی بر مدیریت فشار آب و به تبع آن کاهش آب بدون درآمد دارند. اول این‌که به‌دلیل کمبود منابع آب، سعی در کاهش هدررفت آب دارند و با کاهش هدررفت آب به دنبال جبران کمبود آب هستند. دوم این‌که به‌دلیل زیان بالای آب بدون درآمد سعی در کاهش زیان شرکت از طریق کاهش میزان آب بدون درآمد دارند. متأسفانه به‌دلیل عدم شناخت درست شاخص‌های آب بدون درآمد و هم‌چنین نداشتن روش‌های مناسبی برای اولویت‌بندی در حین برنامه‌ریزی پروژه‌ها برای کاهش آن‌ها معمولاً خروجی‌های مطلوبی ندارند و فعالیت‌ها در این بخش از بهره‌وری قابل‌قبولی برخوردار نیستند. لذا شناسایی و اولویت‌بندی عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ می‌تواند راه‌کاری اثربخش به مدیران شرکت درخصوص استفاده از این روش‌ها ارائه نماید.

شرکت آب و فاضلاب شیراز یکی از سازمان‌های خدماتی برای آبرسانی شهری است و هم‌اکنون به بیش از ۲ میلیون نفر از ساکنان شهر شیراز خدمات‌رسانی می‌کند. این شرکت نیز مانند تمامی شرکت‌های آب و فاضلاب در کشور دچار چالش‌های زیادی در بحث آبرسانی به مردم است که از آن جمله می‌توان به پدیده خشکسالی‌های طولانی، نبود منابع مالی کافی برای اجرای پروژه‌های توسعه‌ای، فرسوده بودن شبکه‌های توزیع آب به‌علت عمر طولانی شبکه، عدم وجود زون‌بندی در شبکه‌های آب، عدم محاسبه دقیق میزان آب تولید شده به‌دلیل گران‌قیمت بودن کنتورهای محاسبه آب تولیدی، عدم رعایت الگوی مصرف مناسب

قرار گرفت. نتایج نشان داد کالیبراسیون با دقت ۹۵ درصد انجام شده و در گزینه برتر ۵۷ درصد کاهش نشت و ۲۳ درصد کاهش مصرف مشترکین نسبت به وضع موجود به دست آمد (معمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

مکان بهینه شیرهای فشارشکن و مقدار بهینه فشار تنظیمی آن‌ها با استفاده از مرتبط کردن نرم‌افزار EPANET با یک الگوریتم بهینه‌سازی به دست آمد. الگوریتم بهینه‌سازی، الگوریتم تفاضل تکاملی DE است. در نهایت به کارگیری استراتژی به دست آمده با این روش برای یک شبکه توزیع آب واقعی در کشور، موجب شد که فشارهای حدی شبکه حدود ۱۸٪ کاهش یافته و لذا عملکرد شبکه ارتقا یابد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۹).

محققان دیگری مدلی برای مدیریت بهینه فشار با هدف کاهش دادن نشت، ضمن تامین قید حداقل فشار در گره‌های برداشت، ارائه نمودند و یکی از انواع الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت تحت عنوان الگوریتم جامعه زنبورهای عسل مصنوعی (ABC) در محیط را MATLAB توسعه دادند که با شبیه‌سازی هیدرولیکی مدل EPANET تلفیق شد. نتایج نشان داد که ضمن رعایت کلیه قیود مسئله با به کار بردن روش ارائه شده برای جانمایی و تنظیم بهینه شیرهای فشار شکن، میزان نشت متوسط شبکه در سه دوره شرایط نیاز آبی حداکثر، متوسط و حداقل از مقدار ۸۲/۲۸ به ۷۲/۱۵ لیتر بر ثانیه یعنی به میزان ۱۴/۷۵ درصد کاهش یافت که نشان می‌دهد روش ارائه شده برای حداقل کردن نشت در شبکه موفق عمل کرده است (جعفری اصل و همکاران، ۱۳۹۹).

در تحقیق دیگری یک مدل ریاضی برای ارزیابی سود حاصل از اجرای مدیریت فشار بر کاهش نشت، شکستگی‌ها، نشتیابی فعال، مصرف آب، مصرف انرژی، خسارات وارده به ساختمان‌ها و افزایش رضایت مشتریان و همچنین هزینه‌های ناشی از خرید، نصب، بهره‌برداری و نگهداری و کاهش درآمد حاصل از کاهش مصرف آب، توسعه داده شد. با استفاده از مدل توسعه داده شده، سود خالص و نسبت سود به هزینه برای هر طرح مدیریت فشار محاسبه شد (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۹).

در دهه‌های گذشته دسترسی به منابع آب یکی از موضوعات اصلی در دستور کار تمامی دولت‌ها بوده است. در شرایط کاهش شدید منابع آب و تسریع افزایش تقاضای آب، مدیریت تلفات آب بخشی از برنامه‌ریزی برای بقای انسان در زمین است. نشت در شبکه‌های آبرسانی مقدار قابل توجهی را تشکیل می‌دهد که گاهی اوقات بیش از ۷۰٪ از کل ورودی آب است. تحقیقات نشان می‌دهد که مدیریت فشار یکی از موثرترین راه‌ها برای کاهش

تأثیر آن بر تغییرات تقاضای آب در گره‌های مصرف مشخص شد. شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه، به کمک نرم‌افزار بهبودیافته EPANET به منظور تحلیل شبکه به روش تحلیل مبتنی بر فشار انجام و از طریق نرم‌افزار Matlab به مدل بهینه‌سازی لینک شد. در این مدل، با کاهش فشار از طریق تنظیم بهینه فشار در شیرهای فشارشکن و در نتیجه کاهش فشار در گره‌های مصرف، دبی قابل برداشت در گره‌ها مطابق با رابطه هد-دبی کاهش می‌یافت. کارایی مدل، با استفاده از سه شبکه فرضی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که می‌توان به کمک تنظیم بهینه فشار در شبکه توزیع با استفاده از شیرهای فشارشکن، مصرف آب را تا حد قابل توجهی کاهش داد (خاشعی و همکاران، ۱۳۹۸).

در تحقیق دیگری مدل‌سازی پایگاه داده برای شبکه توزیع آب و مدل فیزیکی آن در نرم‌افزار پایگاه داده مکانی متن باز PostgreSQL و PostGIS که هزینه‌های تهیه، توسعه و پشتیبانی آن کمتر از نرم‌افزارهای تجاری مشابه بوده، پیاده‌سازی شد. با توجه به این‌که عوامل توپوگرافی، فشار و مصارف مشترکین بیشترین تأثیر را بر توزیع بهینه آب در شبکه توزیع دارند، راه‌کارهایی از قبیل بررسی و تغییر محل شیرهای فشارشکن به منظور بهینه کردن فشار در مناطق پرفشار پیشنهاد شد (فلاحی و صالح زاده، ۱۳۹۶).

در مطالعه‌ای دیگر روش تحلیل جدیدی برای برآورد ضریب نشت بدون نیاز به اندازه‌گیری مستقیم مقدار نشت، ارائه شد. برای به کارگیری روش پیشنهادی و همچنین برای بررسی اثرات فشار بر مصرف و تلفات آب، شبکه یکی از مناطق شهر تهران به عنوان پایلوت مطالعاتی انتخاب شد. در این پایلوت با اعمال الگوهای متفاوت فشار برای خروجی شیر فشارشکن نصب شده در بالادست پایلوت، تغییرات حداقل جریان شبانه، جریان ورودی به شبکه و مصرف مشترکین اندازه‌گیری شد که اجرای مدیریت فشار در این پروژه توانست میزان آن‌ها را به ترتیب تا ۵۰، ۲۱ و ۳۰ درصد کاهش دهد. سپس با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری، روابطی برای تخمین اثرات کاهش فشار بر میزان کاهش جریان شبانه، دبی ورودی به شبکه و همچنین مصرف مشترکین ارائه شد (جلیلی قاضی‌زاده و ایدی، ۱۳۹۵).

همچنین مدل هیدرولیکی شبکه توزیع منطقه فولادشهر توسط نرم افزار WaterGEMS پیاده سازی شد و بعد از عملیات کالیبراسیون به روش الگوریتم ژنتیک با ۳ دستگاه ایستگاه‌های فشار سنجی موجود، موقعیت بهینه شیرهای فشار شکن در شبکه مشخص و در نهایت تأثیر شیرهای فشارشکن بر مصرف بهینه، کاهش نشت و مدیریت فشار در شبکه مذکور مورد بررسی

۳- روش تحقیق

از آنجایی که این تحقیق مستقیماً در زمینه آب و فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد، تحقیق کاربردی به حساب می‌آید و نتایج آن برای پروژه‌هایی که دچار کمبود منابع تامین آب هستند حائز اهمیت است. هم‌چنین از نظر مکانی از نوع تحقیقات میدانی است، زیرا داده‌های آن با حضور در شرکت آب و فاضلاب شیراز تهیه می‌شود و با استفاده از ابزار مصاحبه و پرسشنامه گردآوری می‌شود. از نظر روش نیز در زمره تحقیقات تحلیلی (مقایسه‌ای) است، زیرا به تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد در شرکت آب و فاضلاب شیراز می‌پردازد.

ابزارهای گردآوری اطلاعات به دو دسته کلی کتابخانه‌ای و میدانی قابل تقسیم است. روش‌های میدانی نیز شامل ابزارهایی مانند مشاهده، مصاحبه و پرسشنامه است. جامعه آماری شامل مدیران ارشد، مدیران فنی، کارشناسان خبره مرتبط با صنعت آب و فاضلاب است که تعداد این افراد ۳۵ نفر است. لازم به ذکر است که در این پژوهش نمونه و جامعه آماری برهم منطبق بوده و محیط پژوهش نیز شرکت آب و فاضلاب شیراز است. در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها با تلفیقی از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس و ویکور، اولویت‌بندی و رتبه‌بندی عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد انجام شد. ابزار گردآوری اطلاعات پرسشنامه است و با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و آرشیوی و بررسی پژوهش صورت گرفته، استراتژی‌ها و روش‌های مختلف مدیریت فشار آب و عناصر کلیدی برای پیاده‌سازی مدیریت فشار آب شناسایی و در دو پرسشنامه از این مفاهیم استفاده شد. در پرسشنامه‌ها از خبرگان خواسته شد که میزان و شدت تاثیرگذاری هریک از معیارهای عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد را به صورت مقدار تاثیر به صورتی که در راهنمای فرم‌ها تعریف شد بر روی روش‌های موثر بر آن مشخص نمایند. در این تحقیق با استفاده از ابزار تکمیل پرسشنامه بین نخبگان امر (اساتید دانشگاهی) و نیز مهندسين درگیر با فرآیند مدیریت فشار آب در شرکت آب و فاضلاب شیراز و کسب اطلاعات لازم و جمع‌بندی تجربیات آن‌ها توسط تلفیقی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس و ویکور مورد تحلیل قرار گرفته است. تکنیک‌های تصمیم‌گیری برای کمک به مدیران برای حل مسائل مختلف برای انتخاب و اولویت‌بندی گزینه‌های موجود کاربرد داشته و به منظور ارائه مدلی مناسب استفاده شده است. برای ارزیابی روایی محتوای پرسشنامه‌ها از

میزان نشتی در سیستم توزیع آب است. رویکرد ارائه شده در این مطالعه با هدف مدل سازی نشت به عنوان تابعی از فشار و طول لوله، کالیبراسیون ضریب نشتی، استفاده از شیرهای فشار شکن ثابت (PRV)^۴ برای کاهش نوسانات فشار و توسعه توسط (Kanakoudis and Gonelas (2014) انجام شد. سناریوهای WaterCAD برای به حداقل رساندن نشت از طریق موثرترین تنظیمات شیرها انجام شد. با توجه به برآورد تقاضای آب لحظه‌ای، کد بهینه‌سازی دیگری براساس الگوریتم DE برای کنترل PRVها و VSPهای نصب شده ارائه شد. این امر منجر به توزیع یکنواخت فشار و کاهش فشار بیش از حد بر شبکه آب در تمام ساعات روز شد. بنابراین نشت آب و مصرف انرژی کاهش یافت. نتایج نشان داد که با استفاده از این روش، نشت زمینه شبکه و میزان مصرف انرژی به ترتیب $42/72\%$ و $28/4\%$ نسبت به حالت غیرمدیریتی کاهش یافته است.

یک چارچوب ارزیابی اقتصادی برای حمایت از فرایند تصمیم‌گیری در مورد طرح‌های جایگزین نگهداری پیشگیرانه (PM)^۵ توسط Moslehi et al. (2020) ارائه شد. این روش برای ارزیابی منافع و هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم اصلی مربوط به استفاده از شیرهای کاهش فشار (PRVs) امکان‌پذیر است. روش ارائه شده برای متقاعد ساختن تصمیم‌گیرندگان تأسیسات آب در تشخیص امکان‌پذیری اقتصادی و مزایای قابل توجه اجرای طرح‌های PM و توجیه سرمایه‌گذاری مرتبط ضروری شناخته شده است.

(Fernando and Alex (2019) کاهش نشت آب را با بهینه‌سازی فشار توسط شیرهای کاهش فشار (PRV) ارزیابی کردند. مدل هیدرولیکی مربوط به یک شبکه توزیع واقعی با استفاده از نرم افزار EPANET توسعه یافت. پس از کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل هیدرولیکی، تجزیه و تحلیل فشار در گره‌ها، سرعت لوله‌ها، از طریق شاخص‌های عملکرد فنی (TPI) انجام شد. نتایج اولیه نشان دهنده نیاز به بهینه‌سازی فشار بود. گره‌هایی با فشار بیش از حد در قسمت پایین شبکه یافت شد. از افزونه نرم‌افزار EPANET برای مدل‌سازی نشت‌ها براساس فشار پس از تعیین ضریب نشت و در نظر گرفتن نصب دو PRV استفاده شد. نتایج بهینه‌سازی، فشار مناسب در $30/83$ درصد گره‌ها و به حداقل رساندن نشت در $65/31$ درصد گره‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد. به نوبه خود، شبیه‌سازی با فرض نصب دو PRV مشخص کرد که TPI از $79/81$ به $97/45$ افزایش می‌یابد.

شاخص‌ها به عنوان ورودی در ماتریس تصمیم‌گیری نمایش داده می‌شود. مقادیر وزن‌های شاخص‌ها به وسیله کارشناسان و خبرگان تعیین می‌شود و این مقادیر می‌توانند به وسیله اشخاص ذی‌نفع، با توجه به اهداف و فرصت‌های آنان تصحیح شوند. در این پرسش‌نامه از طیف لیکرت ۰ تا ۵ استفاده شد و از پاسخ‌دهندگان خواسته شد نظرات خود را براساس این طیف در پرسش‌نامه‌ها وارد کنند.

در گام اول، مطابق جدول ۲ داده‌هایی که از ۳۵ پرسش‌نامه جمع‌بندی شده است از روش میانگین‌گیری داده‌ها محاسبه می‌شود. در گام دوم، وزن عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد با میانگین‌گیری داده‌های هر ردیف جدول ۳ به دست آمده است. در گام سوم، مطابق جدول ۴ نرمال‌سازی برداری و ایده‌آل مثبت و منفی به روش تاپسیس صورت پذیرفته است. در گام چهارم، مطابق جدول ۵، F^* (نقطه ایده‌آل مثبت) یعنی حداکثر هر ستون جدول نهایی یا همان بهترین مقدار برای معیار z ام و F^- (نقطه ایده‌آل منفی) یعنی حداقل هر ستون جدول نهایی یا همان بهترین مقدار برای معیار z ام که در روش ویکور بیان شده است استخراج شد. در گام پنجم، از طریق رابطه (۱) مقدار سودمندی S_i و رابطه (۲) تاسف معیارها R_i برای ۹ روش جدول نهایی نرمالیزه شده مدیریت فشار به دست آمد.

سپس برای هر روش، شاخص ویکور Q_i با رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$L_{1i} = S_i = \sum_{j=1}^n W_j \times \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (1) \quad \text{مقدار سودمندی}$$

$$L_{\infty,1} = R_i = \max \{W_j \times \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}\} \quad (2) \quad \text{تاسف معیارها}$$

$$Q_i = V \times \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - V) \times \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (3) \quad \text{شاخص ویکور}$$

$$S^- = \max S_i, \quad S^* = \min S_i, \\ R^- = \max R_i, \quad R^* = \min R_i$$

که S_i : بیانگر فاصله نسبی i ام از راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین ترکیب) و R_i بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه i ام از دوری راه‌حل ایده‌آل مثبت هستند. $V \in [0, 1]$: وزن برای استراتژی حداکثر مطلوبیت گروهی است.

در جدول ۵ شاخص‌های R_i و S_i به ترتیب نزولی مرتب شده در گام ششم و پایانی، مطابق جدول ۶ اولویت‌بندی عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد حاصل می‌شود. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور و تاپسیس براساس

خبرگان مسلط در هریک از حوزه‌ها، نظرسنجی و ارزش‌گذاری شده و روائی آن مورد تایید قرار گرفته است. از آن‌جا که پرسشنامه اولیه پژوهش بر پایه شاخص‌های شناسایی شده در پیشینه پژوهش و دیدگاه خبرگان فراهم شده، بعد از اجرای این روش روائی محتوای پرسشنامه به تایید خبرگان رسیده است. حاصل مشاوره‌ها و پیشنهادات نخبگان، تعداد ۹ روش (گزینه) و ۳ معیار در زمینه عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد به شرح جدول ۱ تنظیم شد.

۴- تحلیل داده و یافته‌ها

در این مقاله، مدل پیشنهادی به این گونه است که ابتدا با استفاده از مطالعات پیشین، معیارها و عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد انتخاب و با استفاده از نظر خبرگان صنعت آب، این معیارها و روش‌ها غربالگری (ادغام) شد. سپس برای تعیین درجه اهمیت این معیارها و عملیات‌ها، پرسشنامه تهیه و در اختیار خبرگان قرار گرفته و اهمیت این معیارها و روش‌ها به کمک تلفیقی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس و ویکور مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت به کمک اطلاعات حاصل از این روش‌ها، در شرکت آب و فاضلاب شیراز ارائه شد. با مرور ادبیات و انجام مطالعات کتابخانه‌ای و غربالگری معیارها توسط خبرگان نهایتاً سه معیار زمان، هزینه، تاثیر (کارایی) انتخاب شدند. همچنین عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد بعد از نهایی‌سازی با خبرگان، مطابق جدول ۱ ارائه شد.

جدول ۱- عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد

ردیف	روش
۱	نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی شبکه
۲	نصب شیر برقی با امکان کنترل از راه دور بر روی خطوط انتقال آب برای کنترل دبی
۳	نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط
۴	کنترل خروجی مخازن در ساعات مختلف شبانه روز به صورت کنترل از راه دور
۵	به روز رسانی مستمر نقشه‌های آب
۶	تهیه مدل هیدرولیکی شبکه آب
۷	تهیه نقشه GIS شبکه آب و تکمیل لایه‌های اطلاعاتی آن شامل عمرلوله، جنس و قطر و غیره
۸	انجام عملیات ناحیه‌بندی شبکه DMA
۹	اصلاح شبکه فرسوده

بعد از شناسایی روش‌ها و شاخص‌های مرتبط، اولین گام در حل هر مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری است. معمولاً، مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری و وزن

تعیین می‌کند که حداکثر "کاربردپذیری گروه" را برای "اکثریت" و حداقل تاسف فردی را برای "حریف" ارائه می‌دهد. روش تاپسیس یک راه‌حل با کمترین فاصله به راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله به راه‌حل ایده‌آل منفی را تعیین می‌کند. اما در این پژوهش بخشی از مراحل روش ویکور استفاده شده است که اهمیت نسبی این فاصله را در نظر نمی‌گیرد.

تابع جمع‌آوری به‌وجود آمده‌اند که "نزدیکی به ایده‌آل"، را در نظر داشته و از روش برنامه‌نویسی توافقی نشأت گرفته است. در روش ویکور، نرمال‌سازی خطی و در روش تاپسیس، نرمال‌سازی بردار برای از بین بردن واحدهای توابع معیار استفاده می‌شود. در این مرحله برای نرمال‌سازی داده‌ها از نرمال‌سازی برداری استفاده شده است. روش رتبه‌بندی توافقی ویکور یک راه‌حل توافقی را

جدول ۲- میانگین داده‌های جمع‌آوری شده پرسش‌نامه‌ها

زمان	هزینه	تاثیر (کارایی)	گزینه معیار
۲/۴۹	۲/۳۷	۳/۱۱	نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی شبکه
۲/۵۷	۲/۰۹	۳/۶۰	نصب شیر برقی با امکان کنترل از راه دور بر روی خطوط انتقال آب برای کنترل دبی
۳/۸۹	۳/۸۰	۴/۳۷	نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط
۲/۴۶	۲/۶۶	۳/۲۹	کنترل خروجی مخازن در ساعات مختلف شبانه‌روز به‌صورت کنترل از راه دور
۲/۴۳	۲/۹۱	۲/۲۹	به‌روز رسانی مستمر نقشه‌های آب
۲/۲۳	۲/۵۱	۲/۶۹	تهیه مدل هیدرولیکی شبکه آب
۲/۵۴	۲/۶۶	۲/۴۰	تهیه نقشه GIS شبکه آب و تکمیل لایه‌های اطلاعاتی آن شامل عمر لوله، جنس، قطر و غیره
۲/۳۱	۲/۲۰	۳/۱۷	انجام عملیات ناحیه‌بندی شبکه (DMA)
۱/۹۱	۱/۶۳	۳	اصلاح شبکه فرسوده

جدول ۳- نتایج محاسبه وزن عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد

ردیف	روش	وزن
۱	نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی شبکه	۲/۶۶
۲	نصب شیر برقی با امکان کنترل از راه دور بر روی خطوط انتقال آب برای کنترل دبی	۲/۷۵
۳	نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط	۴/۰۲
۴	کنترل خروجی مخازن در ساعات مختلف شبانه‌روز به‌صورت کنترل از راه دور	۲/۸۰
۵	به‌روز رسانی مستمر نقشه‌های آب	۲/۵۴
۶	تهیه مدل هیدرولیکی شبکه آب	۲/۴۸
۷	تهیه نقشه GIS شبکه آب و تکمیل لایه‌های اطلاعاتی آن شامل عمر لوله، جنس، قطر و غیره	۲/۵۳
۸	انجام عملیات ناحیه‌بندی شبکه (DMA)	۲/۵۶
۹	اصلاح شبکه فرسوده	۲/۱۸

جدول ۴- مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی و موزون شده عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد

F*			
۰/۲۳	۰/۴۶	۱/۸۵	
F-			
۲/۰۱	۱/۹۶	۰/۶۱	
شاخص	معیار	تاثیر (کارایی)	هزینه
	زمان		
نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی شبکه	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۸۷
نصب شیر برقی با امکان کنترل از راه دور بر روی خطوط انتقال آب برای کنترل دبی	۰/۹۱	۰/۷۴	۱/۰۵
نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط	۲/۰۱	۱/۹۶	۱/۸۵
کنترل خروجی مخازن در ساعات مختلف شبانه‌روز به‌صورت کنترل از راه دور	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۷
به‌روز رسانی مستمر نقشه‌های آب	۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۶۱
تهیه مدل هیدرولیکی شبکه آب	۰/۲۳	۰/۸۰	۰/۷۰
تهیه نقشه GIS شبکه آب و تکمیل لایه‌های اطلاعاتی آن شامل عمر لوله، جنس، قطر و غیره	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۶۴
انجام عملیات ناحیه‌بندی شبکه (DMA)	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۸۶
اصلاح شبکه فرسوده	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۶۹

جدول ۵- شاخص‌های مقدار سودمندی، تاسف معیارها و شاخص ویکور عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد

۸/۰۲	S ⁻	۴/۰۲	R ⁻		
۲/۴۱	S*	۱/۷۹	R*		
۸/۰۲	S3	۴/۰۲	R3	۱/۰۰	Q3
۴/۱۷	S5	۲/۵۴	R5	۰/۳۲	Q5
۴/۰۰	S7	۲/۴۷	R7	۰/۲۹	Q7
۳/۹۴	S4	۲/۲۹	R6	۰/۱۸	Q4
۳/۶۴	S1	۲/۰۹	R1	۰/۱۸	Q1
۳/۳۵	S2	۲/۰۵	R8	۰/۱۵	Q6
۳/۲۷	S8	۲/۰۴	R9	۰/۱۴	Q8
۲/۸۵	S6	۱/۹۹	R4	۰/۰۸	Q2
۲/۴۱	S9	۱/۷۹	R2	۰/۰۶	Q9

جدول ۶- رتبه‌بندی نهایی عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد

اولویت	شاخص ویکور	روش
۱	۱/۰۰	نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط
۲	۰/۳۲	به‌روز رسانی مستمر نقشه‌های آب
۳	۰/۲۹	تهیه نقشه GIS شبکه آب و تکمیل لایه‌های اطلاعاتی آن شامل عمر لوله، جنس، قطر و غیره
۴	۰/۱۸	کنترل خروجی مخازن در ساعات مختلف شبانه‌روز بصورت کنترل از راه دور
۵	۰/۱۸	نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی شبکه
۶	۰/۱۵	تهیه مدل هیدرولیکی شبکه آب
۷	۰/۱۴	انجام عملیات ناحیه بندی شبکه (DMA)
۸	۰/۰۸	نصب شیر برقی با امکان کنترل از راه دور بر روی خطوط انتقال آب برای کنترل دبی
۹	۰/۰۶	اصلاح شبکه فرسوده

۵- نتیجه گیری

واحدی برای تمامی شهرها ارائه نمود، بلکه سازمان‌های متولی باید بسته به شرایط محیطی و منابع خود در خصوص کاهش آب بدون درآمد فعالیت نمایند. انجام کارهای موردی درخصوص مدیریت فشار هر چند بدون نتیجه نیست، ولی با توجه به شرایط موجود نمی‌تواند نتایج کامل و دلخواه داشته باشد.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Multi-Criteria Decision Making (MCDM)
- 2- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
- 3- Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR)
- 4- Pressure Reducing Valve (PRV)
- 5- Preventive Maintenance (PM)
- 6- Usefulness Measure
- 7- Regret Measure

با توجه به وقوع پدیده خشکسالی‌های طولانی، محدودیت منابع مالی، شرایط فیزیکی شبکه‌های آبرسانی، شرایط اقلیمی و رفتار اجتماعی مصرف‌کنندگان، اولویت‌بندی عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد در تحقیق حاضر، کمک شایانی در برای ارتقای وضعیت کنونی منابع آبی کشور خواهد داشت. چرا که مشخص می‌کند که با نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط، تاثیرگذاری بیشتری با صرف کمترین زمان و هزینه خواهد داشت. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، به‌ترتیب نصب فشارسنج‌های دیتالاگر برخط، به‌روز رسانی مستمر نقشه‌های آب، تهیه نقشه GIS شبکه آب و تکمیل لایه‌های اطلاعاتی آن شامل عمر لوله، جنس، قطر و غیره به‌ترتیب در اولویت‌های اول، دوم و سوم قرار گرفتند. موضوع عملیات‌های پیشنهادی با هدف کاهش آب بدون درآمد، بی‌تردید یکی از مباحث مهم صنعت آب است که با توجه به محدودیت‌های حاضر، روزبه‌روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. هم‌چنین برای مدیریت فشار نمی‌توان نسخه

- Fernando, G., and Alex, A., (2019), "Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves, Case study in an Andean city", *Alexandria Engineering Journal*, 58(4), 1313-1326.
- Moslehi, I., Jalili Ghazizadeh, MR., and Usefi, E., (2020), "An economic valuation model for alternative pressure management schemes in water distribution networks", *Journal of Utilities Policy*, 67, 101-129.
- Kanakoudis, V., and Gonelas, K., (2014), "Applying pressure management to reduce water losses in two Greek cities Water Distribution Systems: Expectations, problems, results and revisions", *Journal of Procedia Engineering*, 89, 318-325.



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

- ایدی، ض.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، و شمسایی، ا.، (۱۳۸۷)، "بررسی تأثیرات تغییر فشار بر شاخص‌های عملکرد نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی یک شبکه نمونه در شمال تهران)"، *هفتمین کنفرانس هیدرولیک/ایران*، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق.
- تابش، م.، و بیگی، س.، (۱۳۹۶)، "بررسی نقش قیمت آب در توجیه اقتصادی طرح‌های کاهش آب بدون درآمد"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۸(۱)، ۱۱۳-۱۲۵.
- جلیلی قاضی‌زاده، م.، و ایدی، ض.، (۱۳۹۵)، "ارائه روابط تحلیلی مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب"، *مجله محیط‌شناسی*، ۴۲(۳)، ۵۱۷-۵۲۹.
- جعفری اصل، ج.، ملک محمودی، م.، سامی، ب.، منتصری، ح.، و بهرامی، م.، (۱۳۹۹)، "مدیریت بهینه فشار با هدف کمینه‌کردن نشت در سیستم‌های توزیع آب شهری با استفاده از شیرهای فشارشکن"، *مجله مهندسی آبیاری و آب/ایران*، ۱۱(۲)، ۲۴-۳۵.
- خاشعی، م.، تابش، م.، و شاهنریان، ا.، (۱۳۹۸)، "بهینه‌سازی فشار در شبکه توزیع آب با هدف مدیریت مصرف آب شهری"، *مجمدهمین کنفرانس هیدرولیک/ایران*، تهران.
- صالحی، ا.، زنگی‌آبادی، ر.، و جمالی‌زاده، م.، (۱۳۹۵)، "مفهوم آب بدون درآمد"، *کنفرانس بین‌المللی نخبگان عمران، معماری و شهرسازی*، تهران.
- فلاحی، غ.، و صالح‌زاده، م.، (۱۳۹۶)، "مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی و پایگاه داده مکانی متن‌باز (مطالعه موردی: شهرک گلستان شیراز)"، *مجله آب و توسعه پایدار*، ۴(۲)، ۱۵۱-۱۵۸.
- مصلحی، ا.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، و یوسفی، ا.، (۱۳۹۹)، "تحلیل اقتصادی مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۲)، ۱۰۰-۱۱۷.
- معمودی، ب.، کیماسی، ر.، کیانی، ح.، و ناظمی، ع.، (۱۳۹۹)، "کاهش نشت، مصرف بهینه و مدیریت فشار شبکه توزیع آب منطقه فولادشهر اصفهان با پیاده‌سازی مدل هیدرولیکی کالیبره"، *نوزدهمین کنفرانس هیدرولیک/ایران*، مشهد.
- مهدوی، پ.، یزدی، ج.، و شاهسوندی، م.، (۱۳۹۹)، "مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از جانمایی و بهره‌برداری بهینه از شیرهای فشارشکن"، *سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب/ایران*، شیراز.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Determining the Drinking Per Capita in Order to Implement the Project of Separating Drinking and Sanitary Water (Case study: Bajestan Urban Watershed)

تعیین میزان سرانه شرب در راستای اجرای پروژه جداسازی آب شرب و بهداشتی (مطالعه موردی: حوزه شهری بجنستان)

Fatemeh Mohammadzadeh¹, Mohammad Reza Ekhtesasi^{2*}, Seyed Zeynalabedin Hosseini³, Abdoalrasoul Negaresh⁴ and Mohammad Allaei⁵

فاطمه محمدزاده^۱، محمدرضا اختصاوی^{۲*}، سید زین‌العابدین حسینی^۳، عبدالرسول نگارش^۴ و محمدعلایی^۵

1- Ph.D. Candidate in Watershed Management Science, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

2- Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

3- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

4- Ph.D. Candidate in Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

۴- دانشجوی دکتری عمران آب، دانشگاه آزاد تهران جنوب، تهران، ایران.

5- Managing Director and Head of the Board of the Khorasan Razavi Water Company, Mashhad, Iran.

۵- کارشناس ارشد علوم زمین، مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران.

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

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

Received: 12/01/2022

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

Revised: 25/03/2022

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۱/۰۵

Accepted: 13/05/2022

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۳

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Providing good quality drinking water is one of the most important concerns of today's societies. Using a proper system for the fair distribution of potable water is very necessary and evidently the type of the system will lead to different amounts of water use per capita. Today, the dispute over good quality water resources in arid regions has escalated, Governments are forced to use separate drinking and sanitation water systems. Understanding the consumption of people in the form of per capita is a prerequisite for the proper design of drinking water distribution networks, the data of which are collected and analyzed in different ways. Quality of groundwater resources in Bajestan region, has led to the plan of separate drinking and sanitation water, with the establishment of government water collection stations since 2014. The purpose of this article is to estimate the per capita drinking consumption by query method by considering 378 samples and random sampling at certain distances from each station. The amount of per capita obtained is estimated at about 3 liters, but its amount has a different distribution in different city districts ranging from 2.5 to 4.5 liters. The highest amount is obtained for the new districts with villa texture and the lowest for the zones with more apartments. The results of the survey of the plan and the problems and consequences of its implementation showed that about 69.03% of people are using the water of these stations for drinking and tea, which is the criterion for determining per capita; The biggest problems of withdrawal stations are the numerous breakdowns of the stations and difficulty harvesting them, which requires the revision of some network operations.

تأمین آب شرب باکیفیت از مهم‌ترین دغدغه‌های جوامع امروزی محسوب می‌شود. استفاده از سیستم مناسب در توزیع عادلانه آب با به‌کارگیری استانداردهای لازم، بسیار ضروری است و طبیعتاً نوع سیستم به‌کار گرفته‌شده، منجر به مقادیر متفاوت سرانه خواهد شد. امروزه نزاع بر سر منابع آب باکیفیت در مناطق خشک افزایش یافته است و دولت‌ها را مجبور به استفاده از سیستم‌های جداگانه‌ی آب شرب و بهداشتی نموده است. لزوم درک میزان مصرف اشخاص در قالب سرانه، لازمه طراحی صحیح شبکه‌های توزیع آب شرب است که به طرق مختلف جمع‌آوری و تحلیل می‌شود. محدودیت کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه بجنستان، منجر به اجرای طرح جداسازی آب شرب و بهداشت، با ایجاد ایستگاه‌های برداشت دولتی آب از سال ۱۳۹۳ شده است. این مقاله، باهدف برآورد مصرف سرانه شرب به روش پرسشگری انجام‌گرفته که با درنظر گرفتن ۳۷۸ نمونه و نمونه‌گیری تصادفی در فواصل معین از هر جایگاه، محاسبه‌شده است. مقدار سرانه به‌دست‌آمده در حدود ۳ لیتر برآورد شده، اما مقدار آن در بافت‌های مختلف دارای پراکنش متفاوت بوده و در فاصله ۲/۵-۴/۵ لیتر است که بیشترین مقدار آن در بافت ویلایی جدید و کمترین حد آن در بافت آپارتمانی است. هم‌چنین نتایج حاصل از نظرسنجی این طرح و نیز مشکلات و پیامدهای اجرای آن نشان داد که در حدود ۶۹/۰۳ درصد از مردم، از آب این جایگاه‌ها برای مصرف آشامیدن و چای استفاده می‌کنند که به‌عنوان ملاک تعیین سرانه است. بیشترین مشکلات جایگاه‌های برداشت نیز خرابی‌های متعدد جایگاه‌ها و دشواری برداشت از آن‌ها است که لزوم تجدیدنظر در برخی ساختارهای شبکه را می‌طلبد.

Keywords: Drinking water, Per capita, Separation project, Questionnaire.

کلمات کلیدی: آب آشامیدنی، سرانه، طرح جداسازی، پرسشگری.

توزیع دوگانه آب با رویکرد استفاده از پساب‌ها نیز در کالیفرنیا، نگراس، نوادا و سایر مناطق ایالات متحده به‌منظور بهینه‌سازی مصرف آب بازیافت شده، به‌وجود آمده است (National Research Council, 2007). این سیستم در کالیفرنیا تا سال ۲۰۲۵، ۱۶ درصد آب تصفیه‌شده و مطابق با استانداردهای بهداشت آب آشامیدنی را ایجاد خواهد کرد. استفاده از منابع آبی جایگزین همانند پساب‌ها و استحصال آب باران، نیز می‌تواند ضمانت ماندگاری آب آشامیدنی باشد.

در برخی دیگر از شهرها مانند مادرید یا هنگ‌کنگ که با تنش آبی روبه‌رو هستند، پیاده‌سازی سیستم دوگانه در کاهش مصرف آب بسیار مؤثر واقع شده است (Tang, 2000). در بسیاری از شهرهای ساحلی جهان از شبکه توزیع دوگانه با فرآیند شیرین‌سازی آب شور دریا در دو شبکه مجزا توزیع، برای آشامیدن و غیر آشامیدن، استفاده می‌شوند (Kotwicki and Al-Otaibi, 2011). مقدار مصرف آب شرب در مقایسه با سایر مصارف خانگی آب، از نوسانات و تغییرات کمتری برخوردار است و میزان آن در تمام ایام سال تقریباً ثابت است (گزارش فنی اقتصادی طرح جداسازی آب شرب از بهداشتی شهر بجستان، ۱۳۹۵). مصرف سرانه آب به عوامل زیادی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: عادات و فرهنگ مردم، وضعیت اقتصادی و سطح زندگی، میزان صنعتی بودن، امکانات مراکز عمومی، شرایط آب و هوایی، نحوه آبرسانی (وجود شبکه و نوع آن)، وجود یا عدم وجود کنتور، نحوه دفع فاضلاب، میزان و کیفیت منابع آب قابل‌دسترس، قیمت آب، فشار هیدرولیکی (بهربرداری) در شبکه توزیع و غیره (Munia et al., 2016). هم‌چنین از دیگر عوامل مؤثر در تغییر میزان سرانه شرب، آب و هوا است. آب‌وهوای گرم یا مرطوب باعث بالا رفتن میزان عرق کردن انسان می‌شود و نیاز به دریافت مایعات را بالا می‌برد. هم‌چنین سکونت در ارتفاع بالای ۲۵۰۰ متر از سطح دریا ممکن است باعث افزایش ادرار و تنفس سریع‌تر شود و در نتیجه آب بیشتری از بدن از دست خواهد رفت. از دیگر سو، با توجه به نیاز بیولوژیک بدن، مقدار آب موردنیاز، متفاوت خواهد بود و به سن، سطح فعالیت و محیط بستگی دارد. شرایط بارداری و شیردهی نیز میزان نیاز به آب را افزایش می‌دهد. زنان باردار باید ۲/۳ لیتر و زنان شیرده ۳/۱ لیتر در روز مایعات بنوشند. انجام ورزش یا هر فعالیت جسمی دیگری که باعث تعرق انسان شود، نیاز به نوشیدن آب اضافی برای جبران از دست رفتن مایعات را از بدن ایجاد می‌کند. وجود برخی بیماری‌ها مانند نارسایی قلب و برخی از انواع

آن‌چه در سال‌های اخیر نظر محققان را به‌خود جلب کرده است نیاز به حفاظت از منابع آب آشامیدنی در کشورهای واقع در مناطق خشک و در حال توسعه است و باید آسیب‌های احتمالی آن‌را در بخش انتقال و توزیع بررسی کنند و در مورد تأمین آب شرب و بهداشتی و واحدهای صنعتی، اگر تغییر نگرشی صورت نگیرد، به‌شدت منابع و تأسیسات آبی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. لزوم اجرای برخی طرح‌های آبی مطابق با شرایط اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی منطقه غیرقابل‌انکار است که به مطالعه و بررسی هرچه دقیق‌تر نیاز دارند. تأمین آب آشامیدنی سالم و کافی برای بقا، حائز اهمیت اساسی است. آلوده و ناکافی بودن آب، اولین و اصلی‌ترین دلیل شیوع بیماری در بین افراد اجتماع است (Crocker and Bartram, 2014). حل مشکل آب شرب با توجه به پتانسیل‌های آب هر منطقه و حاکمیت شرایط خشک‌سالی، لزوم بررسی و ایجاد برخی طرح‌ها را به‌منظور صیانت و تأمین آب شرب برای انسان‌ها را ضروری ساخته است (Rasoulkhani et al., 2019). برخی از این طرح‌ها به‌دلایل متفاوت بسته به شرایط جغرافیایی و بحرانی در تأمین منابع سالم شرب، ایجاد شده است. از آن‌جا که آب با کیفیت فقط برای نوشیدن و آشپزی است، مصارفی همانند حمام و شستشو، نیاز به کیفیتی به‌مراتب کمتر از آب آشامیدنی دارد و از سوی دیگر نیز مقدار و نحوه مصرف آب آشامیدنی می‌تواند با استفاده از شبکه‌های توزیع دوگانه آب به‌طور بالقوه کاهش یابد.

برخی کشورها با ایجاد شبکه‌های توزیع دوگانه، مانند کویت که از دو شبکه موازی آب شور و شیرین استفاده می‌کنند، مقدار مصرف آب شیرین را با توجه به میزان تقاضا، کنترل و پیش‌بینی می‌کنند که این امر سبب صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب آشامیدنی می‌شود. با افزایش جمعیت جهان، ارتقا سطح زندگی و رو به کاهش گذاردن منابع آب شیرین، شبکه‌های دوگانه به‌عنوان گزینه ترجیحی مدیریت منابع آب در آینده، در حال بررسی است که از نظر اقتصادی و تکنولوژیکی کاملاً منطقی است. کویت کشوری با منابع آب محدود است و هیچ‌گونه منبع آب سطحی ندارد. این در حالی است که منابع آب زیرزمینی آن نیز شور هستند (Al-Ruwaihi and Almedej, 2007)؛ بنابراین منبع اصلی تأمین آب آن‌ها از آب دریا است که با نمک‌زدایی و تصفیه تأمین می‌شود. کم‌کان افزایش سرانه مصرف آب روزانه، پایداری این سیستم‌ها را با مشکل روبه‌رو کرده است و ممکن است بر اقتصاد و محیط‌زیست این کشورها تأثیر بگذارد. کاربرد سیستم‌های

اختلالات کلیوی، کبدی و غده فوق کلیوی که دفع آب را از بدن مختل می‌کنند، ممکن است مصرف مایعات را محدود کند (مهندسين مشاور تمدن کاريزي، ۱۳۹۵). مصارف مختلف آب شرب از ساعات اولیه روز شروع و تقريباً تا نيمه شب ادامه می‌يابد. میزان آب شرب مصرفی در تمام ایام سال تقريباً ثابت است و شبکه توزیع آب شرب تحت تأثیر نوسانات روزانه قرار نمی‌گیرد و تنها مصارف لحظه‌ای به صورت برداشت‌های هم‌زمان بر شبکه توزیع تأثیر می‌گذارند (معاونت امور آب و آبفای

خراسان رضوی، ۱۳۹۵). به‌طور کلی دو لیتر در روز به‌عنوان میزان پیش‌فرض مصرف آب آشامیدنی در نظر گرفته می‌شود، اگرچه شواهد نشان می‌دهد که این مقدار کافی نیست (Edition, 2015). این مقدار با در نظر گرفتن مصرف سایر نوشیدنی‌ها در کشور ژاپن، ۱/۲۸ و میانگین ۱/۶۵ لیتر در روز برآورد شده است که با مقدار دو لیتر در روز مطابقت دارد. مقدار آب بر اساس نیاز هر فرد به شکل جدول زیر است (گروه مهندسی آبرام، ۱۳۹۰).

جدول ۱- میزان نیاز آبی بر اساس نیاز فرد

نوع نیاز	میزان (لیتر در روز)	ملاحظات
نیازهای حیاتی از طریق آب و مواد غذایی	۲/۳-۵	براساس آب و هوا و فیزیولوژی افراد
مصارف بهداشتی	۶-۲	براساس هنجارهای فرهنگی و اجتماعی
طبخ غذا	۶-۳	براساس نوع غذا، هنجارهای اجتماعی و فرهنگی
کل	۷/۱۵-۵	

در مواردی که تنوع سرانه مصرف آب افزایش می‌یابد، معمولاً میزان آب لازم برای هر مصرف کاهش می‌یابد. اگر زمان صرف شده برای تهیه آب بیش از ۳۰ دقیقه باشد، میزان آب مصرفی مردم کاهش می‌یابد. براساس حداقل استانداردهای جهانی پیشنهاد شده، حداکثر فاصله هر خانواده تا محل تأمین آب باید ۵۰۰ متر و حداکثر زمان انتظار برای دریافت آب ۱۵ دقیقه باشد. متوسط آب برای آشامیدن، پخت‌وپز و بهداشت فردی در هر خانوار حداقل ۱۵ لیتر به ازای هر نفر در روز است. افزایش این زمان به بیش از ۳۰ دقیقه منجر به کاهش مصرف آب به ازای هر نفر می‌شود. ظرفیت ظروف نگهداری آب نیز بستگی به تعداد افراد هر خانوار و ثبات دسترسی به منبع آب دارد. مثلاً به‌طور تقریبی ۴ لیتر به ازای هر فرد برای شرایطی که آبرسانی به‌طور روزانه و ثابت است، مناسب است (مرکز رشد فناوری واحدهای دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۷).

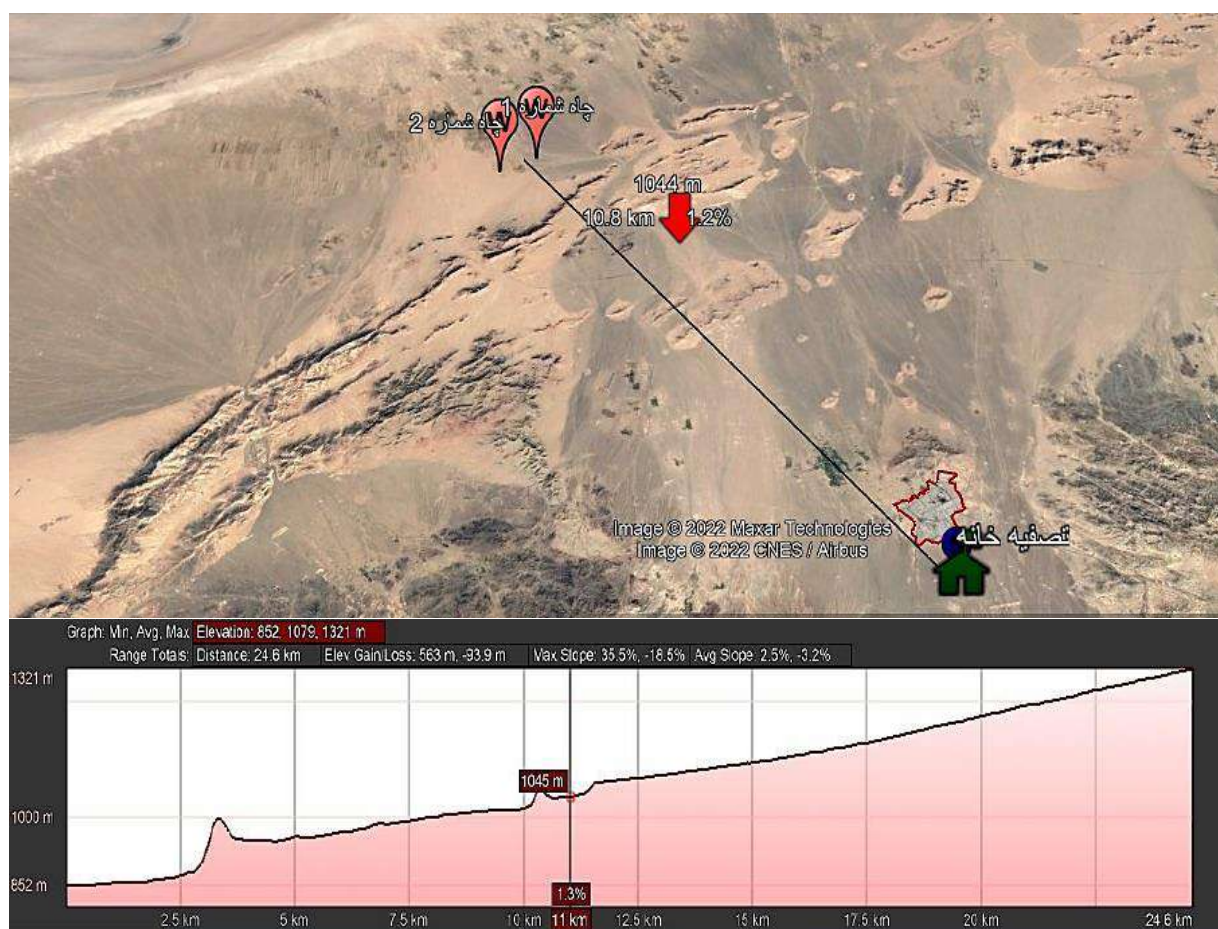
Falkenmark (1986) استدلال می‌کند که حداقل سرانه موردنیاز برای یک جامعه مدرن که در شرایط نیمه‌خشک زندگی می‌کند در حدود ۵۰۰، آبیاری ۴۰۰ و نیازهای خانگی و صنعتی ۲۷۴ مترمکعب در سال است. مقادیر آب شرب مصرفی در کشورهای مختلف متفاوت است برای مثال، متوسط آب شرب مصرفی برای بزرگسالان ۱/۶ (زنان) و ۱/۷ (مردان) در اسپانیا است (Munia et al., 2016). در ۴ استان ژاپن از بین ۲۴۲ بزرگسال، ۲/۲۳ لیتر برای هر بزرگسال در روز (Guswa et al., 2014)، در استرالیا از بین ۶۲۳۲ بزرگسال، ۲/۳ لیتر برای زنان و ۲/۶ لیتر برای مردان و میانگین مصرف آب در ۴ شهر چین (۷۴۷

بزرگسال) ۱/۴۹ لیتر در روز برآورد شده است. از دهه‌های گذشته تاکنون، کیفیت آب آشامیدنی، مقررات سخت‌گیرانه‌تری یافته است؛ با کاهش منابع آب زیرزمینی و کاهش ظرفیت آبدهی چاه‌ها اعم از شرب و غیرشرب، مشکل تأمین آب را دوجندان خواهد کرد (Hayes and Skubala, 2009). با در نظر گرفتن این موارد، برای رسیدن به شرایط پایداری، جداسازی سیستم آب شرب از بهداشتی، به صرفه‌جویی در مصرف آب کمک خواهد نمود. با توجه به حاکمیت شرایط خشک و نیمه‌خشک در کشور ایران نیز این‌گونه روش جداسازی، طراحی‌شده و هنوز نیز مورداستفاده است. شهرهایی هم‌چون کاشان، قم، بجنستان، ساوه، بهرمان، طبس و حسن‌آباد که عمده دلیل اجرای این پروژه‌ها، کمبود منابع آب شیرین و افزایش شوری منابع آب زیرزمینی در حال برداشت است (امامی و شاکری، ۱۳۹۴).

سرانه مصرف آب در شرایط اضطراری بسته به نوع آب‌وهوا، وضعیت کلی جامعه و مسائل فرهنگی-اجتماعی آن‌ها تغییر می‌کند. سیستم‌های توزیع دوگانه با اهداف متفاوت اجرا می‌شوند؛ برای مثال در برخی کشورها هدف از به‌کارگیری این سیستم‌ها به‌منظور استفاده مجدد آب در پروژه‌های آبی، است (United Nations Environment Programme, 2007). در منطقه ثامن مشهد، به‌صورت الگو، مطالعات جداسازی آب شرب از بهداشتی انجام گرفت اما به مرحله اجرا نرسید (شرکت آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۴). استفاده از سیستم‌های دوگانه آب شرب و بهداشتی در کشورمان به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و

است که در حدفاصل پلایا و کوهستان واقع شده است و با کمبود منابع آبی باکیفیت روبه‌روست. از سال ۱۳۸۴ منبع اصلی تأمین آب بهداشتی از محدوده‌ی پلایا با اختلاف ارتفاع ۴۰۰ متری و برخلاف شیب هیدرولیکی به سطح دشت صورت می‌گیرد (شکل ۱). به دلیل کیفیت پایین آب انتقالی و بالا بودن میزان EC (۳۰۰۰-۸۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر)، عمده ساختارهای انتقال آب به دشت پس از گذشت مدت‌زمان کوتاهی، دچار استهلاک می‌شوند.

کاهش هزینه‌های تصفیه آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است (فتوحی و همکاران، ۱۳۹۶). در سال‌های کنونی روش‌های مختلف توزیع آب شیرین در مناطق باکیفیت پایین منابع آبی در دستور کار وزارت نیرو قرار گرفته است؛ این روش‌ها شامل استفاده از آب شیرین‌کن‌ها، آب‌معدنی، جایگاه‌های برداشت آب و شبکه دوگانه بوده است، اما تنها در محدود شهرهایی به صورت پایلوت اجرا شده است (مجله خبری اقتصاد، ۱۳۹۳). حوزه آبخیز دشت بجستان در جنوب استان خراسان رضوی واقع شده است. محدوده مطالعاتی موردنظر، بخش شهری بجستان



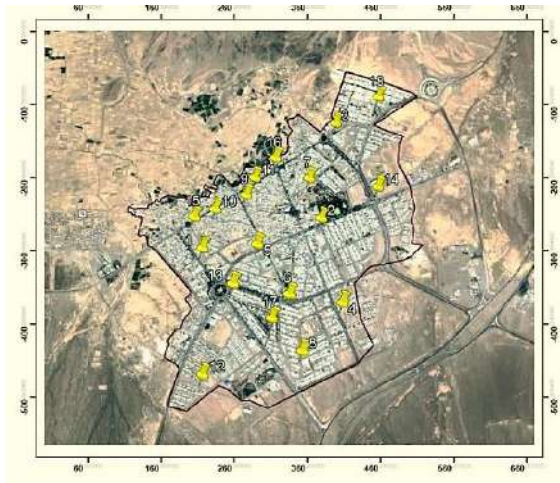
شکل ۱- موقعیت تصفیه‌خانه و چاه‌های تأمین آب شرب و بهداشتی بجستان

را به اجرای سیستم دوگانه آب شرب، به منظور تأمین آب شرب باکیفیت، واداشته است.

در طراحی سامانه‌های آب شهری و روستایی، حجم آب موردنیاز جمعیت به صورت روزانه (سرانه) تعیین می‌شود و مقدار آن از زمان شروع تا انتهای دوره طرح (عمر مفید پروژه) محاسبه می‌شود. تخمین میزان سرانه آب شرب شهروندان به منظور طراحی و برنامه‌ریزی یک سیستم بزرگ توزیع آب و مسائل مربوط به آن بسیار مهم و ضروری است (معاون نظارت و راهبری ریاست

در حدود ۴۰ مترمکعب آب به صورت روزانه شیرین‌سازی می‌شود که ۲۷ مترمکعب خروجی آن است؛ ۱۰-۱۳ مترمکعب آن به شبکه آب شرب وارد می‌شود و مابقی به شبکه آب بهداشتی تزریق می‌شود که در اثر اختلاط با آب شور بی‌کیفیت، مقدار EC آب بهداشتی را کاهش می‌دهد. لازم به ذکر است که منابع آب باکیفیت از جمله قنوات، با مجموع دبی بیش از ۴۰ لیتر بر ثانیه در دشت وجود دارد که در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. کاهش شدید کیفیت منابع آب و نیز نزاع بر سر منابع آبی، دولت

مبتنی بر استفاده از شبکه توزیع جداگانه با کمک جایگاه‌های برداشت دولتی آب شرب با کارت هوشمند در سطح شهر است. تعداد جایگاه‌های برداشت ۱۸ ایستگاه است (شکل ۲).



شکل ۲- پراکنش جایگاه‌ها در سطح شهر

اساس برداشت از این جایگاه‌ها بر مبنای کارت قابل شارژ است (شکل ۳) که شهروندان باید در ازای تهیه هر حجم موردنیاز و مبلغ ۱۰۰ ریال به ازای هر لیتر، به جایگاه‌ها مراجعه و با گالن اقدام به برداشت آب نمایند.



شکل ۳- جایگاه‌های برداشت آب شرب شهر بجستان

کیفیت آب، تسهیل در برداشت و حمل آب، امکان شارژ کارت، شرایط جسمی شخص برداشت کننده آب و همچنین سن آن‌ها در تعیین تعداد دفعات و مقدار برداشت آب مؤثر است. مقدار مصرف آب شرب از این جایگاه‌ها به عوامل مختلفی از جمله نوع مصرف بستگی داشته و می‌تواند دربرگیرنده مصارف

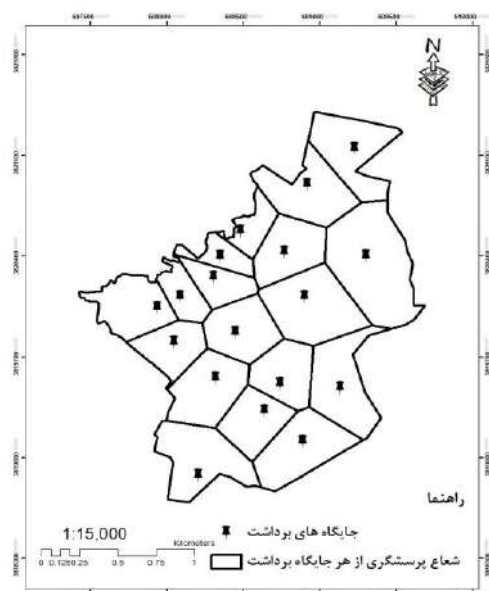
جمهوری، ۱۳۹۲). از پارامتر سرانه در طراحی شبکه‌های توزیع آب، به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین قطر لوله، در بخش‌های مختلف شبکه توزیع استفاده می‌شود. بنابراین تعیین مقدار دقیق آن در کاهش هزینه‌ها و نیز طراحی شبکه بهینه، ضروری به‌نظر می‌رسد. از آن‌جا در شبکه‌های آب شرب، حجم آب ورودی به شبکه کمتر از شبکه‌های آب بهداشتی است، حجم کمتری از سرانه برای جمعیت نیز قابل پیش‌بینی خواهد بود که البته این امر نیز به نوع روش توزیع نیز بستگی دارد. برای تعیین سرانه روش‌های مختلفی وجود دارد.

به‌طور کلی مصرف سرانه آب شرب به راه‌کار استفاده‌شده در روش توزیع آب شرب وابسته است و در بیشینه‌ترین حالت، مصرف آب شرب خانگی شامل پخت‌وپز و آشامیدن و ظرف‌شویی است. بررسی‌های انجام‌شده مربوط به سرانه‌ها در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که سرانه آب شرب از سه طریق بررسی نیاز، برآورد مصرف و وضع استاندارد تعیین شده است. در این تحقیق به‌منظور تعیین سرانه، از روش برآورد مصرف، با استفاده از پرسشگری و انتخاب نمونه‌ها به‌صورت تصادفی انجام شد. اما قبل از انتخاب نمونه، باید در ابتدا جامعه آماری را تعیین کرد، سپس اقدام به نمونه‌گیری نمود. طرح جداسازی آب شرب از غیر شرب در سال ۱۳۹۳ در شهر بجستان و در سطح ۳۵۰ هکتاری شهری، اجرا شده است. این جداسازی



در این طرح که در آن بحث تأمین آب شرب به‌صورت جداگانه مطرح است، لازم است تا عوامل مؤثر در مصرف سرانه شرب نیز موردبررسی قرار گیرد، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین سرانه مصرف شرب در طول سال در این تحقیق، می‌توان به موارد زیر اشاره داشت: فاصله تا جایگاه‌ها، قیمت آب،

با توجه به پراکنش جایگاه‌ها در سطح شهر و مساحت موجود، محدوده مطالعاتی به ۱۸ زون تقسیم‌بندی شد (شکل ۵) و سپس پرسشگری در هر یک از زون‌ها به صورت تصادفی انجام شد. هدف آن است که با طرح سؤالات مهندسی شده، در نهایت میزان سرانه آب شرب در شهر بجستان حاصل شود.



شکل ۵- محدوده‌ی پرسشگری به شعاع مشخص از هر جایگاه

نتایج این آمارگیری می‌تواند برای سایر نقاط کشور که از شرایط آب و هوایی و نیز جمعیتی مشابه برخوردار هستند، تعمیم داده شود. پس از انتخاب نمونه‌ها و توزیع پرسشنامه‌ها، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات نموده و در نهایت یافته‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین جامعه، نمونه آماری و اندازه نمونه

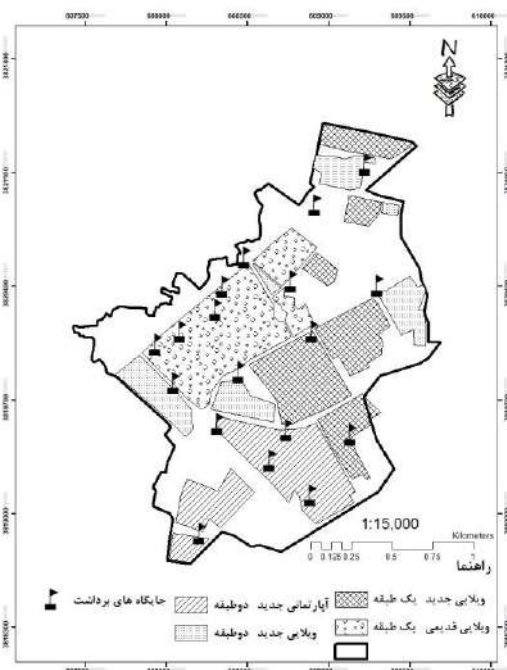
در این پژوهش جامعه آماری مورد بررسی کلیه مشترکین شرکت آب و فاضلاب شهر بجستان هستند که برای بررسی تعیین میزان سرانه شرب مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور دستیابی به نمونه‌های آماری مناسب از جامعه آماری در این طرح از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده می‌شود. در این پژوهش جامعه آماری، مشترکین شرکت آب و فاضلاب شهر بجستان با اندازه ۶۰۰۰ است، بنابراین تعداد نمونه‌ها به صورت معادله (۱) تعیین می‌شود (حیدریان و رحیمی، ۱۳۹۶):

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

آشامیدن، پخت‌وپز، شستشوی سبزیجات و میوه‌ها و یا شستشوی ظروف و یا ترکیبی از آن‌ها باشد. در این تحقیق علاوه بر تعیین سرانه شرب به ارزیابی روش کنونی نیز انجام می‌شود تا علاوه بر تعیین مقدار دقیق سرانه در طراحی‌های بعدی شبکه شرب، امکان اصلاح روش کنونی و یا پیشنهادات در اجرای روش‌های جدید توزیع نیز بررسی شود.

۲- مواد و روش‌ها

برآورد و انتخاب صحیح میزان مصرف سرانه آب، با توجه به تأثیر مستقیم آن بر ظرفیت تأسیسات شبکه و در نهایت هزینه‌های اجرای طرح‌های آبی، بسیار مهم است (سمساری‌زدی و همکاران، ۱۳۹۵). بدین منظور ابتدا جامعه آماری و نمونه‌ی آماری تعیین شد. برنامه جمع‌آوری آمار و اطلاعات در مورد مصارف خانگی، اقدامات لازم با توجه به موارد زیر انجام می‌شود: الف) تقسیم‌بندی شهر به مناطق مختلف با توجه به بافت شهری و صنعتی از قبیل تراکم، سطح زندگی؛ ب) انتخاب درصد مناسبی از مشترکین در هر منطقه است (معاون نظارت و راهبری ریاست جمهوری، ۱۳۹۲). شهر بجستان دارای ۴ بافت متفاوت شامل ویلایی جدید دوطبقه، ویلایی یک طبقه و آپارتمانی دوطبقه در بافت جدید و نیز ویلایی یک طبقه در بافت قدیم است. قبل از شروع به نمونه‌گیری، لازم است پراکنش جایگاه‌ها در بافت‌های مختلف را بررسی کرد (شکل ۴).



شکل ۴- پراکنش جایگاه‌های برداشت آب شرب در بافت‌های مختلف

نیز شامل سؤالاتی در خصوص شبکه شرب دوگانه تا منزل و پیشنهادات پرسش‌شوندگان برای بهبود وضعیت شبکه توزیع آب شرب است.

۳-۳- جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

با توجه به این‌که جایگاه‌ها، دارای پراکنش مناسب در سطح شهر بودند، تعداد افراد مراجعه‌کننده به جایگاه‌ها بسیار کم بود. بنابراین پس از تعیین هر یک از زون‌ها با شعاع ۳ کیلومتری از هر جایگاه از منازل مسکونی و واحدهای تجاری، پرسشگری صورت گرفت. پس از پرسشگری در مناطق اطراف دو جایگاه، تجدیدنظر در سؤالات صورت گرفت و برخی سؤالات اصلاح شدند و روند ادامه یافت. سپس یافته‌های حاصل تحلیل و بررسی شد.

۳-۴- آزمون مقایسه میانگین چند جامعه (One-way ANOVA)

در اولین گام تحلیل، مشخصات عمومی پاسخ‌دهندگان با آزمون واریانس یک‌طرفه ANOVA تحلیل شد. این آزمون برای مقایسه میانگین یک یا چند صفت کمی در بیش از دو گروه استفاده می‌شود. پس از پی بردن به سطح معناداری میانگین‌ها، باید مقایسه‌های دیگری در بین گروه‌ها، نواحی و یا شاخص‌های بین گروه‌های متغیر وابسته انجام داد که نتایج آن در جدول ۲ بیان شده است.

که n : حجم نمونه آماری، N : حجم جامعه آماری، d : اشتباه مجاز و معمولاً را برابر 0.05 و Z : مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان $1-\alpha$ است. در آزمون دو دامنه مقدار Z برای سطح اطمینان 95 درصد برابر 1.96 و برای سطح اطمینان 99 درصد برابر 2.58 است. P : نسبت برخورداری از صفت موردنظر و $q = (1-p)$: نسبت عدم برخورداری از صفت موردنظر است؛ اما معمولاً p و q را 0.5 و مقدار خطا نیز 5 درصد در نظر گرفته می‌شود. اندازه نمونه آماری در شهر بجستان با استفاده از فرمول کوکران با خطای کمتر 0.05 و ضریب اطمینان 0.95 ، برابر با 373 است. نهایتاً تعداد 378 پرسشنامه (تعداد 21 پرسشنامه در هر زون) تکمیل و مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۲- تدوین پرسشنامه

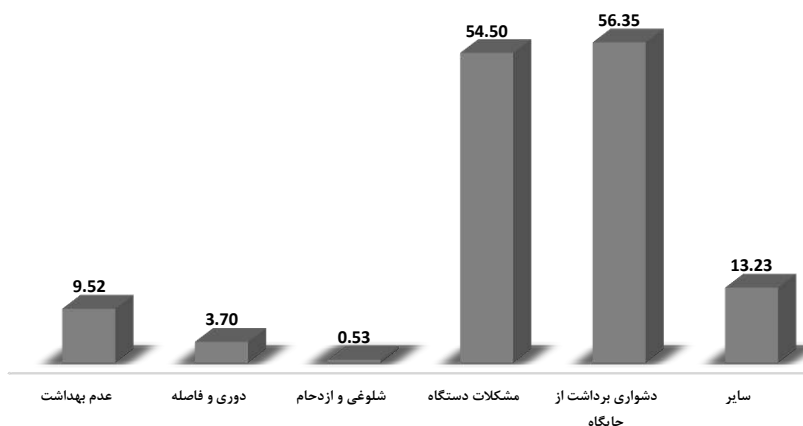
گام بعدی برای اجرایی کردن پروژه، تهیه پرسشنامه‌ای است که توانایی تعیین میزان سرانه شرب مشترکین شرکت آب و فاضلاب در شهر بجستان را داشته باشد. پرسشنامه شامل سه بخش است؛ بخش اول شامل مشخصات نویسندگان از جمله جنسیت، سن، تعداد افراد خانوار، شغل و میزان تحصیلات است. بخش دوم در ارتباط با وضعیت برداشت از جایگاه‌های برداشت کنونی شرب است. سؤالاتی در ارتباط با تعداد برداشت‌ها در هفته، نوع ظروف مورد استفاده، نوع مصرف و مشکلات برداشت آب از جایگاه‌ها است. بخش انتهایی پرسشنامه

جدول ۲- نتایج حاصل از تحلیل، مشخصات عمومی پاسخ‌دهندگان با آزمون ANOVA

مد	سطح معنی‌داری (sig)	آمار آزمون F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	نوع متغیر	
مرد	۰.۰۰/۰	۱۳	۴	۱	۴	بین گروه‌ها	جنسیت
			۰.۰۰/۰	۳۷۶	۱۲۹	درون گروه‌ها	
				۳۷۷	۱۳۴	مجموع	
سال ۴۰-۵۹	۰.۰۰/۰	۲۹۸	۳۱	۳	۹۴	بین گروه‌ها	سن
			۰.۰۰/۰	۳۷۴	۳۹	درون گروه‌ها	
				۳۷۷	۱۳۴	مجموع	
دیپلم و فوق‌دیپلم	۰.۰۰/۰	۱۳۶	۲۳	۳	۷۰	بین گروه‌ها	تحصیلات
			۰.۰۰/۰	۳۷۴	۶۳	درون گروه‌ها	
				۳۷۷	۱۳۴	مجموع	
آزاد	۰.۰۰/۰	۱۳۶	۲۳	۳	۳۰	بین گروه‌ها	شغل
			۰.۰۰/۰	۳۷۴	۱۰۳	درون گروه‌ها	
				۳۷۷	۱۳۴	مجموع	
۲-۵ نفر	۰.۰۰/۰	۱۷۹	۳۲	۲	۶۵	بین گروه‌ها	تعداد افراد خانوار
			۰.۰۰/۰	۳۷۵	۶۸	درون گروه‌ها	
				۳۷۷	۱۳۴	مجموع	

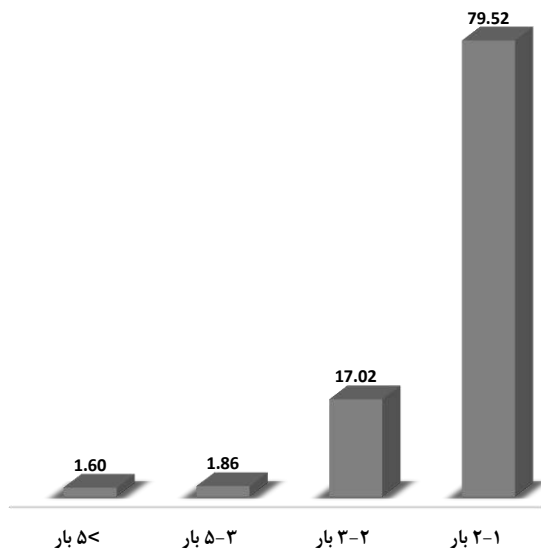
از جایگاه‌ها، شلوغی و ازدحام، مشکلات دستگاه و مشکلات برداشت از دستگاه بود (شکل ۶). اما شهروندان شکایت‌های دیگری از جایگاه‌ها داشتند؛ از جمله هدررفت آب، گل آلودگی آب، تغییرات کیفی دوره‌ای، مشکلات کار با دستگاه برای افراد بی‌سواد و وجود برخی حیوانات مانند سگ‌ها در اطراف جایگاه‌های برداشت بود.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همه موارد مقدار P از ۰/۰۵ کوچک‌تر است و فرض برابری میانگین‌ها با مشخصات فردی متفاوت پاسخگویان رد می‌شود. یعنی میزان سرانه مصرف آب شرب تحت‌تأثیر مشخصات فردی پاسخگویان مانند جنسیت، سن، میزان تحصیلات، شغل و تعداد افراد خانوار قرار دارد. در قسمت پایانی پرسشنامه، مشکلات در برداشت آب از جایگاه‌ها مطرح شد که شامل عدم رعایت بهداشت، دوری و فاصله



شکل ۶- نمودار درصد امتیازدهی به هریک از مشکلات برداشت از جایگاه‌ها

برای تعیین میزان سرانه باید تعداد برداشت‌ها در هفته و نیز فراوانی نوع گالن‌های مورد استفاده (احجام ظروف مورد استفاده) با توجه به بعد هر خانوار تعیین شود. همان‌گونه که در نمودار مشخص است بیشترین فراوانی مربوط به گالن‌های ۲۰ لیتری (شکل ۷) و اکثر برداشت‌ها به تعداد ۱-۲ بار در هفته (شکل ۸) انجام می‌گیرد.



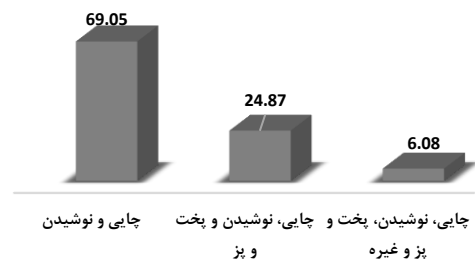
شکل ۸- نمودار درصد فراوانی برداشت‌ها در هفته

با توجه به این‌که در حدود ۶۹/۰۵ درصد از افراد برداشت کننده از جایگاه‌ها، آب تصفیه‌شده را در مصارف چای و آشامیدن مصرف می‌کنند، بنابراین باید مصرف سرانه را در روش جداسازی آب شرب و بهداشتی، به این بخش (آشامیدن و چای) بست داد (شکل ۹).



شکل ۷- نمودار درصد استفاده از ظروف با حجم متفاوت

نوع مصارف



پرسشنامه برای تعیین سرانه مصرف (تعداد دو پرسشنامه مردود شد)، مورد بررسی قرار گرفتند. سپس مقدار سرانه برای هر نفر برحسب لیتر در روز^۱ (PCD) با توجه به معادله (۲) محاسبه و نتایج به صورت جدول ۳ جمع بندی شد. مقدار سرانه براساس تعداد برداشتها در هفته^۲ (NP)، حجم آب برداشتی در هر بار برداشت^۳ (VWW) و تعداد افراد خانوار^۴ (NF) و روزهای هفته به دست آمد.

$$PCD(\frac{Lit}{day}) = \frac{NP \times VWW}{NF \times 7(days)} \quad (2)$$

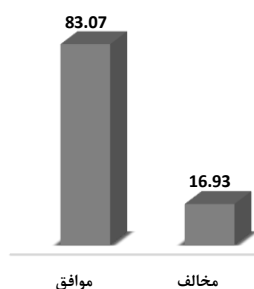
شکل ۹- نمودار درصد نوع مصارف مشترکین

به این ترتیب از تعداد ۳۷۸ پرسشنامه تکمیل شده، ۳۷۶

جدول ۳- محاسبه مقدار سرانه برحسب لیتر در روز در شعاع هر جایگاه برداشت

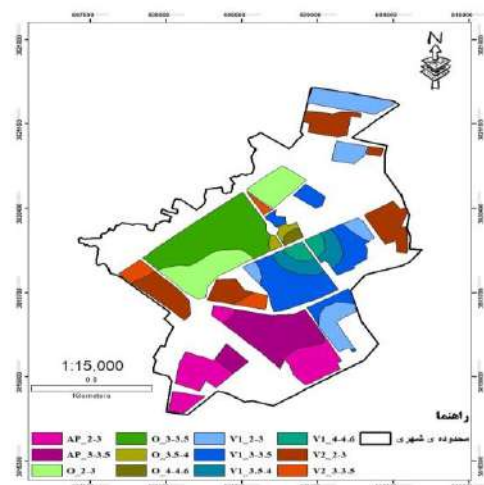
شماره ایستگاه	نام ایستگاه برداشت	مقدار سرانه (لیتر در روز)	شماره ایستگاه	نام ایستگاه برداشت	مقدار سرانه (لیتر در روز)
۱	بانک کشاورزی	۲/۴۹	۱۰	میدان آزادی	۳/۳۴
۲	شهرک شریعتی	۳/۱۰	۱۱	بلوار پاسداران	۲/۹۴
۳	حوزه علمیه	۳/۲۷	۱۲	بیمارستان	۲/۸۸
۴	سید اسماعیل	۳/۵۴	۱۳	شهرک فرهنگیان	۳/۰۴
۵	مسجد ساباط	۲/۹۳	۱۴	سه شنبه بازار	۳/۳۷
۶	دبیرستان غفورزاده	۲/۷۹	۱۵	میدان گل ها	۲/۵۴
۷	اداره آب	۲/۴۳	۱۶	آب انبار	۳/۳۲
۸	مسکن مهر	۲/۷۸	۱۷	میدان صاحب الزمانی	۳/۱۷
۹	میدان شهدا	۳/۰۱	۱۸	اداره دارائی	۳/۰۷
میانگین			۳/۰۳ لیتر		

نتایج حاصل از شکل ۱۰ نشان می دهد که پراکنش سرانه در بافت های مختلف متفاوت است و بیشترین مصرف سرانه در بافت قدیم به مقدار ۴-۴/۶ لیتر (O_4-4.6) و کمترین آن در بافت آپارتمانی با سرانه ۲-۳ لیتر (AP_2-3)، است. در انتهای پرسشنامه نیز نظرات شهروندان در ارتباط با استفاده از شبکه دوگانه آب شرب به صورت خط جداگانه شرب و بهداشتی تا منزل، به صورت سؤالی مطرح شد که پاسخ به آن دارای اهمیت است. برای پاسخ به این سؤال از آزمون دوجمله ای استفاده می شود (زمانی و جاملی، ۱۳۹۴) (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نتایج نظرسنجی شهروندان در ارتباط با شبکه دوگانه

نتایج این بخش نشان داد که سرانه مصرف آب شرب در شهر بجنستان در فراوانی سرانه ۳ لیتر از سایر احجام بالاتر است. بافت های مختلف شامل ویلایی یک طبقه (V₁)، ویلایی دوطبقه (V₂)، آپارتمانی (AP) و قدیمی (O) است. سپس پراکنش مقدار سرانه در ۴ بافت مختلف به صورت نقشه شکل ۱۰ تهیه شد، مقدار سرانه بین ۲-۴/۶ لیتر به دست آمد.



شکل ۱۰- پراکنش سرانه شرب در بافت های مختلف

مناسب ارزیابی می‌کنند.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \theta_1 = 0.83; \\ H_1: \theta_1 \neq 0.83; \end{array} \right.$$

این آزمون زمانی به کار می‌رود که نسبت خاصی در جامعه بررسی می‌شود. فرض‌های آماری صفر (H_0) و خلاف (H_1) به صورت زیر در نظر گرفته می‌شوند، به طوری که θ_1 نسبت افرادی است که کیفیت آب این جایگاه را از نظر بهداشتی

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون دوجمله‌ای شبکه دوگانه آب شرب و بهداشتی

شرح	پاسخ‌ها	تعداد	نسبت مشاهدات	نسبت	مقدار P
گروه اول	بله	۳۱۲	۸۳/۰۷	۰/۸۳	۵۸۳/۰
گروه دوم	خیر	۶۴	۱۶/۹۳		
مجموع		۳۷۶	۱۰۰		

با توجه به این که مقدار P در این آزمون بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، فرض صفر رد نمی‌شود. بنابراین نسبت افرادی که با این روش موافق‌اند، برابر ۰/۸۳ است.

۵- پیشنهادات

به طور کلی روش موجود دارای مشکلات عدیده‌ای است که باید نسبت به رفع آن اقدام نمود. روش‌های متفاوتی به منظور جایگزینی با روش کنونی وجود دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز نشان می‌دهد، بررسی بعد اجتماعی به عنوان یکی از مهم‌ترین ابعاد این پروژه، باید در سه مرحله قبل، حین و بعد از اجرا مورد ارزیابی قرار گیرد تا سبب افزایش میزان رضایتمندی و موفقیت پروژه شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Per Capita Day (PCD)
- 2- Number of Picking up (NP)
- 3- Volume of Water Withdrawn (VWW)
- 4- Number of Family (NF)

۷- مراجع

امامی، ا.، و شاکری، ا.، (۱۳۹۴)، "تأمین آب شرب به روش جداسازی از بهداشتی با رویکرد قراردادی مشارکتی"، ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند، تهران، ایران.
حیدریان، ش.، و رحیمی، م.، (۱۳۹۶)، "تدوین و سنجش معیارهای مداخله یکپارچه در ساماندهی سکونتگاه‌های غیررسمی با رویکرد حکمروایی شهری (نمونه موردی: ناحیه نایس شهر سنندج)"، نشریه مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های روستایی، ۱۲(۴)، ۹۳۳-۹۱۵.
زمانی، س.، و جاملی، غ.ر.، (۱۳۹۴)، "عوامل مؤثر بر الگوی مصرف آب و بهینه‌سازی آن در بخش خانگی مناطق روستایی

۴- بحث و نتیجه‌گیری

تعیین مصرف سرانه آب به عنوان اولین پارامتر مورد نیاز در طراحی سیستم‌های تصفیه و توزیع آب، مطرح است. برآورد و انتخاب صحیح میزان مصرف سرانه آب با توجه به تأثیر مستقیم آن بر ظرفیت تأسیسات و در نهایت هزینه‌های اجرای طرح بسیار مهم است. مطالعات انجام شده در سال ۱۳۷۱ و نیز سازمان بین‌المللی بهداشت جهانی سازمان (WHO) نشان می‌دهد که سرانه آب برای آشامیدن در کشور ایران را ۲ تا ۵ لیتر نفر در روز تعیین نموده‌اند (WHO, 2011).

مصرف سرانه خانگی آب شرب به راه کار استفاده شده در روش توزیع آب شرب وابسته است و در بیشینه ترین حالت، مصرف آب شرب خانگی شامل یخت‌وپز، آشامیدن و ظرف‌شویی است. در این تحقیق با توجه به شرایط منطقه بجنستان که برداشت و حمل آب با دشواری همراه است، بخش اصلی آن در آشامیدن مورد استفاده قرار می‌گیرد، سایر مصارف بسیار کاهش می‌یابد و تعیین سرانه براساس آن صورت می‌گیرد که به طور متوسط ۳ لیتر در روز برآورد شده است. همچنین بیشترین حجم ظرف مورد استفاده، ظروف ۲۰ لیتری است و بیشترین تعداد دفعات مراجعه به جایگاه‌ها، ۱ تا ۲ بار در هفته است که نشان از مهم بودن بعد مسافتی جایگاه تا منزل در تعداد برداشت‌ها دارد. نتایج حاصل از سرانه نیز نشان می‌دهد که مقدار سرانه در بافت‌های مختلف متفاوت است و حداکثر میزان آن در بافت قدیم ویلایی و حداقل آن در بافت آپارتمانی جدید است.

- Edition, F. (2015). *Guidelines for drinking-water quality*, WHO chronicle, 38(4), 104-108.
- Falkenmark, M., (1986), *Fresh water- time for a modified approach*, Ambio, Royal Swedish Academy of Sciences, 192-200.
- Guswa, A.J., Brauman, K.A., Brown, C., Hamel, P., Keeler, B.L., and Sayre, S.S., (2014), "Ecosystem services: Challenges and opportunities for hydrologic modeling to support decision making", *Water Resources Research*, 50(5), 4535-4544.
- Kotwicki, V., and Al-Otaibi, M., (2011), "Drinking water saving potential of dual networks in Kuwait", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(6), 743-756.
- Munia, H., Guillaume, J.H.A., Mirumachi, N., Porkka, M., Wada, Y., and Kummu, M., (2016), "Water stress in global transboundary river basins: Significance of upstream water use on downstream stress", *Environmental Research Letters*, 11(1), 014002.
- National Research Council, (2007), *Improving the nation's water security: Opportunities for research*, National Academies Press.
- Rasoulkhani, K., Mostafavi, A., Cole, J., and Sharvelle, S., (2019), "Resilience-based infrastructure planning and asset management: Study of dual and singular water distribution infrastructure performance using a simulation approach", *Sustainable Cities and Society*, 48(4), 101577, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101577>.
- Tang, S.L., (2000), "Dual water supply in Hong Kong", In: Pickford, J. (ed.), *Water, Sanitation and Hygiene - Challenges of the Millennium: Proceedings of the 26th WEDC International Conference*, Dhaka, Bangladesh, 364-366.
- International Resource Panel, United Nations Environment Programme (UNEP), Sustainable Consumption and Production Branch, (2011), *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth*, UNEP/Earthprint.
- WHO, (2011), *Guidelines for drinking-water quality*, 4th Edition, Geneva, Switzerland.



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

- (مطالعه موردی: مناطق روستایی شهرستان بوشهر)، نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱)، ۲۰۱.
- سمساریزدی، ع.ا.، بقایی پور، م.، و سمساریزدی، م.ص.، (۱۳۹۵)، "برآورد سرانه مصرف آب شرب: مطالعه موردی شهر اردکان"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۱۱(۱)، ۴-۱۰.
- شرکت آب و فاضلاب مشهد، (۱۳۹۴)، "طرح جداسازی آب شرب از بهداشتی در منطقه ثامن مشهد"، نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱)، ۸-۱۰.
- فتوحی فیروزآباد، ف.، اختصاصی، م.ر.، سفید، م.، مروتی شریفآبادی، ع.، (۱۳۹۷)، "پهنه‌بندی و مقایسه ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت چاه‌های آب آشامیدنی در محدوده شهر یزد با کاربرد زمین‌آمار"، نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۱(۱)، ۲۳۳-۲۴۰.
- گروه مهندسی آبرام، (۱۳۹۰)، "مطالعات بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، آزمایشگاه خاک، پساب"، ۲-۱.
- مجله خبری اقتصاد، (۱۳۹۳)، بیم سقوط اخبار/ایران، ۹۱.
- مرکز رشد فناوری واحدهای دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۹۰)، *مطالعات تعیین سرانه*، پردیس فنی مهندسی شهید عباسپور، تهران، ایران.
- معاونت امور آب و آبفای خراسان رضوی، (۱۳۹۵)، گزارش فنی اقتصادی طرح جداسازی آب شرب از بهداشتی شهر بجستان، گزارش: ۵۰۳۶-۴۱۰۶۶۳، ۳۲-۲، مشهد.
- مهندسين مشاور تمدن کاریزی، (۱۳۹۵)، "طرح پژوهشی بررسی اجرای مناسب‌ترین روش تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهرهای منتخب استان یزد"، ۱-۲۳، یزد.
- معاون نظارت و راهبری ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، *ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی*، نشریه ۱۱۷-۳ (بازنگری اول)، دفتر مهندسی و معیارهای فنی وزارت نیرو.
- Al-Ruwaih, F.M., and Almedej, J., (2007), "The future sustainability of water supply in Kuwait", *Water International*, 32(4), 604-17.
- Crocker, J., and Bartram, J., (2014), "Comparison and cost analysis of drinking water quality monitoring requirements versus practice in seven developing countries", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(7), 7333-7346.
- Hayes, C.R., and Skubala, N.D., (2009), "Is there still a problem with lead in drinking water in the European Union?", *Journal of Water and Health*, 7(4), 569-580.
- National Research Council, (2007), *Improving the Nation's Water Security: Opportunities for Research*, National Academies Press, Washington, DC.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Investigating the Role of Internal Marketing and Corporate Social Responsibility on the Intention to Leave the Job and the Mediating Role of Organizational Commitment in Isfahan Water and Sewerage Company

Abolfazl Khosravi^{1*}, Mehdi Fathian Najafabadi²,
Mohammad Reza Fathi³, Somayeh Razi Moheb Seraj⁴ and
Rohollah Javadi⁵

1- Assistant Professor, College of Farabi, University of Tehran, Iran.

2- Graduate of Public Administration, Payame Noor University, Khomein Center, Iran.

3- Associate Professor, College of Farabi, University of Tehran, Iran.

4- College of Farabi, University of Tehran, Iran.

5- Assistant Professor, Payame Noor University, Mahallat Center, Iran.

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

Received: 27/06/2022

Revised: 26/07/2022

Accepted: 17/08/2022

© IWWA

Abstract

This paper aims to investigate the role of internal marketing and social responsibility of the company on the intention to leave the job and the mediating role of organizational commitment in Isfahan Water and Sewerage Company. In terms of method, it is a descriptive-survey correlation with the nature of application and in terms of time it is cross-sectional. The statistical population of this study includes all employees of Isfahan Water and Sewerage Company from which 285 people were selected as the statistical sample using Cochran's formula. The research tools were four standard questionnaires for social responsibility, internal marketing, organizational commitment and intention to leave the job. To measure the validity of the questionnaires, the content method was applied. Also to determine its reliability, Cronbach's alpha was estimated which was 0.893. Data analysis was performed using Spss26 and Smart Pls3 software. Kolmogorov-Smirnov test was used to check the normality of the data and structural equation method was applied to test the hypotheses. The results showed that in Isfahan Water and Sewerage Company, social responsibility, internal marketing and organizational commitment have a significant effect on the intention to leave the job. But social responsibility and internal marketing do not affect organizational commitment; Also the results of the Sobel test showed that organizational commitment has no mediating role in the relationship between social responsibility and internal marketing with the intention to leave the job.

Keywords: Intention to leave the job, Internal marketing, Isfahan Water and Sewerage Company, Organizational commitment, Social responsibility.

بررسی نقش بازاریابی داخلی و مسئولیت پذیری اجتماعی شرکت بر قصد ترک شغل و نقش میانجی گری تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

ابوالفضل خسروی^{۱*}، مهدی فتحیان نجف آبادی^۲، محمد رضا فتحی^۳، سمیه رضی محب سراج^۴ و روح الله جوادی^۵

۱- استادیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، دانشگاه پیام نور، مرکز خمین، ایران.

۳- دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران.

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران.

۵- استادیار دانشگاه پیام نور، مرکز محلات، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

این پژوهش که با هدف بررسی نقش بازاریابی داخلی و مسئولیت پذیری اجتماعی شرکت بر قصد ترک شغل و نقش میانجی گری تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان انجام گرفته است؛ از نظر روش، توصیفی- پیمایشی از نوع همبستگی با ماهیت کاربردی و از لحاظ زمانی مقطعی است. جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه کارکنان شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان است که با استفاده از فرمول کوکران تعداد ۲۸۵ نفر به روش در دسترس به عنوان نمونه آماری انتخاب شد. ابزار اندازه گیری تحقیق، چهار پرسشنامه استاندارد برای مسئولیت اجتماعی، بازاریابی داخلی، تعهد سازمانی و قصد ترک شغل بود که برای اندازه گیری روایی پرسشنامه ها از روش محتوایی و برای تعیین پایایی آن آلفای کرونباخ محاسبه و مقدار آن برابر ۰/۸۹۳ برآورد شد. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزارهای Spss26 و Smart Pls3 انجام شد. برای بررسی نرمال بودن داده ها از آزمون کولموگوروف اسمیرنوف و برای آزمون فرضیات از روش معادلات ساختاری استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان مسئولیت اجتماعی، بازاریابی داخلی و تعهد سازمانی بر قصد ترک شغل تأثیر معنی دار دارد. ولی مسئولیت اجتماعی و بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی تأثیر ندارد. همچنین نتایج تست سوبل نشان داد که تعهد سازمانی در رابطه بین مسئولیت اجتماعی و بازاریابی داخلی با قصد ترک شغل نقش میانجی ندارد.

کلمات کلیدی: قصد ترک شغل، مسئولیت اجتماعی، بازاریابی داخلی، تعهد سازمانی، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان.

و آسایش جامعه باشد. نبود کارکنان مناسب و خوب برای ارائه کالا و خدمات سازمان، سازمان‌ها را در محیط رقابتی امروز دچار مشکلات عدیده خواهد کرد. این امر در سازمان‌های خدماتی به صورت آشکارتری دیده می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد رضایت کارکنان یک شرکت، رضایت مشتریان را در پی دارد (خدابخش گرگانی، ۱۳۸۹).

امروزه شرکت‌های پیش‌رو سعی می‌کنند که از طریق «کسب رضایت عوامل پر اهمیت برای مشتریان به بهترین نحوه ممکن» سودآوری‌شان را افزایش دهند. در سازمان‌های خدماتی عامل مهم و حیاتی برای کسب مزیت رقابتی پایدار، کارکنان شایسته و خدمت محور (سرمایه انسانی) است. مطالعات مربوط به این زمینه حاکی از آن است که مفهومی هم‌چون بازاریابی داخلی از طریق نفوذ و ایجاد انگیزه در کارکنان، رقابت‌پذیری سازمان را بهبود بخشیده و شایستگی‌ها را ارتقا می‌دهد. منطق مفهوم بازاریابی داخلی این است که برطرف کردن نیازهای مشتریان داخلی (کارکنان) می‌تواند انگیزه کارمند را برای ادامه فعالیت در سازمان ارتقا دهد؛ بنابراین به درجه بالاتری از رضایت شغلی کارمند و رفتار مشتری مدارانه وی دست یابد (ابزری و رنجبریان، ۱۳۸۸). بازاریابی داخلی کوشش سازمان برای آموزش و پاداش و به طور کلی مدیریت نیروهای انسانی برای ارائه خدمات بهتر است (Cooper and Cronin, 2000). به عبارت دیگر، بازاریابی داخلی به منزله ایجاد یک بازار داخلی در سازمان توسط کارکنان است. اعضای این بازار باید برای برآورده کردن نیازها و خواسته‌های مشتریان خارجی، آموزش ببینند، پاداش دریافت کنند و برانگیخته شوند (Doukakis and Kitchen, 2004). بازاریابی داخلی از طریق نفوذ و ایجاد انگیزه در کارکنان رقابت‌پذیری سازمان را بهبود بخشیده، شایستگی‌ها را ارتقا می‌دهد. از این طریق فرآیند نوآوری در سازمان را تقویت نموده و به عنوان یک توانمندساز فرآیند نوآوری شناخته می‌شود (Rafiq and Ahmad, 2000).

در دو دهه اخیر مفهوم تعهد سازمانی جایگاه مهمی را در تحقیقات مرتبط با رفتار سازمانی به خود اختصاص داده است. تعهد سازمانی مفهومی است که از طریق آن وابستگی افراد به سازمان تعیین می‌شود و نشان می‌دهد کارمند تا چه حد خود را با اهداف سازمانی تطبیق داده، عضویت در آن سازمان را ارزشمند می‌داند و مایل است با تمام توان برای نیل به اهداف کلی سازمان تلاش نماید. از این منظر تعهد با صرف پیوستن و با عضویت در سازمان متفاوت است، چرا که تعهد سازمانی مستلزم ایجاد رابطه‌ای فعال بین کارمند و سازمان است به گونه‌ای که کارمند با

نظام‌های نوین مدیریت، منابع انسانی را مهم‌ترین دارایی سازمان به‌شمار می‌آورند و ارج نهادن به ارزش‌ها و نیازهای کارکنان را مؤثرترین گام در راه تحقق اهداف سازمان می‌دانند. ترک شغل کارکنان به اشکال مختلفی پویایی نیروی کار و سرنوشت نهایی یک سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اهمیت این موضوع به لحاظ ابعاد روان شناختی، اهمیت سازمانی و پیامدهای اقتصادی آن است. در مطالعه (Stall worth 2004) ترک شغل برای سازمان‌ها هزینه‌های بسیار زیادی به همراه دارد. چرا که اغلب سازمان‌ها به میزان زیادی برای دستیابی به نیروی انسانی کارآمد و مؤثر در حوزه‌های گزینش، آموزش و رشد و گسترش نیروهای انسانی سرمایه‌گذاری می‌کنند و حفظ کارکنان ماهر و واجد صلاحیت برای یک سازمان بسیار حائز اهمیت است. بر این اساس نظام‌های نوین مدیریت، منابع انسانی را مهم‌ترین دارایی سازمان به‌شمار می‌آورند و ارج نهادن به ارزش‌ها و نیازهای کارکنان را مؤثرترین گام در راه تحقق اهداف سازمان می‌دانند (Cho and Lewis, 2012). چنین واقعیتی در مسیری مخالف با مفاهیمی چون پاسخگویی اجتماعی شرکت، بازاریابی داخلی و تعهد سازمانی قرار داشته و توانایی‌ها و قابلیت‌ها سازمان‌ها و شرکت‌های خدماتی را برای رقابت در عرصه‌های رقابتی کاهش می‌دهد. ضمن آن‌که تمامی این مفاهیم با یکدیگر مرتبط بوده و می‌توانند بر یکدیگر تأثیرگذار باشند.

از طرفی متفکران رشته مدیریت از دهه ۱۹۵۰، توجه خود را بیشتر به مسئولیت اجتماعی معطوف کرده‌اند. تمام سازمان‌هایی که فقط سود و زیان خود را وزن می‌کنند، تحت فشار مردم و سازمان‌های مشابه، دید خود را اندکی به فراتر از منافع صرف سازمان اندوختند. دیگر به وضوح مشخص است که اعمال سازمان‌ها بر محیط بیرونی تأثیر به‌سزایی خواهد داشت و نمی‌توان سود و زیان ناشی از سازمان‌ها بر جامعه را نادیده گرفت. جهت مسئولیت اجتماعی به سمتی است که فواید اجتماع در آن امتداد است. لذا تلاش بر این بوده است که سود و زیان‌ها به گونه‌ای باشد که مردم هزینه اضافی متحمل نشوند. منظور از مسئولیت اجتماعی این است که سازمان‌ها تأثیر عمده‌ای بر سیستم اجتماعی دارند و لذا چگونگی فعالیت آن‌ها باید به گونه‌ای باشد که در اثر آن زیانی به جامعه نرسد و در صورت رسیدن زیان، سازمان‌های مربوط ملزم به جبران آن باشند. به عبارت دیگر، سازمان‌ها نباید خود را مستقل از محیط بیرونی و اجتماع بدانند و باید اهداف و فعالیت‌های آن‌ها در راستای آرمان اجتماعی و رفاه

تمایل باطنی، فراتر از رفتارهای از پیش تعیین شده، می‌خواهد با ایفای نقش فعال‌تر به تحقق اهداف سازمان کمک کند. تعهد سازمانی اثر چشمگیر و منحصر به فردی بر عملکرد کلی کارکنان دارد. کارکنان با تعهد سازمانی بالاتر، از رضایت شغلی بیشتری برخوردار هستند و در نتیجه ترک خدمت در این افراد کمتر می‌شود (سجادی و همکاران، ۱۳۸۸).

از مسائل مهم دیگر در صنعت آب و فاضلاب عدم نظارت صحیح بر حسن اجرای کار در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور است. یکی از عوامل مهمی که منجر به کاهش بهره‌وری و عملکرد شرکت‌ها در صنعت آب و فاضلاب به‌خصوص در فعالیتهای بهره‌برداری و خدماتی شده است، عدم وجود فهرست بها برای اجرای کار بوده و این امر مدیریت آن‌ها را نیز دچار چالش نموده است. براساس سند استراتژیک صنعت آب و فاضلاب استان اصفهان، عدم به‌کارگیری درست قابلیت‌های سازمانی در پیشبرد فعالیت‌ها در راستای ارتقا سطح کیفیت خدمات و عملکرد شرکت یکی دیگر از مسائلی است که باید به‌طور کامل مدنظر قرار گیرد. پایین بودن عوامل تحقق منفعت نظیر شناسایی و به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین صنعت با ملحوظ داشتن و فراهم بودن زیرساخت‌ها و بسترهای لازم برای این امر و زمان و طول عمر تکنولوژی از مرحله شناسایی، به‌کارگیری، ارتقا و منسوخ شدن آن که این مهم قسمت عمده‌ای از هزینه‌ها را شامل می‌شود (شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، ۱۳۹۱). در صنعت آب و فاضلاب در عمل روندهای روشنی از عملکرد عملیاتی که برای درک قابلیت‌ها و ظرفیت‌های بالقوه و بالفعل باید مورد توجه و تجزیه و تحلیل قرار گیرد تا زمینه‌های توسعه مورد نیاز برای دستیابی به اهداف فراهم شود وجود ندارد. بنابراین تعریف شاخص‌های اندازه‌گیری این عملیات نیز با اشکالاتی مواجه می‌شود (نظیر هدررفت آب، انرژی، فرسودگی تاسیسات، دارایی‌های مؤثر و غیره) (شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، ۱۳۹۱).

با توجه به مسائل بیان شده در فوق محقق به دنبال خلق مدلی است که بتوان از طریق آن برخی از مسائل بیان شده را مرتفع نموده و مسیر روشنی را برای دستیابی به اهداف ترسیم کرد، به‌گونه‌ای که با تعریف و در میان گذاشتن یک هدف بنیادین که مبنایی را برای چشم انداز، ارزش‌ها، اخلاقیات و رفتار سازمانی فراگیر فراهم می‌کند، مورد پژوهش و تحقیق قرار دهد. همچنین در پی آن است که مفاهیم پایداری را در استراتژی محوری، زنجیره ارزش و طراحی فرآیندها خود یکپارچگی را فراهم آورد تا بتواند ضمن خلق آینده‌ای پایدار، زمینه‌های لازم را از طریق

توسعه قابلیت‌های سازمانی، رهبری با دوراندیشی، الهام‌بخشی و درستی، مدیریت با چابکی، استفاده از استعداد کارکنان، هدایت خلاقیت و نوآوری و پایدارسازی نتایج برجسته، برای ارزش افزایی ذی‌نفعان از جمله مشترکین را فراهم آورد. لذا سازمان آب و فاضلاب اصفهان باید به‌دنبال راه‌های جدیدی برای جذب کارکنان متعهد باشد و در نتیجه مجبور است که فعالیت‌های بازاریابی داخلی خود را به‌سمت یک هدف مشترک یعنی توسعه، نگهداری و تعمیق روابط با کارکنان قابل اعتماد و وفادار، هدایت کند. بر این اساس سوال اصلی تحقیق حاضر را می‌توان به‌این صورت بیان نمود که آیا مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت و بازاریابی داخلی با میانجی‌گیری تعهد سازمانی بر قصد ترک شغل کارکنان تاثیر دارد؟

نتایج پژوهش عابدی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که عوامل پنج‌گانه بازاریابی داخلی شامل عوامل انگیزش مادی، عوامل انگیزش غیرمادی، ابزار و تجهیزات کاری، عوامل محیطی و تجربه و تحصیلات، تأثیر مثبت و معناداری بر روی ارتقای تعهد سازمانی دارند. لذا پیشنهاد می‌شود مدیران با گرایش به بازاریابی داخلی، زمینه ارتقای تعهد سازمانی کارکنان را فراهم آورند. احمری نژاد و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که بازاریابی داخلی، پاداش و محیط کار ایمن بر تعهد سازمانی تاثیر داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد توجه به پیش‌نیاز و شرایط لازم برای فراهم آوردن بستری مناسب برای گسترش بازاریابی داخلی و جلب مشارکت کارکنان برای ایجاد تعهد سازمانی در کارکنان امری ضروری است. در تحقیق کریمی و همکاران (۱۳۹۵) داده‌های گردآوری شده با استفاده از تکنیک چندمتغیره مدل‌سازی معادلات ساختاری تجزیه و تحلیل شد. یافته‌های تحقیق نشان داد بازاریابی داخلی بر عملکرد سازمانی تأثیر مثبت و معناداری دارد. همچنین، متغیر جنسیت در رابطه بین بازاریابی داخلی و عملکرد سازمانی اثر تعدیل‌گری دارد؛ به نحوی که این رابطه برای استادان مرد غیر معنادار، ولی برای استادان زن، مثبت و معنادار بود.

جمشیدیان (۱۳۹۵) تحقیقی را با هدف بررسی تاثیر بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی، رفتار شهروندی سازمانی و بازارگرایی انجام دادند. یافته‌های این پژوهش حاکی از تاثیر مثبت بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی، رفتار شهروندی سازمانی و بازار گرایی است. تعهد سازمانی و رفتار شهروندی سازمانی دارای تاثیر بر رفتار گرایی است. همچنین تعهد سازمانی دارای تاثیر مثبت بر رفتار شهروندی سازمانی است. نتایج تحقیق Boudlaie and Kenarroodi (2020) نشان داد که مسئولیت‌پذیری اجتماعی و بازاریابی داخلی تاثیر مثبت و معناداری بر تعهد سازمانی دارند و

۲- مواد و روش ها

پژوهش حاضر از نظر ماهیت و روش، پژوهشی توصیفی پیمایشی است. جامعه آماری منتخب برای این تحقیق، کارکنان شرکت آب و فاضلاب شهر اصفهان (۱۱۰۰ نفر) است. حجم نمونه آماری به روش تصادفی ساده و براساس فرمول کوکران، ۲۸۵ نفر تعیین شد. برای جمع‌آوری داده‌ها از سه پرسشنامه استاندارد برای متغیرهای پاسخگویی اجتماعی شرکت، بازاریابی داخلی، تعهد سازمانی و قصد ترک شغل استفاده شده است. برای بررسی پایایی پرسشنامه از آلفای کرونباخ استفاده شد. ضریب آلفای کرونباخ کل پرسشنامه برابر ۰/۸۹۳ است. هم‌چنین تمامی متغیرهای تحت بررسی در این پژوهش ضریب آلفای بالاتر از ۰/۷۰ داشته و به‌صورت معنادار سنجیده شده است. لذا پرسشنامه از پایایی قابل‌قبولی برخوردار است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از روش معادلات ساختاری و نرم‌افزار SPSS 26 و Smart PLS 3 استفاده شده است. در جدول ۱ آماره‌های آزمون کولموگروف اسمیرنوف ارائه شده است.

جدول ۱- آماره‌های آزمون کولموگروف اسمیرنوف

متغیرهای مورد مطالعه	آماره ks	مقدار p
مسئولیت‌پذیری اجتماعی	۰/۱۶۹	۰
بازاریابی داخلی	۰/۱۵۸	۰
تعهد سازمانی	۰/۱۱۸	۰
ترک شغل	۰/۱۰۵	۰

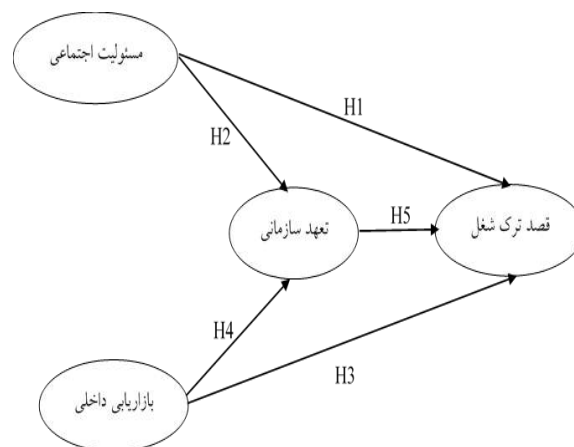
۳- نتایج و بحث

بسیاری از آزمون‌های آماری بر مبنای نرمال‌بودن توزیع داده‌ها بنا شده‌اند و با این پیش‌فرض به‌کار می‌روند که توزیع داده‌ها در یک جامعه یا در سطح نمونه‌های انتخاب شده از جامعه مذکور از توزیع نرمال پیروی نماید. بنابراین تحلیل‌گر لازم است تا قبل از پرداختن به تحلیل‌های آماری بررسی متغیرها نوع توزیع آن متغیرها را مشخص نماید. از این‌رو می‌توان با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف به این مهم دست یافت. با توجه به نتایج تحلیل فوق و با توجه به مقدار P که در همه متغیرها کوچکتر از ۰/۰۵ است، فرض صفر رد می‌شود یعنی داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند.

اولین عاملی که در ارزیابی مدل، باید مورد توجه قرارگیرد، تک بعدی بودن شاخص‌های مدل است. بدین معنی که هر شاخص در مجموع شاخص‌ها، باید با یک مقدار بار عاملی بزرگ،

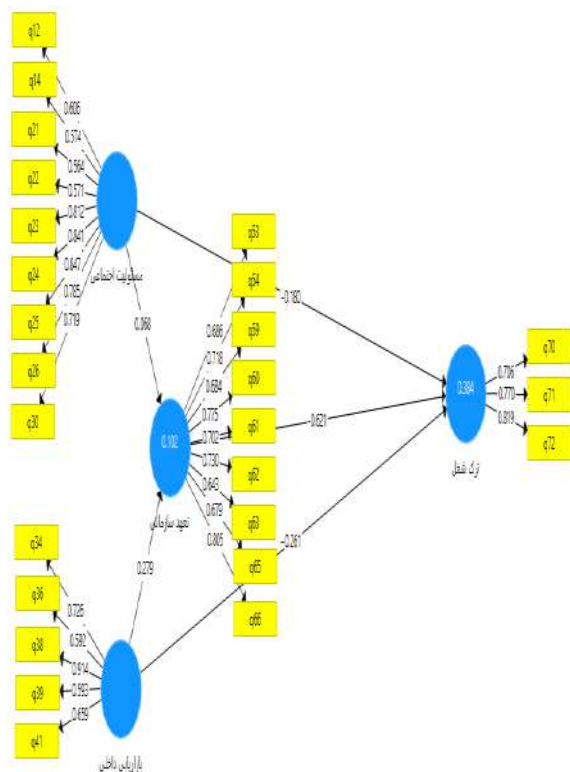
تعهد سازمانی تاثیر منفی قابل‌توجهی بر مقاصد گردش کارکنان دارد. هم‌چنین تعهد سازمانی به‌طور کامل واسطه تاثیر منفی مسئولیت‌پذیری اجتماعی و بازاریابی داخلی بر مقاصد گردش کارکنان است. نتایج تحقیق (Tsai (2014 که با استفاده از روش معادلات ساختاری انجام شد، نشان داد که بازاریابی داخلی تاثیر مثبت و معنی‌داری بر تعهد سازمانی کارکنان بیمارستان‌های تایوان داشته است. (Narteh (2012 نشان داد که بازاریابی داخلی در بانک‌های غنا تاثیر مثبتی بر تعهد کارکنان آن داشته است. او به مدیران بانک‌ها توصیه نمود تا برای افزایش تعهد کارکنان، اقداماتی را انجام دهند تا در سازمان فواید مستقیم بیشتری به کارکنان ارائه شود. (Awwad and Agti (2011 نشان داد که بازاریابی داخلی، تعهد سازمانی و رفتار شهروندی سازمانی اثر مثبتی بر بانک‌های بازارگرای اردن دارد. هم‌چنین تعهد سازمانی رابطه معناداری با رفتار شهروندی سازمانی دارد.

پس از بررسی مدل‌های پیشین، با تأکید بر چارچوب نظری، ارتباط منطقی بین متغیرهای تحقیق استخراج و در نهایت با استفاده از آن‌ها مدل مفهومی پژوهش مطابق شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش (محقق ساخته)

در این شکل قصد ترک شغل، متغیر وابسته، مسئولیت اجتماعی و بازاریابی داخلی، متغیر مستقل و تعهد سازمانی، متغیر میانجی است. هم‌چنین فرض شده است H_1 : مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر قصد ترک شغل، H_2 : مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر تعهد سازمانی، H_3 : بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل، H_4 : بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی، H_5 : تعهد سازمانی بر قصد ترک شغل، H_6 : مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر قصد ترک شغل با نقش میانجی تعهد سازمانی و H_7 : بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل با نقش میانجی تعهد سازمانی، در شرکت آب و فاضلاب شهر اصفهان به‌طور معنی‌داری تاثیر دارند.

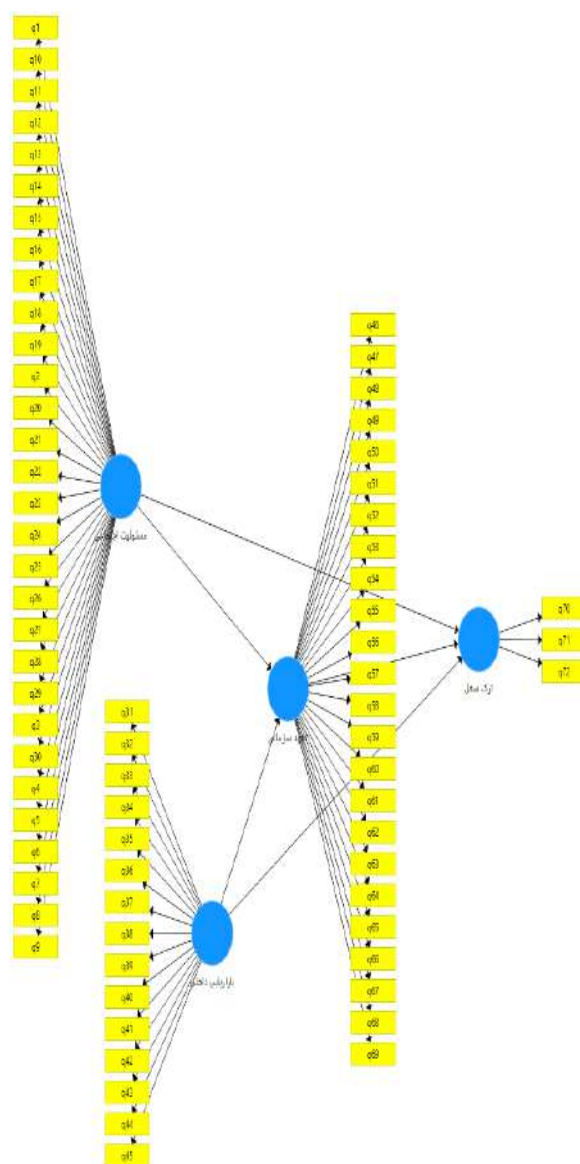


شکل ۳- ضرایب بارهای عاملی

عامل دیگر در ارزیابی قابلیت اطمینان، ضریب سازگاری مدل است. مقدار این ضریب، از ۰ تا ۱۰ متغیر است که مقادیر بالاتر از ۰/۷ پذیرفته و مقادیر کمتر از ۰/۶ نامطلوب ارزیابی می‌شود. آزمون مدل بیرونی (مدل اندازه‌گیری): آزمون مدل بیرونی شامل بررسی پایایی و روایی سازه‌ها و ابزار پژوهش است (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳).

از آنجایی که معیار آلفای کرونباخ یک معیار سنتی برای تعیین پایایی سازه‌ها است، روش PLS معیار مدرن‌تری نسبت به آلفا، به نام پایایی ترکیبی به کار می‌برد. این معیار توسط Werts et al. (1974) معرفی شد و برتری آن نسبت به آلفای کرونباخ در این است که پایایی سازه‌ها نه به صورت مطلق، بلکه با توجه به همبستگی سازه‌هایشان با یکدیگر محاسبه می‌شود. در نتیجه برای سنجش بهتر پایایی در روش PLS، هر دو این معیارها به کار برده می‌شوند. برخی محققین معیار ترکیبی (CR) را با Rho معرفی می‌کنند (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳). در صورتی که مقدار CR برای هر سازه بالای ۰/۷ شود، نشان از پایداری درونی مناسب برای مدل‌های اندازه‌گیری دارد و مقدار کمتر از ۰/۶ عدم وجود پایایی را نشان می‌دهد (Nunnally and Bernstein, 1994). پس از محاسبه مقادیر CR مربوط به متغیرهای پژوهش، جدول مقادیر مربوط به پایایی ترکیبی، به صورت جدول ۲ تکمیل می‌شود.

تنها به یک متغیر نهفته، بارگذاری شود. بدین منظور باید مقدار بار عاملی بزرگتر از ۰/۴ باشد. لازم به ذکر است که مقدار بار عاملی کوچکتر از ۰/۴ کوچک محسوب شده و باید از مجموعه شاخص‌ها حذف شود. این امر به صورت دستی با حذف شاخص‌هایی که دارای بار عاملی کمتر از ۰/۴ هستند، انجام می‌شود (Gefen and Straub, 2005). پس از محاسبه ضرایب بار عاملی گویه‌ها و حذف گویه‌هایی که ضریب بار عاملی آن کمتر از ۰/۴ بود، مقادیر شکل ۲ برای ضرایب عاملی محاسبه شد. پس از محاسبه ضرایب بار عاملی گویه‌ها و حذف گویه‌هایی که ضریب بار عاملی آن کمتر از ۰/۴ بود، مقادیر شکل ۳ برای ضرایب عاملی محاسبه شد. براساس نتایج این شکل، مقادیر بارهای عاملی گویه‌هایی که کمتر از ۰/۴ بود از مدل حذف شد و مدل نهایی به دست آمد.



شکل ۲- مدل اولیه معادلات ساختاری

زیرین هر سلول بیشتر است و بنابراین مدل روایی واگرایی قابل قبولی دارد.

جدول ۴- مقادیر فورنل لارکر

مسئولیت اجتماعی	تعهد سازمانی	ترک شغل	بازاریابی داخلی	
			۰/۷۱۸	بازاریابی داخلی
		۰/۷۱۲	۰/۶۶۲	ترک شغل
	۰/۷۴۴	۰/۵۰۵	۰/۵۰۸	تعهد سازمانی
۰/۸۴۵	۰/۴۱۳	۰/۵	۰/۵۱۷	مسئولیت اجتماعی

جدول ۵- مقادیر ضرایب تعیین

مقدار R^2 تعدیل شده	مقدار R^2	
۰/۳۶۵	۰/۳۸۴	ترک شغل
۰/۳۸۳	۰/۴۰۲	تعهد سازمانی
۰/۳۹۳		میانگین R^2

R^2 معیاری است که برای متصل کردن بخش اندازه گیری و بخش ساختاری مدل سازی معادلات ساختاری به کار می رود و نشان از تأثیری دارد که یک متغیر برونزا بر یک متغیر درونزا می گذارد. نکته ضروری در اینجا است که مقدار R^2 تنها برای سازه های درونزای مدل محاسبه می شود و در مورد سازه های برونزا مقدار این معیار صفر است (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳). مقدار این ضریب نیز از ۰ تا ۱ متغیر است که مقادیر بزرگتر، مطلوب تر است. Chin (1998) مقادیر نزدیک به ۰/۶۷ را مطلوب، نزدیک به ۰/۳۳ را معمولی و نزدیک به ۰/۱۹ را ضعیف ارزیابی می نماید. مقادیر به دست آمده برای R^2 حاکی از برآزش معمولی مدل ساختاری است.

اگر در یک مدل، روابط بین سازه ها به درستی تعریف شده باشند، سازه ها قادر خواهند بود تا تأثیر کافی بر شاخص های یکدیگر گذاشته و از این راه فرضیه ها به درستی تأیید شوند. در صورتی که مقدار Q^2 در مورد یک سازه درونزا صفر یا کمتر از صفر شود، نشان از آن دارد که روابط بین سازه های دیگر مدل و آن سازه درونزا به خوبی تبیین نشده است و در نتیجه مدل نیاز به اصلاح دارد. (Henseler et al. (2009 در مورد شدت قدرت پیش بینی مدل در مورد سازه های درونزا، سه مقدار ۰/۱۵، ۰/۳۵ و ۰/۳۵ را تعیین نموده اند. به اعتقاد آن ها اگر مقدار Q^2 در مورد یک سازه درونزا در محدوده نزدیک به ۰/۰۲ باشد، نشان از آن دارد که مدل قدرت پیش بینی ضعیفی در قبال شاخه های آن سازه دارد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳). با توجه به این که مقادیر

جدول ۲- مقادیر مربوط به پایایی شاخص

پایایی ترکیبی	rho_A	آلفای کرونباخ	
۰/۸۰۸	۰/۷۴۷	۰/۷	بازاریابی داخلی
۰/۷۸۳	۰/۷۷۹	۰/۷۴۶	ترک شغل
۰/۸۳۱	۰/۷۲۹	۰/۷۳	تعهد سازمانی
۰/۹۰۸	۰/۸۸۶	۰/۸۶۷	مسئولیت اجتماعی

Fornell and Larcker (1981) معیار "میانگین واریانس استخراج شده" را برای سنجش روایی همگرا معرفی کرده و اظهار داشتند که در مورد این شاخص، مقدار بحرانی عدد ۰/۵ است. بدین معنی که مقدار AVE بالای ۰/۵ روایی همگرای قابل قبول را نشان می دهد. روش محاسبه مقدار AVE برای متغیرهای پژوهش به صورت زیر است (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳). پس از محاسبه مقادیر AVE مربوط به متغیرهای پژوهش، مقادیر مربوط به روایی همگرا، مطابق جدول ۳ تکمیل می شود. از آنجایی که مقادیر AVE بزرگتر از ۰/۵ است، روایی همگرایی قابل قبول است.

جدول ۳- مقادیر مربوط به روایی همگرا

روایی همگرا (AVE)	
۰/۵۱۵	بازاریابی داخلی
۰/۵۰۷	ترک شغل
۰/۵۵۳	تعهد سازمانی
۰/۷۱۳	مسئولیت اجتماعی

معیار مهم دیگری که با روایی واگرا مشخص می شود، میزان رابطه یک سازه با شاخص های در مقایسه رابطه آن سازه با سایر سازه ها است. به طوری که روایی واگرایی قابل قبول یک مدل حاکی از آن است که یک سازه در مدل تعامل بیشتری با شاخص های خود دارد تا با سازه های دیگر. (Fornell and Larcker (1981 بیان کردند که: روایی واگرا وقتی در سطح قابل قبول است که میزان AVE برای هر سازه بیشتر از واریانس اشتراکی بین آن سازه و سازه های دیگر (یعنی مربع مقدار ضرایب همبستگی بین سازه ها) در مدل باشد. در PLS بررسی این امر به وسیله یک ماتریس صورت می پذیرد. خانه های این ماتریس حاوی مقادیر ضرایب همبستگی بین سازه ها و جذر مقادیر AVE مربوط به هر سازه است. این مدل در صورتی روایی واگرایی قابل قبول دارد که اعداد مندرج در قطر اصلی از مقادیر زیرین خود بیشتر باشد. با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول ۴ ملاحظه می شود که مقادیر جذر AVE که بر روی قطر اصلی ماتریس وجود دارد از مقادیر

براساس رابطه (۱) محاسبه می شود:

$$GOF = \sqrt{(communality) \times (R\ square)} \quad (1)$$

که Communalities: مقادیر اشتراکی است که از میانگین مجذور بارهای عاملی هر متغیر به دست می آید و R square: میانگین مقادیر متغیرهای درون زای مدل هستند. مقادیر معیار Red و GOF در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷- مقادیر معیار Red و GOF

مقدار Red	
۰/۱۷۳	ترک شغل
۰/۱۴۴	تعهد سازمانی
۰/۱۵۸	میانگین Red
مقدار GOF	
۰/۳۹۷	متغیرها

مطابق جدول ۷، میزان تاثیر تغییرپذیری متغیرها در حدود ۱۶٪ بود. همچنین حاصل شدن مقدار GOF برابر ۰/۳۹۷ نشان دهنده برازش قوی مدل کلی بود، چون مقدار GOF محاسبه شده بزرگتر از ۰/۳۶ است.

ابتدایی ترین معیار برای سنجش رابطه ی بین سازه ها در مدل (بخش ساختاری)، اعداد معناداری t است. در صورتی که مقدار این عدد از ۱/۹۶ بیشتر شود، نشان از صحت رابطه بین سازه ها و در نتیجه تأیید فرضیه های پژوهش در سطح اطمینان ۰/۹۵ است.

جدول ۸- مقادیر آزمون آماری t مربوط به مدل مفهومی تحقیق

نتیجه	p-value	آماره t	انحراف معیار (STDEV)	
قبول	۰/۰۲۸	۲/۲۰۵	۰/۱۱۸	بازاریابی داخلی -> ترک شغل
رد	۰/۲۴۴	۱/۱۶۷	۰/۲۴۰	بازاریابی داخلی -> تعهد سازمانی
قبول	۰	۷/۵۴۴	۰/۰۸۲	تعهد سازمانی -> ترک شغل
قبول	۰/۰۲۳	۲/۲۷۶	۰/۱۴۱	مسئولیت اجتماعی -> ترک شغل
رد	۰/۶۰۵	۰/۵۱۸	۰/۱۳۱	مسئولیت اجتماعی -> تعهد سازمانی

مقدار آماره t برای تاثیر مسئولیت اجتماعی شرکت بر قصد ترک شغل برابر ۲/۲۷۶ و مقدار p-value برابر ۰/۰۲۳ است. با توجه به این که آماره t بزرگتر از ۱/۹۶ و مقادیر p-value کوچکتر از ۰/۰۵ است. بنابراین مسئولیت اجتماعی شرکت بر قصد ترک شغل به طور معنی داری تاثیر دارد. از طرفی مقدار بار عاملی مربوطه برابر ۰/۱۸- است که با توجه به منفی بودن آن رابطه دو متغیر مسئولیت اجتماعی شرکت و قصد ترک شغل معکوس است.

Q² مربوطه بزرگتر از ۰/۱۵ است، قدرت پیش بینی مدل معمولی است. بنابراین در کل، مدل به خوبی از عهده پیش بینی مقادیر مربوطه برآمده است. جدول ۶ مقادیر Q² را نشان می دهد.

جدول ۶- مقادیر Q²

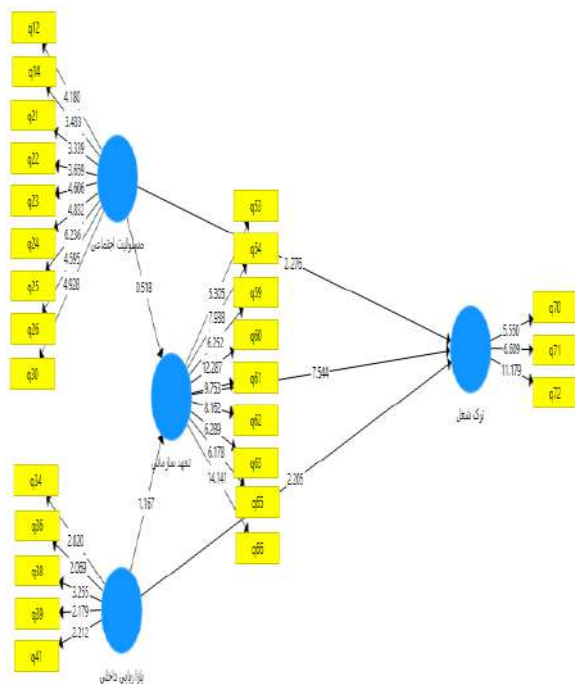
Q ² (=1-SSE/SSO)	SSE	SSO	
۰/۲۶۵	۳۶۳/۸۷۶	۴۹۵	بازاریابی داخلی
۰/۱۹۷	۲۳۸/۳۵۵	۲۹۷	ترک شغل
۰/۳۵۵	۵۷۵/۰۵۳	۸۹۱	تعهد سازمانی
۰/۳۶۳	۵۶۷/۶۵۵	۸۹۱	مسئولیت اجتماعی

مقدار مقادیر اشتراکی مربوط به هر شاخص از طریق میانگین مرتبه دوم رابطه بین آن شاخص و سازه مربوط به خود که همان بارهای عاملی هستند حاصل می شود. معیار Redundancy که با Red نمایش داده شده است نشانگر مقدار تغییرپذیری شاخص های یک سازه درون زا است که از یک یا چند سازه برونزا تاثیر می پذیرد و از حاصل ضرب مقادیر اشتراکی یک سازه درونزا در مقدار R² مربوط به آن به دست می آید. هرچه میزان میانگین Red بیشتر باشد، نشان از برازش مناسب تر بخش ساختاری مدل در یک پژوهش است (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳).

مدل کلی شامل هر دو بخش مدل اندازه گیری و ساختاری می شود و با تایید برازش آن، بررسی برازش در یک مدل کامل می شود و تنها یک معیار به نام شاخص نیکویی برازش (GOF)^۱ دارد. مقادیر ۰/۰۱، ۰/۲۵، ۰/۳۶ به ترتیب ضعیف، متوسط و قوی توصیف شده است (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳). مقدار GOF

براساس مقادیر آماره t و p-value در جدول ۸، فرضیات مربوط به مقادیر آماره t بزرگتر از ۱/۹۶ و مقادیر p-value کوچکتر از ۰/۰۵، مورد قبول واقع می شود، ولی برای فرضیه هایی که آماره t کوچکتر از ۱/۹۶ و مقادیر p-value بزرگتر از ۰/۰۵ از نظر آماری رد می شود. بنابراین:

فرضیه اول: مسئولیت پذیری اجتماعی بر قصد ترک شغل در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به طور معنی دار تاثیر دارد.



شکل ۴- ضرایب معنی‌داری مدل ساختاری

به‌منظور بررسی معناداری تأثیر میانجی یک متغیر در رابطه بین دو متغیر دیگر در این مطالعه، از آزمون سوبل استفاده شد. در این آزمون یک مقدار Z-value به‌دست می‌آید. در صورت بیشتر شدن این مقدار از ۱/۹۶ می‌توان در سطح اطمینان ۹۵ درصد معناداری تأثیر میانجی یک متغیر را تأیید نمود. همچنین برای تعیین شدت اثر غیرمستقیم از طریق متغیر میانجی، از آماره‌ای به نام VAF^2 استفاده می‌شود که مقداری بین ۰ و ۱ را اختیار می‌کند. هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان از قوی‌تر بودن تأثیر متغیر میانجی دارد (ابراهیم پورازبری و همکاران، ۱۳۹۴).

فرضیه ششم: مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر قصد ترک شغل با نقش میانجی تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب شهر اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. با توجه به این‌که این مقدار کمتر از ۱/۹۶ است، بنابراین در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأثیر متغیر تعهد سازمانی در رابطه میان مسئولیت‌پذیری اجتماعی و قصد ترک شغل معنی‌دار نیست. همچنین با توجه به مقادیر آماره مربوط به VAF مربوط به متغیر میانجی تعهد سازمانی در رابطه مسئولیت‌پذیری اجتماعی و قصد ترک شغل می‌توان نتیجه گرفت که ۱۹ درصد از اثر کل قصد ترک شغل، به‌صورت غیرمستقیم توسط متغیر میانجی تعهد سازمانی تبیین می‌شود.

فرضیه هفتم: بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل با نقش میانجی تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب شهر اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. با توجه به این‌که این مقدار کمتر از

یعنی با افزایش مسئولیت اجتماعی شرکت، قصد ترک شغل کارکنان کمتر می‌شود.

فرضیه دوم: مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. مقدار آماره t برای تأثیر مسئولیت اجتماعی بر تعهد سازمانی برابر ۰/۵۱۸ و مقدار p-value برابر ۰/۶۰۵ است. با توجه به این‌که آماره t کوچکتر از ۱/۹۶ و مقادیر p-value بزرگتر از ۰/۰۵ است، بنابراین مسئولیت اجتماعی بر تعهد سازمانی تأثیر ندارد.

فرضیه سوم: بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. مقدار آماره t برای تأثیر بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل برابر ۲/۲۰۵ و مقدار p-value برابر ۰/۰۲۸ است. با توجه به این‌که آماره t بزرگتر از ۱/۹۶ و مقادیر p-value کوچکتر از ۰/۰۵ است، بنابراین بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. از طرفی مقدار بارعاملی مربوطه برابر ۰/۲۶۱- است که با توجه به منفی بودن آن، رابطه دو متغیر بازاریابی داخلی و قصد ترک شغل معکوس است. یعنی با افزایش بازاریابی داخلی، قصد ترک شغل کارکنان کم‌تر می‌شود.

فرضیه چهارم: بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. مقدار آماره t برای تأثیر بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی برابر ۱/۱۶۷ و مقدار p-value برابر ۰/۲۴۴ است. با توجه به این‌که آماره t کوچکتر از ۱/۹۶ و مقادیر p-value بزرگتر از ۰/۰۵ است، بنابراین بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی تأثیر ندارد.

فرضیه پنجم: تعهد سازمانی بر قصد ترک شغل در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. مقدار آماره t برای تأثیر تعهد سازمانی بر قصد ترک شغل برابر ۷/۵۴۴ و مقدار p-value برابر صفر است. با توجه به این‌که آماره t بزرگتر از ۱/۹۶ و مقادیر p-value کوچکتر از ۰/۰۵ است، بنابراین تعهد سازمانی بر قصد ترک شغل به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. از طرفی مقدار بارعاملی مربوطه برابر ۰/۶۲۱- است که با توجه به منفی بودن آن، رابطه دو متغیر تعهد سازمانی و قصد ترک شغل معکوس است. یعنی با افزایش تعهد سازمانی، قصد ترک شغل کارکنان کمتر می‌شود.

شکل ۴ ضرایب معنی‌داری مدل ساختاری را نشان می‌دهد.

آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری صورت‌گرفته در این تحقیق نشان داد که بازاریابی داخلی تأثیر معنی‌داری بر تعهد سازمانی نداشته است. این نتیجه با نتایج تحقیقات Kim et al. (2016) و بصیرت و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد.

فرضیه پنجم: تعهد سازمانی بر قصد ترک شغل در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری صورت‌گرفته نشان داد که همبستگی متغیرهای تعهد سازمانی و قصد ترک شغل معنادار نیست. این نتیجه با نتایج تحقیقات Kim et al. (2016) و ودادی و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت ندارد.

فرضیه ششم: مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر قصد ترک شغل با نقش میانجی تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. نتایج مربوط به آزمون سوبل نشان داد که مقدار Z-value برابر ۰/۵۱۳- است. با توجه به این که این مقدار کمتر از ۱/۹۶ است، بنابراین در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأثیر متغیر تعهد سازمانی در رابطه میان مسئولیت‌پذیری اجتماعی و قصد ترک شغل معنی‌دار نیست. هم‌چنین با توجه به مقادیر آماره مربوط به VAF مربوط به متغیر میانجی تعهد سازمانی در رابطه مسئولیت‌پذیری اجتماعی و قصد ترک شغل می‌توان نتیجه گرفت که ۱۹ درصد از اثر کل قصد ترک شغل، به‌صورت غیرمستقیم توسط متغیر میانجی تعهد سازمانی تبیین می‌شود. در تحقیق بصیرت و همکاران (۱۳۹۴) که از فرضیه‌های اصلی تحقیق آنان این بود که "بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی تأثیر دارد"، نتایج نشان داد که بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی تأثیر مثبت دارد. ضرایب استاندارد به‌دست آمده، حاکی از تأثیر مثبت قابل‌توجه متغیر بازاریابی بر تعهد سازمانی بود. این در حالی است که نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های آماری نشان داد که این تأثیر در جامعه آماری این تحقیق مثبت و ضعیف بوده است.

فرضیه هفتم: بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل با نقش میانجی تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. نتایج مربوط به آزمون سوبل نشان داد که مقدار Z-value برابر ۱/۱۳۹- است. با توجه به این که این مقدار کمتر از ۱/۹۶ است، بنابراین در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأثیر متغیر تعهد سازمانی در رابطه میان بازاریابی داخلی و قصد ترک شغل معنی‌دار نیست. هم‌چنین با توجه به مقادیر آماره مربوط به VAF مربوط به متغیر میانجی تعهد سازمانی در رابطه بازاریابی داخلی و قصد ترک شغل می‌توان نتیجه گرفت که ۴۰

است، بنابراین در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأثیر متغیر تعهد سازمانی در رابطه میان بازاریابی داخلی و قصد ترک شغل معنی‌دار نیست. هم‌چنین با توجه به مقادیر آماره مربوط به VAF مربوط به متغیر میانجی تعهد سازمانی در رابطه بازاریابی داخلی و قصد ترک شغل می‌توان نتیجه گرفت که ۴۰ درصد از اثر کل قصد ترک شغل، به‌صورت غیرمستقیم توسط متغیر میانجی تعهد سازمانی تبیین می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

فرضیه اول: مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر قصد ترک شغل در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری صورت‌گرفته تحقیق نشان داد که پاسخگویی اجتماعی شرکت بر تعهد سازمانی کارکنان تأثیر مثبتی دارد. این نتیجه با نتایج تحقیقات Kim et al. (2016) و رحیمی کلور (۱۳۹۴) مطابقت دارد. با توجه به این که مهم‌ترین ارزشمندترین سرمایه سازمان، سرمایه انسانی آن است و توجه به این سرمایه گران‌بها بر روند شکست یا کامیابی سازمان‌ها تأثیر دارد، تلاش برای توسعه و تعهد در کارکنان، امر مهمی است که مدیران باید به آن توجه داشته باشند. تفسیر این یافته نشان می‌دهد که توجه به مباحثی از قبیل آموزش و توسعه منابع انسانی، انگیزش کارکنان و وجود ارتباطات مناسب بین آن‌ها باعث می‌شود تا کارکنان متعهدتر شده، به ارزش‌ها و اهداف سازمان پایبندتر باشند و فعالانه‌تر در سازمان نقش‌آفرینی کرده و کم‌تر به ترک سازمان و یافتن فرصت‌های شغلی جدید اقدام کنند. تعهد سازمانی موجب پذیرش ارزش‌های سازمان و تمایل افراد به درگیری در سازمان می‌شود و انگیزه، تمایل به ادامه فعالیت و پذیرش ارزش‌های سازمان را تسهیل می‌نماید.

فرضیه دوم: مسئولیت‌پذیری اجتماعی بر تعهد سازمانی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. براساس نتایج پژوهش، مسئولیت اجتماعی بر تعهد سازمانی تأثیر ندارد.

فرضیه سوم: بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. براساس نتایج این پژوهش، بازاریابی داخلی بر قصد ترک شغل به‌طور معنی‌داری تأثیر دارد. هم‌چنین رابطه بین دو متغیر معکوس است، یعنی با افزایش بازاریابی داخلی، قصد ترک شغل کارکنان کمتر می‌شود.

فرضیه چهارم: بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی در شرکت

امکانات متمایز با سایر شرکت‌ها، ایجاد دوره‌های آموزشی همراه با ارتقای گروه و ارزشیابی عادلانه همراه با بازخورد و ایجاد سیستم تشویق در راستای نتایج حاصله از عملکرد کارکنان و ایجاد امنیت شغلی از طریق استخدام بلندمدت، توسعه عمودی شغل، ایجاد چالش از طریق امکان ادامه تحصیل به منظور ارتقای مسیر شغلی و کم کردن سنوات گروه شغلی، سهم کردن کارکنان در مالکیت شرکت‌های (واگذاری سهام) و تسهیلات رفاهی اقدام نمود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Goodness of fit (GOF)
- 2- Variance accounted for (VAF)

۶- مراجع

ابراهیم پورازیری، م.، نوع‌پسند اصیل، س.م.، و احمدی سراوانی، م. (۱۳۹۴)، "بررسی تاثیر انعطاف‌پذیری راهبردی بر عملکرد بازار شرکت‌ها: نقش میانجی‌گری نوآوری باز"، توسعه تکنولوژی صنعتی، ۱۳(۲۶)، ۵-۱۵.

ابزری، م.، و رنجریان، ب. (۱۳۸۸)، "تاثیر بازاریابی داخلی بر بازاریابی و عملکرد سازمانی در صنعت"، چشم‌انداز مدیریت، ۳۱، ۲۵-۴۲.

احمری نژاد، م.، احمری نژاد، م.، و رزقیان، ق. (۱۳۹۶)، "بررسی تأثیر بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی در بیمارستان قدس اراک"، مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک، ۲۰(۳)، ۱-۱۱.

بصیرت، م.، ایمانی، ص.، زراء نژاد، م.، و دهقان نجم‌آبادی، ع. (۱۳۹۴)، "بررسی تأثیر میانجی‌گرایی کارآفرینانه بر رابطه بین بازاریابی داخلی و تعهد سازمانی (مورد مطالعه: ادارات ستادی شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آغاجاری)"، مدیریت بهره‌وری، ۹(۱۳۲)، ۱۴۷-۱۷۰.

جمشیدیان، م. (۱۳۹۵)، "بررسی تاثیر بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی، رفتار شهروندی سازمانی و بازاریابی در سازمان‌های خدماتی (مطالعه موردی: بانک مسکن شهر اراک)"، سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت در قرن ۲۱، تهران.

حیدرزاده، ک.، و صمدزاده، ا. (۱۳۹۴)، "بررسی نقش مسئولیت اجتماعی شرکت در ایجاد مزیت رقابتی پایدار از طریق افزایش سرمایه‌های فکری گروه خودروسازی سایپا"، مدیریت بازاریابی، ۱۰(۲۹)، ۱-۲۰.

خدابخش گرگانی، ف. (۱۳۸۹)، "تاثیر بازاریابی داخلی بر رضایت مشتریان شعب شرکت‌های بیمه ایران در سطح شهر تهران"،

درصد از اثر کل قصد ترک شغل، به صورت غیرمستقیم توسط متغیر میانجی تعهد سازمانی تبیین می‌شود. بر این اساس، این پژوهش نیز با بررسی تاثیر پاسخگویی اجتماعی شرکت و بازاریابی داخلی بر تعهد سازمانی و قصد ترک شغل انجام شده است. در این راستا از مدل‌های پاسخگویی اجتماعی شرکت، مدل بازاریابی داخلی، تعهد سازمانی و قصد ترک شغل استفاده شد. مدل محدودیت پاسخگویی اجتماعی شرکت براساس دیدگاه حیدرزاده و صمدزاده (۱۳۹۴) و شامل پنج بعد (پاسخگویی در قبال کارکنان، پاسخگویی در قبال مشتریان، پاسخگویی در قبال شرکای تجاری، پاسخگویی در قبال جامعه و پاسخگویی در قبال محیط‌زیست) است. مدل بازاریابی داخلی براساس دیدگاه (Foreman and Money (1995) و شامل سه بعد (توسعه و بهبود، پاداش و چشم انداز) است. مدل تعهد سازمانی براساس دیدگاه (Allen and Meuer (1990) که شامل سه بعد (تعهد عاطفی، تعهد مستمر و تعهد هنجاری) است. مدل قصد ترک شغل بر اساس دیدگاه رستگار و همکاران (۱۳۹۲) و شامل تک بعد قصد ترک شغل است. در دو تحقیق ذکر شده، فرضیه اصلی تحقیق مبنی بر وجود رابطه منفی میان تعهد سازمانی کارکنان با قصد ترک شغل، تایید شده بود. براساس این نتیجه، با افزایش تعهد سازمانی کارکنان نسبت به سازمان خود از انگیزه و قصد آنان برای ترک شغل و محل فعالیت خود کاسته می‌شود. براساس نتایج تحقیق حاضر که در میان کارکنان شرکت آب و فاضلاب شهر اصفهان انجام گرفت، تعهد سازمانی کارکنان نمی‌تواند بر قصد ترک شغل آنان تاثیر منفی داشته باشد. پیشنهادات مبتنی بر نتایج حاصل از تحقیق، به صورت زیر ارائه می‌شود:

توانمندسازی کارکنان شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان از طریق معنادادن به کار آن‌ها و هم‌چنین درگیر کردن آن‌ها در بخشی از تصمیمات مدیریتی این شرکت‌های آب و فاضلاب در راستای افزایش تعهد سازمانی بیشتر این کارکنان. از آنجایی که افرادی که احساس امنیت شغلی دارند از تعهد سازمانی بالاتری برخوردارند، شرکت‌های استان اصفهان می‌توانند مبادرت به استخدام بلندمدت کرده یا امنیت شغلی کارکنان را به نحوی فراهم نمایند. مدیران شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان باید تلاش کنند که جو موجود در میان کارکنان و مدیران شرکت‌ها، جوی باز و انعطاف‌پذیر باشد. به گونه‌ای که ارتباطات میان کارکنان شرکت‌ها (که یکی از شاخص‌های اصلی بازاریابی داخلی است) در چنین جوی، مبتنی بر احترام و اعتماد متقابل به یکدیگر باشد تا زمینه بروز تعهد به شرکت‌ها فراهم شود. برای افزایش تعهد مستمر کارکنان شرکت‌ها می‌توان از طریق ایجاد امتیازات و

- 1336.
- Cho, Y.J., and Lewis, G.B., (2012), "Turnover intention turnover behavior: Implications for retaining federal employees", *Review of Public Personnel Administration*, 32(1), 4-18.
- Cooper, J., and Cronin, J.J., (2000), "Internal marketing: A competitive strategy for the long-term care industry", *Journal of Business Research*, 48(3), 181-177.
- Doukakis, I., and Kitchen, P.J., (2004), "Internal marketing in UK banks: Conceptual legitimacy or window dressing?", *International Journal of Bank Marketing*, 22(6), 452-421.
- Foreman, S.K. and Money, A.H., (1995), "Internal marketing: Concepts, measurement, and application", *Journal of Marketing Management*, 11, 775-768.
- Fornell, C., and Larcker, D., (1981), "Evaluating structural equation models with unobservable and measuring error", *Journal of High Technology Management Research*, 18(1), 39-50.
- Gefen, D.D., Straub, A., (2005), "Practical guide to factorial validity using PLS-Graph: Tutorial and annotated example", *Communications of the AIS*, 16, 91-109.
- Henseler, J.R., Ringle, C.M., and Sinkovics, R.R., (2009), "The use of partial least squares path modeling in international marketing", *Advances in International Marketing*, 20, 277-319.
- Kim, J.S., Song, H.J., and Lee, C.K., (2016), "Effects of corporate social responsibility and internal marketing on organizational commitment and turnover intentions", *International Journal of Hospitality Management*, 55, 25-32.
- Narteh, B., (2012), "Internal marketing and employee commitment: Evidence from the Ghanaian banking industry" *Journal of Financial Services Marketing*, 17(4), 284-300.
- Nunnally, J., and Bernstein, I., (1994), *Psychometric theory*, New York: Mc Graw Hill.
- Rafiq, M., and Ahmad, P., (2000), "Advances in internal marketing concepts", *Journal of Service Marketing*, 14(6), 449-462.
- Stall Worth, L., (2004), "Antecedents and consequences of organizational commitment to accounting organizations", *Managerial Auditing Journal*, 19(7), 945-955.
- Tsai, Y., (2014), "Learning organizations, internal marketing, and organizational commitment in hospitals", *BMC Health Services Research*, 14(1), 1-8.
- Werts, C.E., Linn, R.L., and Joreskog, K.G., (1974), "Intra class reliability estimates; Testing structural assumptions", *Educational and Psychological Measurement*, 34(1), 177-190.
- پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبائی، دانشکده حسابداری و مدیریت.
- داوری، ع. و رضازاده، آ.، (۱۳۹۳)، *مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS*، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.
- رحیمی کلور، ح.، (۱۳۹۴)، "تأثیر مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت‌ها روی تعهد سازمانی"، *کنفرانس بین‌المللی مدیریت و اقتصاد در قرن ۲۱*، تهران.
- رستگار، ع.، موسوی داودی، م.، و فرتاش، ک.، (۱۳۹۲)، "بررسی تأثیر عجزین شدن با شغل بر رضایت شغلی و تمایل به ترک خدمت"، *فصلنامه علمی مدیریت سازمان‌های دولتی*، ۱(۴)، ۹۳-۱۱۴.
- سجادی، ح.، و حسن زاده، و.، (۱۳۸۸)، "تعهد سازمانی و تمایل به ترک خدمت کارکنان حوزه معاونت پشتیبانی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان"، *مجله سلامت کار ایران*، ۶(۳)، ۳۷-۴۰.
- شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، (۱۳۹۱)، *سند استراتژیک صنعت آب و فاضلاب استان اصفهان*، <https://www.abfaesfahan.ir>
- عابدی، ز.، و محمدی، م.، (۱۳۹۷)، "رابطه بازاریابی داخلی و تعهد سازمانی در بخش خدمات مسافر شرکت هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران (هما)"، *مطالعات منابع انسانی*، ۸(۲)، ۱۴۳-۱۶۲.
- کریمی، آ.، ولایتی شکوهی، ر.، و شعبانی نژاد، گ.، (۱۳۹۵)، "رابطه میان بازاریابی داخلی و عملکرد سازمانی: نقش تعدیل‌گری جنسیت"، *زن در توسعه و سیاست*، ۱۴(۳)، ۲۸۹-۳۰۸.
- ودادی، رضائی‌زاده، م.، میرهاشمی، و نجفی، ح.، (۱۳۹۲)، "بررسی تأثیر تعهد سازمانی بر ترک خدمت کارکنان (مطالعه موردی)"، *آینده پژوهی مدیریت*، ۲۴(۲)، ۴۱-۵۴.
- Allen, N.J., and Meuer J.P., (1990), "The measurement and antecedents' effective continuance and normative commitment to the organization", *Journal of Occupational Psychology*, 63(1), 1-18.
- Awwad, M.S., and Agti, D.A.M., (2011), "The impact of internal marketing on commercial banks' market orientation", *International Journal of Bank Marketing*, 29(4), 308-332.
- Boudlaie, H., Nik, B.K., and Kenarroodi, M., (2020), "The impact of corporate social responsibility and internal marketing on employee turnover intentions with the mediating role of organizational commitment", *Commercial Surveys*, 15(86-87), 29-44.
- Chin, W.W., (1998), "The partial least squares approach to structural equation modeling", In: *Modern Methods for Business Research*, Marcoulides, G.A. (ed.), Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ., 1295-



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



جناب آقای دکتر عباس اکبرزاده

عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات آب،

رئیس مرکز تحقیقات آب و فاضلاب و عضو هیئت مدیره

انجمن آب و فاضلاب ایران

از ابتدای مهرماه ۱۳۹۵ نیز به عنوان مدیر مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی تهران، مسئولیت آموزش پرسنل وزارت نیرو را در ۴ استان تهران، قم، البرز و زنجان برعهده داشتیم و البته طی این مدت دانشجویانی را هم در قالب دانشگاه جامع علمی کاربردی در مقاطع کاردانی و کارشناسی در رشته های عمران (تصفیه خانه های آب و فاضلاب) و برق (انتقال و توزیع) زیر نظر وزارت علوم پذیرفته و فارغ التحصیل نمودیم. سال ۱۳۹۹ مجدداً به موسسه تحقیقات آب بازگشته و تا امروز به عنوان مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب مشغول به کار هستیم.

* لطفاً مهم ترین دستاوردها و فعالیت های اصلی خود در حوزه مهندسی آب و فاضلاب ذکر بفرمایید.

- مهم ترین پروژه هایی را که به عنوان مجری به انجام رسانده ام دو پروژه ملی با عناوین ۱- تدوین سند راهبردی و نقشه راه نمک زدایی کشور و ۲- تدوین سند راهبردی و نقشه راه سیستم های تصفیه فاضلاب کشور بود. از پروژه های مهم دیگر می توانم طرح کلان ملی بازیافت پساب های شهری، کشاورزی و صنعتی را نام ببرم که دانشگاه تهران مجری آن بود و من سرپرستی تیم نظارتی آن را برعهده داشتیم. طراحی و اجرای تعداد زیادی از تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی و سیستم های نمک زدایی از عمده فعالیت های تخصصی این جانب در دوره حضور در شرکت تحقیقات پیشرفته بود. یکی از بزرگترین پروژه های این دوره نصب سیستم الکترو کلریناسیون در نیروگاه نکا بود که در نوع خود بزرگترین پروژه تولید کلر به روش الکترولیز مستقیم آب دریا بود.

همکاری در تدوین استانداردهای مرتبط با صنعت آب و فاضلاب یکی دیگر از فعالیت های این جانب در طول ۲۰ سال گذشته بوده است که یک از اثربخش ترین آن ها استاندارد مصرف آب تجهیزات مورد استفاده در منازل بود که به کاهش حجم فلاتش تانک ها از حدود ۱۵ لیتر به ۶ لیتر منجر شد.

* مهم ترین دغدغه ها و چالش های پیش روی صنعت آب و فاضلاب کشور را چه می دانید؟

- مهم ترین دغدغه کشور در حال حاضر تامین آب برای بخش های مختلف مصرف شامل کشاورزی، شرب و صنعت است که به دلیل کاهش محسوس بارش ها و کمبود آب رخ داده است و براساس تخمین مراجع معتبر تا سال ۲۰۵۰ نیز ادامه خواهد داشت. در کنار این ابر چالش، مدیریت ضعیف و ناکارآمد در استفاده از همین آب موجود، ابعاد مشکل را بزرگتر نیز نموده است. راندمان پایین تولید در بخش کشاورزی، مصرف بی رویه آب در منازل و هدررفت آب در سیستم توزیع فرسوده و استفاده نابخردانه آب در صنایعی که به ویژه جانمایی آن ها برخلاف ظرفیت های اکولوژیک محلی انجام شده است، باعث استفاده بیش از حد از ظرفیت آب های سطحی و زیرزمینی کشور شده اند که خود مشکلات دیگری را مثل نشست در بسیاری از دشت ها موجب شده است.

* لطفاً یک معرفی اجمالی از سوابق علمی و کاری خود ارائه فرمایید.

- من فارغ التحصیل دکتری مدیریت محیط زیست سال ۱۳۸۵ از واحد علوم و تحقیقات تهران دانشگاه آزاد اسلامی هستم و مدرک کارشناسی ارشد خود را نیز از همین دانشگاه در رشته مهندسی محیط زیست با گرایش آب و فاضلاب دریافت کردم. در مقطع کارشناسی هم لیسانس خود را در رشته مهندسی بهداشت محیط از دانشگاه علوم پزشکی کرمان دریافت نمودم. البته دوره کاردانی را هم در دانشگاه علوم پزشکی مازندران گذراندم.

از سال ۱۳۷۴ به عنوان مربی در دانشکده حفاظت و بهداشت کار مشغول به کار شدم و تا سال ۱۳۷۹ در همین دانشکده به تدریس دروس تخصصی رشته بهداشت محیط در مقطع کاردانی و کارشناسی اشتغال داشتم. پس از آن وارد بخش خصوصی شدم و شرکت مهندسی مشاور تحقیقات پیشرفته را تاسیس کردم و تا سال ۱۳۸۴ به عنوان مدیرعامل این شرکت به همراه یک تیم تخصصی مجرب پروژه های متنوعی را در حوزه تصفیه آب و فاضلاب، نمک زدایی و فناوری های نوین در حوزه های مختلف محیط زیست، طراحی، اجرا و بهره برداری نمودیم. از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ در دانشکده حفاظت و بهداشت که متعاقباً به پیشنهاد این جانب به عنوان نخستین دانشکده HSE کشور به دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی الحاق شد، مسئولیت های مدیر پژوهش و سپس معاون آموزشی و پژوهشی این دانشکده را برعهده داشتیم. ناگفته نماند پیشنهاد دوره کارشناسی ارشد HSE و پیگیری تصویب آن در وزارت بهداشت از افتخارات این جانب در همین دوره است.

در اواسط سال ۱۳۸۸ به عنوان معاون موسسه تحقیقات آب وارد این موسسه شدم و پس از ۲ سال به عنوان عضو هیئت علمی این مرکز، سرپرستی مرکز تحقیقات آب و فاضلاب را نیز به صورت هم زمان برعهده گرفتم و این مسئولیت را تا سال ۱۳۹۲ برعهده داشتیم. در سال ۱۳۹۲ مسئولیت مدیریت پژوهشکده مهندسی هیدرولیک و محیط های آبی را عهده دار شدم که به مدت ۲ سال ادامه یافت و پس از آن مجدداً به عنوان مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب تا سال ۱۳۹۵ فعالیت های مطالعاتی و پژوهشی خود را ادامه دادم.

*** به نظر شما صنعت آب و فاضلاب کشور تا چه حد توانسته است اهداف خود در راستای تامین ایمن آب و مدیریت مطمئن فاضلاب را محقق سازد؟**

- به حمدالله در حوزه تامین آب شهری حدود ۹۳ درصد و در حوزه تامین آب روستایی حدود ۸۸ درصد از جمعیت تحت پوشش هستند. اگرچه این شاخص در بسیاری از کشورهای با GDP مشابه، مناسب به نظر می‌رسد، اما از سویی دیگر نشان‌دهنده بخشی از مردم عزیز کشورمان است که به آب بهداشتی دسترسی ندارند. اما در حوزه تصفیه فاضلاب شهری چیزی نزدیک به ۵۳ درصد جمعیت کشور تحت پوشش هستند و جمعیت روستایی کشور نیز متأسفانه کمتر از ۰/۵ درصد تحت پوشش سیستم‌های تصفیه فاضلاب قرار دارند که نشان‌دهنده نیاز به عزم جدی برای ساماندهی این حوزه است.

*** آیا هزینه‌ها و برنامه‌های پژوهشی کشور برای مواجهه با بحران‌های صنعت آب و فاضلاب کشور و شرایط خاصی مانند آن‌چه که در دوران کرونا گذشت، کفایت می‌کند؟ به نظر شما مهم‌ترین خلاءها در این راستا چه مواردی هستند؟**

- متأسفانه بخش تحقیقات در صنعت آب و فاضلاب به شدت دچار ضعف مالی است و از آنجایی که به طور معمول موضوعات اجرایی از نظر اکثر مدیران در اولویت است عمدتاً همان بودجه اندک هم برای پژوهش مصرف نمی‌شود. در واقع مدیریت اجرایی شرکت‌های آب و فاضلاب غالباً اعتقادی به پژوهش در بهبود عملکرد خود ندارند. داشتن یک نقشه راه مشخص در پژوهش حوزه آب و فاضلاب در کشور و نظارت بر هزینه‌کرد پژوهشی شرکت‌ها به طور قطع باعث هدفمندی هزینه‌کرد بودجه‌های پژوهشی در محل‌هایی خواهد شد که نیازمند ارایه راه‌کارهایی برای حل معضلات اصلی کشور هستند.

*** نظر شما در مورد روند اجرای طرح‌های شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه فاضلاب در کشور چیست؟ عوامل اصلی روند کند توسعه این زیرساخت‌ها را چه می‌دانید؟**

- همان‌گونه که در پاسخ به سوالات قبل اشاره شد روند اجرای طرح‌های زیرساختی شبکه فاضلاب و تصفیه‌خانه‌ها به شدت کند است، به طوری که تاکنون در حوزه شهری تنها نیمی از جمعیت، تحت پوشش قرار گرفته‌اند و در حوزه روستایی، جمعیت تحت پوشش کمتر از نیم درصد است. عمده دلیل این کندی عدم تخصیص بودجه به طرح‌های مذکور است که عمدتاً به دلیل عدم کفایت بودجه عمرانی دولت است. در مقابل برای حل این معضل بخش خصوصی باید وارد عرصه شود که تلاش‌های موفق‌تری هم در این حوزه انجام شده است ولی به شدت حمایت دولتی و لزوم تخصیص مشوق‌هایی برای تقویت هرچه بیشتر بخش خصوصی در این عرصه حس می‌شود.

*** به نظر شما آیا در آینده نزدیک دستیابی به استفاده دوباره از آب به صورت ایمن محقق خواهد شد؟ به نظر شما مجموعه‌های مستقلی مانند انجمن آب و فاضلاب در راستای گسترش این امر چقدر موثر هستند؟**

- در واقع استفاده از آب‌های غیرمتعارف نه یک انتخاب بلکه یک اجبار است و مهم‌ترین منابع آب‌های غیرمتعارف نیز استفاده از بازچرخانی و نمک‌زدایی از آب‌های شور است که خوشبختانه در این سال‌ها رفته رفته جایگاه آن‌ها بیشتر و بیشتر شناخته شده است. انجمن آب و فاضلاب براساس رسالت خود از طرق مختلف به‌ویژه برگزاری وبینارها و کارگاه‌های آموزشی و همچنین برگزاری کنگره‌ها و همایش‌های مختلف سهم مهمی در ارتقای آگاهی‌های عمومی و بعضاً کمک به تصمیم‌گیری مدیران داشته است.

*** چگونه می‌توان اطمینان عمومی به مدیریت زیرساخت‌های آب و فاضلاب را به‌ویژه از نظر ایمنی و سلامت ارتقا داد؟**

- ابزار لازم در این حوزه به‌غیر از آموزش‌های عمومی مثل برگزاری کارگاه‌ها و سمینارهای تخصصی و دعوت از طیف‌های مختلف متخصصان بهداشتی، محیط‌زیستی و عمرانی، عبارت است از تدوین استانداردها و الزامات قانونی مطابق سایر کشورهای پیشرو و اجرای موفق پروژه‌های پایلوت به‌ویژه نخست در اماکن دولتی است که مردم به‌عینه موفقیت پروژه‌های مذکور را مشاهده کنند و از ایمنی و سلامت آن‌ها اطمینان حاصل نمایند.

*** با توجه به توان علمی و تشکیلاتی انجمن چه توصیه‌ای برای دانشگاه‌ها، وزارت نیرو و صنعت آب و فاضلاب برای بهره‌گیری از توان انجمن را دارید؟**

- یکی از جلوه‌های بارز جوامع متمدن نقش‌آفرینی و اثرگذاری تشکیلاتی مردم‌نهاد به‌ویژه تشکیلاتی تخصصی است. دانشگاه‌ها و وزارت نیرو و سایر ارگان‌های دولتی از طریق میدان‌دادن و مشورت‌گرفتن در تصمیم‌گیری‌های مهم می‌توانند باعث ارتقای جایگاه انجمن‌هایی مانند انجمن آب و فاضلاب شوند.

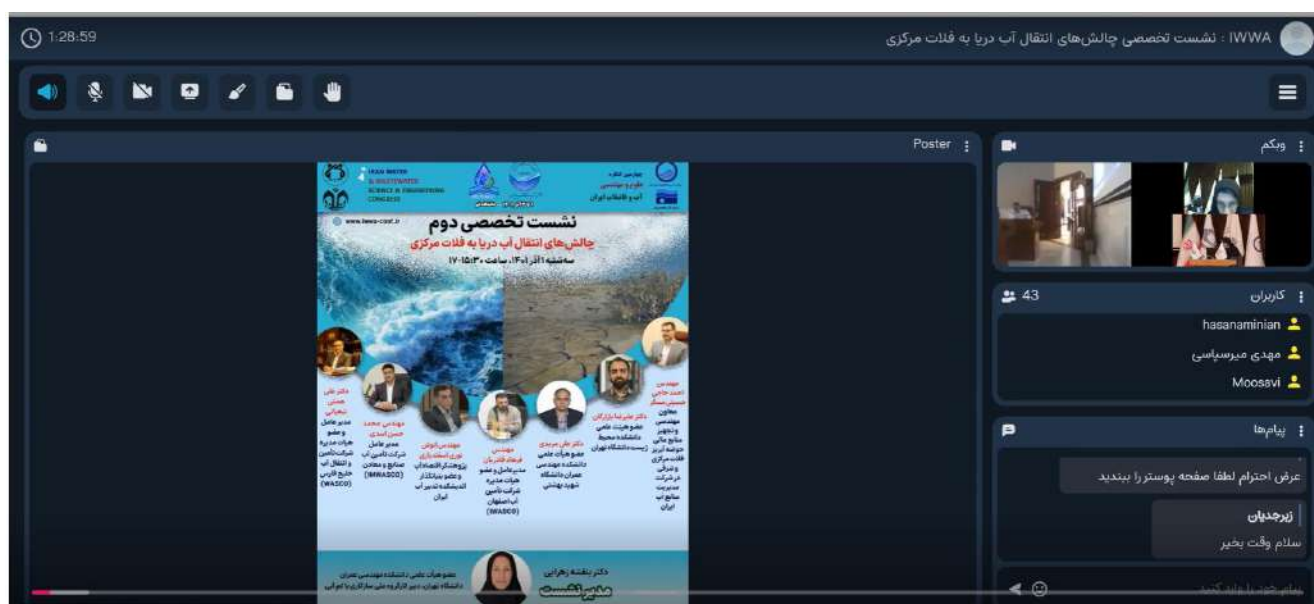
*** برای تقویت نقش و اثربخشی انجمن آب و فاضلاب و گسترش فعالیت‌های آن چه پیشنهادی دارید؟**

- به نظر می‌رسد انجمن به‌گواه شاخص‌های وزارت علوم جایگاه مناسب و حتی ممتازی داشته باشد. ولی به نظر من در کنار وظایف و مأموریت‌های مصرحه انجمن‌ها که در اساسنامه تیپ آن‌ها درج شده است موفقیت واقعی آن در ایجاد ارتباط بیشتر با صنعت و گره‌گشایی معضلاتی است که عملاً صنعت آب و فاضلاب کشور در بخش‌های مختلف مصرف با آن‌ها دست به گریبان است.



نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی (چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران در تاریخ ۱ تا ۳ آذرماه سال ۱۴۰۱، دانشگاه قم)

لینک فیلم نشست: <https://www.aparat.com/v/Lzf1g>



اعضای نشست:

دکتر بنفشه زهرایی (دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران، عضو کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران، مشاور منابع آب سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد و مدیر نشست)

دکتر علی همتی شعبانی (مدیر عامل شرکت تأمین و انتقال آب خلیج فارس (WASCO)، مجری انتقال آب دریا به استان کرمان)
مهندس محمد حسن اسدی (مدیر عامل شرکت تأمین آب صنایع و معادن (IMWASCO)، مجری انتقال آب دریا به سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی و رضوی)

مهندس افلاکی (معاون فنی شرکت تامین آب اصفهان (IWASCO)، مجری انتقال آب دریا به اصفهان)
مهندس انوش نوری اسفندیاری (مجرى طرح ارزیابی انتقال آب دریای خزر به فلات مرکزی از جنبه‌های عمومی، اقتصادی و مالی، بازنشسته وزارت نیرو و همکار اندیشکده آب ایران)

مهندس احمد حاجی حسینی مسگر (مدیر عامل سابق شرکت آب منطقه‌ای قم و معاون فنی حوضه آبریز فلات مرکزی در شرکت مدیریت منابع آب ایران)

دکتر علی مریدی (استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه شهید بهشتی)

دکتر علیرضا بازارگان (استادیار دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، مدیر R&D شرکت نوروژه)



خانم دکتر زهرایی:

سوال اول از آقای حسینی مسگر: جایگاه دریا در تامین آب فلات مرکزی و چگونگی بودجه‌بندی و برنامه‌ریزی دولت در این زمینه چیست؟



آقای مهندس حسینی مسگر:

شش حوزه اصلی آبریز کشور فلات مرکزی، خزر، دریاچه ارومیه، دریای جنوب، شرق و قره قوم هست. فلات مرکزی و شرق از حوزه‌های اصلی آبریز کشور هستند. استانهای مرکزی و شرقی ۱۵ عدد هستند که تمام یا بخشی در این مناطق واقع شده است. در فلات مرکزی ۴۳ درصد جمعیت و ۴۹ درصد مساحت کشور و اراضی کشاورزی ۳۰ درصد کشور است. سرانه آب تجدیدپذیر در کشور ۱۳۸۰ مترمکعب و در فلات مرکزی ۴۸۶ در حدود یک سوم کاهش یافته است. از ۹۸ میلیون مترمکعب مصرف کل آب کشور ۳۲ درصد در فلات مرکزی است. برداشت از منابع زیرزمینی ۴۵ درصدش در این منطقه است. ۱۱ سد در حال اجرا و ۲۷ سد در حال مطالعه است. سهم برداشت از آب زیرزمینی در این منطقه ۷۸ درصد است که نشان‌دهنده بغرنج بودن وضعیت منابع آب است. یک مسیر اجرا شده آب صنعت را به کرمان و یزد می‌رساند و کریدور شرقی که در دست مطالعه است آب عمان را به مشهد می‌رساند. در مورد الزامات آب دریا باید سه شرط وجود داشته باشد برای توجیه انتقال: ۱- عدم وجود منابع آب سطحی و زیرزمینی کافی در منطقه و کسری مخازن آب زیرزمینی؛ ۲- عدم امکان انتقال حوزه به حوزه از حوزه مجاور؛ ۳- وجود سرمایه‌گذار بخش خصوصی در تامین آب از دریا طبق مفاد دستورالعمل تخصیص و برداشت آب از دریا.

استان‌های دارای توجیه انتقال آب از دریا عبارتند از: کرمان، یزد، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، سمنان و اصفهان. دلایل توجیهی انتقال به شرح زیر است:

استان کرمان:

- توقف عملیات اجرایی طرح آبرسانی از سد صفا به کرمان و رفسنجان به دلیل مشکلات اجتماعی؛
- توقف عملیات اجرایی طرح آبرسانی از سد خرسان به کرمان به دلیل مشکلات اعتباری، اجرایی و اجتماعی؛
- وجود خط لوله انتقال آب برای مصارف صنعت شرکت‌های گل‌گهر، صنایع مس و چادرمو در استان با سرمایه‌گذاری شرکت‌های مذکور که در مواقع اضطراری حدود ۳۰ میلیون مترمکعب از این خط برای شرب استفاده می‌شود؛
- کسری مخازن آب زیرزمینی به میزان ۹۰۲ میلیون مترمکعب در سال.

استان یزد:

- مشکلات اجتماعی بهره‌برداری از خط اول انتقال آب یزد؛
- کندی پیشرفت اجرای خط دوم انتقال آب یزد به دلیل مشکلات اعتباری اجرایی؛
- احداث خط لوله آب برای مصارف صنعت شرکت‌های گل‌گهر، صنایع مس چادرمو استان با سرمایه‌گذاری شرکت‌های مذکور؛
- کسری مخزن آب زیرزمینی به میزان ۲۰۵ میلیون مترمکعب در سال.

استان سیستان:

- احداث بهره‌برداری از سد کمال‌خان بر روی رودخانه هیرمند توسط کشور افغانستان و قطع کامل ورودی رودخانه به استان؛
- احداث سد بخش آباد بر روی رودخانه فراه‌رود و کاهش چشمگیر ورودی رودخانه مذکور به محدوده سیستان؛
- ضرورت تامین آب شرب منطقه با هر روش و هزینه‌ای با هدف جلوگیری از مهاجرت مردم منطقه و تشدید مشکلات امنیتی؛
- کسری مخازن آب زیرزمینی به میزان ۱۲۰ میلیون مترمکعب در سال.

استان خراسان رضوی: (انتقال آب از خزر و از عمان مطرح است)

- برداشت کامل حقاچه از رودخانه هیرود توسط کشورهای افغانستان (در سال‌های اخیر این کشور از حقاچه خود استفاده نمی‌کرده ولی در سالیان اخیر تمام حقاچه را دریافت و بنابراین آورد سد بسیار کاهش یافته است.) و ترکمنستان در سال‌های اخیر و کاهش چشمگیر

ورودی سد دوستی و عدم کفایت تامین آب مشهد؛
- کسری مخزن آب زیرزمینی به میزان ۱۱۲۵ میلیون مترمکعب در سال.

استان خراسان جنوبی:

- کسری مخزن آب زیرزمینی به میزان ۱۶۴ میلیون مترمکعب در سال؛
- واقع شدن استان در مسیر خط لوله کریدور شرق کشور.

استان سمنان:

- عدم توفیق در اجرای طرح به دلیل هزینه‌های سنگین اجرا و عدم مشارکت بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری (اقدامات اجرایی در خصوص انتقال آب از خزر و با توجه به هزینه بالای آن که حدود ۲ یورو برای انتقال و شیرین‌سازی این طرح متوقف شده است. تامین آب سمنان از سرشاخه تجن هم گزینه مطرح است)؛
- مشکلات اجتماعی و مخالفت شدید استان‌های شمالی.

استان قم:

- کسری ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال؛
- ۷۵ درصد مصارف کشاورزی است.
ظرفیت‌های استان قم: سد کوچری و خط انتقال آب از آن تا شهر قم با ظرفیت ۱۴۴ میلیون مترمکعب، سد پانزده خرداد به‌عنوان دومین منبع آب سطحی تامین کننده آب شرب قم، امکان تولید حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب پساب برای مصارف صنعت و فضای سبز استان. پیشنهادات:

- رفع نواقص و تکمیل طرح انتقال آب سرشاخه‌های دز به قم‌رود با هدف افزایش عمر مفید طرح (ویژگی مهم و فرصت برای استان قم)؛
- اعمال مدیریت یکپارچه در بهره‌برداری طرح مذکور و جلوگیری از بارگذاری مصارف غیر شرب بر طرح (تجربه به‌دست آمده)؛
- تسریع در افزایش ظرفیت شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه و تولید پساب برای مصارف فضای سبز و صنعت استان و آزاد سازی منابع آب با کیفیت برای شرب استان در آینده (دستور وزیر محترم برای بازپس‌گیری آب شرب از صنعت و جایگزینی آن با پساب‌های مذکور)

- توجه ویژه به سد ۱۵ خرداد به‌عنوان منبع دوم تامین آب شرب شهر قم (تغییر کاربری این سد درست نیست)؛
- جبران کسری سفره‌های آب زیرزمینی با کاهش برداشت برای مصارف کشاورزی از طریق اصلاح الگوی کشت.

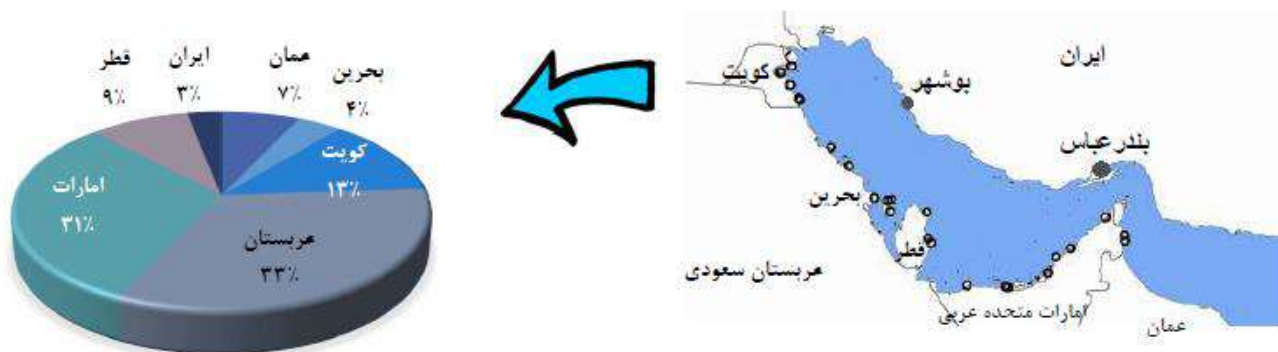
خانم دکتر زهرایی:

از آقای دکتر همتی که اجرای طرح انتقال آب به استان کرمان را برعهده داشته‌اند درخواست می‌کنم صحبت خود را با موضوع طرح‌های بزرگ نمک‌زدایی و انتقال آب از خلیج فارس بیان کنند.



دکتر همتی:

- مصرف آب در بخش کشاورزی، شرب و صنعت ایران (۱۳۹۹-۱۳۷۳) براساس خبرگزاری ایسنا: میزان سهم صنعت بسیار ناچیز است؛
- نمک‌زدایی آب دریا در جهان، منطقه خلیج فارس و ایران: در حال حاضر کشورهای حاشیه خلیج فارس با داشتن ۵۰٪ از سایت‌های نمک‌زدایی در جهان، به‌عنوان بزرگ‌ترین استفاده‌کنندگان در دنیا شناخته می‌شوند. در محدوده سواحل جنوبی خلیج فارس تعداد ۲۴ واحد نمک‌زدایی بزرگ (با ظرفیت‌های بیش از صد هزار مترمکعب در شبانه روز) با جانمایی شماتیک در شکل زیر در حال بهره‌برداری هستند.

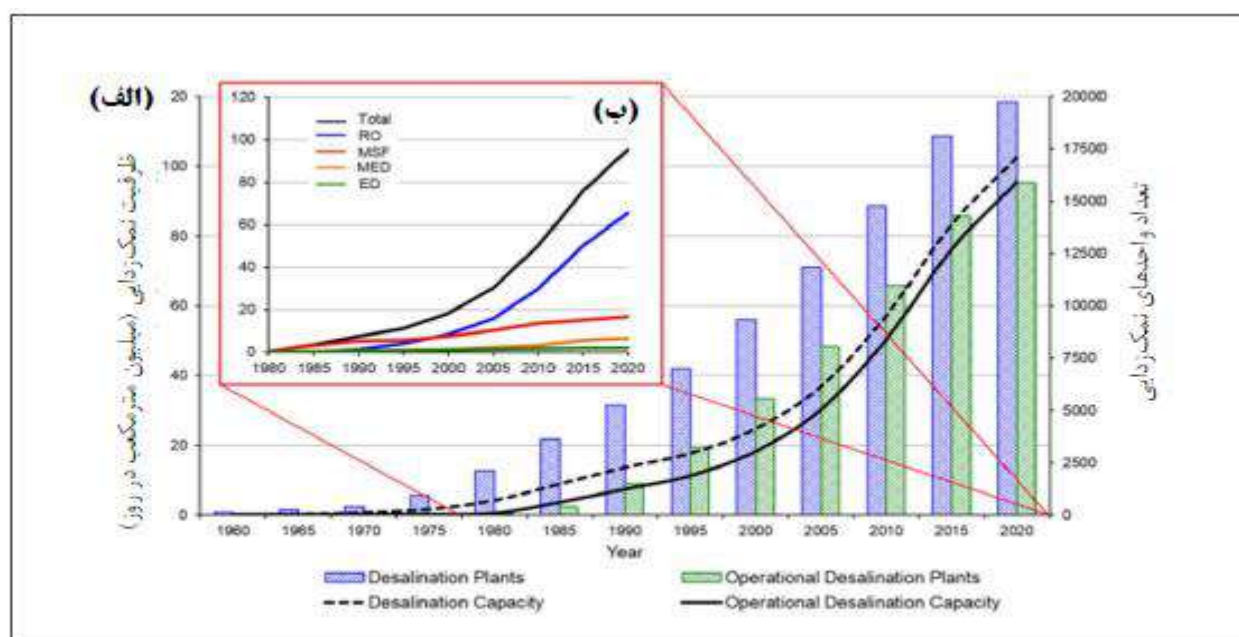


□ سهم ایران با حجم نمک‌زدایی در حدود ۶۸۰ هزار مترمکعب در روز، کمتر از ۳ درصد است.

نمودار بعدی نشان می‌دهد که روند رشد تکنولوژی استفاده از آب دریا در سطح سرمایه‌گذاری در دنیا وجود دارد و ایران نسبت به این رشد جایگاه مناسبی ندارد.

سیمای طرح‌های بزرگ نمک‌زدایی و انتقال آب از خلیج فارس: مطالعات در سال ۸۸ به این نتیجه رسید که صنایع گل‌گهر به خلیج فارس منتقل شود یا این که آب، نمک‌زدایی و منتقل شود. در سال ۹۴ دو صنعت بزرگ کشور یعنی شرکت مس ایران و معدنی و صنعتی چادرملو به طرح پیوستند و شرکت تامین و انتقال آب خلیج فارس تشکیل شد.

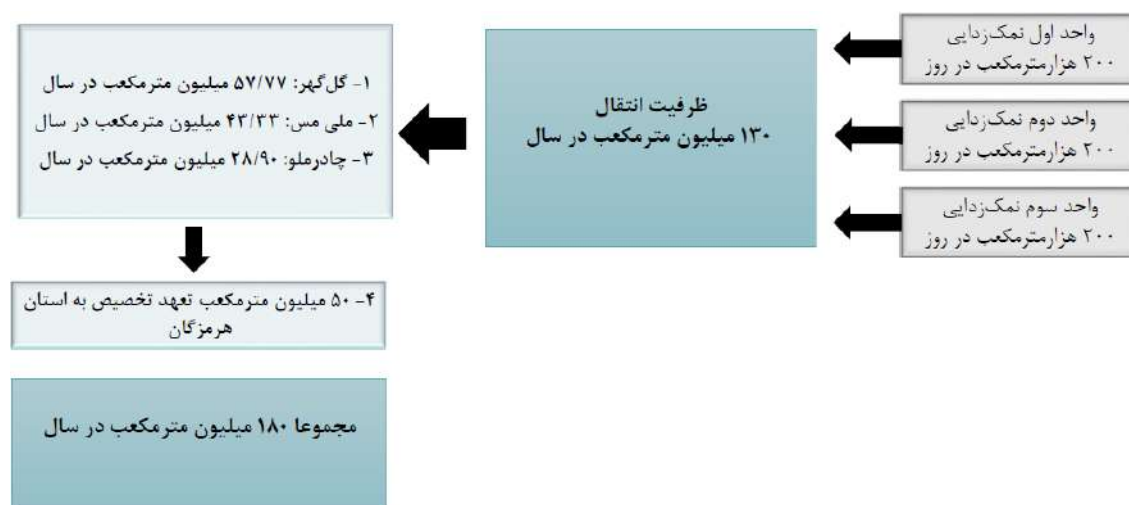
طرح‌های اجرا شده: فاز اول خط ۱؛ به صنایع و معادن استان‌های هرمزگان، کرمان و یزد (سه سامانه نمک‌زدایی هریک به ظرفیت ۲۰۰ هزار مترمکعب در روز). این فاز اجرا شده و در حال آبرسانی هست. با توجه به فرصت ایجاد شده در کریدور ۸۲۶ کیلومتر از بندعباس تا یزد فاز ۲ و ۳ ایجاد شد و برای استان اصفهان طی پنج سال از این خط استفاده شود.



روند نمک‌زدایی در سطح جهان
الف) تعداد، ظرفیت و تأسیسات نمک‌زدایی عملیاتی (ب) ظرفیت عملیاتی با فن آوری‌های گوناگون نمک‌زدایی

طرح‌های در دست اجرا: فاز دوم خط ۲؛ به صنایع و معادن استان‌های یزد، کرمان و خراسان جنوبی
فاز سوم خط ۳؛ به صنایع و معادن استان‌های اصفهان، کرمان و یزد
خط ۵؛ طرح انتقال آب از خلیج فارس به صنایع و معادن استان فارس (خارج از محدوده مسوولیت واسکو)
طرح و پروژه در حال مطالعه، طراحی و انجام کارهای زود هنگام: پروژه انشعاب و انتقال آب از کریدور خلیج فارس به منطقه صنعتی بردسیر و معدن مس درآلو استان کرمان، طرح انشعاب و انتقال آب کریدور خلیج فارس به معادن دره زرشک و علی آباد استان یزد

ظرفیت، مقدار تقاضا و نحوه توزیع آب در فاز اول:



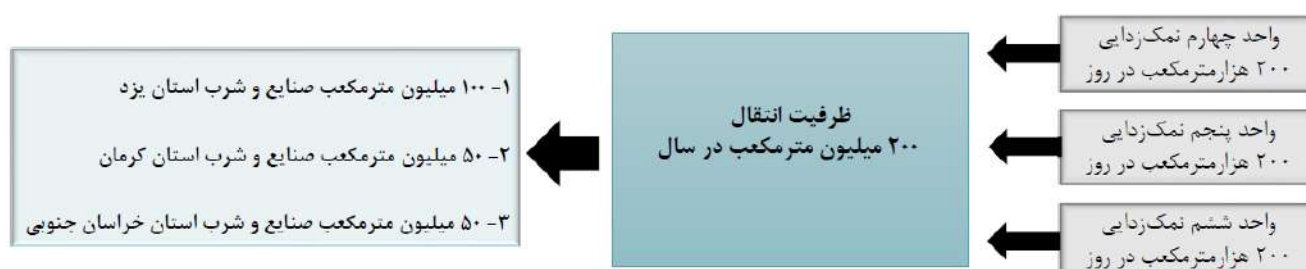
واحد اول در حال بهره‌برداری است. چنانچه هر سه واحد بهره‌برداری شود ۱۸۰ میلیون مترمکعب آب نمک‌زدایی می‌شود.

نمای کلی سایت نمک‌زدایی بندرعباس:



فاز دوم طرح ملی انتقال آب از خلیج فارس به استان های یزد، کرمان و خراسان جنوبی

ظرفیت، مقدار تقاضا و نحوه توزیع آب در فاز دوم:





موقعیت جغرافیایی طرح

مسیر خط انتقال از دریای عمان عبارت است از: چابهار، نیکشهر، ایرانشهر، زاهدان، انشعاب به زابل، در ادامه به معدن مس چانچا تا بیرجند، انشعاب به طبس، ادامه به قاین و سنگان خواف، مشهد و تربت حیدریه به طول ۱۷۹۰ کیلومتر. آب‌گیری در گیشاب چابهار انجام می‌شود.

سامانه آبگیر و تأسیسات شیرین سازی:
آبگیری و نمک زدایی برای ظرفیت نهایی ۲۰۴ میلیون متر مکعب در روز آب شیرین (واگذاری ساخت آب شیرین کن‌ها در قالب قراردادهای B.O.T در فاز نخست)

سامانه انتقال شامل:
تأمین و انتقال آب فاز اول برای ظرفیت ۲۸۰ میلیون متر مکعب در سال به سه استان شرقی و ظرفیت سازی آبگیر، مسیر و تونل برای اجرای سه خط لوله برای ظرفیت نهایی انتقال ۸۰۰ میلیون متر مکعب آب در سال

تأمین انرژی:
احداث نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۰۰۰ مگاواتی در قالب قرارداد BOT (یک واحد برای فاز نخست و واحد دوم جهت فاز توسعه)

معرفی اجزا و مشخصات فنی طرح

هزینه سرمایه گذاری مورد نیاز طرح به تفکیک اجزاء		
درصد	جمع کل (میلیون ریال)	شرح
۱۸.۲٪	۱۷۸,۲۰۰,۰۰۰	آب شیرین کن
۶.۹٪	۶۸,۴۰۰,۰۰۰	نیروگاه
۲۵.۱٪	۲۴۶,۶۰۰,۰۰۰	جمع سرمایه گذاری BOT
۱.۲٪	۱۱,۵۶۳,۰۰۰	آبگیر
۷۳.۲٪	۷۱۷,۹۹۵,۸۲۳	خط انتقال
۰.۵٪	۵,۲۵۰,۰۰۰	قبل از بهره برداری
۷۴.۹٪	۷۳۴,۸۰۸,۸۲۳	جمع سرمایه گذاری ایمواسکو
۱۰۰٪	۹۸۱,۴۰۸,۸۲۳	جمع کل سرمایه گذاری

هزینه های سرمایه گذاری طرح

- الف - اخذ مجوزهای تخصصی برداشت آب از دریای عمان (ابراهیم های رسمی شرکت های آب منطقه ای سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی)
- اخذ ابراهیم تخصصی برداشت آب دریا به شماره ۱۳۶۲۲/۱/۱۸۱/۱۳۰۲۱ مورخ ۱۴۰۱/۰۶/۰۵ مدیرکل دفتر برنامه ریزی کلان منابع آب و تلفیق بودجه وزارت نیرو برای مصارف شرب و صنعت مجموعاً به حجم ۴۰۰ میلیون مترمکعب در سال آب نمک زدایی شده (معادل برداشت ۱۲۰۰ میلیون متر مکعب در سال آب دریا).
 - ب- اخذ مجوزهای محیط زیست دریایی و خشکی
 - اخذ مجوز نهایی زیست محیطی از اداره کل محیط زیست استان خراسان رضوی (مجوز نهایی به شماره ۲۲۸۴۶ مورخ ۱۴۰۰/۰۸/۱۵)
 - اخذ مجوز نهایی زیست محیطی از اداره کل محیط زیست استان خراسان جنوبی (مجوز نهایی به شماره ۹۵۹۵/۱/۱۰/۰۰ مورخ ۱۴۰۰/۰۸/۲۳)
 - اخذ مجوزهای نهایی زیست محیطی دریایی و خشکی از اداره کل محیط زیست استان سیستان و بلوچستان (مجوزهای نهایی دریایی و خشکی به ترتیب به شماره های ص.۱/۴۹۱-۱۴۰۰ مورخ ۱۴۰۰/۰۹/۰۱ و شماره ص.۱/۴۹۰-۱۴۰۰ مورخ ۱۴۰۰/۰۹/۰۱)
 - ارسال گزارش ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA) جهت تأسیسات شیرین سازی در موقعیت موج شکن گیشاب برای سازمان حفاظت محیط زیست کشور و اخذ موافقت اولیه سازمان جهت صدور مجوز مربوطه
 - ج- اخذ مجوزهای زمین احداث تأسیسات آبگیر و شیرین سازی در چابهار
 - د- اخذ موافقت اصولی احداث ۱۰۰۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی از محل تفاهیم نامه فی مابین وزارتین نیرو و صنعت
 - ه- مجوز پدافند غیرعامل:
 - اخذ مجوز اولیه پدافند غیر عامل صورتجلسه معاونت انرژی سازمان پدافند غیرعامل کشور مورخ ۱۴۰۰/۰۷/۱۰ به شماره

مجوزها

این بخش در قالب قراردادهای BOT به سرمایه گذاران مربوطه واگذار گردیده است. لذا طرح، ساخت و بهره برداری و انتقال مالکیت تاسیسات به کارفرما در چارچوب قراردادهای فوق و در تعهد سرمایه گذاران می باشد. قرارداد احداث یک مازول ۲۰۰ هزار متر مکعب در روز با شرکت تانا انرژی و توافقنامه احداث سه مازول هر یک به ظرفیت ۲۰۰ هزار متر مکعب در روز با شرکت مینا منعقد و مبادله گردیده است.

مطالعات بخش نیروگاه:

ابلاغ مطالعات مرحله اول به مشاور تخصصی مربوطه با توجه به اخذ موافقت اصولی احداث نیروگاه سیکل ترکیبی از محل تفاهم نامه بین وزارتین صمت و نیرو به ظرفیت ۱۰۰۰ مگاوات انجام گردیده است.

خلاصه وضعیت عملیات اجرایی سامانه انتقال آب طرح ملی نمکزدائی و انتقال آب به سه استان شرقی کشور								
عنوان قطعه	طول قطعه (کیلومتر)	مسیر آماده لوله گذاری (کیلومتر)	مسیر صاف جانی انجام شده (مترمکعب)	تعداد نیروی انسانی	تعداد ماشین آلات سنگین	درصد پیشرفت واقعی	درصد پیشرفت برنامه ای	عملیات مسپر سازی
	۱۲۳	۸۰	۱,۵۶۷,۲۰۰	۱۸۶	۶۰	۵۲٪	۷۸٪	
	۱۳۸	۹۰	۶۴,۵۷۵	۱۳۴	۲۵	۳۳٪	۴۷٪	
	۳۳۰	۱۰۵	۱,۰۱۷,۰۸۰	۱۵۷	۴۱	۴۹٪	۷۳٪	
	۱۷۰	-	تجهیز کارگاه	۵۴	۱۱	-	-	
	۲۳۰	-	در مرحله برگزاری مناقصه	-	-	-	-	
	۱۸۰	-	در مرحله برگزاری مناقصه	-	-	-	-	
مجموع		۱۱۷۱	۲,۶۴۸,۸۵۵	۵۳۰	۱۳۷	-	-	عملیات لوله گذاری
۱۲۸		استقرار پیمانکار لوله گذاری در محل، تکمیل تجهیز کارگاه، حمل لوله و آغاز عملیات اجرایی						

آخرین وضعیت صنایع و معادن متقاضی آب به تفکیک استان *

ردیف	نام استان	شهرهای صنعتی متقاضی	صنایع و نواحی صنعتی همدمه متقاضی	صنایع در حال انتقاد فرارگاه
۱	خراسان رضوی	۲۹ شهرک صنعتی با نیاز ۴۸ میلیون متر مکعب در سال	۴۱ صنعت و ناحیه صنعتی با نیاز ۸۲ میلیون متر مکعب در سال	فولاد سنگان خراسان - سنگ آهن سنگان - سنگان - طوس - فولاد سنگان - فولاد خراسان
۲	خراسان جنوبی	۹ شهرک صنعتی با نیاز ۷ میلیون متر مکعب در سال	۲۴ صنعت و ناحیه صنعتی با نیاز ۶۴ میلیون متر مکعب در سال	فولاد قائبات - شرکت فولادسنگ برورد - طوس - شرکت گسترش و توساری معادن خاورمیانه
۳	سیستان و بلوچستان	۱۵ شهرک صنعتی با نیاز ۵۲ میلیون متر مکعب در سال	۲۹ صنعت و ناحیه صنعتی با نیاز ۲۰۸ میلیون متر مکعب در سال ۲۰۱ میلیون متر مکعب در سال برای طرحهای صنعتی منطقه آزاد چابهار	مجمع صنایع مس پارسین جالنده - شرکت فولاد سترک - منطقه آزاد چابهار

* مکانیبه شماره ۱۲۰/۲۰۹۷۱۴۹ مورخ ۱۴۰۰/۰۹/۰۴ سازمان صمت استان خراسان رضوی، مکانیبه شماره ۱۲۲۲۱ مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ سازمان آبپدرو و مکانیبات انجام شده با سازمان صمت خراسان جنوبی و همچنین مکانیبه شماره ۷۲۴۶۴ مورخ ۱۴۰۰/۰۸/۰۱ استانداری سیستان و بلوچستان

روشهای تامین منابع مالی

- ☐ آورده نقدی و غیر نقدی سهامداران از محل تهاتر محصولات فولادی مورد نیاز
- ☐ بهره گیری از مشوق های سرمایه گذاری با فعال سازی معدن مس چاتجا
- ☐ دریافت پیش پرداختهای خرید تضمینی شرب و صنعت
- ☐ اخذ تسهیلات از صندوق توسعه ملی
- ☐ استفاده از خط اعتباری جدید ایران - چین
- ☐ بازار سرمایه
- ☐ واگذاری ساخت تاسیسات آب شیرین کن به روش BOT به سرمایه گذار (۵۴۰ میلیون یورو)
- ☐ پیگیری ایجاد کنسرسیوم بانکی و مذاکره با بانک ها جهت استفاده از تسهیلات و انتشار اوراق بهادار

در بحث مجوزها، بحث مجوز زمین هست که یک محدوده ۱۶۴ هکتاری زمین محل احداث آبگیر و شیرین سازی، در منطقه چابهار نیروگاه ۱۰۰۰ مگاوات که موافقت اصولی آنرا داریم و در واقع تفاهم نامه ای که بین وزارت صمت و وزارت نیرو بوده است. مجوز پدافند غیرعامل برای سه استان شرقی از طرف سازمان پدافند غیرعامل کشور در مهرماه پارسال اخذ شد. بحث آخرین وضعیت مطالعات داریم در بحث ساماندهی انتقال مرحله اول باید طبق برنامه ۱۰۰ درصد پیشرفت داشته باشیم که نود درصد است. مرحله دوم ۳۷ درصد باید باشد که ۳۵ درصد است. پیشرفت کاری در حوزه تاسیسات آبگیری دریایی مطالعات مرحله اول باید ۸۰ درصد باشد که ۵۹ درصد است و مرحله دوم ۵۰ درصدی باید باشد که ۵۳ درصد پیشرفت واقعی داریم. در بحث مطالعات مهندسی آب شیرین کن و نیروگاه، با توجه به این که

آب شیرین کن‌ها به صورت BOT واگذار شده در واقع مطالعات سایت پلان در مرحله نهایی شدن است. بحث نیروگاه‌ها هم دستور مطالعات مرحله اول به ما ابلاغ شده و تقریباً یک ماه پیش شروع شده که تا دو ماه دیگر انشالله مطالعات بخش نیروگاه تکمیل می‌شود و طرح واگذاری به روش BOT اسنادش را ارزیابی و در سایت شرکت بارگذاری خواهیم کرد. در عملیات اجرای سازه آب‌گیر بحث خشکاندازی را ۱۰۰ درصد انجام دادیم. سازه آب‌گیر در مرحله بتن‌ریزی است که هم اکنون آرماتوربندی کف سازه آب‌گیر انجام شده است. مجموعه پیشرفت فیزیکی کل این سازه ۴۴ درصد است که باید طبق برنامه ۵۰ درصد باشد و ۵۴ نفر هم آن‌جا کار می‌کنند. در بحث تامین کالا و تجهیزات برای سازه آبی خرید میلگرد ۱۶۰۰ تن و مصالح سنگی و سیمان هم به ترتیب ۱۹۰۰ و ۱۰۰۰ تن برای پای آب‌گیر داریم. عملیات اجرایی سامانه انتقال در چهار قطعه فعال است. در مسیر چابهار-نیک‌شهر ۱۷۰ کیلومتر در مرحله تجهیز کارگاه هستیم. ۳۳۰ کیلومتر بسترسازی ایرانشهر تا زاهدان را داریم. مسیرسازی قاین تا سنگان ۱۳۰ کیلومتر، تربت حیدریه تا شریف‌آباد مشهد ۱۳۳ کیلومتر و در مجموع ۷۷۰ کیلومتر مسیرسازی در این مسیر واگذار شده است. ۲۷۵ کیلومتر آن آماده لوله‌گذاری است. ۵۳۰ نفر اشتغال‌زایی مستقیم در این مرحله انجام شده، عملیات لوله‌گذاری هم به پیمانکار ابلاغ شده است. بحث مسیرسازی دو قطعه نهبندان تا سر بیشه به طول ۲۳۰ کیلومتر، سربیشه تا قاین ۱۸۰ کیلومتر و بقیه هم سایت ویزیت انجام شده و منتظر بازگشایی پاکت‌ها هستیم. در تامین تجهیزات بیشترین وزن پروژه الان خرید ورق است که ما موفق شدیم ۲۱۴۷۰۰ تن ورق تامین کنیم از محل تعامل با سهامداران. کل ورق مورد نیاز طرح یک میلیون تن است که الان ۲۰ درصد کل ورق تامین شده است. در حوزه اجرا هم باید آرماتوربندی به اتمام برسد، قاب‌بندی‌ها تمام شود و انشالله بتن‌ریزی را داشته باشیم. حدود ۱۷۰۰۰ مترمکعب بتن‌ریزی سازی اصلی است و تهیه بتن پیش ساخته آب‌گذر یا کالورت به صورت پیش‌ساخته که در خشکی احداث می‌شود. تا پایان سال ما ۱۲ مناقصه را در دست انجام داریم که کل مسیر در قطعات مختلف مسیرسازی واگذار می‌شود. دو قطعه هم لوله‌گذاری داریم که فعال می‌شود از مقطع چابهار تا نیک‌شهر ۱۴۶ کیلومتر و عملیات لوله‌گذاری زاهدان ۲۰۱ کیلومتر که این‌ها در در دست مناقصه است. ۵ ایستگاه پمپاژ هم تا پایان سال مناقصه‌اش برگزار و پیمانکار انتخاب خواهد شد. بحث آخرین وضعیت خرید تضمینی است که متقاضیان آبی که در سه استان، در خراسان رضوی، جنوبی و سیستان و بلوچستان به شهرک‌ها و صنایع بزرگ کاملاً مراجعه شده، متقاضیان نیازهای آبی شان احصا شده است. ۲۹ شهرک صنعتی در خراسان رضوی با نیاز ۴۸ میلیون مترمکعب در سال، صنایع بنگاهی صنعتی عمده متقاضی شامل ۴۱ واحد صنعتی با نیاز ۸۲ میلیون مترمکعب در سال در حال انعقاد قرارداد هستیم. در خراسان رضوی فولاد سنگان خراسان، سنگ آهن سنگان و فولاد خراسان هست. خراسان جنوبی هم به همین ترتیب ۹ شهرک صنعتی با نیاز ۷ میلیون مترمکعب و صنایع عمده که صنعت بزرگ هستند ۲۳ ناحیه صنعتی با نیاز ۶۳ میلیون مترمکعب در سال. فولاد قاینات، شرکت زغال سنگ پرورده طبس و شرکت گسترش و نوسازی معادن خاورمیانه در حال انعقاد قرارداد هستند. در سیستان و بلوچستان ۱۴ شهرک صنعتی با نیاز ۵۲ میلیون مترمکعب، صنایع و نواحی بزرگ صنعتی هم ۳۹ صنعت و ناحیه صنعتی با نیاز ۲۰۸ میلیون مترمکعب در سال. ۲۰۱ میلیون مترمکعب در سال هم برای طراحی صنعتی منطقه آزاد چابهار است. با صنایع در حال مذاکره و انعقاد قرارداد هستیم، مجتمع صنایع مس پارسیان و

روش‌های تامین مالی هم از مهم‌ترین مواردی است که در پروژه باید مورد تاکید قرار بگیرد. ما در این‌جا سبدهای تامین منابع مالی داریم. روش اول آورده نقدی و غیرنقدی سهام‌داران است، از محل محصولات فولادی، بهره‌گیری از مشوق‌های سرمایه‌گذاری مثل فعال شدن معدنی مس جانجا را داریم. دریافت پیش‌پرداخت‌های خرید تضمینی شرب و صنعت را داریم. بحث تسهیلات صندوق توسعه ملی استفاده از خط اعتباری جدید ایران، هم‌چنین بازار سرمایه و بحث‌هایی که می‌توانیم از منابع مالی شرکت‌های سرمایه‌گذار استفاده کنیم مانند روش‌های BOT که الان ۵۴۰ میلیون یورو قرارداد داریم و پیگیری ایجاد کنسرسیوم بانکی و مذاکره‌ها. احداث فونداسیون و محل ورودی انجام شده، محل آب‌گیر و آرماتوربندی فونداسیون هست و قالب‌بندی و بحث مسیرسازی. در خدمت شما هستم اگر سوالی هست بفرمایید.

خانم دکتر زهرایی:

آقای مهندس افلاکی معاون فنی شرکت تامین آب اصفهان راجع به برنامه‌ای که برای تامین آب اصفهان هست توضیحات ارائه می‌فرمایند.

مهندس افلاکی:

در ابتدا در خصوص ضرورت طرح انتقال به فلات مرکزی، اصفهان و شهرستان اصفهان داشته باشیم و صناعی که در استان اصفهان متمرکز است. در حال حاضر در حوزه زاینده‌رود این صنایع آب‌گیری را انجام می‌دهند و مصرفشان را از این محل تامین می‌کنند. ضرورتی که همه در جریان هستند موضوع کمبود آب در حوزه زاینده‌رود و خشکسالی‌هایی که اتفاق افتاده، هم‌چنین کشاورزان و مسایل اجتماعی و سیاسی که پیش‌آمد کرد. در انتهای سال ۹۷ بود که ضرورت تاسیس شرکت تامین آب اصفهان صفا و انتقال آب دریا به استان اصفهان مطرح

شد. در بهمن ۹۷ شرکت تامین آب اصفهان صفه با این هدف و برنامه‌ریزی ۲۰۰ میلیون مترمکعب انتقال آب شیرین به اصفهان و فلات مرکزی و به‌طور مشخص صنایع اصفهان با انتخاب مشاورین آغاز شد. شرکت با سهامداری سهامداران صنایع بزرگ اصفهان ثبت شد، شرکت فولاد مبارکه، ذوب آهن اصفهان، پالایشگاه اصفهان، اتاق بازرگانی و یکی دو تا سهامدار کوچک ثبت و کار مطالعات آغاز شد. بعد هم آگیری از خلیج فارس در دستور کار بود که به‌دلایلی اتفاق نیفتاد و ضرورت وجود تاسیسات آگیری و شیرین‌سازی مستقل ما را به این سمت برد که مبدا در ابتدای دریای عمان متمرکز در شهرستان سیریک اتفاق بیفتد. با تفاهم‌نامه‌ای که با آقای دکتر همتی در شرکت واسکو داشتیم طرح ما به دو بخش اساسی تقسیم شد. بخش اول از محل آگیری در سیریک تا سهراب واسکو در سیرجان و بخش دوم از سه راه واسکو به سمت اصفهان در دو خط شمالی و خط جنوبی تعریف شد.

بخش دوم را در یک برنامه دو ساله تعریف کردیم که انشالله در بهمن سال ۱۴۰۳ ما یک بهره‌برداری اولیه داریم. با آن تفاهم تقریباً ۷۰ میلیون مترمکعب خرید آب از تاسیسات شرکت واسکو که ۳ تا ۵ سال این خرید به میزان ۷۰ میلیون مترمکعب ادامه خواهد داشت. بخش اول هم در طی یک دوره ۳ ساله به طول تقریباً ۴۲۰ کیلومتر از سیریک تا سیرجان احداث خواهد شد. بعد خط به‌صورت متصل از تاسیسات مستقل خودش تغذیه خواهد شد. طراحی هیدرولیک این خط به‌خصوص در بخش دوم با حساسیت ویژه‌ای اتفاق افتاده و مشخصه ویژه این خط هم این است که با قطر ۲۰۰۰ توانایی انتقال ۷۰ میلیون مترمکعب آب را به‌صورت ثقلی تا مخزن کمشچه در شمال اصفهان خواهد داشت. یعنی ما در ۳ تا ۵ سال اول که متعهد به خرید ۷۰ میلیون مترمکعب آب از واسکو خواهیم بود احتیاجی به ایستگاه‌های پمپاژ این خط نخواهیم داشت و در طول این مدت آب صنایع استان اصفهان به‌صورت ثقلی به اصفهان منتقل خواهد شد. قطعه‌بندی‌هایی که ما ۲۰۰ میلیون مترمکعب در بدو امر مجوز تخصیص داشتیم که طی جلساتی در دفتر وزیر محترم نیرو این میزان به‌دلیل بیلان منفی حدود ۱/۳ میلیارد مترمکعب سالانه استان اصفهان به ۴۰۰ میلیون افزایش پیدا کرد و این قابلیت در مطالعات ۶۰۰ میلیون مترمکعب سهم شیرین‌سازی و انتقال آب از دریا دیده شد. اسکلت طرح در هشت بخش است: اسکله آگیری از دریا، کارخانه شیرین‌سازی، ایستگاه‌های پمپاژ که شامل ۱۷ ایستگاه با دبی ۶۶۰۰ لیتر بر ثانیه، ارتفاع پمپاژ ۱۸۰۰ متر، خطوط انتقال طولانی در اقطار ۲۰۰۰ از شهرستان سیریک تا جنوب باتلاق گاوخونی و پس از آن وقتی به دو شاخه شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود ۱۶۰۰ خواهد بود، پستهای برق فشارقوی و خطوط انتقال را داریم که شامل جزییات زیر است: نیروگاه تولید برق به قدرت ۶۰۰ مگاوات، سیستم‌های انتقال اطلاعات کنترل مانیتورینگ مخازن آب که در ایام مختلف بن به ضرورت در طول مسیر طراحی شدند، توزیع تکمیلی که تقریباً هزینه سرمایه‌گذاری طرح حدود ۲۳۸۰ میلیون یورو خواهد بود، به‌جز نیروگاه ۶۰۰ مگاوات که تقریباً ۳۵۰ میلیون در صورتی که تامین کننده خودمان باشیم باید اضافه کنیم که بالغ بر ۲۹۰۰ میلیون یورو خواهد بود.

قطعات شش‌گانه‌ای که تعریف کردیم الان عملیات اجرایی را از سمت اصفهان به سمت جنوب آغاز کردیم به‌دلیل این که مجوزها در محدوده اصفهان برای ما آسانتر بود این اتفاق افتاد. ما در تقریباً ۴۰۰ کیلومتر خط انتقالی که در استان اصفهان و یزد داریم فعالیت اجرایی را شروع کردیم. جاده‌سازی و جاده سرویس خط تقریباً روی ۱۸۰ کیلومتر اول تمام شده است. ما ترانسه‌برداری و لوله‌گذاری را آغاز کردیم. ترانسه تا کیلومتر ۴۰ اتفاق افتاده و بیش از ۲ کیلومتر لوله‌گذاری هم انجام شده است. در استان‌های هرمزگان و کرمان خطوط را به قطعات ۵۰ تا ۷۰ کیلومتری تقسیم کردیم و پیمانکاران مجزا در این حوزه حضور خواهند داشت. در اصفهان و یزد پیمانکاران مستقر شده و ۶ فعالیت اجرایی آغاز شده است. لوله‌گذاری در دشت خاتمه پیدا کرده و قسمتی که در حوزه کرمان و هرمزگان است و کوهستانی هست در طراحی دارای چالش‌هایی شده که آن‌ها هم در دست انجام است. ما در بخش اول انشالله از دی ماه فعالیت‌های اجرایی را آغاز خواهیم کرد. چالش‌هایی که به‌طور عموم همه ما در طرح‌های سه‌گانه با آن‌ها روبرو خواهیم بود از چالش‌های فنی که بگذریم، مایحتاج پروژه غیر از بحث فولاد که می‌توانیم روی تولیدات فولاد مبارکه حساب بکنیم، پمپها و الکتروموتورها هستند که محدودیت‌های تولید داخل را داریم و قطعاً باید تمهیداتی برای بحث تامین ارز و تهیه از خارج برای طرح‌ها اتفاق بیفتد. به‌طور مثال ۱۷ ایستگاه پمپاژ ما دارای ۲+۸ پمپ و الکتروموتور است که متجاوز از ۱۸۰ پمپ خواهد بود. قطعاً در طرح‌های موازی ما مثل خطوط واسکو و همین اعداد و ارقام شاید بالاتر مورد نیاز خواهد بود و ظرفیت تولید ما در داخل بسیار محدود است. بنابراین یکی از چالش‌های بزرگ مدیریت این پروژه‌ها تامین تجهیزات مورد نیاز است که باید قطعاً تسهیلاتی برایش دیده شود. موضوع تامین مالی هست که عمده طرح‌ها باید از طریق سهامداران تامین شود. در مدل مالی ما تقریباً ۴۰ درصد را سهامداران تامین می‌کنند و ۶۰ درصد را باید از بازارهای مالی و اشکال مختلف شرکت تامین بکنند. اگر هم در بدنه دولت اتفاق نیفتد قطعاً این موضوع هم با چالش‌های بزرگی روبرو خواهد بود. این مشخصات قطعات هست که من مختصراً عرض کردم و عملاً گزارش عملیات اجرایی پروژه هست. ما در اصفهان تقریباً می‌شود گفت که قطعه‌ای واگذار نشده نداریم. در استان یزد دو قطعه ۱۰۷ و ۱۰۸ کیلومتری

داریم که قطعه اول را واگذار کردیم، قطعی دوم در مرحله بازگشایی پاکت‌ها و مشخصات قطعات است. حدود ۴۰ هزار تن فولاد را تحویل لوله‌ساز دادیم و در حال تامین لوله هستیم از طریق سهامدار خودمان یعنی فولاد مبارکه و جزییات دیگری که اگر سوالی باشد من خدمتان هستم.

خانم دکتر زهرایی:

ببینید ما سرجمع کسری سالانه آب‌خوان‌هایمان در استان‌های نوار شرقی سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و رضوی حدود ۲/۲ میلیارد مترمکعب است و خط شرق که توضیح دادند حالا با فرض این که انشاءالله اجرا بشود ۸۰۰ میلیون مترمکعب ظرفیت انتقال برایش دیده شده است. یعنی مقایسه آن‌ها عدد قابل توجهی با فرض این که منشا توسعه جدید نشود در اصفهان با کسری مخزن سالانه‌مان ۳۹۱ میلیون مترمکعب که ۷۰ میلیون مترمکعب انتقال آب، رقم اختلاف قابل توجهی است. آقای مهندس اسفندیاری لطفا بحث خود را بفرمایید.



مهندس اسفندیاری:

خسته نباشید می‌گویم و امیدوارم که این بحث به‌رحال مورد استقبال قرار بگیرد تا دوستانی که دست‌اندرکارند به‌صورت چراغ خاموش حرکت نکنند. خیلی فواید زیادی هست در گفتگوهایی که در این زمینه می‌تواند باشد. آن‌طوری که من متوجه شدم این طرح اول با یک نهال بسیار برومندی کاشته شد و الان تبدیل به یک جنگل بزرگی شده و خیلی خیلی جای نگرانی دارد. من می‌خواستم راجع به چالش‌ها صحبت کنم. برای شناخت چالش‌ها فقط توجه به وضع موجود کافی نیست و فقط مسایل خود طرح یعنی این که خط لوله بکشیم و ایستگاه پمپاژ احداث بکنیم و نیروگاه بزنیم، بازگوکننده چالش‌ها نیست. باید ببینیم این هدف‌های طرح خودش چه چالش‌هایی دارد. من متوجه شدم که این طرح در درجه اول برای صنعت فولاد و معادن سنگ آهن است و همین‌طور صنعت مس و بعد این گسترش پیدا کرد به مسایل دیگری از جمله تامین آب شرب که البته اسم آب شرب هم اسم غلط‌انداز است. منظور مراکز جمعیتی در شهرها است که یکی از اجزای خیلی کوچک آب، شرب است. فضای سبز و کسب و کارها هم هستند و خدمات و سایر مسائل. طرح خیلی گسترده است. برای همین ما باید به افق آینده توجه بکنیم. من فکر می‌کنم افق بهره‌برداری طرح حداقل بین ۲۰ تا ۵۰ سال باشد، شاید هم بیشتر.

از یک طرف ما با ابر طرح‌ها روبرو هستیم، از طرف دیگر اصلاً هیچ نوع آینده‌پژوهی راجع به آینده این منطقه که شاید ۱۷ استان را در بر بگیرد. من فقط می‌خواستم به دو تا موضوع توجه بدهم با توجه به ضیق وقت. یکی موج‌های تمدنی و انقلاب صنعتی چهارم و یکی هم بحث جداسازی آب از رشد اقتصادی. یا پاسخ به این سوال که آب جدید یا باز تخصیص از دید مدیریت آب در تراز جهانی است. ما در واقع ابعاد کار را خیلی گسترده می‌بینیم و طرح‌های بسیار عظیم و متحول‌کننده‌ای است که چندین میلیارد دلار فقط سرمایه‌گذاری اولیه با هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری بسیار بسیار بالا و ذی‌مذخلان خصوصی عمومی و شاید ۱۳ تا ۱۵ میلیون نفر تحت تاثیر این طرح قرار بگیرد شاید بیشتر.

ما متوجه شدیم که سازمان‌ها و گروه‌های سیاسی خاصی در اطراف این طرح هستند. ولی فقط آثار این طرح به این‌ها برنمی‌گردد. این طرح قطعاً باعث تکانه‌های مستقیم و غیرمستقیم جنبه‌های فنی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی محیط زیستی است. برای همین تاکید می‌کنم که برای شناخت چالش‌ها که عنوان این نشست هست حتماً ما باید با تحولات آینده آشنا بشویم و این نا اطمینانی و مخاطراتی که در آینده وجود دارد در محاسبات حتماً وارد بشود. من انتخاب می‌کنم به‌دلیل ضیق وقت، چشم‌انداز صنعت فولاد در اقتصاد ایران. چالش ماندن در موج دوم تمدنی را و چالش انقلاب صنعتی چهارم. در مورد چشم‌انداز صنعت فولاد عرض کنم که در حال حاضر یکی از ۱۱ صنعت استراتژیک در راهبرد توسعه صنعتی که از نظر ارزش افزوده اشتغال‌زایی، صادرات، سهم از بازار، مزیت نسبی، زنجیره تامین و سطح دانش و فناوری خیلی مورد توجه است. در ۱۰ سال گذشته تولید فولاد حدود ۳ برابر شده و ایران وارد فاز صادرات شد و جزو ۱۰ کشور صادرکننده فولاد خام در سال گذشته از ۴۸ میلیارد دلار صادرات کشور، ۱۳ درصد سهم فولاد بوده. پیش‌بینی می‌شود که این صنعت به‌لحاظ ارزآوری که دارد مورد توجه ویژه دولت باشد و این توجه در آینده هم ادامه خواهد داشت. اما مشخص نیست که با چه طرح جامعی و با چه آینده‌پژوهی و با چه سیاست‌پژوهی بحث‌های زیادی ما می‌بینیم که در مورد آینده صنعت فولاد جریان دارد ولی به‌صورت جمع‌بندی شده این‌ها به سرانجامی

تا حالا نرسیده است.

در مورد موج دوم تمدنی، من موج دوم را از کتاب موج سوم آقای الوین تافلر گرفتم که در آنجا یک گروهی از صنایع را در موج دوم طبقه‌بندی می‌کند شامل ذغال‌سنگ، راه‌آهن، منسوجات، فولاد، اتومبیل، لوازم ماشین، این‌ها همگی صنایع شناخته شده موج دوم که اساسا براساس اصول ساده الکترومکانیکی مبتنی است که مقدار زیادی انرژی مصرف می‌کند و آلودگی و مواد زاید فراوانی از خود برجا می‌گذارد. بعد می‌گوید که این موج تمدنی باید تسلیم موج سوم بشود و موج سوم از ۱۹۵۰ آشکار شده است. به مسایلی که موج دوم دارد اشاره می‌کند که با آغاز انتقال این صنایع کهنه به کشورهای به‌اصطلاح رو به توسعه که در آن‌ها کار ارزان‌تر و تکنولوژی عقب افتاده‌تر بود، مشکل به خودی خود حل شد و به دنبال آن مجموعه‌ای از صنایع پیشرفته جدید پدیدار شد تا به تدریج جایگزین آن‌ها شود. در بحث ابزار فردا در کتاب موج سوم (که توسط نشر نو منتشر شده با ترجمه خانم دکتر خوارزمی من به دوستان ارجاع می‌دهم که حتما مطالعه کنند تا با چالش‌های ماندن در موج دوم تمدنی آشنا بشوند) که شامل این صنایع فولاد و تولید معادن و صادرات معادن می‌شود، انعکاس ماندن در موج دوم باعث شده که ما در صنایع فولاد با چالش‌های انقلاب صنعتی چهارم مواجه بشویم. انقلاب صنعتی چهارم در واقع در فولاد تحولات زیادی را ایجاد کرده و یکی از نگرانی‌های مهمی که برای آینده فولاد هست، مخصوصا با توجه به این‌که وارد فاز صادرات شده، همین نتوانستن در ورود به انقلاب صنعتی چهارم است. جوری که در گزارشات اشاره می‌شود در حال حاضر تنها فولاد مبارکه از نسل سوم تکنولوژی استفاده می‌کند و سایر واحدهای صنعتی کماکان درگیر و دار گذار از نسل دوم به نسل سوم هستند.

پیامدهای این وضعیت چهار چالش عمده است: اول وابستگی حداکثری و غیرقابل جبران به شرکت‌های فناوری خارجی، دوم از دست دادن بازارهای اصلی و ثروت آفرین، سوم تکیه بر مزیت‌های کمتر ارزش آفرین (در صنعت فولاد ما الان حتی یک مقدار سنگ آهن به‌صورت خام صادر می‌کنیم)، شکاف در بهره‌وری و هزینه تولید و ناتوانی در ارایه مدل‌های جدید کسب و کار. از زاویه چالش‌های مدیریت آب هم من باید بدون رودربایستی عرض بکنم که به‌صورت نیم‌بند در برنامه ششم توافق ملی شکل گرفته بود در سازگاری با کم‌آبی کشور که می‌توانستیم با تجربه جهانی و دستاوردهای جهانی اقدامات بهتری را برای کنترل تقاضای مهار گسیخته آب در کشور داشته باشیم تا هدف کاهش برداشت آب در حد ۱۱ تا ۱۲ میلیارد مترمکعب در سال جامه عمل بپوشد. اما موج طرح‌های انتقال آب در این حرکتی که شما مشاهده می‌کنید خلل جدی وارد کرده. انتقال آب توهم فراوانی آب را تولید می‌کند. تحقیقات گسترده‌ای نشان می‌دهد که این کار علاوه بر تمام مشکلاتی که برای مبدا و مسیر و حتی مقصد ایجاد می‌کند عادات‌های غلط مصرف را پایدار می‌کند. اصطلاحاتی که شما در اینجا می‌بینید اگر فرصتی باشد من در بحث‌های بعدی توضیح می‌دهم.

نتیجه گیری که من می‌خواهم بکنم پنج تا سوال هست: یکی این‌که ما اگر بخواهیم به آینده نگاه کنیم (که تا به حال من هیچ ردی از آینده‌نگری ندیدم) پیش‌فرض‌ها و چارچوب ارزیابی ابرطرح‌های انتقال آب به چه شکلی تغییر می‌کند. من نمونه‌هایش را در مورد چالش‌های آینده صنعت فولاد گفتم و بخش مهمش را هنوز نگفتم و آن‌هم مسایل داخلی خود صنعت فولاد است. دومین سوال این است که سنجش پیامدها با تحولات آینده دارای چه مخاطراتی است. با توجه به این‌که ما حتی یک طرح جامع به‌هنگام در صنعت فولاد نداریم. پیش فرض‌ها برای تنظیم‌گری و مدیریت مجموعه ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان چه ابهاماتی دارد. ما اگر نگاه بکنیم مجموعه‌ای از ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان در این پروژه درگیر می‌شوند که نیاز دارد به تنظیم‌گری و بخش خصوصی که نمی‌توانم بگویم، شرکت‌های سهامی خاصی که در این‌جا درگیر هستند نمی‌توانند این مسایل را حل و فصل بکنند. باید دولت وارد قضیه بشود که روی این مسایل در واقع مناقشات جدیدی به‌وجود نیاید. آخرش این است که آثار و پیامدهای اقتصادی و محیط‌زیستی که هنوز در محاسبات وارد نشده تکلیفشان چه می‌شود و تاثیر این ابهامات و مخاطرات در ارزیابی این ابرطرح‌ها چگونه منعکس و درج می‌شود. از به نکات کوچکی که من در سوالات و اظهار نظرها متوجه شدم که این‌ها به یک نکات جزئی مثلا در مورد قیمت انرژی توجه می‌کنند، در صورتی که این طرح‌ها با چالش‌های بسیار عمده‌تری روبرو هستند.

خانم دکتر زهرایی:

بحث بعد توسط آقای دکتر مریدی ارایه می‌شود ایشان هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی هستند و مدیرکل دفتر آب و خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست بودند تا مدت کوتاهی پیش و در جریان مجوزهای زیست‌محیطی این طرح‌ها هستند و نکات زیست‌محیطی و چالش‌ها معلوم می‌شود. آقای دکتر در نهایت اختصار بفرمایید.



دکتر مریدی:

به نام خدا. سلام و وقت به خیر خدمت حضار محترم. یک سری سوالات مطرح شد در لابه لای صحبت های دوستان. آقای اسفندیاری هم با جزییات خیلی بیشتری این ها را ارائه کردند. این ها ابهاماتی بود که در ابتدا به ذهن افراد رسیده و آن هزینه های محیط زیستی و اصلی که این طرح ها و پروژه ها می توانند داشته باشند هنوز ابعادش برای ما مشخص نیست. ولی همین سوالات اولیه هم نشان می دهد هنوز ابهام هست در ذهن شنوندگان که به این ابهامات متاسفانه در چارچوب قوانینی که سازمان محیط زیست دارد توجه نمی شود. یک سری مباحث اولیه مورد بررسی قرار می گیرد، خسارت هایی که ممکن است محل آبیگر به اکوسیستم دریا داشته باشد یا مسیرهای تداخلی با مناطق حفاظت شده نداشته باشد. برای همین ابرپروژه هایی مثل انتقال آب دریا، بعضی توانستند از سازمان محیط زیست مجوز بگیرند چون نگاه، همان نگاه سطحی و اولیه بود در رابطه با خسارت محیط زیست که احيانا در مسیر تداخلی با مناطق حفاظت شده نباشد یا آن آب شور برگشتی خسارتی به مناطق حساس وارد نکند. به همین دلیل عمده این طرح ها که پیگیری شد مجوزهای اولیه را گرفتند و در ادامه هم اگر پیگیری انجام شود در چارچوب قوانین و مقررات با این نگاه سطحی اولیه قطعاً مجوزها را خواهند گرفت. ولی ابهامات جدی که در رابطه با این بحث وجود دارد این است که برق مصرفی این سامانه انتقال آب چقدر است؟ از کجا تامین خواهد شد؟ قیمت تمام شده ای که مطرح می شود و تا سه یورو در هر مترمکعب برای اصفهان یا مشهد یا حتی سمنان گفته شده، این قیمت تمام شده در یک اقتصاد رقابتی بدون یارانه چقدر خواهد شد؟ واقعاً اگر قیمت برق و گاز و لوله و فولادش آزاد حساب شود آن وقت همین سه یورو خواهد بود یا مبالغ خیلی بیشتری مطرح خواهد شد. موضوع بعدی این هست که ما با تمرکز این صنایع و توجهی که خواهد شد در فلات مرکزی، جذب جمعیت خواهیم داشت.

لابه لای صحبت های آقای اسفندیاری هم بود که انتقال بین حوزه های هیچ موقع نتوانسته مشکل ما را حل کند. در کوتاه مدت مسکنی بوده ولی در بلندمدت مسایل و مشکلات را شدیدتر کرده. به خاطر همین توهم زیاد بودن منابع در جذب جمعیت مهاجر، واقعاً در فلات مرکزی ایران دیگر جای این همه جمعیت و در واقع تمرکز جمعیت نداریم. بحث دیگری که لابه لای صحبت ها بود و خود شما هم به خوبی اشاره کردید، این حجم آب دردی از ما دوا نمی کند. ۲۰۰ میلیون و حتی ۴۰۰ میلیون در مقابل چندین میلیارد کسری که ما در فلات مرکزی داریم دردی را دوا نمی کند. در حد ۱۰-۲۰ درصد صرفه جویی در یک سری از موارد شاید بتواند این کمبودها را جبران کند. بحث گاز مصرفی را گفتم برای جبران برق، نیروگاه می زنیم. برای نیروگاه سیکل ترکیبی یا نیروگاه های گازی، گاز مورد نیاز نیروگاه از کجا می آید؟ ما خودمان در فصل زمستان کمبود گاز داریم. آیا می خواهیم با مازوت انرژی نیروگاه ها را تامین کنیم. همین الان درست است که ما کشوری هستیم که از لحاظ منابع انرژی ممکن است وضعیت نسبتاً خوبی داشته باشیم، ولی به دلیل همین برنامه ریزی های غلط، مصارف که تطابق ندارد با شرایط ما. به عنوان یک تولیدکننده بزرگ از الان که وارد زمستان شدیم خودمان ممکن است نیاز به گاز داشته باشیم. در تابستان به برق نیاز داریم. این ها در اقتصاد کلان ملی کجا دیده می شود؟ اگر رویکرد همبست آب و انرژی را در این طرح ها که به نوعی کلان پروژه هستند نبینیم دیگر کی می خواهیم در این کشور به آن توجه داشته باشیم. در بحث گازهای گلخانه ای براساس تعهدات پاریس و در ادامه تعهدات بعدی که ایجاد شده کم کم دنیا دارد به سمت سخت گیری روی تولید گازهای گلخانه ای می رود. این ها را در کجا خواهیم دید؟

حال بپردازیم به آن چیزی که سازمان محیط زیست برایش مهم بود، این که سازمان محیط زیست در محل آبیگر برایش خیلی مهم بود که آبیگری با توجه به تنش ها و فشارهایی که داخل خلیج فارس هست کم کم به سمت دریای عمان برود. برای همین داخل مجوزهای جدید و بحث های جدید و صحبت دوستان بود که به سمت سیریک رفتند و دیگر مجوز جدیدی احتمالاً در خلیج فارس داده نشود به دلیل تنش های آلودگی که وجود دارد. از آن طرف هم در کل شاید به نفع باشد رفتن به سمت آبیگری از دریای عمان به دلیل آلودگی هایی که از پدیده کشند قرمز هست. هر از گاهی این آب شیرین کن ها ممکن است از مدار خارج بشوند به دلیل این آلودگی و پدیده های طبیعی. مسیر چیزی نزدیک به ۹۲۰ کیلومتر طول خط هست، تعداد ایستگاه پمپاژ ۱۱-۱۳ تا است که ۲۹۰۰ متر ارتفاع پمپاژ داریم. ۶۰۰ هزار تن فولاد لازم هست برای چنین خط انتقالی و پروژه ای به این عظمت که ۸۰۵ میلیون یورو قیمتش هست. می خواهیم بگویم ابعاد بزرگ پروژه نشان می دهد با این حجم از سرمایه گذاری ها خیلی کارهای بهتر و دقیق تر می شود در حوزه منابع و مدیریت منابع انجام داد. در نهایت با هزینه شیرین سازی و هزینه های انتقال نزدیک به ۳-۲/۷ یورو قیمت هر مترمکعب آب خواهد بود. حالا مسیرهای مختلفی مطرح است چه از خلیج فارس چه از دریای عمان و هزینه هر مترمکعب آب متفاوت هست. با توجه به اطمینان پذیری و کمبود چالش های محیط زیستی همان مسیر سیریک که

دوستان گفتند مسیری هست که به اجماع رسیدند از لحاظ پیمانکاری و ظرفیت‌ها و گفتند ما بعید می‌دانیم چالشی در حوزه ظرفیت داشته باشیم و اکثر ماشین‌آلاتی که هست در حوزه پیمانکاری مناسب هستند. برای این که ابعاد لوله‌ها و پمپ‌ها دست دوستان باشد بعضی از این لوله‌ها ارتفاعش از قد آدم معمولی بیشتر است. ما این حجم از عملیات باید در ذهنمان باشد. ۹۰۰ کیلومتر لوله‌هایی با قطر دو هزار و امثالهم، این عملیات اجرایی خاصی هست که نمی‌دانم تجربه‌اش را در کشور داشتیم یا نه؟ بحثی هست که باید مورد توجه قرار گیرد.

یک نمونه از کسری و آمارهایی هست در اصفهان براساس آخرین آماربرداری حدود ۲۲۲ هزار حلقه چاه داریم که ۱/۲ میلیارد مترمکعب آب برمی‌دارند در حوزه زاینده‌رود که یک بخش کوچکی از فلات مرکزی است. در واقع ۴۱۲۰ عدد از این چاه‌ها چیزی حول و حوش ۲۱۶ میلیون مترمکعب اضافه برداشت دارند. یعنی ما اگر با یک مدیریت ساده کنترل و نظارت بتوانیم اضافه برداشت این چاه‌ها را مراقبت کنیم مثلاً ۲۱۶ میلیون مترمکعب آب این‌جا می‌توانیم استحصال کنیم. یا در حوزه زاینده‌رود حدود ۸ هزار حلقه چاه داریم که ۲۳۵ میلیون مترمکعب در سال برداشت دارد اگر ما بتوانیم این چاه‌های غیرمجاز را مدیریت کنیم. یا کارهای دیگری در کنار این بحث که نمونه‌ای از خروار هست.

ما مدیریت نادرست کشاورزی هم داریم. الگوی کشتی که ما در شهرستان فریدن داریم، در استان اصفهان کم‌کم کشت گندم که آبیاری آن تقریباً مطابق است با بارش فلات مرکزی و ایران دارد می‌رود به سمت کشت‌های پرمصرفی که اتفاقاً مواقعی نیازمند آب هستند که بارندگی نداریم، یعنی از فروردین و اردیبهشت که حالا تا حدی باران داریم تا آبان. در طول تابستان این کشت‌ها آب می‌خواهند. در فلات مرکزی ما از ۴۱ هزار هکتار اراضی رسیدیم به ۱۲۴ هزار اراضی که اصلاً جایگاه این‌ها در امنیت غذایی‌مان معلوم نیست که کجا دارند خدمت می‌دهند به بحث امنیت غذایی.

چندین طرح انتقال بین حوزه‌ای داشتیم در اصفهان، روز به روز زاینده‌رود خشک‌تر شد و وضعیت آب اصفهان خراب‌تر شد. این نشان می‌دهد که طرح انتقال بین حوزه‌ای کمکی نخواهد کرد. سه تا موضوع مهم: یکی مدل‌های تحلیلی باید بررسی بشود در چارچوب تحلیل علی معلولی (یک نمونه‌اش مثلاً الگوهای چارچوب DPSIR هست) که بتوانیم مسئله‌شناسی کنیم و برای مسئله موردنظر خود راه کارهای اصولی داشته باشیم. دوم توجه به بحث همبست آب، غذا، انرژی و محیط زیست. ما خودمان در کشور امنیت انرژی علی‌رغم این که فکر می‌کردیم داریم ولی به‌نظر می‌رسد نداریم که خود جای بحث دارد. سوم ارزیابی استراتژیک محیط‌زیستی (SEA) به جای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی (EIA) کلان پروژه‌های ملی باید در سطح ملی ارزیابی شوند.

خانم دکتر زهرایی:

ضمن تشکر از آقای دکتر مریدی یک سوالم از آقای دکتر بازارگان بپرسم که زحمت کشیدند تشریف آوردند. ایشان عضو هیئت علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران هستند و متخصص بحث آب‌شیرین‌کن. توضیح بفرمایید که آب‌شیرین‌کن‌هایی که الان فعال شده یا در برنامه هست که احداث بشود چقدر به‌روز هستند از نظر بهره‌وری مصرف انرژی و آن شیرابه‌ای که تولید می‌شود.



دکتر بازارگان:

با سلام. من فقط دو تا بحث در مقام سوال کننده برای این که بحث یک مقدار بچرخد بپرسم که با هم بتوانیم روش بحث بکنیم. خیلی ممنون از همه نکاتی که دوستان گفتند، یکی بحث این هست که ما در ایران روی (EIA) که دوستان گفتند که EIA این طرح‌ها انجام شده مخصوصاً در بخش دریایش، (اما واقعیت این است که قوانین دریایی و حالا آسیب زدن یا نزدن به اکوسیستم دریایی ما خیلی معادل حالا کلمه مقابل سخت‌گیرانه که اسم انگلیسیش می‌شود Lenient یعنی چیزی نیست مخالف کلمه Strict هست)، مثلاً فرض کنید برای شورابه قانونی که وجود دارد مثلاً در فاصله ۲۰۰ متری چند درصد این شوری افزایش پیدا نکند یا نکنند، در صورتی که کم‌کم کشورهای پیشرفته‌تر یک مقدار روی این بحث تأثیری که روی دریا می‌گذارد این واحدهای آب‌شیرین‌کن، خیلی سختگیرتر هستند. من فقط به‌عنوان یک نکته‌ای که حالا باید به آن فکر کرد این که بالاخره این آب وجود دارد و این که چقدر می‌توانیم حداقل کنیم هم در انتخاب مکان (من خودم در پروژه آب‌شیرین‌کن ۲۰۰ هزار مترمکعبی در بندرعباس فعال هستم) یک مقدار باید به این موضوع فکر کرد به‌صورت کلی (نمی‌خواهم نتیجه‌گیری

خاصی بکنم) که واقعا این یاری‌های ما برای رفع تکلیف است چون برخی اوقات این EIA برای این هست که رفع تکلیف کنیم بگوییم آقا این تیکش را بزن و حالا ما می‌توانیم برویم مثلا بسازیم. ولی وقتی مثلا فرض کنید در کارخانه‌های آمریکا و استرالیا این EIA این قدر مهم است که ممکن است خودش بسیار طولانی، بسیار پرهزینه و بسیار تعیین کننده باشد. یعنی مثلا امکان دارد که این پروژه را کلا متوقف کند یا ملغی کند. واقعا منظور خاصی ندارم فقط می‌گویم یک جامعه به عنوان یک گروهی از افرادی که دلمان برای این کشور می‌تپد به این موضوع فکر بکنیم که این توسعه‌ای که دارد انجام می‌شود طوری باشد که پایدار باشد و به صورت بلندمدت از آن منبع که آب دریا هست بشود استفاده کرد و تیشه به ریشه خودمان از آن جنبه نزن.

نکته بعدی این که دوستان هم به درستی فرمودند تکنولوژی اسمز معکوس پیش‌روی تکنولوژی‌های شیرین‌سازی آب دریا در جهان هست. الان از هر ۱۰ کارخانه جدیدی که در دنیا ساخته می‌شود ۸ تا کارخانه نمک‌زدایی RO هست و فقط ۲ تا هست که از تکنولوژی دیگری استفاده می‌کند. این درست. ولی این یادمان باشد که ما در کشوری و در منطقه‌ای زندگی می‌کنیم که انرژی بسیار در آن ارزان است و ممکن است که طرح‌های ترکیبی از نظر فنی-اقتصادی آنالیز، قابل رقابت باشند. مثلا فرض بفرمایید راس‌الخیر عربستان که اخیرا ساخته می‌شود یعنی هنوز به ظرفیت نهایی طرح نرسیده، ترکیب حرارتی و RO هست. طبیعتا تکنولوژی RO بهتر و جلوتر هست در این شکی نداریم. ولی شما یک موقعی آن قدر مصرف انرژی واحد بالا می‌رود مثل همین فازهای آب‌رسانی که صحبت شد که حالا این ۲۰۰ هزارتا الان یکی راه افتاده. حالا مثلا فرض کنید روزی که سه تا، پنج تا یا ده تا راه بیفتند، دیگر آن برقی که آن جا نیاز دارد از خط سراسری نمی‌تواند بیاید و خودش نیاز به نیروگاه دارد. نیروگاه، حرارت تولید می‌کند که تلفات هست و چه بسا بتوان از این حرارت استفاده کرد تا در واقع یک واحد MSF یا MED در کنار آن قرار بگیرد. این‌ها باز باید حساب بشود.

دوستان خیلی مطالعات خوبی هم موجود هست ولی حالا باز به عنوان یک نکته‌ای که بد نیست که سوالی ایجاد بشود در ذهن عزیزان که در چه شرایطی به صرفه خواهد بود که همه این ظرفیت شیرین‌سازی و نمک‌زدایی از RO نیاید. حتی ما چند وقت پیش یک طرحی در یونان داشتیم که این‌ها را با همدیگر سری می‌کرد و شما می‌دانید MSF یا MED ریکاوری خیلی پایینی در حد ۱۵ درصد دارد. اگر از دریای عمان می‌خواهید بردارید حتی ۱۵ درصد شوری بیشتر بشود می‌تواند برود داخل RO، این جوری نیست که نتواند برود و امثال این نوع مسائل که می‌شود به آن فکر کرد. من مطمئن هستم متخصصین زیادی هستند که به این امر فکر می‌کنند. من گفتم مغفول نماند. یک نکته‌ای که دوستان مطرح کردند بحث هزینه هست. یعنی شما لب دریا وقتی آب شیرین می‌کنید برایتان مثلا مترمکعبی ۶۰ سنت می‌شود و وقتی که پمپاژش می‌کنید و می‌خواهید تا نزدیک مثلا مرکز ببرید می‌شود چهار برابر این عدد و این که مثلا فرض کنید مترمکعبی چهار برابر این عدد در استان خراسان آیا واقعا به صرفه هست یا نه؟ کسی حاضر هست واقعا این هزینه ۱/۷-۲ دلار به ازای هر مترمکعب پول بدهد در استان خراسان، بحث لوله‌گذاری و پمپاژ و این موارد باید فکر بشود. عذر می‌خواهم از این که وقت عزیزان را گرفتم.

خانم دکتر زهرایی:

آقای مهندس حاجی حسینی مسگر، شما در مورد خراسان می‌خواهید یک جمله بفرمایید.

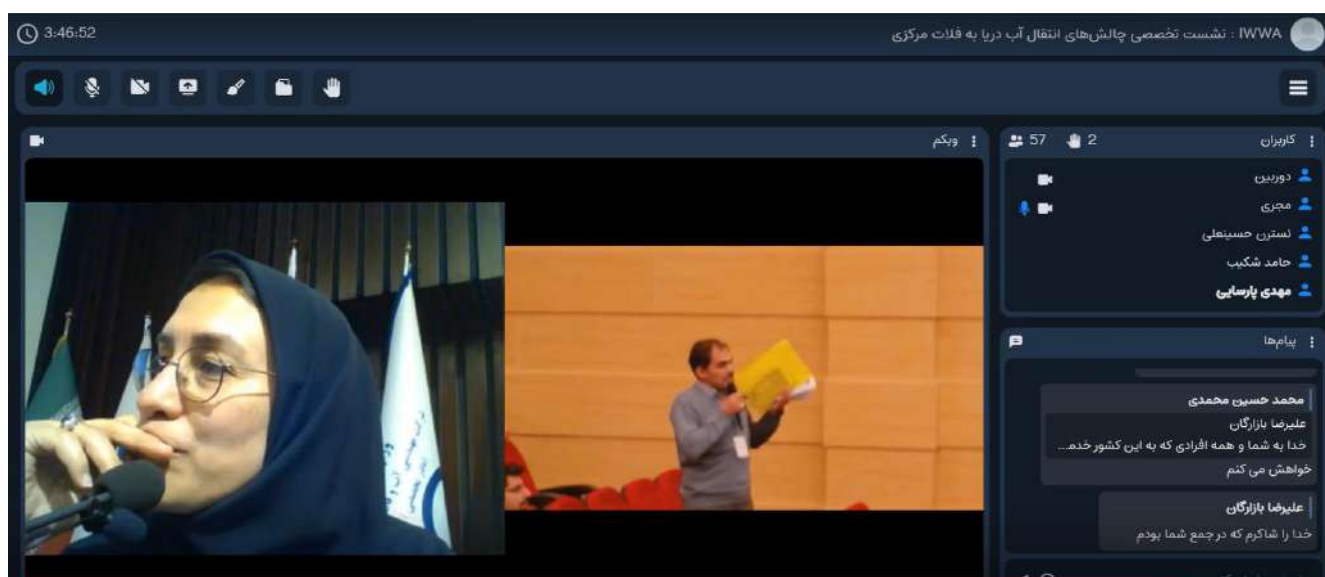
مهندس حاجی حسینی مسگر:

پرسیدند تخصیصی که از سد خراسان برای کرمان در نظر گرفته شده بود و یزد ۳۳۰ میلیون مترمکعب در مجموع هستند یعنی ۱۵۰ میلیون مترمکعب برای یزد و ۱۸۰ میلیون مترمکعب برای کرمان که مسیر انتقال این تخصیص تا یک جایی مشترک هست یعنی یک تونل ۱۱ کیلومتری از مخزن خراسان آب را منتقل می‌کند و از محل مقسم آب انتقال پیدا می‌کند برای کرمان و ۱۵۰ میلیون مترمکعب برای یزد. منتها من توضیح دادم با توجه به این که طرح کرمان یک طرح بزرگ دارای ۶۵۰ کیلومتر خط لوله هست و پیشرفت حدود ۴-۵ درصد الان بیشتر نیست، برای این که در این چند سالی که پیش‌رو هست با توجه به خشکسالی‌هایی که اتفاق افتاده ۳۰ میلیون مترمکعب تصمیم گرفته شد که از خط صنعت به طور موقت و در مواقع پیک مصرف اختصاص پیدا کند برای شرب کرمان و رفسنجان به کرمان و به معنی این نیست که انتقال آب از خراسان به کرمان متوقف شده است.

خانم دکتر زهرایی:

خیلی ممنون. من تشکر می‌کنم از همه بزرگواران که شرکت کردند در جلسه. ما متاسفانه از زمان گذشتیم و فرصتی برای پرسش و پاسخ

نمانده، البته یک سری پرسش و پاسخها در چت باکس رد و بدل شد بین حضار شرکت کننده. من خودم به شخصه فکر می‌کنم که بهترین بحث در مورد چالش‌های انتقال آب به فلات مرکزی از خود ارایه این طرح‌ها شروع می‌شود. یعنی به من نقد شد که در برنامه‌ریزی نشست چرا هر سه شرکت دعوت شدند که توضیحات ارائه بدهند. به نظر من توضیحات دوستان خودش بزرگی این طرح‌ها و چالش‌هایی که داشت را خیلی می‌تواند شفاف‌تر نشان بدهد تا این که ما بخواهیم بدون این که درباره جزئیات طرح‌ها اطلاع داشته باشیم صحبت بکنیم. یک جمله هم عرض بکنم که شما در حوزه‌ای که به صنایع آب نمی‌توانید تحویل بدهید این که بگویید که آب با چه قیمتی برای این صنعت مقرون به صرفه هست این جمله درستی نیست. یعنی وقتی شما اجازه تغییر کاربری آب از کشاورزی به صنعت را نمی‌دهید صنعت نیاز به آب دارد و ممکن است مترمکعبی ۱۰ یورو آب بردارد ببرد برای صنعت خودش باید به این نکته توجه بشود که ما چالش‌های حقوقی قانونی را این جوری سعی می‌کنیم با آب‌های بسیار گران قیمت جبران بکنیم، چون چالش‌های حقوقی را نمی‌توانیم حل بکنیم. من خیلی عذرخواهی می‌کنم از همه دوستان امیدوارم که مفید بوده باشد و مجدد تشکر می‌کنم از همه حضار و سخنرانان عزیز.



سوالات حضار:

۱- چرا برای تهران از آب دریای خزر استفاده نشد؟ خزر نه به لحاظ محیط‌زیستی توانست مجوز از سازمان محیط‌زیست بگیرد، نه به لحاظ اقتصادی توجیه دارد و نه در فراخوان‌هایی که برگزار شده هیچ سرمایه‌گذار خصوصی حاضر نشده سرمایه‌گذاری کند. یعنی نه مجوز دارد، پیچیدگی توپوگرافیک مسیرش به مراتب بالاتر هست، از مناطق حفاظت شده و جنگلی باید عبور بکند و سرمایه‌گذار هم ندارد.

مهندس حاجی حسینی مسگر:

یک توضیحی عرض کنم. ببینید ما سال گذشته در شرکت آب نیرو فراخوانی را برگزار کردیم برای انتخاب سرمایه‌گذار فقط برای نیروگاه تامین کننده برق شیرین‌سازی آب. ۴۲۰ مگاوات برق مورد نیاز این طرح هست. رسیدیم به این که گازی که برای تامین اصطلاحاً برق این نیروگاه نیاز هست در شمال کشور وجود ندارد و این چالش هست و یکی از اجزای طرح برای ما شد یک مشکل چه برسد به خود طرح. حدود بیش از ۱۰۰۰ متر پمپاژ دارد و من این را در تایید انتقال آب از دریا عرض نمی‌کنم. ولی خدمتان عرض بکنم که هزینه‌های انتقال آب از خزر و مسائل محیط‌زیستی که ما در خزر داریم به مراتب از انتقال آب از جنوب و خلیج فارس بیشتر است. تامین سوخت و برق در جنوب کشور به مراتب راحت‌تر از شمال هست. بله بحث آمایش هم که دیگر همیشه سر جایش هست.

۲- ما در کشور خشکی زندگی می‌کنیم. مشکل ما مدیریت بین حوضه‌ای در بخش‌های کشاورزی و صنعت و ... است. کشت محصولات استراتژیک مانند گندم لازم است ولی هندوانه و امثال آن لازم نیست. بحث انتقال آب اقتصادی و محیط‌زیستی است، مخصوصاً در برهه‌ای که مردم مشکل اقتصادی دارند.

خانم دکتر زهرایی:

ممنون به طور کلی که فرمایشات شما هم درست است ولی ما در چارچوب حقوقی و قانونی مقررات کشور داریم صحبت می‌کنیم. من خودم ۳-۴ سال در وزارت نیرو بودم. می‌دانم که هیچ وقت وزارت نیرو موفق نشد مجوز تبادل آب بخش کشاورزی و صنعت را بگیرد. علی‌رغم این که لابی‌های بسیار زیادی هم با مجلس انجام داد تا زمانی که آن مشکل حل نشود و شما اجازه نداشتید کاربری اراضی کشاورزی را تغییر بدهید مشکل تامین آب صنعت حل نمی‌شود. در مورد خط کرمان هم خط صنایع کرمان که آقای دکتر همتی توضیح دادند با وجود این که صد و اندی میلیون مترمکعب آب منتقل شده ولی صنایع هم چنان آب زیرزمینی که استفاده می‌کردند را دارند استفاده می‌کنند. می‌فرمایید آن آب را مجوزش را داشتند پروانه‌اش داشتند و بهره‌برداری می‌کردند. سرمایه‌گذاری عظیمی کردند، آب جدیدی آوردند و از آن هم دارند استفاده می‌کنند. یعنی این آب با این که آمده به داخل سرزمین ولی هیچ کمک خاصی به تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی نکرده. ۳- مصرف آب صنعت ۳ درصد در برابر ۹۲ درصد مصرف کشاورزی است که اگر آب صنعت دو برابر شود تولید آن دو برابر خواهد شد. این ۱۵۰۰ میلیارد اگر صرف کشاورزی صنعتی شود چه میزان اثرگذار خواهد بود؟

خانم دکتر زهرایی:

در کارگروه سازگاری با کم آبی جلسات خیلی متعددی با سازمان امور اراضی و وزارت جهاد کشاورزی برگزار شد برای این که بحث انتقال آب بین بخش کشاورزی و صنعت پیگیری بشود و نهایتاً جمع‌بندی این بود که به هر شکلی خلاف قانون هست و امکان‌پذیر نیست. در بحث این که صنعت سرمایه‌گذاری بکند که کشاورزی را تجهیز کند برای ارتقای بهره‌وری هم در پیش نشستی که برای تنظیم بحث‌های جلسه داشتیم آقای مهندس اسدی فرمودند ما در خراسان جنوبی این کار را کردیم. صنعت رفته سرمایه‌گذاری کرده در زمین کشاورزی، بهره‌وری را بالا برده، بعد کشاورز آن افزایش بهره‌وری را صرف تکرار بیشتر کشت یا افزایش سود اقتصادی کرده و هیچ آبی به صنعت تحویل نداده. یعنی قانوناً کشاورز می‌تواند از پروانه‌اش استفاده کند، حالا هر کس هم سرمایه‌گذاری کرده باشد. کما این که در طرح آبیاری تحت فشار همین اتفاق افتاد. ما از صندوق توسعه ملی خیلی هزینه کردیم، بهره‌وری کشاورزی را بردیم بالا، بعد مجلس قانون تصویب کرد که کشاورزی که آبیاری تحت فشار اجرا کند پروانه‌اش نباید تهدید بشود. یعنی ما از سرمایه‌گذاری که کردیم مطلقاً در بحث کاهش مصرف آب هیچ استفاده نکردیم، علی‌رغم این که در برنامه ششم برای تامین اعتبار این طرح بهانه اصلی صرفه‌جویی در مصرف آب زیرزمینی بوده است. می‌خواهم عرض کنم چالش‌ها عمدتاً چالش‌های حقوقی و برنامه‌ریزی هست.

۴- به عقیده من سه راه کار برای حل مشکل آب کشور بیشتر وجود ندارد. یکی بحث بازچرخانی و استفاده از پساب. دوم کاهش تلفات در حوزه شرب و کشاورزی. سوم نمک‌زدایی. در سال ۲۰۱۹ آمار آب نمک‌زدایی شده در دنیا ۲۷ میلیون مترمکعب در روز هست. ۴۶ درصد آفریقا، ۱۸/۵ عربستان که در برابر آن مقدار آب نمک‌زدایی ایران کمتر از یک درصد است. بحث می‌شود در مورد مسائل محیط‌زیستی. برخی وقت‌ها خودمان حق خودمان را پایمال می‌کنیم. ۵۰ درصد ساحل خلیج فارس از آن ایران است اما تنها ۳ درصد تولید آب دارد و شهرهای ساحلی مشکل آب دارند. مسئله دیگر بحث انتقال فناوری ممبران‌ها هست که باید برای آینده و تحریم‌ها فکری شود. مسئله بعد شرط انتقال آب نمک‌زدایی شده برای مناطقی است که امکان انتقال بین‌حوضه‌ای را ندارند که این انتقال حوضه به حوضه منسوخ شده است و نباید مدنظر باشد، چراکه مشکلات اجتماعی و ... زیادی در دو سمت دهنده و گیرنده ایجاد شده است.

خانم دکتر زهرایی:

خیلی ممنون دست شما درد نکند. من یک جمله فقط عرض بکنم در توضیح فرمایشی که شما داشتید که کشورهای حاشیه خلیج به نظر من با ما قابل مقایسه نیست. از این منظر که آن‌ها منابع تجدیدپذیر داخلی به آن معنی ندارند. برای اطلاع دوستان ۵۰ درصد شورابه برگشتی از کل آب شیرین‌کن‌های جهان در ۱۰ کیلومتری از ساحل خلیج فارس توسط این چند تا کشور جنوب خلیج فارس تخلیه می‌شود. یعنی می‌خواهم بگویم یک کشوری مثل عربستان ۹ برابر منابع تجدیدپذیر آب مصرف می‌کند، ما تقریباً نزدیک ۱۰۰ درصد مصرف می‌کنیم. می‌خواهم بگویم وضعیت ما کلاً با این کشورها قابل مقایسه نیست.

یک تذکری آقای مهندس اسفندیاری دادند که من گفتم ۱۰ یورو صنعت شاید حاضر باشد بدهد. بلکه صنعت ممکن است حاضر بشود هر هزینه‌ای را بدهد ولی طرح بالاخره باید توجیه ملی داشته باشد، در این هیچ شکی نیست.

رتبه اول مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۱ در مقطع دکتری، بخش شبکه آب و فاضلاب
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده فنی، دانشکده مهندسی عمران

عنوان: بررسی عوامل و فرآیندهای موثر بر پذیرش رفتارهای مدیریت مصرف آب خانگی: کاربرد تئوری‌های روانشناختی و

مدل سازی عامل بنیان

نگارش: سید احمد رضا شاهنگیان

استاد راهنما: دکتر مسعود تابش

استاد مشاور: دکتر مسعود یزدان پناه

تاریخ: مرداد ۱۴۰۱

چکیده

علاوه بر این، متولیان صنعت آب معمولاً تقاضای آب را با استفاده از مدل‌های مصرف سرانه یا مدل‌های آماری که رفتار مصرف کننده را ثابت فرض می‌کنند، تخمین می‌زنند. در حالی که رفتارهای مصرف و حفاظت از آب افراد در پاسخ به تعاملات اقتصادی، اقلیمی، هنجاری و اجتماعی تغییر می‌کنند. همچنین مصرف کنندگان در انتخاب فناوری‌ها و رفتارهای حفاظت از آب، تحت تأثیر سیاست‌ها و انتخاب‌های دیگر مصرف کنندگان قرار می‌گیرند. اگرچه رفتار افراد پویا و پیچیده بوده و در شرایط مختلف متفاوت است، اما با این حال عوامل اجتماعی-روانشناختی می‌توانند نقشی حیاتی در برانگیختن رفتارهای حفاظت از آب داشته باشند. علاوه بر این، مدل‌های عامل بنیان به منظور شبیه سازی گسترش (انتشار) فناوری و رفتارهای حفاظت از آب در یک جامعه توسعه یافته‌اند تا مدل‌های پیش‌بینی تقاضای آب را بهبود بخشند. از این رو، گنجاندن تئوری‌های روانشناختی که برای توضیح رفتارهای انسان و پرداختن به پیچیدگی‌های آن توسعه یافته‌اند، درون مدل‌های عامل بنیانی که قرار است توصیفی میکرومقیاس از رفتارها و پدیده‌های اجتماعی در میان عامل‌های فردی داشته باشند، می‌تواند بینش عمیقی را در حوزه شناخت رفتارهای مصرف و حفاظت از آب و مکانیسم‌های اساسی مؤثر بر پذیرش آنها با ارائه یک چارچوب تحلیلی اکتشافی جامع فراهم آورد.

هدف تحقیق حاضر، ارائه یک چارچوب مفهومی نوآورانه به منظور شبیه سازی پذیرش رفتارهای حفاظت از آب خانگی و به طور خاص رفتارهای افزایش بهره‌وری آب بود که در آن یک مدل عامل بنیان

در حال حاضر نگرانی از عدم امنیت آب ناشی از کمبود آب، زندگی و معیشت بشریت را در سراسر جهان تهدید می‌کند. نواحی شهری به ویژه در برابر کمبود آب آسیب پذیر هستند، جایی که تضمین امنیت آب آینده به یک چالش سیاسی مهم برای تصمیم گیران تبدیل شده که ناشی از افزایش تقاضای آب و کاهش منابع عرضه است. با توجه به اختصاص سهم عمده تقاضای آب شهری به خانوارها و پتانسیل آنها برای صرفه جویی قابل توجه در مصرف آب، پیش‌بینی و مدیریت تقاضای آب خانگی از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه مدیریت تقاضای آب در بخش خانگی، بر طراحی و اجرای اقداماتی با هدف تشویق خانوارها به پذیرش داولطلبانه رفتارهای حفاظت از آب خانگی متمرکز شده است. با این حال، از آنجا که ماهیت این رفتارها داولطلبانه بوده و نه اجباری، استراتژی‌های ترویج رفتارهای حفاظت از آب نمی‌توانند موفقیت آمیز باشند، مگر اینکه خانوارها داولطلبانه در انجام آنها از طریق پذیرش رفتارهای صرفه جویی یا افزایش بهره‌وری آب مشارکت کنند. لذا، درک رفتارهای حفاظت از آب افراد و شناسایی عوامل تعیین کننده و مکانیسم‌های زیربنایی پذیرش داولطلبانه آنها، از جمله ملاحظات سیاسی اساسی در طراحی مداخلات رفتاری مؤثر برای ایجاد رفتارهای مصرف آب پایدار است. روانشناسی محیط زیستی با شناخت محرک‌ها و فرآیندهای اجتماعی-روانشناختی بنیادی حفاظت از آب، نه تنها مبنایی اساسی را برای بررسی ماهیت رفتارهای حفاظت از آب ارائه می‌دهد، بلکه سیاست‌گذاران را نیز نسبت به طراحی و اجرای سیاست‌های مدیریت تقاضای آب کارآمدتر آگاه می‌کند.

ترکیبی به کمک نتایج مدل‌سازی رفتاری توسعه داده شد. لذا، تحقیق حاضر در سه فاز مختلف زیر تعریف و انجام شد: ۱) از طریق یک مطالعه کتابخانه‌ای، یک چارچوب مفهومی جامع در بحث مدل‌سازی و ارزیابی یکپارچه سیستم آب شهری استخراج و پیشنهاد شد. به علاوه، با مروری بر انواع رویکردهای رایج موجود در مدل‌سازی و ارزیابی یکپارچه، رویکرد مدل‌سازی متناسب با نیاز و هدف تحقیق حاضر انتخاب شد؛ ۲) از طریق انجام یک تحقیق پیمایشی در میان خانوارهای شهر تهران (به عنوان منطقه مورد مطالعه)، با کاربرد خلاقانه چارچوب‌های روانشناختی قابل قبول و شناخته شده و یا توسعه نوآورانه آنها، به مطالعه و بررسی پیش‌نیازها و عوامل تعیین‌کننده اجتماعی-روانشناختی اساسی مؤثر بر تمایلات رفتاری و رفتارهای حفاظت از آب خانگی پرداخته شد. لازم به ذکر است که اگرچه رفتارهای افزایش بهره‌وری آب و رفتارهای صرفه‌جویی در مصرف آب به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند، اما تمرکز اصلی تحقیق حاضر عمدتاً به بررسی رفتارهای افزایش بهره‌وری آب معطوف بود. همچنین، از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد؛ و ۳) با توجه به توانایی‌های رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، از آن در مدل‌سازی پذیرش رفتارهای افزایش بهره‌وری آب خانگی و کمی‌سازی نتایج استفاده شد. به طور کلی محیط پویای مدل عامل بنیان ارائه شده، تعاملات عامل‌های خانوار با یکدیگر و محیط اجتماعی آنها را درون چارچوب فرضیه دینامیکی این پژوهش شبیه‌سازی می‌کند که در آن هر یک از عامل‌ها بر اساس قوانین تصمیم‌گیری فردی و در تعامل با دیگر عامل‌ها، نسبت به پذیرش یا عدم‌پذیرش فناوری‌های (تکنولوژی‌های) حفاظت از آب و همچنین انتخاب نوع فناوری‌ها (بر اساس ترکیبی از سطح ترجیح رفتارهای افزایش بهره‌وری آب و درآمد) تصمیم‌گیری می‌کنند. لازم به توضیح است که به منظور ارائه دیدگاه واقع‌بینانه‌تری از شرایط حاکم بر مسئله، در این چارچوب فرآیندی نیز برای تغییر (به‌روزرسانی) مصرف آب عامل‌های خانوار بر اساس سطح پذیرش رفتارهای صرفه‌جویی آب آنها در نظر گرفته شد. نتیجه چنین تعاملاتی در مقیاس میکرو، منجر به تغییرات مصرف آب عامل‌های خانوار بسته به نوع فناوری‌های پذیرش شده و سطح پذیرش رفتارهای صرفه‌جویی آب و نهایتاً تأثیرگذاری بر مصرف آب کل آنها در مقیاس ماکرو (کلان) می‌شود. به طور کلی، مهم‌ترین نتایج تحقیق حاضر عبارتند از: ۱) تئوری‌های اجتماعی-روانشناختی، نه تنها چارچوب‌های تحقیقاتی کاربردی و مفیدی را به منظور درک و بررسی تمایلات رفتاری و رفتارهای حفاظت از آب خانگی و عوامل تعیین‌کننده و سازوکارهای (مکانیسم‌های) زیربنایی آنها فراهم می‌کنند، بلکه ابزارهای سیاستی مناسبی را نیز در اختیار سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران قرار می‌دهند؛ ۲) در مدل تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته، متغیرهای آشنایی و کنترل رفتاری درک شده کلیدی‌ترین متغیرها در تبیین تمایل و رفتارهای افزایش بهره‌وری آب بودند؛ ۳) در مدل تئوری شناخت اجتماعی، متغیرهای انتظار نتیجه و خودکارآمدی مهم‌ترین عوامل پیش‌بینی‌کننده تمایلات رفتاری بودند و متغیرهای تمایلات رفتاری، خودکارآمدی، درک از رفتار دیگران و عوامل اجتماعی-ساختاری (موانع) به عنوان تعیین‌کننده‌های معنی‌دار رفتارهای افزایش بهره‌وری آب ظاهر شدند؛ ۴) مقایسه عوامل تعیین‌کننده مؤثر بر تمایل به پذیرش رفتارهای صرفه‌جویی و افزایش

بهره‌وری آب به کمک مدل باور سلامتی، مشخص کرد که تفاوت‌های قابل‌توجهی بین آنها وجود دارد که بایستی مورد توجه قرار گیرد؛ ۵) مدل عامل بنیان ترکیبی ارائه شده، دیدگاه مناسبی را به منظور شبیه‌سازی فرآیند تأثیرپذیری عامل‌ها از یکدیگر (نفوذ شبکه اجتماعی) و تصمیم‌گیری آنها در قبال پذیرش رفتارهای حفاظت از آب فراهم کرد؛ ۶) فرآیند نفوذ شبکه اجتماعی، عامل مهم و تأثیرگذاری در نرخ پذیرش رفتارهای افزایش بهره‌وری آب (فناوری‌های حفاظت از آب) و رفتارهای صرفه‌جویی آب و به تبع آن، تغییر در سرانه مصرف آب عامل خانوار بود که نشان‌دهنده اهمیت محیط اجتماعی و تعاملاتی میان عامل‌های خانوار است؛ ۷) اگرچه نرخ کلی پذیرش فناوری‌های حفاظت از آب تحت اعمال سناریوهای مختلف مدیریت تقاضای آب رشد نسبتاً قابل‌توجهی داشت، اما تغییر در نرخ پذیرش برخی از این فناوری‌ها تحت اعمال سیاست‌های متعدد مدیریت تقاضا، تغییر چندانی نداشت؛ ۸) ترویج رفتارهای حفاظت از آب، تا انتهای سال دهم و پایان دوره شبیه‌سازی به ترتیب منجر به کاهشی حدوداً ۱۹ و ۳۰ درصدی در میزان مصرف آب (به طور متوسط ۲۱ درصد در کل دوره شبیه‌سازی) و به طور کلی، افزایشی ۹ درصدی در کاهش مصرف آب کل نسبت به سناریو پایه (بدون اعمال هیچ‌گونه سیاستی) شد؛ و ۹) مدل بیشترین حساسیت را نسبت به متغیر انتظار نتیجه نشان داد، به نحوی که تغییر در مقدار مرزی این متغیر، توانست نرخ پذیرش برخی تجهیزات را تا ۵۰ درصد و حتی بیش‌تر تحت تأثیر قرار دهد.

اگرچه تحقیق حاضر با محدودیت‌هایی روبه‌رو بود، اما رویکرد تحقیقاتی آن به لحاظ تلفیق علوم اجتماعی و دانش مهندسی و همچنین نتایج آن، بینش عمیقی را برای محققان آتی و سیاست‌گذاران فراهم کرد. با بررسی محدودیت‌های تحقیق حاضر نیز، پیشنهاداتی به منظور توسعه آن ارائه شد که فرصتی را برای تحقیقات آینده فراهم می‌کند. به عنوان کلام پایانی، می‌توان اظهار کرد که نتایج فاز دوم تحقیق حاضر، نه تنها کمک کرد تا با شناسایی عوامل تعیین‌کننده و سازوکارهای کلیدی زیربنایی پذیرش رفتارهای حفاظت از آب، ساختار مدل عامل بنیان ارائه شده را با دیدگاه دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تری ایجاد کرد، بلکه توانست با مشخص کردن نقاط اهرم برنامه‌های حفاظت از آب، الگوی ذهنی و دیدگاه عمیقی را نیز برای در نظرگیری و اعمال سناریوهای مدیریت تقاضا با هدف ترویج این رفتارها در مدل عامل بنیان فراهم آورد.

واژگان کلیدی: حفاظت از آب، روانشناسی محیط‌زیستی، تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده، تئوری شناخت اجتماعی، مدل باور سلامتی، مدل‌سازی عامل بنیان، رفتارهای افزایش بهره‌وری آب، رفتارهای صرفه‌جویی در مصرف آب.

رتبه دوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۱ در مقطع دکتری، بخش شبکه آب و فاضلاب
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست

عنوان: توسعه یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیریت هدررفت واقعی در سامانه‌های آب‌رسانی

نگارش: ایمان مصلحی بهارنچی

استاد راهنما: دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده

تاریخ: بهمن ۱۴۰۰

چکیده

هدف‌گذاری سطح نشت برای نواحی بهره‌برداری مختلف شبکه و با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه توسعه داده شد. در این راستا، الگوریتم ژنتیک دو هدفه و سه هدفه به‌منظور کمینه کردن هزینه کنترل فعال نشت، کمینه کردن جرم کربن انتشار یافته و بیشینه کردن حجم آب ذخیره شده با توجه به قیود بودجه‌ای در یک بازه زمانی میان مدت استفاده شد تا از این طریق سطح نشت اقتصادی کوتاه‌مدت و سطح نشت اقتصادی پایدار شبکه تعیین شود. سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری توسعه داده شده مبتنی بر روش هزینه حاشیه‌ای نیز برای پنج ناحیه بهره‌برداری مجزا از شبکه توزیع آب مشهد به‌کار گرفته شد. سامانه توسعه داده شده مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه برای برنامه‌ریزی میان‌مدت نواحی مختلف یک شبکه با توجه به محدودیت منابع مالی ارائه می‌دهد. برای استراتژی مدیریت فشار، یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری در قالب یک چارچوب ارزیابی اقتصادی با استفاده از مدل‌های اقتصادی برای هزینه‌ها و سودهای مستقیم و غیرمستقیم ناشی از اعمال طرح‌های فشار در شبکه توزیع آب توسعه داده شد. علاوه بر این، تأثیر مدیریت فشار بر کاهش شکستگی‌های گزارش شده به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فواید مستقیم ناشی از اجرای مدیریت فشار با استفاده از تئوری بیز ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده برای متدولوژی‌های توسعه داده شده در این رساله نشان داد که سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری توسعه داده شده در این رساله می‌توانند به‌عنوان ابزاری کارآمد در هدف‌گذاری سطح نشت مبتنی بر سطح اقتصادی نشت در پهنه‌های مختلف یک شبکه توزیع آب به‌صورت مجزا یا بصورت مجموع مورد استفاده قرار گیرند.

یکی از معضلات شبکه‌های آب‌رسانی حجم بالای نشت در آن‌ها است. با تقاضای روزافزون جمعیت رو به رشد، محدودیت منابع آبی و هزینه‌های رو به افزایش که در نتیجه افزایش تقاضا و قوانین اعمال می‌شوند، چشم‌پوشی از هدررفت آب غیرمنطقی است. از این‌رو در دهه‌های اخیر تصمیم‌گیری مؤثر و کارآمد در زمینه مدیریت هدررفت و به‌خصوص کاهش هدررفت واقعی آب در شبکه‌های توزیع آب یکی از رویکردهای اصلی شرکت‌های آب و فاضلاب است. هدف از این رساله، توسعه سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای استراتژی‌های کنترل و مدیریت هدررفت واقعی به‌منظور هدف‌گذاری نشت در شبکه‌های توزیع آب مبتنی بر سطح اقتصادی نشت است که بدین‌منظور استراتژی‌های کنترل فعال نشت و مدیریت فشار به‌عنوان اصلی‌ترین فعالیت‌های مربوطه مورد بررسی قرار گرفته است. در این رساله، دو سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری برای استراتژی کنترل فعال نشت توسعه داده شد که مبتنی بر روش منحنی هزینه کل و روش هزینه حاشیه‌ای هستند. در سامانه توسعه داده شده مبتنی بر روش منحنی هزینه کل، از یک متدولوژی داده‌محور استفاده شد تا با استفاده از داده‌های میدانی جریان و فشار در نقاط کلیدی شبکه، سطح اقتصادی نشت تعیین شود. علاوه بر این، به‌منظور تعیین سطح نشت شبکه از معادله توسعه یافته فاواد و یک روش داده‌کاوی داده‌های جریان با عنوان روش تعیین هسته جریان استفاده شد. همچنین روشی جدید برای تعیین سطح نشت زمینه هدف، پیشنهاد شد. علاوه بر این، تحلیل حساسیت برای متغیرهای تأثیرگذار بر سطح اقتصادی نشت انجام شد. سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری توسعه داده شده برای یک ناحیه از شبکه توزیع آب شهر مشهد پیاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری توسعه داده شده مبتنی بر روش منحنی هزینه کل را برای هدف‌گذاری سطح نشت در هر ناحیه بهره‌برداری از شبکه توزیع آب می‌توان به‌کار برد. در سامانه توسعه داده شده مبتنی بر روش هزینه حاشیه‌ای، یک متدولوژی جدید برای

واژگان کلیدی: سطح اقتصادی نشت، هدررفت آب، کنترل فعال نشت، سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری، روش هزینه حاشیه‌ای، روش منحنی هزینه کل، بهینه‌سازی چندهدفه، مدیریت فشار، شبکه توزیع آب.

رتبه سوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۱ در مقطع دکتری، بخش شبکه آب و فاضلاب
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده مهندسی عمران و معماری، گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب
عنوان: تعیین نشت در سیستم های آبرسانی بر اساس جریان گذرا و با رویکرد یادگیری ماشین
نگارش: سیدامیر هوشنگ آینی
اساتید راهنما: دکتر علی حقیقی
استاد مشاور: دکتر حمید رضا غفوری
تاریخ: آذر ۱۴۰۰

چکیده

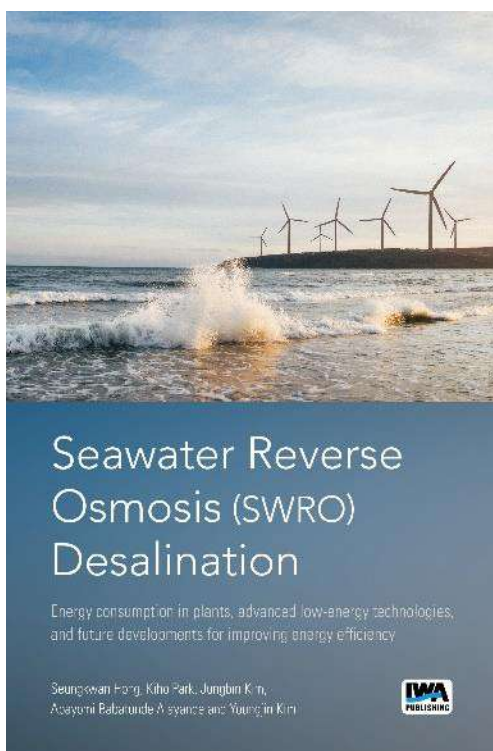
ماشین و مدلسازی هیدرولیکی جریان گذرا برای خطوط لوله و شبکه های توزیع آب پیشنهاد شده است. هر دو رویکرد حوزه زمان و حوزه فرکانس مورد بررسی قرار گرفته و در هر مورد، پایداری روش در برابر عدم قطعیت ها مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا مروری جامع بر روش های مبتنی بر مدل سازی و یادگیری ماشینی ارائه شده است. سپس یک چارچوب کلی برای تشخیص نشت با رویکرد ML/TB براساس ماشین بردار پشتیبانی در حوزه زمان معرفی شده است. پس از آن، یک مدل دو مرحله ای برای خطوط لوله در مقیاس بزرگ براساس مدل های انسمبل تهیه شده است. در مرحله بعد، یک مدل ترکیبی یادگیری ماشین برای انتخاب ویژگی و تشخیص نشت در شبکه های توزیع آب براساس تحلیل افتراقی خطی و تحلیل جزیی همسایگی در حوزه فرکانس معرفی می شود. در ادامه، چهار روش طراحی سایت اندازه گیری از تاریخچه تحقیق اقتباس شده و برای کاربرد در تشخیص نشت با رویکرد ML/TB در حوزه فرکانس برای شبکه های آبرسانی باز تعریف شده است. نهایتاً، یک روش طراحی سایت اندازه گیری نوین مبتنی بر بهینه سازی چندهدفه براساس مفاهیم انتخاب ویژگی فیلتر و پوشش در حوزه فرکانس معرفی شده است. روش های پیشنهادی در خصوص چند شبکه مرجع و یک سیستم خط لوله آزمایشگاهی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز اعمال شدند. نتایج نشان داد که مدل های معرفی شده در این مطالعه می توانند نشت ها را با دقت بالا تشخیص داده و در برابر عدم قطعیت های زیاد در ضرایب اصطکاک لوله ها و مصارف گره های پایدار و قابل اعتماد هستند. همچنین، در مقایسه با روش های موجود، با استفاده از روش طراحی سایت پیشنهاد شده می توان نشت را با دقت بیشتر و با در نظر گرفتن گره های اندازه گیری کمتر شناسایی نمود.

واژگان کلیدی: یادگیری ماشین، انتخاب ویژگی، نشت یابی، تحلیل گذرا، حوزه فرکانس.

شهرنشینی سریع و افزایش جمعیت نیاز به منابع آب شیرین را در جوامع افزایش داده است. شبکه های توزیع آب تاسیسات حیاتی هستند که آب آشامیدنی با کیفیت، مطمئن و مقرون به صرفه را برای مردم فراهم می کنند و نگهداری از آن ها نقش مهمی در سلامت و اقتصاد شهر ایفا می کند. سال ها است که نشت در شبکه های توزیع آب باعث ایجاد مشکلات جدی در مدیریت بهره برداری شده و هزینه های بالایی را به سبب از دست رفتن مقادیر قابل ملاحظه آب شرب تحمیل کرده است. تشخیص زود هنگام نشت باعث صرفه جویی در منابع آب و جلوگیری از تبدیل نشت های کوچک به شکستگی های بزرگ می شود. همچنین این موضوع به دلایل اقتصادی، محیط زیستی، حسن اعتبار و رضایت عمومی برای شرکت های آب از اهمیت بالایی برخوردار است. طی دهه های گذشته، روش های غیرتهاجمی مختلفی برای تشخیص نشت در شبکه های توزیع معرفی شده است. بخش بزرگی از آن ها تکنیک های مبتنی بر مدل سازی هستند که عمدتاً رویکرد حل معکوس مسئله را به کار می برند. دقت و قابلیت اعتماد این روش ها به میزان تطابق مدل شبیه سازی و شبکه واقعی بستگی دارد و اغلب دارای پاسخ های غیر یکتا هستند. در میان آن ها، روش های مبتنی بر تحلیل گذرا به دلیل استفاده از سیگنال های پاسخ فرکانس بالا عملکرد بالاتری دارند. در دهه گذشته، به منظور رفع برخی نواقص روش های مبتنی بر مدل سازی، روش هایی مبتنی بر یادگیری ماشین ارایه شد. عملکرد روش های مبتنی بر یادگیری ماشین به طور قابل ملاحظه ای تحت تأثیر کیفیت و کمیت داده های مورد استفاده است. علی رغم محتوای اطلاعاتی بالا در پاسخ سیستم در تحلیل گذرا، اکثر روش های موجود مبتنی بر یادگیری ماشین از شبیه سازی هیدرولیکی غیرگذرا برای ایجاد مجموعه داده های مورد نیاز استفاده کرده اند.

این پایان نامه زمینه تحقیقاتی جدیدی را در تشخیص نشت براساس مدل سازی و یادگیری ماشین به نام ML/TB معرفی می کند. برای این منظور، مجموعه ای از مدل های تشخیص نشت ترکیبی براساس یادگیری

عنوان: نمک‌زدایی اسمز معکوس آب دریا (SWRO): مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌ها، فناوری‌های پیشرفته کم‌انرژی و توسعه‌های آتی برای ارتقای راندمان انرژی
 ناشر: انجمن بین‌المللی آب (IWA)
 زمان انتشار: سال ۲۰۲۳



مصرف بالای انرژی یک مشکل اساسی مرتبط با سامانه‌های نمک‌زدایی آب دریا به روش اسمز معکوس (SWRO) است؛ هرچند که SWRO به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها برای نمک‌زدایی چنین نوع آب‌هایی است. این بدان معنا است که روش مذکور نیاز به مقدار زیادی سوخت فسیلی و دیگر منابع انرژی، به‌منظور تولید آب دارد. در نتیجه این امر سبب تاثیر منفی بر محیط‌زیست از طرق مختلفی نظیر انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین مسأله مصرف بالای انرژی در SWRO، باید به‌منظور به حداقل رساندن اثرات محیط‌زیستی و امکان بهره‌برداری پایدار از آب دریا، مورد بررسی قرار گیرد. با این حال، به‌نظر می‌رسد که روند اخیر مصرف انرژی در چنین سامانه‌هایی به یک نقطه اشباع رسیده که هنوز در جایگاهی، بالاتر از حداقل انرژی موردنیاز از نظر تئوری قرار دارد. برای یافتن راهبردهای جدید و نوآورانه کاهش مصرف انرژی فعلی در SWRO، نیاز به درک جامعی از مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های به‌روش SWRO، به‌منظور تجزیه و تحلیل مصرف تئوری و همچنین واقعی انرژی در آن‌ها، است.

کتاب مذکور، می‌تواند اطلاعاتی نظیر وضعیت فعلی مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های واقعی به‌روش SWRO، مبانی پایه‌ای تئوری مصرف انرژی در چنین تصفیه‌خانه‌هایی و همچنین فناوری‌های پیشرفته و فرآیندهایی که می‌توانند در آینده به‌منظور کاهش مصرف انرژی به‌کار گرفته شوند، را در اختیار خوانندگان آن قرار دهد. هم‌چنین در این کتاب، یک روش دقیق برای تجزیه و تحلیل مسائل انرژی در نمک‌زدایی آب دریا، ارائه شده است. از طریق این کتاب، خوانندگان به بینشی دست خواهند یافت که می‌توانند مسائل انرژی در نمک‌زدایی SWRO را بررسی نموده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. توضیحات بیشتری از این کتاب، از لینک زیر قابل دریافت است:

<https://www.iwapublishing.com/books/9781789061208/seawater-reverse-osmosis-swro-desalination-energy-consumption-plants-advanced>

رتبه اول چهارمین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (محور هدررفت آب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۱)



عنوان: استفاده از لوله‌های دوجداره به منظور کاهش تلفات واقعی شبکه‌های آبرسانی

نگارنده: سید حامد شکیب

دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

مقدمه

با توجه به این که بخش زیادی از آب شرب شبکه‌های آبرسانی به تلفات واقعی اختصاص دارد، کاهش این مقدار تلفات می‌تواند میزان قابل توجهی از مساله کمبود آب را جبران نماید. تلفات واقعی مربوط به نشت زمینه، شکستگی‌های گزارش شده و گزارش نشده هستند. بنابراین چنانچه بتوان اثر فشار شبکه را بر میزان نشت کاهش داد، عامل ایجاد شکستگی‌ها را در لوله‌ها برطرف نمود و در نهایت آب نشت یافته را به سیستم توزیع آب یا پساب بازگرداند، عملاً بخش زیادی از مشکل نشت واقعی و اثرات آن مرتفع خواهد شد. مسئله بعدی، نشت‌یابی است که امروزه گریبان‌گیر سازمان‌های ذیربط بوده و علاوه بر هزینه و وقت، اثربخشی مناسبی در بسیاری از مواقع ندارد. بنابراین روشی که بتواند تمام موارد فوق را به گونه‌ای مناسب و قابل اجرا بهبود دهد، مطلوب خواهد بود. قابل ذکر است که در سطح دنیا و براساس منابع محدود غیررسمی، استفاده از لوله‌های دوجداره برای جلوگیری از نشت مواد سمی به فضای بیرون مورد توجه بوده، به طوری که اکثر سیستم‌های لوله‌کشی دوجداره نصب شده در تاسیسات تصفیه آب و فاضلاب توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (EPA) اجباری شده است. همچنین برای نصب سنسورهای سیستم SCADA نیز این نوع لوله‌ها مورد توجه بوده است.

ایده پیشنهادی

ایده پیشنهادی برای کاهش تلفات حقیقی شبکه آب، استفاده از لوله‌های دوجداره است. با این ایده مقاومت لوله با وزن واحد طول یکسان، افزایش یافته، جداره تحت فشار در صورت ترک خوردگی، آب را به جدار دوم منتقل نموده و از آنجا با فشار اتمسفر در لوله دوم جریان می‌یابد و می‌تواند به شبکه فاضلاب برای بازچرخانی یا مخازن توزیع آب از طریق مخزن و پمپ متصل شود. در واقع برای لوله داخلی، قطر محاسباتی و برای لوله خارجی، حداقل ضخامت کافی خواهد بود.

روش پیشنهادی

ساخت لوله‌های دوجداره قبلاً برای مقاصد دیگر در سطح دنیا انجام شده است. بنابراین مشکل فنی و اجرایی در ساخت وجود ندارد. برای اتصالات لوله‌ها، نیز توسط یک قطعه ابتدا در محل اتصال، قسمت داخلی دو لوله متصل شده و سپس بخش خارجی توسط یک پوسته فلزی از جنس لوله یا تیوب پلاستیکی منعطف، وصل می‌شود. به ازای هر چند ده متر، بسته به محاسبات دبی، یک سوراخ در بدنه خارجی ایجاد شده و توسط لوله پلاستیکی به شبکه فاضلاب یا یک مخزن محلی متصل می‌شود تا آب خارج شده از شبکه، مجدداً از طریق شبکه فاضلاب و تصفیه‌خانه و یا شبکه آب، استفاده شود. زیرساخت لازم برای این شبکه، همانند شبکه آب است. شیب لوله‌ها در این شبکه مهم

نیست چراکه آب بالاخره تحت هر شیب و یا فشار ایجاد شده و لوله‌های خروجی به شبکه فاضلاب، آب موجود در بخش خارجی لوله‌های دوجداره شبکه، تخلیه خواهد شد.

سخن آخر

این طرح با افزایش مصالح مصرفی در حد ۳۰ درصد بیشتر، یک شبکه مقاوم در برابر نیروهای عامل شکست ایجاد می‌کند که می‌تواند میزان لزوم عملیات نشت‌یابی را کاهش دهد. در صورت ایجاد شکست در جداره لوله داخلی، آب خروجی به جدار دوم و سپس با توجه به مطالب شرح داده شده قبل، به سیستم تصفیه آب برای استفاده مجدد خواهد پیوست. چنان‌چه ترک در سطح خارجی رخ دهد، اولاً مقدار آب خروجی به دلیل فشار نسبی صفر در حد بسیار ناچیز خواهد بود (طبق رابطه اریفیس صفر است). ثانیاً مقدار آب خروجی از لوله‌های هدایت‌کننده آب به شبکه فاضلاب، می‌تواند برای انجام عملیات نشت‌یابی مورد استفاده باشد، چراکه نشت در حد فاصل بین دو لوله خروجی اتفاق افتاده است. لازم به ذکر است، عملیات نشت‌یابی در این شبکه بسیار کمتر از حد شبکه‌های معمولی لازم است، چون به لحاظ نسبت هزینه به تلفات، ارزش اقتصادی نخواهد داشت و از روش گفته‌شده تا حد زیادی قابل تشخیص است. از طرفی مسئله مهم کشور یعنی هدررفت آب از شبکه سراسری به تشخیص نگارنده تا حد ۹۰ درصد بهبود خواهد یافت. بنابراین می‌توان ابراز داشت، این طرح کمک شایانی به اقتصاد، محیط‌زیست و منابع آب خواهد کرد. به لحاظ اقتصادی با صرف هزینه حدود ۳۰ الی ۵۰ درصدی (با احتساب لوله‌های مرتبط به شبکه فاضلاب و یا احداث مخازن) برای شبکه، کاهش هزینه‌های نشت‌یابی، کاهش هزینه‌های مادی و معنوی هدررفت آب، کاهش هزینه‌های نوسازی و کاهش عملیات مربوطه و نیروی انسانی را در بر خواهد داشت. به لحاظ محیط‌زیستی، این طرح با کاهش نشت، حجم بیشتر تخصیص آب به محیط‌زیست را توسط مسئولان به ارمغان خواهد آورد و می‌توان با اجرای آن در سطح دنیا علاوه بر ارزآوری و نمایش قدرت مهندسی کشورمان، این کمک معنوی را برای جهان مدنظر قرار داد. از جنبه منابع آب، نیز واضح است که بیلان منابع آب برای هر منطقه مورد اجرای طرح متأثر از آن شده و به مقدار کاهش هدررفت شبکه، مثبت خواهد شد.

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه اول سال ۱۴۰۲ به شرح زیر است:

- انتصاب دکتر عباس اکبرزاده عضو هیئت مدیره انجمن به عنوان مشاور مدیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
- برگزاری جلسه هماهنگی در موسسه آب وزارت نیرو (۱۴۰۲/۰۱/۲۹)
- نمایه شدن مقالات کامل چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (سال ۱۴۰۱) در سیویلیکا
- برگزاری جلسه هفتاد و سوم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۲/۰۱/۳۱)
- انتشار خبرنامه شماره ۸۵ انجمن (فروردین ماه ۱۴۰۲)
- کسب رتبه A در ارزیابی عملکرد سال ۱۴۰۰ انجمن به وسیله کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
- برگزاری و آغاز به کار سایت همایش ۱۴۰۲ به آدرس iwwa-conf.ir در اردیبهشت ماه
- امضای تفاهم‌نامه برای پشتیبانی تبلیغاتی و ایندکس مقالات کامل همایش ۱۴۰۲ با سیویلیکا
- صدور مجوز وزارت علوم تحقیقات و فناوری برای برگزاری همایش ۱۴۰۲
- ارسال فراخوان همایش برای کلیه دانشگاه‌ها، شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای، شرکت‌های مشاور و پیمانکاران و سازندگان صنعت آب و فاضلاب
- برگزاری وبینار «نبرد شبکه‌های متمرکز و غیرمتمرکز جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی» توسط آقای سینا حصارکزاری دانشجوی دکتری دانشگاه اینسبروک (۱۴۰۲/۰۲/۲۷)
- برگزاری جلسه هفتاد و چهارم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۲/۰۳/۰۳)
- برگزاری جلسه هفتاد و پنجم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۲/۰۳/۲۷)
- برگزاری جلسه هفتاد و ششم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۲/۰۳/۳۱)
- انتشار خبرنامه شماره ۸۷ انجمن (خردادماه ۱۴۰۲)
- انتشار شماره ۱، دوره ۸ نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (بهار ۱۴۰۲)



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

Vol. 8, No. 86, May 2023

سال هشتم، شماره هشتاد و شش، اردیبهشت ماه ۱۴۰۲



بحران آب: زمان اقدام

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- خبرهای جدید
- معرفی کتاب
- معرفی نیروگاه
- معرفی اپراتور

همکاران این شماره:

دکتر محمود تلیش
دکتر جعفر یزدی
محمد شامسوندی
حمیدرضا حکیمیان
رضا معاشری

مستطاب این شماره:

دکتر جعفر یزدی
محمد شامسوندی
حمیدرضا حکیمیان
رضا معاشری

سخن اول:

ایران در یک منطقه لرزه‌خیز واقع شده و در گذشته زلزله‌های قابل توجهی را تجربه کرده است. زمین لرزه‌ها می‌توانند نیروهای قابل توجهی را بر سیستم‌های توزیع آب وارد کرده و باعث آسیب و اختلال در فرایند آبرسانی شوند. تابآوری سیستم‌های توزیع آب در برابر زلزله بسته به عوامل مختلفی از جمله استانداردهای مورد استفاده و شیوه‌های ساخت و ساز می‌تواند متفاوت باشد. از طرفی سیستم‌های آب فاضلاب نیز ممکن است متعلق به استانداردهای لرزه‌ای مدرن طراحی نشده باشند که این مسئله می‌تواند بر توانایی آنها در مقاومت در برابر نیروهای زلزله تأثیر بگذارد. با توجه به اهمیت پویایی رشددهنده‌های لرزه‌ای و نیاز به پایش و ارتقای پیوسته لازم است تلاش‌های مستمری برای ارزیابی و تقویت تابآوری سیستم‌های توزیع آب در ایران در برابر زلزله صورت گیرد. این اقدامات شامل بازرسی‌های منظم، برنامه‌های تعمیر و نگهداری و ارزیابی‌های دورانی برای شناسایی آسیب‌پذیری‌ها و اجرای بهبودهای لازم است. همچنین پیشنهاد می‌شود در مناطق زلزله خیز در زمان تعمیرات، بازسازی یا طرح توسعه از لوک های مقاوم در برابر زلزله استفاده شود.



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

Vol. 8, No. 85, April 2023

سال هشتم، شماره هشتاد و پنج، فروردین ماه ۱۴۰۲



بحران آب: زمان اقدام

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- خبرهای جدید
- معرفی کتاب
- معرفی نیروگاه
- معرفی اپراتور

همکاران این شماره:

دکتر محمود تلیش
دکتر جعفر یزدی
محمد شامسوندی
حمیدرضا حکیمیان
رضا معاشری

مستطاب این شماره:

دکتر جعفر یزدی
محمد شامسوندی
حمیدرضا حکیمیان
رضا معاشری

سخن اول:

بر اساس گزارش بانک جهانی با عنوان "بحران آب ایران، زمان اقدام" بسیاری از سیستم‌های آبرسانی و فاضلاب در ایران قدیمی بوده و نیاز به بازسازی یا تعویض دارند. بر اساس این گزارش، بیشتر زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب در ایران در دهه‌های ۱۳۴۰ و ۱۳۵۰ ساخته شده‌اند. افزایش سن تجهیزات آب می‌تواند منجر به بروز طیف وسیعی از مشکلات، از جمله نشت، شکستگی و سایر خرابی‌ها در سیستم شود. مطابق با این گزارش، بخش آب در ایران به حدود ۷۵ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری در سال نیاز دارد اما در حال حاضر تنها حدود ۲/۲ میلیارد دلار در سال فراهم شده است. فرسودگی زیرساخت‌های آب خطرات قابل توجهی از جمله کاهش کیفیت آب و بروز آلودگی تأثیر آلودگی باکتریایی به دنبال دارد. همچنین می‌تواند منجر به کمبود آب و وقفه در خدمات شده و خسارت‌ها، مشاغل و سایر استفاده کنندگان از آب را تحت تأثیر قرار دهد. این گزارش بر نیاز به یک رویکرد جامع و یکپارچه برای رسیدگی به بحران آب در ایران تأکید می‌کند که شامل سرمایه‌گذاری در ارتقای زیرساخت‌ها، اصلاحات حاکمیتی و مدیریتی و مشارکت و آگاهی عمومی است.



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

http://irwwa.ir

سال هشتم، شماره هشتاد و هفت، خرداد ماه ۱۴۰۲



بحران آب: زمان اقدام

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- خبرهای جدید
- معرفی کتاب
- معرفی نیروگاه
- معرفی اپراتور

همکاران این شماره:

دکتر محمود تلیش
دکتر جعفر یزدی
محمد شامسوندی
حمیدرضا حکیمیان
رضا معاشری

مستطاب این شماره:

دکتر جعفر یزدی
محمد شامسوندی
حمیدرضا حکیمیان
رضا معاشری

سخن اول:

شیرین‌سازی آب دریا یکی از سیاست‌هایی است که در سالهای اخیر در کشور برای تأمین منابع آب برخی از مناطق جنوبی و کویری کشور که با بحران آب مواجه هستند، دنبال می‌شود. استفاده از این روش، توسط محققین و اندیشمندان کشور بارها و بارها در مجامع علمی و صنعتی مورد ارزیابی، بحث و انتقاد قرار گرفته است. تجمعات منفی زیست‌محیطی شیرین‌سازی آب دریا را می‌توان مصرف زیاد انرژی (و بالطبع مصرف سوخت و تولید گازهای گلخانه‌ای)، تغییر در شاخص‌های شیمیایی آب و اکوسیستم دریا (مانند کاهش تعداد گونه‌های حیاتی دریایی، تخریب جنگل‌های مکترو و گیاهان شناور دریایی)، مدیریت پساب و مصرف آب نداشت، این روش را می‌توان یک روش مطمئن و شاید پائین‌تر برای تأمین آب به شمار آورد. به نظر می‌رسد با توجه به برنامه‌ریزی‌ها و سرمایه‌گذاری‌های کلانی که در این حوزه انجام می‌شود، بایستی پندتال وارد حال‌هایی برای افزایش بهره‌وری این سامانه‌ها بود. توجه به فناوری‌های نوین نمکزدایی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در این بخش می‌تواند در کاهش اثرات زیست محیطی و توجیه‌پذیری اقتصادی و فنی این پروژه‌ها موثر باشد.

ردیف	رویداد	موضوع (ارائه دهنده)	لینک آپارات
۱	وبینارهای تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب (دکتر عبدالله رشیدی)	https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845
		راه کارهای بهبود کیفیت پساب برکه‌های تثبیت فاضلاب (دکتر حسین ساسانی)	https://www.aparat.com/v/Antvi?playlist=28327448
		مروری بر ظرفیت‌های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه آب کشور (دکتر مجتبی شفیع)	https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530
		نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237
		مدیریت شورابه‌های ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی با تاکید بر فناوری‌های ZLD (دکتر عباس اکبرزاده)	https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968
		چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب (دکتر مسعود یونسین، مهندس سلیمه رضایی‌نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673
		ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری قابلیت‌ها و محدودیت‌ها (دکتر کوروش بهزادیان)	https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803
		سواد آبی در جوامع شهری (دکتر شروین جمشیدی)	https://www.aparat.com/v/FPtCY?playlist=34242002
		تأثیرات شرایط اقلیمی بر روی ظرفیت شبکه‌ها و شکست (دکتر احسان روشنی)	https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047
		ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA) (مهندس هانیه صفرپور)	https://www.aparat.com/v/W8P7J?playlist=35547113
		کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب (دکتر سیدحسین سجادی فر)	https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652
		توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با رویکرد تمرکززدایی (دکتر علی حقیقی)	https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753
		نقشه‌راه برای ارتقای شبکه‌های آبرسانی موجود به هوشمند (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090
		مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب (دکتر مسعود تابش)	https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690
		آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط‌زیست و بهداشت محیط (دکتر رحیم عالی)	https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474
		بررسی ۲۵۰۰۰ مقاله محیط‌زیست برای یافتن داغترین موضوعات تحقیقاتی (دکتر علیرضا بازارگان)	https://www.aparat.com/v/hwC9I?playlist=39248099
		توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور لحاظ دریاچه‌ها و مخازن (دکتر شروان قراری)	https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537
		مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در ژاپن (دکتر یحیی محزون)	https://www.aparat.com/v/epxDt
		سیستم‌های آبی پایدار و تاب‌آور (دکتر راضیه فرمانی)	https://www.aparat.com/v/EaeTg
		ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های توزیع آب (دکتر سعید هاشمی)	https://www.aparat.com/v/3sxtT?playlist=737673
		بازچرخانی و مدیریت کیفی زهاب‌های کشاورزی (دکتر بهمن یارقلی)	https://www.aparat.com/v/Fcvyw?playlist=737673
		بازچرخانی آب‌های خاکستری در ساختمان‌های بلندمرتبه و مجتمع‌های مسکونی جدید" در قالب مباحث الزامی جهت ساخت مسکن (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)	https://www.aparat.com/v/IFHhK?playlist=737673
		مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب	https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673

	شهری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)		
https://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 ولی پور مرندي)		
https://www.aparat.com/v/zNPCU	بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب: وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو (دکتر مسعود طاهریون)		
https://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://aparat.com/v/5SVaJ	نبرد شبکه‌های متمرکز و غیرمتمرکز جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی (مهندس سینا حصارکزاری)		
https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035	سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور		
https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320	تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526	هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788	بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111	چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646	تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246	استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054	چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آبی نیرو در حوزه آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw?playlist=879646	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/s3lwQ?playlist=879646	کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/nBNj5?playlist=879646	تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/PO35T?playlist=879646	مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/xyr2O?playlist=879646	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
		نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	۲

https://www.aparat.com/v/dVKvu?playlist=879646	مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.aparat.com/v/hEXdv?playlist=879646	مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده رود		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG?playlist=879646	دستاوردها و چالش های استفاده از آب های نامتعارف		
https://www.aparat.com/v/xvr2O	نشست تخصصی نمک زدایی آب های شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی رویکردهای برنامه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نشست تخصصی نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	نشست تخصصی چالش های انتقال آب دریا به فلات مرکزی		
https://www.aparat.com/v/B5Lle	نشست تخصصی تاب آوری سامانه های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.aparat.com/v/41JAS	نشست تخصصی چالش های استفاده دوباره از پساب های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://www.aparat.com/v/hcuQk?playlist=5771644	مراسم افتتاحیه	اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۵)	۳
https://www.aparat.com/v/j2IAK?playlist=5771644	نشست تخصصی اول؛ سیاست های تأمین آب شرب در ایران		
https://www.aparat.com/v/LajYD?playlist=5771644	نشست تخصصی دوم؛ سیاست های صنعت جمع آوری 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		
https://www.aparat.com/v/hr4Un?playlist=5771644	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/AmjKX	مراسم افتتاحیه	اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	۴
https://www.aparat.com/v/PO35T	نشست تخصصی اول؛ پل مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/nBNj5	نشست تخصصی دوم؛ پل تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/s3lwQ	نشست تخصصی سوم؛ پل کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/wmjDk	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/SAOxw	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/hEXdv	نشست تخصصی اول- مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده رود		
https://www.aparat.com/v/dVKvu	نشست تخصصی دوم- مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG	نشست تخصصی سوم- دستاوردها و چالش های استفاده از آب های نامتعارف		
https://www.aparat.com/v/pYO7g	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/SHiuG	مراسم افتتاحیه	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۳۹۸)	۶
https://www.aparat.com/v/tn4E9	نشست تخصصی اول؛ چالش های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/DZzYX	نشست تخصصی دوم؛ تاب آوری زیرساخت های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ	نشست تخصصی سوم؛ استفاده از آب خاکستری در محیط های شهری		
https://www.aparat.com/v/nQ2Ez	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/V7BNT	مراسم افتتاحیه	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	۷
https://www.aparat.com/v/6OhwE	نشست تخصصی اول؛ سامانه های فاضلاب، اپیدمی ها و بیماری های نوظهور		
https://www.aparat.com/v/IXWfd	نشست تخصصی دوم؛ تاب آوری شبکه های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU	نشست تخصصی سوم؛ هوشمندسازی و نوآوری در سامانه های آب و فاضلاب		

https://www.aparat.com/v/ISgM7	نشست تخصصی چهارم؛ بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/cGUn1	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	اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۴۰۰)	۸
https://www.aparat.com/v/xyr2O	نشست تخصصی اول: نمک‌زدایی آبهای شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی دوم: رویکردهای برنامه‌ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نشست تخصصی سوم: نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/5c82a	کلینیک صنعت اول: محور شبکه‌های توزیع آب و کاهش هدررفت		
https://www.aparat.com/v/KnEdF	کلینیک صنعت دوم: محور بازیافت آب		
https://www.aparat.com/v/A5wkz	کلینیک صنعت سوم: محور کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/OgGXj	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/OB57I	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی	چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱)	۹
https://www.aparat.com/v/B5Lle	نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.aparat.com/v/41JAS	نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://www.aparat.com/v/16VTE	کلینیک صنعت - محور کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/PupUv	کلینیک صنعت - محور شبکه‌های توزیع و هدررفت آب		
https://www.aparat.com/v/hr8Qs	کلینیک صنعت - محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/nRdX3	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/kIH9q	پیام آقای مهندس محمودیان		
https://www.aparat.com/v/Uaun9	کارگاه ایمنی آب		

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکنندگان	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
هفتمین کنفرانس بین‌المللی توسعه فناوری علوم آب، آبخیزداری و مهندسی رودخانه	انجمن مدیریت و مهندسی توسعه فناوری	تهران	۳۱ مرداد ۱۴۰۲	https://weng.bcnf.ir/
سیزدهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران	دانشگاه علم و صنعت	تهران	۲۵ تا ۲۷ مهرماه ۱۴۰۲	https://13icce.ir/fa/
بیست و دومین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران	انجمن هیدرولیک-دانشگاه مراغه	مراغه	۱۷-۱۸ آبان ۱۴۰۲	https://conf.iha.ir/
دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت	انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران	تهران	۷ تا ۹ آذرماه ۱۴۰۲	https://iwwa-conf.ir

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
The 10th International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	St. Louis, Missouri, USA	23 – 26 July 2023	https://mtc2023.wustl.edu/
10th IWA Microbial Ecology and Water Engineering Specialist Conference	Brisbane, Australia	10 – 14 September 2023	http://www.mewe23.com/
11th IWA Efficient Urban Water Management Conference 2023	Bordeaux, France	13 – 15 September 2023	https://efficient2023.org/
IWA Aspire Conference & Exhibition 2023	Kaohsiung, Chinese Taipei	22 – 26 October 2023	https://www.iwaaspire2023.org/
IWA Regional Conference on Water Reuse in Water Scarce Countries	Antalya, Turkey	29 October – 2 November 2023	https://iwa-network.org/events/iwa-regional-conference-on-water-reuse-in-water-scarce-countries/
5th IWA Resource Recovery Conference	Shenzhen, China	1 – 4 November 2023	http://www.iwarr2023.com/
8th International Water Association Specialist Conference on Natural Organic Matter (NOM8) and the IWA Particle Separation Conference	Boksburg, South Africa	3 – 8 December 2023	https://iwa-network.org/events/8th-international-water-association-specialist-conference-on-natural-organic-matter-nom8-and-the-iwa-particle-separation-conference/
Specialised Conference on Water and Wastewater Management With Special interest to Developing Countries	Perth, Australia	3 – 8 December 2023	https://www.wwdc2023.com/
IWA Conference on Sustainable Sludge Management	Beijing, China	17 – 20 May 2022	https://iwa-network.org/events/iwa-conference-on-sustainable-sludge-management/
IWA 12th Specialized Conference on the Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, Budapest 2024	Budapest, Hungary	8 – 12 September 2024	https://iwa-network.org/events/iwa-12-th-specialized-conference-on-the-design-operation-and-economics-of-large-wastewater-treatment-plants-budapest-2024/

	شرکت مهندسين مشاور يكم (سطح عضويت برنزی) شرکت مهندسين مشاور يكم با بیش از چهار دهه تجربیات ارزشمند، در سال ۱۳۵۲ تأسیس شد. یکم به‌عنوان یک مجموعه به‌هم پیوسته، حاصل تلاش مداوم نیروهای مجربی است که برآیند آن سابقه درخشان در زمینه‌های مدیریتی، فنی و تخصصی است که امروز به‌صورت یک شرکت سهامی خاص و با بهره‌گیری از خدمات بیش از ۵۰۰ نفر پرسنل متخصص توانسته بیش از ۱۰۰۰ پروژه را مطالعه، طراحی، نظارت و مدیریت نماید. با این سابقه یکم به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های مشاور کشور شناخته شده و موفق شده که در تخصص‌های زیر صلاحیت‌های متعددی از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور را کسب نماید. سدسازی؛ شبکه‌های آبیاری و زهکشی؛ تأسیسات آب و فاضلاب؛ حفاظت و مهندسی رودخانه؛ کشاورزی، منابع طبیعی و دامپروری؛ محیط‌زیست؛ مقاوم‌سازی؛ گروه مهندسی آب؛ مطالعات جغرافیایی و برنامه‌ریزی فضایی؛ نقشه‌برداری زمینی؛ سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS؛ راه‌سازی؛ ژئوتکنیک؛ گلخانه و مجتمع‌های گلخانه‌ای؛ مدیریت عمومی؛ مدیریت طرح سدسازی؛ مدیریت طرح شبکه‌های آبیاری و زهکشی؛ مدیریت طرح، کشاورزی، منابع طبیعی و دامپروری. «یکم» ارائه‌دهنده خدمات مربوط به برنامه‌ریزی جامع توسعه در سطوح ملی (کلان)، بخشی و پروژه‌ای بوده و توانایی فنی در اجرای تحلیل‌های امکان سنجی و ارزیابی اقتصادی- مالی برای پروژه‌های بهره‌برداری از منابع آب و خاک، کشاورزی، منابع طبیعی، توسعه و صنعت و تأسیسات زیربنایی، محیط‌زیستی را دارد. هم‌چنین دارای تجارب گسترده و طولانی در زمینه‌های مدیریت راهبردی طرح‌ها، خدمات مشاوره‌ای، پژوهش و بررسی، برنامه‌ریزی، نظارت، بهره‌برداری، احیا و نوسازی پروژه‌های: منابع آب، خاک و کشاورزی، حفاظت و مهندسی رودخانه، سد و نیروگاه، آبیاری و زهکشی، محیط‌زیست، شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و استفاده مجدد از پساب‌های تولیدی و نیز ارائه خدمات نقشه‌برداری، ژئوتکنیک، سنجش از دور و GIS است. در سال‌های گذشته ظرفیت‌سازی برای بهره‌گیری از تکنولوژی IT در ایجاد بانک اطلاعاتی تحت web و شبکه‌های اینترنتی در حوزه‌های کشاورزی و منابع آب، مدنظر قرار گرفته است. یکم از سال ۱۳۷۸ وارد فعالیت‌های بین‌المللی شده و تا کنون ۱۵ طرح بزرگ سدسازی، مهندسی منابع آب، طراحی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مهندسی رودخانه و آب و فاضلاب را در کشورهای سوریه، افغانستان، تانزانیا، ترکمنستان و کوبا با موفقیت تکمیل نموده و یا در دست انجام دارد، هم‌چنین از ۵۰ مورد همکاری با شرکت‌های بین‌المللی و حضور در پروژه‌ها با مشارکت بانک جهانی، بانک توسعه اسلامی، فائو و UNDP را در کارنامه خود دارد.
	شرکت آبان بسیار پارسیان (سطح عضويت برنزی) شرکت آبان بسیار پارسیان از سال ۱۳۹۰ فعالیت خود را در زمینه تولید لوله و اتصالات پلی اتیلن و بی‌وی‌سی آغاز نموده است. این واحد تولیدی با بهره‌مندی از کادری مجرب و متخصص، جدیدترین تجهیزات تولید و رعایت تمامی استانداردهای ملی و بین‌المللی، توانسته است بخش زیادی از نیاز کشور را برای مصارف لوله و اتصالات مرتفع سازد. محصولات شرکت آبان بسیار پارسیان با برند آبرام اتصال تولید شده و به‌طور گسترده در صنایع آب و فاضلاب و آبرسانی، کشاورزی، نفت و پتروشیمی، معدنی و نیروگاهی و در نهایت آتشنشانی، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که کنترل و بازرسی تمامی فرآیند تولید، از لحظه ورود ماده اولیه تا خروج محصول نهایی از کارخانه، به‌طور دقیق توسط کادر آزمایشگاه و پرسنل کنترل کیفیت انجام می‌شود. محصولات این شرکت به منظور رضایتمندی مشتریان، مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی 1,2,3, INSO14427, INSO17303 و DIN8074 تولید می‌شوند. شرکت آبان بسیار پارسیان در سایه تلاش‌های شبانه‌روزی پرسنل و رعایت تمامی اصول، موفق به کسب افتخاراتی همچون دریافت: گواهینامه تأیید صلاحیت آزمایشگاه، ISO 17025-2017 پروانه بهداشتی ساخت برای اتصالات پلی‌اتیلن، پروانه کاربرد علامت استاندارد تشویقی، گواهینامه‌های سیستم یکپارچه مدیریت کیفیت IMS شامل ISO 9001-2015, ISO 45001-2018, ISO 14001-2015، گواهینامه‌های استاندارد رضایت مشتری شامل ISO 10002-2018, ISO 10004-2018، گواهینامه HSE-MS و در نهایت مجوز عرضه لوازم و تجهیزات آبیاری از معاونت آب و خاک شده است.

نام شرکت	سطح عضویت	لوگو
مهندسين مشاور آبساران	الماسی	 آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir
فناور ايمن لوتوس	طلایی	 شرکت فناور ایمن لوتوس
مهندسين مشاور يکم	برنزی	 مهندسين مشاور يکم
آبان بسيار پارسيان	برنزی	 آبان بسيار پارسيان
فراگير انرژی و پالایش ماديّار	برنزی	 فراگير انرژی و پالایش ماديّار Madyar Global Energy And Water Treatment Co.
خط لوله هامون (هپیکو)	برنزی	 هپیکو Hapico
مهندسين مشاور طرح و تحقيقات اصفهان	برنزی	 مهندسين مشاور طرح و تحقيقات اصفهان



2nd National Conference on Water Quality Management

4th National Conference on Water Consumption Management with Loss Reduction and Reuse Approach

28-30 Nov. 2023
College of Engineering
University of Tehran, Tehran, Iran



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

۱۴۰۲ آذرماه ۲۷
مکان: دانشکده‌گان فنی دانشگاه تهران

محرورهای همایش

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

مهلت ارسال مقالات کامل: ۵ مهرماه ۱۴۰۲

آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان طالقانی

(پین قدس و وصال)، پلاک ۴۲۹، واحد ۲، طبقه ۴

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۶۱۰۲۴ فکس: ۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

تلفن: ۰۲۱-۳۹۹۹۹۳۷

تلگرام / واتساب / اینستا

iwwa-conf@iwwa-conf.ir

iwwa.conf@gmail.com

t.me/iwwa_conf

www.iwwa.ir





فراخوان هشتمین دوره انتخاب پایان نامه برتر



ویژه دانش آموختگان سال های ۱۳۹۹ به بعد



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

از علاقه مندان دعوت می شود تا برای شرکت در مسابقه، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۲** با مراجعه به سایت انجمن به نشانی **IRWWA.IR**، اقدام به دریافت فرم شرکت در مسابقه نموده و پس از تکمیل، فرم مربوطه را همراه با فایل پایان نامه و مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود، به آدرس ایمیل مسابقات انجمن به نشانی "**iwwa.competitions@gmail.com**" ارسال نمایند.

جوایز نفرات اول تا سوم در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، همزمان با برگزاری **"دومین همایش مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش مدیریت مصرف آب"** با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت

که از ۷ تا ۹ آذرماه ۱۴۰۲ در دانشگاه تهران برگزار می شود، اعطا می شود.



irwwa.ir
info@irwwa.ir



Telegram.me/irwwa94



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



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



۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

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

حق عضویت اعضای حقیقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ (به ازای هر سال)	۷۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۴۰۲ - ۱۴۰۳)	۲۳۰۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۲ - ۱۴۰۵)	۳۷۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۲ - ۱۴۰۳)	۱۵۰۰۰۰۰
عضویت دائمی	۱۳۰۰۰۰۰۰

حق عضویت اعضای حقوقی (طرح قدیم)

نوع شرکت	حق عضویت سالانه (ریال)
کوچک	۱۰۰۰۰۰۰۰
متوسط	۱۷۰۰۰۰۰۰
بزرگ	۲۶۰۰۰۰۰۰

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

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

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبای: IR930180000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

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

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

جدول مزایای اعضای حقوقی طرح جدید

مزایای عضویت	سطح عضویت (مبلغ پرداختی)	برنزی (سالانه ۳ میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۴ میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۶ میلیون تومان)	الماسی (سالانه ۱۰ میلیون تومان)
دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در ذیل جدول شرح داده می‌شود)		سالانه ۲ میلیون تومان	سالانه ۳ میلیون تومان	سالانه ۵ میلیون تومان	سالانه ۹ میلیون تومان
درج لوگوی شرکت در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و خبرنامه و سایت انجمن (با مشخص بودن سطح عضویت) در مدت زمان عضویت		*	*	*	*
دریافت اشتراک یک ساله نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به صورت رایگان (۴ شماره) در مدت زمان عضویت		*	*	*	*
درج رایگان آگهی نیم صفحه (با متن دلخواه) در یک شماره نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب در مدت زمان عضویت		*	*	*	*
ارائه ۵۰٪ تخفیف در اجاره غرفه نمایشگاهی همزمان با کنفرانس‌های سالانه انجمن در مدت زمان عضویت (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)		*	*	*	*
امکان انتقال نیمی از اعتبار باقیمانده به سال آینده (در صورت تمدید عضویت)		*	*	*	*
امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس 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 به‌شرح زیر بهره‌مند شوند.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

سطح عضویت				مزایای عضویت
الماسی	طلایی	نقره‌ای	برنزی	
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	تخفیف شرکت در کنفرانس‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن
٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن

جدول مزایای حامیان (طرح جدید)

الماسی (سالانه ۲۰ میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۱۵ میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۱۰ میلیون تومان)	برنزی (سالانه ۵ میلیون تومان)	سطح حمایت (مبلغ پرداختی) مزایای حمایت
سالانه ۱۰ میلیون تومان	سالانه ۷/۵ میلیون تومان	سالانه ۵ میلیون تومان	سالانه ۲/۵ میلیون تومان	دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در صفحه قبل شرح داده شد)
*	*	*	*	درج لوگوی شرکت در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و خبرنامه و سایت انجمن (با مشخص بودن سطح حمایت) به‌مدت یک سال
*	*	*	*	دریافت اشتراک یک ساله نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به صورت رایگان (۴ شماره) به‌مدت یک سال
*	*			درج رایگان آگهی نیم صفحه (با متن دلخواه) در یک شماره نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب
*	*			ارائه ٪۵۰ تخفیف در اجاره غرفه نمایشگاهی هم‌زمان با کنفرانس‌های سالانه انجمن (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)
*	*			امکان انتقال نیمی از اعتبار باقیمانده به سال آینده (در صورت تمدید حمایت)
*				امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس پروژه‌ها و عملکرد محصولات و ...) مشترک با انجمن (پس از ارائه پروپوزال و انجام هماهنگی‌های لازم)
*	*	*	*	امکان درخواست برگزاری کارگاه یا دوره تخصصی-آموزشی درخواستی
*	*	*	*	دریافت پرچم رومیزی انجمن آب و فاضلاب ایران
*	*	*	*	دریافت گواهی حمایت معادل مبلغ حمایت خالص

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

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

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

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

❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

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

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

- ارسال مقاله منحصراً از طریق ثبت‌نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب انجام می‌شود.
- نویسنده‌ای که برای بار چندم اقدام به ارسال مقاله می‌نماید، حتماً باید از طریق صفحه شخصی قبلی خود نسبت به ارسال مقاله اقدام نموده و به‌هیچ عنوان دوباره در سامانه ثبت نام نکند.
- وارد کردن اسامی و اطلاعات کامل تمامی نویسندگان در سامانه و در محل مربوط به مشخصات نویسندگان مقاله، الزامی است.

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

❖ چکیده فارسی:

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

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

❖ متن مقاله:

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

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

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

❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

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

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

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

❖ معادلات:

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

❖ مراجع:

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

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

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

در نگارش انواع مراجع از فرمت زیر استفاده شود:

• مقاله فارسی:

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

عنبری، م.، (۱۳۹۲)، "تحلیل ریسک سیستم‌های فاضلاب با استفاده از شبکه‌های بیزین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه

• 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/>

❖ تذکر مهم:

با توجه به افزایش شدید هزینه های پردازش و انتشار نشریه در سال های اخیر، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۲ به مجله ارسال می شود باید مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ سه میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۰۹۹۰-۳۱۰۱-۸۳۷۰-۵۸۵۹ به نام انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 8, No. 1, Spring 2023

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

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

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



Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 8, No. 1, Spring 2023

Preface (Intelligentization of Water Supply systems: An Inevitable Path for the Country's Water and Sewage Industry) Dr. Sattar Salehi	2
--	---

Papers

A Review on Boron Removal from Seawater Using Reverse Osmosis Technology Zohreh Moosavinasab, Sheida Esmailzadeh and Amirhosein Haghighi	3
--	---

A Review of the Performance of Nanofiltration Membranes Modified with Inorganic, Carbon Nanomaterials and their Combinations Fateme Pasandidehpour, Foad Gholami and Azar Asadi	15
---	----

The Removal of Azithromycin Antibiotic by Advanced Oxidation Method of Sodium Persulfate Activated by Steel Industry Slag from Pharmaceutical Effluent Naser Mehrdadi, Afshin Takdastan, Laleh Khosravi Pour, Gholamreza Nabi Bidhendi and Masoume Taherian	29
---	----

Evaluation of Integration of Pressure Management Methods with Network Management Operations to Reduce Water Loss Using Topsis-Vikor Decision Making Technique Mohamadhadi Haghighatnejad, Reza Tavakkoli-Moghaddam and Hossein Amoozad-Khalili	41
--	----

Determining the Drinking Per Capita in Order to Implement the Project of Separating Drinking and Sanitary Water (Case study: Bajestan Urban Watershed) Fateme Mohammadzadeh, Mohammad Reza Ekhtesasi, Seyed Zeynalabedin Hosseini, Abdoalrasoul Negaresh and Mohammad Allace	49
--	----

Investigating the Role of Internal Marketing and Corporate Social Responsibility on the Intention to Leave the Job and the Mediating Role of Organizational Commitment in Isfahan Water and Sewerage Company Abolfazl Khosravi, Mehdi Fathian Najafabadi, Mohammad Reza Fathi, Somayeh Razi Moheb Seraj and Rohollah Javadi	60
---	----

General Section

Interview (Dr. Abbas Akbarzadeh)	71
Round-Table (Specialized Meeting on the Challenges of Transferring Sea Water to the Central Plateau)	73
Best Thesis	91
Book Presentation	95
Best Idea	96
IWWA News	98