



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال نهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

انجمن آب و فاضلاب ایران

۲	پیشگفتار (به نام "بازسازی" و به کام "توسعه (تعویض)") ستار صالحی
	<u>مقالات علمی</u>
۴	مروری بر فاضلاب حاوی مواد شوینده: خصوصیات و روش‌های تصفیه الهام عبداله‌زاده شرقی و غزاله فریدی‌زاد
۱۹	برآورد پیامدهای محیط‌زیستی تجمعی سامانه‌های نمک‌زدایی برمبنای شاخص‌های ReCiPe مورد استفاده در ارزیابی چرخه حیات فرانک هاشم‌پور، علیرضا پرداختی و شروین جمشیدی
۳۲	محاسبه احتمال شکست کیفیت شبکه‌های توزیع آب به‌منظور برآورد ریسک با استفاده از شبکه‌های بیزین سارا مشهدی تفرشی و مسعود تابش
۴۳	تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر فقر آبی در ایران با استفاده از رویکرد (PLS-SEM) سحر صفرپور، مجید مداح و سید حسین سجادی‌فر
۵۹	ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها با مقایسات بین‌آزمایشگاهی: آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران مهتاب باغبان، نوشین سهراب‌نیا، فهیمه مهرانفر و محمدرضا شیرازی
۷۱	بررسی فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی نمک‌زدایی آب شور و تحلیل شرایط برای ایران محمدرضا فدائی‌تهرانی و مریم ابارشی
	<u>مطالب عمومی</u>
۸۶	مصاحبه (مهندس علی اصغر قانع)
۸۹	میزگرد (بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب)
۱۰۲	پایان‌نامه برتر
۱۰۶	ایده برتر
۱۰۷	معرفی کتاب
۱۰۸	اخبار انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

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

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر علی حقیقی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه



دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

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

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

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

دکتر دراگان ساویچ: استاد دانشگاه اگزتر، لندن

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

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

بازیافت آب

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

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

دکتر راضیه فرماني: دانشیار دانشگاه اگزتر، انگلستان

دکتر اوراز یو گیوستولیسی: استاد دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

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

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

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

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

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

شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

ناهد اختری

ناهد اختری، دکتر سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwvse.ir

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

آدرس:

تلفن:

نمابر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

پیشگفتار (به نام "بازسازی" و به کام "توسعه (تعویض)" ۲
ستار صالحی

مقالات علمی

مروری بر فاضلاب حاوی مواد شوینده: خصوصیات و روش های تصفیه ۴
الهام عبداله زاده شرقی و غزاله فریدی زاد

بر آورد پیامدهای محیط زیستی تجمعی سامانه های نمک زدایی برمبنای ۱۹
شاخص های ReCiPe مورد استفاده در ارزیابی چرخه حیات
فرانک هاشم پور، علیرضا پرداختی و شروین جمشیدی

محاسبه احتمال شکست کیفیت شبکه های توزیع آب ۳۲
به منظور بر آورد ریسک با استفاده از شبکه های بیزین
سارا مشهدی تفرشی و مسعود تابش

تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر فقر آبی در ایران با استفاده از رویکرد (PLS-SEM) ۴۳
سحر صفرپور، مجید مداح و سید حسین سجادی فر

ارزیابی عملکرد آزمایشگاه ها با مقایسات بین آزمایشگاهی: ۵۹
آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران
مهتاب باغبان، نوشین سهراب نیا، فهیمه مهرانفر و محمدرضا شیرازی

بررسی فنی، محیط زیستی و اقتصادی نمک زدایی آب شور و تحلیل شرایط برای ایران ۷۱
محمدرضا فدائی تهرانی و مریم ابارشی

مطالب عمومی

مصاحبه (مهندس علی اصغر قانع) ۸۶

میزگرد (بررسی چالش ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب) ۸۹

پایان نامه برتر ۱۰۲

ایده برتر ۱۰۶

معرفی کتاب ۱۰۷

اخبار انجمن ۱۰۸



به نام "بازسازی" و به کام "توسعه (تعویض)"
 بازسازی "واقعی" خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب
 راهی به سوی مدیریت بهینه و اقتصادی دارایی‌ها در
 شرکت‌های آب و فاضلاب



دکتر ستار صالحی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، عضو علی‌البدل هیئت
 مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران و عضو کمیته‌های
 تخصصی و ملی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

یکی از مهمترین دغدغه‌ها در حوزه مدیریت دارایی در شرکت‌های آب و فاضلاب، بهبود عملکرد خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب شهری است. بر این اساس سالیانه اعتبارات قابل توجهی به این حوزه تخصیص داده می‌شود. با این حال علیرغم دغدغه‌های موجود در این حوزه، استفاده از مفاهیمی که خلط موضوع ایجاد می‌کند منجر به آن شده که مدیریت اقتصادی برنامه‌های بهبود خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب بعضاً بهینه نباشد؛ که این موضوع، ضرورت شفاف‌سازی مفاهیم نوسازی را در این حوزه الزام‌آور می‌کند.

در مهم‌ترین دستورالعمل‌ها و استانداردهای بین‌المللی در حوزه نوسازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب از جمله AWWA-M28 و EPA و ISO24516-1، عملیات نوسازی (renewal) خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب، مجموعه فعالیت‌هایی معرفی شده که منجر به بهبود شاخص‌های سازه‌ای، هیدرولیکی و کیفی این تجهیزات می‌شود. این عملیات نیز شامل سه زیرمجموعه اصلی تعویض (replace)، تعمیر (repair) و بازسازی (rehabilitation) است. در این دستورالعمل‌ها صراحتاً اعلام می‌شود که **عملیات "تعویض" مربوط به لوله‌هایی است که الزاماً باید تعویض شوند و عملیات "تعمیر" و "بازسازی" مربوط به لوله‌هایی است که الزاماً نباید تعویض شده و همچنان پتانسیل بهره‌برداری را دارند.**

این در حالی است که در غالب شرکت‌های آب و فاضلاب ایران به اسم عملیات "بازسازی" عملاً عملیات "تعویض" صورت می‌گیرد.

به نام "بازسازی" و به کام "توسعه (تعویض)". در واقع در شرکت‌های آب و فاضلاب ایران غالباً "بازسازی" به صورت "تعویض" لوله انجام می‌شود!!! این در حالی است که شاید بخش قابل توجهی از لوله‌های خط انتقال و شبکه توزیع آب صرفاً با فعالیت‌های "بازسازی" به نقطه بهینه‌ای از عملکرد هیدرولیکی و کیفی خود برسند و واقعا نیاز به تعویض نداشته باشند!!! حال این سوال مطرح می‌شود، که عملیات "بازسازی" اگر تعویض نیست، پس چیست؟ براساس آن چه که از مفهوم عبارت "بازسازی" می‌توان برداشت کرد، مجموعه عملیاتی است که عمر بهره‌برداری لوله را افزایش داده و منجر به افزایش قابلیت‌های هیدرولیکی و کیفی لوله در آبرسانی شود (بدون آن که لوله تعویض شود). این تعریف صراحتاً در دستورالعمل‌های AWWA-M28 و EPA ارائه شده است.

عمدتاً سه دسته اصلی از عملیات که زیر مجموعه "بازسازی" خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب محسوب می‌شود، شامل ۱. شست و شوی شبکه؛ ۲. آسترکشی لوله‌ها و ۳. تعمیرات و تعویض‌های جزئی هستند. در ایران برخی شرکت‌های آب و فاضلاب برنامه‌ریزی را برای عملیات شست و شوی شبکه دارند (نه الزاماً تمام شرکت‌ها)؛ ولی می‌توان اذعان داشت تقریباً هیچ‌گونه فعالیت و برنامه‌ریزی برای آسترکشی لوله‌ها در سطح شرکت‌ها وجود نداشته و یا در حداقل ممکن است. این در حالی است که طبق استانداردهای بین‌المللی آسترکشی لوله‌ها می‌تواند به جای تعویض لوله، روشی باشد که قابلیت‌های لوله‌های موجود را تا حد قابل توجهی بهبود بخشد. آسترکشی لوله‌ها معمولاً به روش‌های مختلفی از جمله روش اصلاحی، لغزشی و تزریقی انجام می‌شود، که متناسب با قطر لوله‌ها تکنولوژی این روش‌ها متفاوت است.

از نگاهی دیگر، در دستورالعمل‌های بین‌المللی عملاً مفهوم "تعمیر" زیر مجموعه‌ای از عملیات "نوسازی" است. با این حال می‌توان "تعویض و تعمیرات جزئی" را بخشی از عملیات "بازسازی" در نظر گرفت، که "بازسازی" نیز زیرمجموعه‌ای از "نوسازی" است. در شرکت‌های آب و فاضلاب ایران، "تعمیرات" عمده‌تاً توسط بخش "حوادث و اتفاقات" انجام می‌شود، که زیرمجموعه‌ای از حوزه «اصلاح و بازسازی» محسوب نمی‌شوند!!! یعنی از سه فعالیت مربوط به حوزه "بازسازی" که شامل "شست و شو"، "آسترکشی" و "تعمیر و تعویض جزئی" است، تنها شست و شوی لوله‌ها انجام می‌شود، که آن‌هم به‌عنوان بازسازی انجام نمی‌شود. از طرفی دیگر "تعویض و تعمیرات جزئی" هم زیر حوزه "حوادث و اتفاقات" است و نه حوزه "بازسازی"!!! یعنی عملاً آن‌چه که غالباً تحت‌عنوان وظایف حوزه بازسازی انجام می‌شود، برنامه‌ریزی تعویض لوله‌ها بوده و عملاً بازسازی انجام نمی‌شود!!! **به نام "بازسازی" و به کام "توسعه (تعویض)".**

این مسئله زمانی بحرانی تر می‌شود که بدانیم از نگاه بین‌المللی عملاً مفهوم "بهبود" و "توسعه" زیر مجموعه‌ای از مفهوم "نوسازی" است. این بدین مفهوم است، که کلیه عملیات "تعویض"، "تعمیر" و "بازسازی" در جهت "بهبود و توسعه" برنامه‌ریزی می‌شود. این در حالی است که در شرکت‌های آب و فاضلاب ایران، "بازسازی" غالباً بودجه داخلی دارد (نه در تمام شرکت‌ها) و این بودجه نه برای "بازسازی" (آسترکشی، شست‌شو، تعمیرات و تعویض جزئی) بلکه با "تعویض لوله‌ها" در خدمت حوزه "توسعه" است، که خود بودجه خارجی داشته و از بخش "بازسازی" مستقل است. یعنی عملاً نه فقط "بازسازی" واقعی انجام نمی‌شود، بلکه اعتبارات آن عملاً در خدمت "توسعه" مصرف می‌شود.

بر این اساس شفاف‌سازی مفاهیم نوسازی لوله‌ها و اصلاح ساختاری در حوزه مدیریت دارایی در شرکت‌های آب و فاضلاب ضروری به نظر می‌رسد. لذا پیشنهاد می‌شود:

۱. واقعاً "بازسازی" انجام شود و اعتبارات آن برای خودش خرج شود!!!! و خرج "توسعه (تعویض لوله‌ها)" که خود دارای اعتباری مجزا است، نشود؛

۲. ضرورت پیاده‌سازی و توسعه تکنولوژی آسترکشی برای بازسازی لوله‌ها بیش از پیش احساس می‌شود، چرا که می‌تواند به لحاظ اقتصادی برای شرکت‌های آب و فاضلاب منفعت بیشتری داشته باشد؛

۳. اگر آسترکشی انجام نمی‌شود، حداقل اعتبارات بازسازی برای "شست و شوهای نظام‌مند و برنامه‌ریزی شده" و "تعمیرات و تعویض‌های جزئی" استفاده شود (به‌جای استفاده از اعتبارات جاری).

Review Paper

مقاله مروری

A Review of Wastewater Containing Detergents: Characteristics and Treatment Methods

مروری بر فاضلاب حاوی مواد شوینده: خصوصیات و روش‌های تصفیه

Elham Abdollahzadeh Sharghi^{1*} and Ghazaleh Faridizad²

الهام عبدالله‌زاده شرقی^{۱*} و غزاله فریدی‌زاد^۲

1- Associate Professor of Chemical Engineering, Environmental Group, Energy Department, Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran.

۱- دانشیار مهندسی شیمی، گروه محیط‌زیست، پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران.

2- Department of Chemical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

*Corresponding Author, Email: E.abdollahzadeh@merc.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: E.abdollahzadeh@merc.ir

Received: 05/04/2023

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶

Revised: 20/06/2023

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

Accepted: 04/08/2023

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۳

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Detergent is one of the main environmental pollutants which can penetrate into wastewater treatment plants and negatively affect their performance. Detergents have a direct and indirect effect on human health and other living organisms. For this reason, their effects need to be managed and controlled. Wastewater containing detergents is a renewable resource that can be recycled and reused. The treatment of this type of wastewater is very challenging due to its complex composition, the large volume of discharge into the environment caused by the increase in the use of detergents with the increase in the global population. In this article, the types of synthetic surfactants and their effects on human health and the environment, the characteristics of wastewater containing detergents considering the source of production, the methods of wastewater treatment containing surfactants and the studies conducted in this regard are reviewed. In the following, the economic review of wastewater treatment containing detergents and the challenges and future perspectives of wastewater treatment processes containing surfactants are also stated.

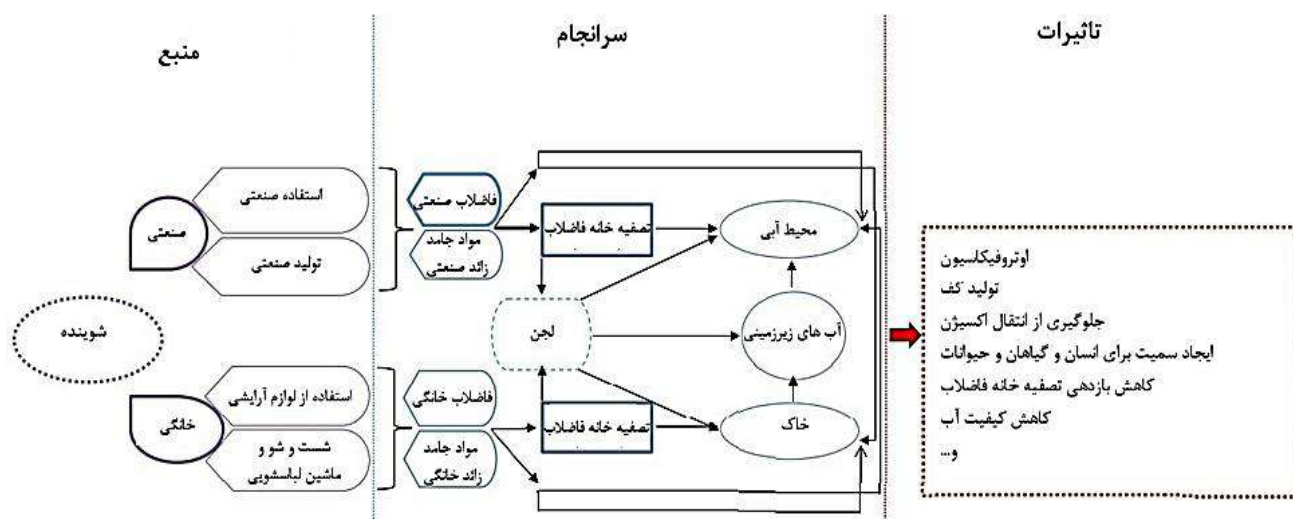
مواد شوینده یکی از آلاینده‌های اصلی محیط‌زیست است که می‌تواند به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نفوذ کرده و بر عملکرد آن‌ها تأثیر منفی بگذارد. مواد شوینده بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده تأثیر مستقیم و غیر مستقیم دارد. به همین سبب اثرات آن‌ها نیاز به مدیریت و کنترل دارد. فاضلاب حاوی مواد شوینده یک منبع تجدیدپذیر است که می‌تواند بازیافت و مجدداً مورد استفاده قرار گیرد. تصفیه این نوع فاضلاب‌ها به دلیل ترکیبات پیچیده آن و حجم زیاد تخلیه به محیط‌زیست ناشی از افزایش استفاده از مواد شوینده با افزایش جمعیت جهانی بسیار چالش برانگیز است. در این مقاله انواع سورفکتانت‌های سنتزی و تأثیرات آن‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست، مشخصات فاضلاب حاوی مواد شوینده با در نظر گرفتن منبع تولید، روش‌های تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت و مطالعات انجام‌شده در این خصوص بررسی شده است. در ادامه بررسی اقتصادی تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده و چالش‌ها و دیدگاه آینده فرآیندهای تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت بیان شده است.

Keywords: Detergents wastewater, Wastewater treatment, Surfactant, Wastewater recycling.

کلمات کلیدی: فاضلاب شوینده، تصفیه فاضلاب، سورفکتانت، بازیافت پساب.

مشکلات محیط‌زیستی ناشی از تولید و مصرف اجزای شوینده معطوف شده است. اصطلاح "شوینده" معمولاً به جایگزین‌های صابون مصنوعی اطلاق می‌شود، اما به‌طور کلی، هر جزء که به‌عنوان یک عامل تمیزکننده استفاده شود، به‌عنوان یک شوینده شناخته می‌شود. شوینده به‌دلیل ساختار و کاربردهای متنوعی که دارند در انواع مصارف صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل ۱ کاربرد و تاثیرات محیط‌زیستی شوینده‌ها آورده شده است (Mousavi and Khodadoost, 2019).

توسعه اقتصادی یک کشور به شدت متکی به دسترسی آن به منابع آب است. با ورود به قرن بیست و یکم، عوامل متعددی از جمله صنعتی‌شدن شهرها، شهرنشینی و رشد سریع جمعیت تأثیر زیادی بر کیفیت آب در سراسر جهان داشته است. در این راستا، معضل آلودگی آب، به‌ویژه پساب‌های صنعتی، برای کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به یک نگرانی قابل توجه تبدیل شده است. در بین آلاینده‌های صنعتی مختلف، توجه قابل توجهی به



شکل ۱- منابع، توزیع و اثرات مواد شوینده در محیط‌زیست (Mousavi and Khodadoost, 2019)

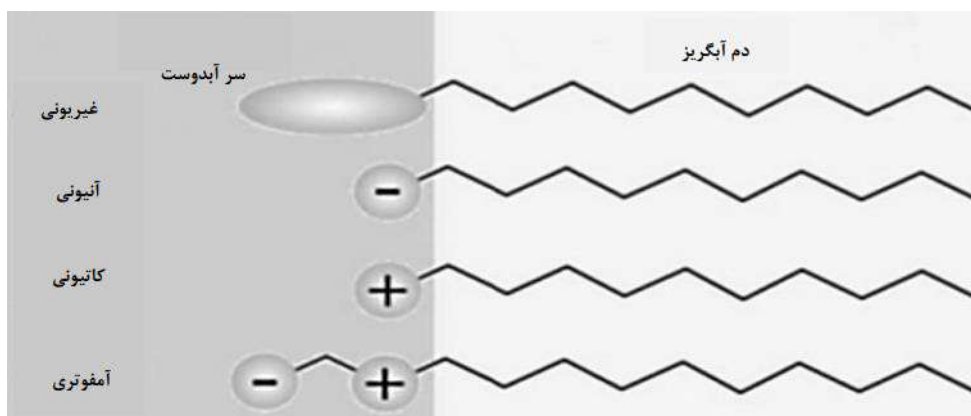
این میان ۴ گروه مختلف سورفکتانت‌ها، سورفکتانت‌های آنیونی با ۶۰٪ تولید جهانی، از مهم‌ترین گروه‌های سورفکتانت به شمار می‌روند (فریدی زاد و همکاران، ۱۳۹۹)

به‌طور کلی، وجود محصولات پاک کننده در محیط‌زیست همیشه یک نگرانی بوده‌است. از جمله اثرات مختلف مواد شوینده بر روی اکوسیستم‌های طبیعی، اوتروفیکاسیون (رشد بیش از حد جلبک‌ها) و کاهش انتقال اکسیژن و نور در آب، تحت‌تأثیر قراردادن کیفیت آب شیرین و تغییر pH و شوری اجسام پذیرنده است که بر روی جانوران و حیوانات تأثیر می‌گذارد. به‌علاوه تولید و مصرف بالای سورفکتانت‌ها و خواص آن نظیر تولید کف و جلوگیری از نفوذ اکسیژن و از بین بردن میکروارگانیسم‌ها، باعث می‌شود تا در صورت عدم مدیریت مناسب فاضلاب‌های حاوی این مواد، تغییرات بلند مدت و کوتاه مدتی توسط این مواد در اکوسیستم ایجاد شود. به‌همین سبب تصفیه فاضلاب‌های آلوده به شوینده اهمیت بسیاری پیدا کرده است (Pirsaheb et al., 2014). انواع روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی سورفکتانت به کار گرفته می‌شوند. روش‌های

سورفکتانت جزء اصلی در شوینده‌ها است. سورفکتانت‌ها مواد فعال‌کننده سطحی دوگانه‌دوست با سرآب‌دوست و دم‌آب‌گریز هستند که در غلظت کم، سبب کاهش کشش سطحی به مقدار چشمگیری می‌شوند. گروه آب‌گریز غالباً یک زنجیره هیدروکربنی نسبتاً طولانی و گروه آب‌دوست یک گروه یونی یا قطبی است. زنجیره هیدروکربنی می‌تواند خطی و یا شاخه‌دار باشد. طول زنجیره و شاخه‌دار یا مستقیم‌بودن آن جزء ویژگی‌های مواد فعال سطحی است. این مولکول‌ها را می‌توان به دو گروه سورفکتانت‌های سنتزی و سورفکتانت‌های زیستی طبقه‌بندی کرد. سورفکتانت‌های سنتزی براساس ساختار مولکولی خود به ۴ گروه غیریونی، آنیونی، کاتیونی و آمفوتریک تقسیم می‌شوند، که همگی بر کاهش کشش سطحی و بین سطحی مؤثر هستند. سورفکتانت‌های سنتزی عمدتاً محصولات جانبی صنایع پتروشیمی است و به‌همین سبب در محیط‌زیست پایدار باقی می‌مانند و در صنایع بسیاری هم‌چون صنایع شوینده و تمیزکننده، چرم و پارچه و کاغذسازی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی، صنایع آرایشی و بهداشتی و دارویی استفاده می‌شوند. در

۲- ترکیب و طبقه‌بندی سورفکتانت‌ها

کلمه "سورفکتانت" را می‌توان مخفف کلمه عامل فعال سطحی^۱ دانست. سورفکتانت‌ها معمولاً برای کاهش کشش سطحی بین جامد و مایع یا بین دو مایع استفاده می‌شوند. سورفکتانت یک مولکول هیدروکربنی با زنجیره بلند است که دارای انتهای آب‌دوست و آب‌گریز است. قسمت آب‌دوست اغلب به‌عنوان سر قطبی نامیده می‌شود و قسمت آب‌گریز، دم است. بخش آب‌گریز خطی است و دارای ۱۰ تا ۲۰ اتم کربن است. این قسمت می‌تواند آروماتیک، آلیفاتیک یا ترکیبی از هر دو باشد. طبقه‌بندی اولیه سورفکتانت‌ها براساس بار گروه آب‌دوست است و به‌عنوان کاتیونی، آنیونی، غیریونی و آمفوتریک طبقه‌بندی می‌شود. در شکل ۲ ساختار گروه‌های مختلف سورفکتانت نشان داده شده است.



شکل ۲- ساختار گروه‌های مختلف سورفکتانت (فریدی‌زاد و عبداله‌زاده شرقی، ۱۳۹۹)

اکسیدهای آلکیل‌آمین و آلکیل پلی‌گلیکوزیدها اشاره نمود. سورفکتانت‌های کاتیونی در فرمولاسیون‌های شوینده معمولاً به‌عنوان نرم‌کننده پارچه در فرآیندهای شستشو استفاده می‌شوند. استفاده عمده از سورفکتانت‌های کاتیونی به تمایل آن‌ها به جذب در سطوحی مانند مواد معدنی، پلاستیک، فلزات و غشای سلولی بستگی دارد زیرا بیشتر سطوح دارای بار منفی هستند. در نهایت، سورفکتانت‌های آمفوتریک به‌عنوان گروهی از سورفکتانت‌ها با مزایایی هم‌چون خواص پوستی عالی و سوزش کم چشم مشخص می‌شوند. آن‌ها اغلب در محصولات آرایشی و شامپو استفاده می‌شوند. سورفکتانت‌های آمفوتریک دارای هر دو گروه آنیونی و کاتیونی در یک مولکول هستند. با وجود خواص شوینده عالی، این سورفکتانت‌ها به‌دلیل هزینه بالا به‌ندرت در شوینده‌های

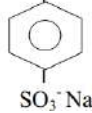
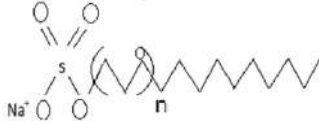
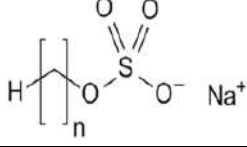
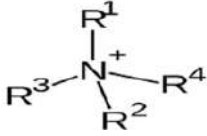

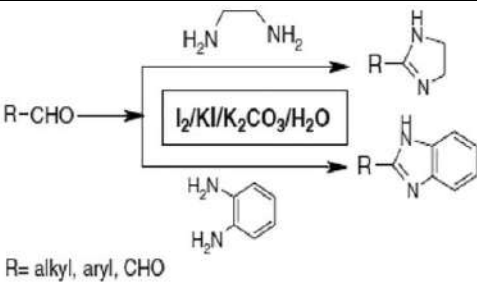
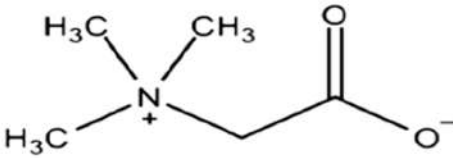
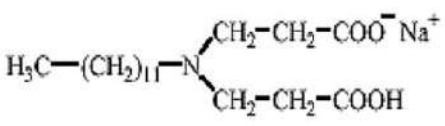
فیزیکی و شیمیایی عمدتاً شامل انعقاد و لخته‌سازی، اکسایش پیشرفته، انعقاد الکتریکی، فیلتراسیون و جذب سطحی و روش‌های زیستی شامل تصفیه هوازی و بی‌هوازی است که هرکدام از آن‌ها دارای مزایا و معایبی است.

با توجه به موارد ذکرشده، مطالعه جامعی بر فاضلاب صنایع شوینده بسیار ضروری است. در مطالعات بسیاری از محققان ویژگی‌های فاضلاب‌های حاوی مواد شوینده و اثرات محیط‌زیستی آن‌ها بررسی شده است اما هم‌چنان مطالعه جامع در رابطه با فاضلاب صنایع شوینده با کمبودهای اساسی مواجه است. به‌همین دلیل در این مطالعه یک بررسی جامع پیرامون دانش انباشته‌شده در خصوص ویژگی‌های فاضلاب حاوی مواد شوینده و آخرین سطح نوآوری‌ها در فرآیندهای تصفیه فاضلاب آن‌ها انجام شده است. برای رسیدن به این هدف در ابتدا سورفکتانت‌ها، مشخصات و تاثیرات محیط‌زیستی آن‌ها بررسی شده و سپس فرآیندهای مناسب تصفیه فاضلاب و مزایا و معایب آن‌ها معرفی می‌شود.

سورفکتانت‌های آنیونی که در بیشتر فرمول‌های شوینده استفاده می‌شوند، در حجم بیشتری نسبت به هر کلاس سورفکتانت دیگری استفاده می‌شوند. مهم‌ترین سورفکتانت‌های آنیونی مورد استفاده در شوینده‌ها و صابون‌ها، آلکیل بنزن سولفونات‌ها، آلکیل سولفات، آلکیل اتر سولفات، و آلکان سولفونات‌های ثانویه هستند. سورفکتانت‌های غیریونی به‌عنوان سورفکتانت‌هایی با اثر تحریک‌کنندگی کم شناخته شده‌اند که به‌طور گسترده در محصولات موضعی استفاده می‌شود. استفاده بیشتر از سورفکتانت‌های غیریونی در فرمولاسیون‌های شوینده تا حدی با شستشو در دمای پایین‌تر همراه است. مهم‌ترین سورفکتانت‌های غیریونی می‌توان به اتوکسیلات‌های الکلی، اتوکسیلات‌های آلکیل فنل، آلکانولامیدهای اسید چرب،

لباسشویی استفاده می‌شوند. از مهم‌ترین نوع آمفوتریک‌ها می‌توان به آلکیل بتائین، آلکیلامیدوپروپیل بتائین، بتائین‌های مشتق شده از ایمیدازولین‌ها و آلکیلامفواستات‌ها اشاره نمود (Joseph et al., 2022). در جدول ۱ پرمصرف‌ترین انواع سورفکتانت‌ها و ساختار آن‌ها آورده شده‌است.

جدول ۱- پرمصرف‌ترین سورفکتانت‌های آنیونی، غیر یونی، کاتیونی و آمفوتریک (Mousavi and Khodadoost, 2019)

فرمول	ساختار	نوع
سورفکتانت‌های آنیونی		
$C_{12}H_{25}C_6H_4SO_3Na$	$H_3C-(CH_2)_{11}-CH_2-CH_2-(CH_2)_6-CH_2-CH_2-SO_3^-Na^+$ 	Alkyl benzene sulfonate
$C_{12}H_{26}Na_2O_5S$		Alcohol ethoxysulfates
$C_nH_{2n+1}OSO_2O Na$		Sodium alkyl sulfate
$RCOONa$	—	Soap
سورفکتانت‌های کاتیونی		
—		Quaternary ammonium
سورفکتانت‌های غیر یونی		
—		Ethoxylates alcohol
سورفکتانت‌های آمفوتریک		
$C_3H_8N_2$		Imidazolines
$C_5H_{11}NO_2$		Betaines
—		Alkyl imino dipropionate

۳- اثرات محیط‌زیستی سورفکتانت‌ها

(2019).

۴- مشخصات فاضلاب حاوی مواد شوینده

به‌طور متوسط روزانه ۲۰۰ تا ۲۱۰۰ لیتر فاضلاب حاوی مواد شوینده توسط بخش‌های مختلف خانگی و صنعتی تولید می‌شود. ویژگی‌های فاضلاب حاوی مواد شوینده به نوع، غلظت و مقدار مواد شیمیایی مورد استفاده بستگی دارد. به‌طور میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)^۲ در این نوع فاضلاب‌ها در محدوده ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است. به‌علاوه این فاضلاب‌ها حاوی غلظت بالایی از سورفکتانت‌ها، فسفات‌ها، مواد جامد معلق، مواد آلی، پاتوژن‌ها و مواد مغذی نیز هستند. فاضلاب حاوی مواد شوینده به دلیل وجود مواد قلیایی و سورفکتانت‌ها به‌طور کلی دارای pH بالایی است (Joseph et al., 2021). به‌علاوه این فاضلاب‌ها به دلیل نسبت پایین اکسیژن مورد نیاز زیستی^۳ به COD (۲/۱-۰/۱) همواره در دسته فاضلاب‌های تجزیه‌ناپذیر قرار می‌گیرند (Mousavi and Khodadoost, 2019). در جدول ۲ مشخصات فاضلاب حاوی مواد شوینده تولیدی از بخش‌های خانگی، صنعتی و بیمارستانی نشان داده شده است.

۵- فرآیندهای تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، فرآیندهای تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده به سه روش اصلی زیستی، فیزیکی-شیمیایی، و ترکیبی از روش‌های زیستی و فیزیکی-شیمیایی تقسیم می‌شود که در ادامه هر کدام توضیح داده می‌شود.

۵-۱- فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی

۵-۱-۱- فرآیند انعقاد و لخته‌سازی

استفاده از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی همواره برای تصفیه فاضلاب استفاده شده است. انعقاد غلبه بر فاکتورهای ایجادکننده پایداری (بار سطحی) است و مشخصات ناپایدار شدن به سیستم بستگی دارد. لخته‌سازی اتصال ذرات ناپایدار یا ذرات حاصل از انعقاد به هم و تشکیل لخته‌های بزرگتر است. لخته‌سازی سبب تسریع تشکیل فلاک می‌شود و مشخصات فلاک (ابعاد، قدرت و غیره) را با کنترل غلظت نهایی ذرات ناپایدار شده تحت تاثیر قرار می‌دهد. انعقاد ذرات کلوئیدی به وسیله چهار مکانیزم؛ فشردگی لایه دوگانه (در مقادیر بسیار بالای غلظت منعقدساز)، جذب و

بررسی اثرات نامطلوب مواد شوینده بر محیط‌زیست از نظر تصفیه فاضلابی که پس از مصارف صنعتی و خانگی به منابع آبی منتقل می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از اثرات اصلی آن کانی‌سازی جزئی سورفکتانت‌ها است که منجر به تشکیل کف شدید در رودخانه‌ها و نهرها می‌شود. وجود کف بیش از حد روی سطح آب، سرعت نفوذ اکسیژن از هوا به آب را کاهش می‌دهد، که به نوبه خود دسترسی اکسیژن محلول را برای موجودات آبی کاهش می‌دهد. فسفات به‌عنوان یک از اجزای سازنده در مواد شوینده استفاده می‌شود و افزودن غلظت بیش از حد فسفات، باعث اتروفیکاسیون و رشد بیش از حد جلبک در آب می‌شود. علاوه بر این، اجزای شوینده‌ها پارامترهای فیزیکی و شیمیایی از جمله pH، دما، شوری و کدورت آب طبیعی را تغییر می‌دهند (Joseph et al., 2021).

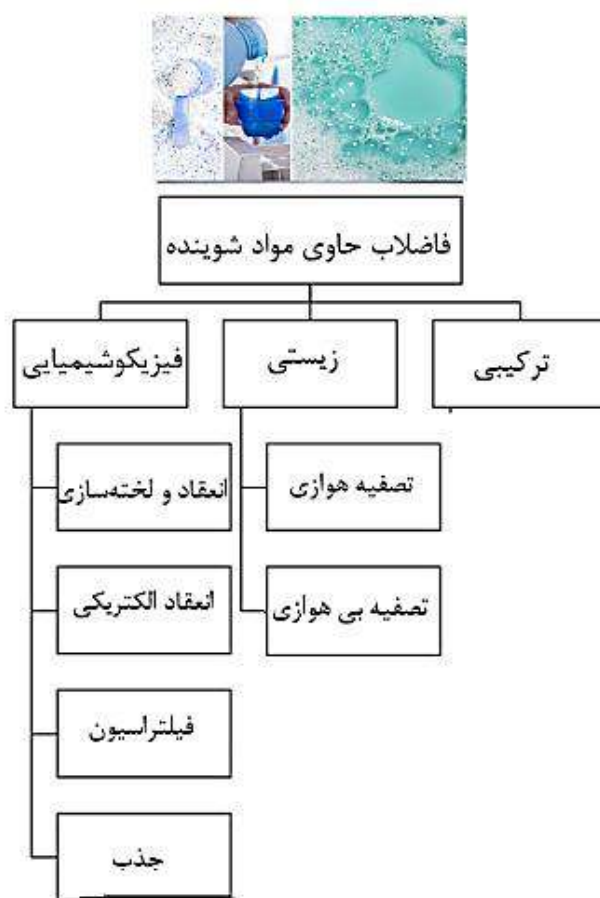
وجود مواد شوینده در آب می‌تواند به‌طور مستقیم بر حیوانات آبی تأثیر بگذارد. تجمع مواد شوینده در آب ممکن است بینایی ماهی‌ها را مختل کند و بر عملکرد آبشش آن‌ها تأثیر بگذارد. به‌علاوه فاضلاب آغشته به مواد شوینده با ورود به خاک، سبب آلودگی خاک، کاهش زیست‌توده خاک و خشک شدن ریشه گیاهان می‌شود. به‌طور کلی، سورفکتانت‌ها متعلق به ترکیباتی که مستقیماً به انسان و موجودات زنده در آب آسیب برساند، نیستند. با این حال، آن‌ها می‌توانند مواد سمی نامحلول در آب ایجاد کنند که در نهایت برای انسان و موجودات آبی مضر خواهند بود. علاوه بر این، آب آلوده به غلظت بالایی از سورفکتانت می‌تواند باعث تحریک چشم و پوست شود. مصرف چنین آبی باعث مشکلات سلامتی از جمله اسهال و آسیب به کلیه می‌شود (Joseph et al., 2022). علاوه بر این ورود فاضلاب صنایع شوینده به تصفیه‌خانه‌ها باعث بروز اختلال شدید در فرایندهای تصفیه، به ویژه فرایندهای زیستی تصفیه می‌شود. وجود کف (بیشتر به دلیل وجود سورفکتانت‌های کاتیونی و آلکیل سولفونات‌ها) در حوضچه‌های هوادهی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب میزان انتقال اکسیژن به فاضلاب را به شدت تقلیل می‌دهد به طوری که گاهی کاهش راندمان تصفیه در اثر کف شوینده‌ها به ۸۰٪ می‌رسد. در حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه وجود ماده مؤثر شوینده مانع ته‌نشینی کامل مواد معلق می‌شود و چربی موجود در فاضلاب در اثر کف زیاد به سایر قسمت‌های تصفیه‌خانه راه می‌یابد. هم‌چنین غشاء میکروارگانیزم‌ها در اثر شوینده‌ها پاره شده و موجب از بین رفتن آنزیم‌های آن‌ها می‌شود (Mousavi and Khodadoost, 2019).

کلونیدی مجاور که تا قبل از این به دلیل دافعه الکترواستاتیک و ساختار مولکول‌های آب اطرافشان جدا از هم مانده بودند، به هم نزدیک شوند و نیروهای واندروالس باعث به هم چسبیدن آنها شوند.

خنثی‌سازی بار (کمپلکس‌های تک‌هسته‌ای و چندهسته‌ای)، جذب و پل زدن بین ذرات (کمپلکس‌های چندهسته‌ای) و گیرافتادن در رسوب (با استفاده از منعقدساز اضافی یا فلوک‌سازی جارویی) امکان‌پذیر است. اثر عوامل بالا باعث می‌شود که ذرات

جدول ۲- ویژگی فاضلاب حاوی مواد شوینده تولیدشده توسط بخش‌های خانگی، صنعتی و بیمارستانی (Joseph et al., 2021)

پارامتر	فاضلاب حاوی مواد شوینده از مصارف خانگی	فاضلاب حاوی مواد شوینده از مصارف صنعتی	فاضلاب حاوی مواد شوینده از مصارف بیمارستانی
pH	۱۰-۹/۳	۱۱-۹	۱۱/۶-۱۱/۴
هدایت الکتریکی (μS/cm)	۱۴۰۰-۱۹۰	۳۰۰۰-۶۴۰	۲۰۰۰-۸۰۸
کل جامدات محلول (mg/L)	۶۰۰۰-۴۰۰	۴۲۰	۸۰۰-۴۵۶
کل جامدات معلق (mg/L)	۹۸۷-۲۰۰	۷۰۰۰-۴	۷۱-۶۶
سختی کل (mg/L CaCO ₃)	—	۴۴	۶۸-۵۳
قلیابیت کل (mg/L CaCO ₃)	۲۰۰-۸۳	۱۲۸	۳۷۵-۳۰۲
کل جامدات آلی (mg/L)	۳۵-۸	۱۱۷۹۰-۱۷	۲۶-۲۵
فسفات (mg/L)	۲۷-۴	۳/۴۳	۱۶۷-۱۰/۸
BOD ₅ (mg/L)	۱۲۰۰-۴۸	۹۸۱۰-۲۱۸	۵۰-۴۴
COD (mg/L)	۴۱۵۵-۳۷۵	۲۱۲۰۰۰-۸۰	۸۷۶-۴۷۷
کدورت (NTU)	۴۰۰-۱۴	۱۵۰-۴۰	۸۷/۹



شکل ۳- فرآیندهای مختلف تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده

منعقدساز و مواد معدنی مونومر یلونیته و بنتونیت به‌عنوان لخته‌ساز برای تصفیه فاضلاب حاوی شوینده استفاده شد. به دلیل نسبت پایین BOD₅/COD تصفیه شیمیایی به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب شد. شرایط بهینه با میزان منعقدساز گرم در لیتر ۲ در pH = ۱۱ با راندمان حذف COD ۷۱٪ به‌دست آمد. استفاده از لخته‌ساز در ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث بهبود حذف COD و رسیدن آن به مقدار ۸۴٪ شد. هم‌چنین با افزودن پلی‌الکترولیت آنیونی راندمان حذف COD افزایش بیشتری یافت و به ۸۷٪ رسید عبدالله‌زاده شرقی و همکاران (۱۳۹۷) تاثیر نوع و غلظت منعقدساز PAC، FeCl₃، Alum و ترکیب منعقدسازها با غلظت برابر (PAC+FeCl₃، Alum+FeCl₃ و PAC+Alum+FeCl₃)، نوع و غلظت لخته‌ساز (پلی‌الکترولیت آنیونی مگافلاک و کاتیونی زتافلاک)، غلظت آهک و هم‌چنین pH اولیه فاضلاب را در حذف COD و کدورت فاضلاب واقعی یک کارخانه تولید مواد شوینده بررسی کردند. بیشترین درصد حذف COD با استفاده از منعقدسازهای FeCl₃ (۷۲/۶±۱/۴) و PAC (۵۴/۵±۲/۱) در غلظت ۳۰۰۰ mg/L، لخته‌ساز آنیونی در غلظت ۲۰ mg/L و آهک در غلظت ۴۰۰۰ mg/L و pH = ۱۲ حاصل شد. آن‌ها هم‌چنین تاثیر منعقدسازهای FeCl₃، PAC، Alum و یک منعقدکننده ترکیبی (در غلظت‌های ۱۰۰۰ mg/L و ۳۰۰۰ mg/L و سه لخته‌ساز کاتیونی، آنیونی و خنثی را روی حذف COD و کدورت و هم‌چنین بر pH نهایی و کل مواد جامد محلول (TDS) پنج فاضلاب صنعتی کارخانه تولید مواد شوینده با منابع تولید مختلف و مخلوط آن‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که برای فاضلاب ترکیبی، استفاده از FeCl₃ با غلظت ۳۰۰۰ mg/L همراه با لخته‌ساز آنیونی بالاترین راندمان حذف COD (۸۰/۸±۱/۰) و راندمان حذف کدورت بالا را نشان می‌دهد، اما منجر به افزایش زیاد TDS و کاهش شدید pH (۲) پساب می‌شود. درنهایت، FeCl₃ با غلظت ۱۰۰۰ mg/L همراه با لخته‌آنمیونی به عنوان شرایط بهینه در نظر گرفته شد (Abdollahzade Sharghi and Davarpanah, 2022).

۵-۱-۲- فرآیند انعقاد الکتریکی

یک راکتور انعقاد الکتریکی ساده از یک آند و یک کاتد تشکیل شده است. هنگامی که یک پتانسیل از یک منبع انرژی خارجی به راکتور اعمال می‌شود، در صفحات فلزی متصل به قطب مثبت جریان برق، واکنش‌های آند و در صفحات متصل به قطب منفی واکنش‌های کاتد رخ می‌دهد. در انعقاد الکتریکی واکنش‌هایی که در الکترودها صورت می‌گیرد منجر به اکسید شدن فلز و تشکیل

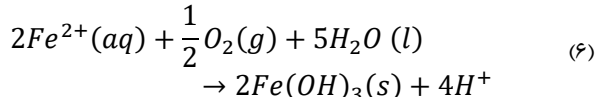
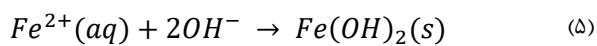
بعد از ناپایداری (انعقاد)، لخته‌سازی با افزودن لخته‌ساز مناسب درشت‌شدن فلاک‌ها را ارتقا می‌دهد (Bratby, 2016). منعقدکننده‌های معدنی مانند سولفات آلومینیوم یا نمک‌های آهن (سولفات آهن یا کلرید آهن) اولین موادی بودند که برای تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گرفتند. با این حال این مواد برای استفاده گسترده دارای محدودیت‌هایی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به خوردگی کلرید آهن، رنج عملکرد محدود pH (۸/۵-۱۱) سولفات آهن و تولید محصولات جانبی خطرناک اشاره نمود. به‌همین سبب پیشنهاد شده‌است که برای بهبود کارایی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با منعقدکننده‌های معدنی، از ترکیب این فرآیند با فرآیند جذب استفاده شود. به‌طوری‌که در سایر مطالعات یافت شده‌است که استفاده از جاذب‌های کامپوزیتی مبتنی بر لیگان در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی منجر به بهبود کارایی حذف یون‌های فلزی از فاضلاب حاوی مواد شوینده شده‌است. منعقدکننده‌های آلی طبیعی و سنتزی دسته‌ای دیگر از منعقدکننده‌های مورد استفاده هستند که با غلظت‌های کمتر، کارایی بالایی داشته و حجم کمتری از لجن تولید می‌کنند (Kumar et al., 2022).

پارامترهای متنوعی هم‌چون نوع منعقدکننده، غلظت منعقدکننده، ویژگی‌های آب خام، نوع اختلاط، سرعت اختلاط، سرعت ته‌نشینی، دما و pH کارایی این فرآیند را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. پلی‌آلومینیوم کلراید و کلرید آهن متداول‌ترین منعقدکننده‌های فلزی در تصفیه این نوع فاضلاب‌ها هستند. مهم‌ترین پارامتری که بر عملکرد منعقدکننده‌های فلزی تاثیرگذارند، pH است. در مطلوب‌ترین pH، حلالیت محصولات هیدرولیز شده ناچیز است و بخش اصلی منعقدکننده به فلاک تبدیل می‌شود. اگر pH بالاتر از حد بهینه باشد، گونه‌های آلومینیومی با بار منفی و گونه‌های آلومینیوم محلول با بار مثبت در pH پایین‌تری تشکیل می‌شوند. برای مقدار pH کمتر از ۳ یا بالاتر از ۱۱، پتانسیل بی‌ثباتی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

به‌عنوان یک قاعده، تزریق ماده منعقدکننده تابعی از محتوای جامدات معلق یا محتوای آب است. با این وجود، عملکرد این فرآیند در یک تزریق بهینه رخ می‌دهد و پس از مصرف بیش از حد ماده منعقدکننده، کاهش می‌یابد. ذرات کلوئیدی با بار معکوس ناشی از مصرف بیش از حد ماده منعقدکننده منجر به تثبیت مجدد کلوئیدها می‌شود، لذا، کارایی فرآیند انعقاد را کاهش می‌دهد (Ren et al., 2022). در تحقیق Aygun and Yilmaz (2010) فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده کلرید آهن به‌عنوان

تشکیل لخته‌هایی می‌شوند که می‌توانند ذرات کلوئیدی را ناپایدار و متراکم کنند و/یا ترکیبات محلول را جذب کنند و رسوب دهند. اکسایش و کاهش برخی از آلاینده‌ها نیز ممکن است امکان‌پذیر باشد که منجر به رسوب آن به ترتیب در آند و کاتد می‌شود (Elabbas et al., 2016).

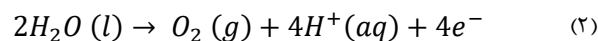
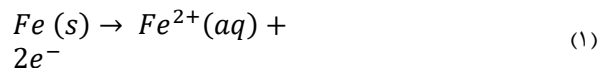
در محلول:



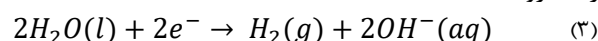
شکل ۴ مکانیسم فرآیند انعقاد الکتریکی و جدول ۳ برخی از یافته‌های قابل توجه با استفاده از انعقاد الکتریکی برای تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده را ارائه می‌کند.

یون هیدروکسید و گاز هیدروژن می‌شود (معادله‌های (۱) تا (۴)) (Zaleschi et al., 2013).

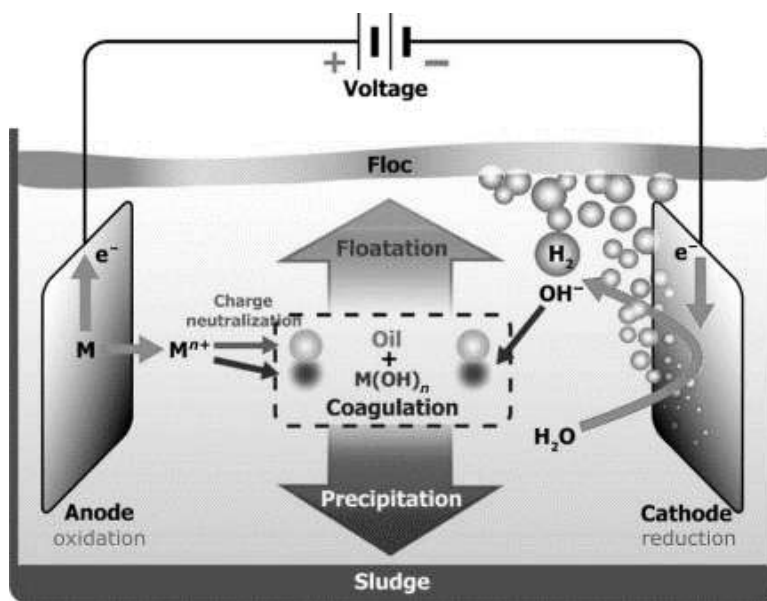
در الکترود آند:



در الکترود کاتد:



برای الکترود آهن، هیدروکسید آهن $Fe(OH)_2(s)$ و/یا $Fe(OH)_3(s)$ در جریان آبی به دلیل واکنش بین Fe^{2+} و Fe^{3+} با OH^{-} تشکیل می‌شود (معادله‌های (۵) و (۶)). این کمپلکس‌های فلزی با آلاینده‌های موجود در فاضلاب واکنش می‌دهند و باعث



شکل ۴- مکانیسم عملکرد سیستم انعقاد الکتریکی (Soni et al., 2020)

جدول ۳- مطالعات انجام شده با استفاده از فرآیند انعقاد الکتریکی در تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده

منبع	درصد حذف (%)	شرایط عملیاتی	مشخصات فاضلاب حاوی مواد شوینده	جنس مورد استفاده
Jung et al. (2015)	98/5 = COD	جریان = 354/3 میلی آمپر زمان واکنش = 55 دقیقه pH = 5/4	COD = 334 mg/L	الکترود ذرات متحرک ^۵
Vickers (2017)	87/1 = COD	ولتاژ عملیاتی = 30 ولت pH = 3 زمان تصفیه = 60 دقیقه	COD = 398 mg/L کدورت = 186 NTU	آهن
Janpoor et al. (2011)	93/2 = COD 93/5 = سورفکتانت 95 = کدورت	ولتاژ عملیاتی = 30 ولت pH = 6-8 زمان تصفیه = 90 دقیقه	COD = 4155 mg/L سورفکتانت = 463 mg/L کدورت = 245 NTU	آلومینیوم

۵-۱-۳- فرآیند فیلتراسیون

در فرآیند فیلتراسیون غشایی، مواد آلاینده به‌وسیله اختلاف فشار یا اختلاف غلظت از غشا عبور کرده و به این ترتیب جداسازی ممکن می‌شود. فرآیندهای فیلتراسیون غشایی تحت فشار عمدتاً شامل میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس است (Zhang et al., 2020). سورفکتانت‌ها در شرایطی که نمی‌توانند به سطح مایع بیایند، در داخل مایع هسته‌هایی تشکیل می‌دهند که سر آن‌ها در تماس با آب و دم آن‌ها دور از آب باشد. این هسته‌های تشکیل‌شده مایسل نام دارد (فریدی‌زاد

و عبدالله‌زاده شرقی، ۱۳۹۹). در داخل یک محلول آبی، محدوده میسل‌های کروی تولید شده می‌تواند بین ۲-۲۰ نانومتر باشد، در نتیجه، در این حالت انتخاب غشاهای میکروفیلتراسیون گزینه مناسبی است. در شرایطی که محدوده مایسل‌های تولیدشده کمتر از محدوده فوق‌الذکر باشد، استفاده از غشاهای میکرواولترافیلتراسیون مفید نبوده و باید از غشاهای نانوفیلتراسیون استفاده نمود. در جدول ۴ مطالعات صورت‌گرفته در زمینه تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده با استفاده از فرآیند فیلتراسیون آورده شده است.

جدول ۴- تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده با استفاده از فرآیند فیلتراسیون

منبع	درصد حذف	مشخصات فاضلاب	شرایط عملیاتی	فیلتر مورد استفاده
Tecchio et al. (2017)	COD = ۹۳٪	COD = ۱۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر	دما = ۴۰ درجه سانتیگراد pH = ۷ فشار = ۳/۵ بار	نانوفیلتراسیون
Tecchio et al. (2017)	TSS = ۹۸/۷٪ COD = ۹۰/۸٪ BOD = ۹۳/۹٪	TSS = ۲۴۰ میلی‌گرم بر لیتر COD = ۲۵۳۸ میلی‌گرم بر لیتر BOD = ۱۱۹۰ میلی‌گرم بر لیتر	۱ بار	میکروفیلتراسیون
Ashfaq et al. (2017)	COD = ۹۰٪	COD = ۳۶۰ میلی‌گرم بر لیتر	دما = ۴۵ درجه سانتیگراد pH = ۱۰/۹ فشار = ۲/۵ بار	اولترافیلتراسیون

سرامیکی پایداری شیمیایی و حرارتی بالاتر، یکپارچگی ساختاری عالی و تمایل به گرفتگی کم‌تر دارند و می‌توانند به‌طور موثر برای تصفیه فاضلاب صنایع شوینده حاوی غلظت‌های نسبتاً بالای سورفکتانت استفاده شوند (Kim and Park, 2021).

۵-۱-۴- فرآیند جذب سطحی

در حالت کلی، جذب سطحی روش جمع‌آوری مواد قابل حلی است که در یک سطح مشترک مناسب، به‌صورت محلول قراردارند. این سطح مشترک می‌تواند بین مایع و یک گاز، یک جامد یا مایع دیگر باشد. معمول‌ترین ماده جاذب مورد استفاده، کربن فعال است. کربن فعال بدلیل قابلیت جذب فراوان و قابلیت احیا نمودن مجدد، از نظر اقتصادی روش خوبی به‌شمار می‌رود و از مواد گوناگونی که محتوی چوب، لیگنیت، ذغال بیتومینوس و باقیمانده‌های نفتی باشند، ساخته می‌شود. معمولاً طبقه‌بندی کربن فعال به دو صورت پودر و دانه است. کربن‌های گرانولی از مواد آلی ذغال بیتومینوس یا لیگنیت ساخته می‌شوند که برای تصفیه فاضلاب در حد وسیعی بکار برده می‌شوند. مواد آلی محلول و کلوئیدی مانند سورفکتانت‌های سخت را می‌توان از طریق کربن فعال پودر شده یا گرانوله حذف کرد. مواد مقاوم به تجزیه زیستی

با وجود مزایای فوق‌الذکر، چالش اصلی این فرآیند مربوط به گرفتگی غشا است که منجر به کاهش فلاکس خروجی، کاهش نفوذ پذیری غشا، افزایش فشار انتقالی غشا و در نهایت کاهش طول عمر و افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. گرفتگی غشا بزرگترین چالش در استفاده گسترده از فرآیند غشایی است که حاصل تعامل فیزیکی و شیمیایی بین غشا و اجزای مخلوط مایع است. گرفتگی به‌دلیل اتصال نامطلوب بین رسوب ذرات معلق، میکروارگانیسم‌ها و کلوئیدها در فرآیند غشایی روی سطح غشا و/یا درون منافذ غشا رخ می‌دهد. گرفتگی غشاء منجر به کاهش نفوذپذیری غشاء در طی فیلتراسیون و در نتیجه افزایش مقاومت آن در برابر جریان و افزایش هزینه‌های عملیاتی به‌دلیل استراتژی‌های کنترل گرفتگی از قبیل هوادهی و استفاده از مواد شیمیایی برای شست‌وشوی غشا می‌شود (Faridizad et al., 2022).

پیشرفت‌های اخیر به‌منظور افزایش راندمان تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده با استفاده از فرآیند غشایی، در زمینه ساخت غشا بوده‌است. به‌منظور حل مشکل نفوذپذیری و پایداری غشا در طول تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده، بسیاری از محققان استفاده از غشاهای سرامیکی را پیشنهاد کرده‌اند. غشاهای

۵-۲-۲- فرآیند تصفیه زیستی بی‌هوازی

بیشتر سورفکتانت‌ها تحت شرایط هوازی، تجزیه می‌شوند اما برخی از آن‌ها هم برای تجزیه شدن نیاز به شرایط بی‌هوازی دارند. در صورت وجود مقادیر بالایی از این مواد، باید از شرایط بی‌هوازی برای تصفیه آن بهره‌گرفت. برخلاف فرایندهای هوازی تجزیه که مواد آلی توسط یک نوع میکروارگانیسم تثبیت می‌شوند، تجزیه بی‌هوازی همیشه به وجود و عملکرد هم‌زمان چندین نوع میکروارگانیسم نیاز دارد (Merrettig-Bruns and Jelen, 2009).

تجزیه زیستی سورفکتانت‌ها به مراحل زیر تقسیم می‌شود:

- تجزیه زیستی اولیه: توسط تغییر ساختاری (انتقال) سورفکتانت توسط میکروارگانیسم‌ها که با از بین بردن مواد ایجاد کننده بار سطحی، باعث از بین رفتن خاصیت فعال بودن سطحی آن‌ها می‌شود.
- تجزیه زیستی نهایی: با استفاده کامل سورفکتانت توسط میکروارگانیسم و تبدیل آن به فرآورده پایانی غیرآلی مانند کربن‌دی‌اکسید، آب، نمک‌های معدنی، عناصر حاضر و سلول‌های میکروبی جدید رخ می‌دهد.

در مرحله اول هضم بی‌هوازی ترکیبات آلی پلیمری یا پیچیده توسط باکتری‌های تخمیرکننده مصرف می‌شوند. محصولات حاصل از هیدرولیز و اسیدی‌سازی به مواد با وزن مولکولی پایین‌تر مانند الکل‌ها و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر تبدیل می‌شوند. در ادامه باکتری‌های استوژن محصولات حاصل از تخمیر را به‌عنوان سوبسترا مصرف کرده و آن‌ها را به استات، کربن‌دی‌اکسید و هیدروژن مولکولی تبدیل می‌کنند. در انتهای زنجیره غذایی، باکتری‌های متان‌زا از استیک اسید، کربن‌دی‌اکسید و هیدروژن برای تولید مخلوط بیوگاز (بیوگاز و کربن‌دی‌اکسید) استفاده می‌کنند و کربنات می‌تواند به‌عنوان پذیرنده هیدروژن عمل کند. باکتری‌های متان‌زا به‌دلیل سرعت رشد کم به‌عنوان نقطه‌ضعف این فرایند شناخته می‌شوند. این باکتری‌ها در برابر pH اسیدی به شدت حساس هستند و محدوده pH مناسب برای آن‌ها ۷-۸ است. در صورت وجود مقادیر قابل توجهی از نیترات و سولفات، ممکن است فرایندهای دنیتریفیکاسیون و کاهش سولفات نیز رخ دهد. صابون‌ها شامل نمک‌های سدیم/ کلسیم/ منیزیم اسیدهای چرب طبیعی هستند و حتی در غلظت‌های بالا (تا ۱۰۰۰ mg/L) در شرایط بی‌هوازی به‌خوبی تجزیه می‌شوند. صابون‌هایی با C₁₂-C₂₂ زنجیره آلکیل به‌عنوان انواع تخریب‌پذیر در شرایط بی‌هوازی طبقه‌بندی می‌شوند. برخی سورفکتانت‌ها مانند نوع آنیونی آن‌ها در شرایط هوازی به‌خوبی تجزیه می‌شوند. هیچ‌کدام از انواع سولفونات‌ها تحت شرایط بی‌هوازی به‌صورت کامل تجزیه

که به سختی به‌وسیله روش‌های تصفیه زیستی معمول حذف می‌شوند، اغلب به‌وسیله فرایند جذب با کربن فعال طی چندین مرحله حذف می‌شوند (Merrettig-Bruns and Jelen, 2009). این روش به‌عنوان یک تکنیک کارآمد و مقرون به‌صرفه در نظر گرفته شده است که می‌تواند آلاینده‌ها را از فاضلاب حذف کند. با این حال، چندین پارامتر مانند pH، غلظت اولیه آلاینده، سرعت هم‌زدن، قدرت یونی، زمان تماس، مقدار جاذب، یون‌های هم‌جوار و دما بر کارایی و عملکرد جاذب‌ها تأثیر می‌گذارد.

۵-۲-۱- فرآیند تصفیه زیستی

۵-۲-۱- فرآیند تصفیه زیستی هوازی

در فرآیند تصفیه زیستی به‌روش هوازی از فرآیندهای مختلفی مانند راکتورهای زیستی و یا فیلترهای چکنده استفاده می‌شود. (Bering et al. 2018) طی چهار ماه تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده با استفاده از یک بیوراکتور بستر متحرک هوازی دو مرحله‌ای^۶ را بررسی کردند. نتایج این تحقیق حاکی از عملکرد بسیار مناسب سیستم بود به‌طوری که ۸۹-۹۴٪ COD، ۹۵-۹۸٪ BOD₅ و ۸۵-۹۶٪ سورفکتانت‌ها حذف شد. با این حال افزودنی‌هایی مانند نرم‌کننده‌ها، افزودنی‌های ضدباکتری، محصولات سفیدکننده، و رایحه در مواد شوینده می‌توانند کارایی میکروبی برای تصفیه زیستی را محدود کنند (Khandare and Govindwar, 2015).

(Pirsahab et al. 2014) با بررسی کارایی سیستم لجن فعال با هوادهی گسترده در حذف سورفکتانت‌های آنیونی فاضلاب شهری با میانگین غلظت اولیه آلکیل بنزن سولفونات ۳-۲۱ میلی‌گرم بر لیتر به این نتیجه رسیدند که راندمان حذف این مواد در فصول گرم و سرد به ترتیب برابر با ۹۴/۱٪ و ۹۴/۲٪ و راندمان حذف COD برابر با ۸۹/۱٪ و ۹۱/۱٪ بود. (Katam et al. 2018) با مقایسه تجزیه هوازی تعدادی از سورفکتانت‌های رایج در کشورهای آسیایی به این نتیجه رسیدند که میزان زیست‌تخریب‌پذیری این مواد به‌طور گسترده‌ای بین شوینده‌های متفاوت تغییر می‌کند که به‌دلیل ترکیب شیمیایی متفاوت آن‌ها است. برخی شوینده‌های هندی و ژاپنی مقادیر بالای حذف آلکیل بنزن سولفونات را در طول تجزیه هوازی نشان دادند. در مقابل برخی شوینده‌های اندونزیایی، مقدار کمی تجزیه هوازی آلکیل بنزن سولفونات را در طول فرایند نشان دادند. زیست تخریب‌پذیری شوینده‌ها فرایندی پیچیده است و مقدار آن به‌حضور سایر عناصر در شوینده بستگی دارد.

مقاطع جلوگیری کرد. همچنین می‌تواند به وسیله شست و شوی فیزیکی حذف و یا توسط شست‌وشوی معکوس یا استراحت کاهش یابد. جذب مواد محلول و کلئیدی که باعث مسدود شدن حفرات می‌شود، منجر به گرفتگی غیرقابل حذف شده، که با استفاده از مواد شیمیایی قابل برطرف شدن هستند. گرفتگی برگشت‌ناپذیر، ناشی از جذب مواد پروتئینی و هیومیک اسید است که نمی‌توانند با استراتژی‌های فیزیکی و یا شیمیایی حذف شوند و منجر به کاهش قابل توجهی در بهره‌وری غشا و در نتیجه نیاز به جایگزینی غشا می‌شود. (Meng et al., 2009).

۶- نوین‌ترین فرآیندهای مورد استفاده در تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت

روش‌های فوق‌الذکر همگی با مشکلات عمده‌ای مواجه هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به هزینه سرمایه‌گذاری بالا و تولید ضایعات ثانویه و عدم تجزیه کامل آلاینده‌ها اشاره نمود. به همین سبب در سراسر جهان تمایل زیادی به ابداع فناوری‌های جدید برای تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده به وجود آمده است. فرآیندهای اکسایش پیشرفته جایگزین‌های ارجح برای فن‌آوری‌های متداول تصفیه فاضلاب هستند. اصل اساسی این فرآیندها تولید رادیکال آزاد هیدروکسیل به‌عنوان یک اکسیدکننده قوی برای تجزیه ترکیبات آلی است، زیرا رادیکال آزاد هیدروکسیل یک اکسیدکننده شیمیایی غیرانتخابی است که باعث حذف کامل آلاینده‌های آلی می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل الکتروفیل‌های واکنشی هستند که می‌توانند بلافاصله و به‌طور غیرانتخابی با تقریباً تمام ترکیبات آلی که غنی از الکترون هستند، واکنش نشان دهند. فوتوکاتالیز، اکسایش پلاسما و ازن‌زنی، متداول‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در این فرآیند هستند (Joseph et al., 2022). در جدول ۵ مزایا و معایب روش‌های مختلف فرآیند اکسایش پیشرفته ذکر شده است.

۷- بررسی اقتصادی تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده

فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده شامل روش‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی است. با توجه به هزینه‌های عملیاتی بالای فرآیندهای فوق، بررسی روش مقرون به‌صرفه و کارآمد ضروری است (Kumar et al., 2022). در این بخش عواملی که برای صرفه‌جویی در فرآیندهای تصفیه باید در نظر گرفته شوند بررسی می‌شود.

نمی‌شوند، ولی در صورت وجود محدود اکسیژن، این مواد تجزیه‌پذیری بالایی دارند. تجزیه زیستی سولفونات توسط میکروارگانیسم‌های هوازی و میکرواروفیلی آغاز می‌شود و متابولیت آن‌ها به‌صورت بی‌هوازی تجزیه می‌شود. در محیط‌های بی‌هوازی واقعی مانند هاضم‌های بی‌هوازی، سولفونات‌ها به‌میزان قابل توجهی تجزیه نمی‌شوند (Merrettig-Bruns and Jelen, 2009).

۵-۳- فرآیندهای ترکیبی

۵-۳-۱- ترکیب فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی

به‌سبب پیچیدگی فاضلاب‌های حاوی مواد شوینده، یک فرآیند به تنهایی نمی‌تواند کیفیت پساب فاضلاب تصفیه‌شده را به محدودیت‌های محیط‌زیستی برساند. (Palmarin et al., 2020) طی پژوهشی عملکرد فرآیند انعقاد الکتریکی/الکتروفلوتاسیون را به‌طور متوالی در آزمایشگاه و در مقیاس بزرگ برای تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده بررسی کردند و دریافته‌اند که کدورت را می‌توان ۹۸ درصد تحت بهترین شرایط عملیاتی حذف کرد. (Noutsopoulos et al., 2018) ترکیب سه فرآیند انعقاد، فیلتراسیون و جذب با استفاده از کربن فعال را برای حذف سورفکتانت مطالعه کردند و دریافته‌اند که این روش منجر به حذف ۸۵٪ COD شد که با استانداردهای نظارتی در یونان برای استفاده شهری، آبیاری مزارع کشاورزی و شستشوی توالی مطابقت داشت. تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت با ترکیب فرآیند انعقاد همراه با فرآیندهای دیگر مانند فلوتاسیون، فیلتراسیون غشایی، جذب و لخته‌سازی منجر به راندمان بالای حذف مواد آلی و سورفکتانت‌ها می‌شود. با این حال، فرآیند تصفیه شیمیایی اغلب منجر به تولید محصولات جانبی خطرناک می‌شود که هزینه‌های پس از تصفیه را افزایش می‌دهد (Costa et al., 2018).

۵-۳-۲- ترکیب روش‌های زیستی - فیزیکی - شیمیایی

متداول‌ترین نمونه از تصفیه فیزیکی-زیستی، بیوراکتور غشایی (MBR) است. MBR مزایای بسیاری دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به کیفیت بالای پساب خروجی، کنترل کامل بر شرایط عملیاتی و فضای مورد نیاز کم اشاره کرد (Faridizad et al., 2022). با این حال گرفتگی غشا اصلی‌ترین چالش استفاده از این سیستم‌ها در مقیاس گسترده است. گرفتگی غشا به سه زیرشاخه گرفتگی قابل حذف، غیرقابل حذف و برگشت‌ناپذیر تقسیم می‌شود. گرفتگی قابل حذف یا برگشت‌پذیر به دلیل اتصال مواد به سطح غشا و تشکیل لایه کیک ایجاد می‌شود. از این گرفتگی می‌توان با کاهش فلاکس یا افزایش سرعت جریان

جدول ۵- مزایا و معایب روش‌های مختلف فرآیند اکسایش پیشرفته (Joseph et al., 2022)

معایب	مزایا	روش
نیاز به کاتالیزور بهینه‌سازی غلظت کاتالیست نیاز به مطالعه عمیق دارد	کاتالیزورها قابل بازیافت هستند عملکرد در تابش خورشیدی و در طول موج‌های بالاتر بهتر است	TiO ₂ /UV
تشکیل لجن آهن نیاز به حفظ pH در محدوده اسیدی هزینه‌های عملیاتی بالا	توانایی تجزیه رنگ‌های محلول و نامحلول از پساب‌های صنعتی	Fenton's Reaction
تولید رادیکال‌های هیدروکسیل کمتر نسبت به سایر روش‌ها سرعت تجزیه کند است ازن می‌تواند محصولات جانبی مضر ایجاد کند هزینه بالا	تشکیل رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل بسیار واکنش‌پذیر و غیرانتخابی که می‌تواند پیوند دوگانه مزدوج را تجزیه کند ازن می‌تواند در حالت گازی و بدون تغییر در حجم زیاد فاضلاب استفاده شود تولید لجن بسیار کم است	H ₂ O ₂ /O ₃
کدورت ممکن است مانع از ورود نور UV به محلول شود جذب اشعه ماوراء بنفش ممکن است با وجود ترکیبات مشابه نیترات تداخل داشته باشد به انرژی بیشتر و هزینه عملیاتی بالا نیاز دارد	در مقایسه با ازن یا UV که به تنهایی استفاده می‌شود کارآمدتر است به‌عنوان ضد عفونی‌کننده استفاده می‌شود راندمان بهتر برای تولید رادیکال‌های هیدروکسیل نسبت به روش H ₂ O ₂ /UV	O ₃ /UV
کدورت مانع تابش نور UV به محلول می‌شود جذب نور با وجود ترکیبات شبیه نیترات مانع می‌شود	راندمان بالا	H ₂ O ₂ /UV

شیمیایی برای بهره‌برداری و نگهداری)، نیروی کار و برق برای تصفیه فاضلاب است. سازمان بهداشت جهانی^۸ هزینه تعمیرات و نگهداری را سالانه ۸۰۷ میلیون دلار در سال ۲۰۰۷ گزارش کرد (WHO, 2003). بیشترین سهم در این هزینه‌ها مربوط به هزینه‌های نیروی کار بود، درحالی‌که هزینه‌های مواد و انرژی به ترتیب ۱۹۸ و ۱۹۹ میلیون دلار بود. هزینه‌های تکمیلی اضافی نیز ۱۰۸ میلیون دلار تخمین زده شد (WHO, 2003). فرآیند تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت مانند MBR و نانوفیلتراسیون همراه با اسمز معکوس به هزینه تعمیرات و نگهداری کمتر نیاز دارد، درحالی‌که فرآیند نانوفیلتراسیون و جذب سطحی به هزینه تعمیرات و نگهداری بیشتری نیاز دارد (Nicolaidis and Vyrades al., 2014).

۸- چالش‌ها و دیدگاه آینده

انعقاد شیمیایی یکی از روش‌های متداول تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت است. با این حال، هزینه بالای مواد شیمیایی، اثرات نامطلوب محیط‌زیستی و تولید حجم زیادی از لجن، از مهم‌ترین چالش‌های این فرآیند است. منعقدکننده‌های زیستی می‌توانند بخشی از این چالش‌ها را برطرف نموده و به‌عنوان جایگزینی برای لخته‌های شیمیایی عمل کنند. برای تولید لخته‌های مقرون به‌صرفه باید تحقیقات گسترده‌ای انجام شود (Nath et al., 2021). انعقاد الکتریکی یک جایگزین برای فرآیند انعقاد شیمیایی است و دارای چندین مزیت شامل؛ فرآیند آسان و مقرون به‌صرفه،

۷-۱- انرژی مصرفی

مصرف برق تصفیه‌خانه‌های فاضلاب فعلی بین ۲۰ تا ۴۵ کیلووات ساعت معادل جمعیت در سال متغیر است. به‌طور کلی هزینه برق مصرفی ۶۰ درصد هزینه سرمایه‌ای تصفیه‌خانه‌ها است (Faridizad et al., 2022). مصرف انرژی تا حد زیادی به نوع فناوری تصفیه مورد استفاده بستگی دارد. فرآیندهایی غشایی نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس مصرف انرژی بالایی دارند درحالی‌که فرآیندهایی مانند جذب سطحی با استفاده از کربن فعال گرانوله و بیوراکتورهای غشایی مصرف انرژی کمتری دارند (Nicolaidis and Vyrades, 2014).

۷-۲- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

هزینه سرمایه‌ای تصفیه‌خانه فاضلاب حاوی مواد شوینده در ۱۵ سال گذشته به دلیل افزایش نرخ بازیافت فاضلاب افزایش یافته است. هزینه سرمایه‌گذاری یکی از اصلی‌ترین و بزرگترین هزینه‌های مرتبط با فرآیند تصفیه حاوی سورفکتانت است. هزینه سرمایه‌گذاری برای فرآیندهای جذب سطحی، نانوفیلتراسیون، نانوفیلتراسیون همراه با اسمز معکوس و سیستم MBR به ترتیب ۲۱، ۴۷، ۲۷ و ۹۵ درصد است. لذا هزینه سرمایه‌گذاری سیستم‌های MBR بیشتر از سایر فرآیندها است (Nicolaidis and Vyrades, 2014).

۷-۳- هزینه تعمیرات و نگهداری

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شامل هزینه‌های مواد (تهیه

فاضلاب حاوی موادشوینده شده‌است. در کنار تولید انبوه این محصولات، کنترل بهینه فاضلاب و پسماند حاصل از تولید حائز اهمیت است. افزایش مصرف شوینده‌ها به‌نوبه خود مشکلاتی را در زمینه محیط‌زیست و آلودگی منابع آبی به‌وجود آورده‌اند. مدیریت صحیح این نوع فاضلاب‌ها می‌تواند مفهومی از اقتصاد چرخشی ایجاد کند که در نتیجه، آب بازیافتی برای بسیاری از اهداف مفید مانند آبیاری، ساخت و ساز و مصارف شست و شو تولید می‌شود. نظر به تنوع مواد به‌کار گرفته شده در این صنعت، ویژگی‌های فاضلاب می‌تواند در شرایط مختلف متفاوت باشد و برای این منظور انواع مختلفی از فرآیندهای فیزیکوشیمیایی، زیستی و ترکیبی همچون بیوراکتورهای غشایی، فرآیندهای اکسایش پیشرفته، فرآیندهای جذب و فیلتراسیون استفاده شده است. استفاده از تکنولوژی مناسب تصفیه می‌تواند وابستگی به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را کاهش داد. در مورد این موضوع، بدیهی است که تحقیقات بیشتری به‌ویژه در خصوص امکان ادغام یک یا چند تکنیک برای دستیابی به نتایج بهتر، موردنیاز است، تحقیقات در این زمینه باید بیشتر مسئله محور باشد و از محصولات طبیعی و محلی استفاده شود. به‌عبارت دیگر، تحقیقات محلی‌تر برای حل مسائل مورد نیاز است تا راه‌حل‌ها قابل دوام، اقتصادی، سازگار با محیط‌زیست و قابل قبول برای عموم باشد.

۱۰- قدردانی

این طرح مطالعاتی با پشتیبانی مالی شرکت گروه صنعتی پاکشو (گرت شماره ۲۷۵۹۱۹۹۰۱) و اعتبارات ویژه پژوهشی پژوهشگاه مواد و انرژی (گرت شماره ۱۴۰۲۶۰۵۴) انجام شد.

۱۱- پی‌نوشت‌ها

- 1- Surface-active agent
- 2- Chemical Oxygen Demand (COD)
- 3- Biological Ixygen Demand (BOD)
- 4- Ammonium Nonylphenol Polyoxyethylene ether Sulfate (NPSA)
- 5- GAC (Moving Particle Electrode)
- 6- Two-stage aerobic Moving Med Bioreactor (MBBR)
- 7- Membrane bioreactor (MBR)
- 8- World Health Organization (WHO)

۱۲- مراجع

عبداله‌زاده شرقی، ا.، یادگاری، ف.، و داورپناه، ل.، (۱۳۹۷)

سازگار با محیط‌زیست، انعطاف‌پذیری و قابلیت حذف هم‌زمان انواع مختلف آلاینده‌ها است. با این حال، مصرف زیاد انرژی و هزینه سرمایه‌گذاری بالا از جمله چالش‌های این فرآیند است. لذا انجام مطالعات تحقیقاتی بیشتر برای دستیابی به عملکرد بالا در این فرآیند از طریق مدل‌سازی آماری و دینامیک سیالات محاسباتی بسیار لازم و حیاتی است (Shahedi et al., 2020).

روش فیلتراسیون غشایی معمولاً برای تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده استفاده می‌شود. چالش عمده در فیلتراسیون غشا، گرفتگی غشایی است، که زمانی اتفاق می‌افتد که ذرات روی سطح و/یا درون منافذ غشا انباشته می‌شوند، که نیاز به شستشوی مکرر برای برقراری مجدد شار نفوذی دارد و انرژی بیشتری در فشارهای بالا مصرف می‌کند. فیلتراسیون غشایی قادر به حذف سورفکتانت‌ها از فاضلاب مطابق با محدودیت‌های موردنظر نیست. لذا برای حل مشکلات فوق، راه‌حلی مانند تکنیک‌های پیش‌تصفیه و اصلاحات سطح غشا می‌توانند مورد استفاده قرارگیرد (Kim and Park, 2021). روش جذب برای تصفیه این نوع فاضلاب به‌عنوان یک تکنیک کارآمد و مقرون به‌صرفه در نظر گرفته می‌شود. با این حال، هزینه بالای جاذب‌های تجاری و هزینه بازیابی بالا از معایب عمده این فناوری است. جاذب‌های ارزان قیمت باید از ضایعات کشاورزی تولید و در مقیاس آزمایشگاهی آزمایش شوند (Crini et al., 2019).

فرآیندهای ترکیبی زیستی و فیزیکی-شیمیایی می‌توانند برای تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت استفاده شوند. MBR یک روش ترکیبی است که قادر به تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت با حذف زیاد آلاینده‌ها است. با این حال، هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه انرژی بالایی دارد. همچنین به‌دلیل گرفتگی غشا، هزینه عملیاتی بالایی برای شستشوی مکرر و تعویض غشا نیز دارد. مراحل پیش‌تصفیه اضافی مانند فلوتاسیون، فیلتراسیون غشایی، جذب سطحی، و/یا لخته‌سازی رایج‌ترین روش برای حذف انتخابی آلاینده‌های مضر برای واحد MBR و کاهش گرفتگی هستند (Faridizad et al., 2022). بنابراین برای توسعه فرآیندهای تصفیه فاضلاب حاوی سورفکتانت که مقرون به‌صرفه، محیط‌زیستی و قابل قبول برای جامعه هستند و می‌توانند محدودیت‌های مجاز برای استفاده مجدد از آب را برآورده کنند، به تحقیقات فشرده نیاز است.

۹- نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت و صنعتی شدن شهرها منجر به تولید مقدار زیادی

- Janpoor, F., Torabian, A., and Khatibikamal, V., (2011), "Treatment of laundry waste-water by electrocoagulation", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 86(8), 1113-1120, <https://doi.org/10.1002/jctb.2625>.
- Joseph, C.G., Farm, Y.Y., Taufiq, Y.H., Pang, C.K., Nga, J.L., and Puma, G.L., (2021), "Ozonation treatment processes for the remediation of detergent wastewater: A comprehensive review", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106-114, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106099>.
- Joseph, C.G., Taufiq, Y.H., Affandi, N.A., Nga, J.L.H., and Vijayan, V., (2022), "Photocatalytic treatment of detergent-contaminated wastewater: A short review on current progress", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 39(3), 484-498, <https://doi.org/10.1007/s11814-021-0964-4>.
- Jung, K.W., Hwang, M.J., Park, D.S., and Ahn, K.H., (2015), Performance evaluation and optimization of a fluidized three-dimensional electrode reactor combining pre-exposed granular activated carbon as a moving particle electrode for greywater treatment", *Separation and Purification Technology*, 156(7), 414-423, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.10.030>.
- Katam, K., Maetani, K., Shimizu, T., Nakajima, J., and Bhattacharyya, D., (2018), "Study of aerobic biodegradation of surfactants and fluorescent whitening agents in detergents of a few selected Asian countries", *Journal of Water and Environment Technology*, 16(1), 18-29, <https://doi.org/10.2965/jwet.17-007>.
- Khandare, R.V., and Govindwar, S.P., (2015), "Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects", *Biotechnology Advances*, 33(8), 1697-1714, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.09.003>.
- Kim, S., and Park, C., (2021), "Potential of ceramic ultrafiltration membranes for the treatment of anionic surfactants in laundry wastewater for greywater reuse", *Journal of Water Process Engineering*, 44(7), 102-113, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102373>.
- Kumar, S., Mostafazadeh, A.K., Kumar, L.R., Tyagi, R. D., Drogué, P., and Brien, E., (2022), "Advancements in laundry wastewater treatment for reuse: A review", *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 57(11), 927-946, <https://doi.org/10.1080/10934529.2022.2132076>.
- Meng, F., Chae, S.R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H.S., and Yang, F., (2009), "Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material", *Water Research*, 43(6), 1489-1512, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.044>.
- Merrettig, U., and Jelen, E. (2009), "Anaerobic biodegradation of detergent surfactants", *Materials*, 2(1), 181-206, <https://doi.org/10.3390/ma2010181>.
- Mousavi, S.A., and Khodadoost, F., (2019), "Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review", *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 26439-26448, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05802-x>.
- Nath, A., Mishra, A., and Pande, P.P., (2021), "A review "مشخصه‌یابی و بررسی تصفیه‌پذیری فاضلاب صنایع شوینده با استفاده از روش‌های شیمیایی و زیستی"، دومین کنگره سالیانه شیمی، مهندسی شیمی و نانوفناوری با رویکرد از پژوهش تا توسعه ملی، دانشگاه تهران، تهران، فریدی‌زاد، غ.، و عبداله‌زاده شرقی، ا. (۱۳۹۹) "مروری بر سرفکتانت‌های زیستی: مشخصه‌سازی و کاربردها"، مهندسی شیمی/ایران، ۱۹(۱۰۹)، ۲۶-۶.
- Abdollahzadeh Sharghi, E., and Davarpanah, L., (2022), "Optimization of chemical coagulation-flocculation process of detergent manufacturing plant wastewater treatment for full scale applications: a case study", *Desalination and Water Treatment*, 262(4), 38-53, <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28494>.
- Ashfaq, M., Wang, T., Qiblaway, H., Reesh, I.A., and Judd, S., (2017), "Recycling of hospital laundry wastewater using membrane technology", *Desalination and Water Treatment*, 60(5), 122-128, <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.0596>.
- Aygun, A., and Yilmaz, T., (2010), "Improvement of coagulation-flocculation process for treatment of detergent wastewaters using coagulant aids", *International Journal*, 1(2), 97-101, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3630.9600>.
- Bering, S., Mazur, J., Tarnowski, K., Janus, M., Mozia, S., and Morawski, A.W., (2018), "The application of moving bed bio-reactor (MBBR) in commercial laundry wastewater treatment". *Science of the Total Environment*, 627(5), 1638-1643, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.029>.
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. IWA publishing.
- Costa, A.F.S., Albuquerque, C.D.C., Salgueiro, A.A., and Sarubbo, L.A., (2018), "Color removal from industrial dyeing and laundry effluent by microbial consortium and coagulant agents", *Process Safety and Environmental Protection*, 118(8), 203-210, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.001>.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L.D., and Morin, N., (2019), "Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment", *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 195-213, <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0786-8>.
- Elabbas, S., Ouazzani, N., Mandi, L., Berrekhis, F., Perdicakis, M., Pontvianne, S., Pons, M.N., Lapique, F., and Leclerc, J.P., (2016), "Treatment of highly concentrated tannery wastewater using electrocoagulation: influence of the quality of aluminium used for the electrode", *Journal of Hazardous Materials*, 319(1), 69-77, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.12.067>.
- Faridizad, G., Abdollahzadeh Sharghi, E., and Bonakdarpour, B., (2022), The use of membrane bioreactors in high rate activated sludge processes: How and why sludge retention time affects membrane fouling", *Journal of Water Process Engineering*, 47(6), 102-111, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102807>.

<https://doi.org/10.1080/19443994.2013.809965>.

Zaleschi, L., Sáez, C., Cañizares, P., Cretescu, I., and Rodrigo, M.A., (2013), "Electrochemical coagulation of treated wastewaters for reuse", *Desalination and Water Treatment*, 51(18), 3381-3388, <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.749192>.

Zhang, H., He, Q., Luo, J., Wan, Y., and Darling, S.B., (2020), "Sharpening nanofiltration: strategies for enhanced membrane selectivity", *ACS Applied Materials Interfaces*, 12(36), 39948-39966, <https://doi.org/10.1021/acsami.0c11136>.



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

natural polymeric coagulants in wastewater treatment", *Materials Today: Proceedings*, 46(9), 6113-6117,

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.551>.

Nicolaidis, C., and Vyrides, I., (2014), "Closing the water cycle for industrial laundries: An operational performance and techno-economic evaluation of a full-scale membrane bioreactor system", *Resources, Conservation and Recycling*, 92(1), 128-135, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.001>.

Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Charchousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., Mantziaras, I., and Koumaki, E., (2018), "Greywater characterization and loadings—physicochemical treatment to promote onsite reuse", *Journal of Environmental Management*, 216(2), 337-346, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.094>.

Palmarin, M.J., Young, S., and Chan, J., (2020), "Recovery of a hybrid and conventional membrane bioreactor following long-term starvation", *Journal of Water Process Engineering*, 34(8), 101-107, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101027>.

Pirsaheb, M., Khamutian, R., and Khodadadian, M., (2014), "A comparison between extended aeration sludge and conventional activated sludge treatment for removal of linear alkylbenzene sulfonates (Case study: Kermanshah and Paveh WWTP)", *Desalination and Water Treatment*, 52(27), 4673-4680, <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.809965>.

Ren, B., Weitzel, K.A., Duan, X., Nadagouda, M.N., and Dionysiou, D.D., (2022), "A comprehensive review on algae removal and control by coagulation-based processes: mechanism, material, and application", *Separation and Purification Technology*, 293(6), 121-129, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121106>.

Shahedi, A., Darban, A., Taghipour, F., and Jamshidi, A., (2020), "A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes", *Current Opinion in Electrochemistry*, 22(5), 154-169, <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.05.009>.

Soni, R., Bhardwaj, S., and Shukla, D.P., (2020), *Chapter 14 - Various water-treatment technologies for inorganic contaminants: Current status and future aspects*, In: *Inorganic Pollutants in Water*, 273-295, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00014-7>.

Tecchio, P., McAlister, C., Mathieux, F., and Ardente, F., (2017), "In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach", *Journal of Cleaner Production*, 168(1), 1533-1546, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.198>.

Vickers, N.J., (2017), "Animal communication: When i'm calling you, Will you answer too?", *Current Biology*, 27(14), 713-715, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.064>.

World Health Organization (WHO), (2003), *Aluminium in drinking-water: background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality*, No. WHO/SDE/WSH/03.04/53, *World Health Organization*,

Research Paper

مقاله پژوهشی

Cumulative Environmental Impacts of Desalination Plants Based on ReCiPe Indices Used in Life Cycle Assessment

برآورد پیامدهای محیط‌زیستی تجمعی سامانه‌های نمک‌زدایی بر مبنای شاخص‌های ReCiPe مورد استفاده در ارزیابی چرخه حیات

Faranak Hashempoor¹, Alireza Pardakhti^{2*} and Shervin Jamshidi³

1- MSc Student, Department of Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, University of Tehran,

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Isfahan.

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

Received: 09/12/2022

Revised: 25/06/2023

Accepted: 29/06/2023

© IWWA

فرانک هاشم‌پور^۱، علیرضا پرداکتی^{۲*} و شروین جمشیدی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل،

دانشگاه اصفهان

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Adverse environmental impacts of desalination plants are barriers for their development. Nevertheless, current Environmental Impact Assessment (EIA) methods cannot provide a suitable quantitative framework for comparing and evaluating different practices or strategies. This study introduced a quantitative method based on midpoint and endpoint ReCiPe coefficients used in Life Cycle Impact Assessment (LCIA). Accordingly, both direct and indirect environmental impacts of seawater desalination on humans, terrestrial and marine ecosystems were calculated and compared for coastal and inland operating conditions. The impacts of using renewable energies and Zero Liquid Discharge (ZLD) systems were also compared by the proposed methodology. For this purpose, the available brine water quality data of operating RO and MED plants located in southern Iran and the Middle East were used. Results showed that LCIA method can properly account the accumulated environmental impacts of desalination. In addition, this research highlighted that the main damage of desalination plants on marine and terrestrial ecosystems is originated from discharging toxins and hazardous wastes through brines. Consequently, it is emphasized that brines should be carefully monitored based on their toxicity. In addition, due to 70-80% effectiveness of ZLD on environmental impact reductions, its application should gain the highest priority for environmental protection.

پیامدهای محیط‌زیستی چالش اساسی توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی است. اما رویکردهای متعارف ارزیابی اثرات محیط‌زیستی نمی‌تواند چارچوبی کمی برای ارزیابی تجمعی و مقایسه گزینه‌های بهینه ارائه نماید. در این پژوهش، یک روش محاسباتی مبتنی بر ضرائب میانی و پایانی روش ReCiPe که برای ارزیابی اثرات چرخه حیات (LCIA) استفاده می‌شود، معرفی می‌شود. بر این اساس، پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم سامانه‌های نمک‌زدایی در محیط‌های انسانی و اکوسیستم‌های خشکی و دریا محاسبه شد و برای شرایط بهره‌برداری در ساحل دریا و نواحی درون‌سرزمین مورد مقایسه قرار می‌گیرد. همچنین پیامدهای روش‌های اصلاحی مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و سامانه‌های تخلیه صفر پساب (ZLD) نیز در این چهارچوب مقایسه می‌شود. بدین منظور، از داده‌های در دسترس سامانه‌های غشایی (RO) و حرارتی (MED) در حال بهره‌برداری در جنوب کشور و خاورمیانه استفاده می‌شود. نتایج نشان داد روش پیشنهادی برای ارزیابی تجمعی پیامدهای محیط‌زیستی این سامانه‌ها قابل استفاده است. همچنین بیشترین اثر نامطلوب سامانه‌های نمک‌زدایی بر اکوسیستم خشکی و دریا ناشی از تخلیه مواد سمی و خطرناک شورابه‌ها است. بنابراین پیشنهاد می‌شود پایش ترکیبات سمی شورابه‌ها با دقت بیشتری انجام شده و با توجه به عملکرد سامانه‌های ZLD در کاهش ۷۰-۸۰٪ پیامدهای نامطلوب محیط‌زیستی، استفاده از این فناوری‌ها در اولویت اقدامات اصلاحی این سامانه‌ها قرار گیرد.

Keywords: Desalination, Greenhouse Gases (GHG), Life Cycle Assessment (LCA), Renewable Energy, Toxicity.

کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، انرژی تجدیدپذیر، سمیت، گاز گلخانه‌ای، نمک‌زدایی.

ردپای کربن یک مترمکعب آب نمک‌زدایی شده برابر ۳/۷ تا ۴/۲ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل است. در این کشور، تنها ۳۳٪ آب نمک‌زدایی شده به مصرف شرب می‌رسد و مابقی برای مصارف صنعتی استفاده می‌شود که بیشتر از فناوری تقطیر چندمرحله‌ای (MED) برای این منظور استفاده می‌شود (Jia et al., 2019). مطالعات دیگر در خصوص فناوری‌های مختلف نمک‌زدایی با انرژی‌های تجدید پذیر نشان می‌دهد هر واحد سامانه‌های کمتر از ۴ کیلوگرم کربن معادل منتشر می‌کند درحالی‌که سامانه‌های حرارتی بین ۲۵ تا ۳۰ کیلوگرم کربن تولید می‌کنند. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند ردپای کربن سامانه‌های نمک‌زدایی به‌روش‌های غشایی را بیش از ۷۰٪ کاهش دهد (Cherif and Belhadj, 2018).

با توجه به این‌که بهره‌برداری از سامانه‌های نمک‌زدایی می‌تواند پیامدهای محیط‌زیستی متعدد در محیط‌های مختلفی داشته باشد، ارزیابی اثرات محیط‌زیستی (EIA) آن‌ها اهمیت پیدا می‌کند. اما روش‌های متعارف ارزیابی اثرات محیط‌زیستی در کشور اکثراً مبتنی بر نظرات خبرگان و امتیازبندی مولفه‌های کیفی است تا در قالب یک ساختار رای‌محور، اثرات به‌صورت کمی محاسبه و نتیجه به‌صورت کیفی ارائه شود. این روش با مشکلات متعدد مواجه است و بعضاً در برآورد جزئی اثرات محیط‌زیستی، اثرات ثانویه و غیرمستقیم آلاینده‌ها، و تجمیع مناسب نتایج و پیامدها ناتوان است. در سال‌های اخیر، اما برای ارزیابی تجمعی اثرات محیط‌زیستی (CIA) فعالیت‌های مختلف از جمله بهره‌برداری از سامانه‌های نمک‌زدایی و انتخاب گزینه‌های مطلوب، از رویکردهای نوین مانند ارزیابی چرخه حیات (LCA) استفاده شده است (Lee and Jepson, 2021). در مطالعات مروری می‌توان مشاهده کرد که بررسی‌های متعددی برای ارزیابی چرخه حیات سامانه‌های نمک‌زدایی انجام شده است که به اثرات محیط‌زیستی مسائلی هم‌چون سازه تاسیسات نمک‌زدایی (بتن، فولاد و لوله‌های مصرفی)، منابع انرژی (سوخت‌های فسیلی، تجدیدپذیر و غیره)، مواد شیمیایی مصرفی (آنتی‌اسکلانت‌ها، مواد پلیمری و غیره)، تولید غشا (پلیمرها، اسپیسرها، محفظه‌ها و غیره) همراه با پسماند و پساب تولیدی با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف می‌پردازد (Zhou et al., 2014). به‌عنوان مثال، در یک مطالعه مروری نشان داده شده است که انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی، بهداشت انسانی، کاهش منابع طبیعی و سمیت اکوسیستم از جمله مسائلی است که در ارزیابی چرخه حیات پژوهش‌های اخیر به‌عنوان چالش‌های کلیدی سامانه‌های نمک‌زدایی از آن‌ها یاد شده است (Lee and Jepson, 2021). این چهارچوب که اصولاً

تخلیه پساب خروجی از سامانه‌های نمک‌زدایی به محیط‌های دریایی با عنوان شورابه (Brine)، می‌تواند پیامدهای مخرب محیط‌زیستی قابل‌ملاحظه‌ای در محل‌های تخلیه به‌صورت موضعی داشته باشد به‌طوری‌که شوری این پساب‌ها بزرگترین معضل محیط‌زیستی بهره‌برداری از این سامانه‌ها معرفی می‌شود (Shemer and Semiat, 2017). با این وجود، پیامدهای محیط‌زیستی سامانه‌های نمک‌زدایی به محتوای شوری شورابه‌های آن‌ها محدود نمی‌شود. این تاسیسات از نظر مولفه‌های محیط‌زیستی مختلف می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر چرخه‌های مواد و انرژی در سطح زمین اثرگذار باشند. مصرف انرژی و به‌ویژه سوخت‌های فسیلی برای تامین فشار و حرارت مورد نیاز نمک‌زدایی می‌تواند منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. هم‌چنین استفاده از انواع مواد شیمیایی مانند مواد منعقدکننده برای پیش‌تصفیه و آنتی‌اسکلانت‌ها در سامانه‌های نمک‌زدایی می‌تواند منجر به افزایش غلظت ترکیبات سمی و فلزات سنگین در شورابه و پساب شده و تهدیدی برای سمیت محیط‌های پذیرنده در آب، خاک و هوا باشد. تخریب اکوسیستم‌های جانوری و گیاهی ناشی از برداشت آب و تخلیه پساب، و حتی تغذیه‌گرایی ناشی از تخلیه آلاینده‌های مغذی از جمله مشکلاتی است که با بهره‌برداری از انواع سامانه‌های نمک‌زدایی ممکن است در محیط‌های پذیرنده یا محیط‌های مرتبط با آن‌ها تسریع شود (Panagopoulos and Haralambous, 2020).

در حوزه مصرف انرژی و انتشار گاز گلخانه‌ای به‌عنوان نمونه، مطالعات گسترده‌ای در سال‌های اخیر برای برآورد ردپای کربن یک مترمکعب آب نمک‌زدایی شده انجام شده است. در استرالیا براساس بررسی‌های صورت‌گرفته نتیجه شد به‌طور متوسط سالانه ۱/۹ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل به‌ازای بهره‌برداری از سامانه‌های نمک‌زدایی برای تولید یک مترمکعب آب شیرین منتشر می‌شود (Heihsel et al., 2019). محققین در استرالیا هم‌چنین نشان دادند که استفاده کامل از ظرفیت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در تامین انرژی سامانه‌های نمک‌زدایی می‌تواند تا ۹۰٪ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاسته و در عین حال ۱۴٪ به اشتغال کمک نماید. در این خصوص، انرژی‌های باد و خورشیدی نسبت به بیومس و برقایی انتشار گاز گلخانه‌ای به‌مراتب کمتری را خواهند داشت (Heihsel et al., 2020). در چین، بررسی‌های موسسات تحقیقاتی نشان داد که تقریباً میزان

حدود ۴۰٪ خسارات و اثرات نامطلوب محیط‌زیستی بیشتری نسبت به RO دارد، اما در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی، اثرات نامطلوب MED بیش از ۹۰٪ و برای RO حدود ۷۰٪ کاهش می‌یابد. لذا نتیجه شد MED با انرژی خورشیدی اثرات محیط‌زیستی کمتری نسبت به RO با انرژی خورشیدی دارد (Aljuwaiser et al., 2022). در ایران نیز براساس تحلیل شبیه‌سازی و برآورد نرم‌افزاری در قالب ارزیابی چرخه حیات، میزان ردپای کربن یک مترمکعب آب نمک‌زدایی شده به‌طور تقریبی معادل ۳/۲ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل به‌ازای هر مترمکعب آب نمک‌زدایی شده است (Bakhshayesh et al., 2021). در فلسطین اشغالی، بررسی‌های نرم‌افزاری در قالب ارزیابی چرخه حیات آب در شبکه لوله‌کشی و با احتساب برداشت ۱۰۰ درصدی از منابع نمک‌زدایی شده نتیجه شد که ردپای کربن ۴/۹ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل به‌ازای هر مترمکعب آب شرب نمک‌زدایی شده است (Meron et al., 2020). در قطر، نتایج مطالعات در قالب ارزیابی چرخه حیات نشان داده است که این کشور به‌ازای هر مترمکعب آب نمک‌زدایی شده در حدود ۷/۵ تا ۱۲/۵ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن منتشر می‌کند (Mannan et al., 2020).

هدف اصلی از این پژوهش، توسعه یک روش مبتنی بر شاخص‌ها و مولفه‌های مدل ReCiPe، که برای LCIA استفاده می‌شود، است تا بر این اساس و با توجه به مقادیر و داده‌های موجود، وضعیت محیط‌زیستی سامانه‌های نمک‌زدایی در حال بهره‌برداری در جنوب کشور مورد ارزیابی قرارگیرد. بدین منظور، علاوه بر اطلاعات کیفی شورابه سامانه‌ها، به برآوردهای انجام شده درخصوص میزان مصرف انرژی و ردپای کربن این تاسیسات نیز استناد شده و مقدار اثرات محیط‌زیستی تجمعی (CIA) سامانه‌های نمک‌زدایی برآورد می‌شود تا در این چارچوب، اثر گزینه‌های مختلف مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر یا بهره‌گیری از سامانه‌های تخلیه صفر پساب مایع (ZLD) برای کاهش این اثرات مقایسه شود. هم‌چنین باید توجه نمود این روش متفاوت از نرم‌افزارهای متعارف LCA، برای ارزیابی چرخه عمر تاسیسات نمک‌زدایی (از تاسیس تا اسقاط) است. در روش پیشنهادی با تمرکز بر مرحله سوم ارزیابی چرخه عمر (یعنی LCIA)، انتشار آلاینده‌های شورابه و گازهای گلخانه‌ای به خسارات محیط‌زیستی معادل برای مقایسه بهتر گزینه‌ها تبدیل می‌شود که به تفصیل در بخش دوم توضیح داده شده است.

مبتنی بر مدل‌ها و شاخص‌های بین‌المللی است، می‌تواند با بهره‌گیری از مفاهیم توسعه پایدار، مقادیر پیامدهای مخرب محیط‌زیستی را در چندین لایه کمی نموده و برای مقایسه مورد استفاده قرارگیرد. این روش مطابق استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ بوده و مجموعه‌ای از روش‌های سیستماتیک برای جمع‌آوری و ارزیابی مواد و انرژی ورودی و خروجی و اثرات محیط‌زیستی همراه یک سامانه محصول در طول چرخه حیات آن محصول یا فعالیت است (ISO 14040, 2006). این روش ۴ گام اساسی دارد که ارزیابی اثرات چرخه حیات (LCIA) سومین و مهمترین مرحله آن است. در این گام، اطلاعات کمی حاصله از سیاهه‌ها با استناد به شاخص‌ها و ضرایب واسطه محاسبه شده و به اثرات کمی تبدیل می‌شوند. باید توجه داشت تمامی روش‌های LCIA منطبق با ایزو ۱۴۰۴۴ است و این استاندارد، گزینه یا گزینه‌های خاصی را برای مسائل محیط‌زیستی پیشنهاد نمی‌کند؛ اما در برخی مناطق، مانند اتحادیه اروپا، ژاپن و ایالات متحده ممکن است برخی روش‌ها از جمله روش ReCiPe بیشتر مورد استفاده قرار گیرند (Rosenbaum et al., 2018). به‌عبارت دیگر روش‌ها و مدل‌های ارزیابی اثرات در قالب چرخه عمر دارای مزیت‌های زیر است (Jamshidi and Naderi, 2023):

- ۱) کاملاً کمی و مبتنی بر شاخص‌ها و ضرایب بین‌المللی است،
- ۲) مستقل و بدون نیاز به اعمال نظر خبرگان و جهت‌دهی سلیقه‌ای است،
- ۳) اثرات محیط‌زیستی در محیط‌های مختلف انسانی و جانوری را به‌صورت تجمعی ارائه می‌دهد،
- ۴) برآوردی از اثرات محیط‌زیستی بلندمدت و براساس چرخه‌های مختلف کره زمین دارد،
- ۵) مستقل از زمان و مکان خاص بوده و وابسته به عملکرد، بهره‌برداری و فناوری‌های است.

از این روش اخیراً در سامانه‌های نمک‌زدایی برای مقایسه چرخ عمر تاسیسات مرتبط با منبع انرژی (خورشیدی و فسیلی) انواع سامانه‌های نمک‌زدایی (غشایی و حرارتی) با در نظر گرفتن اثرات استفاده از مواد شیمیایی در بهره‌برداری از این سامانه‌ها استفاده شده است. بر این اساس نتیجه شد که استفاده از انرژی خورشیدی برای فرآیند MED می‌تواند مصرف سوخت فسیلی و انتشار گاز گلخانه‌ای را تا ۷۰٪ برای یک مترمکعب آب نمک‌زدایی شده کاهش دهد، اما برعکس موجب افزایش حدوداً ۵۰-۶۰ درصدی ردپای آب مصرفی می‌شود (Alhaj et al., 2022). در کویت، دو فرآیند RO و MED با استفاده از روش ReCiPe مقایسه شد. نتایج نشان داد به‌طور کلی و در شرایط متعارف MED در

۲-۱- آلاینده‌های نمک‌زدایی

در این پژوهش، به منظور ارزیابی اثرات محیط‌زیستی اجرا و بهره‌برداری از سامانه‌های نمک‌زدایی، اطلاعات دو دهه اخیر مربوط به آنالیز شورابه‌ها و پساب سامانه‌های در حال بهره‌برداری (از نوع سامانه‌های غشایی RO و حرارتی MED) برای تامین آب شرب مناطق جنوبی کشور (سه سامانه در استان‌های هرمزگان و بوشهر) از وزارت نیرو گردآوری شده و به‌همراه اطلاعات سامانه‌های با فناوری مشابه در برخی کشورهای حاشیه خلیج فارس و دریای مدیترانه (۶ سامانه در امارات، ۱۰ سامانه در عمان

و ۳ سامانه در فلسطین اشغالی) ارزیابی شد (Frank et al., 2019; Kress et al., 2020; Mannan et al., 2019). متوسط این نتایج و خطای استاندارد آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. این جدول طیفی از انواع آلاینده‌های موجود در شورابه سامانه‌های نمک‌زدایی را نمایش می‌دهد که به‌جز فلوئوراید، کروم، سرب و بر در محدوده استانداردهای محیط‌زیستی آب‌های ایران هستند. در جدول ۱، در نظر گرفتن یک بازه برای محدوده مجاز تخلیه هر آلاینده به آب به دلیل وجود مقادیر مجاز متفاوت از این آلاینده‌ها ناشی از محیط پذیرنده (برای مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و غیره) و اکوسیستم‌های آن‌ها (ماهیان گرم‌آبی و سردآبی) مطابق استاندارد کشور است (DOE, 2016).

جدول ۱- متوسط آلاینده‌های موجود در شورابه سامانه‌های نمک‌زدایی واقع در جنوب کشور (گردآوری توسط محقق)

پارامتر	واحد	متوسط	خطای استاندارد	حدود مجاز (DOE, 2016)
کلسیم	mg/L	۱۷۵۰	۷۸±	-
منیزیم	mg/L	۳۳۰۰	۲۱۴±	-
پتاسیم	mg/L	۴۹۰	۸۸±	-
سیلیس	mg/L	۲۷	۱۳±	-
pH	-	۷	۰±/۳	۶-۹
کلراید	mg/L	۲۶۵۳۰	۵۱۶۹±	-
سولفات	mg/L	۴۶۰۰	۴۲۳±	-
نیترات	mg/L	۱۶	۶±	۳۰-۵۰
نیتريت	mg/L	۰/۰۰۴	۰±/۰۰۰۹	۰/۰-۰/۰۰۳
فلوئوراید	mg/L	۲/۱	۰±/۸	۱-۱/۵
COD	mg/L	۱	۰±/۲۳	۵-۱۰
EC	mS/cm	۹۱/۵	۶±/۷	-
TDS	mg/L	۴۸۰۰۰	۵۹۲۹±	-
آهن	mg/L	۰/۴۸	۰±/۰۴	۲-۵
منگنز	mg/L	۰/۰۶	۰±/۰۰۴	۰/۲-۱
کروم (سه ظرفیتی)	mg/L	۰/۲۵	۰±/۰۱۵	۰/۱-۰/۰۵
مس	mg/L	۰/۰۲۴	۰±/۰۰۳	۰/۲-۰/۰۵
روی	mg/L	۰/۰۵۴	۰±/۰۰۵	۰/۵-۲
نیکل	mg/L	۰/۲۱	۰±/۰۲۷	۰/۲
سرب	mg/L	۰/۳۳	۰±/۰۱۳	۰/۰۵
کادمیوم	mg/L	۰/۰۴	۰±/۰۰۶	۰/۰۱-۰/۰۰۵
بر	mg/L	۵/۲	۱±/۱۲	۱-۳

معادل و برای سامانه‌های درون‌سرزمین با تغذیه از آب‌های لب‌شور معادل ۶ کیلوگرم کربن معادل است (جمشیدی و قانثیان، ۱۳۹۸؛ Soliman et al., 2021). از طرفی، ارتقای فناوری و توسعه سامانه‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، مانند انرژی‌های خورشیدی و بادی، می‌تواند ردپای کربن یک مترمکعب آب

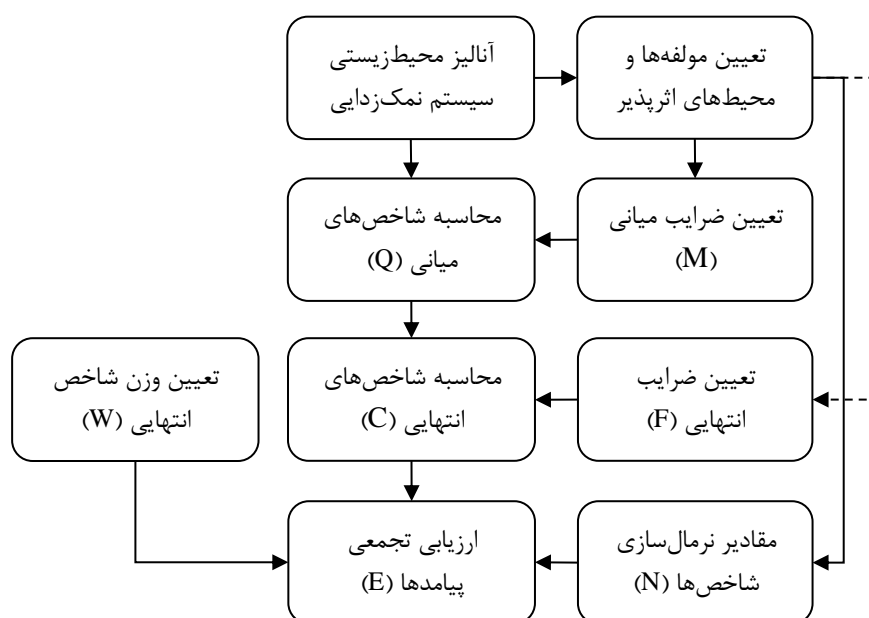
هم‌چنین نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد به‌طور متوسط، در چرخه فعالیت سامانه‌های نمک‌زدایی موجود در ایران با فناوری‌های غشایی (RO) و حرارتی (MED)، متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای برای نمک‌زدایی یک مترمکعب آب در سامانه‌های مستقر در ساحل دریا در حدود ۸ کیلوگرم کربن

یافته است. ابتدا با استفاده از ضرایب تبدیلی میانی (midpoints)، مقادیر غلظت‌های شورابه سامانه‌های نمک‌زدایی در کشور (داده موجود) به همراه سایر آلاینده‌های مرتبط به شاخص‌های معادل هر مولفه تبدیل شده و سپس در مرحله دوم، مولفه‌های مرتبط با پژوهش با ضرایب تبدیلی نهایی (endpoints) به شاخص‌های انتهایی تبدیل می‌شوند. شاخص‌های انتهایی در دو دسته شاخص‌های بهداشتی (محیط انسانی) و شاخص‌های اکوسیستمی (محیط غیرانسانی) تقسیم می‌شوند. در مرحله سوم و پس از نرمال‌سازی مقادیر محاسبه شده شاخص‌های انتهایی، مولفه‌های بی‌بعد متناسب با وزن آن‌ها با یکدیگر جمع شده و مقدار تجمعی اثرات محیط‌زیستی در بلندمدت و در مقیاس جهانی برآورد می‌شود. توالی این اقدامات در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمک‌زدایی شده در کشور را به یک‌سوم کاهش دهد، اما بهره‌گیری از سامانه‌های تخلیه پساب صفر مایع (ZLD) در کنار سامانه‌های متعارف می‌تواند مصرف انرژی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای این سامانه‌ها را بیش از دو برابر افزایش دهد (جمشیدی و قانینان، ۱۳۹۸؛ Soliman et al., 2021). این موارد به همراه اطلاعات کیفی شورابه‌ها در روش‌شناسی پیشنهادی و برای ارزیابی تجمعی اثرات محیط‌زیستی استفاده شده است.

۲-۲- روش‌شناسی

روش پیشنهادی براساس شاخص‌ها و مولفه‌های کدگذاری شده بین‌المللی در ReCiPe که در سومین مرحله چرخه حیات، یعنی ارزیابی اثرات چرخه حیات (LCIA)، کاربرد دارد، توسعه



شکل ۱- مراحل روش‌شناسی پیشنهادی این پژوهش

بر سلامت انسان، تأثیرات مصرف آب و تغییر آب و هوا بر اکوسیستم‌های آب شیرین و تأثیرات مصرف آب و تشکیل ازن تروپوسفری را نیز بر اکوسیستم‌های خشکی مازاد بر دیگر روش‌ها لحاظ می‌کند (European Commission, 2010). برای انجام محاسبات مطابق روش فوق، لازم است رابطه (۱) مورد استفاده قرارگیرد.

$$Q_j = (P \times M)_j \quad (1)$$

در مرحله نخست، مولفه‌ها و پارامترهای محیط‌زیستی سامانه مورد مطالعه، که در این پژوهش سامانه‌های نمک‌زدایی است،

۲-۳- محاسبات براساس ReCiPe

این پژوهش مبتنی بر روش ReCiPe است که در ادامه توسعه روش‌های LCIA در اروپا توسط مجموعه‌ای از همکاری‌ها در سال ۲۰۰۸ ارائه شد. در این روش، داده‌های نرمال شده در سطح اروپا و جهانی در سال ۲۰۰۰ برای ۱۶ شاخص میانی و ۳ شاخص انتهایی در دسترس هستند (Huijbregts et al., 2016). در به‌روزرسانی ReCiPe ضریب‌های تبدیل متعددی در نظر گرفته شده است که به‌جای مقیاس اروپایی، مقیاس جهانی را بازنمایی می‌کند، در حالی که امکان استفاده از این ضرایب را در مقیاس قاره‌ای و کشوری حفظ می‌کند. ویژگی دیگر این روش آن است که چند پیامد محیط‌زیستی را بسط داده و اثر مصرف آب

شناسایی می‌شود (P). این پارامترها می‌تواند شامل انواع مولفه‌های کیفی پساب و شورابه خروجی از سامانه‌های نمک‌زدایی شامل انیون‌ها و کاتیون‌ها، فلزات سنگین و غیره، آلاینده‌های هوا خروجی از دودکش‌های فعالیت مورد نظر، میزان انتشار رد پای کربن یا رد پای آب هر فعالیت در واحد مترمکعب آب نمک‌زدایی شده، میزان مصرف منابع طبیعی و دیگر مولفه‌های موثر باشد. با دراختیار داشتن مشخصات آلاینده‌های محیط‌زیستی هر فعالیت، و ضرب آن‌ها در ضرایب تبدیلی به شاخص‌های میانی (M) می‌توان اثر هر آلاینده را در دوره چرخه حیات محصول یا فعالیت برآورد نمود. لازم به توضیح است ضرایب تبدیلی M بعضاً وابسته به محیط تخلیه آلودگی (آب، خاک، هوا) و اکوسیستم متأثر از آن است. هم‌چنین این ضرایب براساس یک واحد آلاینده مشخص معادل‌سازی می‌شود. برای مثال در روش ارزیابی اثرات به روش ReCiPe، متان ۲۵ برابر دی‌اکسیدکربن در تغییر آب و هوا نقش

ایفا می‌کند و در نتیجه ضریب تبدیل متان به دی‌اکسیدکربن معادل برابر ۲۵ خواهد بود (Huijbregts et al., 2016). جدول ۲ ضرایب تبدیلی M را برای فلزات سنگین موجود در پساب و شورابه به تفکیک محل تخلیه و اکوسیستم تأثیرپذیر و براساس پارامتر معادل دی‌کلروبنزن^۱ (1,4-DCB) نشان می‌دهد. به عبارتی براساس این جدول، اثر بهداشتی تخلیه یک واحد جرمی کروم سه ظرفیتی به خاک، معادل اثر بهداشتی حاصل از تخلیه ۰/۰۴۱۶ واحد جرمی دی‌کلروبنزن (1,4-DCB) به هوا است. یا در نمونه‌های دیگر، اثر محیط‌زیستی تخلیه یک واحد جرمی نیکل به منابع آب شیرین درون‌سرزمین (مانند رودخانه، دریاچه، آب زیرزمینی) بر اکوسیستم دریایی در چرخه حیات محصول، معادل اثر محیط‌زیستی تخلیه ۵۷/۱ واحد دی‌کلروبنزن (1,4-DCB) به آب دریا است.

جدول ۲- ضرایب تبدیلی فلزات به واحد معادل دی‌کلروبنزن در محیط‌ها و اکوسیستم‌های مختلف (Huijbregts et al., 2016)

واحد معادل	ضرایب (M)						اکوسیستم تأثیرپذیر	محل تخلیه شورابه
	کادمیوم	مس	سرب	روی	نیکل	کروم		
1,4-DCB eq. emitted to urban air	1.05E+03	5.31E-01	1.02E+02	2.05E+02	2.37E+00	4.16E-02	انسان	خاک
1,4-DCB eq. emitted to industrial soil	7.04E-17	2.54E-16	2.03E-19	2.15E-16	1.35E-16	3.94E-17	خشکی	
1,4-DCB eq. emitted to freshwater	2.04E+00	6.17E+00	7.38E-03	5.14E+00	3.17E+00	8.53E-01	آبی	
1,4-DCB eq. emitted to seawater	1.36E+00	4.19E+00	3.90E-03	4.29E+00	2.29E+00	5.43E-01	دریایی	
1,4-DCB eq. emitted to urban air	1.27E+03	2.86E+00	3.82E+02	8.24E+03	4.40E+00	8.73E-03	انسان	آب شیرین
1,4-DCB eq. emitted to industrial soil	8.73E-16	1.01E-14	2.59E-17	1.29E-14	2.91E-15	1.54E-16	خشکی	
1,4-DCB eq. emitted to freshwater	1.68E+01	1.62E+02	6.06E-01	2.11E+02	4.60E+01	2.30E+00	آبی	
1,4-DCB eq. emitted to seawater	1.96E+01	1.93E+02	5.93E-01	2.99E+02	5.71E+01	2.47E+00	دریایی	
1,4-DCB eq. emitted to urban air	3.90E+02	7.17E-01	1.73E+02	3.38E+02	6.73E-01	3.04E-03	انسان	دریا
1,4-DCB eq. emitted to industrial soil	1.63E-15	1.47E-14	8.29E-17	2.32E-15	2.77E-15	3.55E-16	خشکی	
1,4-DCB eq. emitted to freshwater	4.32E-21	4.32E-20	2.29E-23	7.47E-20	1.71E-20	1.07E-21	آبی	
1,4-DCB eq. emitted to seawater	1.96E+02	1.57E+03	9.53E+00	3.42E+02	3.21E+02	3.00E+01	دریایی	

باید به این نکته توجه داشت که در روش پیشنهادی، اثر تخلیه یک واحد آلاینده الزاماً در همان محیط پذیرنده مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. با توجه به مفاهیم چرخه‌های مواد، انرژی، غذایی و جانوری در کره زمین، در دوره چرخه حیات یک فعالیت یا تولید محصول، ممکن است انتشار یک آلاینده به محیط دریایی بر محیط جانوری خشکی نیز موثر باشد و برعکس. بنابراین یک

مزیت این روش جامع‌نگری اثرات محیط‌زیستی، فارغ از محدودیت‌های جغرافیایی و کمبود اطلاعات دینامیکی اکوسیستم‌ها است (Jamshidi and Naderi, 2023). اما از طرفی، این روش هنوز در دست توسعه است و برخی مولفه‌ها و ضرایب تبدیلی همچنان امکان توسعه و افزایش دقت محاسبات دارند. به‌عنوان مثال در جدول ۳، اثر محیط‌زیستی معادل تغذیه‌گرایی

در آب‌های ساحلی و دریا ترکیبات نیتروژنی است (Huijbregts et al., 2016). از طرفی این ضرایب به صورت متوسط دیده شده و هنوز برای آب‌های کم‌عمق یا عمیق، با پوشش گیاهی و شرایط تروفی مختلف ضرایب تبدیلی جداگانه‌ای ندارد.

براساس پارامترهای مواد مغذی نشان داده شده است. تخلیه آلاینده به محیط‌های خاک، آب شیرین و دریا می‌تواند منجر به اثرات محیط‌زیستی به شکل تغذیه‌گرایی در اکوسیستم‌های آبی و دریایی شود. اما این روش فرض می‌کند عامل معادل تغذیه‌گرایی در آب‌های درون‌سرزمین فسفر و عامل تغذیه‌گرایی

جدول ۳- ضرایب تبدیلی آلاینده‌های عامل تغذیه‌گرایی در محیط‌ها و اکوسیستم‌های مختلف (Huijbregts et al., 2016)

واحد معادل	ضرایب (M)				اکوسیستم تاثیرپذیر	محل تخلیه شورابه
	فسفات	فسفر	نیتريت	نیترات		
kg P-eq. to freshwater/kg	0.033	0.1	-	-	آبی	خاک
kg N-eq to marine water/kg	-	-	0.04	0.03	دریایی	
kg P-eq. to freshwater/kg	0.33	1	-	-	آبی	آب شیرین
kg N-eq to marine water/kg	-	-	0.09	0.07	دریایی	
kg P-eq. to freshwater/kg	0	0	-	-	آبی	دریا
kg N-eq to marine water/kg	-	-	0.3	0.23	دریایی	

تاثیرپذیر نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ضرایب تبدیلی هرکدام از پارامترهای معادل محاسبه شده توسط شاخص‌های میانی را به دو پارامتر خسارت بهداشتی (برحسب DALY) و خسارت زیست‌بوم (برحسب Species) تبدیل می‌کنند.

در این روش برای سلامت و بهداشت انسان از واحد DALY استفاده شده است که سال‌هایی از عمر انسان را نشان می‌دهد که به خاطر مرگ ناشی از آلاینده‌ها از دست رفته‌اند یا شخص به دلیل بیماری معلول یا ناتوان شده و سلامتی خود را از دست داده است (Alinejad and Ghannadi, 2017). از طرفی واحد سنجش خسارت اکوسیستم، کل گونه‌های از بین‌رفته در طی زمان است (Huijbregts et al., 2016). به‌عنوان مثال، انتشار ۱ واحد جرمی کربن معادل (CO₂ eq) حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای در پدیده گرمایش جهانی، می‌تواند معادل ۹/۲۸×۱۰^{-۷} سال عمر کاسته شده از زندگی انسان‌ها یا عمر زندگی با ناخوشی و بیماری انسان‌ها باشد. هم‌چنین این مقدار می‌تواند معادل ۲/۸×۱۰^{-۹} گونه آسیب دیده در محیط خشکی در طی یک سال و ۷/۶۵×۱۰^{-۱۴} گونه آسیب‌دیده در محیط آبی درون سرزمین در طی یک سال باشد. بنابراین انتشار انواع آلاینده‌ها (مانند CFC، نیترات، گاز گلخانه‌ای و غیره) در محیط‌های مختلف این امکان را خواهد داشت تا به صورت واحدهای معادل خسارت بهداشتی و زیست‌بوم تجمیع شود. در این حالت، تمامی شاخص‌ها (C) که از نوع خسارت بهداشتی هستند با یکدیگر و آن‌هایی که از نوع خسارت زیست‌بوم هستند با یکدیگر جمع‌پذیر هستند.

پس از محاسبه شاخص Q (شاخص میانی)، ضروری است مولفه‌های محاسبه شده با یکدیگر جمع شوند. به عبارتی یک چالش اساسی در روش‌های متعارف ارزیابی اثرات محیط‌زیستی، تجمع مولفه‌ها با واحدها و مقادیر مختلف در قالب یک شاخص واحد است. در رویکردهای متعارف، معمولاً با استفاده از نظر خبرگان و امتیازدهی (بین ۱ تا ۵) اثرات محیط‌زیستی در قالب ماتریس‌ها برآورد و بی‌بعد می‌شود. اما روش پیشنهادی به‌گونه‌ای عمل می‌کند که نظر خبرگان در آن به حداقل ممکن برسد و یکپارچه‌سازی شاخص‌ها را با تبدیل شاخص‌های میانی به شاخص‌های انتهایی مطابق رابطه (۲) انجام می‌دهد.

$$C_j = (Q \times F)_j \quad (2)$$

که F : همان ضرایب تبدیلی شاخص‌های میانی محاسبه شده (Q) به شاخص‌های انتهایی (C) است. در روش مبتنی بر LCIA، به‌طور کلی شاخص‌های (۱) سلامت و بهداشت انسانی و (۲) سلامت و حفظ اکوسیستم جانوری - گیاهی به‌عنوان دو شاخص کلیدی و انتهایی محسوب می‌شوند. به عبارتی تمامی شاخص‌های میانی محاسبه شده براساس مولفه‌های معادل (مانند دی‌کلروبنزن، نیتروژن یا فسفر) لازم است براساس مولفه‌های اثرپذیر و ضرایب تبدیلی آن‌ها به دو دسته خسارت بهداشتی و خسارت زیست‌بوم تبدیل شوند.

جدول ۴ مجموعه‌ای از مولفه‌های اثرپذیر را در مدل ReCiPe نمایش داده و ضرایب تبدیلی هرکدام را به تفکیک محیط

جدول ۴- ضرایب تبدیلی شاخص‌های میانی به خسارات بهداشتی و زیست‌بوم در مولفه‌های اثرپذیر

شاخص نرمال (N)	مرتبط با این پژوهش	واحد معادل	شاخص تبدیل (F)	مولفه‌ها	محیط تاثیرپذیر
7.42E-03	✓	DALY/kg CO ₂ eq.	9.28E-07	گرمایش جهانی	انسان (بهداشت)
3.19E-05	-	DALY/kg CFC11 eq.	5.31E-04	کاهش لایه ازن	
4.08E-06	-	DALY/kBq Co-60 emitted to air eq.	8.50E-09	تشعشع یونیزه	
1.61E-02	-	DALY/kg PM2.5 eq.	6.29E-04	ذرات معلق هوا	
1.80E-05	-	DALY/kg NO _x eq.	9.10E-07	تشکیل ازن فتوشیمیایی	
3.42E-05	-	DALY/kg 1,4-DCB emitted to urban air eq.	3.32E-06	سمیت (سرطان‌زا)	
2.08E-04	✓	DALY/kg 1,4-DCB emitted to urban air eq.	2.28E-07	سمیت (غیرسرطان‌زا)	
1.96E-04	✓	DALY /m ³ consumed	2.22E-06	مصرف آب	
2.24E-05	✓	Species.year/kg CO ₂ eq.	2.80E-09	گرمایش جهانی	اکوسیستم خشکی
2.24E-06	-	Species.year/kg NO _x eq.	1.29E-07	تشکیل ازن فتوشیمیایی	
8.42E-06	-	Species.year/kg SO ₂ eq.	2.12E-07	اسیدی شدن	
8.19E-04	✓	Species.year/kg 1,4-DBC emitted to industrial soil eq.	1.14E-11	سمیت اکوسیستم	
3.48E-06	-	species.year/m ³ consumed	1.35E-08	مصرف آب	
6.23E-04	-	Species/(m ² ·annual crop eq)	8.88E-09	تغییر کاربری اراضی	
6.11E-10	✓	Species.year/kg CO ₂ eq.	7.65E-14	گرمایش جهانی	اکوسیستم آبی (درون‌سرزمین)
4.90E-07	-	Species.year/kg P to freshwater eq.	6.71E-07	تغذیه‌گرایی	
1.75E-08	✓	species·year/kg 1,4-DBC emitted to freshwater eq.	6.95E-10	سمیت اکوسیستم	
6.16E-10	-	species.year/m ³ consumed	6.04E-13	مصرف آب	
4.56E-09	✓	species·year/kg 1,4-DBC emitted to sea water eq.	1.05E-10	سمیت اکوسیستم	اکوسیستم دریایی
6.12E-09	✓	Species.year/kg N to marine water eq.	1.70E-09	تغذیه‌گرایی	

مطابق رابطه (۳) محاسبه نمود.

$$E = \sum [w_i \times (\frac{C_j}{N_j})_i] \quad (3)$$

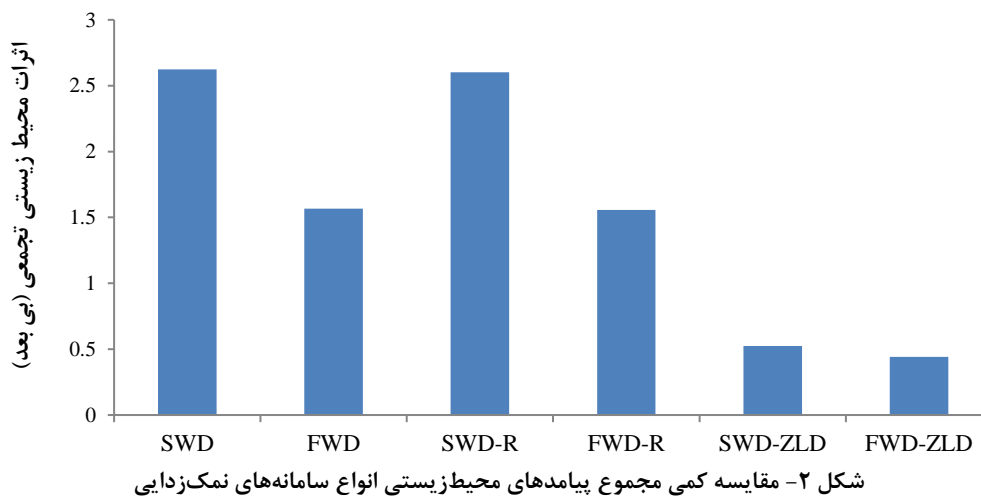
که W : برابر وزن هر کدام از شاخص‌های انتهایی خسارت بهداشتی و خسارت زیست‌بوم است. این وزن می‌تواند براساس روش‌های مختلف ریاضی، مانند روش آنتروپی یا فازی، نظر خبرگان و غیره محاسبه شود. در این پژوهش و بر اساس شاخص عملکرد محیط‌زیستی (EPI) ۱۰ مشابه مطالعات اخیر در استفاده از روش ReCiPe (Jamshidi and Naderi, 2023)، وزن شاخص بهداشتی ۰/۴ و مولفه‌های اکوسیستمی ۰/۶ در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

نتایج ارزیابی اثرات محیط‌زیستی به صورت کمی و براساس جمیع مولفه‌های اثرپذیر از فعالیت‌های نمک‌زدایی در محیط‌های مختلف

همان‌طور که در شکل ۱ و روش‌شناسی تاکید شد، یکی از گام‌های نخست ارزیابی اثرات محیط‌زیستی تجمعی با روش پیشنهادی، تعیین مولفه‌های تاثیرپذیر هر فعالیت است. هر محصول یا فعالیت، مانند نمک‌زدایی، الزاماً با تمامی مولفه‌ها درگیر نمی‌شود. به‌عنوان مثال، نمک‌زدایی بر تشکیل ازن فتوشیمیایی یا کاهش لایه ازن نمی‌تواند اثرگذار باشد. بنابراین همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، مولفه‌های مرتبط با این پژوهش براساس نتایج و آنالیزهای محیط‌زیستی موجود مشخص شده و سایر مولفه‌ها از محدوده محاسبات خارج می‌شود. در مرحله آخر و براساس روش‌شناسی ReCiPe پیشنهاد می‌شود شاخص‌های انتهایی محاسبه شده براساس خسارت بهداشتی و زیست‌بوم (C)، ابتدا براساس ضرایب موجود نرمال شوند. این ضرایب، باعث می‌شود خسارات محاسبه شده تماماً بدون بعد و در واحد هر نفر در سال باشد. در این شرایط، با یک میان‌گیری وزنی می‌توان اثر محیط‌زیستی تجمعی نهایی (E) را

۱/۵۶ کاهش می‌یابد که با توصیه‌های متعارف پژوهش‌ها مبنی بر اثر قابل‌ملاحظه انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش پیامدهای محیط‌زیستی نمک‌زدایی منافات دارد (Elsaid et al., 2020). اما برعکس، استفاده از سامانه‌های تخلیه پساب صفر مایع (ZLD) می‌تواند اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر پیامدهای محیط‌زیستی سامانه‌های نمک‌زدایی، به‌ویژه نمک‌زدایی از آب شور دریا داشته باشد. به‌عنوان نمونه، استفاده از سامانه‌های ZLD برای سامانه‌های نمک‌زدایی درون‌سرزمین (FWD-ZLD) موجب بهبود ۷۲٪ پیامدهای محیط‌زیستی آن‌ها می‌شود و رقم اثرات محیط‌زیستی تجمعی به ۴۴٪ کاهش می‌یابد. اما این میزان کاهش پیامدها برای سامانه‌های نمک‌زدایی ساحلی (SWD-ZLD) تا ۸۰٪ قابل افزایش است و موجب کاهش رقم اثرات محیط‌زیستی تجمعی به ۵۲٪ می‌شود. در این شرایط، با این فرض که حد اثرات کمتر از ۱ مطلوب باشد، آن‌گاه کاربری سامانه‌های ZLD برای کنترل شورابه‌های سمی و مخرب نمک‌زدایی در مقایسه با توسعه سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر از نظر اثرات بلندمدت محیط‌زیستی در محیط‌های مختلف پیشنهاد می‌شود.



استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، روش‌های بازیافت مواد از شورابه، کاهش مصرف انرژی سامانه‌های نمک‌زدایی، کاهش شورابه تولیدی، اصلاح برداشت و تخلیه آب و پساب و غیره باشد (Ihsanullah et al., 2021). در این جا با توجه به ارقام و آنالیزهای موجود و در قالب روش پیشنهادی، اثرات تجمعی سامانه‌های نمک‌زدایی در کشور همراه با ZLD و انرژی‌های تجدیدپذیر مورد مقایسه قرار گرفت. این بدان معنا نیست که کاهش اثرات نامطلوب محیط‌زیستی سامانه‌های نمک‌زدایی با انرژی تجدیدپذیر سبز نیست، بلکه ارقام حاکی از اثرپذیری کمتر این مولفه در مقایسه با گزینه کنترل و کاهش پساب است.

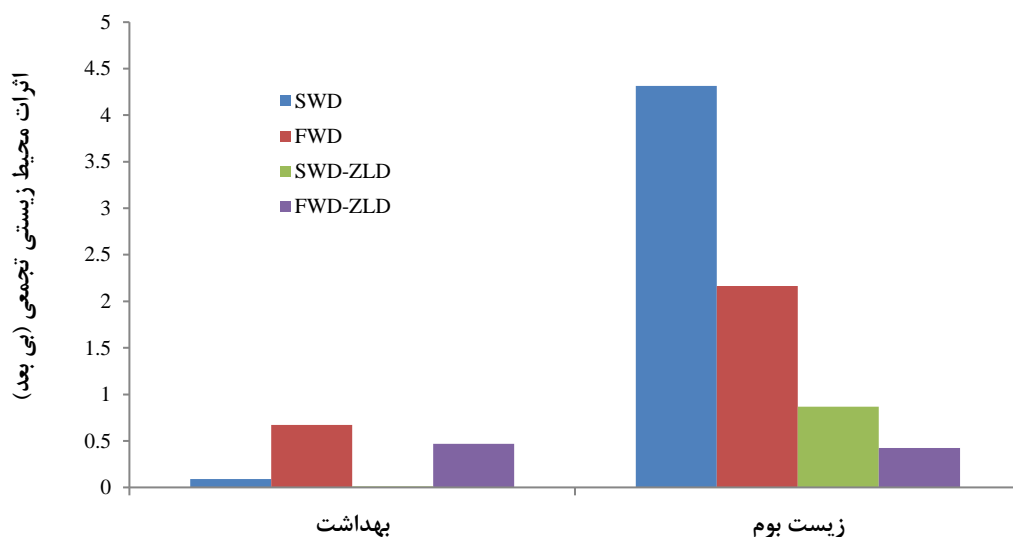
انسانی، خشکی، آبی و دریایی مطابق شکل ۲ نشان می‌دهد نمک‌زدایی یک مترمکعب آب به‌صورت متمرکز در نواحی ساحلی (SWD) می‌تواند پیامدی معادل ۲/۶۲ واحد داشته باشد، در حالی که پیامدهای محیط‌زیستی یک مترمکعب آب نمک‌زدایی شده درون سرزمین با آب‌های لب‌شور (FWD) معادل ۱/۵۷ واحد است که تقریباً ۴۰٪ کمتر است. به‌طور کلی هرچقدر این شاخص تجمعی حساب شده از صفر به سمت ارقام مثبت افزایش یابد، نشان از افزایش اثرات نامطلوب محیط‌زیستی است و مادامی که این رقم از عدد واحد ۱ بالاتر باشد، نشان از اثرات نامطلوب محیط‌زیستی قابل‌ملاحظه است.

هم‌چنین براساس نتایج مقایسه‌ای می‌توان مشاهده کرد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار سامانه‌های نمک‌زدایی، به‌دلیل اثرگذاری محدود بر کاهش ردپای کربن و مولفه گرمایش جهانی در جدول ۴، کمتر از ۱٪ در کاهش مجموع پیامدهای محیط‌زیستی موثر هستند، به‌طوری‌که مجموع اثرات محیط‌زیستی سامانه‌های نمک‌زدایی آب دریا با انرژی تجدیدپذیر (SWD-R) به ۲/۶ و مجموع اثرات محیط‌زیستی سامانه‌های نمک‌زدایی آب درون‌سرزمین با انرژی تجدیدپذیر (FWD-R) به

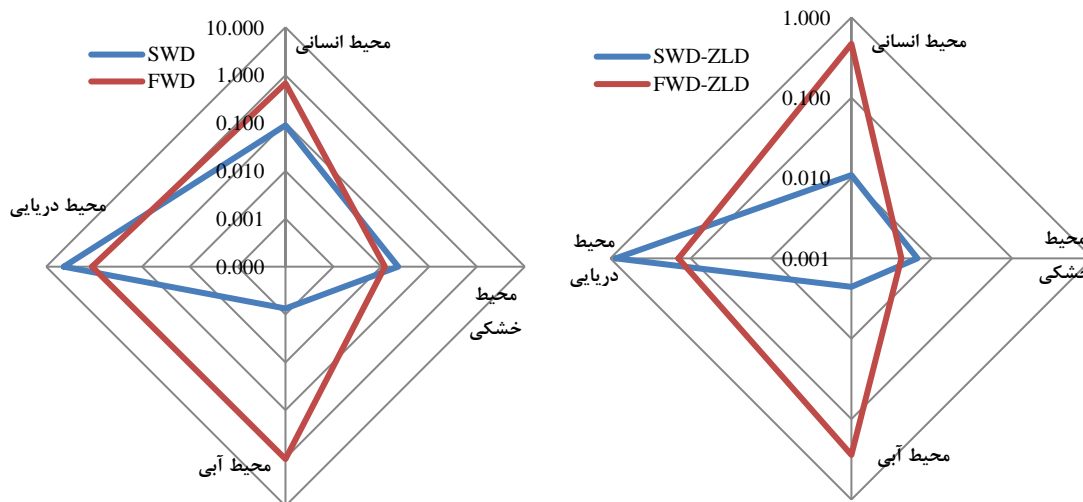
بررسی‌های جزئی‌تر نشان می‌دهد که پیامد محیط‌زیستی غالب اجرا و بهره‌برداری از سامانه‌های نمک‌زدایی در محیط‌ها و اکوسیستم‌های غیرانسانی بروز پیدا می‌کند و سامانه‌های ZLD و MLD اثر قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش این بخش از پیامدهای محیط‌زیستی دارند. در روش پیشنهادی، از آن جایی که انتشار یک واحد آلودگی سمی، مانند فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی، می‌تواند در بلندمدت و چرخه حیات محصول بر تمامی جانداران در بخش خشکی، آبی و دریایی اثرگذار باشد، اثر آن در تمامی محیط‌ها با یکدیگر جمع می‌شود. به‌علاوه باید توجه داشت روش‌های نمک‌زدایی سبز بسیار متعدد است که می‌تواند شامل

(MSF)^{۱۳} و هیبریدی (MSF و غشایی) و در قالب ارزیابی چرخه حیات نشان داده شد که مولفه‌های تغییرات اقلیمی، تغذیه‌گرایی دریا، و سمیت برای انسان‌ها، شاخص‌های تاثیرگذار محیط‌زیستی سامانه‌های نمک‌زدایی هستند. اما برخلاف پژوهش حاضر، اثر سمیت اکولوژیکی دیده نشده است. لذا به دلیل عدم لحاظ آلودگی سمی شورابه‌ها، اثر غالب محیط‌زیستی بیشتر مبتنی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. با این وجود، استفاده از سامانه‌های هیبریدی و نانوفناوری توانسته است اثرات شاخص‌های میانی را در حدود ۸۰٪ کاهش دهد. هم‌چنین با ارزیابی اثرات محیط‌زیستی فناوری‌های جدید هم‌چون اسمز مستقیم (FO)^{۱۴} و الکترودیالیز (ED/EDR) مشخص شده این روش‌ها به‌ویژه برای پیش‌تصفیه، می‌توانند پیامدهای محیط‌زیستی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهند (Elsaid et al., 2020).

همان‌گونه که در شکل‌های ۴ نشان داده شده است، نمک‌زدایی غیرمتمرکز درون‌سرزمین (FWD)^{۱۱} در محیط آبی و نمک‌زدایی متمرکز ساحلی (SWD)^{۱۲} در محیط‌های انسانی و دریایی پیامدهای نامطلوب بیشتری می‌گذراند. هم‌چنین استفاده از سامانه‌های ZLD می‌تواند در محیط‌های خشکی، دریایی و آبی پیامدهای نمک‌زدایی را به‌میزان قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد، اما بر محیط انسانی تقریباً بدون اثر است. این ویژگی به‌طور مشابه توسط مطالعات اخیر در ارزیابی اثرات فناوری‌های نوین نیز مشاهده شده و پیشنهاد شده است به‌طوری‌که استفاده از انواع روش‌های تبخیری، کریستالیزه‌کردن، جامدسازی نمکی و غیره برای کاهش شورابه و جلوگیری از ورود آن‌ها به محیط تاکید شده است (Ihsanullah et al., 2021). در مطالعات (Bordbar et al., 2022) در حاشیه جنوبی خلیج فارس برای فناوری‌های حرارتی



شکل ۳- مقایسه اثرات محیط‌زیستی انواع سامانه‌های نمک‌زدایی بر محیط‌های تاثیرپذیر



شکل ۴- مقایسه محیط‌های تاثیرپذیر در انواع سامانه‌های نمک‌زدایی در مقیاس لگاریتمی (راست: بدون ZLD، چپ: با ZLD)

اصلاحی و فنی خدمات و محصولات فراهم نموده و شرایط را برای توسعه رویکردهای متعارف ارزیابی اثرات محیط‌زیستی مهیا نموده است.

این پژوهش نشان داد از نظر چرخه حیات سامانه‌های نمک‌زدایی، SWD در مقایسه با FWD الزاماً اثرات محیط‌زیستی کمتری ندارد و برخلاف آنچه ممکن است تصور شود، و احتمالاً به دلیل ارتباط گسترده دریا با اکوسیستم‌های مختلف، به‌ویژه از نظر سمیت، ممکن است پیامدهای نامطلوب بیشتری نیز داشته باشد. لذا نه تنها پایش شورابه و پساب سامانه‌های نمک‌زدایی از نظر فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی اهمیت دارد، بلکه استفاده از سامانه‌های مناسب کنترل‌کننده آن‌ها مانند سامانه‌های پیشرفته ZLD یا بهره‌برداری مناسب از سامانه‌های نمک‌زدایی برای کاهش انواع مواد شیمیایی می‌تواند بر کاهش اثرات محیط‌زیستی تا حد مطلوب (کمتر از ۰/۵) نیز موثر باشد. بنابراین این پژوهش به‌طور ضمنی اشاره دارد که ارزیابی اثرات سامانه‌های نمک‌زدایی صرفاً براساس غلظت جامدات محلول یا EC شورابه توصیه نمی‌شود و روش‌شناسی نشان می‌دهد مولفه‌های دیگر نظیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و سمیت بهداشتی و اکوسیستمی، اهمیت به‌سزایی دارند.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Life Cycle Impact Assessment
- 2- Zero Liquid Discharge
- 3- Reverse Osmosis
- 4- Multiple Effect Distillation
- 5- Environmental Impact Assessment
- 6- Cumulative Impact Assessment
- 7- Life Cycle Assessment
- 8- Dichlorobenzene
- 9- Disability-Adjusted Life Year
- 10- Environmental Performance Indicator
- 11- Seawater Desalination
- 12- Freshwater Desalination
- 13- Multi-Stage Flash Distillation
- 14- Forward Osmosis

۶- مراجع

جمشیدی، ش.، و قانعیان، م.، (۱۳۹۸)، "محاسبه ردپای کربن آب نمک‌زدایی شده در ایران"، هشتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب، مشهد، ایران.

Aleisa, E.E., Al-Mutairi, A.M., and Hamoda, M.F., (2022). "Reconciling water circularity through reverse osmosis for wastewater treatment for a hyper-arid climate: A life cycle assessment", *Sustainable Water*

علی‌رغم توانمندی‌های روش پیشنهادی، هم‌چنان این روش امکان بسط و توسعه را دارد. به‌طور مثال، آلودگی‌های صوتی فعالیت‌های نمک‌زدایی در محاسبات ارزیابی اثرات محیط‌زیستی وارد نمی‌شود. روش‌های برداشت آب یا تخلیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی در دریا می‌تواند اثرات محیط‌زیستی را تغییر دهد که نیازمند بررسی کمی و شناسایی میزان اثرگذاری به‌صورت پایلوت قبل از محاسبات در قالب چرخه حیات است (Moossa et al., 2022). هم‌چنین اثرات اجتماعی (Syazira Nazaran et al., 2021) و آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌طور مجزا امکان افزوده شدن به این ساختار و چهارچوب را دارا است (Ihsanullah et al., 2021). کاربرد سامانه‌های نمک‌زدایی برای صنایع مختلف از جمله فولاد یا پتروشیمی می‌تواند در مجموع اثرات محیط‌زیستی متفاوتی داشته باشد (Baustert et al., 2022). فناوری‌های نوظهور می‌توانند اثرات محیط‌زیستی متنوعی داشته باشند که باید در قالب چرخه عمر فناوری‌ها و تجهیزات بررسی شوند (Khosravi et al., 2022). تجهیزات اسقاطی سامانه‌های نمک‌زدایی و سایر خدمات و فناوری‌ها لازم است به‌جز شکل دورریز منابع طبیعی، به‌صورت آلاینده‌های محیطی نیز در آنالیز LCIA دیده شوند (Elsaid, Kamil, et al., 2020). بهره‌برداری از این سامانه‌ها برای تامین آب یک منطقه می‌تواند با تولید یک مترمکعب پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از نظر محیط‌زیستی مقایسه شده و ملاکی برای تصمیم‌گیری باشد (Aleisa et al., 2022). هم‌چنین نوع بهره‌برداری از سامانه و میزان رسیدگی به تاسیسات نیز مطابق مطالعات اخیر می‌تواند بر اثرات تجمعی محیط‌زیستی تصفیه‌خانه‌ها و سامانه‌های نمک‌زدایی موثر باشد (Shiu et al., 2023). نهایتاً لازم به ذکر است روش ReCiPe و ضرائب آن براساس میانگین برآوردی اثرات محیط‌زیستی در یک منطقه (مثلاً اروپا) تعریف شده است. با بررسی‌های بیشتر در این حوزه، این امکان می‌تواند فراهم شود تا برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی به‌صورت منطقه‌ای و محلی در یک نقطه خاص، این روش براساس مقادیر برآورد شده محلی و بومی در کشور ارزیابی شود.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از روش مبتنی بر مرحله سوم چرخه حیات (LCIA) در قالب مدل ReCiPe توانسته است یک الگوی محاسباتی برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی حاصل از بهره‌برداری سامانه‌های نمک‌زدایی ارائه نماید. بنابراین روش پیشنهادی و مورد استفاده در این پژوهش چارچوبی نوین برای مقایسه اقدامات

- European Commission, (2010). *International reference Life Cycle Data System (ILCD) handbook: Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment*, Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 115.
- Frank, H., Fussmann, K.E., Rahav, E., and Bar Zeev, E., (2019), "Chronic effects of brine discharge from large-scale seawater reverse osmosis desalination facilities on benthic bacteria", *Water Research*, 151, 478-487, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.046>.
- Heihsel, M., Lenzen, M., and Behrendt, F., (2020), "Desalination and sustainability: A triple bottom line study of Australia", *Environmental Research Letters*, 15(11), 114044, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd63>.
- Heihsel, M., Lenzen, M., Malik, A., and Geschke, A., (2019), "The carbon footprint of desalination: An input-output analysis of seawater reverse osmosis desalination in Australia for 2005-2015", *Desalination*, 454(December 2018), 71-81, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.008>.
- Huijbregts, M., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F.M., Stam, G., Veronesi, F., Vieira, M.D.M., Zijp, M., and van Zelm, R., (2016), *ReCiPe 2016, A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization*, National Institute for Public Health and the Environment, 194.
- Ihsanullah, I., Atieh, M.A., Sajid, M., and Nazal, M.K., (2021), "Desalination and environment: A critical analysis of impacts, mitigation strategies, and greener desalination technologies" *Science of The Total Environment*, 780, 146585, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146585>.
- ISO14040, (2006). *Environmental management - Life cycle assessment, Principles and framework*, 2nd Edition, International Standard Organization.
- Jamshidi, S., and Naderi, A., (2023), "A quantitative approach on environment-food nexus: Integrated modeling and indices for cumulative impact assessment of farm management practices", *PeerJ*, 11, e14816, <https://doi.org/10.7717/peerj.14816>.
- Jia, X., Klemeš, J.J., Varbanov, P.S., and Alwi, S.R.W., (2019), "Analyzing the energy consumption, GHG emission, and cost of seawater desalination in China", *Energies*, 12(3), 1-16, <https://doi.org/10.3390/en12030463>.
- Khosravi, A., Bordbar, B., and Ahmadi Orkomi, A., (2022), *Life Cycle Assessment of emerging technologies in industrial wastewater treatment and desalination*, pp. 369-398, https://doi.org/10.1007/978-3-030-98202-7_15.
- Kress, N., Gertner, Y., and Shoham-Frider, E., (2020), "Seawater quality at the brine discharge site from two mega size seawater reverse osmosis desalination plants in Israel (Eastern Mediterranean)", *Water Research*, 171, 115402, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115402>.
- Lee, K., and Jepson, W., (2021), "Environmental impact of desalination: A systematic review of Life Cycle Assessment", *Desalination*, 509, 115066, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115066>.
- Resources Management, 8(3), 83, <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00671-8>.
- Alhaj, M., Tahir, F., and Al-Ghamdi, S.G., (2022), "Life-cycle environmental assessment of solar-driven Multi-Effect Desalination (MED) plant", *Desalination*, 524, 115451, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115451>.
- Alinejad, K., and Ghannadi, M., (2017), "Concept of DALYs index and its calculation in estimating disease burden", *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 2(3), 14-20.
- Aljuwaiser, A., Aleisa, E., and Alshayji, K., (2022), "Assessing seawater desalination using Reverse Osmosis and multi-effect distillation for Kuwait using Life Cycle Assessment: Fossil fuels versus solar power", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1026(1), 012025, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1026/1/012025>.
- Bakhshayesh, M., Farahani, M., and Nia, A.B., (2021), *Using Life Cycle Assessment (LCA) to evaluate environmental impact of Kangan Desalination Plant (LCA)*, *Journal of Water and Wastewater*, 31(7), 15-34, <https://doi.org/10.22093/wwj.2020.214063.2973>.
- Baustert, P., Igos, E., Schaubroeck, T., Chion, L., Mendoza Beltran, A., Stehfest, E., van Vuuren, D., Biemans, H., and Benetto, E., (2022), "Integration of future water scarcity and electricity supply into prospective LCA: Application to the assessment of water desalination for the steel industry", *Journal of Industrial Ecology*, 26(4), 1182-1194, <https://doi.org/10.1111/jiec.13272>.
- Bordbar, B., Khosravi, A., Orkomi, A.A., and Peydayesh, M., (2022), "Life Cycle Assessment of hybrid nanofiltration desalination plants in the Persian Gulf", *Membranes*, 12(5), 1-16, <https://doi.org/10.3390/membranes12050467>.
- Cherif, H., and Belhadj, J., (2018), "Environmental Life Cycle Analysis of water desalination processes", In: *Sustainable Desalination Handbook, Plant Selection, Design and Implementation*, Elsevier Inc., 527-559, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809240-8.00015-0>.
- DOE, (2016), *Water quality standards in Iran*, Guideline, Department of Environment, I.R.Iran, 14.
- Elsaid, K., Kamil, M., Sayed, E.T., Abdelkareem, M.A., Wilberforce, T., and Olabi, A., (2020), "Environmental impact of desalination technologies: A review", *Science of The Total Environment*, 748, 141528, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141528>.
- Elsaid, K., Sayed, E.T., Abdelkareem, M.A., Baroutaji, A., and Olabi, A.G., (2020), "Environmental impact of desalination processes: Mitigation and control strategies", *Science of The Total Environment*, 740, 140125, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140125>.
- Elsaid, K., Sayed, E.T., Abdelkareem, M.A., Mahmoud, M.S., Ramadan, M., and Olabi, A.G., (2020), "Environmental impact of emerging desalination technologies: A preliminary evaluation", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104099, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104099>.



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

- <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115066>.
- Mannan, M., Alhaj, M., Mabrouk, A.N., and Al-Ghamdi, S.G., (2019), "Examining the life-cycle environmental impacts of desalination: A case study in the State of Qatar", *Desalination*, 452, 238-246, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.11.017>.
- Mannan, M., Alhaj, M., Nasser, A., and Al-ghamdi, S.G., (2020), "Examining the life-cycle environmental impacts of desalination : A case study in the State of Qatar" *Desalination*, 452(July), 238-246, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.11.017>.
- Meron, N., Blass, V., and Thoma, G., (2020), "A national-level LCA of a water supply system in a Mediterranean semi-arid climate, Israel as a case study", *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(6), 1133-1144, <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01753-5>.
- Moossa, B., Trivedi, P., Saleem, H., and Zaidi, S.J., (2022), "Desalination in the GCC countries, A review", *Journal of Cleaner Production*, 357, 131717, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131717>.
- Panagopoulos, A., and Haralambous, K.-J., (2020), "Environmental impacts of desalination and brine treatment, Challenges and mitigation measures", *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111773, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111773>.
- Rosenbaum, R.K., Hauschild, M.Z., Boulay, A.N., Fantke, P., Laurent, A., Núñez, M., and Vieira, M., (2018), *Life Cycle Impact Assessment*, In: M.Z., Hauschild, R.K., Rosenbaum, and S.I., Olsen (Eds.), *Life Cycle Assessment, Theory and Practice*, (pp. 167-270), Springer.
- Shemer, H., and Semiat, R., (2017), "Sustainable RO desalination, Energy demand and environmental impact", *Desalination*, 424, 10-16, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.09.021>.
- Shiu, H.-Y., Lee, M., Lin, Z.-E., and Chiueh, P.-T., (2023), "Dynamic life cycle assessment for water treatment implications", *Science of The Total Environment*, 860, 160224, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160224>.
- Soliman, M.N., Guen, F.Z., Ahmed, S.A., Saleem, H., Khalil, M.J., and Zaidi, S.J., (2021), "Energy consumption and environmental impact assessment of desalination plants and brine disposal strategies" *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 589-608, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.038>.
- Syazira Nazaran, I., Abdul Ghani, L., Muhammad, Z., Saputra, J., Ali, A., and Talib Bon, A., (2021), "Social impact of small seawater desalination plant of local community: A social life cycle assessment", *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Monterrey, Mexico*.
- Zhou, J., Chang, V.W.C., and Fane, A.G., (2014), "Life Cycle Assessment for desalination: A review on methodology feasibility and reliability", *Water Research*, 61, 210-223, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.017>.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Evaluating the Failure Probability of the Water Distribution Networks Quality in Order to Estimate Risk Using Bayesian Networks

محاسبه احتمال شکست کیفیت شبکه‌های توزیع آب به منظور برآورد ریسک با استفاده از شبکه‌های بیزین

Sara Mashhadi Tafreshi¹ and Massoud Tabesh^{2*}

1- M.Sc., School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran.

2- Professor, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran.

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

سارا مشهدی تفرشی^۱ و مسعود تابش^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی محیط‌زیست، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: mtabesh@ut.ac.ir

Received: 12/03/2023

Revised: 17/06/2023

Accepted: 20/08/2023

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Water distribution networks are one of the vital infrastructures of any country, which one of its main tasks is to deliver good quality water to consumers. These networks are always exposed to various types of threats, and since they are at the end of the water supply chain and are in direct contact with the consumer, the occurrence of quality failure in it can lead to irreparable health, life and social damages. The acceptable performance of water supply networks in terms of quality is dependent on operation and maintenance programs, and risk analysis and management can be mentioned as one of these programs. One of the main components of risk due to the occurrence of quality failure is the probability of failure. In this research, in order to calculate the probability of failure of the quality of water networks, at first, the factors affecting the occurrence of quality failure are identified and with the help of Bayesian networks, the probability of failure of the quality of each pipe is calculated. This work is done in four basic steps: preparing input data, training the Bayesian network, validating it and receiving the output results. In addition, by carrying out sensitivity analysis, four factors consist of pipe type, water pressure, water age and water velocity have been identified as the most effective factors on the occurrence of water quality failure in this area; which controlling them by managers and decision makers of water and sewage companies in the form of risk management programs, the probability of quality failure can be significantly reduced.

شبکه‌های توزیع آب یکی از زیرساخت‌های حیاتی هر کشور است که از جمله وظایف اصلی آن رساندن آب با کیفیت مناسب به دست مصرف‌کننده است. این شبکه‌ها همواره در معرض انواع مختلفی از تهدیدها هستند، و از آن‌جا که در انتهای زنجیره تامین آب قرار دارند و در ارتباط مستقیم با مصرف‌کننده هستند، وقوع شکست کیفیت در آن می‌تواند منجر به خسارات بهداشتی، جانی و اجتماعی جبران‌ناپذیری شود. عملکرد قابل قبول شبکه‌های آبرسانی از نظر کیفیت، وابسته به برنامه‌های بهره‌برداری و نگهداری است که از محاسبه و مدیریت ریسک می‌توان به‌عنوان یکی از این برنامه‌ها اشاره کرد. یکی از اجزای اصلی ریسک در اثر وقوع شکست کیفیت، احتمال شکست است. در این تحقیق به منظور محاسبه احتمال شکست کیفیت شبکه‌های آب در ابتدا عوامل اثرگذار بر رخداد شکست کیفیت شناسایی شده و به کمک شبکه‌های بیزین احتمال شکست کیفیت هر لوله محاسبه می‌شود. این کار در چهار گام اساسی آماده‌سازی داده‌های ورودی، آموزش شبکه بیزین، صحت‌سنجی آن و دریافت نتایج خروجی انجام می‌شود. این مدل بر روی بخشی از شبکه توزیع آب شهر تهران تحلیل شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۳۱ درصد از لوله‌ها دارای احتمال شکست خیلی کم و ۶۹ درصد دارای احتمال شکست کم بوده‌اند. علاوه بر این با انجام تحلیل حساسیت، چهار عامل جنس لوله، فشار آب، سن آب و سرعت آب به‌عنوان اثرگذارترین عوامل بر وقوع شکست کیفیت در این منطقه شناسایی شدند؛ که با کنترل آن‌ها توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان شرکت‌های آب و فاضلاب در قالب برنامه‌های مدیریت ریسک، می‌توان میزان احتمال وقوع شکست کیفیت را به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

Keywords: Quality failure, Bayesian network, Probability of quality failure, Water distribution network, Influencing factors.

کلمات کلیدی: شکست کیفیت، شبکه بیزین، احتمال شکست کیفیت، شبکه توزیع آب، عوامل اثرگذار.

ریسک در هر سطح از ساختار سلسله مراتبی، استفاده کردند. همچنین برای غیرفازی کردن ریسک تجمعی، با کمک روش میانگین وزنی مرتب شده نمایی، دیدگاه تصمیم‌گیرندگان (میزان خطرپذیری آن‌ها) را در محاسبه عدد نهایی ریسک دخیل کردند. Sadiq et al. (2008) با کمک درخت خطای فازی که گسترش

یافته ساختار سلسله مراتبی مطالعات قبلی خود در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ بوده است، به ارزیابی ریسک شکست کیفیت در شبکه‌های توزیع آب پرداختند. آن‌ها به عدم قطعیت‌های ناشی از دو ایراد مقادیر دقیق احتمالی و مستقل در نظر گرفتن عوامل ریسک، پاسخ دادند. روش پیشنهاد شده برای محاسبه ریسک دو شبکه توزیع آب واقعی در کانادا که پیشتر دچار شکست کیفیت شده بودند استفاده شد. در هر دو مطالعه موردی، سه سناریو شکست با مقادیر احتمالاتی ثابت، اما شدت وابستگی متفاوت در نظر گرفته شد، چرا که هدف از این مطالعه به‌طور خاص بررسی تاثیر میزان همبستگی میان عوامل بر نتایج تحلیل ریسک بود.

Cordoba et al. (2014) با استفاده از داده‌های آماری شامل کلر اولیه، pH، دبی جریان، کدورت و کلر باقی‌مانده برای سه گره از شبکه توزیع آب، توانستند مدلی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی در ترکیب با روش مونت کارلو توسعه دهند که بتواند غلظت کلر در این سه گره را پیش‌بینی کند. از مزایای این مدل می‌توان به کاربرد ساده و دقت بالای آن در پیش‌بینی میزان کلر اشاره کرد. علاوه بر این، با کمک مدل محاسباتی EPANET می‌توان زوال کلر برای سایر نقاط شبکه توزیع آب را نیز تخمین زد و به این ترتیب، نواحی آسیب‌پذیر شبکه از نظر سطوح بالا و یا پایین کلر مشخص می‌شود.

Chalchisa et al. (2017) کیفیت آب آشامیدنی در مخازن ذخیره آب در نواحی شهری اتیوپی را ارزیابی کردند. نمونه‌های جمع‌آوری شده قبل از ورود به مخزن و در مخزن از نظر میزان pH، دما و کدورت در محدوده حداکثر مجاز تعریف شده سازمان بهداشت جهانی بود، اما تمامی نمونه‌ها از نظر وجود کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی مثبت بودند که بیانگر وجود آلودگی میکروبی در تمامی نقاط نمونه‌برداری است. همچنین سطح آلودگی میکروبی از قبل از ورود به مخزن ذخیره تا پس از خروج از مخزن افزایش یافته است که نشان‌دهنده وجود نشی در سیستم توزیع و آلودگی در مخازن ذخیره است. این مطالعه نشان می‌دهد که اتصال متقابل^۱ در سیستم توزیع و مخازن ذخیره غیراستاندارد از جمله عوامل بروز بیماری‌های منتقله از آب هستند.

Şener et al. (2017) کیفیت آب رودخانه آکسو در کشور ترکیه را مطالعه میزان مناسب بودن آن برای آشامیدن را بررسی

طبق گزارش وزارت نیرو در سال ۱۳۹۹، در حدود ۹۹/۸۲ درصد شهرها و ۸۲/۹۵ درصد روستاها آب آشامیدنی خود را از طریق شبکه آبرسانی دریافت می‌کنند (وزارت نیرو، ۱۴۰۰). سه هدف اصلی این شبکه‌ها رساندن آب کافی، با فشار مناسب و کیفیت مطلوب به‌دست مصرف‌کننده است (تابش، ۱۳۹۵). زنجیره تامین آب آشامیدنی شامل منابع آب خام، شبکه انتقال، تصفیه‌خانه‌ها و شبکه توزیع آب است. هر کدام از این بخش‌ها در معرض تهدیدات گوناگون هستند، اما به خطر افتادن کیفیت آب در شبکه توزیع به دلیل قرار گرفتن در انتهای این زنجیره و نبود هیچ فرآیند تصفیه موثر (به‌جز گندزدایی ثانویه) تا رسیدن به‌دست مصرف‌کننده، می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری به‌همراه داشته باشد (Islam et al., 2015; Sadiq et al., 2004). به دلیل افزایش جمعیت، فعالیت‌های صنعتی و یا کشاورزی و به تبع آن آلودگی بیشتر منابع آب و همچنین فرسودگی زیرساخت‌های آبی و ضعف در برنامه‌های بهره‌برداری و نگهداری، بسیاری از شهرها حتی در کشورهای توسعه یافته موارد متعددی از شیوع بیماری ناشی از آب را تجربه کرده‌اند و برخلاف باور عموم صرفاً وجود پیشرفته‌ترین سیستم‌های تصفیه نمی‌تواند تضمینی برای سلامت کیفی آب آشامیدنی باشد (Lee et al., 2009; Islam et al., 2013).

Sadiq et al. (2004) یک چهارچوب کلی برای ارزیابی جامع ریسک، مرتبط با شکست کیفیت در شبکه‌های توزیع آب ارائه کردند. آن‌ها راه‌هایی که ممکن است کیفیت آب شبکه در معرض خطر قرارگیرد را به پنج طبقه دسته‌بندی کردند که عبارتند از: ورود آلودگی به شبکه، نقص در تصفیه آب، رشد میکروارگانیسم‌ها در لوله‌ها و منبع ذخیره آب، ورود مواد شیمیایی به داخل لوله‌ها به دلیل خوردگی لوله‌ها و یا مخزن ذخیره و نفوذ مواد از لوله‌ها به داخل شبکه. سپس این پنج نوع ریسک آلودگی در نظر گرفته شده را تا رسیدن به ریسک‌های پایه گسترش دادند. چهارچوب ارائه شده یک مدل سلسله مراتبی است که با محاسبه ریسک‌های پایه به ارزیابی ریسک تجمعی می‌پردازد. در نهایت از این چهارچوب ساده برای محاسبه ریسک تجمعی یک مدل فرضی استفاده شد. Sadiq et al. (2007) در مطالعه جدید خود که بر پایه مطالعه قبلی آن‌ها در سال ۲۰۰۴ بود؛ به چهار جنبه مهم در تحلیل ریسک پرداختند که عبارت بودند از: فازی کردن ریسک، تجمیع ریسک، به‌هنگام کردن ریسک و غیرفازی کردن ریسک. چهارچوب کلی روش کاملاً مشابه مطالعه قبلی است، با این تفاوت که به‌هنگام ورود داده‌های جدید از تئوری گواه برای برآورد مجدد

است، اما طیف وسیع‌تری از متغیرهای کیفیت آب در احتمال تشکیل تری‌هالومتان‌ها موثر هستند.

Odhiambo et al. (2023) با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی و ارزیابی کمی ریسک میکروبی (QMRA)^۵، خطرات سلامتی ناشی از نفوذ آلودگی به یک شبکه توزیع آب در سوئد را بررسی کردند. سه سناریوی خطر به شرح زیر در این مطالعه ارزیابی شد: ۱- شکست لوله بدون نفوذ آلودگی از محل شکستگی؛ ۲- شکست لوله و نفوذ آلودگی از محل شکست و ۳- کمبود فشار آب با وجود شکستگی. نتایج این مدل‌سازی بیانگر خطر بالای آلودگی شبکه توسط پاتوژن در سناریو سوم بود که این نتایج با بار تخمینی سالانه بیماری‌های حاد گوارشی در سوئد مطابقت دارد. نتیجه این مطالعه می‌تواند بخش‌های آسیب‌پذیر و نیازمند سرمایه‌گذاری شبکه توزیع آب را شناسایی کند.

سیستم‌های تصفیه آب هرچه هم پیشرفته باشد باز هم نمی‌تواند تضمینی برای رسیدن آب با کیفیت لازم به دست مصرف‌کننده باشد. Tchórzewska-Cieślak et al. (2019) مصرف‌کننده باشد. احتمال وقوع این آلودگی ثانویه در شبکه را به کمک درخت خطا توصیف و محاسبه کردند؛ که از آن می‌توان در ارزیابی ریسک یا تعیین حدود قابل‌قبول استفاده کرد. این شرایط به‌طور خلاصه می‌تواند به‌علت ایجاد رسوب یا بیوفیلم و انتشار آن‌ها در اثر وقوع تغییرات شدید هیدرولیکی و یا تغییر در خواص خوردنگی آب و پخش این آلودگی در لوله‌ها رخ دهد، که احتمال وقوع هرکدام از آن‌ها با توجه به شاخص‌هایی قابل تخمین است.

با توجه به اهمیت بالای شبکه‌های توزیع آب از نظر رساندن آب با کیفیت لازم به دست مصرف‌کننده و ارتباط مستقیم آن به سلامت افراد، ارائه یک روش مناسب برای مشخص کردن ریسک شکست کیفیت شبکه از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه لازم است تا با انجام مطالعات پیش‌بینانه، نقاط ضعف شبکه از نظر بروز شکست کیفیت از پیش شناسایی شده و با برطرف کردن آن موارد، تا حد امکان از بروز حوادث آلودگی شبکه جلوگیری شود. با توجه به مطالب عنوان شده در بالا، ضرورت تحلیل ریسک شبکه‌های توزیع آب از نظر شکست کیفیت دوچندان می‌شود. باتوجه به آن که استفاده از ابزارهای پایش کیفیت شبکه‌های آبرسانی هزینه زیادی به‌همراه دارد، توانایی پیش‌بینی شکست شبکه به کمک داده‌های وابسته به شکست که در دسترس است، اهمیت پیدا می‌کند. لازم‌به ذکر است که آسیب‌پذیری در شبکه‌های آبرسانی به‌دلیل پراکندگی، اجزای گوناگون و ساختار پیچیده را نمی‌توان به صفر رساند، اما با مطالعه دقیق می‌توان احتمال وقوع شکست را پیش‌بینی و فرکانس آن را کاهش داد.

کردند. در این مطالعه ۲۱ ایستگاه نمونه‌برداری مشخص شد و برای یک بازه هشت ماهه، ۲۴ پارامتر کیفیت آب اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شد. نتایج این تحلیل با مقادیر مجاز توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی و استانداردهای آب آشامیدنی ترکیه مقایسه و در نهایت کیفیت آب رودخانه با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI)^۶ ارزیابی و نقشه‌ای از آن در قالب GIS^۳ ارائه شد. آن‌ها همچنین دریافتند که دو پارامتر $\text{COD}^{\text{۴}}$ و Mg از جمله موثرترین پارامترها برای تعیین شاخص کیفیت آب هستند.

فقیهی (۱۳۹۵) رتبه‌بندی پارامترهای موثر بر آب بدون درآمد را با استفاده از شبکه‌های بیزین انجام داد. در این مطالعه ابتدا به کمک مراجع مختلف و تجربه کارشناسان این حوزه پارامترهای اثرگذار شناسایی شدند و سپس میزان شدت رخداد هر پارامتر در قالب پرسشنامه و به تفکیک تلفات ظاهری و تلفات واقعی مورد پرسش قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی در این تحقیق بیانگر تاثیر بیشتر "انشعابات غیرمجاز" و "نشت مرئی" به ترتیب در بخش تلفات ظاهری و تلفات واقعی بود.

پورسعید اصفهانی (۱۳۹۷) در مطالعه خود ریسک شکست کیفیت آب ناشی از آلودگی‌های تصادفی در شبکه نمونه فرضی Anytown را بررسی کرد. در این تحقیق ابتدا معیارها (مانند تشکیل بیوفیلم، عدم دستیابی به تصفیه موردنظر، انتشار مواد خورنده در شبکه و غیره) و زیرمعیارهایی (pH، دما، اکسیژن محلول و غیره) که منجر به بروز شکست کیفیت در شبکه می‌شود، انتخاب و در مرحله بعد احتمال هرکدام از زیرمعیارها به کمک شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه (توسط EPANET) محاسبه شد. برای داده‌هایی که نمی‌توان از شبیه‌سازی به دست آورد از مقادیر فرضی استفاده شد.

Li et al. (2020) مدلی از شبکه بیزین با استفاده از پارامترهای مختلف کیفیت آب برای پیش‌بینی تشکیل تری‌هالومتان‌ها در شبکه توزیع آب استرالیا ارائه کردند. این مدل بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده از ۱۵ شبکه توزیع آب و با استفاده از پارامترهای کیفیت آب هم‌چون غلظت تری‌هالومتان‌های کل و منفرد، گونه‌های مربوط به گندزدا (کلر آزاد، مونوکلرامین، دی‌کلروآمین و کلر کل)، گونه‌های نیتروژن (آمونیاک آزاد، آمونیاک کل، نیترات و نیتريت)، پارامترهای شیمیایی (دما، pH، کربن آلی محلول، کل جامدات محلول، هدایت و کدورت) و غیره توسعه داده شد. این مدل تا ۹۴٪ دقت پیش‌بینی را دارد و هم‌چنین نشان می‌دهد که با این‌که کلر باقی‌مانده از جمله پارامترهای کلیدی در تشکیل تری‌هالومتان‌ها

تعریف شده و آن عامل احتمال وقوع بحران است. در حقیقت بخش اصلی در تعریف ریسک، احتمال وقوع بحران است و حتی در بسیاری از مطالعات، ریسک را تنها به همین بخش مرتبط کرده‌اند. هدف اصلی این مطالعه نیز برآورد همین بخش از تعریف ریسک یعنی احتمال وقوع بحران (احتمال وقوع شکست کیفیت آب) است.

Sadiq et al. (2008) شکست کیفیت آب را در هفت دسته زیر تعریف کردند: ۱- ورود آلودگی با شبکه از طریق اجزای مختلف سیستم که یکپارچگی لازم را ندارند؛ ۲- به خطر افتادن کیفیت آب به دلیل عدم دستیابی با تصفیه لازم در تصفیه‌خانه؛ ۳- زوال مواد تشکیل دهنده اجزای شبکه توزیع از طریق خوردگی و یا نشت مواد؛ ۴- تشکیل فراورده‌های جانبی گندزداها و یا از بین رفتن ماده گندزدا؛ ۵- تشکیل بیوفیلم و رشد میکروارگانیسم‌ها در شبکه توزیع آب؛ ۶- نفوذ ترکیبات آلی در خاک به داخل شبکه از طریق اجزای پلاستیکی و ۷- آلودگی عمدی شبکه توزیع آب.

۲-۱- شناسایی عوامل اثرگذار بر هر یک از اجزای شکست کیفیت آب

به منظور تخمین احتمال شکست کیفیت آب با کمک شبکه‌های بیزین، لازم است تا عوامل موثر بر هر جزء شناسایی شوند. به این منظور با مرور استانداردها و مطالعات مرتبط و استفاده از تجارب کارشناسان آب و فاضلاب در این زمینه بخش عمده‌ای از این عوامل موثر شناسایی شد که در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- عوامل موثر بر هر یک از اجزای شکست کیفیت آب

عوامل موثر بر احتمال شکست هر جزء	اجزای مرتبط با شکست کیفیت آب
طول لوله، قطر لوله، نوع راه، سن لوله، جنس لوله، فشار آب، نزدیکی به محل‌های مستعد آلودگی (فضاهای سبز و پمپ‌بنزین‌ها)، شدت آلاینده‌های فاضلاب‌روهای عبوری در محدوده هر لوله آب (طول فاضلاب‌رو و قطر فاضلاب‌رو)	ورود آلودگی به شبکه
سن لوله، جنس لوله، کلر باقی‌مانده، سرعت آب، سن آب	تشکیل بیوفیلم
سن آب	آلودگی ناشی از ماده گندزدا
سن لوله، جنس لوله، کلر باقی‌مانده، سرعت آب، سن آب	زوال مواد
نزدیکی به منابع ذخیره آب (مخزن‌های ذخیره و خروجی تصفیه‌خانه)	آلودگی عمدی

شبکه نشان‌دهنده یک متغیر تصادفی است و کمان بین گره‌ها (متغیرها) نشان‌دهنده وابستگی‌های احتمالی میان متغیرهای تصادفی است (Pearl, 1988). این شبکه‌ها براساس تئوری بیز گسترش پیدا کرده‌اند. این تئوری به این صورت بیان شده است که برای n رویداد E_1, E_2, \dots, E_n که $P(E_i) \neq 0$ باشد، برای $1 \leq i \leq n$ از رابطه (۲) استفاده می‌شود (Neapolitan, 2004):

در این مطالعه ابتدا عوامل اثرگذار بر اجزای مختلف شکست کیفیت شبکه با کمک مراجع، استانداردها و نظرات کارشناسان شناسایی و دسته‌بندی منطقی برای مقادیر آن تعریف شده است. سپس با استفاده از شبکه‌های بیزین و آموزش آن توسط داده‌های دردسترس، بخشی از شبکه توزیع آب شهر تهران احتمال شکست کیفیت هر لوله در شبکه مذکور به دست آمده است. هم‌چنین تحلیل حساسیت عوامل اثرگذار بر روی پارامتر احتمال شکست کیفیت شبکه انجام شده تا عوامل با اثرگذاری بیشتر اولویت‌بندی شود.

۲-۲- مواد و روش‌ها

هدف از انجام این تحقیق محاسبه احتمال شکست کیفیت شبکه‌های آب با استفاده از شبکه‌های بیزین در راستای ارزیابی ریسک آن است. به این منظور لازم است تا عوامل اثرگذار بر شکست کیفیت شبکه‌های آب شناسایی شده و دسته‌بندی برای مقادیر آن تعریف شود. تعاریف متعددی برای برآورد ریسک وجود دارد که از کامل‌ترین آن‌ها می‌توان به رابطه (۱) اشاره کرد (Torres et al., 2009):

$$(1) \text{ احتمال وقوع بحران} \times \text{شدت اثرات وقوع بحران} \times \text{آسیب‌پذیری سیستم در برابر بحران} = \text{ریسک}$$

در تعاریف ساده‌تر، معادله ریسک تنها به صورت یک عاملی

۲-۲- شبکه‌های بیزین

روابط احتمالی میان عوامل اثرگذار بر شکست کیفیت شبکه‌های توزیع آب با استفاده از شبکه‌های بیزین قابل مدل‌سازی هستند. این شبکه‌ها از خانواده مدل‌های گرافیکی احتمالی هستند. این ساختار گرافیکی برای نشان دادن اطلاعات دارای عدم قطعیت استفاده می‌شود. به طوری که هر گره در این

$$P(E_i|F) = \frac{P(F|E_i)P(E_i)}{P(F|E_1)P(E_1) + P(F|E_2)P(E_2) + \dots + P(F|E_n)P(E_n)} \quad (2)$$

(۲) است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مطالعه موردی

شبکه مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از یکی از مناطق آب و فاضلاب شهری تهران است، که توسط دو مخزن آب‌دهی می‌شود. مساحت تقریبی این محدوده ۱/۱۷ کیلومترمربع و محیط آن در حدود ۴/۱۹ کیلومتر است. جنس لوله‌های این محدوده شامل چهار دسته کلی چدن نشکن (DI)، چدن (CI)، پلی اتیلن (PE) و پی‌وی‌سی (PVC) و بازه سنی آن‌ها (برحسب سال) به ترتیب (۱۸-۰)، (۳۸-۵۳)، (۰-۱۸) و (۰-۱۸) است. این شبکه شامل ۷۵۰ گره و ۸۳۳ لوله است که ساختار آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

که $P(E_i|F)$: بیانگر احتمال وقوع پسین E با توجه به شرایطی است که F رخ می‌دهد و $P(E)$: نشان‌دهنده احتمال وقوع پیشین E است. احتمال پیشین درحقیقت میزان احتمال وقوع یک رخداد بدون اطلاع از پیشامدهای وابسته دیگر است. همچنین احتمال پسین بیانگر میزان احتمال وقوع یک رخداد با اطلاع از احتمال وقوع پیشامدهای وابسته به آن رخداد است که برآورد دقیق‌تری از احتمال وقوع رخداد موردنظر به‌دست می‌دهد.

در این مطالعه احتمال شکست کیفیت آب در شبکه توزیع، احتمال شکست کیفیت آب در اثر وقوع هر (یا چند) جزء از شکست و احتمال وقوع هر جز شکست به‌ترتیب بیانگر احتمال پیشین، احتمال پسین و احتمال پیشامدهای وابسته، در رابطه



شکل ۱- مدل شبکه آب منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار WaterGEMS

به‌علت حساسیت بالای شرکت‌های آب و فاضلاب در ارائه این داده‌ها و محرمانه تلقی کردن آن (به‌خصوص در رابطه با داده‌های کیفیت آب)، به‌ناچار شبکه بیزین با تعداد محدودی از داده‌های موجود که قابل دسترس بودند توسعه داده شده است. دوازده عامل طول، قطر، سن و جنس لوله، نوع راه، نزدیکی به محل‌های مستعد آلودگی، نزدیکی به فضاهای سبز، نزدیکی به منابع ذخیره آب، شدت آلاینده‌های فاضلاب‌روهای عبوری در محدوده هر لوله آب، فشار، سرعت، سن و کلر باقی‌مانده آب از جمله این عوامل هستند.

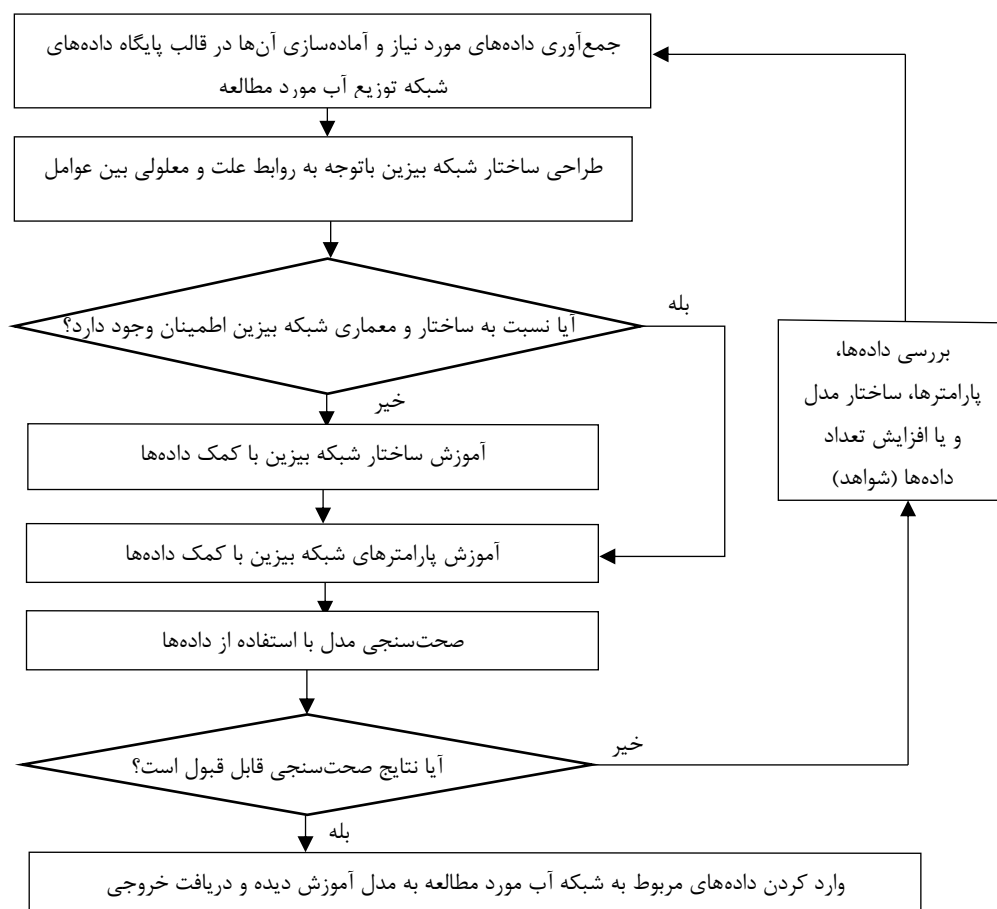
مراحل محاسبه احتمال شکست کیفیت آب لوله‌ها در منطقه مورد مطالعه شامل چهار گام آماده‌سازی داده‌های ورودی، آموزش شبکه بیزین، صحت‌سنجی مدل و دریافت خروجی مدل است که در شکل ۲ کلیه این مراحل ارائه شده است.

۳-۲- انتخاب عوامل موثر و دسته‌بندی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه

با توجه به محدودیت‌های موجود در دسترسی به داده‌ها

طریق داده‌های در اختیار قرار داده‌شده و یا محاسبه شده در نرم‌افزار GIS به‌دست آمده است.

داده‌های مربوط به چهار عامل فشار، سن، سرعت و کلر باقی‌مانده با کمک مدل‌سازی در نرم‌افزار WaterGEMS و مابقی عوامل از



شکل ۲- الگوریتم مدل محاسبه شکست کیفیت شبکه توزیع آب با کمک شبکه بیزین در این تحقیق

قطر، سن و جنس لوله است. به‌علاوه با افزودن نقشه راه‌های موجود در منطقه، می‌توان نوع راه برای هر لوله آب را مشخص کرد. همچنین با مشخص بودن محل‌هایی نظیر فضاهای سبز و جایگاه‌های سوخت‌گیری خودرو می‌توان لوله‌های در محدوده نزدیک به این مناطق را شناسایی کرد. لازم‌به‌ذکر است که برای انجام کلیه محاسبات بر روی داده‌های GIS از نرم‌افزار ArcMap 10.5 استفاده شده است.

در مورد عامل شدت آلاینده‌گی فاضلابروهای عبوری در محدوده هر لوله آب، از یک روش امتیازدهی استفاده شده است. فاضلابروهای اطراف شبکه آب، یک منبع آلودگی بالقوه برای آلودگی میکروبیولوژیکی است. نقشه GIS این فاضلابروها، حاوی اطلاعاتی در مورد قطر، طول و موقعیت مکانی آن‌ها است. به این ترتیب با تعریف معادله (۳) براساس طول و قطر هر فاضلابرو، اساساً می‌توان شدت عددی آلاینده‌گی هر فاضلابرو (SPI)^۷ را نشان داد (Islam et al., 2017).

مدل شبکه توزیع آب در اختیار قرار داده شده شامل جانمایی لوله‌ها، منبع اصلی آب، شیرهای فشارشکن، شیرهای ایزوله، مشخصات فیزیکی لوله‌ها (طول، قطر، جنس و ضریب زبری)، تراز ارتفاعی گره‌ها، تقاضای آبی هر گره و الگوی نوسانات ساعتی مصرف آب مشترکین در شبانه روز است. در ابتدا با توجه به این اطلاعات تحلیل هیدرولیکی وابسته به فشار (HDSM)^۶ در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شده و داده‌های مربوط به سرعت و فشار برای هر گره به‌دست آمد. سپس با فرض تزریق ۰/۵ میلی گرم بر لیتر کلر به دو مخزن موجود در شبکه، تحلیل کیفی کلر و سن آب برای مدت زمان ۳۳۶ ساعت انجام شد. داده‌های هیدرولیکی به‌دست آمده برای ۲۴ ساعت، میانگین‌گیری و داده‌های کیفی مدل بعد از پایدار شدن شرایط کیفی (بعد از ۷۲ ساعت) برای تمامی گره‌ها میانگین‌گیری شده و به هر لوله مربوط اختصاص داده شد. داده‌های به‌دست آمده از مدل GIS شبکه آب شامل طول،

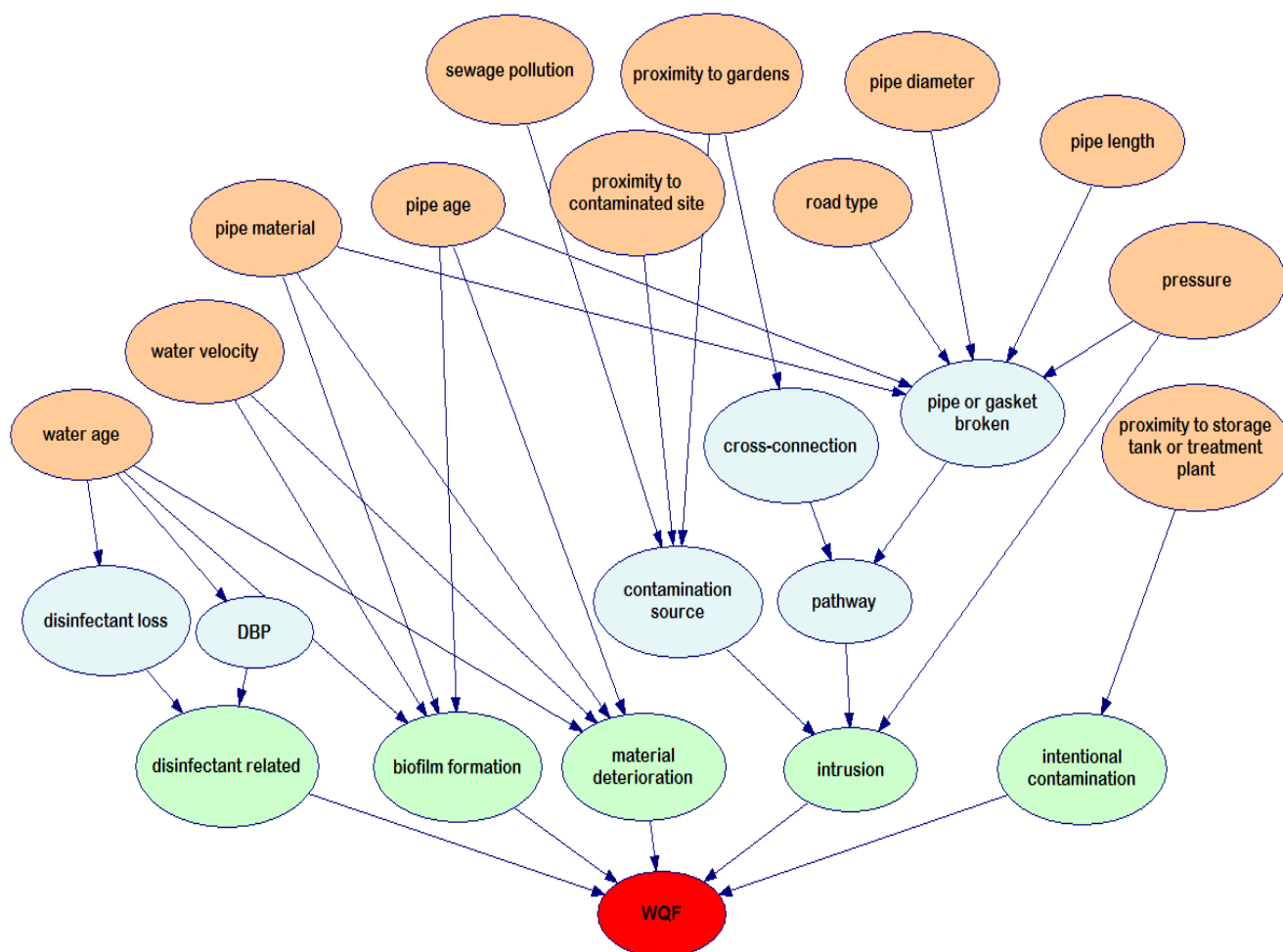
گره‌ها است. گره‌های نارنجی رنگ، والدین اولیه (عوامل اثرگذار شناسایی شده) و گره قرمز رنگ (WQF) مولود نهایی یا همان احتمال شکست کیفیت آب (شکست کلی سیستم) است. همچنین گره‌های سبز رنگ پنج جزء شکست را نمایش می‌دهد. برای آموزش مدل موردنظر در شبکه بیزین به سابقه‌ای از شکست کیفیت آب در شبکه نیاز است، اما هیچ‌گونه اطلاعات کیفی به‌دلیل محرمانه تلقی‌شدن از طرف شرکت آب و فاضلاب در دسترس قرار نمی‌گیرد. به‌همین دلیل تعدادی از لوله‌های شبکه به‌عنوان لوله‌هایی انتخاب شدند که فرض شده در سابقه تاریخی خود دچار شکست کیفیت آب شده‌اند. از آن‌جا که عامل کلر باقی‌مانده مبنای خوبی برای تعیین وقوع و یا عدم وقوع شکست کیفیت آب است، از این عامل برای انتخاب لوله‌های مورد نظر استفاده شد. به این ترتیب لوله‌هایی که در یک بازه حدود ۶ ساعته با افت و یا افزایش کلر در مخزن‌ها، مقدار کلر باقی‌مانده در آن‌ها از حد مجاز تعریف شده (۰/۵-۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) خارج می‌شود، به‌عنوان لوله‌های مستعد برای وقوع شکست کیفیت آب انتخاب شدند.

$$SPI = \frac{L_i \times D_i}{\sum_{i=1}^n L_i \times D_i} \quad (3)$$

که L : طول فاضلابرو برحسب متر، D : قطر فاضلابرو برحسب میلی‌متر، i : شماره ناحیه تحت تاثیر یک گره آب (شماره پلیگون) و N : تعداد کل گره‌های آب در شبکه توزیع هستند. تمامی این عوامل به‌طور اختصار نام‌گذاری و با توجه به مراجع و استانداردها و حد مجاز و غیرمجاز مقادیر آن دسته‌بندی و به نرم‌افزار GeNIe به‌منظور ساخت و آموزش شبکه بیزین آن معرفی شده است. نکته قابل توجه آن است که برای اختصاص مقدار عددی عواملی که به‌صورت گرهی تعریف شده است (مثل فشار و یا کلر باقی‌مانده)، برای هر لوله، از میانگین‌گیری مقادیر در گره ابتدا و انتهای آن لوله استفاده شده است.

۳-۳- ساختار و آموزش شبکه بیزین

این شبکه از ۲۴ گره و ۳۳ کمان تشکیل شده است (شکل ۳). کمان‌ها در شکل ۳ نشان‌دهنده روابط علی و معلولی بین



شکل ۳- ساختار شبکه بیزین در منطقه مورد مطالعه

است را به دست آورد. شکل ۵ نشان دهنده درصد فراوانی لوله‌ها در هر دسته از احتمال شکست است. لوله‌های با میزان احتمال شکست [۰-۲۰] حدود ۳۱ درصد و لوله‌های با میزان احتمال شکست [۲۰-۴۰] حدود ۶۹ درصد از تعداد کل لوله‌های موجود در شبکه را شامل می‌شوند.

۳-۵- تحلیل حساسیت عوامل اثرگذار

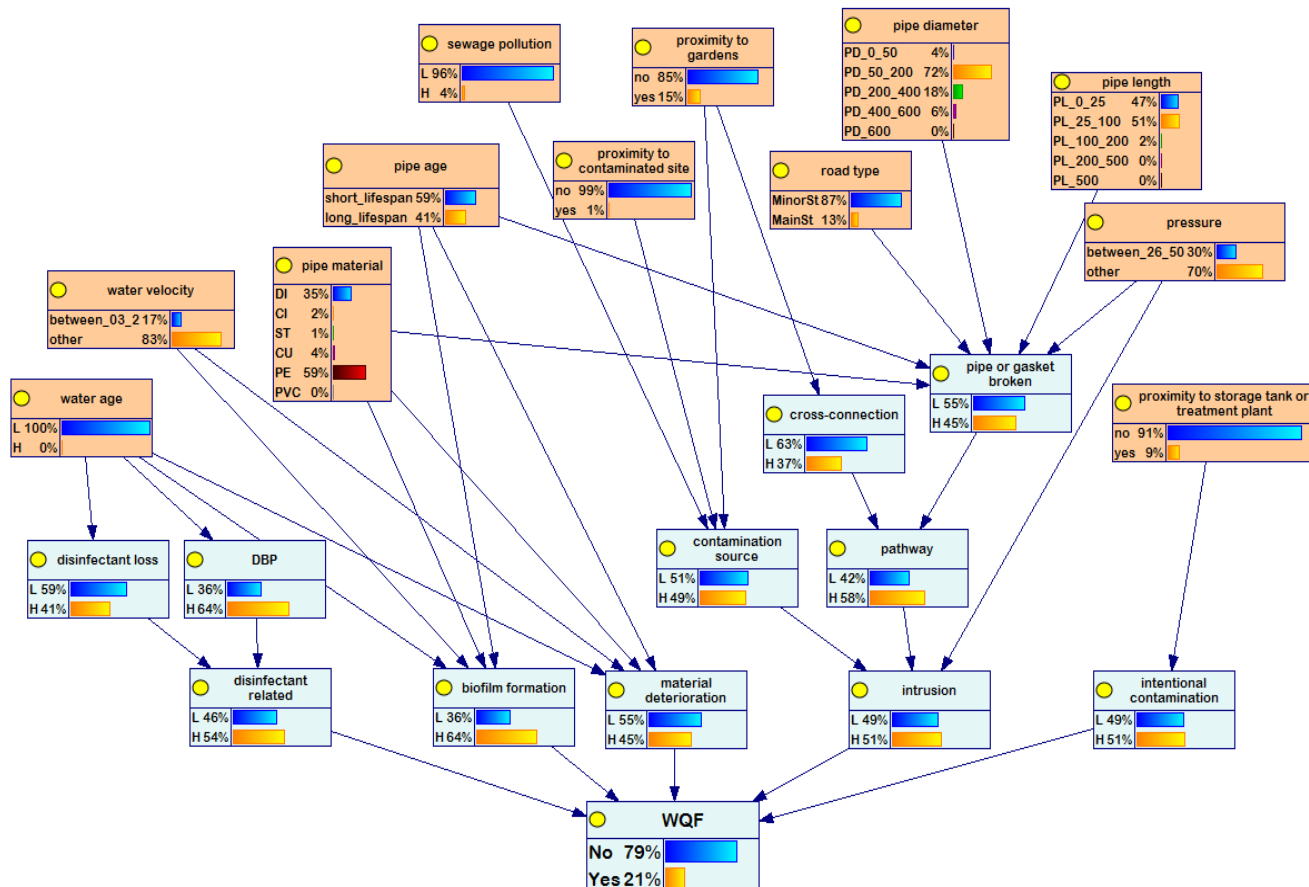
با کمک مدل بیزین آموزش دیده شده، می‌توان تاثیر هر یک از عوامل موثر بر احتمال شکست را بررسی و اولویت‌بندی کرد و در مراحل بعدی با تمرکز بر عوامل با اثرگذاری بیشتر به کاهش ریسک پرداخت. برای شناسایی میزان اثرگذاری عوامل مختلف از محاسبات تحلیل حساسیت استفاده می‌شود. به این ترتیب که در هر مرحله با اعمال تغییر یکسان در احتمال وقوع هر عامل، میزان تغییر احتمال در گره و یا گره‌های هدف، نشان‌دهنده میزان حساسیت آن گره به عامل مربوطه است. هرچه با تغییرات کمتر، احتمال گره مدنظر تغییرات بیشتری کند، آن عامل اثرگذاری بیشتری بر گره مربوطه دارد. برعکس، هرچه با تغییر بیشتر، احتمال گره مولود تغییر آن چنانی نداشته باشد، بنابراین آن عامل، عامل اثرگذاری محسوب نمی‌شود.

درصدهای نمایش داده شده در شکل ۴ برای عوامل اثرگذار، نشان‌دهنده تعداد داده‌های موجود هر یک از دسته‌های مربوط به آن عامل در سری داده‌های ورودی به مدل است. به‌عنوان مثال در داده‌های ورودی به مدل، ۵۹ درصد جنس لوله‌ها پلی‌اتیلن و ۳۵ درصد جنس لوله‌ها چدن نشکن است. برای گره‌های میانی و خروجی مدل نیز این درصد بیانگر احتمال شکست کم و یا زیاد عامل مربوطه است. بنابراین در این شبکه ۷۹ درصد لوله‌ها دارای شکست کیفیت آب و ۲۱ درصد لوله‌ها دارای عدم شکست کیفیت آب در سابقه خود بوده‌اند.

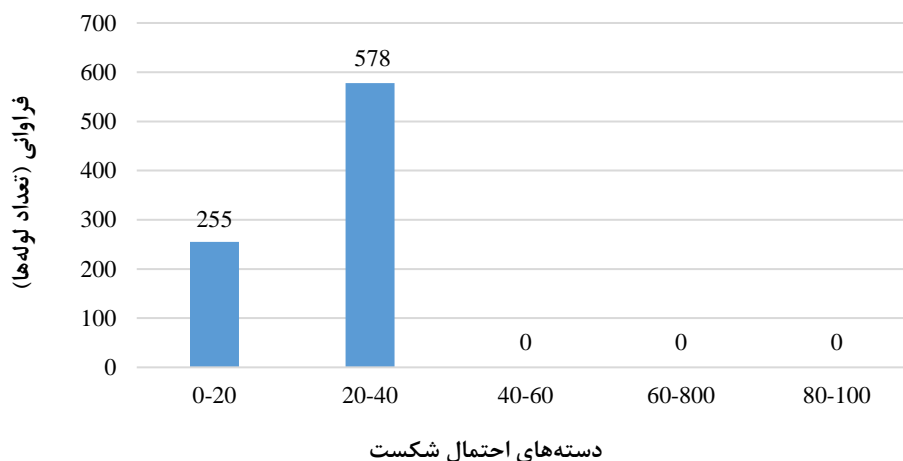
همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است، با توجه به فرضیات انجام شده در شبکه مورد مطالعه، وقوع شکست کیفیت آب از طریق زوال مواد، کم‌ترین احتمال و وقوع شکست کیفیت آب از طریق تشکیل بیوفیلم بیشترین احتمال را دارد. لازم‌به ذکر است که هر نمودار (دایره زرد رنگ نمایشی از گره است) بیانگر درصد احتمال وقوع هر حالت از گره مورد نظر است.

۳-۴- دریافت خروجی مدل آموزش دیده

در این مرحله با ورود اطلاعات هر لوله به شبکه آموزش دیده، می‌توان خروجی مدل که همان احتمال شکست کیفیت آب لوله



شکل ۴- شبکه بیزین آموزش دیده برای منطقه مورد مطالعه



شکل ۵- نمودار فرآوانی لوله‌ها در هر دسته از احتمال شکست کیفیت

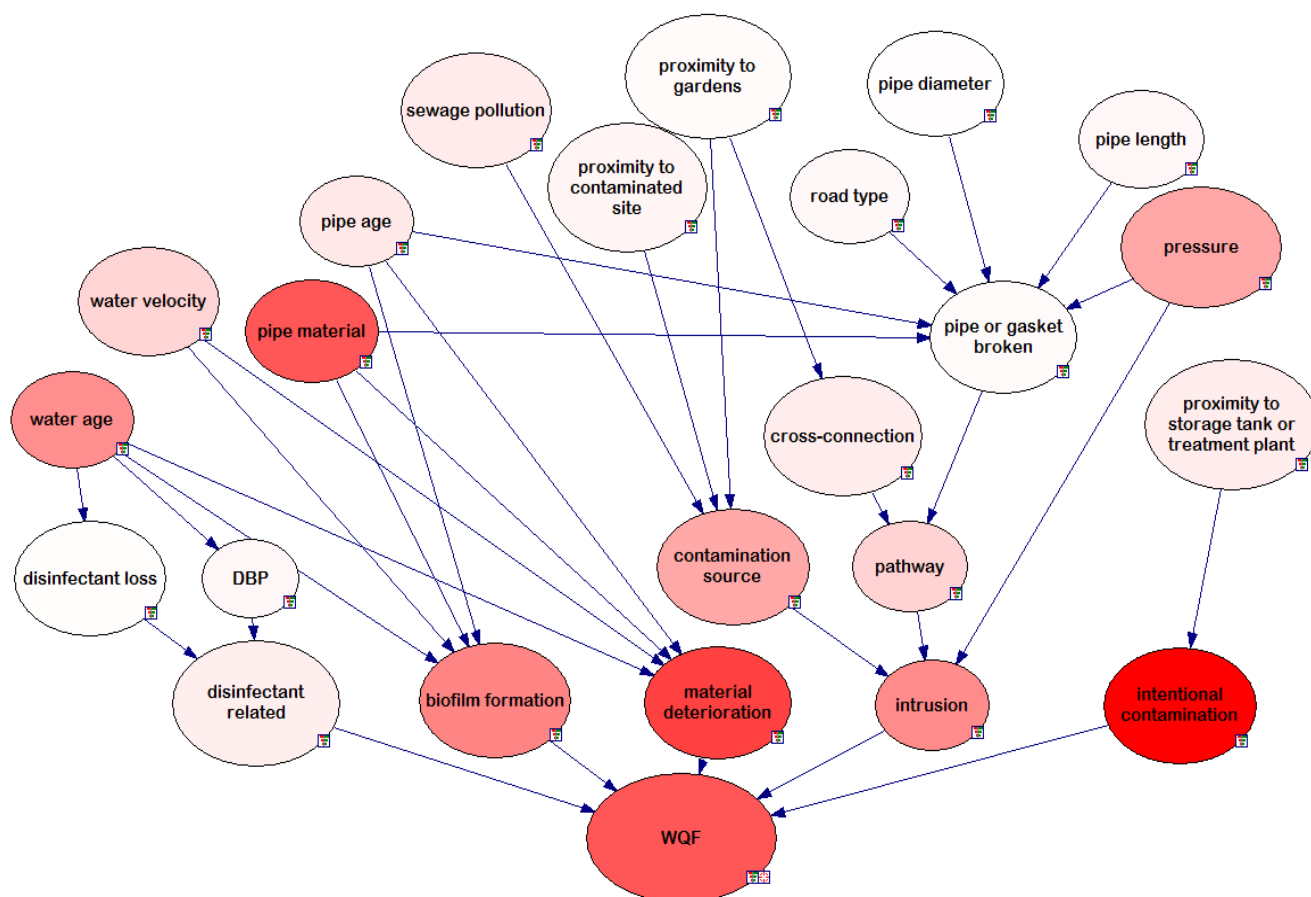
۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آموزش پارامترهای شبکه بیزین بیانگر آن است که ۳۱ درصد از لوله‌ها دارای احتمال شکست خیلی کم و ۶۹ درصد دارای احتمال شکست کم بوده‌اند. هم‌چنین با انجام تحلیل حساسیت بر مدل آموزش دیده می‌توان دریافت که چهار عامل جنس لوله، فشار، سن و سرعت آب از جمله اثرگذارترین عوامل در شکست کیفیت آب محسوب می‌شوند. به‌علاوه، صحت‌سنجی شبکه بیزین آموزش دیده بر روی داده‌های موجود نشان می‌دهد که مدل ساخته شده تا ۷۹/۵ درصد دقت لازم برای پیش‌بینی احتمال شکست کیفیت آب را دارد. شبکه بیزین به‌دست آمده در این منطقه قابلیت آن را دارد تا با داده‌های کامل‌تر و جدیدتر به‌روزرسانی شود؛ که این امر می‌تواند منجر به افزایش کارایی آن شود.

به این ترتیب با طبقه‌بندی لوله‌ها، می‌توان به ارائه برنامه برای کاهش شکست کیفیت لوله‌های با احتمال بالا پرداخت. به این منظور لازم است تا عوامل اثرگذارتر بر شکست کیفیت هر لوله شناسایی شود. لازم‌به‌ذکر است که در مرحله اول، اولویت با انتخاب عواملی است که قابلیت تغییر در آن‌ها ساده‌تر است (به‌عنوان مثال عوامل هیدرولیکی شبکه)، چرا که هزینه کمتری را بر شرکت‌های آب و فاضلاب تحمیل می‌کند. به این منظور کافی است طراحی هیدرولیکی شبکه بازنگری شود و با ایجاد تغییراتی هم‌چون کلر ورودی اولیه به مخازن، کنترل تراز مخازن و یا خروجی فشارشکن‌ها، تغییر در نحوه باز و بسته بودن شیرهای شبکه، به کاهش احتمال شکست پرداخت.

همان‌طور که توضیح داده شد، در تحلیل حساسیت با اعمال تغییرات مشخص در ورودی‌های مدل (تغییر احتمال ورودی‌ها)، تاثیر تغییرات بر روی خروجی مدل (احتمال پسین) بررسی می‌شود. متغیرهای با حساسیت بالا با تغییر اندک خود می‌توانند تاثیر قابل توجهی بر نتایج بگذارند (Genie, 2017). ابزار محاسبه تحلیل حساسیت در نرم‌افزار Genie وجود دارد و کافی است گره موردنظر که بررسی اثر تغییرات بر روی آن مدنظر است را به‌عنوان گره هدف انتخاب کرده و محاسبات تحلیل حساسیت به صورت خودکار بر روی آن انجام شود. پس از انجام محاسبات تحلیل حساسیت، رنگ گره‌ها تغییر کرده که طیفی از رنگ قرمز را شامل می‌شود. این گره‌های قرمز رنگ حاوی پارامترهایی هستند که برای محاسبه توزیع احتمال پسین در گره‌هایی که به‌عنوان هدف مشخص شده‌اند، مهم هستند. هرچه گره پررنگ‌تر باشد تاثیر آن بر گره هدف بیشتر است. در این جا گره WQF (شکست کیفیت آب) به‌عنوان گره هدف انتخاب شده است. از میان ۱۲ عامل ورودی به شبکه در این مطالعه چهار عامل جنس لوله، فشار، سن و سرعت آب به‌ترتیب بیشترین اثر را بر میزان احتمال شکست کیفیت آب دارند. شکل ۵ حساس‌ترین عامل‌ها را برای گره هدف (در این مورد، حالت وقوع شکست در گره شکست کیفیت آب) نشان می‌دهد، که از حساس‌ترین به کمترین حساسیت مرتب شده‌اند.

نکته قابل‌توجه آن است که نتایجی که الگوریتم تحلیل حساسیت ارائه می‌دهد، وابسته به اطلاعات زمینه شبکه است. به این‌صورت که مقدار حساسیت محاسبه شده به مجموعه مشاهده‌ها و داده‌های ورودی به شبکه بستگی دارد. با انجام مشاهده‌های بیشتر و اجرای دوباره تحلیل، این نتایج دستخوش تغییر می‌شود.



شکل ۵- تغییرات شبکه بعد از انجام تحلیل حساسیت

۵- پی نوشت ها

عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

وزارت نیرو، (۱۴۰۰)، گزارش عملکرد سال ۱۳۹۹ صنعت آب و برق، معاونت تحقیقات و منابع انسانی، دفتر فناوری اطلاعات و آمار.

BayesFusion, L.L.C., (2017), *GeNie modeler, User manual*, Available online: <https://support.bayesfusion.com/docs/> (accessed on 21 October 2019).

Chalchisa, D., Megersa, M., and Beyene, A., (2018), "Assessment of the quality of drinking water in storage tanks and its implication on the safety of urban water supply in developing countries", *Environmental Systems Research*, 6(1), 1-6, <https://doi.org/10.1186/s40068-017-0089-2>.

Cordoba, G.C., Tuhovčák, L., and Tauš, M., (2014), "Using artificial neural network models to assess water quality in water distribution networks", *Procedia Engineering*, 70, 399-408, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.045>.

Islam, N., Farahat, A., Al-Zahrani, M.A.M., Rodriguez, M.J., and Sadiq, R., (2015), "Contaminant intrusion in water distribution networks: Review and proposal of an integrated model for decision making", *Environmental Reviews*, 23(3), 337-352, <https://doi.org/10.1139/er-2014-0069>.

- 1- Cross- connection
- 2- Water Quality Index
- 3- Geographical Information System
- 4- Chemical Oxygen Demand
- 5- Quantitative Microbial Risk Assessment
- 6- Head Driven Simulation Method
- 7- Sewage Pollution Index

۶- مراجع

پورسعید اصفهانی، پ.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی ریسک شکست کیفیت آب در شبکه های توزیع آب شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
تابش، م.، (۱۳۹۵). *مدل سازی پیشرفته شبکه های توزیع آب*. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۵۸۵ صفحه.
فقیهی، ن.، (۱۳۹۵)، "بررسی پارامترهای موثر بر آب بدون درآمد با استفاده از شبکه بیزین"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی



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

- Islam, N., Rodriguez, M.J., Farahat, A., and Sadiq, R., (2017), "Minimizing the impacts of contaminant intrusion in small water distribution networks through booster chlorination optimization", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(7), 1759-1775, <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1440-x>.
- Li, R.A., McDonald, J.A., Sathasivan, A., and Khan, S.J., (2021), "A multivariate Bayesian network analysis of water quality factors influencing trihalomethanes formation in drinking water distribution systems", *Water Research*, 190, 116712, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116712>.
- Neapolitan, R.E., (2004). *Learning Bayesian Networks (Vol. 38)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Odhiambo, M., Viñas, V., Sokolova, E., and Pettersson, T.J., (2023), "Health risks due to intrusion into the drinking water distribution network: Hydraulic modelling and quantitative microbial risk assessment", *Environmental Science: Water Research and Technology*, 9(6), 1701-1716, <https://doi.org/10.1039/d2ew00720g>.
- Pearl, J., (1988), *Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference*, United States: Morgan Kaufmann.
- Sadiq, R., Kleiner, Y., and Rajani, B., (2004), "Aggregative risk analysis for water quality failure in distribution networks", *Journal of Water Supply: Research and Technology (Aqua)*, 53(4), 241-261, <https://doi.org/10.2166/aqua.2004.0020>.
- Sadiq, R., Kleiner, Y., and Rajani, B., (2007), "Water quality failures in distribution networks, Risk analysis using fuzzy logic and evidential reasoning", *Risk Analysis: An International Journal*, 27(5), 1381-1394, <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00972.x>.
- Sadiq, R., Saint-Martin, E., and Kleiner, Y., (2008), "Predicting risk of water quality failures in distribution networks under uncertainties using fault-tree analysis", *Urban Water Journal*, 5(4), 287-304, <https://doi.org/10.1080/15730620802213504>.
- Şener, Ş., Şener, E., and Davraz, A., (2017). "Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)", *Science of the Total Environment*, 584, 131-144, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>.
- Tchórzewska-Cieślak, B., Pietrucha-Urbanik, K., and Papciak, D., (2019), "An approach to estimating water quality changes in water distribution systems using fault tree analysis", *EDP Sciences*, 8(4), 162, <https://doi.org/10.3390/resources8040162>.
- Torres, J.M., Brumbelow, K., and Guikema, S.D., (2009), "Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems", *Reliability Engineering and System Safety*, 94(8), 1259-1273, <https://doi.org/10.1016/j.res.2009.01.008>.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Analysis of Factors Affecting Water Poverty in Iran Using the (PLS-SEM) Approach

تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر فقر آبی در ایران با استفاده از رویکرد (PLS-SEM)

Sahar Safarpour¹, Majid Maddah^{2*} and Seyed Hossein Sajadifar³

سحر صفرپور^۱، مجید مداح^{۲*} و سید حسین سجادی فر^۳

1- PhD Student, Department of Economics, Management and Administrative Sciences, Semnan University, Semnan, Iran.

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

2- Professor, Department of Economics, Management and Administrative Sciences, Semnan University, Semnan, Iran.

۲- استاد گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

3- Water Economic and Environmental Researcher.

۳- پژوهشگر اقتصاد آب و محیط زیست

*Corresponding Author, Email: majid.maddah@semnan.ac.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: majid.maddah@semnan.ac.ir

Received: 18/04/2023

Revised: 10/06/2023

Accepted: 29/06/2023

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

This article examines the criteria affecting water poverty, including driving forces, pressure, state and impact, and to identifies the factors affecting these criteria using the PLS-SEM method in 2011, 2015 and 2019. The findings from estimation of the model show that water poverty in the provinces of the country is affected by driving forces such as the unemployment rate, and the death rate of children under one years old. The state of water poverty is also affected by the pressure structure with variables such as the average annual height of rainfall, the consumption of chemical fertilizers per hectare of cultivated area. In addition, the structure of the state, which indicates environmental changes, has a negative and significant effect on the impacts of water poverty. Regarding the factors influencing water poverty in the years under review, it can be said that the most influencing factor on structures is the percentage of people covered by the social security organization with a coefficient of 0.796, the percentage of irrigated lands out of the total cultivated lands. with a coefficient of 0.893, total drinking water consumption with a coefficient of 0.888 and desert phenomena with a coefficient of 1.

این مقاله معیارهای مؤثر بر فقر آب شامل نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر را مورد بررسی قرار داده و عوامل مؤثر بر این معیارها را با استفاده از روش (PLS-SEM) در مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ شناسایی می‌نماید. یافته‌های حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهند که فقر آبی در استان‌های کشور متأثر از نیروهای محرک مانند نرخ بیکاری، نرخ مرگ و میر کودکان کمتر از یک سال است. هم‌چنین وضعیت فقر آبی متأثر از سازه فشار با متغیرهایی نظیر میانگین سالانه ارتفاع بارندگی، مصرف کود شیمیایی در هر هکتار سطح زیر کشت است. علاوه بر آن سازه وضعیت که نشان‌دهنده تغییرات محیط‌زیستی است اثر منفی و معناداری بر روی اثرات فقر آبی دارد. در خصوص عوامل اثرگذار بر فقر آب در سال‌های مورد بررسی می‌توان گفت که بیشترین عامل اثرگذار بر سازه‌ها درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی با ضریب ۰/۷۹۶، درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت با ضریب ۰/۸۹۳، مصرف آب شرب کل با ضریب ۰/۸۸۸ و پدیده‌های بیابانی با ضریب ۱ هستند.

Keywords: Water Poverty, Partial Least Squares, Structural Equation, Iran.

کلمات کلیدی: فقر آبی، حداقل مربعات جزئی، معادلات ساختاری، ایران.

شود و از این طریق بر سلامتی و تغذیه افراد به خصوص در مناطق روستایی که دسترسی به سیستم‌های بهداشتی انتقال آب نیز در سطح بهینه نیست، تأثیر مستقیم داشته باشد (Upadhyay, 2003). لذا با توجه به این که مفهوم فقر آبی از دیدگاه Sullivan (2002b)، از یک سو مباحث منابع آب و از سوی دیگر مباحثی از جنس برنامه‌ریزی و توسعه را تحت پوشش قرار می‌دهد، برای ادامه مسیر پژوهش پیش‌رو از الویت برخوردار است. این پژوهش با معرفی معیارهای مؤثر بر فقر آب شامل نیروهای محرک^۲، فشار^۳، وضعیت^۴ و اثر^۵ از طریق مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM)^۶ عوامل مؤثر بر فقر آبی در سطح استان‌های ایران برای مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ را شناسایی می‌کند.

این مقاله در پنج بخش سازماندهی شده است که پس از مقدمه در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. بخش سوم روش مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی برای برآورد روابط بین متغیر پنهان فقر آب با شاخص‌های آن را معرفی می‌کند. در بخش چهارم نتایج حاصل از برآورد مدل ارائه می‌شود. بخش پنجم به نتیجه‌گیری تحقیق اختصاص دارد.

۲- بیان مسئله و پیشینه پژوهش

۲-۱- بیان مسئله

منابع آب وجه مشترک اهداف و چالش‌های توسعه پایدار است و کمبود آن یکی از معضلات بزرگ چندبعدی قرن حاضر است که می‌تواند سرمنشأ بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. براساس اظهار نظر کارشناسان منابع آب، دیگر آب یک کالای فراوان و فاقد ارزش اقتصادی نیست بلکه یک کالای بدون جایگزین و با ارزش اقتصادی زیاد در همه زمینه‌های مصرف است (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۵). وجود آب برای زندگی حیاتی است و تأمین آب کافی یک پیش‌نیاز بنیادی برای توسعه اقتصادی- اجتماعی جوامع انسانی است. امروزه تعدد نیازهای استفاده از آب مانند شرب، کشاورزی و صنعت در کنار نیازهای محیط‌زیستی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. محدودیت منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها یک معضل جدی به‌شمار می‌آید که رشد و توسعه کشورها را تحت تأثیر قرار داده است.

کمبود طبیعی، توزیع نامتوازن و اهمیت منابع آب در کنار مسائلی نظیر افزایش بی‌رویه جمعیت و مصارف آبی در کشورهای خاورمیانه، اقتصاد متکی بر کشاورزی، سوء مدیریت و فقدان

توجه به امنیت آبی و مدیریت پایدار به همراه نگاهی ویژه به بحران‌های جدی جهانی در سال‌های آتی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. تأمین و دستیابی به امنیت غذایی، انرژی، آب و محیط‌زیست از الویت‌های اساسی هر کشور برای رشد و شکوفایی است. یکی از شیوه‌های برخورد با مشکلات و بحران‌های موجود در بخش آب، شناسایی نقاط ضعف و ارائه راه‌کار برای برطرف کردن آن‌ها است. به‌منظور بهبود و ارتقا عملکرد بخش آب در هر کشور و استفاده بهینه از منابع آب موجود، باید عملکرد این صنعت به‌طور مستمر ارزیابی شده و نقاط قوت و ضعف آن مشخص شود. یکی از ابزارهای حرکت به‌سوی تمدن و رفاه عمومی و توسعه پایدار جوامع، استفاده بهینه از منابع طبیعی از جمله منابع آب است. عواملی هم‌چون رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و رفاه اجتماعی، توسعه صنعتی و حفاظت اکوسیستم‌ها تقاضای آب را بیشتر می‌کند. تشدید بحران آب در سال‌های آتی با توجه به رشد جمعیت، توسعه صنایع، افزایش آلودگی‌ها، تخریب جنگل‌ها و پوشش گیاهی امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. رفع و حل این بحران نیازمند همکاری و اراده جهانی بوده و آینده‌نگری و برنامه‌ریزی برای منابع آبی در جهان امری ضروری و مهم است. در حال حاضر مدیریت مناسب و کارآمد منابع آبی تبدیل به یک موضوع فراتخصصی شده است و حصول اهداف بنیادی توسعه نظیر ریشه‌کنی فقر، توسعه عادلانه و حفاظت از محیط‌زیست بدون پرداختن دقیق و چندبعدی به مسئله مدیریت منابع آبی امری غیرممکن به‌نظر می‌رسد (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۵). بر این اساس انتخاب رویکرد مناسب برای مشکلات پیش‌روی مدیریت منابع آب ضرورت پیدا کرده و اتخاذ نگرشی واحد با عنوان مدیریت جامع منابع آب در این زمینه می‌تواند مؤثر واقع شود (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۵).

مطالعات مختلف نشان می‌دهد طی چند دهه گذشته بحث توسعه پایدار در زمینه منابع آب صرفاً از یک موضوع تک بعدی فاصله گرفته و دارای ابعاد متنوع و پیچیده‌ای شده است. میان‌کنش منابع آب و توسعه پایدار دیگر فقط به سه بعد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست محدود نمی‌شود و مسائلی نظیر سلامت بشر، تأمین غذا و انرژی، شهری شدن و توسعه صنعتی از طریق سیاست‌ها و اقدامات اجرایی به تقویت یا تضعیف توسعه پایدار خواهد انجامید (شریف‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۵). کمپایی آب ممکن است منجر به کاهش کیفیت آب در دسترس

بین‌المللی مدیریت آب^۹ نشان می‌دهند ایران در وضعیت بحرانی شدید و در آستانه تنش کمبود آب^{۱۰} قرار دارد. در بین شاخص‌های گوناگون معرفی شده برای سنجش بحران آب، شاخص فقر آب^{۱۱} از جامعیت بیشتری برخوردار است (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۵). این شاخص نشان‌دهنده تأثیر ترکیبی عوامل مؤثر بر کمبود و تنش منابع آبی است که امکان الویت‌بندی و تدوین نسخه‌های مدیریتی برای مناطق مختلف را فراهم می‌کند. همچنین می‌توان از آن به‌عنوان یک شاخص عملکرد برای نظارت و ارزیابی سیاست‌های دولت در حوزه آب استفاده نمود (Pandey et al., 2011).

از مهم‌ترین مزایای شاخص فقر آب در نظر گرفتن ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی جوامع به‌همراه تغییرپذیری ابعاد مختلف منابع آب سطحی است که می‌تواند در مقیاس‌های مختلف مکانی استفاده شود. در شاخص فقر آب برخلاف شاخص‌های قبلی، ابعاد مختلف تأثیرگذار بر مدیریت و توسعه منابع آبی در نظر گرفته شده و ابزاری مؤثر و جامع برای تحلیل موجودیت منابع آب سطحی و ارتباط آن با نیازهای انسان و محیط‌زیست است. مهم‌ترین هدف این شاخص توجه به فقر است و با کنار هم گذاشتن ابعاد فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی مشخص می‌کند چه کسانی نمی‌توانند بهره اقتصادی کافی از منابع آب داشته باشند (Thakur et al., 2017). براساس تحقیق Sen (1999)، شاخص فقر آب توسط Sullivan (2002a) ارائه شده است. این شاخص به‌عنوان یک ابزار کاربردی در مدیریت منابع آب، می‌تواند در تعیین الویت‌ها و پایش تغییرات وضعیت منابع آب استفاده شود. شاخص فقر آب درک بهتری از روابط بین میزان آب در دسترس، سهولت برداشت آن و سطح رفاه جامعه فراهم می‌کند (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۵).

مرور پژوهش‌های مرتبط انجام شده نشان می‌دهد در حالی که مطالعات متعددی در خارج از کشور با هدف سنجش امنیت آبی و کمیابی آبی مناطق مختلف انجام شده اما در ایران مطالعه‌ای با هدف بررسی همه جانبه وضعیت امنیت آبی استان‌های مختلف کشور انجام نشده است. لذا پژوهش حاضر با پر کردن کمبودهای تجربی، به شناسایی عوامل مؤثر بر فقر آبی در استان‌های کشور می‌پردازد. در این تحقیق ۴ مؤلفه اصلی فقر آب شامل نیروهای محرک، فشار، حالت و اثر هستند که هر کدام از این مؤلفه‌ها دارای چندین زیر شاخص خواهند بود. نیروهای محرک (D)، به‌شکل توسعه اجتماعی، اقتصادی، یا محیط‌زیستی، فشارهایی (P) را روی محیط‌زیست اعمال می‌کنند، در نتیجه، وضعیت (S) محیط‌زیست تغییر می‌کند که می‌تواند شامل کاهش منابع طبیعی، کاهش

قوانین بین‌المللی حاکم بر آب‌های مشترک، از جمله عوامل تشدیدکننده این بحران هستند که آن‌را به یک منبع عمده ایجاد چالش تبدیل کرده‌اند (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین تغییرات کوچک آب و هوایی می‌تواند مشکلات بسیار پیچیده‌ای را برای منابع آب به‌ویژه برای مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد کند. از جمله تأثیرات مهم تغییر اقلیم، غیریکنواخت بودن توزیع بارش، گسترش خشکسالی‌ها و تداوم آن‌ها و در نهایت تأثیر منفی بر منابع آب در سطح جهان است که این امر سبب ایجاد تنش‌های سیاسی کشورها در زمینه منابع آب و حفظ آن در محدوده سرزمین خود شده است. از طرف دیگر، تأثیرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب را به هیچ‌وجه نمی‌توان نادیده گرفت، بالا رفتن درجه حرارت منجر به افزایش تقاضا برای آب کشاورزی برای تبخیر و تعرق بیشتر است، افزایش درجه حرارت و مقدار تبخیر و تعرق و همچنین کاهش بارندگی باعث افزایش پدیده بیابان‌زایی و شوری خاک می‌شود. کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و منابع آب‌های سطحی از جمله پیامدهای دیگر تغییر اقلیم است.

امنیت آبی مفهومی گسترده و نسبتاً جدید است که برای اولین بار سازمان جهانی آب، با مطرح کردن آن به‌عنوان یک هدف اساسی اشاره می‌کند امنیت آبی زمانی برقرار است که هر فرد در جامعه به آب سالم با مقدار کافی و هزینه‌ای قابل قبول برای یک زندگی پاک، سالم و مولد دسترسی داشته باشد، با این اطمینان که محیط‌زیست محافظت شده و بهبود می‌یابد (سلامی و طاهری ریکنده، ۱۳۹۸). ایجاد امنیت در سطح یک کشور بستر مناسبی را برای رشد و بالندگی آن کشور فراهم می‌سازد. به‌دلیل عدم وجود الگوی مناسب و هدفمند، آشنایی با الگوهای مدیریتی و مصرفی به‌روز و نو در سطح جهان و البته واسنجی شده با شرایط متفاوت اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی کشور ایران می‌تواند دریچه‌ای متفاوت و مناسب در زمینه مدیریت آب نسبت به گذشته به‌رومی مسئولین و مردم کشور بگشاید. با توجه به وجود عوامل مختلف مؤثر بر وضعیت منابع آبی یک منطقه یا حوزه و همچنین با توجه به حساسیت خاص مدیریت و توسعه منابع آبی، هر کدام از شاخص‌های موجودیت یا فقر آب دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود هستند.

در سال‌های اخیر لزوم تدوین و ارائه شاخص‌های جدید جامع و چندبعدی برای ارزیابی وضعیت موجود و پیش‌بینی روند آتی منابع آب (سطحی و زیرزمینی) برای برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار شده است. در این ارتباط برخی شاخص‌های سنجش بحران آب در کشورهای مختلف مثل شاخص فالکن مارک^۷، شاخص سازمان ملل^۸ و شاخص مؤسسه

می‌دهد.

Sarami-Foroushani et al. (2023) شرایط دشت بهار همدان را از نظر حاکمیت آب زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. شاخص‌های حاکمیت آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS-SEM) مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌طور کلی وضعیت شاخص‌های حاکمیت آب‌های زیرزمینی در منطقه نشان داد که این شاخص‌ها همگی پایین‌تر از حد استاندارد بوده و از وضعیت مناسبی برخوردار نیستند. نتایج حاکی از آن بود که سازه‌های سیاست‌گذاری، اطلاعات و داده‌ها و مشارکت ذی‌نفعان بیشترین تأثیر را بر متغیر پنهان حکمرانی آب‌های زیرزمینی داشتند. در حالی که سازه‌های دیگر اثر متوسطی داشتند. از بین سه سازه حکمرانی آب، سازه کارایی با شاخص‌های اطلاعات و داده‌ها، بودجه، قانون‌گذاری و اقدامات ابتکاری بیشترین تأثیر را بر حاکمیت منابع آب زیرزمینی دشت بهار همدان داشت.

Yilret Nanle et al. (2022) پژوهشی را با هدف تعیین نوع رابطه بین متغیرهای مؤثر بر دسترسی ساکنان غیررسمی به آب در منطقه مورد مطالعه انجام دادند. در این تحقیق یک پرسشنامه ساختار یافته تهیه و بر روی نمونه‌ای متشکل از ۳۸۲ پاسخ‌دهنده که اکثراً زنان و دختران در پنج سکونت‌گاه غیررسمی شهر جوس بودند اجرا شد. این مطالعه با استفاده از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی رابطه بین متغیرها را تعیین کرد. نتایج حاکی از آن بود که هزینه و مقرون به‌صرفه بودن، فاصله فیزیکی و صف برای آب تأثیر منفی معناداری بر دسترسی ساکنان به آب دارند.

Manandhar et al. (2012) شاخص فقر آب برای ارزیابی منابع آبی در حوضه آبخیز رودخانه کالی گانداکی در نپال را بررسی کردند. در این پژوهش ۱۰ شاخص و ۱۲ متغیر تعیین شد. نتایج حاکی از آن بود که شاخص‌های دسترسی و منابع در سطح حوضه آبخیز و شاخص‌های مصرف و ظرفیت و محیط‌زیست در زیرواحدهای حوضه دارای تغییرات بیشتری هستند.

El-Gafy (2015) با استفاده از شاخص فقر آب و افزودن زیرشاخص‌ها در ابعادی مانند انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب و سوبه‌های جنسیتی این شاخص را توسعه دادند. سپس با بررسی روند تغییرات شاخص میان دولت‌های مختلف حاکم در مصر، الویت‌های مدنظرشان و تغییرات ناشی از آن‌را در شاخص فقر آبی نمایان کردند. Thakur (2017) شاخص فقر آب در حوضه بالادست رودخانه باگماتی در نپال را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص فقر آب می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت یکپارچه منابع آب و طرح جامع بهره‌برداری از آب به‌منظور

تنوع زیستی و تخریب کیفیت محیط‌زیست شود. سپس این تغییرات اثراتی (I) را روی اکوسیستم، سلامت بشر، و سایر مواد دارند (Caizhi et al., 2018). هدف از این پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر بر فقر آب است.

۲-۲- پیشینه پژوهش

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ارزیابی وضعیت منابع آبی و سنجش امنیت آبی در مناطق مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. پژوهش در خصوص شاخص فقر آبی پیش از سال ۲۰۰۰ آغاز شده است. از اولین پژوهش‌های انجام شده در این حوزه می‌توان به پژوهش (Salameh 2000) اشاره نمود. وی فقر آبی را نسبت آب تجدیدپذیر در دسترس به حجم مورد نیاز برای تأمین مواد غذایی و مصارف خانگی در سال تحت شرایط اقلیمی یک منطقه تعریف کرده است. این دیدگاه، کمبود آب شرب را مرکز توجه قرار می‌دهد. Feitelson and Chenoweth (2002) فقر آبی را برای یک کشور یا منطقه شرایطی تعریف کردند که در آن امکان تأمین هزینه لازم برای دسترسی به آب پایدار برای همه مردم و در تمامی فصول وجود نداشته باشد. در این ساختار، فقر آبی مفهوم اصلی هزینه و توانایی مالی پرداخت در نظر گرفته می‌شود. در همین سال، Sullivan (2002) نظریه‌پرداز اصلی این حوزه از تعریف فقر آمار تیا سن بهره گرفته و فقر آبی را محرومیت از مجموعه عواملی تعریف می‌کند که کمبود منابع آب، تنها مؤلفه شناخته شده آن است. در مطالعات بعدی که در این حوزه صورت گرفت، Lawrence et al. (2002) فقر آبی را به‌عنوان یک شاخص چندبعدی و دارای مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی معرفی کردند (طالبی و امینی، ۱۳۹۷). هم‌چنین مطالعات دیگری در این زمینه انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

Caizhi et al. (2018) رابطه علیت شاخص‌های فقر آب با استفاده از مدل DPSIR (نیروی محرک، فشار، حالت، اثر و پاسخ) را بررسی کردند. سپس سیستم شاخص و مدل معادلات ساختاری با هم ترکیب شدند و رویکرد حداقل مربعات جزئی برای مدل معادلات ساختاری، فرضیه‌ها را براساس رابطه علیت مدل DPSIR آزمون کردند. لازم‌به ذکر است که وزن هر متغیر با استفاده از مدل اصلاح شده و نرم‌افزار معادلات ساختاری به‌دست آمده و امتیازات فقر آب برای هر منطقه محاسبه شد. نتایج تجزیه و تحلیل اکتشافی فضایی حاکی از آن است که توزیع فقر آب در مناطق روستایی چین خوشه‌بندی کم-کم و بالا-بالا را نشان

دستیابی به اهداف توسعه پایدار مورد استفاده قرار گیرد.

(López Álvarez et al. (2015) با استفاده از شاخص فقر آبی منابع آب مناطق نیمه گرمسیری در هوآستکا پوتوسینا مکزیک را ارزیابی کردند. در این مطالعه از مجموع وزنی استاندارد شده شش مؤلفه منابع، دسترسی، مصارف، ظرفیت، کیفیت و محیطزیست استفاده شد. برای محاسبه این مؤلفه‌ها از متغیرهای منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی، حجم مصرف، درصد جمعیتی که به آب آشامیدنی دسترسی دارند، درصد جمعیتی که به آب سالم دسترسی دارند، سهم اراضی آبی از کل زمین‌های کشاورزی، درآمد، نرخ مرگ و میر کودکان زیر پنج سال، شاخص آموزش، ضریب جینی، مصرف آب داخلی، مصرف آب کشاورزی، مصرف آب صنعتی، اراضی به‌کار گرفته شده، مناطق حفاظت‌شده و اطلاعات کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که ارزش نهایی شاخص فقر آبی برای حوضه آبریز والس ریو برابر با ۵۹ از ۱۰۰ است.

(Pan et al. (2014) امنیت آبی و ارزیابی مشکلات اصلی پیش‌روی مدیریت و بهره‌برداری آب در حوضه‌های رودخانه‌های هایه، شیول و شیانگ در استان گانسو چین را بررسی کردند. در این مطالعه از شاخص فقر آبی استفاده شد و پنج مؤلفه منابع، دسترسی، مصارف، ظرفیت و محیطزیست مورد استفاده قرار گرفت. مؤلفه منابع شامل متغیرهای منابع آب سرانه و ضریب جریان سطحی، مؤلفه دسترسی شامل متغیرهای تعداد پزشکان به ازای هر هزار نفر، عرضه آب سطحی و عرضه آب زیرزمینی، مؤلفه مصرف شامل متغیرهای آب مصرفی در بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعت و بوم‌شناختی، مؤلفه ظرفیت شامل متغیرهای سطح آموزش، تولید ناخالص داخلی، درآمد خالص سالانه روستاییان و درآمد قابل تصرف سالانه شهرنشینان، مؤلفه محیطزیست شامل متغیرهای نرخ رقیق‌سازی، تخریب مراتع، اراضی جنگلی حمایت شده، میزان مناطق دارای خاک شور، اراضی کویری و اراضی ماسه‌ای تثبیت شده بودند. نتایج حاکی از آن است که حوضه رودخانه شیول مناسب‌ترین وضعیت را از لحاظ فقر آبی دارد. وضعیت مؤلفه محیطزیست در حوضه رودخانه هایه و وضعیت مؤلفه‌های ظرفیت و منابع در حوضه رودخانه شیانگ مساعد نیست.

موضوع فقر آب در چند مطالعه داخلی نیز مورد توجه قرار گرفته است. طالبی و امینی (۱۳۹۷) وضعیت شهرستان قم و بخش‌های آن را ارزیابی کردند. در این مطالعه مبنای تعیین شاخص فقر آبی روش (Sullivan (2002 بود که یک ترکیب خطی وزنی از اجزای آن شامل: منابع، مصارف، دسترسی، ظرفیت و

محیطزیست است. نتایج حاکی از آن بود که در میان بخش‌های شهرستان از نظر ابعاد پنج‌گانه شاخص فقر آبی تفاوت وجود دارد. بخش مرکزی با شاخص ۱۲۶ پایین‌ترین رتبه و جعفرآباد با شاخص ۲۱۷/۶ بالاترین رتبه را در شاخص فقر آبی به خود اختصاص دادند.

آسیابی هیر و همکاران (۱۳۹۵) شاخص فقر آب را با در نظر گرفتن معیارهای منابع، مصارف، دسترسی، ظرفیت اجتماعی-اقتصادی و محیطزیست در سطح زیر حوضه در استان اردبیل با رویکردهای مختلف وزندهی (وزن یکسان به معیارها و هربار تأکید بر یکی از معیارها در وزندهی) محاسبه کردند. سپس حوضه‌های مختلف براساس وزندهی‌های مختلف از نظر شاخص فقر آب الویت‌بندی شدند. نتایج حاکی از آن بود که محدوده تغییرات مقادیر شاخص فقر آب در حالت‌های مختلف وزندهی بین ۲۲ تا ۶۵ متغیر است. در وزندهی یکسان به معیارهای شاخص فقر آب، حوضه شمس آباد با مقدار ۲۹ بیشترین فقر آبی و حوضه پل سلطان با مقدار ۵۸ کمترین فقر آبی را داشتند. همچنین مقدار متوسط شاخص فقر آب برای کل حوضه‌های مطالعه شده در استان مقدار ۴۳ به‌دست آمد که بر طبق طبقه‌بندی مرکز اکولوژی و هیدرولوژی والینگفورد، فقر آبی شدیدی دارد.

سلامی و طاهری ریکنده (۱۳۹۸) با استفاده از اطلاعات و آمار اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی در طول دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۷ و به‌کارگیری شاخص فقر آبی، سطح امنیت آبی استان‌های ایران را ارزیابی کردند. نتایج حاکی از آن بود که استان‌های سیستان و بلوچستان، قم، کرمان، هرمزگان و گلستان با ناامنی آبی شدید و استان‌های تهران و گیلان با امنیت آبی ضعیف روبه‌رو هستند. همچنین استان‌های آذربایجان شرقی، زنجان، سمنان، کرمانشاه و لرستان در طبقه امنیت آبی بالا و استان‌های بوشهر، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، کردستان و مرکزی در طبقه امنیت آبی کامل هستند.

جلیلی کامجو و نادمی (۱۳۹۸) تأثیر استخراج منابع آب زیرزمینی بر فقر مطلق در مناطق روستایی ایران طی دوره ۱۳۶۴-۱۳۹۳ را با استفاده از تصریح مارکوف سوئیچینگ و تصریح دو رژیم فقر مطلق بررسی کردند. نتایج برآورد مدل نشان داد که فقر روستایی در اقتصاد ایران دارای دو رژیم فقر پایین و بالا است که رژیم فقر پایین ماندگاری بیشتری نسبت به رژیم فقر بالا دارد. همچنین استخراج منابع آب زیرزمینی در رژیم فقر روستایی بالا تأثیری غیرخطی و آستانه‌ای بر شاخص فقر مطلق روستایی دارد. به‌عبارت دیگر تا زمانی که این شاخص کمتر

راهبردی و قدرت اثرگذاری بر تحولات سیاسی، اقتصادی، محیط‌زیستی و حتی نظامی دانستند. لذا با گذشت زمان و کمیابی بیشتر آب، تصمیم‌گیری برای آن، بیشتر تابع تصمیم‌های سیاسی خواهد شد. در این شرایط مدیریت کارآمد آب و حفظ منابع آبی برای آینده، بر چهار محور: جلب حمایت سیاسی به‌منظور بهبود خدمات آب و فاضلاب و مدیریت آن، درگیر ساختن مصرف‌کنندگان در چاره‌اندیشی برای تنگناهای آب، تحکیم مشارکت‌های منطقه‌ای و بین‌بخشی به‌منظور نیل به امنیت آبی و تحرک بخشیدن و جلب توجه مصرف‌کنندگان به بحران آب باید متمرکز شود. لذا نیل به موفقیت در چهار رویکرد فوق نیازمند ورود عرصه اجتماعی در مدیریت خدمات آب و فاضلاب است.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق با توجه به ماهیت پنهان فقر آب از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) برای تجزیه و تحلیل فقر آب و شناسایی عوامل مؤثر بر آن استفاده می‌شود. این رویکرد که بر اساس رابطه آماری بین متغیرهای پنهان^{۱۴} و متغیرهای آشکار^{۱۵} تعریف می‌شود، امکان برآورد اندازه متغیر پنهان را فراهم می‌آورد. مدل‌سازی معادلات ساختاری با دو نسل روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها معرفی شده است. نسل اول روش‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری، روش‌های کوواریانس محور^{۱۶} هستند که برای این کار به نمونه‌هایی با حجم بالا نیاز است. نسل دوم روش‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری، روش‌های مؤلفه محور^{۱۷} هستند که به روش حداقل مربعات جزئی (PLS) تغییر نام دادند.

روش نسل دوم مزایای مهمی نسبت به روش نسل اول دارد که مهم‌ترین آن عدم نیاز به حجم بالای نمونه و نرمال بودن توزیع داده‌ها است. همچنین سازه‌ها حتی با یک شاخص نیز می‌توانند در مدل ترسیم شوند. مدل‌سازی معادلات ساختاری از دو بخش مدل اندازه‌گیری^{۱۸} و مدل ساختاری^{۱۹} تشکیل می‌شوند. مدل اندازه‌گیری چگونگی توضیح و تبیین متغیرهای پنهان توسط متغیرهای آشکار مربوطه را بررسی می‌نماید و مدل ساختاری نشان می‌دهد چگونه متغیرهای پنهان در پیوند با یکدیگر قرار گرفته‌اند. مدل اندازه‌گیری در مدل‌سازی معادلات ساختاری به دو بخش مدل با شاخص‌های انعکاسی^{۲۰} و مدل با شاخص‌های سازنده^{۲۱} تقسیم می‌شود. در مدل با شاخص‌های انعکاسی، سازه سازنده شاخص‌های خود است و در مدل با شاخص‌های سازنده، شاخص‌ها ویژگی‌های تعریف‌کننده سازه به‌شمار می‌روند. تفاوت مهم بین دو مدل انعکاسی و سازنده در نوع رابطه بین

از ۷۴/۴۶ باشد، افزایش آن توانسته است موجب کاهش فقر مطلق روستایی شود. اما پس از افزایش بی‌رویه استخراج منابع آب زیرزمینی و عبور از حد آستانه فوق، افزایش استخراج منابع آب زیرزمینی موجب افزایش فقر مطلق روستایی می‌شود. نتایج حاکی از آن بود که منابع آب زیرزمینی باید مبتنی بر یک مسیر بهینه استخراج بلندمدت به‌منظور نیل به توسعه پایدار مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

رضایی (۱۴۰۱) با استفاده از روش پژوهش اسنادی و نظریه دو راهی اجتماعی، عامل‌های مؤثر در بروز رفتارهای همیارانه برای حفاظت از آب را تشریح کرد. او راه‌کارهایی نظیر آموزش، تعهد اخلاقی، برقراری ارتباطات، کمیابی، جهت‌گیری ارزش‌های اجتماعی و تحریم‌های اجتماعی را برای استفاده پایدار از این منبع ارائه داد. ثابتی و همکاران (۱۳۹۴) وضعیت آب در حوضه آبریز کارون بزرگ را با استفاده از ۵ مؤلفه منابع، دسترسی، مصرف، ظرفیت و محیط‌زیست بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که شاخص‌های مصرف و ظرفیت شرایط نامطلوبی دارند. همچنین نتایج مقایسه ۵ استانی که در این حوضه قرار گرفته‌اند نشان داد که استان چهارمحال و بختیاری با نمره ۳۹/۵ شرایط بهتری دارد و استان خوزستان با نمره ۳۵/۶ دارای فقر آبی زیاد است.

فلاحی (۱۳۹۶) میزان کمبود آب با استفاده از شاخص‌های مرسوم را بررسی کرد. در این پژوهش از سه شاخص فقر آبی، فالکن مارک و توسعه پایدار سازمان ملل برای تعیین میزان کمبود آب در استان کردستان استفاده شد. بدین منظور ابتدا مقادیر هریک از شاخص‌ها محاسبه و سپس نقشه کمبود آبی برای هر سه شاخص با استفاده از نرم‌افزار GIS ترسیم و در نهایت ماتریس همبستگی بین شاخص‌ها و معیارهای شاخص فقر آبی با نرم‌افزار SPSS حاصل شد. براساس نتایج شاخص فقر آبی، شهرستان سروآباد کمترین و شهرستان قروه دارای بیشترین مقدار عددی را داشتند. براساس نتایج شاخص فالکن مارک، شهرستان‌های سروآباد، کامیاران، دیوان‌دره، مریوان، بانه و سقز فاقد مشکل کمبود آب و شهرستان‌های دهگلان، قروه و سنندج جزء مناطق با تنش آبی شدید بودند. همچنین براساس شاخص سازمان ملل، شهرستان‌های سروآباد، مریوان، بیجار، بانه و دیوان‌دره با مقدار کمتر از ۱۰ درصد از برداشت منابع آبی با بحران آب کم و شهرستان‌های سقز و کامیاران با مقدار برداشت بین ۲۰-۱۰ درصد از منابع آبی با بحران آب در حد متعادل و شهرستان‌های قروه، سنندج و دهگلان با مقدار برداشت بین ۲۰-۴۰ درصد از منابع آبی با بحران آب در حد متوسط تا شدید روبه‌رو بودند.

پاکروح و همکاران (۱۳۹۷) آب را به‌عنوان کالایی با ماهیت

شاخص و سازه است. در مدل انعکاسی رابطه بین سازه و شاخص از نوع رگرسیون خطی ساده است که نشان‌دهنده تأثیر سازه بر تک‌تک شاخص‌ها است در حالی که در مدل سازنده، رگرسیون چندگانه بین سازه و شاخص‌هایش برقرار است، زیرا شاخص‌ها به صورت همزمان بر سازه تأثیر می‌گذارند. این تفاوت مهم باعث می‌شود که بارهای عاملی بین شاخص و سازه در مدل‌های سازنده تحت تأثیر هم‌خطی بین متغیرهای مستقل قرارگیرد در حالی که در مدل انعکاسی این موضوع صادق نیست (داوری و رضازاده، ۱۳۹۶). ضرایب مدل PLS با استفاده از وزن‌های حاصل از الگوریتم PLS و اعداد متغیرهای پنهان در یک روش تکراری برآورد می‌شوند (Henseler and Sarstedt, 2013).

برای برازش معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزیی از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود. استفاده از آماره t معیاری است که به طور عمومی برای آزمون معنی‌داری بارهای عاملی در مدل‌های اندازه‌گیری و نیز رابطه بین سازه‌ها در مدل ساختاری کاربرد دارد. معیار دیگر برای بررسی برازش بخش اندازه‌گیری، معیار پایایی ترکیبی CR^2 (CR) مقدار CR یک سازه از یک نسبت حاصل می‌شود که در صورت این کسر، واریانس بین یک سازه با شاخص‌هایش و در مخرج کسر، واریانس سازه با شاخص‌هایش به اضافه مقدار خطای اندازه‌گیری می‌آید. در صورتی که مقدار CR برای هر سازه بالای $0/7$ شود نشان از پایداری درونی مناسب برای مدل‌های اندازه‌گیری دارد و مقدار کمتر از $0/6$ عدم وجود پایایی را نشان می‌دهد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۶). علاوه بر آن کیفیت مدل‌های اندازه‌گیری در روش PLS، با استفاده از معیار Commuality (مقادیر اشتراکی) ارزیابی می‌شود. این معیار نشان می‌دهد که چه مقدار از تغییرپذیری شاخص‌ها توسط سازه مرتبط با خود تبیین می‌شود. مقدار Commuality مربوط به هر شاخص از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

برای ارزیابی مدل ساختاری یکی از رویه‌های ارزیابی، ارزیابی مدل ساختاری برای مسأله هم‌خطی است. برای ارزیابی هم‌خطی از معیار $VIF^{۲۶}$ استفاده می‌شود. نحوه محاسبه VIF به صورت زیر است.

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (۳)$$

اگر مقدار این معیار کمتر از $0/۲$ (VIF بالاتر از ۵) در سازه‌های پیش‌بین باشد نشان‌دهنده هم‌خطی است. اگر هم‌خطی به وسیله دستورالعمل تحمل (VIF) مشخص شد، حذف سازه‌ها، ادغام سازه‌های پیش‌بین در یک سازه، یا خلق سازه‌های مرتبه بالاتر برای برخورد با مسئله هم‌خطی باید مدنظر قرار گیرد (آذر و غلام‌زاده، ۱۳۹۸).

در ارزیابی برازش بخش ساختاری، علاوه بر استفاده از آماره χ^2 برای سنجش رابطه بین سازه‌ها در مدل ساختاری از معیار ضریب تعیین (R^2) نیز استفاده می‌شود. R^2 معیاری است که برای متصل کردن بخش اندازه‌گیری و بخش ساختاری مدل‌سازی معادلات ساختاری به کار می‌رود و نشان از تأثیری دارد که یک متغیر برون‌زا بر یک متغیر درون‌زا می‌گذارد. مقدار R^2 تنها برای سازه‌های درون‌زای مدل محاسبه می‌شود و در مورد سازه‌های

برای برازش معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزیی از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود. استفاده از آماره t معیاری است که به طور عمومی برای آزمون معنی‌داری بارهای عاملی در مدل‌های اندازه‌گیری و نیز رابطه بین سازه‌ها در مدل ساختاری کاربرد دارد. معیار دیگر برای بررسی برازش بخش اندازه‌گیری، معیار پایایی ترکیبی CR^2 (CR) مقدار CR یک سازه از یک نسبت حاصل می‌شود که در صورت این کسر، واریانس بین یک سازه با شاخص‌هایش و در مخرج کسر، واریانس سازه با شاخص‌هایش به اضافه مقدار خطای اندازه‌گیری می‌آید. در صورتی که مقدار CR برای هر سازه بالای $0/7$ شود نشان از پایداری درونی مناسب برای مدل‌های اندازه‌گیری دارد و مقدار کمتر از $0/6$ عدم وجود پایایی را نشان می‌دهد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۶). علاوه بر آن کیفیت مدل‌های اندازه‌گیری در روش PLS، با استفاده از معیار Commuality (مقادیر اشتراکی) ارزیابی می‌شود. این معیار نشان می‌دهد که چه مقدار از تغییرپذیری شاخص‌ها توسط سازه مرتبط با خود تبیین می‌شود. مقدار Commuality مربوط به هر شاخص از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$Commuality(Y) = (X)^2 \quad (۱)$$

که X : بار عاملی Y و Y : متغیر شاخص هستند. لذا میانگین مقادیر اشتراکی شاخص‌ها در سازه‌ای با سه شاخص از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$AVE = \frac{Commuality(Y_1) + Commuality(Y_2) + Commuality(Y_3)}{3} \quad (۲)$$

که AVE : میانگین واریانس استخراج شد ۲۴ است. این معیار میزان همبستگی یک سازه با شاخص‌های خود را نشان می‌دهد که هرچه این همبستگی بیشتر باشد، برازش نیز بیشتر است

رابطه بین فقر آب و متغیرهای مؤثر بر آن تحلیل می‌شود. دلایل انتخاب مدل PLS-SEM به ماهیت پنهان فقر آب و رابطه آن با متغیرهای آشکار باز می‌گردد که استفاده از رویکرد معادلات ساختاری را توجیه می‌کند. علاوه بر این، طبق نظر محققان، SEM قابلیت آن دارد تا به آزمون همزمان فرضیه‌های اقتصادی از روابط متعدد بین متغیر پنهان و علل و آثار آن با استفاده از یک روش آماری واحد بپردازد (Dell'Anno, 2020). لذا با توجه به آن که فقر آب یک پدیده چند بعدی است که اندازه آن تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد، از مدل‌سازی معادلات ساختاری برای تحلیل روند آن استفاده شده است. هم‌چنین یکی از ویژگی‌های مهم مدل PLS-SEM، عدم نیاز به حجم بالای نمونه و نرمال بودن توزیع داده‌ها است که این روش را به لحاظ سادگی و سهولت در دسترسی به مدل مناسب از لحاظ شاخص‌های برازش در وضعیت بهتری نسبت به دیگر روش‌های آماری از جمله الگوی ارتباطات خطی ساختاری قرار می‌دهد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۶).

۴- برآورد مدل و تحلیل تجربی

در این قسمت نتایج برآورد مدل فقر آب به روش PLS-SEM ارائه می‌شود.

۴-۱- برازش مدل‌های اندازه‌گیری و مدل ساختاری

آمارهای توصیفی تحقیق در جدول ۱ آورده شده است. در مرحله برآورد مدل فقر آب به روش حداقل مربعات جزئی، اطلاعات متغیرها در مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ مورد استفاده قرار گرفتند که در جدول ۲ معرفی می‌شوند.

جدول ۱- آمارهای توصیفی در مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸

Std.Error	Mean	Max	Min	MVs	LVs
۱/۵۲۶	۳/۴۷۸	۸/۳۰۵	۱/۲۱۹	MO ₁₃₉₀	D
۳/۲۱۴	۱۲/۲۱۶	۱۹/۳	6	U ₁₃₉₀	
۲/۵۹۲	۱۱/۴۷۴	۱۷/۷	۷/۳	U ₁₃₉₄	
۲/۵۱۸	۱۰/۷۹۳	۱۵/۷	۶/۹	U ₁₃₉₈	
۳۲/۴۵۲	۶۲/۳۸۲	۲۰۷/۵۶	۳۰/۰۲	GDP ₁₃₉₀	
۱۲/۹۳۷	۴۴/۷۶۸	۷۳/۷۴	۲۰/۳۵	PS ₁₃₉₀	
۱۴/۰۴۹	۵۳/۳۲۳	۹۰/۸۸	۲۶/۱۸	PS ₁₃₉₄	
۴/۵۹۷	۳/۲۲۵	۲۶/۶۳	۰/۶۰۹	PGDP ₁₃₉₄	
۱/۹۴۲	۱۷/۱۵۲	۲۳/۲۶	۱۴/۰۸	ED ₁₃₉₄	
۱/۵۴۳	۶/۸۱۴	۱۰/۶۹	۴/۲۶	ND ₁₃₉₈	
۲۴۲/۱۳۲	۳۲۶/۰۹۸	۱۲۳۱/۱۳	۶۰/۳۱	R ₁₃₉₀	P
۲۰۸/۵۴۱	۳۳۸/۸۸۳	۹۷۷/۲	۶۸/۷	R ₁₃₉₄	
۱۷۴/۴۸۶	۳۲۴/۳۱۲	۸۵۰/۷	78	R ₁₃₉₈	

بروز، مقدار این معیار صفر است. Chin (1981) سه مقدار ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ را به عنوان مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی R^2 معرفی کرده است.

پس از بررسی برازش مدل‌های اندازه‌گیری و مدل ساختاری، مسئله ارزیابی برازش بخش کلی مدل‌های معادلات ساختاری مطرح می‌شود که برای این کار از معیار GOF^{29} استفاده می‌شود. معیار GOF طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$GOF = \sqrt{\text{Communalities} * R^2} \quad (4)$$

که $\overline{\text{Communalities}}$ نشان‌دهنده میانگین مقادیر اشتراکی هر سازه است و $\overline{R^2}$: نیز مقدار میانگین مقادیر ضریب تعیین سازه‌های درون‌زای مدل است. Wetzels et al. (2009) سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ را به عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای GOF معرفی نمودند.

پس از بیان روش تحقیق با توجه به این که ویژگی‌های استانی نیز می‌توانند روی مدل اثر بگذارند، از متغیرهای مجازی استفاده می‌شود. برای در نظر گرفتن اثرات استانی و به منظور جلوگیری از پیچیدگی مدل استان‌های کشور به چند ناحیه تقسیم شدند که برای این کار و به منظور طبقه‌بندی اقلیمی با در نظر گرفتن عامل رطوبت، دما و جهت‌گیری باد ۶ ناحیه اقلیمی به شرح ذیل در نظر گرفته شده است: ناحیه اقلیمی مرطوب و معتدل (خزر)، ناحیه اقلیمی نیمه‌خشک کشور، ناحیه اقلیمی زاگرس، ناحیه اقلیمی بیابانی خیلی گرم ساحلی، ناحیه اقلیمی بیابانی معتدل تا شدید خیلی گرم داخلی، ناحیه اقلیمی بیابانی نیمه گرم تا گرم (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸).

پس از برآورد مدل با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی

تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر فقر آبی در ایران با استفاده از رویکرد (PLS-SEM)

Std.Error	Mean	Max	Min	MVs	LVs	
۲۵/۷۶۲	۶۵/۵۹۵	۹۹/۹۸	۱۶/۶۹	IL ₁₃₉₀		
۲۶/۰۳۷	۶۵/۱۱۱	۹۹/۹۸	۱۵/۷۲	IL ₁₃₉₄		
۲۵/۱۷۸	۶۴/۹۸۷	۹۹/۹	۱۵/۷۲	IL ₁₃₉₈		
۰/۰۰۱۱۹	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۱۰۸	RG ₁₃₉₀		
۰/۰۰۱۰۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۱۱۷	RG ₁₃₉₈		
۱۹/۴۱۱	۱۲/۷۳۴	۸۷/۶۹	۰/۳۵	TCR ₁₃₉₀		
۱۴/۷۶۴	۱۰/۹۸۵	۶۱/۱۷	۰/۳۷	TCR ₁₃₉₄		
۰/۱۸۳	۰/۷۹۸	۰/۹۴	0	AW ₁₃₉₀		
۰/۰۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۴۱	0	AGDP ₁₃₉₀		
۰/۰۰۳۵۷	۰/۰۰۲۳۱	۰/۱۲۸	0	CP ₁₃₉₈		
۰/۰۰۴۶۵	۰/۱۴۳	۰/۲۵۵	۰/۰۸	FE ₁₃₉₈		
۰/۰۰۵۴۳	۰/۲۵	۰/۴۰۱	۰/۱۳۴	PNW ₁₃₉₀		S
۲۴/۹۷۲	۲۶/۱۱۶	۹۱/۳۳۸	۰/۱۰۵	SW ₁₃₉₀		
۰/۰۰۰۰۲۱۱	۰/۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۹۸۸	۰/۰۰۰۰۰۹	PGW ₁₃₉₀		
۰/۰۰۰۰۰۸۵۷	۰/۰۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۰۷۰۳	۰/۰۰۰۰۲۸	PVDW ₁₃₉₀		
۰/۰۰۰۰۰۰۱۹۸	۰/۰۰۰۰۰۰۱۵۴	۰/۰۰۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۰۹۹	DVDW ₁₃₉₄		
۲۸۲۱/۰۸	۲۱۴۷/۳۲	۱۴۰۶۷	۴۵/۴۲	TAW ₁₃₉₄		
۵۵۵۵/۲۹	۲۶۵۰/۶۴	۲۹۲۹۸	۰	TAW ₁₃₉₈		
۶/۶۸	۴/۰۸۲	۲۹/۳۰۲	۰/۱۳۹	GNW ₁₃₉₄		
۶/۶۷۸	۳/۹۱۳	۳۲/۸۷	۰	GNW ₁₃₉₈		
۰/۰۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۱۰۸	۰/۰۰۰۰۲۶۱	۰/۰۰۰۰۱۷	PTW ₁₃₉₄		
۲۱/۸۵۳	۴۸/۶۱	۹۶	۱۱	P ₁₃₉₈		
۱۴۴/۱۴۳	۱۵۳/۶۸	۷۱۸/۱۳	۱۷/۲۴	GW ₁₃₉₈		
۱۵۱/۲۵۷	۱۴۷/۷۸۷	۸۴۱/۹۹	۳۵/۷۹	VDW ₁₃₉₈		
۳۴۴/۵۲۳	۲۷۱/۴۸	۱۶۲۸	۰	TW ₁₃₉₈		
۷۸۸/۰۸۶	۲۱۳/۸	۴۵۰۵	۰	TIW ₁₃₉₈		
۵/۱۵۴	۶/۸۰۷	۲۷/۱۲۹	۰/۳۲۷	EN ₁₃₉₀	I	
۵/۲۷۴	۷/۱۶۳	۲۷/۴۸۸	۱/۶۲۸	EN ₁₃₉₄		
۲۰/۱۴۵۴	۱۰۵/۰۸۵	۷۸۶/۰۵۵	۰/۰۰۲۶	DPH ₁₃₉₀		
۱۹۳/۳۸	۱۰۵/۰۸۵	۷۸۶/۰۵۵	۰/۰۰۲۶	DPH ₁₃₉₄		
۱۹۳/۳۸	۱۰۵/۰۸۵	۷۸۶/۰۵۵	۰/۰۰۲۵۷	DPH ₁₃₉₈		

جدول ۲- متغیرهای مفهومی مدل در مقاطع زمانی ۱۳۹۸، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۰

I	S	P	D	سال
EN [0.642(0.000)]	PNW [0.553(0.000)]	R [0.844(0.000)]	MO [0.208(0.000)]	۱۳۹۰
DPH [0.905(0.000)]	SW [0.392(0.000)]	IL [0.783(0.000)]	U [0.624(0.000)]	
	PGW [0.756(0.000)]	RG [0.621(0.000)]	GDP [0.749(0.000)]	
	PVDW [0.571(0.000)]	TCR [0.397(0.000)]	PS [0.796(0.000)]	
		AW [0.183(0.000)]		
	AGDP [0.517(0.000)]			
EN [0.580(0.000)]	DVDW [0.623(0.000)]	R [0.723(0.000)]	U [0.452(0.000)]	۱۳۹۴
DPH [0.910(0.000)]	TAW [0.666(0.000)]	IL [0.848(0.000)]	PGDP [0.143(0.000)]	
	GNW [0.491(0.000)]	TCR [0.615(0.000)]	PS [0.739(0.000)]	
	PTW [0.650(0.000)]		ED [0.503(0.000)]	
DPH [1(0.000)]	P [0.119(0.000)]	R [0.686(0.000)]	U [0.629(0.000)]	۱۳۹۸
	GW [0.685(0.000)]	IL [0.893(0.000)]	ND [0.934(0.000)]	
	VDW [0.749(0.000)]	CP [0.471(0.000)]		
	TAW [0.121(0.000)]	FE [0.410(0.000)]		
	TW [0.888(0.000)]	RG [0.213(0.000)]		
	TIW [0.494(0.000)]			
	GNW [0.753(0.000)]			

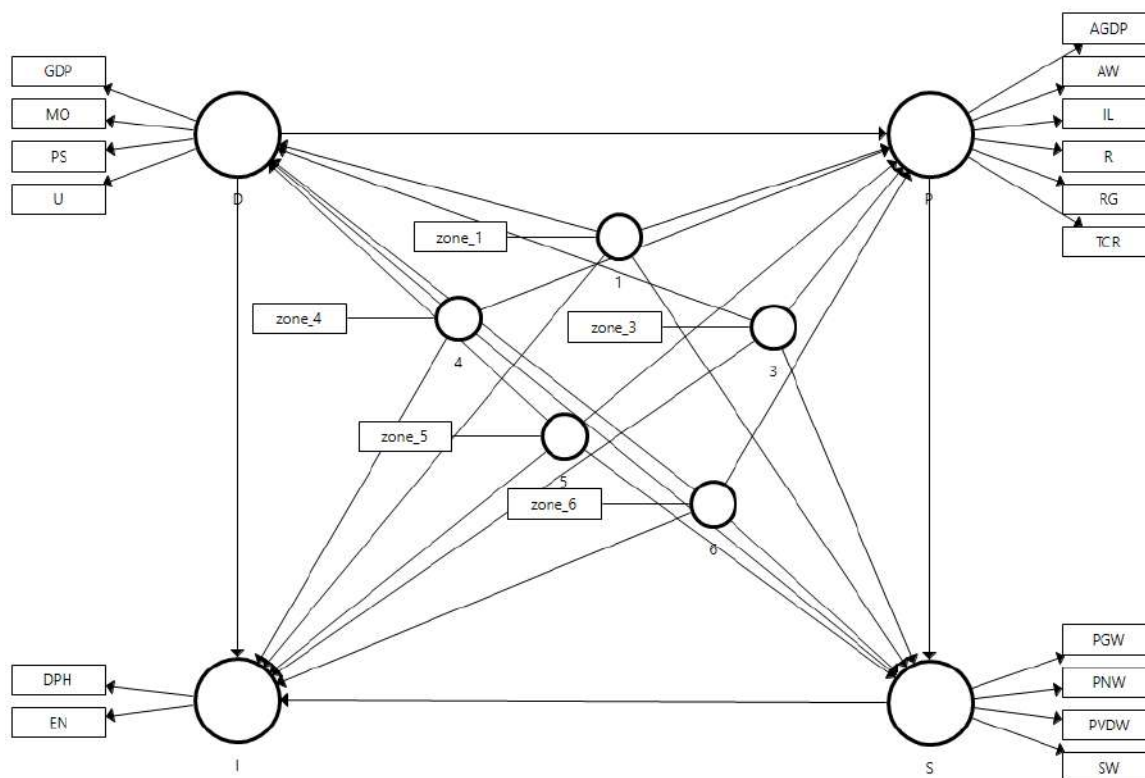
کشاورزی به کل مصارف، AGDP: سهم آب کشاورزی در تولید ناخالص داخلی، P: درصد جمعیت تحت پوشش خدمات جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب شهری، PNW: سرانه تعداد انشعاب آب در نقاط شهری و روستایی، SW: مقدار منابع آب سطحی سالانه به ازای هر یک میلیون نفر، GW: حجم کل آب زیرزمینی، PGW: مقدار منابع آب زیرزمینی سالانه به ازای هر فرد، VDW: حجم کل فروش آب خانگی، PVDW: سرانه مصرف آب خانگی سالانه، DVDW: سرانه مصرف روزانه آب خانگی، TAW: مصرف آب کشاورزی کل، TW: آب شرب کل، TIW: آب صنعتی کل، GNW: مصرف آب فضای سبز، PTW: سرانه مصرف آب شرب کل، EN: درصد مساحت مناطق حفاظت شده تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست از کل مساحت استان و DPH: پدیده‌های بیابانی هستند. اعداد جلوی هر متغیر نیز نشان‌دهنده مقدار بار عاملی و اعداد داخل پرانتز نیز مقادیر P-Value هستند.

طبق تعاریف انجام شده در قسمت قبل، سازه‌های D، P، S و I از نوع انعکاسی هستند. نتایج حاصل از برآورد سازه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SmartPLS3 به دست آمده است. نمودار مسیر حاصل از برآورد فقر آب در شکل ۱ و نتایج پارامترهای مدل نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

اطلاعات مربوط به متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش از وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، مرکز آمار ایران، سازمان ثبت احوال کشور، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی (مرکز آمار و اطلاعات راهبردی)، وزارت جهاد کشاورزی (معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات) جمع‌آوری شده است. پس از بیان روش تحقیق، در چارچوب دلایل تجربی و نظری ارائه شده در قسمت ادبیات پژوهش و بر مبنای روش معادلات ساختاری متغیرهای فقر آب در هریک از سازه‌های مدل نهایی، بهترین برازش به صورت جدول ۲ معرفی می‌شود.

متغیرهای جدول ۲ به شرح زیر است.

MO: نرخ مرگ و میر کودکان کمتر از یکسال، U: نرخ بیکاری، PGDP: سهم استان‌ها از تولید ناخالص داخلی بدون نفت، GDP: سرانه تولید ناخالص داخلی بدون نفت، ND: تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر، PS: درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی، ED: نرخ ثبت نام در آموزش و پرورش، R: میانگین سالانه ارتفاع بارندگی، IL: درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت، CP: مصرف سموم در هر هکتار زمین، FE: مصرف کود شیمیایی در هر هکتار سطح زیر کشت، RG: نسبت بارش به هر هکتار زمین کشاورزی، TCR: مجموع مصرف خانگی، کشاورزی، صنعتی و عمومی به بارش، AW: نسبت مصرف آب



شکل ۱- مسیر مدل فقر آب

جدول ۳- نتایج پارامترهای CR، AVE و R² در مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸

سال	پارامتر	D	P	S	I
۱۳۹۰	CR	۰/۷۰۴	۰/۷۴۵	۰/۶۶۱	۰/۷۵۷
	AVE	۰/۴۰۶	۰/۳۶۲	۰/۳۳۹	۰/۶۱۵
	R ²	۰/۲۳۷	۰/۴۴۵	۰/۳۳۳	۰/۵۳۴
۱۳۹۴	CR	۰/۵۳۱	۰/۷۷۶	۰/۷۰۳	۰/۷۲۶
	AVE	۰/۲۵۶	۰/۵۴	۰/۳۷۴	۰/۵۸۲
	R ²	۰/۴۲۵	۰/۶۱۶	۰/۲۴۴	۰/۳۵۸
۱۳۹۸	CR	۰/۷۶۹	۰/۶۸۴	۰/۷۷	۱
	AVE	۰/۶۳۴	۰/۳۴۱	۰/۳۸	۱
	R ²	۰/۳	۰/۷۴۹	۰/۳۷	۰/۴۸۶

مجموع روایی همگرایی مناسب در مورد سازه‌ها وجود دارد. یکی دیگر از معیارهای برازش مدل اندازه‌گیری معیار روایی واگرا است که نتایج آن در چارچوب ماتریس فورنل و لارکر در جدول‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که عناصر روی قطر اصلی از مقادیر زیرین خود بیشتر است که این امر روایی واگرایی قابل قبول مدل را نشان می‌دهد.

طبق اطلاعات مندرج در جدول ۳ متغیرهای مفهومی، بار عاملی متغیرها مثبت و معنی‌دار به دست آمده است که رابطه مستقیم بین متغیرها و سازه‌ها را تأیید می‌کند. در ادامه برای ارزیابی مدل اندازه‌گیری با شاخص‌های انعکاسی مقدار AVE سازه‌ها در مقاطع ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ در جدول ۳ گزارش شد که اطلاعات مندرج در جدول ۳ حاکی از آن است که در

جدول ۴- ماتریس سنجش روایی واگرا به روش فورنل و لارکر در سال ۱۳۹۰

سازه‌ها	D	I	P	S
D	۰/۶۳۸			
I	۰/۳۶۶	۰/۷۸۴		
P	۰/۴۳۸	۰/۷۵۱	۰/۶۰۱	
S	۰/۰۳۵	-۰/۵۵۶	-۰/۵۵۹	۰/۵۸۲

جدول ۵- ماتریس سنجش روایی واگرا به روش فورنل و لارکر در سال ۱۳۹۴

سازه‌ها	D	I	P	S
D	۰/۵۰۶			
I	۰/۳۸۴	۰/۷۶۳		
P	۰/۳۹۵	۰/۴۷۰	۰/۷۳۵	
S	۰/۲۴۴	-۰/۵۰	۰/۱۱۱	۰/۶۱۲

جدول ۶- ماتریس سنجش روایی واگرا به روش فورنل و لارکر در سال ۱۳۹۸

سازه‌ها	D	I	P	S
D	۰/۷۹۶			
I	۰/۱۲۴	۱		
P	-۰/۰۸۲	۰/۶۲۴	۰/۵۸۴	
S	-۰/۱۵۸	-۰/۰۷۴	۰/۱۷۲	۰/۶۱۶

معنی‌دار نیروهای محرک بر فشار و اثر و هم‌چنین اثر معنی‌دار فشار بر وضعیت و نیز اثر معنی‌دار وضعیت بر اثر تأیید می‌شود. در بررسی برازش مدل ساختاری مقدار R² اهمیت دارد که میزان

مدل فقر آب از یک مدل ساختاری تشکیل شده است که ارتباط بین سازه‌ها را تبیین می‌کند. در جدول ۷ اطلاعات مربوط به برآورد مدل ساختاری پژوهش ارائه شده است که طبق آن اثر

با توجه به نتایج جدول ۷، علامت ضرایب مسیر در مقاطع ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ مطابق انتظار بوده و لذا فرضیه‌های تحقیق تأیید می‌شوند. مقادیر VIF سازه‌های مدل نیز در جدول ۸ ارائه شده است.

توضیح‌دهندگی متغیر درون‌زا توسط متغیر برون‌زا را نشان می‌دهد. مقادیر R^2 سازه‌ها در جدول ۳ نشان داده شد. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۳ می‌توان گفت متغیرهای برون‌زا به خوبی (قویا) تغییرات متغیر درون‌زا را توضیح می‌دهند.

جدول ۷- نتایج برآورد مدل ساختاری در مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸

سال	مسیر	ضریب	p-Value	نتیجه
۱۳۹۰	D → P	۰/۱۹۹	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	P → S	-۰/۵۲۸	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	S → I	-۰/۵۳۵	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	D → I	۰/۳۵۹	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
۱۳۹۴	D → P	۰/۳۵۹	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	P → S	-۰/۲۲۲	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	S → I	-۰/۲۴۹	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	D → I	۰/۳۶۰	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
۱۳۹۸	D → P	۰/۲۲۵	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	P → S	-۰/۵۷۳	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	S → I	-۰/۴۰۶	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی
	D → I	۰/۲۹۵	۰/۰۰۰	داری تأیید معنی

جدول ۸- مقادیر VIF سازه‌های مدل در مقاطع ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸

مسیر	۱۳۹۰	۱۳۹۴	۱۳۹۸
D → P	۱/۳۱۱	۱/۷۴۰	۱/۴۲۹
P → S	۱/۷۱۰	۲/۱۸۱	۳/۴۸۸
S → I	۱/۲۹۸	۱/۲۹۰	۱/۴۱۶
D → I	۱/۴۱۳	۱/۷۴۸	۱/۴۶۵

کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت، مصرف آب شرب کل و پدیده‌های بیابانی با ضریب اهمیت ۰/۹۳۴، ۰/۸۹۳، ۰/۸۸۸ و ۱ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر فقر آبی در سال ۱۳۹۸ معرفی می‌شوند.

در مجموع براساس نتایج تحقیق در سال‌های مختلف اولاً، متغیرهای بیان‌گر نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر، تغییرات فقر آبی در استان‌های کشور را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. ثانیاً، متغیرهای درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی، درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت، پدیده‌های بیابانی به‌عنوان عوامل مشترک اثرگذار بر فقر آبی در سال‌های مختلف شناسایی شدند. هر چه درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی در استان‌ها بیشتر باشد امکان دسترسی افراد به منابع آبی با سهولت بیشتری انجام می‌شود و فقر آبی در سطح پایین‌تری قرار می‌گیرد. هم‌چنین هر چه درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت بیشتر باشد می‌توان پیش‌بینی

با توجه به این‌که مقادیر VIF برای سازه‌های مدل کوچکتر از ۵ است، نشان‌دهنده عدم هم‌خطی بوده و لذا سازه‌ها در مدل باقی می‌مانند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در سازه‌های نیروی محرک، فشار، وضعیت و اثر به ترتیب متغیرهای درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی، میانگین سالانه ارتفاع بارندگی، مقدار منابع آب زیرزمینی سالانه به‌ازای هر فرد و پدیده‌های بیابانی با ضریب اهمیت ۰/۷۹۶، ۰/۸۴۴، ۰/۷۵۶ و ۰/۹۰۵ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر فقر آبی در سال ۱۳۹۰ شناسایی می‌شوند. هم‌چنین در سال ۱۳۹۴ در سازه‌های نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر به ترتیب متغیرهای درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی، درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت، مصرف آب کشاورزی کل و پدیده‌های بیابانی با ضریب اهمیت ۰/۷۳۹، ۰/۸۴۸، ۰/۶۶۶ و ۰/۹۱۰ نقش تعیین‌کننده‌ای در فقر آبی سال ۱۳۹۴ دارند. علاوه بر این متغیرهای تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر، درصد اراضی زیر

لذا حاصل شدن مقدار $0/5294$ برای GOF نشان از برازش کلی قوی مدل دارد.

۵- نتیجه‌گیری

بنابر ماهیت چندبعدی مباحث منابع آب که در ابتدای پژوهش نیز ذکر شد، استفاده از یک ابزار چندبعدی در برنامه‌ریزی و مطالعه منابع آب ضروری می‌نماید. در پژوهش حاضر شناسایی معیارهای مؤثر بر فقر آب شامل نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر در استان‌های کشور با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر آن صورت گرفت. در بررسی فقر آب، ابعاد مختلف تأثیرگذار بر مدیریت منابع آبی در نظر گرفته شده است و ابزاری مؤثر و جامع برای تحلیل موجودیت منابع آب (سطحی و زیر زمینی) و ارتباط آن با نیازهای انسان و محیط‌زیست است. از مهم‌ترین مزایای شاخص فقر آب، در نظر گرفتن ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی جوامع به همراه تغییرپذیری ابعاد مختلف منابع آب است که می‌تواند در مقیاس‌های مختلف مکانی استفاده شود. برای بررسی و ارزیابی از روش PLS-SEM از آزمون سیستم شاخص که با معادلات ساختاری ترکیب شده است استفاده شد. این مطالعه عوامل مؤثر بر فقر آب را در مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ نشان داد. نتایج برآورد اعتبار سازه شامل بار عاملی، AVE، روایی همگرا، روایی واگرا و شاخص‌های CR و GOF بیانگر کیفیت و برازش مناسب مدل اندازه‌گیری فقر آب است. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهند اولاً، نیروهای محرک مثل نرخ مرگ و میر کودکان کمتر از یک‌سال، نرخ بیکاری، سرانه تولید ناخالص داخلی بدون نفت اثر مثبت و معنادار روی سازه‌های فشار و اثر فقر آبی در سطح استان‌های کشور دارند. ثانیاً، سازه فشار شامل میانگین سالانه ارتفاع بارندگی، درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت، مصرف کود شیمیایی در هر هکتار سطح زیر کشت اثر منفی و معنادار روی وضعیت فقر آبی دارد. ثالثاً، سازه وضعیت که بیان‌کننده تغییرات محیط‌زیستی است دارای اثر منفی و معنادار بر روی اثرات فقر آبی است. از متغیرهای بیان‌کننده تغییرات محیط‌زیستی می‌توان به درصد جمعیت تحت پوشش خدمات جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب شهری، مقدار منابع آب سطحی سالانه به‌ازای هر یک میلیون نفر و حجم کل آب زیرزمینی اشاره کرد. از طریق نتایج به‌دست آمده در خصوص عوامل اثرگذار بر شاخص فقر آب در سال‌های مورد بررسی می‌توان گفت که بیشترین عامل اثرگذار بر سازه نیروهای محرک درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی در سال‌های

کرد که فشار بیشتری بر منابع آبی وارد می‌شود و احتمال وقوع فقر آبی افزایش می‌یابد. دیگر عامل تعیین‌کننده فقر آبی پدیده‌های بیابانی است که با گسترش آن یک استان با محدودیت‌های آبی بیشتری مواجه شده و نشانه‌هایی از فقر آبی در استان پدیدار می‌شود.

۴-۲- برازش مدل کلی

پس از بررسی برازش بخش اندازه‌گیری و بخش ساختاری، برازش بخش کلی مورد بررسی قرار می‌گیرد که برای این کار از معیار GOF استفاده می‌شود. این معیار اعتبار هر دو مدل اندازه‌گیری و ساختاری را بررسی می‌کند و قدرت توضیح‌دهندگی مدل را نشان می‌دهد. معیار GOF در ارزیابی مدل‌های PLS-SEM از اهمیت بالایی برخوردار است تا جایی که در برخی مطالعات تنها به مقدار بالای GOF اکتفا می‌شود (مداح و سینائیان، ۱۳۹۹). با استفاده از مقادیر R^2 و $Communalities$ محاسباتی در قسمت‌های قبل، مقدار GOF در هر یک از مقاطع ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ به صورت زیر قابل محاسبه است. در سال ۱۳۹۰:

$$\begin{aligned} GOF &= \sqrt{Communalities * R^2} \\ &= \sqrt{0.430812 * 0.38725} \\ &= \sqrt{0.166831947} = 0.4084 \end{aligned} \quad (5)$$

لذا حاصل شدن مقدار $0/4084$ برای GOF نشان از برازش کلی قوی مدل دارد. در سال ۱۳۹۴:

$$\begin{aligned} GOF &= \sqrt{Communalities * R^2} \\ &= \sqrt{0.438014 * 0.41075} \\ &= \sqrt{0.1799142505} = 0.4241 \end{aligned} \quad (6)$$

لذا حاصل شدن مقدار $0/4241$ برای GOF نشان از برازش کلی قوی مدل دارد. در سال ۱۳۹۸:

$$\begin{aligned} GOF &= \sqrt{Communalities * R^2} \\ &= \sqrt{0.588618 * 0.47625} \\ &= \sqrt{0.2803293225} = 0.5294 \end{aligned} \quad (7)$$

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Driving Forces
- 2- Pressure
- 3- State
- 4- Impact
- 5- Partial Least Squares Structural Equation Modeling
- 6- Falcon Mark Index
- 7- United Nations Index
- 8- Index of the International Institute for Water Management
- 9- Water shortage stress
- 10- Water Poverty Index
- 11- Latent Variable
- 12- Manifest Variable
- 13- Covariance-based SEM Techniques
- 14- Component-based SEM Techniques
- 15- Measurement Model
- 16- Structural Model
- 17- Reflective
- 18- Formative
- 19- Composite Reliability
- 20- Loading
- 21- Average Variance Extracted
- 22- Variance Inflation Factor
- 23- T-Value
- 24- Goodness of Fit

۷- مراجع

- آذر، ع.، و غلامزاده، ر.، (۱۳۹۸)، مدل‌سازی معادلات ساختاری کمترین مربعات جزیبی (PLS-SEM)، انتشارات نگاه دانش، تهران، ایران.
- آسیابی هیر، ر.، مصطفی‌زاده، ر.، رئوف، م.، و اسمعیلی عوری، ا.، (۱۳۹۵)، "شاخص فقر آب و اهمیت آن در مدیریت منابع آب"، *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۳(۱۱)، ۱۵-۲۲.
- آسیابی هیر، ر.، مصطفی‌زاده، ر.، رئوف، م.، و اسمعیلی عوری، ا.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی چند معیاره تغییرات مکانی شاخص فقر آب در تعدادی از حوضه‌های آبخیز استان اردبیل"، *اکوهیدرولوژی*، ۴(۴)، ۹۹۷-۱۰۰۹، <https://doi.org/10.22059/IJE.2017.63231>.
- پاکروح، ش.، و قنادی، م.، (۱۳۹۷)، "رویکرد اجتماعی و درون‌سازمانی، نیاز و ضرورت مدیریت آب کشور"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۴)، ۶۵-۷۲، <https://doi.org/10.22112/JWWSE.2019.151721.1113>.
- ثابتی، م.، جمالی، س.، و غیاث‌وند، غ.، (۱۳۹۴)، "به‌کارگیری شاخص فقرآبی در مقیاس محلی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ)"، *دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران*،

۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر در سال ۱۳۹۸ هستند که به ترتیب با ضریب اهمیت ۰/۷۳۹، ۰/۷۹۶ و ۰/۹۳۴ مشخص می‌شوند. درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی جانشینی برای توسعه‌یافتگی، اشتغال و تولید ناخالص داخلی است. تولید ناخالص داخلی با اشتغال همبستگی دارد و نماینده توسعه‌یافتگی است. با افزایش تولید ناخالص داخلی، تعداد شاغلین و درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی افزایش یافته که در نتیجه آن امکان دسترسی به منابع آبی برای افراد بیشتری فراهم می‌شود و به دنبال آن افراد کمتری در معرض فقر آبی قرار می‌گیرند. بیشترین عامل اثرگذار بر سازه فشار میانگین سالانه ارتفاع بارندگی در سال ۱۳۹۰ و درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ هستند که به ترتیب با ضریب اهمیت ۰/۸۴۴، ۰/۸۴۸ و ۰/۸۹۳ مشخص می‌شوند. یکی از عوامل مؤثر بر میزان آب مقدار بارندگی‌های سالانه است که به صورت منابع آب سطحی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در صورت کاهش میزان بارندگی مقدار برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی افزایش یافته و لذا فشار بر منابع و مصارف بیشتر می‌شود که در نتیجه آن پیامدهای منفی در محیط‌زیست ظاهر خواهد شد. بیشترین عامل اثرگذار بر سازه وضعیت مقدار منابع آب زیرزمینی سالانه به‌ازای هر فرد در سال ۱۳۹۰، مصرف آب کشاورزی کل در سال ۱۳۹۴ و مصرف آب شرب کل در سال ۱۳۹۸ هستند که به ترتیب با ضریب اهمیت ۰/۷۵۶، ۰/۶۶۶ و ۰/۸۸۸ مشخص می‌شوند. هم‌چنین بیشترین عامل اثرگذار بر سازه اثر، پدیده‌های بیابانی است که در سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ به ترتیب با ضریب اهمیت ۰/۹۰۵، ۰/۹۱۰ و ۱ مشخص شدند. لذا پیشنهاد می‌شود در راستای برقراری مدیریت یکپارچه منابع آب به‌طور مداوم با استفاده از رویکردهای جامع‌نگر وضعیت امنیت آبی مناطق ارزیابی شود تا منابع مالی محدود دولت به مناطق واقعی درگیر با مسائل ناشی از ناامنی‌های آبی اختصاص داده شود.

در نهایت با توجه به تجربه کشورهای مختلف در زمینه مدیریت منابع آب پیشنهاد می‌شود تا برای مدیریت فقر آبی بر روی روش‌های مبتنی بر استفاده بهینه از منابع موجود تمرکز شود. هم‌چنین برای مدیریت تقاضا، به‌جای گسترش منابع به‌روش‌های گوناگون نظیر انتقال بین حوضه‌ای که می‌تواند دست‌مایه افزایش عدم تعادل‌های سرزمینی، اختلافات داخلی، کنترل نکردن مصرف و بسیاری از نتایج ناگوار دیگر شود، برنامه‌ریزی‌های مناسب برای تقاضای شهروندان صورت گیرد.

- China using the DPSIR-PLS model”, Springer Science, *Water Resources Management*, 26(1), 89-107, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.07.003>.
- Chin, W., (1998), “The partial least squares approach to structural equation modeling”, In: G.A. Marcoulides (ed.), *Modern Methods for Business Research*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publisher, 295-336.
- Dell’Anno, R., (2020), “Corruption around the world: an analysis by partial least squares, Structural equation modeling”, *Public Choice*, 184(3), 327-350.
- El-Gafy, I.K.E.D., (2015), “The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector”, *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 173-186.
- Fornell, C., and Larcker, D.F., (1981), “Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error”, *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
- Henseler, J., and Sarstedt, M., (2013), “Goodness-of-fit indices for partial least squares path modeling”, *Computational Statistics*, 28(2), 565-580.
- López Álvarez, B., Santacruz de León, G., Ramos Leal, J.A., and Morán Ramírez, J., (2015), “Water poverty index in subtropical zones: The case of Huasteca Potosina, Mexico”, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(2), 173-184.
- Manandhar, S., Pandey, V.P., and Kazama, F., (2012), “Application of Water Poverty Index (WPI) in Nepalese context: A case study of Kali Gandaki River Basin (KGRB)”, *Water Resources Management*, 26(1), 89-107.
- Pan, Y.H., Gu, C.J., Ma, J.Z., Zhang, T.S., and Zhang, H., (2014), “Water poverty index in the inland river basins of Hexi Corridor, Gansu province”, In: *Advanced Materials Research*, 864, 2371-2375, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.864-867.2371>.
- Pandey, V.P., Babel, M.S., Shrestha, S., and Kazama, F., (2011), “A framework to assess adaptive capacity of the water resources system in Nepalese river basins”, *Ecological Indicators*, 11(2), 480-488, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.07.003>.
- Salameh, E., (2000), “Redefining the water poverty index”, *Water International*, 25(3), 469-473, <https://doi.org/10.1080/02508060008686855>.
- Sarami-Foroushani, T., Balali, H., Movahedi, R., Kurban, A., Varnik, R., Janeska Stamenkovska, I., and Azadi, H., (2023), “Importance of good groundwater governance in economic development: The case of western Iran”, *Groundwater for Sustainable Development*, 21, 100892, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100892>.
- Sen, A., (1999), *Development as freedom*, Anchor Books, A Division of Random House, Inc., New York.
- Sullivan, C., (2002a), “Calculating a water poverty index”, *World Development*, 30(7), 1195-1210.
- Sullivan, C., (2002b), “Derivation and testing of the water poverty index Phase 1”, Centre for Ecology and Hydrology (CEH), Wallingford.
- Thakur, J. K., Neupane, M., and Mohanan, A.A., (2017), دانشگاه تبریز.
- جلیلی کامجو، س. پ. و نادمی، ی.، (۱۳۹۸)، “ارزیابی رابطه استخراج منابع آب زیرزمینی و فقر روستایی در ایران”، *تحقیقات اقتصادی*، ۳(۵۴)، ۵۲۵-۵۵۰، <https://doi.org/10.22059/JTE.2019.72767>.
- حیدری، ح.، و علیجانی، ب.، (۱۳۷۸)، “طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره”، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۷، ۵۷-۷۴.
- داوری، ع.، و رضازاده، آ.، (۱۳۹۶)، *مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS*، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ایران.
- رضایی، م.، (۱۴۰۱)، “بحران آب: دو راهی اجتماعی”، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۷(۴)، ۴-۱۶، <https://doi.org/10.22112/JWWSE.2022.330611.1311>.
- سلامی، ح.، و طاهری ریکنده، ع.، (۱۳۹۸)، “سنجش وضعیت امنیت آبی در استان‌های ایران”، *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۳(۱)، ۷۵-۹۴، <https://doi.org/10.22067/JEAD2.V0I0.77072>.
- شریف‌زادگان، م.ح.، ندایی طوسی، س.، و جمالی، ف.، (۱۳۹۵)، “شناسایی موانع توسعه منطقه‌ای با به‌کارگیری شاخص فقر آبی (نمونه موردی: استان قزوین)”، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۸(۱)، ۱-۱۵۱، <https://doi.org/10.22108/GEP.2017.98243.0>.
- طالبی، ح.، و امینی، ع.، (۱۳۹۷)، “بررسی ابعاد کم آبی با استفاده از روش شاخص فقر آبی (WPI) و تحلیل مقایسه‌ای آن در بخش‌های شهرستان قم”، *آمایش سرزمین*، ۱۰(۲)، ۳۴۵-۳۶۶، <https://doi.org/10.22059/JTCP.2019.272853.669940>.
- فلاحی، گ.، (۱۳۹۶)، “ارزیابی معیارهای فالکن مارک و فقر آبی برای تعیین میزان کمبود آب در استان کردستان”، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی (گروه مهندسی عمران)*، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
- مداح، م.، و سینائیان، م.، (۱۳۹۹)، “تحلیل تجربی روند پول‌شویی در ایران (رهیافت روش معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی)”، *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۱۱(۴۰)، ۹۹-۱۲۲، <https://doi.org/10.29252/jemr.10.40.99>.
- Barclay, D., Higgins, C., and Thompson, R., (1995), “The Partial Least Squares (PLS) approach to causal modeling: Personal computer adoption and use as an illustration”, *Technology Studies*, 2(2), 285-309.
- Caizhi, S., Yongjie, W., Wei, Z., Liangshi, Z., and Wenxin, L., (2018), “A rural water poverty analysis in

- “Water poverty in upper Bagmati River basin in Nepal”, *Water Science*, 31(1), 93-108, <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2016.12.001>.
- Upadhyay, B., (2003), “Water, poverty and gender: review of evidences from Nepal, India and South Africa”, *Water Policy*, 5(5-6), 503-511, <https://doi.org/10.2166/wp.2003.0032>.
- Wetzels, M., Odekerken-Schroder, G., and Van Oppen, C., (2009), “Using PLS path modeling for assessing hierarchical construct models: Guidelines and empirical illustration”, *MIS Quarterly*, 33(1), 177-195, <https://doi.org/10.2307/20650284>.
- Yilret Nanle, V., Latip, N.A., and Karim, R., (2022), “Residents water accessibility towards sustainability: The case of informal settlements of Jos Metropolis, Nigeria”, *Journal of the Malaysian Institute of Planners*, 20(4), 87-100, <https://doi.org/10.21837/pm.v20i23.1153>.



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 Laboratories Performance by
Interlaboratory Comparisons:
Reference Laboratory of Tehran Province
Water and Wastewater Company

ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها با مقایسات
بین آزمایشگاهی:

آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران

Mahtab Bagheban¹, Noushin Sohrabnia², Fahimeh Mehranfar^{3*} and Mohammadreza Shirazi⁴

مهتاب باغبان^۱، نوشین سهراب‌نیا^۲، فهیمه مهرانفر^{۳*} و محمدرضا شیرازی^۴

1- Director of Water and Wastewater Quality Monitoring and Supervising Center, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۱- مدیر مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان تهران

2- Head of Calibration and LIMS Department of Reference Laboratory, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۲- رئیس قسمت کالیبراسیون و LIMS آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران

3- Quality Control Expert, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۳- کارشناس کنترل کیفیت شرکت آب و فاضلاب استان تهران

4- Head of Microbiology Department of Reference Laboratory, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۴- رئیس قسمت میکروبیولوژی آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران

*Corresponding Author, Email: fmehr_63@yahoo.com

*نویسنده مسئول، ایمیل: fmehr_63@yahoo.com

Received: 10/05/2023

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰

Revised: 22/08/2023

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱

Accepted: 28/08/2023

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Reference laboratory of Tehran Water and Wastewater Company, with the aim of reducing the costs of water and wastewater laboratories, conducted the first interlaboratory comparison test in 2020 and the second interlaboratory comparison in 2021. The test was conducted according to the SO/IEC17043 standard and the OP105 instruction, and data analysis were performed according to the ISO13528 standard and the test methods were based on the Standard Methods of Water and Wastewater. In this research, from the results achieved by 68 participants, analysis and evaluation of the laboratories' performance was done. The results of the uniformity test showed that all the physicochemical samples of water had good uniformity. According to the results, all parameters except pH were stable. The results showed that among the physicochemical parameters, the highest unfavorable performance of the participants is related to the chloride test and the lowest unfavorable performance is related to the sodium test. Overall, the performance of the participants is satisfactory. The implementation of two courses of interlaboratory comparisons showed that specialized laboratories have the ability to implement this program and analyze the results. Holding this test was also very effective in reducing laboratory costs.

آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران، با هدف کاهش هزینه‌های آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب، اولین دوره آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی را در سطح کشور در سال ۱۳۹۹ و دومین دوره را در سال ۱۴۰۰ برگزار نمود. برگزاری آزمون بر اساس استاندارد ISO/IEC17043 و دستورالعمل OP105 و محاسبات و تحلیل داده‌ها براساس استاندارد ISO13528 و روش‌های آزمون براساس روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب انجام شد. در این پژوهش، از نتایج ارسال شده توسط ۶۸ شرکت‌کننده، تحلیل و ارزیابی از عملکرد آزمایشگاه‌ها انجام شد. نتایج آزمون یکنواختی نشان داد که همه نمونه‌های فیزیکیوشیمیایی آب از یکنواختی مناسبی برخوردار بودند. با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در بخش فیزیکیوشیمیایی آب تمامی اندازه‌ده‌ها به جز pH پایدار بودند. نتایج نشان داد که در بین اندازه‌ده‌های فیزیکیوشیمیایی، بالاترین عملکرد نامطلوب شرکت‌کنندگان مربوط به آزمون کلراید و کمترین عملکرد نامطلوب مربوط به آزمون سدیم است. در مجموع، عملکرد شرکت‌کنندگان رضایت‌بخش برآورد شد. اجرای دو دوره مقایسات بین‌آزمایشگاهی نشان داد که آزمایشگاه‌های تخصصی، توانمندی اجرای این برنامه و تجزیه و تحلیل نتایج را دارند. هم‌چنین برگزاری این آزمون در کاهش هزینه‌های آزمایشگاهی بسیار تاثیرگذار بود.

Keywords: Proficiency Testing, Interlaboratory Comparisons, Robust Statistical Test, Laboratory Performance Evaluation, Water and Wastewater.

کلمات کلیدی: آزمون مهارت، مقایسات بین‌آزمایشگاهی، آزمون آماری استوار، ارزیابی عملکرد آزمایشگاه، آب و فاضلاب.

(2010) مطابقت داشته باشد (Henric, 2003). یک عامل کلیدی در چنین مقایسه‌هایی، نمونه و هم‌چنین مناسب بودن مجموعه از نمونه‌های از پیش آزمون‌شده، برای آزمایش و نشان دادن شباهت‌ها و تفاوت‌ها در نتایج است. آزمایشگاه شرکت‌کننده، اقلام آزمون مهارت را دریافت کرده و نتایج را برای بررسی توسط ارائه‌دهنده آزمون مهارت، ارائه می‌کند BS EN ISO/IEC (2010, 17043:2010).

اهداف معمول یک مقایسه بین آزمایشگاهی به صورت زیر است:

(الف) ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها برای آزمایش‌ها یا اندازه‌گیری‌های خاص و نظارت بر عملکرد مستمر آزمایشگاه‌ها؛

(ب) شناسایی مشکلات در آزمایشگاه‌ها و شروع اقداماتی برای بهبود که برای مثال ممکن است به روش‌های آزمایش یا اندازه‌گیری ناکافی، اثربخشی آموزش و نظارت کارکنان، یا کالیبراسیون تجهیزات مربوط باشد؛

(ج) تعیین اثربخشی و مقایسه روش‌های آزمایش یا اندازه‌گیری؛

(د) ارائه اطمینان بیشتر به مشتریان آزمایشگاه؛

(ه) شناسایی تفاوت‌های بین آزمایشگاهی؛

(و) آموزش آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده براساس نتایج این مقایسه‌ها؛

(ز) اعتبار ادعاهای عدم قطعیت؛

(ح) ارزیابی ویژگی‌های عملکرد یک روش؛

(ط) تخصیص مقادیر به مواد مرجع و ارزیابی مناسب بودن آنها برای استفاده در روش‌های آزمایش یا اندازه‌گیری خاص.

نتایج مقایسه بین آزمایشگاهی براساس یک مقدار تخصیص یافته شناخته شده هستند. این روش، از طریق استفاده از مواد مرجع تایید شده (CRMs)، یا آزمایش نمونه‌ها در آزمایشگاه‌های خبره به دست می‌آید. در مواقعی که امکان استفاده از روش‌های فوق وجود ندارد، مقادیر اجماع از نتایج شرکت‌کنندگان به دست می‌آید، بنابراین، استفاده از روش‌های آماری استوار برای تخمین مقدار اختصاص یافته، توصیه می‌شود (ISO 13528, 2015).

شرکت‌های برگزارکننده‌ای در سطح دنیا، آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی را طی برنامه سالانه اعلام و از آزمایشگاه‌ها برای مشارکت در آن دعوت می‌نمایند. از شرکت‌های برگزارکننده بین‌المللی که امور آزمایشگاه مرجع مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب استان تهران، تجربه مشارکت در آزمون‌های آن‌ها را داشته است، شرکت FAPAS انگلیس است. این شرکت

نتایج اندازه‌گیری نقشی حیاتی در زندگی روزمره انسان بازی می‌کند، زیرا داده‌های آزمایش ممکن است مبنایی باشد تا براساس آن تصمیم‌های مدیریت اقتصادی، قانونی یا محیط‌زیستی گرفته شود (IAEA, 2009). بنابراین، این موضوع که چنین اندازه‌گیری‌هایی دقیق، قابل اعتماد، مقرون به صرفه و قابل دفاع باشند، اهمیت ویژه‌ای دارد. الزامات عمومی برای آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون برای تایید صلاحیت از لحاظ فنی و تولید نتایج معتبر فنی، در استاندارد ISO/IEC 17025:2017 درج شده است (International Standard ISO/IEC 17025, 2017). این استاندارد اساس اعتبارسنجی آزمایشگاه در سطح بین‌المللی را تشکیل می‌دهد. بخش ۷.۷ ISO/IEC 17025:2017 ایجاب می‌کند که آزمایشگاه‌ها باید روش‌های تضمین کیفیت را برای نظارت بر اعتبار آزمایش‌ها و کالیبراسیون‌های انجام شده برنامه‌ریزی و انجام دهند (UKAS Policy, 2019).

آزمایشگاه‌هایی که مایل به تایید صلاحیت توسط مراجع اعتباربخشی و مایل به ادامه وضعیت اعتباربخشی اعطا شده هستند، مطالعات لازم را برای اثبات صلاحیت فنی خود انجام داده و خود مسئول نظارت بر این صلاحیت هستند. یکی از راه‌های نشان دادن صلاحیت فنی، مشارکت آزمایشگاه‌ها در سازمان‌های مناسب PT و ILC و دستیابی به نتایج موفق است (TURKAK, 2020). مقایسه‌های بین‌آزمایشگاهی از طریق مشارکت آزمایشگاه‌ها در آزمون مشترک شامل سازماندهی، عملکرد و ارزیابی اندازه‌گیری‌ها یا آزمایش‌ها بر روی موارد مشابه یا یکسان با دو یا تعداد بیشتر آزمایشگاه مطابق با شرایط از پیش تعیین شده است. بنابراین، آزمایشگاه‌ها، آزمایش را در شرایط معمول انجام می‌دهند و نتیجه را در یک مهلت مشخص، به برگزارکننده گزارش می‌دهند (Voiculescu et al., 2013).

مقایسه‌های بین‌آزمایشگاهی به طور گسترده برای اهداف متعددی و در سطح بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Softić et al., 2012). استاندارد بین‌المللی "ارزیابی انطباق - الزامات عمومی برای آزمون مهارت"، الزامات عمومی را برای صلاحیت ارائه‌دهندگان طرح‌های آزمون مهارت و توسعه و اجرای طرح‌ها مشخص می‌کند (BS EN ISO/IEC 17043:2010, 2010). آزمایشگاه‌ها (و سایر انواع شرکت‌کنندگان) باید در طرح‌های مقایسات بین‌آزمایشگاهی که برای دامنه آزمایش آن‌ها مناسب است، شرکت کنند. طرح‌های مقایسات بین‌آزمایشگاهی انتخاب شده باید با الزامات استاندارد بین‌المللی ISO/IEC/17043،

جدول ۱- تعداد شرکت‌کنندگان در هر آزمون با احتساب امور

آزمایشگاه مرجع

تعداد شرکت‌کنندگان		نام آزمون
۶۸		فیزیکوشیمیایی آب
۲۶		فیزیکوشیمیایی فاضلاب
۶	THM	آلاینده‌های آلی
۷	TOC	
۷۷		باکتریولوژی آب
۱۱		باکتریولوژی فاضلاب
۲۲		بیولوژی آب
۳		بیولوژی فاضلاب

توزیع نمونه، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل برای کلیه بخش‌های آزمون در دو نوع ماتریکس آب و فاضلاب انجام شد. در این مقاله، به‌عنوان نمونه، فقط به بررسی نتایج آزمون فیزیکوشیمیایی آب پرداخته شده است. مشارکت‌کنندگان نیز کارکنان آزمایشگاه‌های شرکت آب و فاضلاب کشور هستند که حداقل دارای مدرک کارشناسی و تحصیلات دانشگاهی مرتبط با کار آزمایشگاه هستند. بیشتر کارکنان دارای مدرک کارشناسی در رابطه با آزمایشگاه شیمی، میکروبیولوژی و بهداشت محیط هستند.

۲-۲- اجرای طرح‌ها و دستورالعمل‌های انجام آزمون برای شرکت‌کنندگان

برای هماهنگی و سازماندهی آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی، تیمی متشکل از مدیر، رؤسای قسمت، رؤسای آزمایشگاه و کارشناسان دفتر کنترل کیفیت آب و بهداشت فاضلاب و امور آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران تشکیل شده و برنامه‌ریزی برای تهیه مستندات، نمونه‌برداری، تهیه نمونه، زمان و محل نمونه‌برداری با تشکیل جلسات در این تیم انجام و صورت‌جلسات آن تهیه شد.

به کلیه شرکت‌کنندگان با نامه رسمی از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور زمان و شرایط دریافت نمونه، الزامات حمل و نقل نمونه و نگهداری آن، اعلام شد. کلیه شرکت‌کنندگان قطعی، در تاریخ مقرر، نمونه را در محل آزمایشگاه مرجع دریافت نمودند. دریافت نمونه‌ها از طریق نمایندگان شرکت‌کنندگان انجام شد. به‌همراه نمونه به هر شرکت‌کننده، نامه‌ای رسمی برای معرفی محتویات ظروف به همراه کد اختصاصی تحویل داده شد. به‌منظور شفاف‌سازی و یکنواختی روش آزمون بین همه مشارکت‌کنندگان، راهنمای آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی آب و راهنمای آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی فاضلاب تهیه و با ایمیل برای

از سال ۱۹۹۰ برگزارکننده آزمون مهارت در سطح بین‌المللی در زمینه آب و مواد غذایی است و سالانه صدها آزمون مهارت را برای هزاران آزمایشگاه در تمام قاره‌های جهان به جز قطب جنوب ارائه می‌کند. نمونه‌های آزمایش ماتریس واقعی برای تمام زمینه‌های آزمایش معمول در زمینه‌های شیمی مواد غذایی، میکروبیولوژی مواد غذایی، مواد اصلاح‌شده ژنتیکی، شیمی آب آشامیدنی و میکروبیولوژی، شیمی محیطی و میکروبیولوژی ارائه می‌شود. از دیگر شرکت‌های برگزارکننده بین‌المللی آزمون مهارت شرکت PTA استرالیا است. این شرکت برگزارکننده آزمون مهارت در صنایع و همچنین آب است که دارای تایید صلاحیت الزامات استاندارد بین‌المللی ISO/IEC 17043 ارزیابی انطباق - الزامات عمومی برای آزمون مهارت است.

اهداف این پژوهش عبارتند از: امکان‌سنجی برگزاری آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی، کنترل کیفیت خارج سازمانی آزمایشگاه، بومی‌سازی علم و فناوری، کاهش هزینه‌های آزمایشگاه در خرید مواد و مواد مرجع، صرفه‌جویی در پرداخت‌های برون سازمانی و استفاده از توانمندی کارشناسان شرکت آب و فاضلاب.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طراحی و برنامه‌ریزی طرح آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی

مرکز پایش و نظارت بر کنترل کیفیت آب و فاضلاب و آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران، طبق نامه معاون راهبری و نظارت بر بهره‌برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، برای اجرای دستورالعمل «چگونگی برگزاری و مشارکت در آزمون‌های کفایت تخصصی و مقایسات بین‌آزمایشگاهی در آزمون‌های آب و فاضلاب» به شماره OP105 و در راستای بومی‌سازی علم و فناوری و کاهش هزینه‌های آزمایشگاه در خرید مواد و مواد مرجع و صرفه‌جویی در پرداخت‌های برون سازمانی و همچنین استفاده از توانمندی کارکنان شرکت آب و فاضلاب، اولین دوره را در سال ۱۳۹۹ و دومین دوره مقایسات بین‌آزمایشگاهی را در سطح کشور در سال ۱۴۰۰ برگزار نمود. این تحقیق براساس برنامه‌ریزی سال ۱۴۰۰ تهیه شده است. بر این اساس، از آزمایشگاه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب ایران دعوت شد تا در برنامه مقایسات، مشارکت نمایند. تعداد شرکت‌کنندگان در سال ۱۴۰۰ در هر بخش آزمون، در جدول ۱ آمده است. زمان توزیع نمونه و زمان انجام آزمون هم‌زمان به کلیه شرکت‌کنندگان اعلام شد.

تمامی آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده ملزم شدند که حداکثر ۲۴ ساعت پس از دریافت نمونه، آزمایش‌های مرتبط را انجام دهند و در این مدت باید شرایط محیطی نمونه رعایت شود که طی دستورالعمل‌های تدوین شده، از قبل به اطلاع آزمایشگاه‌ها رسید. همچنین آزمون پایداری ۷۲ ساعت پس از آزمون اصلی برای کلیه آزمون‌های انجام شد و در صورت انحراف در محاسبات آماری لحاظ شد. بنابراین، ضمن رعایت شرایط حمل و نقل، نیازی به تثبیت نمونه‌ها نیست.

۲-۳-۱- مشخصات اقلام آزمون مقایسات بین آزمایشگاهی و اندازه‌ده‌ها برای آزمون فیزیکوشیمیایی آب

در این آزمون یک ظرف ۴ لیتری حاوی نمونه یکنواخت‌شده، برای اندازه‌گیری اندازه‌ده‌های pH - هدایت الکتریکی - سختی کل - کلسیم - منیزیم - قلیائیت - سدیم - پتاسیم - فلوراید - کلراید - سولفات - نیترات به آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده ارسال شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد، نتایج را در فرم ثبت نتایج (ارسال شده توسط امور آزمایشگاه مرجع) و با ۳ بار تکرار همراه با عدم قطعیت اندازه‌گیری، ثبت و به امور آزمایشگاه مرجع ارسال نمایند. با توجه به این که در آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی، شرکت‌کنندگان می‌توانند از هر روشی برای اندازه‌گیری استفاده کنند، برای مقایسه و بررسی عملکرد روش‌های آزمون، از شرکت‌کنندگان درخواست شد که در فرم پاسخ‌نامه، همراه با ثبت نتایج، روش آزمون مربوطه هم قید شود. ارزیابی نشان داد که اکثر شرکت‌کنندگان براساس مرجع روش‌های استاندارد برای آزمون‌های آب و فاضلاب (APHA, AWWA, WEF, 2017) اندازه‌گیری را انجام داده‌اند که لیست روش‌های آزمون معمول مورد استفاده در جدول ۲ نمایش داده شده است.

۲-۴- آزمون یکنواختی

آزمون یکنواختی برای تمامی اندازه‌ده‌ها انجام شد. نتایج با استفاده از استاندارد بین‌المللی ISO 13528 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مطابق با الزامات استانداردهای مرجع، پرسنل مجرب، تجهیزات مناسب و سیستم اندازه‌گیری کنترل‌شده برای انجام آزمون یکنواختی در نظر گرفته شد. از بین موارد ارائه‌شده برای آزمون بین‌آزمایشگاهی، ۶ نمونه به صورت تصادفی برای آزمون یکنواختی انتخاب شدند. نتایج آزمون یکنواختی توسط تیم آنالیز براساس استانداردهای موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شرکت‌کنندگان ارسال شد که در آن نحوه انجام آزمون و کلیه مراحل کار از دریافت، آماده‌سازی، روش انجام آزمون و نحوه ارسال نتایج تشریح شده بود. همچنین، برای ثبت نتایج آزمون، فرم ثبت نتایج آزمون برای نمایندگان ایمیل شد. برای ارتقا و بهبود در برگزاری آزمون مقایسات، فرم نظرسنجی نیز برای کلیه شرکت‌کنندگان ارسال شد.

۲-۳- تهیه اقلام آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی

برای هر آزمون، به صورت جداگانه ابتدا نمونه‌برداری، در ظروف ۲۰ لیتری از هدف نمونه‌برداری حقیقی (منابع طبیعی آب مانند آب چاه یا آب سطحی) انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه مرجع انتقال داده شد. فرایند نمونه‌برداری بر اساس سری استانداردهای بین‌المللی ISO5667، مرجع روش‌های استاندارد برای آزمون‌های آب و فاضلاب (APHA, AWWA, WEF, 2017) و مجموعه دستورالعمل‌های داخلی امور آزمایشگاه مرجع انجام شد. برای یکنواختی، همه نمونه‌های برداشت شده یک آزمون، به یک ظرف هم‌زن بزرگ‌تر انتقال یافت. هم‌زمان با ایجاد یکنواختی، با استفاده از هم‌زن برقی، توزیع نمونه فرعی در ظروف موردنظر برای آزمون انجام شد. توزیع نمونه‌های فرعی برای انجام آزمون فیزیکوشیمیایی آب در ظروف ۴ لیتری پلاستیکی انجام شد که نمونه‌ای از آن در شکل ۱ نشان داده شده است. تمامی ظروف مورد نظر فرعی از قبل برچسب‌گذاری شده بودند. از بین نمونه‌های فرعی آماده شده، در هر بخش آزمون، به صورت تصادفی ۶ نمونه برای بررسی یکنواختی و یک نمونه برای بررسی پایداری انتخاب و به آزمایشگاه مرتبط با آن آزمون، انتقال و باقی نمونه‌ها، به صورت تصادفی به شرکت‌کنندگان تحویل داده شد. شرایط حمل نمونه مانند حمل در کول‌باکس و در کنار آیس‌پک و کنترل شرایط محیطی نمونه از قبل به دریافت‌کنندگان طبق نامه و دستورالعمل ابلاغ شد.



شکل ۱- نمونه‌های فرعی آماده شده برای انجام آزمون فیزیکوشیمیایی آب

جدول ۲- روش‌های آزمون معمول برای اندازه‌گیری اندازه‌ده‌های مورد نظر

اندازه‌ده	روش اندازه‌گیری
pH	4500- H ⁺ B. Electrometric Method
هدایت الکتریکی	2510 B. Laboratory Method
سختی کل	2340 C. EDTA Titrimetric Method
کلسیم	3500-Ca B. EDTA Titrimetric Method
منیزیم	3500-Mg B. Calculation Method
قلیائیت	2320 B. Titration Method
سدیم	3500-Na B. Flame Photometric Method
پتاسیم	3500-K B. Flame Photometric Method
فلوراید	4500-F D. SPADNS Method
کلراید	4500- Cl ⁻ C. Mercuric Nitrate Method
سولفات	4500-SO ₄ ²⁻ E. Turbidimetric Method
نیترات	4500-NO ₃ ⁻ B. Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method

موردنظر آن اندازه‌گیری شد و بر روی بخش دوم، بعد از ۴۸ تا ۷۲ ساعت (بسته به نوع اندازه‌ده)، اندازه‌گیری انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده با استفاده از ANOVA یک‌طرفه برای بررسی پایداری آنالیز شد. بررسی پایداری به این صورت است که اگر F به‌دست آمده از محاسبات ANOVA کمتر از F کلیدی باشد، نمونه پایدار و در غیر این صورت پایدار نیست.

۲-۶- مقدار تخصیص‌یافته

براساس استاندارد ISO13528 مقدار تخصیص‌یافته در تمام بخش‌ها براساس روش میانگین استوار آزمایشگاه‌های مشارکت‌کننده تعیین شد. همچنین برای اطمینان مقدار تخصیص‌یافته از طریق محاسبه میانگین میانگین‌ها (اجماع شرکت‌کنندگان) هم انجام و نتایج با همدیگر مقایسه شد.

۲-۶-۱- قابلیت ردیابی مقدار تخصیص‌یافته

مقادیر تخصیص‌یافته برای بیشتر اندازه‌ده‌ها از نتایج شرکت‌کنندگان در این برنامه به‌دست آمده است. این مقادیر از نظر اندازه‌شناسی به مراجع بالاتر قابل ردیابی نیست. دلیل به‌کارگیری این رویکرد، این واقعیت است که فرایند نمونه‌برداری بر روی یک هدف نمونه‌برداری حقیقی انجام شده است که شبیه اهداف روتین شرکت‌کنندگان بوده و همچنین امکان تهیه اهدافی که بتوان مقدار تخصیص یافته را از سایر رویکردها استفاده نمود، وجود ندارد.

۲-۷- محرمانگی

برای حفظ اطلاعات شرکت‌کنندگان و حفظ محرمانگی، برای هر شرکت‌کننده یک کد اختصاصی تعلق گرفت. این کد با نامه

تجزیه و تحلیل آماری انجام‌شده در آزمون یکنواختی به این شرح است: نمونه‌های آزمایش شده به دو قسمت تقسیم و برای آزمایش‌های مختلف در شرایط تکرارپذیر مورد آزمایش قرارگرفتند. یکنواختی نمونه‌ها با استفاده از روش ANOVA یک‌طرفه برای مقایسه نوسانات درون‌نمونه و نوسانات بین‌نمونه بررسی شد. اگر بین این دو منبع نوسانات تفاوت معنی‌داری وجود نداشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌ها از یکنواختی مناسبی برخوردار هستند. قبل از انجام آزمون یکنواختی به‌منظور ارزیابی این‌که آیا نوسانات درون‌نمونه به‌طور کلی با یکدیگر مرتبط هستند یا خیر، آزمون کوچران برای مقایسه مجموعه داده‌هایی با بیشترین نوسان با سایر مجموعه داده‌ها انجام شد. آزمون کوچران با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود.

$$C = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

که C: عدد کوچران محاسبه شده است. اگر C محاسبه شده بزرگتر از مقدار C بحرانی باشد، به‌عنوان داده پرت در نظر گرفته می‌شود و قبل از انجام آزمون یکنواختی، باید حذف شود. بعد از حذف داده پرت، آزمون یکنواختی با استفاده از روش ANOVA یک‌طرفه محاسبه و مورد بررسی قرارگرفت. بدین ترتیب که اگر F محاسبه شده کمتر از F کلیدی باشد، نمونه یکنواخت و در غیر این صورت نمونه از یکنواختی مناسبی برخوردار نیست.

۲-۵- آزمون پایداری

در این تحقیق، برای انجام آزمون پایداری، یکی از نمونه‌های تحت آزمون انتخاب و به دو قسمت تقسیم شد. بخشی از این نمونه، در روز اول هم‌زمان با انجام آزمون نمونه، اندازه‌ده‌های

رسمی به شرکت‌کنندگان اعلام‌شد و در سراسر گزارش، هر آزمایشگاه با این کد قابل ردیابی است.

است.

۲-۸-۱-۳- محاسبه انحراف استاندارد

با توجه به معادله (۳)، انحراف استاندارد نتایج آزمون ارسال شده توسط هر آزمایشگاه محاسبه می‌شود.

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

۲-۸-۱-۴- محاسبه میانگین میانگین نتایج

میانگین غلظت یک ماده از طریق معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{x}_i}{p} \quad (4)$$

که $\bar{\bar{x}}$: میانگین نتایج همه شرکت‌کنندگان آزمایشگاه‌ها (میانگین میانگین‌ها)، \bar{x}_i : مقدار میانگین نتایج ارسال شده هر آزمایشگاه و p : تعداد آزمایشگاه‌ها هستند.

۵-۸-۱-۲- محاسبه انحراف نتیجه هر آزمایشگاه

برای هر یک از آزمایشگاه‌ها، انحراف نتیجه هر آزمایشگاه با کسر میانگین هر نتیجه از میانگین میانگین نتایج همه آزمایشگاه با توجه به معادله (۵) محاسبه می‌شود.

$$d = \bar{x} - \bar{\bar{x}} \quad (5)$$

که d : میزان انحراف را نشان می‌دهد.

۲-۸-۱-۶- محاسبه انحراف استاندارد میانگین

انحراف استاندارد میانگین با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌گردد.

$$S_{\bar{\bar{x}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \frac{d^2}{p-1}} \quad (6)$$

که $S_{\bar{\bar{x}}}$: انحراف استاندارد میانگین، d : میزان انحراف و p : تعداد آزمایشگاه‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۸-۱-۸- آنالیز داده‌ها و ارزیابی نتایج

سه روش کلی زیر برای ارزیابی نتایج آزمون در مقایسات بین آزمایشگاهی وجود دارد (Szewczak et al., 2016).

- ارزیابی تفاوت بین هر نتیجه و مقدار درست (واقعی)؛
- مقایسه واریانس (یا عدم قطعیت) هر آزمایشگاه با واریانس (یا عدم قطعیت) پیش‌بینی شده، مورد نیاز یا شناخته شده؛
- ارزیابی قابلیت مقایسه نتایج آزمایشگاهی.

در این تحقیق از روش سوم برای ارزیابی نتایج استفاده شده است؛ به دلیل این‌که، نیاز به داشتن آگاهی در مورد مقدار درست یا واریانس پیش‌بینی شده ندارد. روش‌های ساده ارزیابی نتایج مقایسات بین آزمایشگاهی در استاندارد ISO13528 اشاره شده است.

۲-۸-۱-۱- آنالیز آماری نتایج آزمون مقایسات

بین آزمایشگاهی

تجزیه و تحلیل نتایج آزمون ابتدا برای هر سطح به صورت جداگانه انجام می‌گیرد و موارد زیر محاسبه می‌شود:

واریانس تکرارپذیری (S_r^2)، واریانس بین آزمایشگاهی (S_L^2)، واریانس تجدیدپذیری ($S_R^2 = S_r^2 + S_L^2$)، میانگین (\bar{x}) و استفاده سیستماتیک از آزمون‌های آماری برای تشخیص نقاط دور افتاده.

۲-۸-۱-۱- محاسبه و تجزیه و تحلیل شاخص h و k

نتایج آزمون دریافتی از هر آزمایشگاه در یک جدول مرتب شده است. هر ستون، شامل نتایج حاصل از کلیه آزمایشگاه‌ها بر روی یک ماده و هر سطر، شامل نتایج حاصل از یک آزمایشگاه بر روی مواد است. بنابراین هر سلول شامل نتایج آزمون یک آزمایشگاه بر روی یک نمونه است.

۲-۸-۱-۲- محاسبه میانگین

میانگین نتایج ارسال شده توسط هر آزمایشگاه توسط معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

که \bar{x} : مقدار میانگین نتایج هر آزمایشگاه، x_i : مقدار انحصاری نتایج آزمون ارسال شده و n : تعداد نتایج آزمون برای هر آزمایشگاه

۸-۱-۷-۲- محاسبه انحراف استاندارد تکرارپذیری

انحراف استاندارد تکرارپذیری با توجه به معادله (۷) محاسبه می‌شود.

$$S_r = \sqrt{\sum_{i=1}^p \frac{s^2}{p}} \quad (7)$$

که S_r : انحراف استاندارد تکرارپذیری و S : انحراف استاندارد نتایج هر آزمایشگاه هستند.

۸-۱-۸-۲- محاسبه انحراف استاندارد تجدیدپذیری

انحراف استاندارد تجدیدپذیری با استفاده از معادله (۸) محاسبه می‌شود.

$$S_R = \sqrt{(S_{\bar{x}})^2 + \frac{(n-1)(S_r)^2}{n}} \quad (8)$$

که S_R : انحراف استاندارد تجدیدپذیری، $S_{\bar{x}}$: انحراف استاندارد میانگین و n : تعداد نتایج آزمون در هر آزمایشگاه هستند. مقدار نهایی انحراف استاندارد بیشترین مقدار بین دو مقدار S_R و S_r خواهد بود (هر کدام بیشتر بود).

۸-۱-۹-۲- تکرارپذیری و تجدیدپذیری

با استفاده از نتایج آماری صحیح، برای هر ماده ۹۵ درصد حدود تکرارپذیری (r) و تجدیدپذیری (R) مطابق معادلات (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$r = 2.8S_r \quad (9)$$

$$R = 2.8S_R \quad (10)$$

اغلب مقادیر S_r و S_R به ازای میانگین خواص هر سطح (\bar{x}) متغیر خواهند بود، بنابراین باید در روش آزمون، رویه تغییر موارد آماری براساس خواص سطوح در نظر گرفته شود.

۸-۱-۱۰-۲- شاخص آماری سازگاری بین آزمایشگاهی

(h)

معادله (۱۱) شاخص آماری سازگاری بین آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

$$h = \frac{d}{S_{\bar{x}}} \quad (11)$$

که h : سازگاری آماری بین آزمایشگاهی، d : انحراف میانگین نتایج هر آزمایشگاه از میانگین کل نتایج همه شرکت‌کنندگان و $S_{\bar{x}}$: انحراف استاندارد میانگین سلول‌ها هستند.

۸-۱-۱۱-۲- شاخص آماری سازگاری درون آزمایشگاهی

(k)

سازگاری آماری درون آزمایشگاهی (k) با توجه به معادله (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$k = \frac{S}{S_r} \quad (12)$$

مقدار کلیدی h ، براساس تعداد آزمایشگاه‌های مشارکت‌کننده در برنامه مطالعات بین‌آزمایشگاهی (p)، تعیین می‌شود و مقدار کلیدی k ، براساس تعداد آزمایشگاه‌های مشارکت‌کننده در برنامه مطالعات بین‌آزمایشگاه (p) و تعداد تکرار آزمون‌ها برای یک ماده (n)، تعیین می‌شود. در صورتی که مقدار شاخص h ، مربوط به یک آزمایشگاه از مقدار بحرانی آن ($h_{critical}$) کوچک‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه از نظر درستی مناسب بوده و در صورتی که مقدار شاخص h ، از مقدار بحرانی ($h_{critical}$) بزرگ‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه از نظر درستی مناسب نیست. در صورتی که مقدار شاخص k ، مربوط به یک آزمایشگاه از مقدار بحرانی آن ($k_{critical}$) کوچک‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه از نظر دقت مناسب بوده و اگر مقدار شاخص k از مقدار بحرانی آن ($k_{critical}$) بزرگ‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه از نظر دقت مناسب نیست.

۹-۲- نمره‌های z

محاسبه عملکرد شرکت‌کنندگان براساس استاندارد ISO 13528 با استفاده از معادله (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$z \text{ score} = \frac{(x - X)}{s^*} \quad (13)$$

که x : میانگین نتایج هر شرکت‌کننده، X : مقدار تخصیص یافته استوار یا مقدار مرجع تخصیص یافته برای ارزیابی عملکرد در مقیاس لگاریتمی و s^* : انحراف استاندارد به دست آمده با استفاده از روش استوار در مقیاس لگاریتمی هستند.

۹-۲-۱- تفسیر نمره‌های z

هنگامی که شرکت‌کننده نتیجه‌ای را گزارش نماید که نمره z بزرگ‌تر از ۳ یا کم‌تر از -۳ باشد، نتیجه آزمون در محدوده اقدام قرار دارد و شرکت‌کنندگان باید نقاط ضعف آزمایشگاه را مشخص

$$\begin{aligned} & G_{crit}, 0.01 \\ & < (G_{lowest} \text{ or } G_{highest}) \\ & < G_{crit}, 0.05 \end{aligned} \quad (19)$$

همچنین اگر رابطه (۲۰) برقرار باشد، داده پرت در نظر گرفته می‌شود.

$$(G_{lowest} \text{ or } G_{highest}) > G_{crit}, 0.01 \quad (20)$$

در محاسبات این آزمون، داده پرت فقط در محاسبه مقدار تخصیص یافته منظور نشده، ولی سایر محاسبات مثل تعیین h و k و محاسبه z-score برای آن انجام شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون یکنواختی

بررسی یکنواختی براساس الزامات (ISO 13528) و آزمون کوچران برای بررسی یکنواختی واریانس در نتایج، برای کلیه اندازه‌ده‌های فیزیکوشیمیایی آب انجام و به‌عنوان نمونه، فقط نتیجه مربوط به آزمون هدایت الکتریکی در این مقاله گزارش شده است. همان‌طور که داده‌های جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد، اندازه‌ده هدایت الکتریکی از یکنواختی مناسبی برخوردار است. نتایج نشان داد که سایر اندازه‌ده‌های فیزیکوشیمیایی آب هم از یکنواختی مناسبی برخوردار هستند.

۳-۲- آزمون پایداری

با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در بخش فیزیکوشیمیایی آب تمامی اندازه‌ده‌ها به‌جز pH پایدار بودند. در مورد اندازه‌ده‌هایی که پایدار نبودند، تأثیر ناپایداری (S_s) در ارزیابی شرکت‌کنندگان در نظر گرفته شده است. نتایج آزمون پایداری در جدول ۵ نمایش داده شده است.

۳-۳- مقدار تخصیص یافته

مقدار تخصیص یافته و انحراف معیار آزمون مقایسه بین آزمایشگاهی برای هر اندازه‌گیری از طریق دو روش اجماع نتایج شرکت‌کنندگان و روش‌ها و نتایج آماری قوی در جدول ۶ نشان داده شده است. این جدول نتایج تجزیه و تحلیل مقایسه بین آزمایشگاهی انجام شده در همه شرکت‌کنندگان را خلاصه می‌کند. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، توافق خوبی بین دو روش محاسبه مقدار اختصاص داده شده از طریق اجماع شرکت‌کنندگان (روش‌های h و k) و روش آماری استوار (به‌جز در

و فرم اقدام اصلاحی برای آن تکمیل و علت ریشه‌ای آن بررسی نمایند. همچنین نمره بالای ۲ و کمتر از ۲- در محدوده هشدار قرار دارد و باید بررسی و تحلیل شوند. نحوه رده‌بندی نمره‌های Z-score به‌صورت زیر است:

S , مطلوب $|z \text{ or } z'| \leq 2$,

W , هشدار $-2 < |z \text{ or } z'| < 2$,

A , اقدام $-3 < |z \text{ or } z'| < 3$,

اگر معادله (۱۴) برقرار باشد به جای پارامتر z-score از z' score از معادله (۱۵) استفاده می‌شود.

$$u < 0.3 \times s * \quad (14)$$

$$z' - score = \frac{(x - X)}{\sqrt{s *^2 + u^2}} \quad (15)$$

که u : عدم قطعیت مقدار تخصیص یافته و $s*$: انحراف استاندارد به‌دست آمده با استفاده از روش استوار در مقیاس لگاریتمی هستند.

۲-۱۰- حذف داده‌های پرت

روش‌های مختلفی برای حذف داده‌های پرت وجود دارد. در این تحقیق، از آزمون گرابز برای حذف داده‌های پرت استفاده شد. این آزمون از طریق معادلات (۱۶) تا (۲۰) انجام می‌شود (Urvoy et al., 2014). برای انجام آزمون گرابز، نتایج از کوچک به بزرگ مرتب می‌شود. فرض صفر این است که داده‌ای که مشکوک است، دارای تفاوت فاحشی نسبت به سایر داده‌ها نیست.

$$G_{lowest} = \frac{(\bar{X} - X_{min})}{S} \quad (16)$$

$$G_{highest} = \frac{(X_{max} - \bar{X})}{S} \quad (17)$$

در تست گرابز، اگر رابطه (۱۸) برقرار باشد، فرض صفر پذیرفته می‌شود، یعنی آن داده پرت نیست.

$$\begin{aligned} & (G_{lowest} \text{ or } G_{highest}) \\ & < G_{crit}, 0.05 \end{aligned} \quad (18)$$

اگر رابطه (۱۹) برقرار باشد داده معلق محسوب می‌شود و انتخاب با آزمایشگاه است که داده را حذف کرده یا در محاسبات لحاظ کند.

ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها با مقایسات بین آزمایشگاهی: ...

چند معیار محدود) وجود دارد. با این حال، با توجه به نتایج نشان داده شده در دو روش، تصمیم گرفته شد، از روش آماری استوار برای ارزیابی صحت شرکت کننده و از روش k برای ارزیابی دقت بین آزمایشگاهی استفاده شود.

جدول ۳- داده‌ها و نتایج حاصل از آزمون یکنواختی بر اساس الزامات استاندارد ISO 15328 برای هدایت الکتریکی

ردیف	نتیجه بخش ۱	نتیجه بخش ۲	میانگین	واریانس (s ²)
۱	۴۷۶/۸	۴۷۱/۲	۴۷۴	۱۵/۶۸
۲	۴۷۶/۳	۴۷۷/۱	۴۷۶/۷	۰/۳۲
۳	۴۷۷/۷	۴۸۱/۷	۴۷۹/۷	۸
۴	۴۷۷/۶	۴۸۱/۴	۴۷۹/۵	۷/۲۲
۵	۴۷۸/۳	۴۸۲/۱	۴۸۰/۲	۷/۲۲
۶	۴۷۹	۴۸۲	۴۸۰/۵	۴/۵
میانگین کل		۴۷۸/۴۳		
واریانس بین گروهی		۱۳/۱۲		
واریانس درون گروهی		۷/۱۶		
مقدار F		۱/۸۳		
مقدار F کلیدی		۴/۳۹		
یکنواختی تایید می شود؟		بله		

جدول ۴- نتایج آزمون Cochran بر روی داده‌های یکنواختی

تعداد	۵ جفت داده	۶ جفت داده
مجموع مربعات واریانس‌ها	----	۴۲/۹۴
C مقدار	----	۰/۳۶
C مقدار کلیدی	----	۰/۷۸۱
نتیجه آزمون	----	مورد تایید است

جدول ۵- نمایش نتایج آزمون پایداری فیزیکوشیمیایی آب

اندازه ده	هدایت الکتریکی	pH	کدورت	سختی کل	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	فلوراید	کلراید	قلیائیت	نیترات	سولفات
تکرار ۱	۴۷۷/۱	۷/۸۷	۱۷/۵۲	۱۹۶	۵۷/۶	۱۲/۵	۲۴/۲	۱/۶	۰/۱۹	۳۳	۱۴۴	۶/۲۸	۴۹/۱۵
	۴۸۱/۳	۷/۸۹	۱۷/۷۶	۲۰۰	۵۹/۲	۱۲/۵	۲۴/۵	۱/۶	۰/۱۸	۳۴	۱۴۴	۶/۹۳	۴۷/۳۳
	۴۸۲/۱	۷/۹۸	۱۵/۷۸	۱۹۸	۵۶	۱۳/۹	۲۴/۴	۱/۷	۰/۱۹	۳۴	۱۴۲	۶/۴۱	۴۹/۰۴
	۴۸۲/۵	۸	۱۷/۵۴	۱۹۴	۵۵/۲	۱۳/۴	۲۴	۱/۷	۰/۲۱	۳۴	۱۴۲	۶/۰۴	۵۳/۴
تکرار ۲	۴۷۹/۵	۷/۹۹	۱۷/۰۹	۲۰۰	۵۶/۸	۱۳/۹	۲۴	۱/۶	۰/۱۹	۳۴	۱۴۲	۶/۷۲	۵۰/۶۴
	۴۸۳/۵	۸/۰۳	۱۶/۴۱	۲۰۰	۵۶	۱۴/۴	۲۴/۲	۱/۶	۰/۱۹	۳۴	۱۴۴	۶/۹	۴۷/۲۳
	۴۸۲/۷	۸/۰۶	۱۷/۲۳	۱۹۶	۵۶/۸	۱۳	۲۴/۱	۱/۷	۰/۱۹	۳۴	۱۴۴	۶/۷۴	۴۷
	۴۸۳	۸/۱	۱۶/۲	۱۹۴	۵۶	۱۳	۲۴/۶	۱/۷	۰/۲۱	۳۳	۱۴۴	۷/۲۳	۵۰
مقدار F محاسبه شده	۰/۱۸۶	۷/۶۴	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۴۳	۰/۸۹	۰/۰۸	۰	۰/۱	۰	۰/۴۳	۴/۷۳	۰/۴
مقدار F کلیدی	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷
آیا نمونه پایدار است؟	بله	خیر	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله

جدول ۶- خلاصه نتایج حاصل از آزمون مقایسات بین آزمایشگاهی شرکت کنندگان در بخش فیزیکوشیمیایی آب

اندازه	الکتريکي هدايت	pH	کدورت	سختی کل	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	فلوراید	کلراید	قلیائیت	سولفات	نیترات
تعداد نتایج	۵۷	۵۶	۵۷	۵۷	۵۶	۵۴	۳۹	۳۷	۳۷	۵۰	۵۱	۵۵	۴۷
مقدار تخصیص یافته با استفاده از روش اجماع	۴۶۹/۰۱	۷/۹۸	۱۲/۸۶	۱۸۹/۲	۵۴/۳۳	۱۲/۸۳	۲۴/۲۲	۱/۸۲	-۰/۲۶	۳۵/۰۳	۱۴۳/۹	۵/۵	۴۸/۸
انحراف استاندارد میانگین نتایج	۸/۹۸	۰/۲۴	۱/۷۹	۴/۴۴	۲/۲۵	۱/۵	۱/۱۷	۰/۱۷	۰/۰۷	۲/۰۳	۵/۲۹	۰/۵۲	۵/۴۵
مقدار تخصیص یافته با استفاده از روش استوار	۴۶۹/۵۸	۷/۹۹	۱۲/۵۶	۱۸۹/۳	۵۴/۴۷	۱۲/۷۸	۲۴/۱۹	۱/۷۹	-۰/۲۶	۳۵/۱	۱۴۴	۵/۵۱	۴۸/۳۸
انحراف استاندارد استوار نتایج	۵/۹۲	۰/۱۷	۱/۴۲	۳/۶۵	۱/۹۵	۱/۴	۱/۱	۱/۱	۰/۷۷	۱/۹۵	۴/۲۳	۰/۴۹	۴/۲۱
عدم قطعیت مقدار تخصیص یافته استوار	۰/۹۸	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۰۱۶	۰/۳۷	۰/۷۶	۰/۰۸	۱/۷۸
تعداد داده‌های پرت	۰	۳	۱	۴	۱	۵	۴	۱	۰	۶	۳	۳	۱
تعداد نمره‌های h بزرگتر از h بحرانی	۱	۳	۱	۴	۲	۵	۴	۱	۰	۶	۴	۴	۱
تعداد نمره‌های k بزرگتر از k بحرانی	۱	۰	۲	۲	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۲
تعداد نمره‌های Z-score بزرگتر از ۲	۱	۲	۶	۹	۴	۳	۲	۴	۱	۳	۳	۲	۴
تعداد نمره‌های Z-score بزرگتر از ۳	۶	۳	۲	۴	۲	۵	۴	۱	۰	۶	۵	۴	۳
روش تعیین انحراف استاندارد	اجماع نتایج شرکت کنندگان												

۳-۴- ارزیابی نتایج

۳-۴-۱- ارزیابی صحت نتایج شرکت کنندگان

نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که برگزاری آزمون‌های مهارت برای نهادهای نظارتی که نیاز به ارزیابی عملکرد شرکت کنندگان تحت پوشش مقررات دارند، مفید است. نتایج این آزمون، می‌تواند برای نشان دادن شایستگی استفاده شود. بدین ترتیب، شرکت کنندگان می‌توانند شایستگی خود را به سایر طرف‌های ذینفع، مانند مشتریان یا در یک قرارداد فرعی نشان دهند (Durgut, 2021). در این تحقیق به نقش آزمون‌های مقایسات بین‌آزمایشگاهی در اطمینان از کیفیت اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در آزمایشگاه‌ها، سازماندهی آزمون‌ها، تجزیه و تحلیل و گزارش نتایج آن‌ها پرداخته شده است. بدین ترتیب، از نمودار کنترل شوهارت که روش مؤثری برای نمایش مقادیر بزرگی نمره‌های عملکرد است، برای نمایش گرافیکی صحت استفاده شده است (Biswas et al., 2016). مقادیر z-score به‌عنوان شاخص صحت و در نهایت مقایسه عملکرد مشارکت کنندگان در این آزمون است. این نمودارهای کنترل صحت نتایج مشارکت کنندگان در آزمون مقایسات بین آزمایشگاهی در بخش‌های فیزیکوشیمیایی آب را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه، شکل ۲ نمودار بررسی صحت نتایج برای اندازه‌ده هدايت الکتریکي را نشان می‌دهد. در این نمودار، مقادیر z-score بالاتر از ۲ برای شرکت کنندگان با رنگ زرد نشان داده شده است و بیانگر علامت هشدار برای آزمایشگاه موردنظر برای بررسی شرایط و تجهیزات مورد استفاده در آزمون است. این علامت، نشان می‌دهد که

شرکت کنندگان باید درستی روش‌ها را با استفاده از مواد مرجع و مشارکت در آزمون مهارت به‌منظور بررسی اثربخشی اقدامات اتخاذ شده مورد بررسی قرار دهند. خط قرمز در نمودار نشان دهنده مقادیر z-score بالاتر از ۳ بوده و علامت عمل برای آزمایشگاه موردنظر برای اقدامات لازم به‌منظور تأمین صحت اندازه‌گیری است. بنابراین باید شرکت کننده فرایندهای خود را تا زمانی که علل ریشه‌ای مشکل شناسایی شوند، متوقف نماید و اقدامات مناسبی را برای اصلاح کار نامنطبق و از بین بردن علل عدم انطباق اتخاذ نماید.

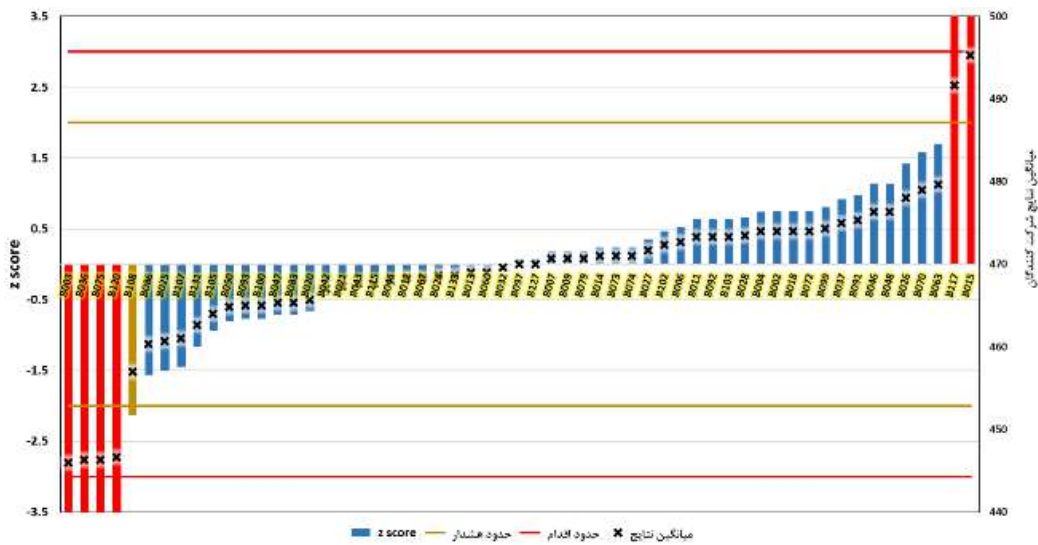
۳-۴-۲- نمایش دقت نتایج مشارکت کنندگان

برای ارزیابی دقت درون آزمایشگاهی شرکت کنندگان از مقادیر k استفاده شده است. نمودارها بیانگر نمایش گرافیکی نتایج هستند. در این نمودارها خط قرمز رنگ مقدار k کلیدی را برای هر اندازه‌ده نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه، مقادیر k برای اندازه‌ده هدايت الکتریکي در شکل ۳ نمایش داده شده است. در نمودار نمایش داده‌ها براساس k، نتایج قرمز نشان‌دهنده مقادیر بالاتر از حد کلیدی بوده و بنابراین شرکت کننده موردنظر از دقت درون آزمایشگاهی کافی برخوردار نبوده است.

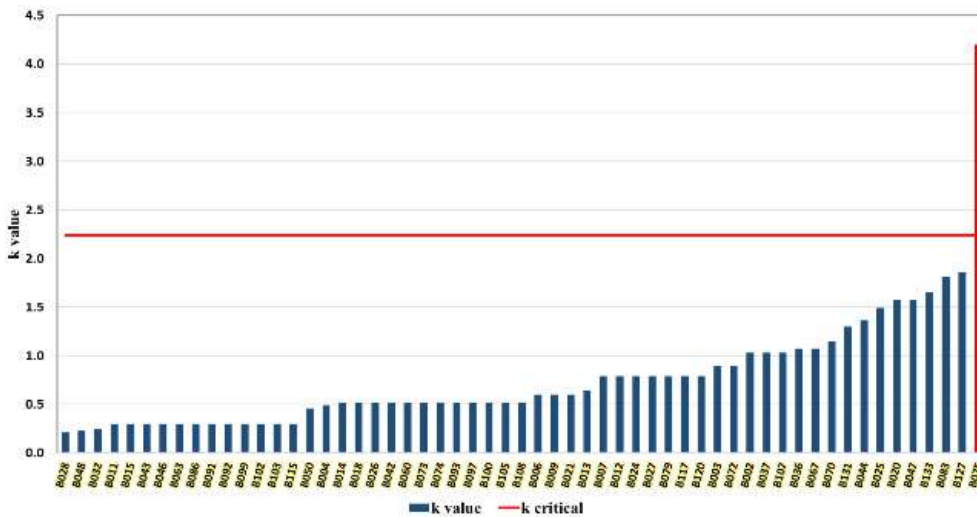
محاسبه مقدار تخصیص یافته و ارزیابی عملکرد بر اساس استانداردهای بین المللی ISO 13528 ممکن است به‌عنوان رویکرد مفیدی برای مقایسه بین آزمایشگاهی در آزمایشگاه‌های آب اتخاذ شود. هنگام اعمال این استاندارد، مقدار تخصیص داده شده با مقادیر اجماع محاسبه شده از نتایج شرکت کنندگان با استفاده از تجزیه و تحلیل قوی و نتایج با استفاده از عامل z-score

هدایت الکتریکی، ۲ درصد در آزمون کلسیم، ۲۸ درصد در آزمون فلوراید، ۱۰ درصد در آزمون کلراید در وضعیت نامطلوب قرار دارند. همچنین ۱۰ درصد شرکت‌کنندگان در آزمون هدایت الکتریکی، ۲ درصد در آزمون سختی کل، ۲ درصد در آزمون کلسیم، ۸ درصد در آزمون سدیم، ۸ درصد در آزمون پتاسیم، ۴ درصد در آزمون فلوراید، ۸ درصد در آزمایش کلرید، ۶ درصد در آزمایش سولفات و ۲ درصد در آزمون نیترات نتایج مشکوکی دارند.

به‌عنوان اندازه‌دهنده صحت ارزیابی می‌شود. برای ارزیابی دقت آزمایشگاهی از مقادیر k استفاده شد. آزمایشگاه‌هایی با مقادیر k بیشتر از مقادیر بحرانی و با امتیاز z بالاتر از ۳ به‌عنوان آزمایشگاه‌هایی با عملکرد ضعیف طبقه‌بندی شدند که نیاز به اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه و بررسی و رفع ریشه مشکلات و ناسازگاری‌های شناسایی شده دارند. مقادیر با امتیاز z بین ۲ و ۳ نشان‌دهنده یک علامت هشدار برای آزمایشگاه برای بررسی شرایط و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش است. به‌طور کلی، ارزیابی نتایج نشان داد که ۳ درصد از شرکت‌کنندگان در آزمون



شکل ۲- مقدار z-score برای هدایت الکتریکی



شکل ۳- مقدار k برای هدایت الکتریکی

انطباق‌های شناسایی شده است. بنابراین آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده باید در بخش‌های مختلف نتایج خود را بررسی نموده و از این طریق اقدامات لازم برای بررسی علل و رفع مشکلات خود را انجام دهند.

دریافت یک علامت هشدار در یک دوره آزمون مهارت و دو علامت هشدار در دوره‌های متوالی آزمون مهارت به‌معنی عملکرد نامطلوب آزمایشگاه و ایجاد عدم انطباق با استاندارد در روش آزمون موردنظر بوده و نیازمند انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه به‌منظور بررسی و رفع ریشه‌ای مشکلات عدم

- Indianapolis, Indiana, USA.
- IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications, (2009), "Proficiency test of Ukrainian laboratories determination of Gamma emitting radionuclides", IAEA/AQ/006, IAEA Viena, 1.
- ISO/IEC 17025, (2017), "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories", International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, Geneva.
- ISO /IEC 17043, (2010), "Conformity assessment, General requirements for proficiency testing", International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, Geneva.
- ISO 1352., (2015), "Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons", International Organization for Standardization, Geneva.
- Softić, A., Zaimović-Uzunović, N., and Basić, H., (2012), "Proficiency testing and interlaboratory comparisons in laboratory for dimensional measurement", *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 16(1), 115-118.
- Szenczak, E., and Bondarzewski, A., (2016), "Is the assessment of interlaboratory comparison results for a small number of tests and limited number of participants reliable and rational?", *Accreditation and Quality Assurance*, 21, 91-100, <https://doi.org/10.1007/s00769-016-1195-y>.
- Urvoy, M., and Autrusseau, F., (2014), "Application of Grubbs' test for outliers to the detection of watermarks", *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Information hiding and Multimedia Security*, 49-60, <https://doi.org/10.1145/2600918.2600931>.
- Voiculescu, R.M., Olteanu, M.C., and Nistor, V.M., (2013), "Design and operation of an inter-laboratory comparison scheme", *Proceedings of NUCLEAR 2013 the 6th Annual International Conference on Sustainable Development through Nuclear Research and Education*.

آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران طی دو دوره، در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ موفق به برگزاری آزمون مقایسه‌های بین آزمایشگاهی در سطح کشور شد. اجرای دو دوره مقایسه‌های بین آزمایشگاهی نشان داد که آزمایشگاه‌های تخصصی، توانمندی اجرای این برنامه و تجزیه و تحلیل نتایج را دارند. در این راستا بررسی عملکرد نتایج ارسال شده از شرکت‌کنندگان آزمون مقایسه‌های بین آزمایشگاهی، تحلیل عملکرد و ارزیابی نتایج براساس محاسبات آماری انجام و گزارش آن برای کلیه شرکت‌کنندگان ارسال شد.

برگزاری آزمون مقایسه‌ها در سطح کشور، علاوه بر کنترل خارج‌سازمانی آزمایشگاه‌ها، با توجه به رایگان بودن برگزاری آن، طبق برآورد انجام شده، نزدیک به ۱۰ میلیارد ریال صرفه‌جویی اقتصادی برای شرکت‌های آب و فاضلاب و وزارت نیرو به همراه داشته است. زیرا آزمایشگاه‌هایی که در آزمون مهارت برگزارکنندگان خصوصی مشارکت می‌نمایند، ملزم به خریداری نمونه‌های آزمون مهارت هستند که با توجه به دامنه کاری آزمایشگاه و تعداد آن، می‌تواند مبالغ قابل توجهی از هزینه‌های نگهداری و کنترل کیفیت آزمایشگاه را به خود اختصاص دهد. می‌توان پایش بلندمدت فعالیت‌های کنترل کیفیت آزمایشگاه را با استفاده از نمودارهای کنترلی انجام داد تا وقوع هر نوع روندی در سیستم اندازه‌گیری بررسی شود. شرکت مداوم و مستمر در آزمون‌های مهارت و مقایسه‌های بین آزمایشگاهی می‌تواند کمک مؤثری در بهبود کیفیت سیستم آزمایشگاه‌ها داشته باشد.

۵- مراجع

- APHA, AWWA, WEF, (2017), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 23rd Edition.
- Biswas, R.K., Masud, M.S., and Kabir, E., (2016), "Shewhart control chart for individual measurement: An application in a weaving mil", *Australasian Journal of Business, Social Science and Information Technology*, 2(2), 89-100.
- Durgut, Y., (2021) "Inter-laboratory comparisons and their roles in accreditation", *European Journal of Science and Technology*, 28, 402-406, <https://doi.org/10.31590/ejosat.1001957>.
- Henrik, H.S., (2003), "Determining consensus values in interlaboratory comparisons and proficiency testing", *NCSL International Workshop and Symposium*,



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

Technical Note

مقاله ترویجی

Technical, Environmental and Economic Review of Salt Water Desalination and Analysis for Iran

بررسی فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی نمک‌زدایی آب شور و تحلیل شرایط برای ایران

Mohammadreza Fadaei Tehrani^{1*} and Maryam Abarshi²

1- Assistant Professor, Educational and Research Center, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.
2- PhD in Water and Environment, Educational and Research Center, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.

*Corresponding Author, Email: mfadaei@nri.ac.ir

Received: 29/04/2023

Revised: 13/06/2023

Accepted: 29/06/2023

© IWWA

Abstract

Saltwater desalination technologies have evolved as an effective and reliable solution for water supply over the last few decades. The development of desalination units in the southern coasts of Iran, is considered as one of the main solutions for sustainable water supply. In this research, by studying the three leading countries in seawater desalination, the improvement path of their facilities have been evaluated, and optimal model for the development of desalination units in Iran has been presented. According to the results, four challenges of salty wastewater, damage at the inlet, high energy consumption and the poverty of minerals is observed in desalinated water. Based on the findings, increasing the country's current capacity in seawater desalination from 585,000 to 1,150,000 m³/day is needed to sustainably supply the drinking needs of water-deficient provinces. Based on the economic analysis, including the price of subsidized electricity in Iran, the total price of each cubic meter of water for near the coast, Kerman, Yazd and Birjand is estimated to be 432, 702, 972 and 1026 thousand Rials, respectively. Also, in terms of salinity and environmental issues, the location of sweetening units on the coasts of Makran has an advantage over the Persian Gulf.

Keywords: Salt Removal, Salty Water, Persian Gulf, Sweetening.

محمد رضا فدائی تهرانی^{۱*} و مریم ابارشی^۲

۱- استادیار مجتمع آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق اصفهان، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران.

۲- دکترای آب و محیط‌زیست، مجتمع آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق تهران، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: mfadaei@nri.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

فناوری‌های نمک‌زدایی آب شور به‌عنوان یک راه‌کار موثر و مطمئن برای تامین آب طی چند دهه اخیر تکامل یافته‌اند. توسعه واحدهای نمک‌زدایی در سواحل جنوبی ایران که با معضل کمبود منابع آب شرب مواجه است، به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های اصلی تامین پایدار آب مدنظر است. در پژوهش حاضر، با مطالعه سه کشور پیشرو در نمک‌زدایی آب دریا، مسیر توسعه و مشخصات تاسیسات آن‌ها مورد ارزیابی فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی قرار گرفته و مطابق شرایط بومی کشور، مدل بهینه توسعه واحدهای نمک‌زدایی در ایران، ارائه می‌شود. بنابر تجربیات موجود و نتایج تحقیقات علمی، پساب شور، آسیب در ورودی، مصرف بالای انرژی و فقر مواد معدنی در آب تولیدشده، چهار چالش اصلی در نمک‌زدایی آب دریا است. براساس یافته‌های این مطالعه، افزایش ظرفیت روزانه فعلی کشور در نمک‌زدایی آب دریا از ۵۸۵،۰۰۰ به حداقل ۱،۱۵۰،۰۰۰ مترمکعب برای تامین مصارف شرب استان‌های دارای کمبود آبی، ضروری است. بر مبنای تحلیل اقتصادی انجام شده با احتساب بهای برق یارانه‌ای در ایران، قیمت تمام‌شده هر مترمکعب آب برای مجاور دریا، کرمان، یزد و بیرجند به ترتیب برابر ۴۳۲، ۷۰۲، ۹۷۲ و ۱۰۲۶ هزار ریال برآورد می‌شود. هم‌چنین، به لحاظ شوری و مسائل محیط‌زیستی، مکان‌یابی واحدهای نمک‌زدایی در سواحل مکران بر سواحل خلیج فارس مزیت دارد.

کلمات کلیدی: نمک‌زدایی؛ آب شور؛ خلیج فارس؛ نمک‌زدایی.

تولید آب شیرین از طریق نمک‌زدایی هستند. هرچند برای نمک‌زدایی آب فن‌آوری‌های متنوعی وجود دارد، اما دو روش حرارتی و غشائی به‌طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار گرفته است. فرآیند مبتنی بر حرارت شامل تبخیر آب شور با استفاده از انرژی حرارتی (گرما) و جمع‌آوری میعانات نمک‌زدایی برای تولید آب شیرین است. برای چندین دهه، فناوری مبتنی بر حرارت به‌طور گسترده در کشورهای حاشیه خلیج فارس که در آن سوخت فسیلی فراوانی برای تولید انرژی حرارتی مورد نیاز در دسترس بود، استفاده شد؛ لیکن به‌دلیل تبعات محیط‌زیستی سوزاندن نفت و گاز و نقش آن در گرمایش کره زمین، تمایل به روش‌های غشائی بر مبنای برق تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته است (Elimelech and Phillip, 2011).

از جمله رایج‌ترین فناوری‌های حرارتی می‌توان فلاش چند مرحله‌ای (MSF)^۴ و تقطیر چند اثره (MED)^۵ را نام برد. MSF به‌عنوان یک‌سری مراحل کار می‌کند که از بخار گرم و کندانسور برای جداسازی آب از نمک استفاده می‌کند. بخار گرم‌شده آب شور را گرم می‌کند و فشار در مراحل متعدد کاهش می‌یابد؛ بنابراین آب به بخار سرد شده تبدیل می‌شود. از طرف دیگر، پساب نمکی پس از هر مرحله تشکیل می‌شود. به‌طور مشابه، MED از تکنیک مشابهی از چندین مخزن استفاده می‌کند که برای تصفیه آب دریا به بخار گرم و کندانسورها متکی است (Xu et al., 2013; Schorr et al., 2012). تفاوت عمده‌ای که MED را از MSF متمایز می‌کند، روش‌های تبخیر و انتقال حرارت است. در MED، تبخیر زمانی اتفاق می‌افتد که آب تغذیه با سطح انتقال حرارت تماس پیدا کند. درحالی‌که برعکس، فرآیندهای گرمایش MSF فقط در داخل لوله‌ها رخ می‌دهد.

از سوی دیگر، در فناوری مبتنی بر غشاء، آب شور از طریق یک غشای انتخابی به آب شیرین عبور کرده و نمک‌های معلق و سایر جامدات باقی‌مانده در پشت غشاء، تفکیک می‌یابند. فناوری غشایی برای تصفیه آب شامل اسمز معکوس (RO)^۶، میکروفیلتراسیون (MF)^۷، اولترافیلتراسیون (UF)^۸ و نانو فیلتراسیون (NF)^۹ تقسیم می‌شود. مکانیسم جداسازی در MF، UF و NF عمدتاً حذف اندازه است درحالی‌که RO از یک پدیده فیزیکی متفاوت بر پایه پدیده نشر، استفاده می‌کند. اسمز معکوس آب خوراک را با استفاده از غشاها به دو جریان آب غلیظ با شوری بالا (یا پساب نمکی) و آب تصفیه‌شده بدون نمک جدا می‌کند. با این‌حال، تفاوت عمده بین این فناوری‌ها اندازه منافذ است (Curto et al., 2021).

RO رایج‌ترین فن‌آوری نمک‌زدایی است که برای تصفیه آب

آب مهم‌ترین ماده طبیعت و به‌وجود آورنده حیات است. تامین آب کافی و با کیفیت مناسب برای شرب، کشاورزی و صنعت، اصلی‌ترین نیاز جوامع و از مهم‌ترین وظائف حکومت‌ها به‌شمار می‌رود. هرچند بیشتر سطح کره زمین پوشیده از اقیانوس‌ها و دریاها بوده و از منظر فضا، بصورت کره آبی به‌نظر می‌رسد، اما فقط حدود ۱ درصد این آب، در دسترس، شیرین و قابل مصرف است. بنابراین، آب یک منبع محدود و با پراکندگی بسیار متغیر است. پیش‌بینی سازمان همکاری اقتصادی و توسعه OECD نشان می‌دهد در حال حاضر ۴۰ درصد از جمعیت جهان در حوضه‌های رودخانه‌ای با تنش آبی زندگی می‌کنند و تقاضای آب تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۵۵ درصد افزایش خواهد یافت (Keller, 2020). کشورهای خاورمیانه نظیر ایران در کمربند خشک کره زمین جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و هم‌عرض صحراهای بزرگ آفریقا و آسیا بوده و کم و بیش با چالش تامین آب مواجه هستند. متوسط میزان بارندگی سالانه ایران، بنابر آمار ۴۰ ساله برابر ۲۴۵/۱ میلی‌متر، در حدود یک‌سوم بارندگی جهانی است که توزیع آن در نواحی مختلف به‌شدت ناهمگن است (Ajjur and Baalousha, 2021). ایران در قسمت زیادی از سواحل جنوبی خود در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان با کمبود شدید بارش و منابع آب شیرین مواجه بوده و برخلاف سواحل شمالی، اقلیم آن کم‌بارش و با دمای بالا، است. از طرفی گستردگی این سواحل در حاشیه دریا این امکان را به‌وجود آورده تا از منابع آب دریا برای مصارف شرب و صنعت بهره‌برداری نمود.

نمک‌زدایی فرآیند حذف مقدار بیش از حد نمک‌ها و سایر مواد شیمیایی از آب دریا است تا برای مصارف خانگی و سایر مصارف مناسب شود. نمک‌زدایی آب لب‌شور (غلظت نمک از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب دریا (دارای دامنه شوری بین ۳۰۰۰ تا ۴۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در چند دهه اخیر، مورد توجه قرار گرفته است. مطابق با دستورالعمل‌های کیفیت آب آشامیدنی (GDWQ)^۱ از سازمان بهداشت جهانی (WHO)^۲ مراد از نمک‌زدایی یا نمک‌زدایی آب دریا، کاهش غلظت نمک به زیر ۵۰۰ ppm^۳ است.

مردم، دانشمندان و دولت‌ها همگی به‌دنبال روش‌های نمک‌زدایی مقرون به‌صرفه و ایمن برای محیط‌زیست هستند تا زمین را از کمبود آب نجات دهند. کشورهای خلیج فارس به‌دلیل منابع محدود آب شیرین و جمعیت کمتر در مقایسه با سایر کشورهای توسعه یافته و وجود منابع سرشار انرژی، پیشرو در

است. در تحقیق حاضر تلاش شده به این سوال که "نمک‌زدایی آب دریا تا چه حدی می‌تواند پاسخگوی نیاز آبی کشور ایران باشد؟" پاسخ داده شود.

۲- مواد و روش‌ها

تا سال ۲۰۱۸، حدود ۱۷ هزار واحد آب‌شیرین‌کن در نقاط مختلف کره زمین تقریباً ۳۵/۸ میلیارد متر مکعب در سال (۹۵/۴ میلیون مترمکعب در روز) برای بیش از ۳۰۰ میلیون نفر در ۱۷۷ کشور تولید کردند. پیش‌بینی می‌شود ظرفیت تولید تا سال ۲۰۵۰ با رشد دوبرابری به ۷۰/۱ میلیارد مترمکعب در سال برسد. اکثر کشورهایی که از آب شیرین‌کن استفاده می‌کنند، کشورهای پردرآمدی هستند که منابع آب شیرین محدودی دارند. جدول ۱ تولیدکنندگان برتر آب شیرین‌شده و سهم جهانی آن‌ها را نشان می‌دهد. کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) تقریباً نیمی از سهم جهانی ظرفیت نمک‌زدایی (۴۸ درصد) را تشکیل می‌دهند. عربستان سعودی هم‌چنان با سهم ۲۲ درصد بزرگ‌ترین تولیدکننده آب شیرین و پس از آن ایالات متحده آمریکا با سهم ۱۴ درصد قرار دارد. کشورهایی مانند امارات متحده عربی، قطر و کویت تقریباً ۱۰۰ درصد از منابع آبی خود را به آب شیرین‌شده متکی هستند. از سوی دیگر، کشورهای با درآمد پایین (مانند آسیای جنوبی و جنوب صحرای آفریقا) سهم ناچیزی در تولید جهانی با کمتر از ۰/۱ درصد دارند (Ihsanullah et al., 2021).

دریا و آب‌های لب‌شور در سراسر جهان به دلیل کارایی بالا، پساب کمتر، هزینه انرژی پایین در مقایسه با سایر فناوری‌ها مزیت دارد. فناوری RO امکان تمیز نگه‌داشتن محیط‌زیست، کاهش ضایعات و در نتیجه رعایت استانداردهای بهداشت عمومی را بهتر از سایر روش‌ها فراهم می‌کند. در مقایسه با فرآیندهای حرارتی، RO نرخ بازیابی بالاتری دارد، بنابراین آب نمک کمتری تولید می‌کند (Asif et al., 2019). دفع پساب نمکی، آب شور با غلظت بالای نمک، بزرگ‌ترین چالش محیط‌زیستی ناشی از واحدهای نمک‌زدایی بوده که لازم است قبل از تخلیه رقیق شود تا به اکوسیستم دریا آسیب نرساند. در سال ۲۰۲۰، آب شیرین تولید شده از روش RO با نسبت ۶۹ درصد تولید کل، دارای بالاترین سهم نمک‌زدایی بوده و پس از آن دو فناوری اصلی حرارتی MSF و MED به ترتیب با سهم ۱۸ و ۷ درصد قرار داشته است. این سه فناوری ۹۴ درصد از آب شیرین‌شده تولید شده در جهان را تشکیل می‌دهند (Huang et al., 2020).

در پژوهش حاضر، در کنار بررسی تجربیات سه کشور پیشرو در نمک‌زدایی آب دریا (عربستان، ایالات متحده آمریکا و امارات متحده عربی) و مقایسه وضعیت ایران با آن‌ها، آسیب‌شناسی فناوری‌های مربوط به نمک‌زدایی به لحاظ فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی انجام شده است. بر مبنای نتایج به دست آمده، ضمن تحلیل اقتصادی با محاسبه هزینه تمام‌شده هر مترمکعب آب تصفیه شده، ظرفیت مورد نیاز نمک‌زدایی آب برای ایران تخمین و محل بهینه برای احداث واحدهای آب‌شیرین‌کن پیشنهاد شده

جدول ۱- ده کشور برتر در زمینه نمک‌زدایی آب دریا (Asif et al., 2019)

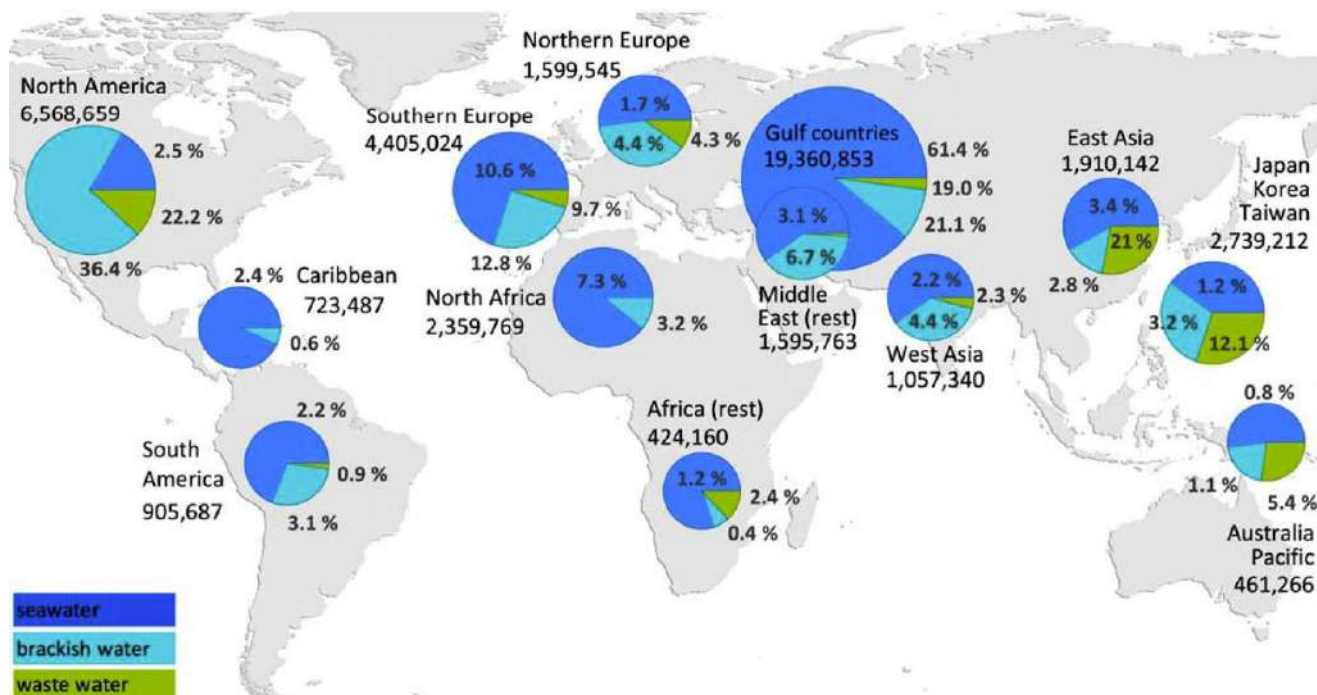
رتبه	نام کشور	ظرفیت تولید (میلیون مترمکعب در روز)	مترمکعب تولید سالانه به ازای هر نفر جمعیت	سهم از کل (درصد)
۱	عربستان سعودی	۱۲	۳۵۳	۲۲/۰
۲	ایالات متحده آمریکا	۱۰/۶	۳۲/۳	۱۴/۰
۳	امارات متحده عربی	۷/۵	۷۷۳	۱۲/۵
۴	اسپانیا	۵/۳	۱۱۲	۸/۹
۵	کویت	۲/۵	۶۲۵	۴/۲
۶	چین	۲/۴	۱/۷	۴/۰
۷	ژاپن	۱/۶	۱۲/۷	۲/۶
۸	قطر	۱/۴	۵۰۰	۲/۴
۹	الجزایر	۱/۴	۳۲/۵	۲/۳
۱۰	استرالیا	۱/۲	۴۸	۲/۰

سطح غشا که منجر به کاهش شار نفوذ و دفع نمک و در نهایت انسداد غشا می‌شود. رسوب غشایی می‌تواند به طور قابل توجهی بر کیفیت فیلتراسیون و تولید نیز تأثیر بگذارد. میانگین طول عمر یک غشا بین ۲ تا ۵ سال تخمین زده می‌شود. نوع و دمای آب

اگرچه RO دارای طیف گسترده‌ای از مزیت‌ها نظیر مصرف انرژی کمتر، سازگاری بیشتر با محیط‌زیست و تولید شیرابه نمکی کمتری است، رسوبات جمع‌شده روی غشا هم‌چنان یک چالش بزرگ است. رسوب عبارت است از تجمع ذرات نامطلوب روی

بروز رسوب، کارائی RO در تولید آب شیرین کاهش می‌یابد. در نتیجه، انرژی، نگهداری و هزینه بیشتری برای غلبه بر مشکل ناشی از رسوب غشا مورد نیاز است. در شکل ۱ فناوری و میزان سهم کشورهای مختلف در نمک‌زدایی آب شور نشان داده شده است. در ادامه این قسمت، وضعیت سه کشور برتر ارائه و شرایط ایران در مقایسه با آن بیان شده است.

خوراک، میزان پیش‌تصفیه، تمیز کردن و نگهداری از عوامل موثر بر طول عمر غشا هستند. به‌عنوان مثال، مطالعه تصفیه‌خانه SWRO در یونان نشان داد که اگر پیش‌تصفیه آب خوراک به‌درستی برای حذف آلاینده‌ها از آب انجام شود، غشای RO می‌تواند تا ۵ سال دوام بیاورد (Moradi et al., 2019). چنان‌چه پیش‌تصفیه نادیده گرفته‌شود، تمیز کردن بیشتری مورد نیاز خواهد بود که می‌تواند طول عمر غشا را کاهش دهد. در صورت



شکل ۱- سهم مشارکت کشورهای مختلف در نمک‌زدایی آب شور (Lattemann et al., 2010)

تبدیل آب شور (SWCC) با فرمان سلطنتی تأسیس شد تا تمام آب مورد نیاز مناطق مختلف عربستان را با آب نمک‌زدایی تامین کند. همچنین، مسئولیت سایر امور مربوط به یکپارچه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب طبیعی، از جمله آب‌های زیرزمینی و ساخت واحدهای آب شیرین‌کن با بهترین فناوری موجود نیز به SWCC واگذار شد. بنابراین دستاوردها، عربستان سعودی یکی از موفق‌ترین کشورهای در نمک‌زدایی و استحصال آب شیرین از دریا به‌شمار می‌رود. در سال ۲۰۱۹، دو گواهینامه توسط کتاب رکوردهای جهانی گینس، یکی برای SWCC، بزرگترین شرکت نمک‌زدایی در جهان با تولید روزانه ۵/۶ میلیون مترمکعب آب شیرین و دومی برای کارخانه آب شیرین‌کن الجبیل، بزرگترین تاسیسات در جهان با ۱/۴ میلیون مترمکعب در روز، به عربستان سعودی اعطا شد. در طی این دهه‌ها، SWCC تولید آب خود را بیش از ۹۰ برابر افزایش داده و به تولید سالانه ۱۸۸۴ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۹ رسانده است (Ihsanullah et al., 2021). نکته حائز اهمیت این‌که، تولید سالانه به‌طور قابل‌توجهی

۲-۱- عربستان سعودی

عربستان سعودی در منتهی‌الیه غرب آسیا واقع شده و بخش بزرگی از شبه جزیره عربستان را تشکیل می‌دهد. این کشور دارای ۳۴ میلیون جمعیت در مساحت ۲,۱۴۹,۶۹۰.۰ کیلومتر مربع است. تا سال ۲۰۱۹، حدود ۳۳ کارخانه آب شیرین‌کن بزرگتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در روز، روزانه بیش از ۱۲ میلیون مترمکعب تولید کردند. برای بیش از ۱۰۰ سال، عربستان سعودی نمک‌زدایی آب را از طریق تقطیر انجام داده است. در ابتدا، از زال سنگ و حتی بدنه کشتی‌های شکسته برای تقطیر آب استفاده می‌شد. در سال ۱۹۲۸، عربستان سعودی دو کارخانه تقطیر جداگانه در ساحل غربی، نزدیک دریای سرخ احداث نمود. هر کارخانه باید روزانه ۲۳۰ هزار مترمکعب آب شیرین تولید می‌کرد که به‌دلیل حضور زائران و بازدیدکنندگان به شهر مقدس مکه، دسترسی به آب آشامیدنی، ضروری است. در سال ۱۹۷۰، یک کارخانه آب شیرین‌کن دیگر در جده ساخته شد تا روزانه ۵۰۰ هزار مترمکعب آب شیرین تولید کند. در سپتامبر ۱۹۷۴، شرکت

دریا است. مانند سایر نقاط جهان، پرکاربردترین فناوری نمک‌زدایی در ایالات‌متحده RO با سهم حدود ۷۰ درصد است.

به‌طور خاص مناطق ساحلی ایالات‌متحده، طی دو قرن گذشته به آب‌های سطحی و زیرزمینی متکی بوده‌اند. در دو دهه اخیر به‌دلیل خشکسالی‌های پی‌درپی و نفوذ آب شور، این منابع ارزشمند به منابع آبی غیرقابل اعتماد تبدیل شده‌اند. برای غلبه بر کمبود آب شیرین، مقامات ایالتی از بسیاری از پروژه‌های نمک‌زدایی برای کاهش وابستگی به آب‌های سطحی و زیرزمینی، حمایت کرده‌اند. ایالت‌های کالیفرنیا، فلوریدا و تگزاس، به‌عنوان مناطق ساحلی نیازمند به منابع آب شیرین پایدار، ایالت‌های پیشرو برای توسعه واحدهای نمک‌زدایی هستند. اخیراً، کالیفرنیا به‌دلیل تشدید کمبود آب و پیشرفت در فناوری نمک‌زدایی، معطوف شدن دیدگاه‌ها به نمک‌زدایی آب شور را تجربه کرده است. پیش از این، کالیفرنیا علاقه محدودی به نمک‌زدایی داشت تا این‌که کارخانه نمک‌زدایی کارلزباد^{۱۵} در دسامبر ۲۰۱۵ افتتاح شد که در زمان تاسیس، بزرگترین واحد نمک‌زدایی آب در ایالات‌متحده بود. این پروژه برای تامین آب شرب ساکنان سن‌دیگو، یک میلیارد دلار هزینه داشت (Ziolkowska, 2017).

کارخانه آب‌شیرین‌کن کارلزباد بیش از ۱۹۰ هزار مترمکعب در روز تولید می‌کند تا حدود ۳۰ درصد از کل آب مورد نیاز سن‌دیگو را پوشش دهد. پس از آن، در کالیفرنیا به دلایلی نظیر افزایش تقاضای آب، بهبود فناوری، و افزایش یارانه‌های دولتی، تمایل به نمک‌زائی افزایش پیدا کرد. دپارتمان منابع آب کالیفرنیا (DWR)^{۱۶} بیش از ۱۰۰ میلیون دلار کمک بلاعوض را برای مطالعات امکان‌پذیری و تبعات محیط‌زیستی اختصاص داده و پیشنهاد ساخت ۲۰ تاسیسات نمک‌زدایی آب دیگر را در سراسر ایالت ارائه نمود (Panagopoulos et al., 2019).

علی‌رغم مخالفت‌هایی که بر نگرانی‌های محیط‌زیستی دریایی متمرکز شده، رهبران کالیفرنیا مشتاقانه منتظر ساخت کارخانه‌های بیشتری در آینده نزدیک هستند. آن‌ها حامی بهبود مستمر فناوری پیشرفته‌ای هستند که هزینه کل را کاهش و در عین حال کارایی را افزایش می‌دهد؛ البته، هزینه سایر منابع آبی نیز در حال افزایش است.

۲-۳- امارات متحده عربی

امارات متحده عربی، به اختصار امارات، کشوری در غرب آسیا و شمال شرق شبه‌جزیره عربستان واقع شده که در سال ۲۰۲۰ جمعیت آن ۹/۹ میلیون نفر ثبت شده است. اقلیم امارات خشک و بیابانی و متوسط بارندگی سالانه در سواحل آن کمتر از ۱۲۰

از ۱۰۷۱ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۶ به ۱۸۸۴ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۹ (افزایش ۶۴ درصد طی سه سال) ارتقا یافته است.

تا سال ۲۰۱۹، عربستان سعودی مالک و اداره‌کننده ۳۳ کارخانه آب‌شیرین‌کن در دو ساحل بود؛ ۸ کارخانه در شرق که ۵۵ درصد از کل تولید سالانه را تولید می‌کنند و ۲۵ کارخانه در غرب ۴۴ درصد باقی‌مانده را تولید می‌کنند. تصفیه‌خانه‌هایی که در ساحل غربی، نزدیک مکه و جده قرار دارند، قدیمی‌ترین واحدهای نمک‌زدایی هستند. اخیراً SWCC سه واحد اصلی، دو تای آن‌ها در غرب و یکی در ساحل شرقی، به‌دلیل تأثیرات محیط‌زیستی و در دسترس بودن فناوری بهتری که باعث صرفه‌جویی در هزینه و انرژی می‌شود، را تعطیل نمود. مانند سایر نقاط جهان، در عربستان سعودی نیز از RO به‌عنوان فن‌آوری اصلی نمک‌زدایی در ۵۳ درصد از تاسیسات خود استفاده می‌شود. هرچند، فناوری‌های حرارتی مانند MSF و MED هنوز با سهم ۴۳ درصدی رایج هستند لیکن با گذشت زمان به تدریج روند نزولی دارند (Ihsanullah et al., 2021).

۲-۲- ایالات‌متحده آمریکا

ایالات‌متحده آمریکا با ۳۲۸ میلیون نفر جمعیت در مرکز آمریکای شمالی، چهارمین کشور بزرگ جهان است. تا سال ۲۰۱۸، تقریباً ۲۲۴۰ کارخانه آب‌شیرین‌کن بزرگتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در روز ۱۱ میلیون مترمکعب در روز در ایالات‌متحده تولید کردند (Miller et al., 2021). از سال ۱۹۵۲، ایالات‌متحده از نمک‌زدایی آب با تصویب قانون تبدیل آب شور (SWCA)^{۱۲} توسط کنگره استفاده کرد. نزدیک به ۱۰ سال بعد، جان‌اف‌کندی حمایت خود را برای گسترش استفاده از نمک‌زدایی تجاری ابراز کرد. او آشکارا گفت: «نمک‌زدایی می‌تواند بیشتر از هر پیشرفت علمی دیگری برای نجات مردان و زنان از زندگی فقیرانه موثر باشد». در دهه ۱۹۷۰ دفتر تحقیقات و فناوری آب (SWCA)^{۱۳} برای تامین مالی فناوری‌های پیشرفته در نمک‌زدایی تاسیس شد. بین سال‌های ۱۹۷۰ و ۲۰۱۰، ایالات‌متحده برای حمایت از تحقیق و توسعه فن‌آوری‌های نمک‌زدایی، با فراز و نشیب‌های بودجه‌ای و تنگناهای مالی مواجه شد. تا سال ۲۰۱۰، دولت ایالات‌متحده تقریباً ۲ میلیارد دلار هزینه کرده بود (Cooley et al., 2006). برخلاف سایر نقاط جهان، حدود ۵۰ درصد از آب تصفیه‌شده در ایالات‌متحده، در مقایسه با سایر نقاط جهان که بیشتر آب دریا را تصفیه می‌کنند، از آب لب‌شور^{۱۴} است که نمک‌زدایی آن به‌طور قابل‌توجهی راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر از آب شور

بهره‌برداری می‌نمایند که خارج از بحث و موضوع این پژوهش قرار دارد. سهم مجموع این ظرفیت‌ها، در مقایسه با حجم نمک‌زدایی در خلیج فارس و سرجمع جهانی به ترتیب ۳ و ۰/۷ درصد است که ناچیز است.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- تحلیل فنی و محیط‌زیستی

محدودیت در دسترس بودن آب شیرین عامل اصلی نمک‌زدایی آب شور است؛ به طوری که هرچه کمبود آب بیشتر باشد، کشورهای بیشتری نیازمند توسعه واحدهای نمک‌زدایی آب دریا خواهند بود. بر مبنای گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)^{۱۷} کشورهای واقع در خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) شامل عربستان سعودی، کویت، لیبی و امارات متحده عربی، بیش از ۱۰۰۰ درصد تنش آبی را تجربه می‌کنند، در حالی که میانگین جهانی تنها ۱۳ درصد است (FAO, 2018). بر اساس همین گزارش، ایالت‌های مختلف آمریکا، بین ۱۰ تا ۲۵ درصد و مناطق مختلف ایران نیز ۱۰ تا ۶۰ درصد تنش آبی را تجربه می‌کند. تنش آبی به‌عنوان نسبت برداشت آب بر تمام منابع آبی موجود محاسبه می‌شود. در همین حال، انتظار می‌رود که تنش آبی در سطح جهان به سه دلیل اصلی رشد جمعیت، دسترسی محدود به آب شیرین و گرم شدن زمین افزایش یابد. بنابراین، تقاضای زیاد برای نمک‌زدایی به‌ویژه در مناطقی که تحت تنش آبی زندگی می‌کنند، در حال افزایش است. به‌طور مثال، دو کشور عربستان سعودی و ایالات‌متحده آمریکا در مجموع با ۳۶ درصد نمک‌زدایی، بالاترین سهم را دارند. هرچند، رویکردها و انگیزه‌های متفاوتی دارند.

از نظر تقاضای آب، عربستان سعودی برای پوشش تقریباً ۷۰ درصد نیاز مصرف خانگی، به شدت به آب شیرین شده وابسته است. ۳۰ درصد دیگر از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. آب شیرین‌شده مصرفی ایالات‌متحده ۴ درصد کل آب مصرفی است که عمدتاً در ایالت‌های کالیفرنیا، فلوریدا و بخشی از تگزاس استفاده می‌شود. از نظر نوع آب خوراک، آب دریا و آب لب‌شور به ترتیب با سهم میانگین جهانی ۶۱ و ۲۱ درصد، منبع اصلی نمک‌زدایی است. عربستان سعودی به‌شدت به آب دریا متکی است در حالی که ایالات‌متحده از آب لب‌شور به‌عنوان منبع اصلی برای نمک‌زدایی استفاده می‌کند. آب لب‌شور نسبت به دریا مزیت بالایی دارد، زیرا شوری کمتری دارد و در نتیجه نیاز به تصفیه و هزینه تمام شده آن، کمتر خواهد بود. انتخاب آب خوراک عمدتاً ناشی از در دسترس بودن منابع است، اما پایداری متعاقب آن

میلی‌متر گزارش شده است. این کشور فاقد جریان روان آب دائمی یا دریاچه آب شیرین است که همواره تامین آب شرب کافی یکی از چالش‌های آن بوده است. در سال ۱۹۷۶ اولین واحد نمک‌زدایی امارات در ابوظبی با ظرفیت روزانه ۲۵۰ مترمکعب راه‌اندازی شد و پس از آن در سایر شهرهای ساحلی این کشور احداث واحدهای نمک‌زدایی توسعه یافت به طوری که تقریباً صددرصد از آب آشامیدنی و تجاری شهرهای ابوظبی و دبئی از طریق نمک‌زدایی آب دریا تامین می‌شود. در گذشته به‌دلیل فراوانی و ارزانی انرژی در امارات، به‌طور عمده از روش MSF برای نمک‌زدایی استفاده می‌شد. لیکن امروزه تمایل به روش‌های پیشرفته مبتنی بر فناوری RO مورد توجه این کشور قرار گرفته است. با توجه به تعهد کشور امارات در کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی، سرمایه‌گذاری برای تامین انرژی نمک‌زدایی آب از منابع جایگزین سوخت فسیلی نظیر انرژی خورشیدی یا نیروگاه‌های برق هسته‌ای در دست انجام است.

۲-۴- ایران

ایران، برخلاف کشورهای عربستان و امارات متحده عربی، کشوری پهناور با منابع آب متعدد است. لیکن توزیع منابع آب در آن یکنواخت نبوده و به‌ویژه مناطق مرکز، شرق و جنوب در امتداد سواحل دریای عمان و خلیج فارس با مشکل کمبود آب شیرین مواجه هستند. یکی از گزینه‌های مناسب برای این مناطق استفاده از آب شور دریا برای تامین بخشی از نیاز شرب به‌عنوان یک منبع پایدار و قابل اعتماد است. در سال ۱۹۶۰ اولین واحد نمک‌زدایی آب دریا در جزیره خارک با ظرفیت ۱۰۰۰ مترمکعب در روز به‌روش MSF احداث شد و پس از آن در شهرهای بوشهر، عسلویه، بندرعباس، کنارک واحدهای نمک‌زدایی آب دریا توسعه یافت. در ایران نیز مشابه سایر کشورهای حوزه خلیج فارس، در گذشته واحدهای نمک‌زدایی حرارتی مورد توجه بوده که در سال‌های اخیر تمایل به RO به‌عنوان جایگزینی مناسب، افزایش یافته است. بنابر آمار غیررسمی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، در انتهای سال ۱۴۰۱، تعداد ۷۸ واحد نمک‌زدایی در استان‌های مختلف با مجموع ظرفیت ۵۸۵ هزار مترمکعب در روز فعال بوده و ۱۶ پروژه دیگر برای توسعه واحدهای نمک‌زدایی با ظرفیت مجموع ۱۵۶ هزار مترمکعب در روز در دست ساخت قرار دارد. این ظرفیت نمک‌زدایی مربوط به شرکت‌های آب و فاضلاب برای تامین مصارف شرب هستند. بنابر آمار انجمن نمک‌زدایی ایران، علاوه بر مصارف شرب، صنایع مختلف به‌صورت متوسط ۲۵۵ هزار مترمکعب در روز از تاسیسات نمک‌زدایی وابسته به صنایع

(محصول) و آب نمک غلیظ فوق شور (پساب نمکی) تولید می‌شود. این پساب، حاوی مقدار قابل توجهی نمک (عمدتاً NaCl) و غلظت‌های متفاوت سرب، ید و نیترات است. کمیت و کیفیت پساب خروجی به نوع آب خوراک، تکنولوژی مورد استفاده و حداکثر ظرفیت کارخانه بستگی دارد. نرخ بازیافت آب برای تعیین درصد تولید آب نمک با تقسیم مقدار آب شیرین‌تولیدشده بر مقدار آب خوراک محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، با افزایش کیفیت آب خوراک، میزان بازیابی افزایش می‌یابد و مقادیر کمتری آب نمک تولید می‌شود. برای توضیح بیشتر، اگر یک تاسیسات نمک‌زدایی با نرخ بازیافت ۰/۶ کار کند، به این معنی است که ۶۰ درصد از آب خوراک به آب شیرین تبدیل می‌شود و به‌طور پیش‌فرض، ۴۰ درصد باقی‌مانده به آب نمک تبدیل می‌شود. با در نظر گرفتن RO به‌عنوان مثال، نرخ بازیافت کمتر از ۴۲ درصد با آب دریا در مقایسه با ۶۵ درصد برای نمک‌زدایی آب شور ثبت شده است (Jones, 2019).

مطابق شکل ۲، در سال ۲۰۱۸، در مجموع ۱۴۱/۵ میلیون مترمکعب در روز پساب شور از واحدهای نمک‌زدایی دفع شد که بیش از ۷۰ درصد از آن سهم خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA)، ۱۰/۵ درصد سهم آسیای شرقی و اقیانوس آرام و ۳/۹ درصد سهم آمریکای شمالی بود. آب نمک تولیدی MENA می‌تواند تا ۵۰ درصد آب فرآوری‌شده آن باشد، که به این معنی است که میزان بازیابی و کارایی آن‌ها پایین است. آب نمک یا از طریق تخلیه به آب سطحی، تزریق به آب‌های عمیق یا سایر روش‌ها به سیستم آب جهانی دفع می‌شود و یا با هدف تخلیه مایع صفر (ZLD)^{۱۸} مورد تصفیه قرار می‌گیرد. سیستم‌های ZLD برای دستیابی به نرخ بازیابی حداکثری با نرخ بین ۹۵ تا ۹۹ درصد (تولید حداقل پساب نمکی) طراحی شده‌اند. علی‌رغم دانستن این که تصفیه آب نمک گزینه بهتری است، بسیاری از مناطق هنوز آب نمک دفع‌شده را در آب دریا دفع می‌کنند. در سطح جهانی، هیچ استراتژی تخلیه پساب مشخصی متناسب با نوع، اندازه و فناوری موجود برای نمک‌زدایی، وجود ندارد. در عربستان سعودی و اکثر کشورهای MENA، نیروگاه‌های نمک‌زدایی در مجاورت آب‌های ساحلی (دریای سرخ یا خلیج فارس) بوده و بیشتر آن‌ها با یک نیروگاه تولید الکتریسیته همراه هستند و آب نمک با آب خنک‌کننده نیروگاه مخلوط و سپس از طریق لوله‌هایی به دریا تخلیه می‌شود (Khaled et al., 2020). در ایالات‌متحده آمریکا نیز کارخانه‌های نمک‌زدایی بیشتری در سواحل کالیفرنیا ساخته شده و پساب خروجی آن پس از مخلوط شدن با فاضلاب، آب نمک را دوباره به آب دریا دفع می‌کنند.

می‌تواند چالش بزرگی را ایجاد کند. آب لب‌شور تنها ۱ درصد از آب جهان را تشکیل می‌دهد در حالی که دریاها و اقیانوس‌ها، آب شور، ۹۷ درصد از آب کره زمین را تشکیل می‌دهند. کاهش بالقوه، یا تغییر در محتوای نمک منابع آب لب‌شور و تأثیرات ناشی از آن بر اکوسیستم‌های خاصی که آب لب‌شور از آن‌ها استخراج می‌شود، ممکن است یک تهدید محیط‌زیستی باشد (Khaled et al., 2020).

از نظر فناوری، RO تا حد زیادی پرکاربردترین فرآیند نمک‌زدایی آب در سراسر جهان است. ترتیب فناوری نمک‌زدایی در عربستان اول RO با سهم ۵۳ درصد و پس از آن MSF با سهم ۱۲ درصد است؛ هرچند تمایل و گرایش عربستان در سال‌های اخیر به سمت RO متمایل شده است. هم‌مکانی بین نیروگاه و تاسیسات نمک‌زدایی به استفاده از منابع موجود کمک می‌کند. آب خنک‌کننده نیروگاه به‌عنوان منبعی برای مخلوط کردن پساب نمک‌زدایی برای رقیق‌سازی و کاهش شوری قبل از تخلیه استفاده می‌شود. علاوه بر این، عربستان سعودی به دلیل مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی خود به RO متمایل شده است. به همین ترتیب، ایالات‌متحده از RO برای ۶۹ درصد از ظرفیت نمک‌زدایی خود استفاده می‌کند، که با فناوری دوم NF با سهم ۱۵ درصد، فاصله دارد. برخلاف سایر نقاط جهان، ایالات‌متحده از NF به‌عنوان دومین فناوری کاربردی نمک‌زدایی استفاده می‌کند، زیرا هزینه عملیاتی و نگهداری کمتری نسبت به RO دارد (Alobireed, 2014).

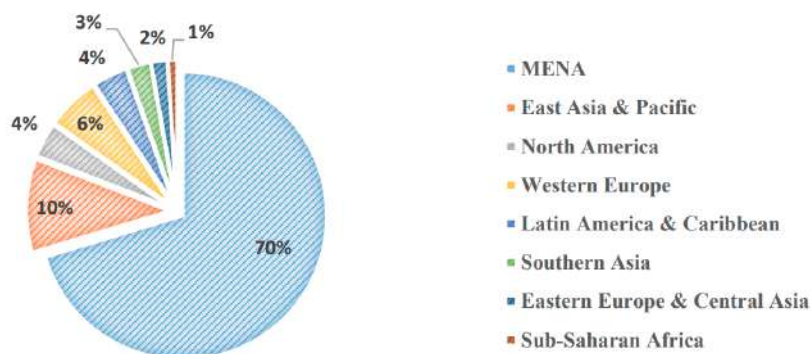
۳-۲- چالش‌های محیط‌زیستی

نمک‌زدایی آب، در حالی که به کشورها کمک می‌کند تا به‌طور قابل اعتماد آب شیرین را تأمین کنند، به دلیل اثرات بالقوه محیط‌زیستی و اقتصادی آن هم‌چنان بحث برانگیز است. مانند هر فرآیند صنعتی دیگری، اثرات محیط‌زیستی و اقتصادی نمک‌زدایی باید شناسایی، مدیریت و کاهش یابد. پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از مصرف آب دریا و دفع آب‌های غلیظ و گرم‌تر، ماهی‌ها، جوامع اعماق دریا و دیگر ارگانیسم‌های ساحلی را تهدید می‌کند. در حالی که اثرات اقتصادی شامل هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه عملیاتی و نگهداری، هزینه انرژی و هزینه مدیریت پساب نمکی است. همچنین، آلاینده‌گی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و تولید انرژی برای واحدهای نمک‌زدایی به‌طور غیرمستقیم تأثیرگذار خواهد بود.

۳-۲-۱- پساب غلیظ نمک

به طور کلی، با عبور آب شور از واحد نمک‌زدایی، آب شیرین

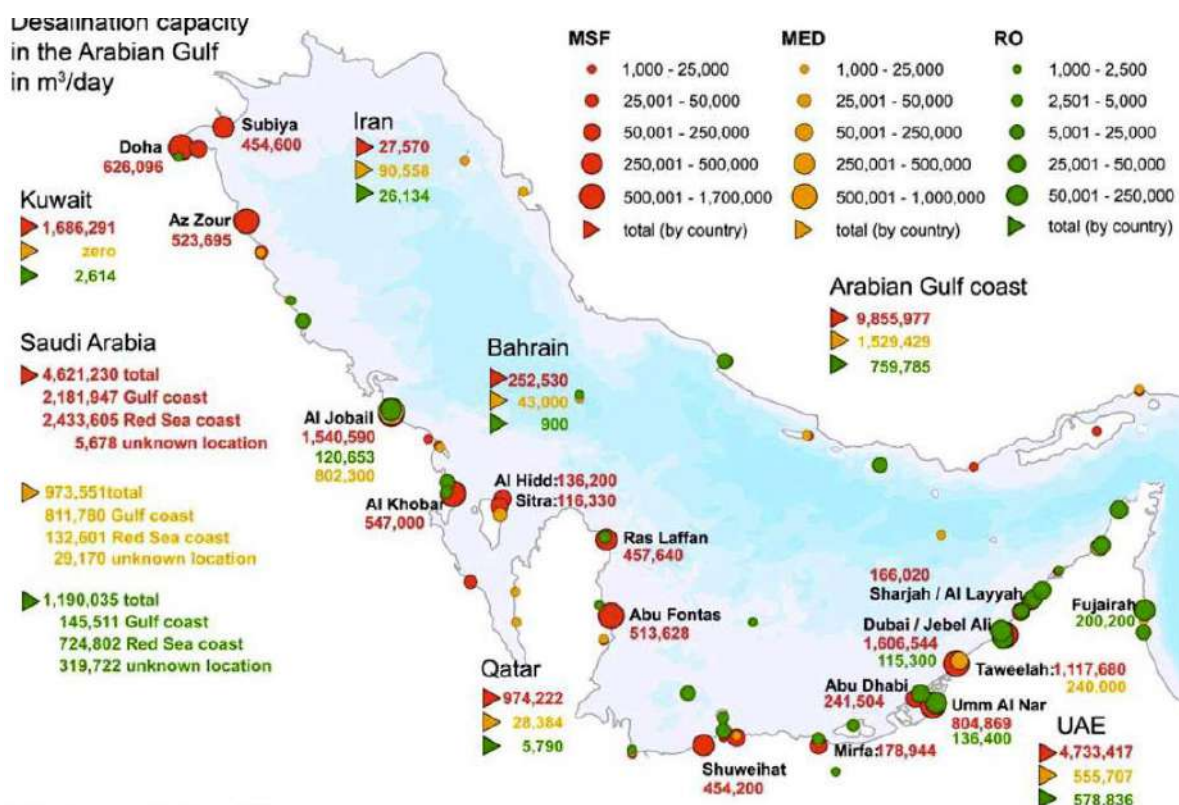
GLOBAL SHARE OF BRINE PRODUCTION BY REGION



شکل ۲- تولید آب نمک بر اساس منطقه و درصد سهم جهانی (Jones, 2019)

آب پذیرنده نیز مطلوب نیست؛ اما اثرات سوء آن کمتر است. در مقیاس جهانی، اقیانوس‌ها و دریاهای باز و عمیق، آسیب‌پذیری کمتری نسبت به تخلیه پساب شور واحدهای نمک‌زدایی دارند. اما محیط‌های دریایی نیمه بسته و محلی، بیشتر تحت آسیب دفع پساب شور قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال، خلیج فارس یک دریای نیمه محصور کم عمق (با میانگین عمق ۳۵ متر و حداکثر ۱۰۰ متر) است که مطابق شکل ۳ یکی از نواحی با بیشترین تعداد و حجم واحدهای نمک‌زدایی است. در مناطق کم‌عمق پتانسیل تشکیل حباب‌های آب شور بیشتر است (Jones, 2019).

مجوزهای سیستم ملی حذف آلاینده (NPDES)^{۱۹} و قوانین کیفیت آب ایالتی/ محلی، ضوابط استاندارد برای دفع پساب واحدهای نمک‌زدایی آب دریا برای عدم آسیب به اکوسیستم دریائی و آبزیان را تدوین نموده است. با این‌حال، چالش‌های زیادی وجود دارد. به‌عنوان مثال، هیچ هدف خاصی برای جزئیات نحوه تصفیه یا کنترل آب نمک، و همچنین هیچ محدودیتی برای افزایش غلظت نمک وجود ندارد. تحقیقات علمی پیشنهاد کرده‌اند که سطح شوری پساب خروجی نباید از ۲ تا ۳ PSU (واحد عملی شوری^{۲۰}) تجاوز کند زیرا اکوسیستم دریایی برای دفع پساب سطوح بیش از آن دچار اثرات نامطلوب خواهد شد. علاوه بر سمیت ناشی از شوری پساب شور، اختلاف دمای پساب خروجی با منابع



شکل ۳- ظرفیت، نوع و واحدهای نمک‌زدایی آب در خلیج فارس (ارقام مترمکعب در روز) (Lattemann, 2010)

آبزیان را تهدید می‌کند. اول، برخورد، هنگامی که موجودات بزرگتر (مانند ماهی یا خرچنگ) با مش غربالگری ورودی برخورد کرده و کشته می‌شوند. تخلیه ضایعات شیمیایی عواملی که برای تمیز کردن صفحه‌ها استفاده می‌شوند، یک پیامد نامطلوب ثانویه مرتبط با برخورد است. دوم، زمانی که گونه‌های کوچک‌تر (مانند جلبک‌ها، پلانکتون‌ها یا باکتری‌ها) در طول عملیات از طریق کانال‌های ورودی به تصفیه‌خانه می‌روند و تلف می‌شوند. سپس، این بقایا دوباره در آب دریا ریخته شده و بهم خوردن تعادل در اکوسیستم را موجب می‌شود (Cooley et al., 2006).

یک تجزیه و تحلیل اثرات محیط‌زیستی توسط Missimer and Maliva (2018) برای بررسی پیامدهای ورودی آب و پیشنهاد راه‌حل انجام شد. وی گزارش کرد با تمهیداتی می‌توان برخورد و آسیب موجودات دریایی را مدیریت و از خسارات آن کاست. به‌طور مثال می‌توان آبیگری را از عمق پائین‌تر اقیانوس‌ها که در آن موجودات کمتری وجود دارد، انجام داد. علاوه بر این، سیستم‌های آبیگر زیرسطحی برای حذف این اثرات منفی، پیشنهاد شد. با این حال، آبیگر زیرسطحی علاوه بر هزینه بالاتر، اثرات اجتماعی دیگری مانند کاهش دسترسی به سواحل و اختلال در چشم‌انداز بصری را در پی دارد (Missimer and Maliva, 2018).

۳-۳- تحلیل اقتصادی و محاسبه قیمت تمام‌شده

هزینه نمک‌زدایی متغیر بوده و از عوامل متعددی نظیر هزینه انرژی، قیمت فروش آب، پیامدهای محیط‌زیستی و استفاده از زمین، تاثیر می‌پذیرد. برای ایران علاوه بر این موارد، تحریم و دشواری دسترسی به فناوری‌های سایر کشورها نیز وجود دارد. تحلیل اقتصادی هزینه‌های نمک‌زدایی کشورها به‌شدت تابع شرایط محلی بوده و عواملی نظیر کیفیت آب شور، طول خطوط انتقال، دسترسی و هزینه‌هایی تامین زمین، قیمت انرژی، ضوابط و مقررات محیط‌زیستی مربوط به دفع پساب و کیفیت مورد نیاز آب آشامیدنی، بر آن تاثیرگذار است؛ در شکل ۴ و جدول ۲ برآورد هزینه‌های راه‌اندازی و بهره‌برداری از واحدهای نمک‌زدایی آب شور بر مبنای شرایط نرمال، ارائه شده است. بنابر تحلیل‌های اقتصادی، به‌طور میانگین حدود ۵۰ درصد از کل هزینه‌ها در تاسیسات RO ناشی از تقاضای انرژی است. واحدهای نمک‌زدایی با روش‌های حرارتی حتی به انرژی بیشتری نیاز دارند، بنابراین هزینه‌های بالاتری دارند. از آنجایی که انرژی یک آیتم هزینه عمده برای نمک‌زدایی است، اپراتورها و دولت‌ها باید تلاش بیشتری برای مدیریت مصرف انرژی انجام دهند. یکی از این

بنابراین در شرایطی که اختلاط و پراکندگی پساب در آب دریا به شکل مناسبی انجام نشود، مقدار زیادی از آب شورتر در کف دریا تجمع یافته و در نتیجه به دلیل کمبود اکسیژن به موجودات کف دریا آسیب خواهد زد. اما در اقیانوس‌ها و دریاهای باز ممکن است اثرات منفی کمتر باشد. به‌عنوان مثال، شیلی در عرض جغرافیایی قرار دارد که در معرض جزر و مدی قوی است که می‌تواند به اختلاط سریع پساب نمکی تخلیه شده در اقیانوس آرام کمک کند (Ihsanullah et al., 2021). در نتیجه، کارخانه‌های نمک‌زدایی ساحلی، لوله‌های خود را در پشت نواحی جزر و مدی نصب می‌کنند تا به حداکثر رقت و در نتیجه تجمع کمتر کنسانتره نمک در محیط اعماق دریا برسند.

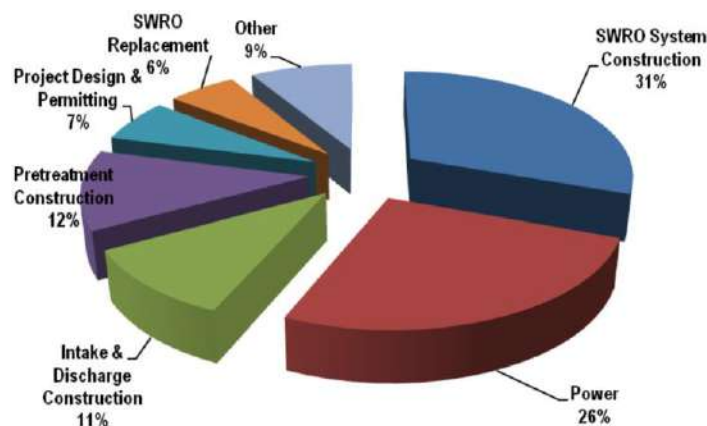
هرچند بنابر برخی تحقیقات در عربستان ادعا شده تاثیرات سوء محیط‌زیستی مربوط به تخلیه پساب به لحاظ شوری یا اختلاف دما قابل توجه نیست، لیکن در تحقیقات متعدد علمی ثابت شده که تخلیه پساب واحدهای نمک‌زدایی آب دریا، به آبزیان آسیب می‌رساند و در بلندمدت اکوسیستم دریایی محل تخلیه را دچار اختلال جدی می‌نماید (Jones, 2019). برای حذف تبعات منفی، تصفیه و تخلیه ایمن پساب شور خروجی از واحدهای نمک‌زدایی با هدف جلوگیری از آسیب به اکوسیستم دریایی ضروری است. مدیریت پساب نمکی می‌تواند شامل اضافه کردن آب خنک غیرقابل شرب برای کاهش شوری و دما، قبل از تخلیه مجدد به اقیانوس باشد. روش متعارف و مقرون‌به‌صرفه، بازگرداندن آب نمک به اقیانوس با اختلاط کامل بدون انباشتگی غلظت نمک است. البته اتخاذ سیستم تخلیه مایع صفر (ZLD) برای تصفیه آب نمک رویکرد مطلوب‌تری است که مستلزم سرمایه‌گذاری و صرف هزینه بیشتر است. نرخ بازیابی تاسیساتی که از ZLD استفاده می‌کند می‌تواند به ۹۹ درصد برسد، به این معنی که تولید آب نمک ناچیز خواهد بود. فرآیند ZLD منجر به محصول خشک جامد (مستقیماً در محل دفن زباله یا بازیافت نمک) و مقدار کمی آب تصفیه شده می‌شود که می‌تواند در همان تاسیسات برای اهداف تصفیه، مورد استفاده مجدد قرار گیرد (Charisiadis, 2018).

۳-۲-۲- اثرات منفی در آبیگر ورودی^{۲۱}

جریان دریافتی از دریا برای واحد نمک‌زدایی فقط حاوی آب و نمک نیست. کمیسیون انرژی کالیفرنیا در یکی از گزارش‌های خود آب دریا را چنین توصیف کرد: «این یک زیستگاه شامل اکوسیستمی کامل از فیتوپلانکتون‌ها، ماهی‌ها و بی‌مهرگان است». در طی فرآیند مصرف، دو مکانیسم اجتناب‌ناپذیر حیات

برای اولین سال بهره‌برداری به‌دست آمده است. این اعداد شامل تغییرات هزینه عملیاتی به‌دلیل در نظر گرفتن شوری آب خوراک، فناوری مورد استفاده، تقاضای انرژی، یارانه‌های موجود و هر شرایط محیطی دیگری است که به آن توجه شده است. هزینه انرژی (برق) بزرگترین متغیر منفرد است که بر هزینه خالص یک کارخانه آب‌شیرین‌کن تاثیر می‌گذارد (Youssef et al., 2014).

راه‌حل‌ها، احداث نیروگاه تولید برق در نزدیکی تاسیسات نمک‌زدایی برای داشتن تاسیسات دو منظوره است که هم‌زمان آب شیرین و برق تولید کند (Alkaisi et al., 2017). همان‌طور که در جدول ۳ نیز ذکر شده، با مطالعه هزینه عملیات ۲۵ کارخانه نمک‌زدایی RO در سراسر جهان، قیمت تمام‌شده تقریباً در محدوده ۰/۴۵ تا ۱/۴۸ دلار برای هر مترمکعب



شکل ۴- تفکیک هزینه‌های معمول برای واحدهای RO نمک‌زدایی آب دریا (SWRO) (Youssef et al., 2014)

جدول ۲- متغیرهای عملیات و نگهداری واحدهای نمک‌زدایی (مثال تیپ) (Youssef et al., 2014)

ردیف	متغیر	توضیحات	سهم از هزینه
۱	نگهداری	ابزار و تجهیزات تعمیر و نگهداری پمپ تعمیر و نگهداری تاسیسات ورودی تعویض جزئی تجهیزات ویدئومتری و کنترل	۶٪
۲	قانونی / مجاز	رعایت ضوابط محیط‌زیستی دفع پساب رعایت استاندارد کیفیت آب آشامیدنی سایر ضوابط و مقررات محیط‌زیستی	۲٪
۳	عملیات	کارکنان و کارگران	۶٪
		دفع لجن و مواد زائد در مراحل مختلف	۴٪
		تعویض فیلترهای کارتریج و غشای RO	۱۱٪
		انرژی (برق)	۵۵٪
		مواد شیمیایی مورد نیاز	۶٪
۴		سایر موارد	۱۰٪
		جمع کل:	۱۰۰

جدول ۳- محاسبه هزینه‌های نمک‌زدایی آب و برآورد در ایران با یارانه انرژی

روش	سرمایه‌گذاری احداث تاسیسات (\$/m ³ .day)	انرژی مورد نیاز (kWh/m ³)	قیمت تمام‌شده جهانی (\$/m ³)
روش‌های متداول حرارتی	۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰	>۱۰	۰/۸ تا ۱/۵
تقطیر چندمرحله‌ای	۹۰۰ تا ۲۰۰۰	۵ تا ۱۰	۰/۷ تا ۱/۲
اسمز معکوس آب دریا	۹۰۰ تا ۲۵۰۰	۳ تا ۵	۰/۵ تا ۱/۲
اسمز معکوس آب لب‌شور	۳۰۰ تا ۱۲۰۰	۰/۵ تا ۳	۰/۲ تا ۰/۴

به‌روش RO با احتساب هزینه انتقال، ارائه شود. در این جدول با توجه به شرایط انرژی در ایران و در دسترس بودن منابع فسیلی فراوان در مناطق جنوبی دو سناریوی قیمت جهانی انرژی و قیمت انرژی برای نمک‌زدایی آب در ایران (یارانه انرژی) تحلیل شده است.

قیمت تمام‌شده آب نمک‌زدایی شده بستگی کامل به بهای انرژی مورد استفاده دارد. در ایران، هزینه انرژی برای تاسیسات آب و فاضلاب مشابه بخش کشاورزی و با یارانه محاسبه می‌شود. بنابر ابلاغ وزارت نیرو (بخشنامه ۱۴۰۱/۲۷۸۰۰/۲۰۰ مورخ ۱۴۰۱/۰۴/۲۸) متوسط بهای هر کیلووات‌ساعت برق مصارف کشاورزی ۲۷۵ ریال بوده که با ضریب ماه‌های گرم برابر ۳۳۰ ریال خواهد بود که در مقایسه با نرخ صادرات برق (۸ تا ۱۰ سنت برای هر کیلووات‌ساعت معادل ۳۶ هزار ریال)، با ۹۹ درصد یارانه همراه است. در جدول ۴ برای محاسبه قیمت تمام‌شده نرخ سود سرمایه‌گذاری ۲۰ درصد، عمر مفید تاسیسات سازه‌ای ۱۵ سال و عمر تجهیزات مکانیکال و غشا ۵ سال فرض شده است. همچنین، به‌ازای هر ۱۰۰ کیلومتر انتقال آب و به‌ازای هر ۲۰۰ متر اختلاف ارتفاع برای انتقال یک مترمکعب آب، به‌طور تقریبی یک کیلووات-ساعت انرژی مورد نیاز خواهد بود.

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی، که سازگار با محیط‌زیست است، نیز مورد توجه قرار دارد هرچند قیمت تولید برق حرارتی از سوخت‌های فسیلی به لحاظ اقتصادی، به‌صرفه‌تر است. اتحادیه جهانی نمک‌زدایی (IDA)^{۲۳} رسیدن به هدف تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر برای ۲۰ درصد از نمک‌زدایی‌های جدید یا به‌روزرسانی شده تا سال ۲۰۲۵ را پیشنهاد داده است. به‌عنوان نمونه، عربستان سعودی قراردادی ۱۳۰ میلیون دلاری برای ساخت نیروگاه SWRO با انرژی خورشیدی با تولید ۶۰ هزار مترمکعب در روز امضا کرده است (Alkaisi et al., 2017). کشورهای دیگر مانند امارات متحده عربی، اسپانیا و هند در حال اجرای آزمایش‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ قبل از استفاده کامل هستند.

علاوه‌بر هزینه انرژی و سرمایه‌گذاری اولیه در احداث تاسیسات، سایر هزینه‌ها شامل انتقال و توزیع آب، ضدعفونی و گندزائی آب و هزینه‌های محیط‌زیستی اقلام اصلی قیمت تمام‌شده آب در تاسیسات نمک‌زدایی را تشکیل می‌دهند. هرچند اظهارنظر دقیق در خصوص قیمت تمام شده آب مستلزم بررسی دقیق به‌صورت موردی با احتساب هزینه‌های سرمایه‌گذاری، نرخ بهره و نرخ فروش آب است، لیکن در جدول ۳ سعی شده بر مبنای اطلاعات موجود، برآورد قیمت تمام‌شده آب نمک‌زدایی شده

جدول ۴- برآورد قیمت تمام‌شده آب نمک‌زدایی‌شده برای نواحی مختلف ایران (روش اسمز معکوس)

قیمت تمام‌شده* (ریال/مترمکعب)		طول مسیر خط انتقال (km)	مراکز استانی
انرژی با یارانه و کمک دولتی	بهای جهانی انرژی بدون کمک دولتی		
۴۳۲۰۰۰	۶۲۴۰۰۰	صفر	چابهار، بندرعباس و بوشهر (مجاورت دریا)
۹۷۲۰۰۰	۱۱۶۴۰۰۰	۱۰۰۰	یزد
۱۰۲۶۰۰۰	۱۲۱۸۰۰۰	۱۱۰۰	بیرجند
۷۰۲۰۰۰	۸۹۴۰۰۰	متوسط: ۵۰۰	جنوب کرمان

* مبنای محاسبات، تبدیل هر یک دلار معادل ۴۰۰ هزار ریال بوده است.

مقایسه وضعیت تامین آب در ایران، با کشورهای حاشیه خلیج فارس صحیح نیست. سرانه آب تجدیدپذیر به‌ازای هر نفر در عربستان، امارات متحده عربی، کویت، بحرین و قطر به‌ترتیب ۸۹، ۲۲، ۷، ۴ و ۳۵ مترمکعب در سال است و در این کشورها تقریباً رودخانه یا منابع قابل توجه آب سطحی وجود ندارد. در مقابل، این کشورها سرشار از منابع انرژی بوده و به‌دلیل مجاورت با خلیج فارس و دریای سرخ، دسترسی به آب شور برای آن‌ها فراهم است. بنابراین نمک‌زدایی آب دریا راه‌کاری مطلوب برای این منطقه تلقی می‌شود، هرچند ممکن است برای سایر کشورها، در این حد مطلوبیت نداشته باشد.

در تمامی این حالت‌ها حتی با اعمال یارانه انرژی، قیمت تمام‌شده آب نسبت به سایر روش‌ها از جمله اصلاح فرایندها برای کاهش مصرف آب (تمرکز روی برنامه‌های خوش‌مصرفی و سازگاری با کم‌آبی) و یا بازچرخانی پساب برای صنعت، گران‌تر و غیرقابل توجیه اقتصادی است. بنابراین، بجز مصارف شرب که نیاز حیاتی جامعه بوده و تامین منابع پایدار آب به لحاظ ژئواستراتژیک فراتر از تحلیل اقتصادی ضرورت دارد، در خصوص مصارف کشاورزی توجیه‌ناپذیر و در خصوص مصارف صنعتی هم نیازمند آنالیز و تحلیل دقیق مطابق با شرایط خاص صنعت و موقعیت جغرافیائی در مقایسه با سناریوهای جایگزین است. بنابراین،

۴-۳- برآورد نیاز نمک‌زدایی در ایران

در ایران وزارت نیرو به‌عنوان نهاد متولی مدیریت منابع آب، استان‌های کشور را مطابق تعاریف جدول ۵ در شش دسته مرطوب، نرمال، قابل‌تحمل، دارای تنش آبی، دارای تنش آبی

شدید و کمبود آب طبقه‌بندی کرده است. استان‌های بوشهر، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، فارس، کرمان، هرمزگان و یزد در رده مناطق در مواجهه با کمبود آب قرار گرفته‌اند. بنابراین، استفاده از فناوری نمک‌زدایی آب دریا به‌عنوان یک گزینه برای تامین پایدار بخشی از نیاز آبی این استان‌ها مورد توجه قرار دارد.

جدول ۵- توصیف وضعیت و طبقه‌بندی مناطق بر مبنای منابع آب در دسترس

منطقه	توصیف وضعیت
مرطوب	امکان افزایش ظرفیت منابع آب به‌منظور مدیریت و مصرف در سال‌های آتی به‌ویژه در آبیگری مخازن فراهم است.
نرمال	وضعیت منابع آب در شرایط عادی بوده و مدیریت آن مطابق روال معمول قابل انجام است.
قابل تحمل	شرایط در آستانه ورود به تنش آبی قرار دارد که با اعمال مدیریت مناسب و بدون نیاز به اتخاذ تمهیدات ویژه می‌توان از آن پیشگیری نمود.
تنش آبی	وجود محدودیت جدی برای تامین آب در دسترس، لیکن با اعمال روش‌های ویژه مدیریتی و برنامه‌ریزی منابع آب عبور از آن امکان‌پذیر خواهد بود.
تنش آبی شدید	وضعیت قرمز برای کمبود آب وجود دارد به‌نحوی که با اعمال تمهیدات سازه‌ای (مانند حفر چاه و استفاده از حجم مرده مخازن سدها) و سایر ابتکارات مدیریتی می‌توان از شدت صدمات کاست. البته تامین نیاز بخش‌هایی از مصارف به‌ویژه کشاورزی دشوار بوده و باید نسبت به صرفه‌جویی عملی در بخش‌های مختلف اقدام نمود.
کمبود آبی	بیانگر وضعیت هشدار بوده که آب کافی برای پاسخگویی به نیاز منطقه وجود ندارد و لازم است آمادگی لازم برای ورود به آستانه شرایط حاد مد نظر قرار گیرد.

کمبود آب شامل تنش آبی، کم‌آبی و بحران آب به معنای نبود منابع آب شیرین برای تامین تقاضای آب متعارف است که باید به هر شکل ممکن، صرف‌نظر از مسائل اقتصادی، نسبت به رفع پایدار آن اقدام نمود. نگاه نوآورانه این پژوهش، مقایسه و تحلیل

بخش دارای کمبود آب کشور به‌عنوان یک ناحیه مستقل با کشورهای کم‌آب حاشیه خلیج فارس و در نتیجه، محاسبه ظرفیت مورد نیاز برای نمک‌زدایی است که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- جدول آمار و تحلیل اطلاعات تولید و مصرف آب و محاسبه ظرفیت نمک‌زدایی

نام کشور/استان	جمعیت سال ۱۳۹۵ (میلیون نفر)	سرانه آب تجدیدپذیر (مترمکعب)	متوسط مصرف خانگی** (میلیون مترمکعب)	ظرفیت نمک‌زدایی ۱۴۰۱ (میلیون مترمکعب/سال)	برنامه نمک‌زدایی پیشنهادی (شرب) (میلیون مترمکعب/سال)	
وضعیت فعلی برای کل ایران	۸۰	۱۲۰۶	۵۴۰۰	۲۱۳	۴۲۱	
منطقه خشک ایران (کمبود آبی مطابق جدول ۲)	سیستان و بلوچستان	۲/۸	۵۱۴	۱۸۹	۲۵	۳۸
	هرمزگان	۱/۸	۱۵۹۶	۱۲۲	۹۹	۲۳
	بوشهر	۱/۲	۸۳۸	۸۱	۵۳	۲۸
	کرمان	۳/۲	۶۰۸	۲۱۶	-	۷۲
	یزد	۱/۳	۷۱	۸۸	-	۲۹
	خراسان جنوبی	۰/۸	۱۰۲	۵۴	-	۱۸
	کل مناطق	۱۰/۷۵	۸۹۹	۷۵۰	۱۷۷	۲۰۸
عربستان	۳۳	۸۹/۵	۴۲۰۰	۴۲۸۰	-	
امارات متحده عربی	۹/۹	۲۱/۶	۱۲۶۰	۲۷۵۰	-	

* در محاسبه متوسط مصرف خانگی، سرانه مصرف هر نفر در شبانه‌روز برای ایران ۱۸۵ لیتر/نفر-روز و برای عربستان و امارات با توجه به گرمای هوا و پذیرش جمعیت زائر و توریست و هم‌چنین سطح بالای درآمد اقتصادی، بیشتر از ۳۵۰ لیتر/نفر-روز منظور شده است. برای شهرهای مجاورت دریا (فاصله کمتر از ۵۰ کیلومتر) ۱۰۰ درصد و برای سایر مناطق ۳۰ درصد از مصرف از نمک‌زدایی لحاظ شده است.

۴-۵- چشم‌انداز نمک‌زدایی

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، کمبود آب بر ۵ میلیارد نفر تأثیر بگذارد. رشد اخیر در بازار جهانی آب شیرین‌کن نشان‌دهنده

چالش‌ها و چشم‌اندازها برای این صنعت است. چالش‌هایی که مانع رشد نمک‌زدایی می‌شوند شامل هزینه انرژی و نگرانی‌های دریایی و محیط‌زیستی می‌شود. رویکردها برای پرداختن به این چالش‌ها

شده و نتایج پژوهش حاضر، گزاره‌های زیر مطابق با شرایط ایران برای برنامه‌ریزان حوزه آب کشور پیشنهاد می‌شود:

- با توجه به هزینه تمام‌شده و مقایسه سرانه آب تجدیدپذیر ایران با سایر کشورهای جهان، نمک‌زدایی آب برای مصارف شرب و خانگی در مناطق بدون منابع آب پایدار، اجتناب‌ناپذیر است اما برای کشاورزی و یا شرب در مناطقی که امکان دسترسی به سایر منابع آب وجود دارد، غیرقابل توجیه است. در خصوص صنعت، در هر مورد با تحلیل اقتصادی قیمت تمام شده آب و میزان دسترسی به سایر منابع آب نظیر پساب فاضلاب شهری و یا امکان اصلاح فرایندها برای کاهش مصرف آب، تصمیم‌گیری قابل انجام خواهد بود. در این خصوص توجه به مفهوم همبست آب-غذا-انرژی سودمند است.

- استفاده از فناوری RO به‌عنوان مناسب‌ترین روش از بین سایر روش‌های موجود، برای توسعه واحدهای نمک‌زدایی و در مجاورت سواحل ایران توصیه می‌شود. سواحل مکران به‌دلیل شوری کمتر آب دریای عمان و ظرفیت بالاتر برای پذیرش پساب شور و خط ساحل طولانی، قابلیت تبدیل به قطب نمک‌زدایی و ارسال آب به استان‌های شرق و مرکز کشور را دارد.

- برای جلوگیری از آسیب فزاینده به اکوسیستم خلیج فارس، تشکیل کمیته حفاظت خلیج در برابر پساب شور با مشارکت کشورهای حاشیه مورد نیاز است. با فرض تحقق توسعه نمک‌زدایی تا دو برابر ظرفیت موجود و رسیدن به رقم یک میلیون مترمکعب در روز حتی با فرض عدم توسعه واحدهای نمک‌زدایی در خلیج فارس، سهم ایران کمتر از ۵ درصد نسبت به سایر همسایگان ناچیز خواهد بود.

- توسعه فناوری‌های صنعتی مربوط به ساخت و نصب و بهره‌برداری تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا به‌صورت بومی برای ایران و با نگاه به صادرات به کشورهای جنوب خلیج فارس به‌عنوان یک صنعت ژئواستراتژیک و سودآور با توجه به ظرفیت بالای ساخت تجهیزات و شرکت‌های دانش‌بنیان کشور، اهمیت دارد.

- سرمایه‌گذاری برای تولید برق هسته‌ای یا تجدیدپذیر برای رعایت مسائل محیط‌زیستی و حتی احداث نیروگاه‌های حرارتی تولید برق در مجاورت تاسیسات نمک‌زدایی، برای آینده این صنعت مورد نیاز خواهد بود.

- با توجه به این‌که حجم قابل توجهی از منابع آب سطحی ایران، بالغ بر ۱۰ میلیارد مترمکعب، به‌صورت سالانه از غرب و جنوب غرب ایران به کشور عراق و خلیج فارس تخلیه می‌شود و با

حول محور کاهش هزینه و به حداقل رساندن پیامدهای محیط‌زیستی است. یکی از رویکردهای اصلی برای کاهش هزینه، کاهش مصرف انرژی یا یافتن منابع انرژی تجدیدپذیر جایگزین است. قیمت انرژی‌های تجدیدپذیر در حال کاهش است و انتظار می‌رود با توجه به فناوری پیشرفته توجه بیشتری را به خود جلب کند. انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند هزینه نمک‌زدایی را در درازمدت کاهش دهند، زیرا قیمت‌ها کاهش می‌یابد و احتمالاً در آینده با پیشرفت فن‌آوری، میزان کاهش بیشتر هم خواهد شد. از سوی دیگر، تولید آب نمک تاثیر عمده محیط‌زیستی ناشی از نمک‌زدایی است. متأسفانه، در اکثر تاسیسات، پساب نمکی خروجی واحدهای تصفیه در اقیانوس دفع می‌شود زیرا مدیریت آب نمک گران و هزینه‌بر است. مقررات بین‌المللی محیط‌زیست، روش‌های دفع مرسوم مانند تخلیه به آب دریا، آب سطحی یا تزریق چاه عمیق را محدود خواهد کرد.

آب آشامیدنی علاوه بر آب خالص، حاوی مواد معدنی مانند کلسیم، منیزیم، منگنز، سدیم، فلوراید، کلرید، ید و پتاسیم است که برای سلامت انسان حیاتی هستند. از سوی دیگر، آب شیرین‌شده به‌دلیل فرآیند حذف نمک‌ها و سایر آلاینده‌های یونی طبیعی، فاقد اکثر این عناصر است. سازمان بهداشت جهانی (WHO) ضوابطی را برای کیفیت آب آشامیدنی (GDWQ)^{۲۴} و آب آشامیدنی ایمن حاصل از نمک‌زدایی منتشر کرده تا زمینه مقرراتی لازم برای تولید آب آشامیدنی ایمن‌تر فراهم شود (Darre and Toor, 2018).

مطالعه‌ای با مقایسه ۲۶ مکان مختلف در اسرائیل قبل و بعد از اجرای نمک‌زدایی نشان داد که نیمی از جمعیت مورد مطالعه (که بعد از آن به آب شیرین شده متکی بودند) کمبود منیزیم داشتند. علاوه بر این، کمبود فلوراید در آب نمک‌زدایی تشخیص داده شده و با پوسیدگی دندان‌ها مرتبط است. معدنی‌سازی مجدد به‌عنوان یک فرآیند پس از نمک‌زدایی برای دستیابی به کیفیت مطلوب آب معرفی می‌شود. این کار را می‌توان با مخلوط کردن آب شیرین‌شده با آب‌های زیرزمینی یا اعمال دی‌اکسیدکربن با فیلترهای انحلال سنگ آهک انجام داد. با این حال، اکثر تاسیسات نمک‌زدایی تمام مواد معدنی ضروری را اضافه نمی‌کنند. بنابراین باید مقررات سخت‌گیرانه‌تری اعمال شود تا اطمینان حاصل شود که آب محصول نهایی، حاوی مواد حیاتی مورد نیاز در حد استانداردهای آب آشامیدنی، باشد (Khaled et al., 2020).

با وجود همه این موانع، نمک‌زدایی می‌تواند یکی از مطمئن‌ترین منابع آب برای آینده باشد. بر مبنای بررسی کشورهای پیشرو در زمینه نمک‌زدایی آب شور، تحلیل‌های انجام

- 4- Multi-Stage Flash
- 5- Multi-Effect Distillation
- 6- Reverse Osmosis
- 7- Microfiltration
- 8- Ultrafiltration
- 9- Nano Filtration
- 10- Middle East and North Africa
- 11- Saline Water Conversion Corporation
- 12- Saline Water Conversion Act
- 13- Office of Water Research and Technology
- 14- Brackish
- 15- Carlsbad Desalination Plant
- 16- California Department of Water Resources
- 17- United Nations Food and Agriculture Organization
- 18- Zero Liquid Discharge
- 19- National Pollutant Discharge Elimination System
- 20- Practical Salinity Unit
- 21- Water Intake
- 22- International Desalination Association's
- 23- Guidelines for Drinking Water Quality

۷- مراجع

- Ajjur, S.B.B., and Baalousha, H.M., (2021), "A review on implementing managed aquifer recharge in the Middle East and North Africa region: Methods, progress and challenges", *Water International*, 46, 578-604, <https://doi.org/10.1080/02508060.2021.1889192>.
- Alkaisi, A., Mossad, R. and Sharifian-Barforoush, A., (2017), "A review of the water desalination systems integrated with renewable energy", *Energy Procedia*, 110, 268-274, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138>.
- Alobireed, A.N., (2014), "Global water desalination: A comparison between Saudi Arabia and The United States of America", MSc Thesis, Department of Environmental and Occupational Health, School of Public Health, University of Pittsburgh, United States.
- Asif, M., Faizur, R., Hafiz, Z., and Zubair, M., (2019), "Scaling of reverse osmosis membranes used in water desalination: Phenomena, impact, and control; future directions", *Desalination*, 455(1-2), 135-157, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.009>.
- Charisiadis, C., (2018), "Brine zero liquid discharge (ZLD) fundamentals and design", LENNTECH Report, Netherlands, <https://www.lennotech.com/Data-sheets/ZLD-booklet-for-Lennotech-site-min-L.pdf>.
- Cooly, H., Gleick, P.H., and Wolf, G., (2006), *Desalination with a grain of salt, A California perspective*, Pacific Institute.
- Curto, D., Franzitta, V., and Guercio, A., (2021), "A review of the water desalination technologies", *Applied Sciences*, 11(2), 670, <https://doi.org/10.3390/app11020670>.
- Darre, N.C., and Toor, G.S., (2018), "Desalination of water: A review", *Current Pollution Reports*, 4(7), 104-111, <https://doi.org/10.1007/s40726-018-0085-9>.

در نظرگیری مسائل محیط‌زیستی نمک‌زدایی آب دریا و هزینه تمام‌شده بالای آن، به نظر می‌رسد برای تامین آب نواحی مرکزی و جنوبی ایران، باید سایر گزینه‌ها نظیر انتقال آب از نواحی غربی نیز مورد توجه قرار گیرد.

۴- جمع‌بندی

بدون منابع آب شیرین کافی، رفاه اجتماعی و توسعه صنعتی مختل می‌شود. برای نمک‌زدایی آب شور مانند هر عملیات استخراج منابع از معدن، روش ایده‌آلی که کاملاً عاری از مخاطرات محیطی باشد، وجود ندارد. نمک‌زدایی یک فناوری قدرتمند است که می‌تواند از بحران کمبود آب شیرین به‌طور موثری جلوگیری یا تبعات منفی آن را کاهش دهد. کمبود آب و مسائل مربوط به بهداشت عمومی تحت فشار فزاینده‌ای از رشد جمعیت و تغییرات آب و هوایی قرار دارد. تا سال ۲۰۲۵، بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق تحت تنش آبی زندگی خواهند کرد. اگرچه نمک‌زدایی بسیار مفید است، اما اولاً هر کشوری نمی‌تواند هزینه آن‌را بپردازد و ثانیاً به‌جز در مناطق با بحران تنش شدید آبی، برای سایر مناطق استفاده از سایر روش‌ها مقرون‌به‌صرفه‌تر است. اکثریت قریب به اتفاق کشورهای که در حال حاضر از نمک‌زدایی استفاده می‌کنند، مناطقی با درآمد بالا و سرانه آب تجدیدپذیر کمتر از ۵۰۰ مترمکعب/نفر-سال هستند. رشد فناوری‌های نمک‌زدایی همراه با انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند در آینده به تولید آب شیرین پاک بیشتر با هزینه کمتر، کمک نمایند.

۵- قدردانی

ایده اصلی انجام پژوهش و نگارش این مقاله در کلاس درس استاد فرزانه امیر حبیب‌الله سیاری، رئیس ستاد و معاون هماهنگ‌کننده ارتش جمهوری اسلامی ایران و عضو هیئت‌علمی دانشگاه عالی دفاع ملی، در راستای تامین پایدار آب به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های اصلی توسعه سواحل مکران مطرح شد که جای تقدیر و تشکر دارد. ارزش معنوی این اثر به امیر سیاری و تمامی دریادلان نیروی دریائی ارتش جمهوری اسلامی ایران تقدیم می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Guidelines for Drinking-Water Quality
- 2- World Health Organization
- 3- Part per Million (ppm) = mg/Lit

- Panagopoulos, A., Haralambous, K.J., and Loizidou, M., (2019), "Desalination brine disposal methods and treatment technologies, A review", *Science of the Total Environment*, 693, 133545, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.351>.
- Schorr, M., Valdez, B., Ocampo, J., So, A. and Eliezer, A., (2012), "Materials and corrosion control in desalination plants", *Materials Performance*, 51(5), 56-60.
- Xu, P., Cath, T.Y., Robertson, A.P., Reinhard, M., Lech, J.O., and Drewes, J.E., (2013), "Critical review of desalination concentrate management, treatment and beneficial use", *Environmental Engineering Science*, 30(8), 502-514, <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0348>.
- Youssef, P.G., AL-Dadah, R.K., and Mahmoud, S.M., (2014), "Comparative analysis of desalination technologies", *Energy Procedia*, 61, 2604-2607, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.258>.
- Elimelech, M., and Phillip, W.A., (2011), "The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment", *Science of the Total Environment*, 333(6043), 712-717, <https://doi.org/10.1126/science.1200488>.
- FAO, (2018), *Progress on level of water stress, Global baseline for SDG 6 Indicator*, FAO/UN-Water, Rome, 58 p. www.fao.org/3/CA1592EN/ca1592en.pdf.
- Huang, H., Zhao, L., Yu, Q., Lin, P., Xu, J., Yin, X., Chen, S., Wang, H., and Wang, L., (2020), "Flexible and highly efficient bilayer photothermal paper for water desalination and purification: Self-floating, rapid water transport, and localized heat", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(9), 11204-11213, <https://doi.org/10.1021/acsami.9b22338>.
- Ihsanullah, I., Atieh, M., Sajid, M., Nazal, M., (2021), "Review: Desalination and environment, A critical analysis of impacts, mitigation strategies, and greener desalination technologies", *Science of The Total Environment*, 780, 146585, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146585>.
- Jones, E., Qadir, M., Van Vliet, M.T., Smakhtin, V., and Kang, S.M., (2019), "The state of desalination and brine production: A global outlook", *Science of the Total Environment*, 657, 13, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>.
- Keller, N.H.T., (2020), "OECD water governance principles on the local scale, An exploration in Dutch water management", *International Journal of River Basin Management*, 18, 439-444, <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1653308>.
- Khaled, E., Mohammed, K., Enas, T., Mohammad, A. A., Tabbi, W., and Olabi, A., (2020), "Environmental impact of emerging desalination technologies: A preliminary evaluation", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 748, 141528, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141528>.
- Lattemann, S., Kennedy, M.D., Schippers, J., and Amy, G., (2010), "Global desalination situation", *Sustainability Science and Engineering*, 2, 7-39, [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(09\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00202-5).
- Miller, O.L., Putman, A.L., Alder, J., Miller, M., Jones, D.K., and Wise, D.R., (2021), "Changing climate drives future streamflow declines and challenges in meeting water demand across the southwestern United States", *Journal of Hydrology*, X, 11, 100074, <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2021.100074>.
- Missimer, T.M., and Maliva, R.G., (2018), "Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls", *Desalination*, 434, 17, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.07.012>.
- Moradi, M.R., Pihlajamaki, A., Hesampour, M., Ahlgren, J., and Manttari, M., (2019), "End-of-life RO membranes recycling: Reuse as NF membranes by polyelectrolyte layer-by-layer deposition", *Journal of Membrane Science*, 584, 300-308, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.04.060>.



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



البته در کنار این وظایف اداری، فعالیت و همکاری زیادی با مجموعه‌هایی مثل معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به‌ویژه ستادهای نانو و آب و هم‌چنین مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت که قبلاً مرکز همکاری فناوری و نوآوری نام داشت، داشتم. ایجاد و فعالیت در کمیته IWA ایران، انجمن متخصصان آب و فاضلاب، انجمن علمی آب و فاضلاب، کانون هماهنگی دانش صنعت بازار آب و فاضلاب ایران، نیز قابل ذکر است.



جناب آقای مهندس علی اصغر قانع

معاون اسبق شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و رئیس کانون هماهنگی دانش، صنعت، بازار آب و فاضلاب، معاونت علمی ریاست جمهوری

* لطفاً به‌صورت مختصر خود را معرفی نمایید.

- من متولد خردادماه ۱۳۴۹ در کاشان هستم. مدرک کارشناسی آبیاری که امروز به نام مهندسی علوم آب تغییر یافته است را از دانشگاه صنعتی اصفهان دریافت کرده و مدرک کارشناسی ارشد را از مرکز آموزش عالی اصفهان دریافت و دوره DBA (دکتری حرفه‌ای کسب و کار) را در دانشگاه تهران گذرانده‌ام.

* مختصری از فعالیت‌های حرفه‌ای خود در حوزه مرتبط با صنعت آب و فاضلاب ارائه نمایید.

- فعالیت حرفه‌ای بنده از سال ۱۳۷۲ در شرکت آب و فاضلاب کاشان آغاز شد. ابتدا کارشناس دفتر فنی بودم و بعد از ۶ ماه به‌عنوان مدیر آب و فاضلاب شهر آران و بیدگل منصوب شدم و بعد از دو سال به‌عنوان معاونت مهندسی و توسعه شرکت آب و فاضلاب کاشان شروع به فعالیت کردم. تا اوایل سال ۱۳۷۶ که به‌عنوان مدیرعامل و رئیس هیئت مدیره شرکت آب و فاضلاب استان لرستان به فعالیت در این استان پرداختم. در سال ۱۳۷۹ برای مدت یکسال، مجدداً به کاشان برگشتم و به‌عنوان مدیرعامل و رئیس هیئت مدیره این شرکت به فعالیت پرداختم. سپس براساس حکم معاون وزیر در امور آب و فاضلاب، به‌عنوان مدیرعامل و رئیس هیئت مدیره شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی مشغول به‌کار شدم. سال ۱۳۸۴ به‌عنوان معاون نظارت بهره‌برداری و عضو هیئت مدیره شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور منصوب شدم و تا سال ۱۳۸۹ در این سمت مسئولیت داشتم و بعد به وزارت نیرو منتقل و در سمت مدیرکل فنی دفتر نظام‌های بهره‌برداری آب و آیفای وزارتخانه ادامه فعالیت دادم. سال ۱۳۹۲ به شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور برگشتم و به‌عنوان معاون برنامه‌ریزی و توسعه و عضو اصلی هیئت مدیره شروع به‌کار کردم تا سال ۱۳۹۷ که از این سمت جابجا شدم و تا آخر سال ۱۴۰۱ که بازنشسته شدم، به‌عنوان مشاور مدیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در خدمت دوستان بودم.

* با توجه به سوابق اجرایی متنوع و بلندمدت شما در ساختار آب و فاضلاب کشور، آیا ساختار موجود به‌ویژه تغییرات سال‌های اخیر می‌تواند پاسخگوی نیازهای فعلی برای رفع نیازها و چالش‌های امروز و فردای این صنعت باشد؟

- ساختار اولیه تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب و قانون مصوب سال ۱۳۶۹ به‌دلیل این‌که مبتنی بر یک کار علمی و کارشناسی و استفاده از تجارب بین‌المللی بود به‌نظر من یکی از مترقی‌ترین قوانین کشور بود و به‌همین دلیل در دهه اول رشد پر شتابی در بخش‌های مختلف این صنعت صورت گرفت و تحول بزرگی در صنعت ایجاد کرد. این موضوع هم به‌دلیل وجود ساختار مناسب و هم مدیریت و راهبری این صنعت در سطح ملی و محلی بود. اما در دهه‌های دوم و سوم متأسفانه تغییرات، پشتوانه علمی و مطالعاتی کافی که مشتمل بر آسیب‌شناسی ساختار فعلی باشد و نیازها کاملاً احصا و در تدوین ساختار لحاظ شود، وجود نداشت و بیشتر تصمیمات مبتنی بر تحولات بیرونی سازمان بود که نقش عوامل سیاسی و بعضاً تفکرات خاص در این تغییرات سایه افکنده بود. لذا تغییرات به‌نظر من خیلی در حل مسائل مبتلابه صنعت کمک نکرده و بعضاً یک التهاباتی را به مجموعه وارد کرده که اثرات منفی هم به‌دنبال داشته است.

اگر تغییرات ساختار با انجام مطالعات علمی صورت نگیرد، قطعاً امکان پاسخگویی به نیازها و رفع چالش‌ها را نخواهد داشت. تغییرات در حوزه عرضه و تقاضا و مدیریت مصرف آب و تغییر و تحولات کمی و کیفی منابع آب از یک‌طرف و تغییرات فرهنگی و اجتماعی مشتریان باید در تدوین ساختار صنعت آب و فاضلاب در نظر گرفته شود.

* مهم‌ترین نقاط قوت ساختار موجود مدیریت آب و فاضلاب کشور چه مواردی است؟ چگونه می‌توان از این نقاط قوت به‌منظور بهبود نقاط ضعیف موجود بهره برد؟

- نقطه مثبت این ساختار غیر دولتی بودن شرکت‌های استانی است و در صورتی‌که از این نقطه مثبت و هم‌چنین قانون تشکیل شرکت‌ها به‌خوبی استفاده شود، هنوز این ساختار قادر است کارکرد مناسبی داشته باشد. ظرفیت‌های مندرج در قانون تشکیل شرکت‌ها، بحث مشارکت بخش خصوصی و امکان سرمایه‌گذاری بخش‌های مختلف در ایجاد و تاسیسات آب و فاضلاب نکته بسیار مهمی است که

ایران نمونه‌هایی از این ظرفیت‌ها بود که با همت بخش‌های بیرونی و درونی آب و فاضلاب شکل گرفت. البته استفاده درست و کامل از این ظرفیت‌ها در دوره‌های مختلف با چالش مواجه شد و هیچ‌گاه به‌صورت کامل از ظرفیت این تشکلهای استفاده نشد.

* از نظر شما مهم‌ترین چالش‌های صنعت آب و فاضلاب در زمان حاضر چیست؟

- یکی از چالش‌های مهم کشور در حوزه آب و فاضلاب ناترازی آب است. این موضوع با توجه به روند روبه رشد مصرف از یک‌طرف و کاهش منابع آبی در دسترس، کشور را دچار بحران‌های اجتماعی، امنیتی و اقتصادی خواهد کرد. آثار این تنش‌ها در بعضی نقاط کاملاً مشخص و عیان شده اما در سال‌های آتی در صورت عدم توجه به این موضوع و شناسایی و اجرای راه‌کارهای هوشمندانه، قطعاً شرایط سختی را به کشور تحمیل خواهد کرد. روندهای جاری در حال حاضر امیدی به رفع این ناترازی را نشان نمی‌دهد. یکی از راه‌کارهای حل این موضوع سرمایه‌گذاری در این حوزه است که به‌دلیل عدم توان مالی دولت، خود باعث ایجاد یک چالش اساسی در تمام بخش‌ها و زیرساخت‌های کشور شده است. لذا تنها راه‌حل برون رفت از این ابر چالش، تامین مالی برای جبران ناترازی آب از منابع غیردولتی است و در این راستا مشارکت سرمایه‌گذاری بخش خصوصی داخلی و تامین مالی خارجی اجتناب‌ناپذیر است. قطعاً سرمایه‌گذاران داخلی نیاز به استفاده از منابع بانک‌ها و موسسات مالی و منابع موجود در بازار سرمایه داخلی دارند، که این منابع هم مبتلا به شرایط ناپایدار و متزلزل است. لذا تامین منابع خارجی از اهمیت بیشتری برخوردار است. این موضوع هم نیازمند تعاملات بین‌المللی مناسب و شرایط مناسب برای حضور سرمایه‌گذاران خارجی است که قطعاً نیازمند بهبود شرایط و روابط بین ایران و دیگر کشورها است.

در بخش خدمات و بهره‌برداری از تاسیسات آب و فاضلاب نیز چالش اساسی، عدم تکافوی قیمت فروش آب و فاضلاب در مقابل هزینه‌های شرکت‌ها است. در وهله اول قیمت‌های تکلیفی وضعیت ناپایداری را در این تاسیسات به‌وجود آورده است و از طرفی به‌دلیل عدم پایبندی دولت به جبران اختلاف قیمت تکلیفی و هزینه تمام شده آب و فاضلاب و به تبع آن عدم بازسازی و بهره‌برداری نامناسب از تاسیسات و سرمایه‌گذاری انجام شده، تاب آوری تاسیسات را دچار مشکل کرده است

* در طول سال‌های فعالیت جنابعالی آیا شرایطی بوده است که مشارکت مجموعه‌های علمی کشور مانند دانشگاه‌ها و انجمن‌ها توانسته باشند به طرز عملیاتی دریافتی پاسخ به چالش مهمی مشارکت داشته باشند؟

- بله در مقاطع مختلف برخی دانشگاه‌ها رابطه مستقیم و در بعضی

می‌تواند در راستای اهداف توسعه و بهره‌برداری مناسب از تاسیسات به‌کار گرفته شود. ظرفیت مفاد قانون تجارت در اداره شرکت‌ها و توسعه و نگاه بنگاهداری از جمله نقاط قوتی است که می‌تواند شرکت‌ها را از مشکلات اقتصادی تا حدود زیادی رها کند.

* در خصوص یکی از فعالیت‌های مهم و اثرگذار خود در صنعت آب و فاضلاب کشور توضیح دهید.

- دوران سی ساله خدمت من در بخش‌های مختلف صنعت فعالیت‌های اثرگذار مختلفی با کمک دوستان داشتیم که از جمله در زمان تصدی معاونت بهره‌برداری آب‌فای کشور موضوع تدوین شاخص‌های جدید در ارزیابی عملکرد حوزه‌های زیرمجموعه بهره‌برداری بود که با اندازه‌گیری و مقایسه شرکت‌ها اتفاق خوبی در رشد این شاخص‌ها افتاد و در نهایت باعث ارتقا و بهره‌وری کارکنان و تاسیسات شد.

در زمان تصدی این‌جانب در معاونت برنامه‌ریزی و توسعه، علاوه بر افزایش میزان تعاملات شرکت مهندسی آب و فاضلاب با مجموعه وزارت نیرو، مجلس شورای اسلامی و سازمان برنامه و بودجه که منجر به بهره‌گیری از اعتبارات بسیار زیادی از محل طرح‌های کمک سرمایه‌ای، منابع بانک‌های توسعه اسلامی واقع شد، با تمرکز بر ظرفیت‌های بخش خصوصی تعداد زیادی طرح و پروژه با استفاده از مشارکت خصوصی در قالب قراردادهای BOT، BOO و ROT و بیع مقابل اجرا و عملیاتی شد.

ایجاد فضای تعاملی بین شرکت‌های پیمانکاری، مشاوره‌ای و تولیدکنندگان با شرکت‌های آب و فاضلاب استانی باعث تقویت روحیه اعتمادپذیری و حل اختلافات قراردادی شد؛ هرچند که این موضوع دارای تبعاتی هم برای بنده بود، اما از خسارت‌های زیادی که باعث توقف پروژه و طرح دعوا در دادگاه‌ها می‌شد، جلوگیری کرد. بیشترین گردهمایی‌های رشد در طول دوره تصدی این‌جانب در معاونت مهندسی توسعه انجام شد که نتایج آن تبادل تجربه همکاران و معاونین مهندسی و توسعه شرکت‌های آب و فاضلاب استانی بوده و در جهت ارتقای دانش و مهارت همکاران نقش بسیار مهمی داشته است.

* مجموعه صنعت آب و فاضلاب کشور چه فرصت‌هایی را برای استفاده از توانمندی‌های مجموعه‌های مستقل علمی

مانند انجمن‌ها در مدیریت این بخش مهم فراهم نموده است؟ - از ابتدای تشکیل شرکت‌ها ایجاد انجمن متخصصان آب و فاضلاب یکی از فرصت‌هایی بود که به‌خوبی با حمایت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور ایجاد و سال‌ها تاثیرگذاری خوبی در صنعت داشته و در سال‌های بعد انجمن علمی آب و فاضلاب ایران بعد از آن، کانون هم‌آهنگی دانش، صنعت و بازار آب و فاضلاب ایران و کمیته IWA

ارائه دهیم قطعاً نقش و جایگاه انجمن در ساختار مدیریتی ایجاد می‌شود.

*** با توجه به این‌که جنابعالی از بدو شروع فعالیت مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب، عضو شورای سیاستگذاری صنعت این نشریه بوده‌اید، لطفاً ارزیابی خود را از ساختار و محتوای این نشریه بیان کنید. به نظر شما این نشریه در چه حد توانسته است خلاء بین تحقیقات دانشگاهی و تجربیات و نیازهای صنعت را پر کند و باعث رشد هر دو بخش شود؟**

- وجود انجمن علمی آب و فاضلاب ایران در مقاطع مختلف و به روش‌های متفاوتی در تعامل با صنعت و بخش حاکمیتی نقش بسیار مهمی داشته و با حضور در کنار وزارت نیرو و شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در انعکاس دیدگاه‌های علمی و دانشی و همچنین اعلام نظر در خصوص وقایع و اتفاقات مرتبط با وظایف انجمن اقدامات موثری انجام داده است. انتشار مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب توسط انجمن از یک‌طرف باعث اطلاع‌رسانی و نشر علوم مرتبط با آب و فاضلاب بین بخش‌های مختلف دانشگاهی، محققان و هم‌چنین همکاران و کارکنان شرکت‌های آب و فاضلاب شده است و از طرفی یک مرجع معتبر برای درج و چاپ دستاوردهای علمی کارشناسان و محققین فعال در عرصه آب و فاضلاب شده است که باعث توسعه فضای علمی و تحقیقاتی شده است.

نتایج ارزشمند برگزاری همایش‌های علمی، کارگاه‌های آموزشی و هم‌چنین وبینارهای علمی و تخصصی از دیگر فعالیت‌های قابل توجه و اثربخش انجمن علمی آب و فاضلاب به‌شمار می‌رود.

*** در انتها اگر صحبتی برای خوانندگان مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب دارید، لطفاً بفرمایید.**

- مخاطبین مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب جزو مخاطبین خاص و از فرهیختگان کشور هستند و قطعاً دارای دانش و بینش بیشتر از بنده در این حوزه هستند. از این‌که وقت گرانبهای خود را صرف مطالعه این مصاحبه کرده‌اند، تشکر می‌کنم و امیدوار هستم یک نکته قابل بهره‌گیری از این مطالب ارائه کرده باشم. اگر توفیق داشته‌ام در سمت‌های مدیریتی سطوح مختلف استانی و ملی فعالیت کنم به دلیل ایجاد فرصت‌هایی بوده که بزرگان و مدیران به‌من داده‌اند و به من اعتماد کردند تا من با اعتماد به نفس در این صنعت قدم بردارم و من هم در طول این سال‌ها تمام تلاش خود را به کار گرفتم که این رویه صحیح را برای افرادی که با من کار می‌کنند اجرا کنم و رسالت پرورش نیروی انسانی را تا حدی که در توان دارم به‌نحو احسن انجام دهم. تمام افراد قداست دارند و باید مراقب آن‌ها بود. در انتها از عزیزان دست‌اندرکار مجله بابت این فرصتی که در اختیار بنده گذاشته‌اند، سپاسگزارم.

مواقع اساتید دانشگاه به‌طور مستقل در پروژه‌های مختلف نقشی ایفا کرده‌اند. در زمان معاونت بهره‌برداری بنده، دانشگاه شریف در حوزه مدیریت مصرف اقدامات ارزشمندی در راهبری پروژه‌های مرتبط با این حوزه به‌عهده داشت. در یک مقطع دانشگاه عباسپور در پروژه ظرفیت‌های نیروی انسانی اقدام بزرگی انجام داد. دانشگاه شهید بهشتی در تدوین برنامه جامع آب در یک مقطع کار خوبی شروع کرد اما در آخر به نتیجه مطلوب نرسید. البته به‌نظر من خیلی از ظرفیت‌ها و فرصت‌ها در تعامل دانشگاه‌ها با صنعت آب و فاضلاب کشور وجود داشته که به‌کار گرفته نشده است.

*** آیا مجموعه قوانین و آیین‌نامه‌های موجود توانسته است زمینه مشارکت اثرگذار افراد و نهادهای مستقل را فراهم کند؟ به نظر شما چه چالش‌ها و خلایه‌هایی در این حوزه وجود دارد؟**

- ماهیت شرکت‌های آب و فاضلاب استانی هیچ‌گونه محدودیتی برای استفاده از ظرفیت افراد و نهادهای مستقل برای مشارکت ندارد و شکل اصلی تفکر و نگرش مدیران است که بعضاً اعتقادی به این موضوع ندارند و مایل به این موضوع نیستند که باید با مشورت و استفاده از خرد جمعی مشکلات مبتلابه صنعت را مرتفع کرد. چالش اصلی و خلاء مهم، نگاه صحیح و نگرش مناسب به جلب مشارکت و استفاده از ظرفیت‌های بیرون سازمانی است. هرچند در خیلی از شرکت‌ها حتی از ظرفیت موجود و داخلی هم به‌خوبی استفاده نمی‌شود. البته کم‌کاری و عدم ارائه راه‌حل‌های مناسب توسط افراد و نهادهای مستقل نیز قابل توجه است که نمی‌توان منکر شد.

*** برای تقویت نقش و اثربخشی انجمن آب و فاضلاب و گسترش فعالیت‌های آن به‌ویژه در صنعت و ساختار مدیریتی این حوزه چه پیشنهاداتی دارید؟**

- انجمن علمی آب و فاضلاب در کل طول سه دوره فعالیت خود با لحاظ کردن تمام ملاحظات و مسایل پیرامونی، به‌نظر من جزء موفق‌ترین انجمن‌ها بوده و عملکرد مناسبی داشته و دلیل اصلی این توفیق، فعالیت‌های دلسوزانه و بی‌وقفه جناب آقای دکتر تابش بوده است. برخی از فعالیت‌هایی که امکان اجرایی شدن آن محقق نشده است به دلیل بی‌مهری مدیران صنعت در برخی از مقاطع زمانی است. البته تعامل با مجموعه‌های دولتی و شرکت‌های آبفا نیازمند یک ادبیات خاصی است که به‌نظر من انجمن در برخی موارد از این ادبیات کمتر استفاده کرد و یا به‌عبارتی نتوانسته است نظر مدیران را به‌خوبی به انجمن جلب کند. لذا برای حضور پر رنگ‌تر و نقش‌آفرینی بیشتر در صنعت، گسترش تعاملات با مدیران با استفاده از ابزاری که در مشارکت ایجاد می‌کند، بسیار حائز اهمیت است. در صورتی که به نیازهای صنعت آگاه باشیم و برای آن راه‌کار مناسب

نشست تخصصی بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب
(دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت،
۷ تا ۹ آذرماه ۱۴۰۲، دانشگاه تهران)

لینک فیلم نشست: <https://www.aparat.com/v/jBUwJ?playlist=8441236>



اعضای نشست:

- دکتر مهتاب باغبان (مدیر دفتر بهداشت آب و فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان تهران)
دکتر مسعود تجریشی (استاد دانشگاه صنعتی شریف)
دکتر بنفشه زهرایی (دانشیار دانشگاه تهران)
مهندس غلامرضا شقاقی (رییس اداره بهداشت آب و فاضلاب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی)
دکتر حامد محمدی (دانشیار دانشگاه علوم پزشکی زنجان)
دکتر کاظم ندافی (استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران، مدیر نشست)

دست است. این‌ها همه به نوعی به موضوع کیفیت آب بستگی دارد و در واقع یکی از مسئولیت‌هایی که در حوزه وزارت بهداشت است توجه به این عوامل خطر و کنترل آن‌ها است. از طرف دیگر کیفیت منابع آب در کشور ما به‌طور کلی رو به کاهش و بدتر شدن است. در خیلی از موارد ما در طول ۵۰ سال گذشته شاهد هستیم که EC منابع آب تقریباً دو برابر شده است. ما در جنوب شهر تهران در حدود ۵۰ سال پیش در یک پایان نامه در دانشکده بهداشت نیترات آب چاه‌ها را اندازه‌گیری کردیم، این مقدار حدود ۷ میلی‌گرم در لیتر برحسب نیترات بود. در واقع این معادل کیفیت آب خوب ما در شهرهای بزرگ مانند تهران است.

ما در آن زمان در آب‌های زیرزمینی جنوب شهر تهران یک چنین کیفیتی را داشتیم. اما به‌دلیل سوء مدیریتی که ما در زمینه منابع آب داشتیم و فاضلاب‌ها را بدون تصفیه در منابع آب تخلیه



دکتر کاظم ندافی:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و احترام دارم خدمت حضار محترم و اساتید ارجمند. نشست تخصصی بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب را در محضر جمعی از اساتید شروع می‌کنیم. اگر به مواردی که سلامت انسان را تهدید می‌کند نگاه کنیم یکی از آن‌ها استفاده یا عدم دسترسی به منابع آب سالم یا ایمن است. دو عامل خطر دیگر هم وجود دارد. که یکی از آن‌ها بهسازی ناکافی و دیگری شستشوی

کردیم و پارامترهای دیگری که اساتید محترم اشاره می‌کنند، الان از خط خیابان انقلاب به پایین‌تر چاه‌هایی داریم که همگی نیتراشان از حداکثر مجاز بالاتر است.

در دهه‌های اخیر بحث تغییر اقلیم هم یک عاملی شده است که به این مشکل اضافه کرده است. ما شاهد افزایش تبخیر، کاهش بارش‌ها، عدم توزیع متعادل بارش‌ها در همه حوزه‌های آبخیز کشور هستیم. سیلاب‌ها که می‌توانند کیفیت آب را تحت تاثیر قرار دهند و بسیاری پارامترهای دیگر که ناشی از تغییر اقلیم هست و می‌تواند کیفیت آب را در معرض تهدید قرار دهد.

در این جلسه خدمت اساتید گرامی هستیم تا این موضوع را در حضور شما دانشمندان و علاقمندان محترم به این حوزه مورد توجه و بررسی قرار دهیم. برای این که گفتگو را آغاز کنیم از آقای دکتر حامد محمدی خواهش می‌کنم که راجع به تغییر اقلیم و نشانه‌ها و پیامدهای بروز آن در یک منطقه به صورت خیلی خلاصه برای ما توضیح بدهند.



دکتر حامد محمدی:

بسم الله الرحمن الرحيم. با سلام و عرض تشکر از دست اندرکاران همایش که زحمت برگزاری این نشست را داشتند. چند مورد از تعاریف را خدمت شما ارائه می‌کنم. یکی از آن‌ها بحث تعریف تغییر اقلیم است. ما یک بحث آب و هوا را داریم. آب و هوا شرایط اتمسفر در کوتاه مدت را نشان می‌دهد. به طور مثال الان هوا گرم یا سرد است. این وضعیت وجود دارد، همین امروز دو روز، سه روز. اما وقتی بحث climate یا اقلیم مطرح می‌شود این شرایط جو در طی طولانی مدت را نشان می‌دهد که دوره معمولاً ۳۰ ساله در نظر گرفته می‌شود.

حال عرض می‌کنم که ما در کارهایمان از دوره کوتاه‌تر هم می‌توانیم برای شبیه‌سازی استفاده کنیم. تغییر اقلیم تحت عنوان گرمایش جهانی (Global Warming) که همه با آن آشنا هستید یعنی تغییرات بلندمدت. به این شرایط تغییر اقلیم گفته می‌شود. در این اسلاید ملاحظه می‌کنید قسمت وسط تغییر اقلیم است و قسمت چپ چگونگی ایجاد آن است که اساتید اشاره کردند. بحث توسعه ناپایدار که نمی‌شود جلوی آن را بگیریم. نمی‌توانیم

کارخانه نسازیم. خانم دکتر گفتند ما جلوی ساخت فلان کارخانه فاز دوم فولاد را گرفتیم اما این راه‌کار نیست. چاره‌ای جز توسعه نیست. ایجاد اشتغال می‌کند، مملکت رشد می‌کند. اما توسعه پایدار اگر مدنظر باشد، تغییر اقلیم کمتر می‌شود. من در مورد پارامترهایی که تغییر اقلیم را ایجاد می‌کند خیلی نمی‌خواهم صحبت کنم و خودتان بهتر می‌دانید. مثلاً انتشار گازهای گلخانه‌ای. بعضی‌ها را می‌شود جلوشان را گرفت، بعضی‌ها را می‌شود اثراتش را کم کرد. دستگاه‌های مختلف در کشور باید از بخش‌های مختلف نه فقط محیط‌زیست بلکه صنعت کشاورزی و همه باید در این زمینه کار کنند. در سمت راست اسلاید پیامدها را مشاهده می‌کنید. در این قسمت موج‌های گرمایی که در واقع با آن‌ها مواجه هستیم در تابستان‌ریال چهار روز، پنج روز، سه روز طول می‌کشد. در جای جای مملکت ما تغییر اقلیم متفاوت است. آب و هوای متفاوتی در کل کشور ما است و موهبتی است. اما نمی‌توانیم راجع به کل ایران بگوییم که گرما زیاد شده، بارش کم شده و

ما باید در هر منطقه جداگانه کار کنیم. این‌جا نیازهای تحقیقاتی که ما باید انجام بدهیم برای این که بتوانیم تطابق پیدا کنیم با این تحقیق که در کل دنیا اتفاق می‌افتد، ارائه شده است. کل دنیا خودشان را سازگار کردند و در ارتباط با بحث بخش‌های مختلف توسعه‌ای این موضوع مدنظر قرار گرفته است. آقای دکتر تجربی شما فرمودید در این‌جا به صورت کلی مثلاً یک راه‌حل کاهش ارائه بدهیم. نخیر برای هر منطقه باید جداگانه کار بشود. مخاطرات منطقه، مخاطراتی که در اصفهان داریم، مخاطراتی که در گیلان داریم، مازندران داریم، حتی شهر به شهر هر قسمتش متفاوت است. ما در واقع اگر می‌خواهیم کاری انجام بدهیم باید به صورت مقطعی کار کنیم از دیتاهای گذشته‌مان استفاده کنیم. یک بخشی از این مسائلی که تغییر اقلیم ایجاد می‌کند طوفان است که تا به حال نداشتیم الان دارید می‌بینید، در تهران داریم می‌بینیم. من در مازندران خود شاهد طوفانی بودم که اسمی برایش نداشتیم. اما هفته گذشته اتفاق افتاد. به بحث خشکسالی‌ها اشاره کردند. سیل‌ها که استان‌ها را گرفت. اول از اسفند یک استان و بعد فروردین استان‌های دیگر را گرفت که این آب و هوا و رویدادهای شدید ناشی از تغییر اقلیم است. یا بحث‌های دیگری مربوط به موج‌های گرمایی که اشاره کردم. این موارد اگر در گذشته ۳۰ سال یک‌بار اتفاق می‌افتاد در حال حاضر دوره بازگشتشان کم شده است و اکنون ۵ یا ۱۰ سال یک‌بار اتفاق می‌افتد. یا بحث‌های دیگر مثل موج‌های دریا که اشاره کردم. این‌ها همه می‌توانند هم بر روی آلودگی هوا و هم بر روی مسائل

بحث مواد مغذی که آقای دکتر تجریشی اشاره فرمودند الان کجا اضافه شده است. خود سیل‌ها منابع آب ما را تهدید می‌کند. این‌ها از اثرات تغییر اقلیم هستند. چیزی که اهمیت دارد این است که غلظت مواد مغذی، غلظت مواد شیمیایی را می‌تواند در منابع آب بالا ببرد و تغییر بدهد و کیفیت آب را به هم بزند. آن چیزی که می‌خواهم خدمتان عرض کنم الان این یکی از کارهایی است که عرض کردم ما بر روی آب انجام دادیم. این یکی از مقاله‌ها است که آمدم آینده را پیش‌بینی نه بلکه برآورد کردیم. سناریو برای تغییر اقلیم وجود دارد. الان آخرین سناریوهایی که برای تغییر اقلیم وجود دارد بر اساس 5 Assessment Report هست که الان گزارش ششم هم در حال آمدن است. الان ما چهار سناریو برای تغییر اقلیم داریم که در شرایط مختلف اگر جمعیت دنیا این‌گونه افزایش پیدا کند یا صنعت این‌گونه باشد این سناریو. اگر گاز گلخانه‌ای این‌گونه باشد این‌طور. چهار سناریو الان وجود دارد. وقت جلسه را نمی‌گیرم این چهار تا RCP را براساس این ما می‌توانیم از روی دیتای گذشته به دست آوریم. ما دیتا به اندازه کافی داریم. هواشناسی به اندازه کافی دیتا دارد. از یک طرف روی آب کلی دیتا داریم. این همه دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی، دفتر مطالعات آب‌های سطحی، این همه دیتا الان برای ۲۰ یا ۳۰ سال اگر دیتا خواسته باشیم هم از لحاظ کمی هم از لحاظ کیفی برای منابع آب داریم.

از دیتاهای گذشته باید بتوانیم مدل‌سازی کنیم و بتوانیم با عنایت به سناریوهای تغییر اقلیم آینده ۲۰ سال ۵۰ سال حتی تا صد سال آینده هم می‌توانیم برآورد بکنیم و تخمین بزنیم و ببینیم به چه وضعی مشابه می‌شویم. در این منطقه با این منطقه متفاوت است. آمار هواشناسی این منطقه با آمار هواشناسی این منطقه، رودخانه‌های این منطقه با این منطقه در کشورمان متفاوت است. پس بنابراین برای مناطق مختلف ما می‌توانیم برآورد کنیم که چه بلایی سر کیفیت آب و کمیت آب می‌آید. از جاهای دیگر هم باید استفاده کنیم.

ببینید ما سند هیوگو را داشتیم. گذشت تمام شد. بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ الان سند سنندای هست. سند سنندای چه چیزی گفته است. اولویت سنندای درک و شناخت خطر است. اولین مورد درک و شناخت خطر است. دیدیم خانم دکتر از مجلس آمده بود اینجا درک کرده بود. راننده تاکسی نیز درک کرده است. مادر من نیز که در خانه است او هم می‌داند که دیگر تغییر اقلیم چیست. درک خطر انجام شده است. مهم‌ترین قضیه این است که خانم دکتر رفیعی می‌گوید ما تازه خودمان را پوست کندیم که دولت را وادار کنیم که استراتژی پلن برای تاب آوری در برابر تغییر اقلیم بدهد.

کیفیت آب تاثیر داشته باشند. شرایط اقتصادی اجتماعی هم این‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باید به این قضایا هم توجه شود. در اینجا مشاهده می‌کنیم اثراتی که بر روی سلامت داشتند که موضوع بحث این همایش نیست. خوب در این‌جا به من محول کردند که پیامدها را بگویم. خیلی پیامد وجود دارد. پیامدهای مسائل اجتماعی اقتصادی، بحث‌های مختلف خیلی می‌توانیم صحبت کنیم. اما در ارتباط با کیفیت آب که موضوع همایش است ملاحظه می‌فرمایید که مهم‌ترین آن‌ها کاهش کمیت و کیفیت آب است. هم کمیت هم کیفیت. نباید فقط کیفیت را در نظر بگیریم. بحث کمیت هم هست. کاری که ما خودمان در سال گذشته انجام دادیم کیفیت و کمیت آب رودخانه تهم در استان زنجان را شبیه‌سازی کردیم و پیشگیری لازم برای آینده و این‌که چگونه برای آینده هم ما می‌توانیم تخمین بزنیم و برآورد کنیم که در آینده حتی چطور می‌شود.

این بحث کشور خودمان است. واقعا اشک آدم در می‌آید. از کارهایی که زنده یاد خانم دکتر ناصری و تیم‌شان انجام دادند در واقع آسیب‌شناسی بعضی منابع آب در کشور را داریم. ملاحظه می‌کنید چه وضعیتی را داریم. وضعیت قرمز و نارنجی و زرد در قسمت‌هایی که ایشان متولی اصلی بودند، در قسمت آب و فاضلاب و کسی هم الان دیگر اشاره به این نمی‌کند. خانم دکتر رفیعی فرمودند تازه ما به دولت گفتیم که بیاید استراتژی فلان را تدوین کند. ما ادپتیشن استراتژی پلن را شروع کردیم.

حالا عزیزانی که اطلاع دارند که هیچ، اگر ندارند، من کاری ندارم که این برای هفت سال پیش بود الان دیگر باید به‌روز رسانی شود. من همیشه سر کلاس که درس می‌دهم می‌گویم که ما وقتی پلن آماده می‌کنیم نقطه آخر پلن را که می‌گذاریم باید دوباره پلن را بازنگری کنیم. حالا این هشت ساله خیلی از عزیزان شاید اصلا اطلاع ندارند. نپا را بزنید. نپا مال ایران را بزنید. مال فرانسه را بزنید. برایتان می‌آید. در بخش آب هم نپا هست. ما هم در کشورمان خانم دکتر متولی اصلی بودند و من هم به‌عنوان شاگردشان در واقع کمک کردم. آن هم آماده شده است و الان در دانشکده بهداشت است. در پژوهشکده آقای دکتر نجفی استحضار دارند. این‌ها وجود دارد. نشنال آداپشن پلن داریم. پس بنابراین براساس آن باید به‌روز کنیم و براساس آن کار کنیم. دیگر خیلی راجع به پیامدهایش صحبت نکنم. بحث این‌که چه مسائلی را بر روی سدها ایجاد می‌کند. چه ریسک‌هایی را در آتش‌سوزی جنگل‌ها ایجاد می‌کند. هم‌چنین بر روی منابع آب. بحث این‌که باعث می‌شود ترسیب و رسوب را در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها اضافه بکند.

دومین اولوبیتی که بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ دنیا مدنظر قرار داده است این است که حاکمیت خطر است. یعنی نماینده مجلس، یعنی رهبر، یعنی رئیس جمهور، یعنی وزیر، چه وزیر کشاورزی باشد چه محیط زیست باشد، چه هر کسی باشد، مدیر کل فلان. این‌ها باید این سرلوحه کارشان باشد. تغییر اقلیم بزرگترین چالش بشر در قرن حاضر هست.

حالا کسانی که که پاره کردند بهتر از ما اجرا می‌کنند. آن‌ها که ریختند دور گفتند نه. ما هم امضا کردیم ما هم بحث سندای را امضا کردیم رئیس جمهور ما آقای روحانی رفت امضا کرد. اما در مورد حاکمیت، خطر سومش تازه سرمایه‌گذاری بکنید در جهت کاهش سرمایه‌گذاری بکنید در جهت کاهش و اولویت چهارم به این چیزهایی که امروز صحبت می‌شود. اولویت چهارم در دنیا بین ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ هست که مقابله کنیم، آماده بشویم برای مقابله کردن و مقابله بکنیم و ریکاور بشویم از این وضعیتی که برای خودمان درست کردیم. بنابراین باید سرلوحه قرار بگیرد. بودجه‌بندی که در مجلس است چیزی که در اندازه کافی بخشنامه و سند و از این چیزها ما داریم. اشاره شد توی این بحث‌ها. منتها اجرایی شدن این‌ها چالشی است که باید پول به استانداری که می‌گوید من نمی‌دانم. من مشکلم فلان چیز است. وقتی بودجه‌بندی طوری باشد و اصلا پول در ارتباط با این قضایا فقط به آن داده شود که وقتی من به تو می‌دهم که توسعه ایجاد بکنی. این توسعه این مشکل را نداشته باشد. من عذرخواهی می‌کنم طولانی شد خیلی متشکرم.

دکتر کاظم ندافی:

خیلی متشکرم از آقای دکتر محمدی که به اثرات تغییر اقلیم، برنامه‌هایی که در گذشته انجام شده است و الزاماتی که اکنون باید رعایت شود اشاره کردند. به هر حال اثرات هر اقلیم بر منابع آب و کیفیت آن حتمی است. از سرکار خانم دکتر باغبان می‌خواهم که اگر مطالعاتی در این زمینه در وزارت نیرو انجام شده است آن را برای ما شرح دهند.



دکتر مهتاب باغبان:

عرض سلام و ادب و احترام دارم. در خصوص تغییراتی که در

کیفیت آب و منابع تامین‌کننده آب ایجاد شده است، یونسکو مدیریت منابع آب را یک مجموعه از اقدامات فنی، قانونی و اداری می‌داند و می‌گوید برای این‌که شما مدیریت منابع آب را بتوانید به‌درستی انجام دهید باید تعادلی بین تقاضای آبی که وجود دارد و تامین آب داشته باشید. بنابراین باید نگاه‌های سیاسی اجتماعی اقتصادی در نظر گرفته شود، تامین شود و مستند شود و سند داشته باشیم.

کاملا به‌درستی هم تعریف می‌کند می‌گوید تقاضا حتما باید پاسخ داده شود. اما در اهدافی که برای تقاضای آب می‌آورد می‌گوید باید که منابع آب را حفظ کنید و حفظ منابع آب را منوط می‌داند به حفظ کیفیت آب. برای همین باید الزامات و قوانین کنترل کیفیت منابع آب به‌درستی براساس شرایط محیطی که وجود دارد انجام شود تا این اطمینان را داشته باشیم که این آب قابلیت آشامیدن دارد. کاملاً هم درست تعریف می‌کند، چون در سازمان بهداشت جهانی هم ما داریم اگر آبی را به لحاظ کیفی از دست بدهید به لحاظ کمی هم از دست داده‌اید.

بله ما می‌توانیم تصفیه‌های بسیار پیشرفته‌ای را با هزینه‌های بسیار زیاد داشته باشیم ولی حالا با توجه به شرایط اقتصادی و تکنیکال که در کشور وجود دارد شاید نتوانیم از تمام منابع موجود استفاده کنیم و این نکته‌ای هست که باید در مدیریت منابع آب به آن توجه داشته باشیم و از طرفی باید توجه داشته باشیم هر نوع تغییری که در منابع آب اتفاق می‌افتد به الزام آن ما باید مجموعه موارد مرتبط با کیفیت آن را بررسی کنیم.

به‌عنوان مثال وقتی حجم ورودی به دریاچه سدهای ما کم می‌شود، در مورد برداشت از دریاچه سد شاید ما ۳۰ سال ۴۰ سال برداشت کردیم و هیچ وقت بنابر نیازی که بود به‌عنوان مثال دنبال فلزات سنگین در آن نمی‌گشتیم. اما وقتی حجم کم می‌شود محل برداشت آب نزدیک می‌شود به سطح رسوبات دریاچه و خانم دکتر فرمودند که مثلاً شیراز در حال حاضر اصرار دارد که ماهی پروری داشته باشد. جاهایی که ماهی پروری داشته باشند ما به آن لایه‌ای نزدیک می‌شویم که کاملاً ماتریس کیفیتشان فرق می‌کند. پس ما باید نگاه کیفی‌مان را در آزمایشگاه‌های تخصصی آب و فاضلاب تغییر بدهیم.

به‌عنوان مثال به هر دلیلی که در ورودی دریاچه سدهای ما بخشی از فلزات سنگین داشته است، در رسوبات این‌ها به‌صورت هیدروکسید رفته‌اند و ما باید اندازه‌گیری این آلاینده را در دستور کار آزمایشگاه‌ها قرار دهیم. مثلاً وقتی که دریاچه سدها مشکل پیدا می‌کند و حجم ورودی آن‌ها کمتر می‌شود، نور خورشید کمک می‌کند، مواد آلی موجود در آن‌ها کمک می‌کند و رشد

برداشت‌های زیاد فاکتورهای دیگر مثل شوری آب که بسیار مهم است مدنظر قرار گیرد. ما باید بتوانیم تعادل مناسبی به‌طوری که آبخوان هم دچار آسیب نشود برقرار کنیم و بهره‌برداری را داشته باشیم و نگاه کیفی را اعمال کنیم.

دکتر کاظم ندافی:

خیلی متشکر خانم باغبان استفاده کردیم و تشکر می‌کنم که به هر حال شرکت آب و فاضلاب به فکر این هست تغییرات کیفی آب و آنالیزهای جدیدی که باید انجام شود و ما بتوانیم کاملاً کیفیت آب را تحت کنترل داشته باشیم و خوشبختانه تجهیزات و نیروی انسانی و امکانات خوبی را در این زمینه دارد که باعث خوشحالی است. حالا انشاءالله در یک فرصتی خانم دکتر‌های در واقع عددی و کمی را هم به ما خواهند داد که استفاده بکنیم. مورد بعدی که می‌خواهیم از محضر خانم دکتر زهرایی استفاده بکنیم و از تجربیاتی که ایشان در سال‌های متمادی در این زمینه داشتند. خوب بالاخره تغییر اقلیم پیامدهایی دارد که باید جلوگیری بکنیم.



دکتر بنفشه زهرایی:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و احترام خدمت همه بزرگواران. خیلی تشکر می‌کنم از زحمات آقای دکتر تابش، همکاران در انجمن آب و فاضلاب، خیل عظیمی از خانواده دانشگاه تهران از اعضای هیئت علمی و کارکنان و دانشجویان که کمک می‌کنند در برگزاری این کنفرانس و از جناب آقای دکتر ندافی همکار محترم در میزگرد هم تشکر می‌کنم. من یک اسلایدی را ارائه می‌دهم که بخشی از آن در رابطه با بحث‌هایی است که آقای دکتر محمدی مطرح فرمودند.

به‌نظرم بد نیست اشاره کنم آقای دکتر محمدی درست فرمودند که اثرات تغییر اقلیم خیلی موضعی است. بر جاهای مختلف شکل مختلفی دارد ولی خوب سر جمع ما از اواسط و اواخر دهه ۷۰ شمسی بخشی از بارش‌های کشور را از دست دادیم و تغییر رژیم بارندگی‌ها منجر شد به این که توان تولید جریان سطحی و تغذیه زیرزمینی را در کشور تا حدی از دست دادیم. حال این در مناطق مختلف دارای شدت و ضعف متفاوتی است

بیولوژیکی اتفاق می‌افتد. باید آزمایشگاه‌ها این توانایی را داشته باشند که مواد بیولوژیکی در سدها را شناسایی کنند. برخی از این مواد بیولوژیکی می‌توانند تولید بو و تولید سم کنند. این موضوع در استانداردهای ملی ایران دیده نشده است.

اما با توجه به این که اکنون شرایط در حال تغییر است. شرایط تغییرات اقلیم دارد بر روی کیفیت منابع آب تاثیر می‌گذارد. وقتی که در حقیقت مقدار اکسیژن محلول در سطح‌ها کم می‌شود آن آبیانی که در آب پاک زندگی می‌کردند حال که غلظت آلاینده‌ها بیشتر می‌شود و رشد جلبکی را داریم، مثلاً به‌عنوان مثال آزمایشگاه‌ها باید توانایی اندازه‌گیری و شناسایی گونه‌های بیولوژیکی را داشته باشند و بتوانند ترکیباتی که تولید ژئوزی می‌کند و ترکیباتی که تولید بو و طعم می‌کند را اندازه‌گیری کنند. باید ماتریس کیفیت وقتی که تغییر می‌کند نگاه ما هم برای اندازه‌گیری پارامترهای کیفی تغییر کند. ما برای هر دریاچه سد برحسب تغییرات اقلیم و بر مبنای تغییرات کیفی باید مدل داشته باشیم و باید بتوانیم ۲۰ سال آینده پیش‌رو را برنامه‌ریزی کنیم. ما در استان تهران به‌استثنای استان‌های دیگر دستخوش تنش آبی هستیم و سومین سال بی آبی هست که در حال حاضر در حال پشت سر گذاشتن آن هستیم. با استفاده از منابع آب شهری توانستیم در شبکه آب آشامیدنی کمک بگیریم و با توجه به برداشت‌هایی که از منابع آب زیرزمینی داشتیم توانستیم از قطعی آب جلوگیری کنیم. اما واقعیت این است که هر نوع تغییری که ما در شبکه ایجاد می‌کنیم می‌تواند تاثیرگذار باشد. به‌عنوان مثال ما تغییراتی که در فشار داریم می‌تواند بر روی کیفیت تاثیر بگذارد. در سال گذشته به‌دلیل کاهش بسیار زیاد سطح دریاچه‌ها، باید حتماً دریاچه سدها به الزام بررسی می‌کردند که این کاهش ارتفاع دریاچه سد و برداشت از دریاچه سد آیا توانسته که تاثیرات مخاطرات سلامت ایجاد کند. ما به عنوان مثال در یکی از سدها بررسی‌های بسیار جامعی را در آزمایشگاه آب و فاضلاب مرجع تهران انجام دادیم. اولین کاری که کردیم نوع میکروارگانیزم‌هایی که در آنجا وجود داشت را شناسایی کردیم و سم‌هایی که می‌توانستند تولید کنند، تعداد و سائز آن‌ها را شناسایی کنند و برنامه‌ریزی‌هایی که برای بهره‌برداری در حقیقت انجام دادیم که طعم و بو وارد شبکه نشود. باید در محل تصفیه‌خانه بتوانیم این موارد را پوشش بدهیم. در رابطه با کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی داستان کیفیت به گونه‌ای دیگر است، به‌دلیل این که رشد تغییرات آن دستخوش تغییرات گروهی آبخوان است کمتر است. در آنجا نگاه کیفی ما نگاه متفاوتی است و به‌دنبال بار بیولوژی برای تحقیقات نیستیم. در آنجا باید به الزام به‌دلیل

ولی کم و بیش فراگیر است. سری جریان سطحی ثبت شده در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری را خدمت شما نشان می‌دهم که در جاهایی هستند که بالا دستشان مداخلات انسانی وجود ندارد. کشاورزی وجود ندارد. افت آب زیرزمینی وجود ندارد و هر آن‌چه که مشاهده می‌کنید از تغییر دبی ثبت شده بعد از میانه دهه ۷۰ که در اکثر این اسلایدها به نصف یا کمتر از نصف کاهش پیدا کرده است متاثر از تغییر اقلیم هست و نه آیتم دیگری.

این مثلا نمونه ایستگاهی هست در استان خراسان رضوی که تقریباً رودخانه ناپدید شده است و خیلی دبی خاصی ندارد. در استان مرکزی در جاهای مختلف حالا دانشجویان ما درحال بررسی هستند که الگوهای مکانی این قضیه را هم استخراج کنیم. من عرضم این است که علی‌رغم این‌که مداخلات انسانی شاید موثرترین عامل در تنش‌های آبی و مشکلات کیفیت آبی هست که ما در کشور داریم تجربه می‌کنیم، ولی از سهم تغییر اقلیم به‌هیچ وجه نباید غافل شویم و سهم بسیار مهم و قابل توجهی دارد. یکی از اثرات تغییر اقلیم که اشاره شد شدت گرفتن و افزایش تواتر وقایع حدی مثل خشکسالی‌ها است که ما اینجا خیلی با آن دست به‌گریبان هستیم و این روند تولیدات زراعی و باغی در کشور هست. یعنی ما حالا به‌دلایل مختلفی سیاست امنیت غذایی و تقویت تولید کشاورزی را دنبال کردیم و همان‌طور که می‌بینید شما بازخورد خاصی از دوره‌های خشکسالی شدید در نمودار نمی‌بینید که مثلا تولیدات کشاورزی افت خاصی پیدا کرده باشد و این نشان می‌دهد که بخش کشاورزی تمام کسری خود را در سال‌های خشکسالی از آب زیرزمینی به هر نحوی که شده تامین کرده است و تولید خیلی تغییر قابل توجهی پیدا نکرده است.

اخیرا دوستان وزارت نیرو زحمت کشیدند نتایج آمار برداری دور سوم منابع و مصارف را منتشر کردند. نمودار نشان می‌دهد که سر جمع برداشت‌های کشور ۹۱/۹ میلیارد مترمکعب هست. یادآوری می‌کنم که آخرین برآورد آب تجدیدپذیر کشور که رسماً منتشر شد منتهی به سال ۹۰، ۱۱۰ میلیارد مترمکعب بوده است. الان مطالعات بیان در حال به‌هنگام‌سازی است و انتظار حدود ۱۰۰ یا کمتر از صد وجود دارد که این نشان می‌دهد که ما تقریباً همه منابع در اختیار را یا بیش از ۹۰ درصد منابع در اختیار را برداشت می‌کنیم. به تغییرات اگر نگاه نکنیم بد نیست. آمار برداری سراسری قبلی ۱۰ سال قبل انجام شد یعنی تقریباً اواخر دهه ۸۰ و همان‌طور که مشاهده می‌کنید ما در برداشت‌های سنتی آب سطحی تقریباً ۲۲ درصد کاهش داریم. در برداشت‌های سنتی آب از آب سطحی پنج درصد افزایش نسبت به دور دوم داریم. یعنی

اگر کنار گزاره اسلاید قبلی بگذارید که ما توان تولید جریان سطحی‌مان در کشور بسیار به‌دلیل تغییر اقلیم کاهش پیدا کرده است و پنج درصد هم برداشت‌های ما به‌دلیل این‌که متاسفانه بخش آب کشور اراده‌ای به سامان‌دهی حقایق‌برها و صدور و پروانه آب سطحی ندارد بگذاریم کنار این گزینه می‌بینیم که خیلی عجیب نیست که رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها همه دارند ناپدید می‌شوند و در عین‌حال در بخش آب زیرزمینی ما کاهش در چاه چشمه و قنات نسبت به آماربرداری قبلی داریم.

در کل استان‌ها در مصرف کاهش داریم، به‌دلیل این‌که آب در دسترس کاهش پیدا کرده است. در استان خوزستان با ۲۱ درصد کل مصرف آب کشور ۷۰ درصد افزایش مصرف نسبت به آمار برداری دور دوم دارد. چند استان دیگر که عمدتاً در استان‌های پربارش ما هستند که مناطقی هستند که هم آب زیرزمینی و هم آب سطحی نسبتاً در مقایسه با سایر استان‌ها در اختیار هست، افزایش مصرف دارد. بقیه کاهش‌هایی که اتفاق افتاده است بالاخره بخشی مداخلات دولت است و بخشی هم بخش عمده اثرات تغییر اقلیم و کم‌آبی و در واقع نبود منابع آب هست. سهم مصارف هم مشاهده می‌کنید که مشخص است نقش آب زیرزمینی در تامین مصارف آب کشور بسیار بسیار پررنگ هست و در بحث کیفیت نباید از آن غافل شویم. روند افت ذخایر آب زیرزمینی کشور را ملاحظه می‌کنید. سر جمع کسری تجمعی ۱۴۳ میلیارد مترمکعب است که در مقایسه با ۱۰۰ میلیارد منابع تجدیدپذیر ما واقعا رقم بسیار بسیار وحشتناکی است. چند ماه پیش یک انیمیشن این شکلی مرکز مطالعات راهبردی کشاورزی و آب ایران درست کرده است که روند ممنوع‌شدن منابع آب زیرزمینی دشت‌های کشور را نشان می‌دهد. این قرمزها که دارد کشور را فرا می‌گیرد دشت‌هایی هست که به‌دلیل افت پیوسته آب زیرزمینی و کاهش کیفیت توسعه بهره‌برداری در آن‌ها ممنوع شده است. قوانینی هم که می‌بینید در طی زمان عزیزان در مجلس و دولت بالاخره تنظیم کردند مرتبط با محدودکردن بهره‌برداری از منابع آب عملاً نتوانسته هیچ اثربخشی در فرایند اضمحلال آب‌های زیرزمینی ایران ایفا بکند.

حال برسیم به آخر اسلایدها. تقریباً شما می‌بینید که جز جاهایی که خاکستری است و فاقد پتانسیل آب زیرزمینی هست، تقریباً همه کشور از دشت‌های ممنوعه پوشیده شده است.

این کاهش کمیت قطعاً بر روی کیفیت اثر داشته است. برسیم به بحث پنل خودمان. تقریباً شوری آب زیرزمینی به‌طور متوسط کشوری ۲۰۰۰ واحد در چهار دهه گذشته افزایش پیدا کرده است. حالا که من بیشتر با کشاورزان محشور هستم تا با دوستان آب و

و می‌شود تحلیل کرد، نشان‌دهنده روند شور شدن و تشدید مشکلات کیفی آبخوان‌های مختلف مانند یزد-اردکان و قزوین است.

این‌ها همه نشانگر این هست که ما باید توجه خاصی داشته باشیم به کمیت. من سوال آقای دکتر را این‌جا به این صورت اشاره بکنم که ما خیلی فضای لاکچری که برویم روش‌های تصفیه خیلی پیشرفته (این‌ها خیلی کار خوبی است) ولی ما اصلاً داریم کمیت را از دست می‌دهیم در حدی که اندک آلاینده‌ای هم برای ما می‌تواند ایجاد بحران بکند و مدیریت مصرف به‌نظر من مهم‌ترین کار یا اولین کاری هست که باید به آن توجه بکنیم. خیلی ممنون.

دکتر کاظم ندافی:

خیلی ممنون خانم دکتر. استفاده کردیم از اطلاعات ارزشمندی که در اختیار ما قرار دادید. در کشور ما استفاده از آب بیشتر در بحث کشاورزی است و خیلی در بخش صنعت و شرب این مقدار قابل توجه نیست. ما اگر بتوانیم بهره‌وری در بخش کشاورزی را به متوسط جهانی برسانیم نه حد اعلائی که حالا در دنیا وجود دارد به همان متوسط جهانی برسانیم می‌توانیم بخش قابل توجهی از آب را که از این بابت صرفه‌جویی می‌شود برای محیط‌زیست، برای تعادل بخشی منابع آب استفاده بکنیم و این نکته کلیدی هست که واقعاً مغفول است و بر روی کیفیت آب هم اثر بسیار محسوسی دارد. امیدواریم که در برنامه‌ریزی‌ها به این نکته واقعاً توجه شود. ما در خدمت استاد ارجمند جناب دکتر تجریشی هستیم. جناب دکتر تجریشی حفظ کیفیت آب به هر حال در همه کشورها مستلزم وجود قوانین و مقررات سختگیرانه هست و کشورهای مختلف دنیا در این زمینه قوانین خاصی دارند و اعمال می‌کنند. در کشور ما هم البته قوانین و مقرراتی هست. من خواهش می‌کنم که یک بررسی مقایسه‌ای و اجمالی بفرمایید بین کارایی و کارآمدی قوانین و مقررات در کشور ما و سایر کشورهای که حضرت‌عالی مطالعه دارید.



دکتر مسعود تجریشی:

بسم الله الرحمن الرحيم. آقای دکتر به این برمی‌گردم ولی چند

فاضلاب، قشنگ از کشاورزان این فیدبک تغییر شوری را می‌بینید. جاهایی که قبلاً زراعت انجام می‌شد یواش یواش رفتند به سمت گیاه‌های شورورز. گندم را جایگزین کردند با جو. بعد دیدند جواب نمی‌دهد. رفتند درخت‌هایی کاشتند که شورورز باشد. اگر پسته زیاد کاشته می‌شود خیلی لزوماً به دلیل اقتصاد پسته نیست، چیزی بار نمی‌آید و این واقعا وضعیت بغرنجی است و باید توجه داشته باشیم در اکثر مناطق ایران این منابع آبی که به این صورت دارد کیفیت خودش را از دست می‌دهد مشترک بین صنعت، کشاورزی و شغل و این‌ها در رقابت برای این‌که بتوانند از این منبع هم حفاظت کنند و هم استفاده بکنند، هستند.

ما یک دانشجو اینجا داریم خانم مهندس نرگس واعظی که زحمت کشیدند بر روی شاخص امنیت آبی، بر روی بخش کیفیتش متمرکز هستند که کار بکنند و بخش‌هایی از کار ایشان را من این‌جا آوردم. اگر ما آبخوان‌هایی که شوری‌شان بیش از ۲۲۵۰ هست ملاک را قرار بدهیم، شما استان‌های مختلف کشور را می‌بینید. درصد مساحت آبخوان‌هایی که شور هست به کل آبخوان‌ها را دقت بکنید. مثلاً استان بوشهر تقریباً نزدیک صد در صد، اصفهان رسیده است به ۸۰ درصد، خراسان جنوبی ۸۰ درصد، قم تقریباً حدود ۷۰ درصد، سمنان بالای ۷۰ درصد، یزد دارد می‌رسد به ۷۰ درصد، یعنی ما دیگر در این استان‌ها اصلاً تقریباً به سرعت داریم آبخوان‌های غیر شور را به‌طور کلی از دست می‌دهیم و این قطعاً تهدیدی هست برای همه مصارف از جمله شرب.

این اسلاید درصد مصرف آب آبیاری به آب شور نسبت به کل مصرف آبیاری را نشان می‌دهد که باز همان استان‌هایی که عرض کردم به‌علاوه ایلام در واقع سهم بسیار قابل توجهی از مصرف آب آبیاری‌شان از آب‌های شور هست. به تدریج باعث می‌شود که خاک هم شور شود، بهره‌وری بیاید پایین و آن رقابتی که بین بخش شرب و سایر بخش‌ها هست بیشتر هم شدت بگیرد.

شاخص WQI را براساس آن استانداردها و حد مطلوبی که WHO تعیین کرده است خانم واعظی زحمت کشیدند حساب کردند و همان‌طور که می‌بینید در استان‌هایی که اسم برده شد حالا این‌جا بیشتر هرمزگان هم بروز پیدا می‌کند. قم بروز پیدا می‌کند. فاصله‌ها خیلی قابل توجه است. روندهای کیفی که در تعدادی از مهم‌ترین آبخوان‌هایی که آب شرب زیادی هم روی آن‌ها هست وقتی بررسی می‌کنیم می‌بینیم برخی شاخص‌هایی که شاید از نظر دوستان آب و فاضلاب ممکن است مهم هم نباشد با روش‌های تصفیه شاید نه چندان گران قابل حذف است. ولی این بخش از آن اطلاعات هست که به‌طور عموم در دسترس است

نکته را به آن سوال اصلی مرتبط بکنم ولی سوال شما سوال خوبی هست. ما خیلی از اوقات مشکلاتی که داریم عدم مشارکت مردم است. بعضی اوقات صحبت می‌کنیم قوانین نداریم و برخی مواقع می‌گوییم قوانین داریم ولی ناکارآمد است. در رابطه با آلودگی می‌شود گفت قانون حفاظت و بازسازی از سال ۱۳۵۴ بوده است و بحث این است که باید حفاظت شود. ما در زمان‌های مختلف رودخانه لار را به‌عنوان یک رودخانه حفاظت شده داریم. رودخانه جاجرود را به‌عنوان یک رودخانه حفاظت شده داریم. بنابراین در اسناد بالادست به‌عنوان منابع حفاظت شده از آن نام برده می‌شود. ما در سال‌های اخیر هم چند قانون خیلی خوبی را می‌بینیم. خود مجلس مصوب می‌کند که قانون تالاب‌ها هست که در آنجا مواردی دیده شده است از بابت این که اگر آلوده‌کننده وجود داشته باشد می‌تواند براساس این قانون و آیین‌نامه‌ای که دارد آن کسی که دارد آلوده می‌کند این جرایم خاص خودش را داشته باشد.

در رابطه با قانون حفاظت خاک هم که قدمتش پنج سال اخیر هست. عمده آیین‌نامه‌های آن به تصویب هیئت محترم وزیران رسیده است. آنجا هم در رابطه با صیانت از خاک و حفاظت و بهره‌برداری پایدار ما قوانین خوبی داریم. بنابراین سوال شما می‌تواند این باشد که آیا صرفاً داشتن قانون خوب می‌تواند مانع از این شود که من آلودگی محیط نداشته باشم. پاسخ من این است که این شرط لازم است ولی شرط کافی نیست. چرا شرط کافی نیست به‌خاطر این که وقتی که شما صنایع را نگاه می‌کنید صنایع به‌واسطه این که بسیاری از صنایعی که ما داریم صرفاً هدفشان تولید است.

من یک مثال بزنم که مثال خیلی دردناکی هم هست. مس سرچشمه سالیان سال به آنجا رسید که تعداد بسیار زیادی از دام مردم تلف می‌شد و خود اسیدی که تولید می‌شد به‌صورت باران می‌آمد و در داخل خاک و باعث آلودگی می‌شد. می‌شود گفت حدود ۲۰ سال طول کشید تا این صنعت آخر سر قبول کرد که بیاید و پاکسازی را انجام دهد و به این موضوع توجه بکند. من آخرین باری که با مدیرعامل مس صحبت می‌کردم می‌گفت الان آن‌قدر اسید سولفوریک داریم تولید می‌کنیم (قبلاً داشت در طبیعت و در خاک و دام و انسان پخش می‌شد) که الان برایمان اقتصادی هست تا بندر ما بتوانیم خط راه‌آهن بکشیم و محصول را به بندر برسانیم. پس خیلی از اوقات صنایع و حاکمیت دنبال این بودند که برایمان تولید مهم است، اقتصاد مهم است.

در کلمات خانم دکتر هم بود. صیانت از مردم و طبیعت و این که مردم زندگی خوبی داشته باشند مطرح می‌شود، اما این که به‌صورت عملیاتی باشد نیست. ما در کمبود قوانین و ضوابط و

استانداردها واقعاً هیچ مشکل خاصی نداریم. مشکل ما ضمانت‌های اجرایی هست که این‌ها اجرا شود و موقعی که می‌رسد به سلامت مردم و حفظ محیط‌زیست و اقتصاد، به‌نظر می‌رسد (من از کلمات خانم دکتر می‌خواهم که استفاده بکنم) که آخر سر صنایع به‌نظر می‌رسد که حرفشان بیشتر می‌رود و بر روی نمایندگان محترم مجلس که باید نمایندگان مردم باشند، لابی‌های اقتصادی ما آن‌چنان هم در داخل کشور ضعیف نیستند. بنابراین پس ما می‌توانیم بگوییم که ما قوانین را داریم، آلوده‌کننده‌های بسیار جدی را داریم ولی آن بخشی که باید نظارت بکند و بتواند این‌ها را برساند به چیزی که آن‌ها رفع آلودگی بکنند، آنجا مشکل داریم. من یک خاطره‌ای را بگویم. من آن اوایل که رفته بودم سازمان محیط‌زیست نگاه می‌کردم خیلی از نماینده‌های مجلس می‌آیند پیش من. مانده بودم که یک‌ماه یک سری نماینده‌های مجلس می‌آیند، چون دانشگاهی هم بودم رویشان نمی‌شد خیلی از حرف‌ها را بزنند. می‌خواستیم ببینیم واقعا انتهای آن چیست. متوجه شدم که این خسارت‌های آلودگی که گرفته می‌شود، برخلاف قانون اساسی که هر درآمدی کسب می‌شود باید برود در خزانه و از خزانه برگردد، متوجه می‌شدم مثلاً یک پتروشیمی داریم در طوس، پول پتروشیمی از طوس می‌رفت اداره مالیات طوس، بعد از اداره مالیات طوس این کجا می‌رفت، می‌رفت در شهر طوس هزینه می‌شد.

متوجه شدم که چرا نماینده مجلس می‌آید سراغ من. یعنی رویش نمی‌شود بگوید آقا این آلاینده نیست. بعضی نماینده‌ها می‌گفتند که پتروشیمی مهاباد کسانی که می‌روند اندازه‌گیری می‌کنند می‌گویند این آلوده نیست. یک کاری بکنید آلوده باشد. می‌گویم بین آزمایشگاه معتمد گفته نیست اگر اعتراضی داری من می‌توانم به آزمایشگاه معتمد بگویم اندازه‌گیری بکنند و برعکس.

بعضی از نمایندگان محترم مجلس و استانداران که ما در کشور داشتیم از این منابع خسارت آلودگی برای هزینه‌های تبلیغاتیشان استفاده می‌کردند. یعنی ببینید پس من می‌خواهم بگویم صرفاً داشتن قانون و این که شما یکی را جریمه بکنید مهم نیست. مهم این است که شما این زنجیره را تا آخر ببینید.

این پول زمانی که گرفته می‌شود نباید برود در راستای غیر محیط‌زیستی هزینه شود. دو کلمه ما داریم در قوانین جهانی یکی جریمه هست یکی عوارض. من رفته بودم مجلس موقعی که ماده ۳۸ مالیات بر ارزش افزوده بود به بچه‌های مرکز پژوهش‌ها می‌گفتند آقا برویم سراغ این که این را تبدیل بکنیم عوارض. بعد می‌گفتند که شما فکر کردی فقط شما می‌فهمی، کسی دیگر

مستند هست. ما حدود ۹۹۰ یا هزار شرکت در شهرک‌های صنعتی داریم. شرکت شهرک‌های صنعتی یعنی چه؟ زمانی که قانونشان را نگاه می‌کنیم همه صنایع مزاحم در سطح شهر را در یک نقطه جمع می‌کنند و در یک نقطه قرار می‌دهند تا مطمئن باشند که پساب و پسماند آن به‌صورت فنی و حرفه‌ای مدیریت می‌شود. ما فقط بیست و خورده‌ای درصد از این شهرک‌های صنعتی‌مان تصفیه‌خانه فاضلاب داشته است. بسیاری از این‌ها شبکه و تصفیه‌خانه تا حدی داشتند و قانوناً اگر هم تخطی اتفاق می‌افتاد نمی‌توانستیم این‌ها را ببندیم، به‌خاطر این‌که می‌گویند مدیریتش دیگر دست وزارت صمت نیست. یعنی ما علی‌رغم این‌که یک معاون وزیر داریم در صمت که معاون شرکت شهرک‌های صنعتی هست، به او می‌گفتیم آقا این چه وضعی است که برای ما درست کردی؟ اولاً ۳۰٪ و بعد هم آن‌هایی که هست می‌روی سراغش می‌گویی به من ربط ندارد. من ساختم تحویل هیئت مدیره و هیئت امنا دادم. این هیئت مدیره هم به لحاظ قانونی هیچ پاسخگو نمی‌تواند باشد.

آن موقع که می‌رویم سراغش می‌گویند آقا این قرار بوده تصفیه‌خانه داشته باشد. می‌گویند موقعی که شرکت شهرک‌ها این را به من واگذار کرده گفته باید ۶۰ درصد این‌ها تجهیز شود. وقتی که این‌ها تجهیز شدند تازه می‌رویم سراغ تصفیه‌خانه فاضلاب. همین مسئله را ما در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و فاضلاب خطرناک بیمارستان‌ها داریم. پس من می‌خواهم بگویم ما وقتی که نگاه می‌کنیم صرف داشتن قانون مهم نیست. تاکید می‌کنم شما هر چیزی را بخواهید موفق ادامه داشته باشد باید زنجیره ببینید. شما نباید عوارض بگیرید که یک عده با آن نماینده مجلس شوند یا کار انتخاباتی انجام دهند. این باید گرفته شود و برود در جای خودش هزینه شود و این ضعیفی است که اسمش را می‌گذارم نظارت. یعنی نظارت سازمان محیط‌زیست، نظارت دیوان محاسبات، نظارت سازمان بازرسی کل کشور.

ما داریم راجع به ده‌ها هزار میلیارد تومان صحبت می‌کنیم که دارد جابجا می‌شود. برخلاف قانون اساسی. شما یک نفر نیاوردید این‌جا که بگوید آقا چه کار کردی. پس این یک نکته دیگر که متأسفانه باز در این ساختار معیوب وجود دارد و من دیدم در سوال شما هم هست. من آلوده می‌کنم پولش را می‌دهم. می‌خواهم بگویم این push & pain که جنابعالی در متن بسیار خوبتان به آن اشاره کردید، یک مسئله دیگری است که ما در کشور داریم.

به شخص می‌گوییم شما داری آلوده می‌کنی، می‌گوید پولش را می‌دهم. یعنی چه پولش را می‌دهی! بعد به او می‌گوییم که

نمی‌فهمد. بعد می‌گفتند از کلمات این‌ها می‌خواهند استفاده کنند که پول در خزانه نرود. آخر پول برگردد و توسط یک عده استفاده شود. پس خیلی مهم است کسانی که وضع قوانین و نظارت بر قوانین می‌کنند حواسشان بر این باشد که پول در راستای این هزینه بشود که شما بتوانید به بهبود محیط‌زیست کشور کمک کنید. پس من فکر می‌کنم این‌جا یک باگ بسیار بزرگ است که من خیلی وقت گذاشتم. سازمان برنامه و بودجه و این‌ها مثلاً در دو سال آخر توانستم یک کاری بکنم این بودجه برود به خزانه. چون وقتی می‌رود خزانه هزینه کردنش راحت‌تر می‌شود.

یک فساد دیگر که وجود دارد اشاره بکنم. ببینید مهم‌ترین وظیفه سازمان حفاظت محیط‌زیست نظارت و پایش هست. خیلی از اوقات شما وقتی می‌خواهید ببینید قوانین اجرا شده است یا خیر، شما باید نظارت و پایش بکنید. ما سامانه نداشتیم. شاید یک‌سال طول کشید با وزارت صمت نشستیم کد IC تمام صنایع را در آورديم. بعد یک نرم‌افزار طراحی کردیم که این صنعت صاحبش چه کسی است؟ چند دودکش دارد؟ چقدر گاز مصرف می‌کند؟ ما تمام نزدیک به ۶۴ هزار تا صنعت را شناسنامه‌دار کردیم. وقتی شناسنامه‌دار کردیم حدود یک سال و نیم رفتیم سراغ این‌که دستگاه‌های ما و آزمایشگاه‌های معتمد ما داده‌های خودشان را وارد این سامانه بکنند که بفهمیم وضعیت کشور چگونه است. موقعی که وارد سامانه کردند، من اولین چیزی که متوجه شدم این بود که ما کلاً ۳ درصد صنعت کشور را داریم پایش می‌کنیم. تمام مسئولین هم می‌دانستند. برای این‌که ما خیلی از اوقات می‌گوییم که سازمان حفاظت محیط‌زیست یک سازمانی است که منابع مالی‌اش محدود است. شما وقتی بخواهی یک کارخانه را هر سه ماه یک مرتبه پایش کنید، باید ماشین داشته باشید، سوخت داشته باشید و لاستیک و پرسنل که برود بازدید بکند، اندازه‌گیری کند و برگردد. شما ۶۴ هزار تا را چه‌طور می‌توانید به تنهایی انجام بدهید؟

من حساب کردم آزمایشگاه معتمد ما اصلاً به‌خاطر این‌که بتوانند تمام این‌ها را اندازه‌گیری بکنند مستلزم هزینه‌های بسیار زیاد و داشتن زیرساخت‌های بسیار خوب است. مثلاً خانم دکتر اشاره کردند، شما الان بخواهید پلاستیک را بسوزانید، پلاستیک را بخواهید اندازه‌گیری بکنید، ما یک دستگاهش را هم داخل کشور نداشتیم. ما متوجه شدیم از این سه درصدی که داریم اندازه‌گیری می‌کنیم، ۸۵ درصد این صنایعی که ما می‌گوییم آلوده هست به آب برمی‌گردد. این آلودگی برای این است که ما تصفیه‌خانه فاضلاب نداریم. من رفتم سراغ شرکت‌های شهرک‌های صنعتی. این اعدادی که من به شما می‌گویم همه

می‌گویند دوآلیتیه. یعنی ما هم‌زمان در یک سمت کپر نشینی داریم کنارش یک برج ۱۰۰ طبقه داریم. بنابراین این عقب‌ماندگی که ما در حوزه دانش و در حوزه‌ای که دانش چه شکلی می‌تواند منجر به حل مسائل کشور شود، یک مشکل است. کسی باید این کار را انجام می‌داد.

پارک‌های علم و فناوری وظیفه‌شان این بوده است که بتوانند این مشکل را حل کنند. برای چرم شهر تبریز هم همین مشکل را داریم. بسیار جالب است. ما پارک تخصصی چرم داریم ولی می‌گویند که به من پول بدهید تحقیق بکنم که مسئله چرم را حل بکنم. می‌شود وظیفه معاونت فناوری ریاست جمهوری و وزارت علوم که بتواند در راستای حل نیازهای کشور تقویت بکند ظرفیت‌هایی را که می‌توانند مسئله را حل کنند.

دکتر کاظم ندافی:

به‌عنوان آخرین سوالی که در این بخش هست بالاخره اگر کیفیت آب به دلیل تغییر یا به دلیل سوء مدیریت یا ندیدن اهمیت تغییر اقلیم و پیشگیری از اثرات آن، کیفیت آب در جایی بد شود و مجبور بشوند مردم آبی را با کیفیت پایین‌تر از استاندارد ملی مصرف کنند، این‌جا جایگاه وزارت بهداشت خیلی مهم است که به طرفیت از مردم به‌عنوان دادستان سلامت وارد شود و بر علیه کسانی که اقدامات موثر را انجام ندادند یا اقداماتی انجام دادند که منجر به بد شدن کیفیت آب شود، اقامه دعوا بکند. ماده ۶۸۸ مجازات اسلامی هم که امروز اشاره شد عمدتاً در اختیار وزارت بهداشت است. از طرفی یک سندی در چند سال گذشته در شورای سلامت و امنیت غذایی که ۱۸ وزارت‌خانه و سازمان در آن دخیل هستند مصوب شد به نام راهبرد ملی کیفیت آب که وظیفه همه سازمان‌ها در آن مشخص شد. من از آقای مهندس شقاقی که رئیس اداره بهداشت آب وزارت بهداشت هستند خواهش می‌کنم در این زمینه برای ما توضیح بدهند که از جایگاه وزارت بهداشت چگونه در زمینه حفظ و ارتقای کیفیت آب استفاده کردند و این سندی که مصوب شد و بنا بود که هر چند ماه یک‌بار یک گزارشی از پیشرفت آن منتشر شود، در این زمینه چه اقداماتی را انجام دادند.



مهندس غلامرضا شقاقی:

تصفیه‌خانه بگذار. می‌گویند من به چه کسی برای این کار مراجعه کنم. من یک‌بار رفتم سراغ دامداری. ما مشکل دامداری‌ها را برای بوی تهران و بسیاری از این مخازن سدها داریم. خیلی از مسائل هست. یعنی این‌ها خیلی مشکل دارند. من وقت گذاشتم برای این دامداری‌هایی که ما در فشافویه داریم که کل این‌ها آن‌جا مستقرند. شروع کردم رفتم صحبت بکنم. یکی از این دامداری‌های بزرگ به من گفت آقا این چیزی که تو داری راجع به آن صحبت می‌کنی چیست؟ گفتم تصفیه‌خانه. گفت چه قدر هزینه آن است؟ آن موقع گفتم یک میلیارد تومان. آن موقع پرسیده بودم گفت این پول عددی نیست که. من یک عالمه پروژه دارم که دارم برای این خرج می‌کنم. اصلاً یک میلیارد عددی نیست که شما داری به من می‌دهی. بعد به او گفتم خب اگه این را برداری مشکلی بو حل می‌شود. بعد می‌توانید تصفیه بکنید. می‌توانید برای همین یونجه استفاده کنید. گفت این‌ها خوب است و چه کسی می‌تواند به من کمک بکند؟

اولین چیزی که به ذهنم رسید پژوهشکده نیرو بود. صدایشان زدم گفتم آقای X، شما که مسئول واحد انرژی‌های تجدیدپذیر هستی خواهش می‌کنم بگو برای ۵۰۰ هزار راس، ۲۵۰۰ راس دام، سیستمی که برای تصفیه استفاده می‌شود این هست، یک مازول است من به‌عنوان سازمان محیط‌زیست رفتم آیین‌نامه دادم گفتم آقا سال اول آن‌هایی که بالای هزار دام دارند و سال‌های بعد آن‌هایی که کمتر دارند ریال یعنی این که دامداری‌ها همه بیابند. الان من فکر کنم دو سال گذشته که باید کل دامداری‌ها تصفیه‌خانه می‌داشتند. پژوهشگاه نیرو گفت آقای تجربی اگر می‌توانی مقداری پول بدهید من تحقیق کنم. گفتم بین من بروشور شما را نگاه کردم گفتید این‌ها را دارید من پول چه چیزی را باید بدهم؟ مگر من این‌جا مسئول تحقیقات مملکت هستم؟ این دوستان حرفشان درست است. می‌گویند برای این که مسئله را حل کنم چه کسی به من خدمات می‌دهد؟ متوجه شدیم که این زنجیره باید شکل بگیرد و می‌تواند باعث ایجاد اشتغال شود. من اگر یک‌زمانی وقت بکنم می‌خواهم بگویم محیط‌زیست هزینه نیست. محیط‌زیست ضمن واجباتی هست که یک حکومت مشروع باید به آن پردازد. همان‌طور که به اقتصاد می‌پردازد به زندگی خوب مردم می‌پردازد، باید به حفظ محیط‌زیست هم پردازد. این حفظ محیط‌زیست باعث ایجاد اشتغال می‌شود. باعث ایجاد شرکت‌ها و شغل‌های جدید می‌شود.

یک مشکل دیگر که ما داریم این هست که آن کسی که باید این‌را کنار هم قرار بدهد، این‌ها را کنار هم قرار نداده است و به‌صورت زنجیره نیست. یکی از نشانه‌های عقب‌ماندگی کشور را

به نام خدا. تشکر می‌کنم از دعوتی که به عمل آمد از وزارت بهداشت. تمام نتایج کار ما وقتی در مورد تغییر اقلیم صحبت می‌کنیم، درخصوص کیفیت آب یا بحث آلودگی‌هایی که وجود دارد، یک‌سری آلودگی که از قبل داشتیم و تغییر اقلیم مزید بر علت شد و موضوع را تشدید کرد. من از ۱۴۰۰ تاکنون نتایج سه سال را بررسی کردم. آن شاخص‌هایی را انتخاب کردم که تحت‌تاثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد. حالا جنبه‌های مختلفی را دوستان گفتند که هم بحث خشکسالی هست هم بحث سیل و سیلاب هست که می‌تواند منابع آب ما را تحت‌تاثیر قرار دهد. ولی این‌ها تحت‌تاثیر منابع آب هست. ما اگر اقدامات مقابله‌مان درست انجام شود نقطه راستی‌آزمایی اقدامات این می‌شود که وقتی آب به‌دست مصرف‌کننده می‌رسد، اقدامات ما موثر بوده و کاری صورت گرفته یا خیر. آن‌جا می‌توانیم موضوع را قضاوت کنیم. من چند شاخص انتخاب کردم. یکی بحث نیترات بود. ما یک‌سری آلودگی بیسیک داریم که به‌دلیل عدم مدیریت صحیح فاضلاب‌ها (چه شهری، چه صنعتی) این موضوع نیترات ایجاد می‌شود. بحث TDS که باز یک آیتمی هست که به‌خصوص در بحث تغییر اقلیم حساس است. بحث خشکسالی بسیار تأثیر می‌گذارد. بحث کدورت آب آشامیدنی که یک شاخصی است که در بحث سیلاب‌ها تأثیرگذار هست. این را هم تحت‌تاثیر تغییر اقلیم می‌شود گفت. بحث دیگر میکروبی که آن‌هم باز به‌شدت تحت‌تاثیر سیلاب‌ها است. این‌که ما جایی مدیریت خوبی نداشته باشیم و سیستم مدیریت نشود می‌تواند آن نقطه آخر را که مصرف‌کننده ما است تحت‌تاثیر قرار بدهد. در مناطق شهری و روستایی به تفکیک چون واقعا معنا دار هست، من می‌دیدم در مناطق شهری رقم نیترات‌مان به سمت وضعیت بدتر شدن هست.

حالا آمار کلی هست. در آمار کل کشور حدود ۲ درصد ما روند کاهشی داشتیم. این دو درصد البته گول‌زننده است. بعضی جاها داشتیم که این کاهش بسیار بالاتر است، حدود ۱۰٪. آیتم بعدی کدورت بود. کدورت هم بسیار معضل هست در حدود ۵ درصد در کل کشور کاهش کدورت آب آشامیدنی داشتیم که باز در مناطق مختلف بسیار متفاوت است.

الان مثلاً در شهر کرد بسیار این موضوع حاد است. یعنی دقیقاً مشکل کدورت چند ماهی است که شروع شده است و با این مشکل دارند مقابله می‌کنند. بحث TDS هم بسیار موضوع مهمی است که در مناطق شهری باز دچار افت شده است. در شاخص میکروبی در مناطق شهری خوشبختانه مدیریت‌مان دارد جواب می‌دهد. در بحث میکروبیّت زیاد تفاوتی نداشتیم. البته به‌صورت استانی بررسی کنیم. ممکن است حالا بعضی جاها وجود داشته

باشد، ولی در میانگین کل کشور ما شاهد افت کدورت میکروبی نبودیم. ولی در مناطق روستایی که ما سیستم‌های تامین آبمان ابتدایی هستند و مدیریت خوب اعمال نمی‌شود ما شاهد افت شاخص میکروبی بودیم. بعد از کدورت باز TDS هم بسیار تأثیرگذار بود. این هم باعث افت شد. این بحث‌های کیفی هست. موضوع بعدی که توضیح دادند ما الان خیلی از استان‌هایمان در سال‌های اخیر مشکل طعم و بو دارند. بحث تغذیه‌گرایی سدها به‌دلیل همین بحث‌های تغییر اقلیم و بحث عدم مدیریت مناسب فاضلاب‌ها که مزید بر علت شده است.

بحث بعدی کمیت آب است. الان به‌جایی رسیدیم که در بحث تغییر اقلیم باید تطابق بکنیم. تاب‌آوری انجام بدهیم تا مصرف‌کننده با آن مواجه نشود. همان تغییر اقلیمی که اتفاق می‌افتد دقیقاً به مصرف‌کننده منتقل می‌شود. خیلی جاها در جریان هستیم بحث کاهش فشار و بحث قطعی آب دارند. حالا خیلی جاها یک ساعت آب دارند یا بعضی از روستاهایی داریم به‌دلیل عدم وجود آب با تانکر آبرسانی می‌شود یا آبرسانی پیوسته نیست. این‌ها موضوعاتی هستند که ما را تحت‌تاثیر قرار داده است و اقداماتی هم که انجام می‌دهیم شاید اصولی نباشد. در رابطه با اقداماتی که انجام می‌دهیم، مثلاً وزارت بهداشت بسیار فشار می‌آورد که مثلاً استانداردها را تغییر بدهیم، یا بیاییم مثلاً استاندارد شبکه دوگانه درست کنیم. شبکه آب بهداشتی را از آشامیدنی جدا کنیم. یعنی تنها اقدامات مقابله‌ای که می‌توانیم بکنیم این است که اگر بخواهیم درست انجام بدهیم باید طوری مدیریت کنیم که به همان استانداردهایی که حالا حداقلی هم هست و استانداردهای آنچنان سطح بالایی نیستند برسیم.

بحث سند ملی بهبود کیفیت آب شرب را دکتر ندافی به خوبی اشاره کردند. یک سند ملی هست که سال ۱۳۹۰ تصویب شد. چندین دستگاه، دستگاه‌هایی که مرتبط با آب هستند حضور داشتند و حدود ۱۳ هدف دارد. ۴۵ راهبرد دارد. حالا جالب است در سال ۱۳۹۰ هدف سیزدهم این سند که مصوب هیئت وزیران هم هست در مورد تغییر اقلیم است. هم در مورد شناسایی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و هم بحث اقدامات مقابله‌ای. جزئیات در واقع نقش به آن داده است تا این‌کار انجام شود. واقعا مشکل ما در خیلی از قسمت‌ها بحث قوانین و آیین‌نامه‌ها نیست. آن زنجیره هست که از ابتدا تا آخر باید همه چیز را کامل دید. یعنی ما مثلاً یک قانونی را می‌نویسیم که این سازمان انجام بدهد. اصلاً آیا واقعا دانشش وجود دارد؟ ابلاغ کردن کافی نیست، باید تمام جزئیات را ببینیم. خیلی وقت‌ها که می‌خواهیم قانون را اجرا کنیم اول باید ببینیم آیا می‌شود اجرا کرد؟ آیا توان لازم وجود دارد؟ بعد بیاییم

بنویسیم. ولی ما برعکس از بالا اول می‌نویسیم بعد می‌فهمیم امکان اجرا ندارد. اتفاقاً در سند ایمنی آب آشامیدنی چون متدولوژی دارد و می‌گوید با این چارچوب باید این برنامه را اجرا کنید این برنامه نسبتاً موفق هست. ما در خیلی از استان‌ها برنامه را اجرا کردیم که بحث مدیریت ریسک در سامانه‌های تامین آب هست. ولی خیلی جاها مواردی که گفته شده شاید چارچوب یا روشی برایش گفته نشده است که با چه متدی این برنامه‌ها باید اجرا شود. واقعا این جزئیات بسیار مهم هستند. هم بحث دانش هست، هم بحث تک‌تک این زنجیره که اشاره کردند. بسیار مهم است که همه دیده شود. چگونه مشارکت جلب شود. چگونه اجرا شود. چه دستگاهی چگونه همکاری کند. اصلا ما متد نداریم برای این‌که چگونه همکاری‌های بین بخشی انجام شود. این موضوع مهمی هست. خیلی وقت‌ها دستگاه‌ها که دور هم می‌نشینند، سعی می‌کنند همدیگر را محکوم کنند، به‌جای آن‌که همکاری کنند سر یک داستانی بخواهند کار را پیش ببرند. این‌ها همه بحث‌های خیلی جزئی هست و تا توجه نکنیم ما نخواهیم توانست در بحث تغییر اقلیم یا بحث‌های دیگر موفق بشویم. تنها ما به حد کافی شاید قوانین و آیین‌نامه داریم. ولی واقعا آسیب‌شناسی باید شود که چرا خیلی از این قوانین اجرا نشده است. این آسیب‌شناسی را اگر انجام بدهیم شاید بسیار موفق بشویم که مشکل کشور کجا هست. خیلی ممنون آقای دکتر.

دکتر تجربی:

من یک نکته را اضافه بکنم. پایه و اساس مدیریت کردن داشتن داده است. یکی از مشکلاتی که مدیران کشور ما دارند این است که به زیرمجموعه داده نمی‌دهند و وقتی شما می‌خواهید برنامه‌ریزی بکنید داده ندارید. من گفتم ۸۵ درصد آب هست. از همان سامانه متوجه شدم که وقتی ۱۵ درصد هوا است ۸۵ درصد جاهایی که مشکل آلودگی هوا دارند، این ماکزیمم است. یعنی می‌خواهم بگویم ما تا می‌توانیم باید سیستم پایش و داشتن دسترسی به داده‌ها و اطلاعات را به سمتی ببریم که بتوانیم تحلیل خوب داشته باشیم. من به‌عنوان کسی که در مدیریت دولتی بودم می‌گویم دستگاه‌های دولتی این را مشکل می‌دانند. دستگاه‌های دولتی دوست ندارند که داده‌ها شفاف باشد. من می‌خواهم تجربه خود را بگویم که شما هرچقدر داده بیشتر داشته باشید می‌توانید بهتر تحلیل کنید که در کدام قسمت‌ها مشکل دارید. آقای دکتر من نکته‌ای می‌خواستم بگویم. ببینید الان اگر سازمان برنامه در این‌جا باشد می‌گوید که ما صدمات مسئله داشتیم و با بحث‌هایی که در اینجا شد ۱۰۰ مسئله دیگر به آن‌ها اضافه شد. ببینید ما در

جامعه آکادمیک می‌توانیم درباره این موضوعات صحبت کنیم. اما زمانی که می‌خواهیم آن را به صنعت و جامعه برسانیم باید بگوییم از تمام لیست‌هایی که داریم ۴ مورد از مهم‌ترینشان این‌ها است. من هنوز نفهمیدم، تغییر اقلیم درست است که مهم است، اما آیا افزایش شوری ناشی از بازگشت زه‌آب است یا ناشی از افزایش دمای آبی است که زمانی که وارد خاک شده مقدار موارد شیمیایی را بیشتر کرده است؟ ما حتما در موضوعی که آقای دکتر مطرح کردند باید خود انجمن و دستگاه‌های دانشی به این جمع‌بندی برسند که ۴ مسئله مهم ما در رابطه با تغییر اقلیم این موارد است: ۱- ۲- ۳- ۴- . ریسک آن‌ها چیست؟ ممکن است یک زلزله ۸ ریشتری بیاید در وسط بیابانی که هیچ جمعیتی در آن حضور ندارد. اما اگر ۶ ریشتری بیاید در مکانی که ۷ میلیون جمعیت دارد خیلی نگران‌کننده است. بنابراین حتما دوستان باید این موارد را کنار هم بگذارند، ریسک رشد و احتمال خطر آن آیا به‌صورتی است که من بتوانم موضوع تغییر اقلیم در آب شرب را در جمهوری اسلامی بیاورم و سازمان برنامه و بودجه برای آن بودجه بگذارد؟ این‌ها با داده به‌دست می‌آید. می‌خواهم برگردم به این موضوع که در این مورد شما باید با مدرک صحبت کنید و احساس من این است که ما نباید دستگاه‌های اجرایی را بترسانیم از کلماتی که بار علمی دارد اما بار محتوایی به لحاظ ریسک ممکن است نداشته باشد.

سوال:

عرض سلام و احترام دارم خدمت اساتید بزرگوار. دانشجوی حوزه آب هستم و جسارت می‌کنم چند نکته را خدمت شما عرض می‌کنم. می‌خواستم این مورد را بگویم که مشکل ما گرفتن دیتا از بخش دولت نیست. مشکل ما نواقص و عدم کیفیت و عدم درست بودن دیتاها است. دیتاهای موجود وضعیت اسفناکی دارند. در بحث آماربرداری یک شرکت، آن را انجام می‌دهد. یک شرکت مشاور نظارت انجام می‌دهد. مجدداً بخش دولتی آن شرکت ناظر را نظارت می‌کند. اما بسیار بسیار نواقص دارند. شاید از تجهیزات باشد. شاید از نیروی انسانی که به کار گرفته شده است باشد. شاید از دستگاه‌هایی که استفاده می‌شود باشد. من از بخش دانشگاهی تقاضا دارم که فقط به‌دنبال این نباشند که دیتا را بگیرند. به‌دنبال این باشند که ما چه‌طور می‌توانیم این موضوع را متوقف کنیم. من طبق آماربرداری‌هایی که انجام شده هر زمان به‌صورت حضوری رفتم و چک کردم متوجه شدم که آن دیتا اصلا وجود ندارد. به‌همین دلیل پیشنهاد می‌کنم که بر روی اصلاح دیتاها بیشتر تمرکز کنیم.

موضوع دیگر بحث بازتخصیص آب و پساب است. بحث پساب که وزارت نیرو مطرح کرده خودشان در این موضوع سردرگم هستند و نمی‌دانند که می‌خواهند چه کار کنند. کل استان هم سردرگم شدند. یعنی یک ابلاغیه‌ای شده است که آن را انجام دهند. اما متأسفانه روند درست برای آن‌ها تعریف نشده است. به‌عنوان مثال استان قزوین صنعتی است و پساب بسیار زیادی دارد. ما باید به فکر این پساب باشیم و برای آن چاره‌ای بیاندیشیم. اما متأسفانه علاوه بر این که هزینه‌های تصفیه‌خانه بالا است، تجهیزات هم فرسوده شده است. چاره‌ای باید اندیشید.

نکته دیگری که به ذهن من رسید در این همایش‌ها حضور رشته‌های مختلف مثل علوم اجتماعی خیلی خالی است و یک جامعه شناس و ... هم باید حضور داشته باشند. یکی از نواقصی که وجود دارد گسستگی ما از علوم اجتماعی و قوانینی است که وجود دارد بین رشته‌های فنی. اگر این همبستگی را ایجاد کنیم به‌خصوص با علوم اجتماعی شاید بتوانیم مشکلات را بهتر حل کنیم. الان بیشترین مصرف را در بخش کشاورزی داریم اما یک نفر از این جوامع در جمع ما حضور ندارند. من تقاضا دارم در همایش‌های بعد یک بخش را اختصاص دهید به مردم و افرادی که آب را مصرف می‌کنند. شاید یک سری ایده‌ها داشته باشند که به ذهن ما نرسد.

نکته آخر بحث بارش بومی است که به آن اشاره شد. بحث فناوری سازه‌های تاریخی و بحث تاریخی ایران در حوزه آب و علوم اجتماعی بسیار قوی است. بهتر است که در این زمینه‌ها نیز مطالعاتی داشته باشیم.

دکتر کاظم ندافی:

خیلی ممنون. خیلی نکات ارزشمندی را سرکار عالی فرمودید. درمورد بند آخر فرمایشات شما، اخیراً اسنادی دارد می‌آید در مورد این که آب یک کالای اجتماعی است. بنابراین زمانی که ما درباره آب صحبت می‌کنیم باید به علوم اجتماعی و علوم روانشناختی توجه کنیم. امیدوارم که آقای دکتر تابش در جلسات بعدی که برگزار می‌کنند حتماً افرادی را در رابطه با این موضوعات دعوت کنند.

رتبه اول مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۲ در مقطع کارشناسی ارشد (بخش تصفیه آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده مهندسی شیمی

عنوان: طراحی و ساخت سامانه‌های نمک‌زدایی آب خورشیدی بر پایه متمرکزسازی گرما با استفاده از نانو ساختارهای متخلخل جاذب نور و عایق حرارت

نگارش: محمود ملکی

اساتید راهنما: دکتر سید مجتبی صدرعاملی و دکتر فرزانه عربپور رق آبادی

تاریخ: خرداد ماه ۱۴۰۰

چکیده

کلمات کلیدی: تولید بخار خورشیدی، نمک‌زدایی آب، نانو ساختارهای متخلخل، انرژی خورشیدی، تبدیل نور به گرما

انرژی خورشیدی یک منبع تجدیدپذیر بوده که به‌میزان فراوان موجود است و می‌تواند بسیاری از معضلات کمبود انرژی را برطرف کند. به‌منظور افزایش بهره‌وری خورشید و تولید بخار با کیفیت بالا یکی از ساختارهای پیشنهادی که قابلیت تجاری شدن و ارزان قیمت بودن را دارد سامانه‌های تولید بخار خورشیدی است. این پروژه ابتدا به بررسی و انتخاب عایق حرارتی مناسب، لایه انتقال‌دهنده آب و انتخاب جاذب نور ارزان قیمت می‌پردازد و سپس با طراحی و مهندسی ساختار فیزیکی سامانه‌ها، نرخ تبخیر و راندمان بهبود داده خواهد شد.

در بحث اتلاف‌های حرارتی، پلی‌یورتان تخلخل بسته با کمترین ضریب انتقال حرارت برابر با $W.m^{-1}.K^{-1} 0.037$ به‌عنوان بهترین عایق حرارتی انتخاب شد. در بحث انتقال آب، الیاف کتانی به‌دلیل آب‌دوستی، سرعت انتقال آب مناسب ($mm.s^{-1} 0.27$) و ضریب انتقال حرارت هدایتی پایین ($W.m^{-1}.K^{-1} 0.08$) به‌عنوان لایه مناسب انتقال‌دهنده آب انتخاب شد. پس از انتخاب مواد و لایه‌های مختلف، سامانه‌های مختلف ساخته و عملکرد آن‌ها بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد بهترین سامانه تک‌لایه، دو‌لایه و سه‌لایه به‌ترتیب ۶۲% ، $۹۱/۸\%$ و $۹۴/۶\%$ راندمان تولید بخار دارند.

رتبه دوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۲ در مقطع کارشناسی ارشد (بخش تصفیه آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده بهداشت

عنوان: حذف ترکیبات دارویی و رنگزا از محیط آبی با قالب فلز-آلی نانوساختار بر پایه MIL-53(Fe)

نگارش: مریم اله بخشی

اساتید راهنما: دکتر محمد مسافری و دکتر نیازمحمد محمودی

تاریخ: بهمن ماه ۱۴۰۱

چکیده

آزمایش‌های جذب سطحی برای بررسی و منطقی‌سازی تفاوت‌ها در رفتار و کارایی جاذب‌های سنتز شده در حذف آلاینده‌های آلی با استفاده از ترکیبات دارویی مترونیدازول (MNZ: Metronidazole) و تتراسایکلین (TC: Tetracycline) و نیز رنگزای قرمز مستقیم ۲۳ (DR23: Direct Red 23) به‌عنوان آلاینده‌های آلی مدل، انجام شد. پارامترهای موثر در واکنش و شرایط ایده‌آل برای حداکثر حذف آلاینده از محلول‌های آبی مورد مطالعه و بهینه‌سازی قرار گرفت. از برجسته‌ترین مدل‌های ایزوترمی و سینتیکی برای تفسیر و پیش‌بینی داده‌های جذب و عوامل موثر بر سرعت واکنش استفاده شد و در نهایت، قابلیت استفاده مجدد از جاذب‌ها از طریق بازسازی جاذب‌های اشباع مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: مطابق با نتایج ارائه شده، MIL-53(Fe) های خالص ظرفیت‌های جذب متفاوتی را ارائه دادند. هم‌چنین اصلاح سطح با گروه عاملی آمینی کارایی حذف آن‌ها را به‌میزان قابل‌توجهی افزایش داد. جاذب SFMOF/BM بالاترین راندمان حذف و ظرفیت جذب را در میان تمام جاذب‌های سنتز شده در این مطالعه به نمایش گذاشت. نتایج به‌وضوح نشان داد که میزان

هدف: رویکرد اصلی در این پژوهش، سنتز و بررسی ترکیبات بر پایه قالب فلز-آلی MIL-53(Fe) پرکاربرد و پایدار در زمینه تصفیه آب‌های آلوده و بهبود خواص و ویژگی‌های آن‌ها از طریق اصلاح سطح و کامپوزیت کردن با کیتوسان (پلیمر زیست سازگار طبیعی) و در نهایت استفاده از آن‌ها در سیستم‌های جذب سطحی آلاینده‌های رنگزا (قرمز مستقیم ۲۳) و ترکیبات دارویی (مترونیدازول و تتراسایکلین) است.

روش کار: در ابتدا، MIL-53(Fe) به‌روش حلال گرمایی تهیه شد. برای ساخت MIL-53(Fe)، از سه مقدار مختلف پیش‌ساز و حلال استفاده شد که به‌عنوان MIL-53A، MIL-53B و MIL-53C مشخص شدند. به‌منظور بهبود کارایی، سطوح آن‌ها با مقادیر مختلف ۳-آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان (APTMS) اصلاح شد. در ادامه هم‌چنین، بایوکامپوزیت دوستدار محیط‌زیست SFMOF/BM) با استفاده از قالب فلز - آلی اصلاح سطح شده ((MIL-53A/NH₂(0.2) و کیتوسان، سنتز شد. از تکنیک‌های جامع توصیف ساختاری شامل XRD، FESEM، TEM، EDX، BET، TGA، FTIR و Raman برای بررسی سنتز موفقیت‌آمیز نمونه‌ها استفاده شد.

جذب رنگزا به شدت تحت تاثیر pH قرار می گیرد و فرآیند جذب آن، اساساً یک فرایند وابسته به pH است؛ که بیانگر این است که جاذبه الکترواستاتیک مکانیسم غالب جذب است. به علاوه سایر نیروهای تعاملی یعنی پیوند هیدروژنی و تعامل $\pi-\pi$ ممکن است جذب آلاینده‌ها را بر روی MOFها بیشتر توضیح دهد.

ایزوترم جذب لانگمویر و مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم پیش‌بینی‌هایی را در توافق عالی با داده‌های تعادل تجربی فراهم کردند. بایوکامپوزیت SFMOF/BM با ظرفیت جذب ۱۲۵۰۰ میلی‌گرم بر گرم بر گرم بالاترین و بهترین ظرفیت جذب را در بین تمام نمونه‌ها به نمایش گذاشت و بهترین جاذب این مطالعه بود. قابلیت استفاده مجدد و پایداری بالای این ترکیب حتی پس از پنج بار احیا بر مزیت آن به عنوان ماده جاذب قوی می‌افزاید.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به دست آمده جاذب زیست کامپوزیت توسعه یافته SFMOF/BM به دلیل ظرفیت جذب بالا، بازیابی آسان جاذب اشباع شده و قابلیت استفاده مجدد از آن می‌تواند به عنوان یک جاذب جدید امیدوارکننده برای کاربردهای تصفیه آب برای حذف آلاینده‌های آلی (رنگزا و مواد دارویی) در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: بایوکامپوزیت دوستدار محیط زیست؛ جاذب کیتوسان/قالب فلز- آلی MIL-53؛ پلیمر زیست سازگار طبیعی (کیتوسان)؛ حذف رنگزا و ترکیبات دارویی

رتبه سوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۲ در مقطع کارشناسی ارشد (بخش تصفیه آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز - بخش مهندسی شیمی

عنوان: سنتز یک فتوکاتالیست چند جزئی جهت تصفیه پساب‌های صنعتی آلوده به کروم شش ظرفیتی

نگارش: مرضیه رشید

استاد راهنما: دکتر داریوش مولا

تاریخ: بهمن ماه ۱۳۹۹

چکیده

(VI) در pH برابر ۳ بوده است. با توجه به بررسی مکانیسم فتوکاتالیزوری، h^+ نیز گونه‌های اکسند مهمی در روند غیرمستقیم کاهش فتوکاتالیزوری یون کروم (VI) و به واسطه حضور تارتاریک اسید و ایجاد رادیکال اسیدی در مکانیزم فرآیند می‌باشد.

واژگان کلیدی: تابش نور مرئی، ساختار مشتق شده از چهارچوب فلز-آلی، فتوکاتالیزور، کاهش یون کروم (VI)

در این پژوهش، فرآیند کاهش فتوکاتالیزوری آلاینده یون کروم (VI) با طراحی و ساخت یک راکتور نوری جهت رفع محدودیت‌ها موجود شامل توزیع و انتقال نور، انتقال جرم مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. هم‌چنین از یک فتوکاتالیزور پایدار مشتق شده از چارچوب فلز-آلی با قابلیت فعالیت در حوزه نور مرئی استفاده شد. تمام آنالیزهای لازم از جمله XRD، FE-SEM، EDX، DRS، FTIR، TGA، TEM، VSM و آنالیزهای الکتروشیمیایی جهت شناسایی و مشخصه‌یابی کاتالیزور سنتز شده انجام شد و مورد تحلیل قرار گرفت. تعدادی آزمایش با نرم‌افزار طراحی آزمایش و براساس روش طرح مرکب مرکزی مبتنی به روش سطح پاسخ طراحی و انجام شد. به‌علاوه، پارامترهای عملیاتی با استفاده از تابع مطلوبیت بهینه شدند. کاهش فتوکاتالیزوری آلاینده یون کروم (VI) با استفاده از کاتالیزور $NiS/\gamma-Fe_2O_3@C$ مشتق شده از ساختار فلز-آلی MIL-101(Fe/Ni) در حضور تابش نور مرئی انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بالاترین میزان بازدهی کاهش فتوکاتالیزوری یون کروم (VI) حدود ۸۳/۸۵٪ در شرایط بهینه پارامترها شامل مقدار ۰/۰۰۳ گرم برای جرم کاتالیزور، ۳۵ دقیقه برای زمان تابش و مقدار ۲۰ mg/L برای غلظت اولیه کروم

رتبه اول پنجمین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۲)



عنوان: افزایش دانسیته لجن ته‌نشین شده در فرایند لجن فعال با استفاده از میدان‌های مغناطیسی ثابت

نگارنده: رامین خوش نیت

دکتری مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کردستان، مدیر گروه سلامت محیط و کار مرکز بهداشت سنندج

چکیده

مقدمه

هزینه بهره‌برداری از این سیستم‌ها محدود به تبدیل برق AC به DC و تهیه سیم لوله بوده و برق مصرفی در این فرایند قابل توجه نیست.

سخن آخر

استفاده از میدان‌های مغناطیسی به‌عنوان یک روش فیزیکی هیچ‌گونه ماده زایدی را تولید نمی‌کند و هزینه‌های خرید مواد شیمیایی، حمل و نقل، انبارداری، تزریق مواد شیمیایی و عوارض شناخته‌شده و ناشناخته مواد شیمیایی برای انسان و محیط‌زیست را به‌همراه ندارد. به‌علاوه از نظر آمایش لجن و افزایش دانسیته لجن تولیدی نیز یک روش موثر بوده که باعث کاهش پتانسیل زتا و افزایش جهت‌دهی بارهای ذرات موجود در لجن می‌شود. افزایش دانسیته لجن طبق شکل زیر (کاهش شاخص لجن ته‌نشین شده در مدت ۳۰ دقیقه SV_{30})، علاوه بر کاهش هزینه‌های آزمایش آن، باعث تولید پساب بیشتری در راکتور ته‌نشینی ثانویه می‌شود.



شکل کاهش شاخص SV_{30} در لجن فرایند لجن فعال

فرایند لجن فعال به‌عنوان مرسوم‌ترین و پرکاربردترین فرایند تصفیه فاضلاب برای تصفیه انواع فاضلاب و بخصوص فاضلاب‌های شهری شناخته شده است. در ایران در بیشتر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از این روش هوازی برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود. یکی از معایب اصلی این فرایند تولید جرم سلولی زیاد و عدم آگیری مناسب از لجن تولیدی است، به‌گونه‌ای که دانسیته لجن ته‌نشین شده در راکتورها زلال ساز ثانویه زیاد بوده و همچنین ۶۰ درصد هزینه‌های بهره‌برداری از این فرایند در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به بحث آگیری لجن اختصاص داده می‌شود. با استفاده از میدان‌های مغناطیسی که یک روش فیزیکی است و بدون استفاده از مواد شیمیایی می‌توان لجنی با دانسیته بیشتر تولید کرد.

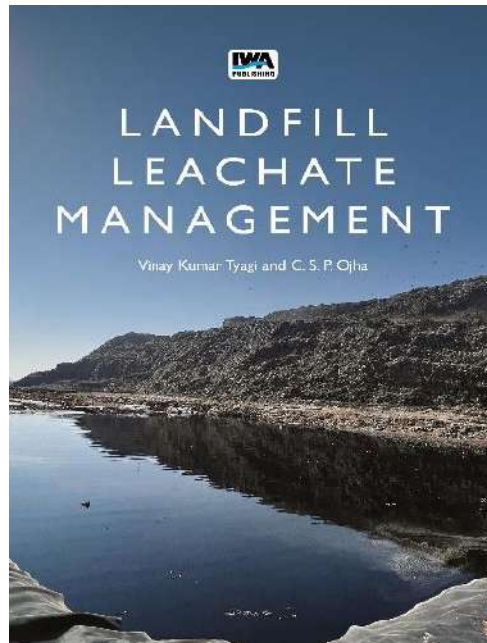
ایده پیشنهادی

اعمال میدان‌های مغناطیسی ثابت بر روی لجن برگشتی در طول راهبری فرایند لجن فعال می‌تواند باعث افزایش میزان شاخص دانسیته لجن ته‌نشین شده در راکتور ثانویه شود.

روش پیشنهادی

این طرح را می‌توان بدون تغییر دادن فرایندهای جاری در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب انجام داد. به‌گونه‌ای که بخشی از لجن ته‌نشین شده در راکتور ته‌نشینی ثانویه فرایند لجن فعال را از درون میدان‌های مغناطیسی عبور داد و دوبار به راکتور هوادهی برگشت داد. این کار باعث می‌شود که دانسیته لجن ته‌نشین شده در راکتور ثانویه در طول زمان بهره‌برداری از فرایند افزایش یابد.

عنوان: مدیریت شیرابه لندفیل ها (مراکز دفن پسماند)
 ناشر: انجمن بین‌المللی آب (IWA)
 زمان انتشار: سال ۲۰۲۳



یکی از مهم‌ترین مسائلی که مراکز دفن پسماند یا لندفیل‌ها با آن مواجه هستند، شیرابه ناشی از پسماندهای مدفون است. در واقع، شیرابه ترکیبی پیچیده از مواد آلی، غیر آلی و فلزات سنگین می‌باشد که از روش‌های متعارف دفن پسماند حاصل می‌شود. اثرات نامطلوب این ترکیبات بر سلامت انسان و محیط‌زیست، موجب وضع قوانین سخت‌گیرانه و نیاز به فناوری‌های نوآورانه، برای مدیریت آن‌ها شده است. پژوهشگران و مهندسان همواره به دنبال راه‌حل‌های پایدار و کارآمد برای مدیریت شیرابه هستند. لذا تدوین این کتاب ارزشمند می‌تواند به این نیاز پاسخ دهد. ویژگی‌های کلیدی این کتاب شامل موارد زیر است:

- طیف وسیعی از فناوری‌های تصفیه را پوشش می‌دهد.
- روش‌های متعارف تا پیشرفته تصفیه با ذکر مطالعات موردی موفق، مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست مطالب این کتاب به‌قرار زیر است:

۱) ویژگی‌های شیرابه لندفیل‌ها در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین: یک مرور به‌روز شده؛ ۲) تصفیه هوازی شیرابه لندفیل؛ ۳) تصفیه بی‌هوازی شیرابه لندفیل؛ ۴) پیل سوختی میکروبی برای تصفیه شیرابه لندفیل؛ ۵) حذف نیتروژن از شیرابه لندفیل؛ ۶) تالاب‌های ساخته‌شده (مصنوعی) برای تصفیه شیرابه لندفیل؛ ۷) هضم بی‌هوازی ضایعات غذایی با شیرابه لندفیل؛ ۸) تصفیه الکتریکی - شیمیایی شیرابه لندفیل؛ ۹) تصفیه شیرابه لندفیل حاوی ریز آلاینده‌های نوظهور؛ ۱۰) کاربرد جاذب‌های بر پایه کربن برای تصفیه شیرابه لندفیل؛ ۱۱) شیرابه لندفیل ناشی از مواد اطفا کننده اشعه فرابنفش؛ ۱۲) میکرو پلاستیک‌ها در شیرابه لندفیل و تصفیه آن‌ها؛ ۱۳) تصفیه مبتنی بر جداسازی در شیرابه لندفیل؛ ۱۴) مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیندهای ترکیبی تصفیه شیرابه و افزایش مقیاس آن‌ها؛ ۱۵) بازیابی انرژی و منابع از شیرابه لندفیل؛ ۱۶) مدیریت کارآمد و اقتصادی شیرابه لندفیل‌ها با روش‌های مبتنی بر گیاه‌پالایی؛ ۱۷) شاخص آلودگی شیرابه لندفیل؛ ۱۸) شیوع آنتی‌بیوتیک‌ها و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک (ARGs) در شیرابه‌های مراکز دفن؛ ۱۹) روش‌های هوازی و بی‌هوازی تصفیه شیرابه لندفیل: محدودیت‌ها و مزایا و ۲۰) مدیریت شیرابه لندفیل.

اطلاعات بیشتری از این کتاب در پیوند زیر موجود است:

<https://www.iwapublishing.com/books/9781789063301/landfill-leachate-management>

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

- برگزاری جلسه کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۱۵ فروردین ماه)
- اعلام برندگان پنجمین دوره مسابقه ایده برتر (فروردین ماه)
- برگزاری جلسات شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۲۴ فروردین ماه)
- برگزاری جلسه اتاق فکر پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب (۲۷ فروردین ماه)
- برگزاری جلسه هشتاد و ششم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۹ فروردین ماه)
- برگزاری مرحله دوم و اعلام برندگان چهارمین دوره المپیاد آب و فاضلاب (۳۰ فروردین ماه)
- برگزاری جلسه هشتاد و هفتم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۹ فروردین ماه)
- برگزاری جلسه با معاون پژوهشی دانشگاه اصفهان (۱۲ اردیبهشت ماه)
- برگزاری جلسه کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۱۲ اردیبهشت ماه)
- برگزاری جلسه شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۳ (۱۲ اردیبهشت ماه)
- امضای تفاهم نامه با آبفای اصفهان (۱۲ اردیبهشت ماه)
- برگزاری جلسه اتاق فکر پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب (اردیبهشت ماه)
- برگزاری وبینار تخصصی ۴۲ (۱۹ اردیبهشت ماه)
- برگزاری جلسه شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۲۵ اردیبهشت ماه)
- برگزاری جلسه هشتاد و هشتم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۲۶ اردیبهشت ماه)
- انجام اولین مصاحبه پروژه تاریخ شفاهی صنعت آب و فاضلاب (۸ خردادماه)
- برگزاری جلسه شورای سیاستگذاری کنگره (۱۶ خردادماه)
- برگزاری جلسه شورای دبیران کنگره ۱۴۰۳ (۱۶ خردادماه)
- برگزاری جلسه کمیته اجرایی کنگره ۱۴۰۳ (۱۶ خردادماه)
- برگزاری وبینار تخصصی ۴۳ (۲۳ خردادماه)
- برگزاری جلسه هشتاد و نهم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۳۰ خردادماه)

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

	مباحث الزامی جهت ساخت مسکن (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)	
https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673	مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب شهری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)	
https://www.aparat.com/v/D7BvT	طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر امین ابراهیم بخشی پور)	
https://www.aparat.com/v/rKPvH/	چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع آب (دکتر مهدی دینی)	
https://www.aparat.com/v/jTbgx/	مدلسازی سیلاب و زهکشی شهری - اهمیت و رویکردها و مقدمه‌ای بر مدل TU-FLOW و کاربردهای آن (دکتر حامد توکلی‌فر، دکتر دانکن کیتس)	
https://www.aparat.com/v/Nig5q/	کاربرد متدولوژی ارزش برای بهبود پروژه‌های بزرگ آب و آبفا (دکتر کامران امامی)	
https://www.aparat.com/v/AxQw3	آلودگی منابع آب و خاک به آرسنیک و روش‌های پالایش آن (دکتر بهمن یارقلی)	
https://www.aparat.com/v/kdcZC	مدل‌های داده‌محور و برخط پیش‌بینی سیلاب در سیستم‌های جمع‌آوری آب باران شهری (مهندس فرزاد پیاده)	
https://www.aparat.com/v/cQevG	پیل سوختی میکروبی به‌عنوان یک راه‌حل پایدار برای تصفیه فاضلاب: از تحقیق تا کاربرد (دکتر علیرضا ولی پور مرنیدی)	
https://www.aparat.com/v/zNPCU	بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب: وضعیت موجود، چالشها و فرصتهای پیش‌رو (دکتر مسعود طاهرپون)	
https://www.aparat.com/v/AOrNB	اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب‌های شهری: از مدل‌سازی تا رویکردهای مدیریتی مبتنی بر توسعه پایدار (دکتر یاسر طهماسبی بیرگانی)	
https://www.aparat.com/v/5SVaJ	نبرد شبکه‌های متمرکز و غیرمتمرکز جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی (مهندس سینا حصارکرازی)	
https://www.aparat.com/v/Q3Sck	مدیریت ناترازی تولید و مصرف آب با تکیه بر مدیریت مصرف آب (دکتر عباس اکبرزاده)	
https://www.aparat.com/v/Onls2	واکاوی تجربه کشور چین در حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت مصرف آب (دکتر بنفشه زهرایی)	
https://www.aparat.com/v/TilmP	ضربه آبی، چرا و چگونه؟ از مفاهیم تا اجرا (مهندس ابوالفضل رضایی راد)	
https://www.aparat.com/v/ieWtp	پکیج‌های تصفیه فاضلاب؛ معیارهای طراحی و روش ساخت (مهندس حمیدرضا خسروجردی)	
https://www.aparat.com/v/DcoFP	سپتاز، یک معضل محیط‌زیستی کشور، چالش‌ها، راه‌حل‌ها (دکتر ذبیح اله یوسفی)	
https://www.aparat.com/v/Fvb7q	قدرت تحول آفرین سنسجش از دور و هوش مصنوعی (دکتر احد نظریور)	
https://www.aparat.com/dashboard/vidostat/185Cp	مطالعه ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs) در رودخانه کارون و تصفیه‌خانه فاضلاب	

	(دکتر علی اکبر بابائی)		
https://apararat.com/v/n5B73	بررسی انواع میکرو پلاستیک‌ها و استر فتالات‌ها در فاضلاب و نقش واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب در حذف آن‌ها (مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب اهواز) (دکتر افشین تکدستان)		
https://www.apararat.com/v/JL0OZ	معرفی نسل جدید مواد اولیه PE100-RD مناسب جهت لوله و اتصالات پلی اتیلنی مورد استفاده در سامانه‌های لوله‌گذاری انتقال آب با گندزاداهای پایه کلر (دکتر غلامرضا پیرچراغی، مهندس حمیدرضا شمس و مهندس علیرضا صحاف امین)		
https://www.apararat.com/v/XIujP	چرخه معیوب آب بدون درآمد و مکانیسم نشت آب شناخت و راهکار (مهندس محمدرضا عزیزی)		
https://www.apararat.com/v/yas7w5j	مدل یادگیری ماشین ارتقا یافته توسط فیزیک مسئله برای مدل‌سازی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب (دکتر علی حقیقی)		
https://www.apararat.com/v/6OhwE?playlist=31020035	سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	۲
https://www.apararat.com/v/IXWfd?playlist=31174320	تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.apararat.com/v/7JxVU?playlist=35531526	هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.apararat.com/v/lSgM7?playlist=31219788	بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.apararat.com/v/tn4E9?playlist=32316111	چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/DZzYX?playlist=879646	تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.apararat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246	استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.apararat.com/v/o1geI?playlist=36877054	چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آبی نیرو در حوزه آب		
https://www.apararat.com/v/LxjEw?playlist=879646	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/s3lwQ?playlist=879646	کاهش تلفات واقعی		
https://www.apararat.com/v/nBNj5?playlist=879646	تلفات ظاهری آب		
https://www.apararat.com/v/PO35T?playlist=879646	مدیریت مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/xyr2O?playlist=879646	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.apararat.com/v/dVKvu?playlist=879646	مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.apararat.com/v/hEXdv?playlist=879646	مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود		
https://www.apararat.com/v/Ax3cG?playlist=879646	دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		
h https://www.apararat.com/v/xyr2O	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.apararat.com/v/BFhCa	رویکردهای برنامه ایمنی آب		
https://www.apararat.com/v/LxjEw	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/Lzf1g	چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی		
https://www.apararat.com/v/B5Lle	تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.apararat.com/v/41JAS	چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://apararat.com/v/jBUwJ	بررسی چالش‌ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب		
https://apararat.com/v/eotT5	مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب		

https://apararat.com/v/qOUfQ	راه کار و چالش های سرمایه گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه های آبرسانی		
https://www.apararat.com/v/hcuOk?playlist=5771644	مراسم افتتاحیه	اولین کنگره	۳
https://www.apararat.com/v/j2lAK?playlist=5771644	نشست تخصصی اول؛ سیاست های تأمین آب شرب در ایران	علوم و مهندسی آب و فاضلاب	
https://www.apararat.com/v/LajYD?playlist=5771644	نشست تخصصی دوم؛ سیاست های صنعت جمع آوری فاضلاب و بازیافت پساب	ایران (۱۳۹۵)	
https://www.apararat.com/v/6LBfm?playlist=5771644	نشست تخصصی سوم؛ تأثیر مسائل اجتماعی، فرهنگی و مشارکت جامعه در مدیریت مصرف آب		
https://www.apararat.com/v/hr4Un?playlist=5771644	مراسم اختتامیه		
https://www.apararat.com/v/AmjKX	مراسم افتتاحیه	اولین	۴
https://www.apararat.com/v/PO35T	نشست تخصصی اول؛ پنل مدیریت مصرف آب	همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	
https://www.apararat.com/v/nBNj5	نشست تخصصی دوم؛ پنل تلفات ظاهری آب		
https://www.apararat.com/v/s3lwQ	نشست تخصصی سوم؛ پنل کاهش تلفات واقعی		
https://www.apararat.com/v/wmjDk	مراسم اختتامیه		
https://www.apararat.com/v/SAOxw	مراسم افتتاحیه	دومین	۵
https://www.apararat.com/v/hEXdy	نشست تخصصی اول- مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده رود	کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی (۱۳۹۷)	
https://www.apararat.com/v/dVKvu	نشست تخصصی دوم- مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.apararat.com/v/Ax3cG	نشست تخصصی سوم- دستاوردها و چالش های استفاده از آب های نامتعارف		
https://www.apararat.com/v/pYO7g	مراسم اختتامیه		
https://www.apararat.com/v/SHiuG	مراسم افتتاحیه	دومین	۶
https://www.apararat.com/v/tn4E9	نشست تخصصی اول؛ چالش های تعیین الگوی مصرف آب	همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۳۹۸)	
https://www.apararat.com/v/DZzYX	نشست تخصصی دوم؛ تاب آوری زیرساخت های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.apararat.com/v/t1iaZ	نشست تخصصی سوم؛ استفاده از آب خاکستری در محیط های شهری		
https://www.apararat.com/v/nO2Ez	مراسم اختتامیه		
https://www.apararat.com/v/V7BNT	مراسم افتتاحیه	سومین	۷
https://www.apararat.com/v/6OhwE	نشست تخصصی اول؛ سامانه های فاضلاب، اپیدمی ها و بیماری های نوظهور	کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	
https://www.apararat.com/v/IXWfd	نشست تخصصی دوم؛ تاب آوری شبکه های آب و فاضلاب		
https://www.apararat.com/v/7JxVU	نشست تخصصی سوم؛ هوشمندسازی و نوآوری در سامانه های آب و فاضلاب		
https://www.apararat.com/v/ISgM7	نشست تخصصی چهارم؛ بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.apararat.com/v/cGUnl	کلینیک صنعت اول؛ شبکه های توزیع آب		
https://www.apararat.com/v/ntsvY	کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب		

https://www.aparat.com/v/Fz5wu	کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه فاضلاب و بازیافت آب	اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۴۰۰)	۸
https://www.aparat.com/v/1KLRc	کلینیک صنعت چهارم؛ شبکه های جمع آوری فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/yLp7u	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/FWHLm	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/xyr2O	نشست تخصصی اول: نمک زدایی آبهای شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی دوم: رویکردهای برنامه ایمنی 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 شبکه های 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	چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱)	۹
https://www.aparat.com/v/OB57I	مراسم افتتاحیه		
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/4I1AS	نشست تخصصی چالش های استفاده دوباره از پساب های 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 شبکه های 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	دومین همایش ملی کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۴۰۲)	۱۰
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/UwoCu	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/YHG3	سخنرانی جناب آقای دکتر مهدی قاسمیه		
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Q5jre	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تابش		
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Ovg0e	سخنرانی جناب آقای دکتر مسعود تجربی		
https://www.aparat.com/v/Zz6aS	سخنرانی سرکار خانم دکتر سمیه رفیعی		
https://www.aparat.com/dashboard/videostat/Gs89r	مراسم تجلیل از پیشکسوتان برگزیده		
https://www.aparat.com/v/jBUwJ	نشست تخصصی اول؛ بررسی چالش ها و پیامدهای تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/eotT5	نشست تخصصی دوم؛ مدیریت بهینه مصرف آب با رویکرد الزام صنایع به استفاده از پساب		
https://www.aparat.com/v/qOUfQ	نشست تخصصی سوم؛ راه کار و چالش های سرمایه گذاری در کاهش هدررفت آب در سامانه های آبرسانی		
https://www.aparat.com/v/GDMw7	کلینیک صنعت اول: طراحی و بهره برداری شبکه های توزیع آب و مدیریت مصرف		
https://www.aparat.com/v/HuZRI	کلینیک صنعت دوم: کیفیت آب و پساب		
https://www.aparat.com/v/nCJ0p	کلینیک صنعت سوم: تصفیه و بازچرخانی فاضلاب شهری و صنعتی		
https://www.aparat.com/v/j90wr	مراسم اختتامیه		

کنفرانس‌های داخلی

سایت کنفرانس	تاریخ برگزاری	محل برگزاری	برگزارکنندگان	عنوان کنفرانس
https://conf.iha.ir/	۹ تا ۱۰ آبان ۱۴۰۳	کرمانشاه	انجمن هیدرولیک ایران - دانشگاه رازی کرمانشاه	بیست و سومین کنفرانس هیدرولیک ایران
/https://iwwa-conf.ir	۶ الی ۸ آذرماه ۱۴۰۳	اصفهان	انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشگاه اصفهان	پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

کنفرانس‌های خارجی

سایت کنفرانس	تاریخ برگزاری	محل برگزاری	عنوان کنفرانس
https://worldwatercongress.org/	11 – 15 August 2024	Toronto, Canada	IWA World Water Congress & Exhibition, August 2024
https://worldwatercongress.org/	12 August 2024	Toronto, Canada	Groundwater Forum 2024
https://worldwatercongress.org/	13 August 2024	Toronto, Canada	9th International Water Regulators Forum
https://worldwatercongress.org/	13 – 14 August 2024	Toronto, Canada	Utility Leaders Forum 2024
https://worldwatercongress.org/	4 August 2024	Toronto, Canada	6th IWA Emerging Water Leaders Forum
https://odourconference2024.com/	25 – 28 August 2024	Tasmania, Australia	10th IWA Odour and Air Emission Conference
https://lwtp2024.org/	11 – 15 September 2024	Budapest, Hungary	IWA 14th Specialized Conference on the Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, Budapest 2024
https://www.iwa-win.org/	23 – 27 September 2024	Nanjing, China	Water in Industry 2024
https://iwa-network.org/events/4th-international-conference-on-disinfection-and-dbps/	7 – 10 October 2024	Almeria, Spain	4th International Conference on Disinfection and DBPs
https://www.swwsrosconference2024.org/	7 – 10 November 2024	Curitiba, Brazil	17th Small Water and Wastewater Systems and 9th Resource Oriented Sanitation
https://uqevents.eventsair.com/nrr24/	17 – 21 November 2024	Brisbane, Australia	Nutrient Removal and Recovery Conference 2024
https://iwareuse2025.com/	16 – 20 March 2025	Cape Town, South Africa	14th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse
https://iwa-aop.org/	8 – 10 April 2025	Frankfurt am Main, Germany	7th IWA Specialist Group Conference Advanced Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment and Recycling
https://iwacyprus2025.com/index.php	28 – 30 April 2025	Pafos, Cyprus	Joint Conference: 6th International Conference on Economics, Statistics and Finance and 10th Leading Edge Conference for Strategic Asset Management (LESAM)
https://www.wetsus.nl/iwa-rr-2025/	19 – 23 May 2025	Leeuwarden, Netherlands	IWA Resource Recovery Cluster Conference – Supported
https://watermicro2025.nl/	15 – 20 June 2025	Amersfoort, Netherlands	22nd Health-Related Water Microbiology Conference
https://www.ecostp2025.org/	23 – 26 June 2025	Stockholm, Sweden	7th IWA International Conference on eco-Technologies for Wastewater Treatment
http://www.udm2025.org/	15 – 19 September 2025	Innsbruck, Austria	13th Urban Drainage Modelling Conference



شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان



انجمن آب و فاضلاب ایران

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

5th IRAN WATER & Wastewater Science Engineering Congress

26-28 November 2024 Isfahan-Iran



دانشگاه اصفهان

۶ الی ۸ آذرماه ۱۴۰۳

مهلت ارسال مقاله کامل: ۵ مهرماه ۱۴۰۳

www.iwwa-conf.ir

irwwa.conf@gmail.com

[Instagram.com/irwwa.ir](https://www.instagram.com/irwwa.ir)

t.me/iwwa_conf

۰۳۱-۳۷۹۳۲۶۷۷

۰۳۱-۳۷۹۳۲۶۷۷

محورهای کنگره:

محور ویژه: فرونشست زمین و چالش های آن

- تامین، تصفیه، انتقال، توزیع و بازچرخانی آب
- جمع آوری و تصفیه فاضلاب و رواناب
- بهره برداری از تاسیسات آب و فاضلاب و خدمات مشترکین
- چالش های کمی و کیفی نمک زدایی و انتقال آب دریا
- فناوری های نوین در صنعت آب و فاضلاب
- هوشمندسازی، مدیریت هدررفت، مصرف آب و انرژی و سازگاری با کم آبی
- مدیریت منابع آب و استفاده از آب های نامتعارف
- تاب آوری تاسیسات آب و فاضلاب و پدافند غیرعامل
- بهره وری، مهندسی ارزش و مدیریت منابع انسانی و مالی
- آموزش و رویکردهای اجتماعی و فرهنگی در مدیریت آب شهری
- تدوین استانداردها، ضوابط و تجارب بومی در صنعت آب و فاضلاب
- اقتصاد آب و پساب، بازار و تجارت آلودگی

دبیرخانه: اصفهان، بلوار هزار جریب، دانشگاه اصفهان،

ساختمان شماره ۳ دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل



irwwa.ir



iwwa-conf.ir



فراخوان نهمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

۹

ویژه دانش آموختگان سال‌های ۱۴۰۰ به بعد



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

از علاقه‌مندان دعوت می‌شود تا برای شرکت در مسابقه، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۳** 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 پایان‌نامه 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

"پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران"

که از ۶ تا ۸ آذرماه ۱۴۰۳ در دانشگاه اصفهان برگزار می‌شود، اعطا می‌شود.



irwwa.ir
info@irwwa.ir



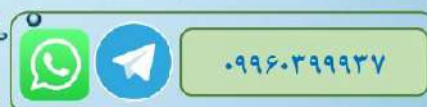
[Telegram.me/irwwa94](https://t.me/irwwa94)



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



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



۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷



پنجمین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۳



یادواره

پروفسور ناصر رازی

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

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۳

مرحله دوم: به صورت تشریحی

(متعاقباً اعلام می شود)

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

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

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

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

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

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۱۰۰ هزار تومان

سایرین: ۱۵۰ هزار تومان



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

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



مهلت ارسال ایده
۳۰ دی ماه ۱۴۰۳

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

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

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

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

ارسال فرمایید.

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



لوگو	سطح عضویت	نام شرکت
 <p>آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir</p>	الماسی	مهندسين مشاور آبساران
 <p>شرکت فناور ایمن لوتوس</p>	طلایی	فناور ایمن لوتوس
 <p>طوس آب شرکت مهندسی مشاور</p>	طلایی	مهندسی مشاور طوس آب
 <p>TAVANA</p>	طلایی	شرکت مهندسی خطوط لوله توانا
	برنزی	مهندسين مشاور یکم
 <p>ABRAM ETTESAL</p>	برنزی	آبان بسپار پارسیان
 <p>مغیر انرژی و پالایش مادیار Madyar Global Energy And Water Treatment Co</p>	برنزی	فراگیر انرژی و پالایش مادیار
 <p>هیپیکو Hapico</p>	برنزی	خط لوله هامون (هیپیکو)
	برنزی	مهندسين مشاور طرح و تحقیقات اصفهان
 <p>S.A.A Sanjesh Afzar Asia Co. Ltd.</p>	برنزی	سنجش افزار آسیا

 <p>مهندسين مشاور آبران</p>	برنزی	مهندسين مشاور آبران
 <p>شرکت آب و فاضلاب آذربایجان شرقی</p>	برنزی	آب و فاضلاب آذربایجان شرقی
 <p>مهندسين مشاور آینده میترا</p>	برنزی	مهندسين مشاور آینده میترا
 <p>Persia Optimized Designing شرکت بهینه طراحی پرشیا</p>	برنزی	بهینه طراحی پرشیا
 <p>گروه مینا شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا</p>	برنزی	شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا
 <p>شرکت مهندسين مشاور آب سو</p>	برنزی	شرکت مهندسين مشاور آب سو
 <p>FANAVARAN KHERAD RAD Industrial company شرکت مهندسی فن آوران خرد راد</p>	برنزی	شرکت مهندسی فن آوران خرد راد

شرکت مهندسی مشاور آب سو (سطح عضویت برنزی)

شرکت مهندسی مشاور آب سو از تاریخ تأسیس در فروردین ماه سال ۱۳۶۲، با هدف اصلی ارتقای کیفیت و استانداردهای صنعت آب و فاضلاب کشور و با نگاه به توسعه پایدار و حفاظت از منابع طبیعی، فعالیت خود را آغاز نموده است. این شرکت مخترع است با بیش از چهار دهه تجربه در زمینه‌های مطالعه، طراحی، نظارت و بهره‌برداری در پروژه‌های مختلف، نقش مؤثری در پیشبرد اهداف بخش آب و فاضلاب کشور ایفا کرده است.

در حال حاضر مهندسی مشاور آب سو با بهره‌گیری از دانش فنی و تخصص بیش از ۲۰۰ نفر از مهندسی متخصص و مجرب در زمینه طراحی، نظارت و مدیریت طرح، دارای ۷ رتبه از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در زمینه‌های تاسیسات آب و فاضلاب، حفاظت و مهندسی رودخانه، شبکه‌های آبیاری و زهکشی، راهسازی، پدافند غیرعامل و خدمات مدیریت طرح است.

شرکت مهندسی مشاور آب سو با تأکید بر کیفیت، دقت و نوآوری در طراحی و اجرای پروژه‌ها، موفق به کسب گواهینامه‌های بین‌المللی از جمله ISO ۹۰۰۱:۲۰۱۵، ISO ۱۴۰۰۱:۲۰۱۵، ISO ۴۵۰۰۱:۲۰۱۸، ISO ۲۱۵۰۰:۲۰۲۱، Q-HSE-MS، شده و به‌عنوان نمادی از تعهد به استانداردهای جهانی، شانزده سال متوالی این استانداردها را حفظ نموده است.

این شرکت می‌کوشد تا با انجام کار با کیفیت مناسب و به‌منظور صیانت و حراست از سرمایه‌های ملی و بهره‌برداری بهینه از پروژه‌ها و حفاظت از محیط‌زیست و منابع طبیعی، موجب ارتقای سطح فنی پروژه شود. لذا خوشنامی و اعتماد حاصل از پایبندی به تعهدات در مسیر خدمت را بزرگترین سرمایه خود می‌داند.



شرکت مهندسی فن‌آوران خرد راد (سطح عضویت برنزی)

شرکت مهندسی فن‌آوران خرد راد با بیش از ۱۶ سال سابقه در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ و نصب، تامین کالای مورد نیاز تجهیزات نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع نیروگاهی و تصفیه‌خانه‌های آب از قبیل مخازن تحت فشار و اتمسفریک، اسکرابر، جداکننده‌ها، هیترها و مخازن نمک‌زدایی نفت خام، پکیج‌های تزریق مواد شیمیایی، سیستم‌های تصفیه آب، پکیج فیلتراسیون و انتقال سوخت، Self-Cleaning Filter آب دریا و سایر تجهیزات صنعتی فعال است و در طول این مدت با به‌کارگیری سیستم مدیریتی به‌روز و با اتکا به نیروهای متخصص و خبره در بخش‌های فنی، تولید، بازرگانی و کنترل کیفیت و با رعایت تمامی اصول مشتری‌مداری، به ارائه خدمات در بالاترین سطح کیفی و کمی پرداخته است و هم‌اکنون در لیست سازندگان مورد تایید صنایع نفت و گاز و پتروشیمی و پروژه‌های نیروگاهی قرار دارد. علاوه بر آن با توجه به امکانات و توانمندی خاص این شرکت در خارج از کشور و ارتباط مستقیم با بهترین سازندگان خارجی، شرایط مناسبی در جهت کمک به صنایع کشور برای تامین تجهیزات و لوازم یدکی مورد نیاز و ضروری فراهم بوده و این شرکت تجربه‌های بسیار موفق در این زمینه دارد.



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.

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

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۵۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۳۰۰۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۶۰۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۹۰۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبدا: IR930180000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

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

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

جدول مزایای اعضای حقوقی طرح جدید

مزایای عضویت	سطح (مبلغ پرداختی)	عضویت	برنزی (سالانه ۶ میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۹ میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۱۲ میلیون تومان)	الماسی (سالانه ۱۵ میلیون تومان)
دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در ذیل جدول شرح داده می‌شود)			۳ سالانه ۳ میلیون تومان	۶ سالانه ۶ میلیون تومان	۹ سالانه ۹ میلیون تومان	۱۲ سالانه ۱۲ میلیون تومان
درج لوگوی شرکت در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و خبرنامه و سایت انجمن (با مشخص بودن سطح عضویت) در مدت زمان عضویت			*	*	*	*
دریافت اشتراک یک ساله نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به صورت رایگان (۴ شماره) در مدت زمان عضویت			*	*	*	*
درج رایگان آگهی نیم صفحه (با متن دلخواه) در یک شماره نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب در مدت زمان عضویت			*	*	*	*
ارائه ۵۰٪ تخفیف در اجاره غرفه نمایشگاهی همزمان با کنفرانس‌های سالانه انجمن در مدت زمان عضویت (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)			*	*	*	*
امکان انتقال نیمی از اعتبار باقیمانده به سال آینده (در صورت تمدید عضویت)			*	*	*	*
امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس 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 مترای غرفه از اعتبار کسر می‌شود)؛
 - صدور گواهی شرکت در وبینار (صدور هر گواهی برای شرکت‌کنندگان معرفی شده از سوی شرکت معادل ۵۰ هزار تومان اعتبار است)؛
- * لازم به ذکر است که پس از اتمام اعتبار، اعضای محترم حقوقی کماکان می‌توانند مطابق با روال گذشته، از تخفیفات و مزایای عضویت به شرح زیر بهره‌مند شوند.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

سطح عضویت حقوقی				عضو حقیقی	مزایای عضویت
الماسی	طلایی	نقره‌ای	برنزی		
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در همایش‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	-	تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	٪۲۰	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

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 حروف چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013 یا بالاتر

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

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

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

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

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

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

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

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

❖ چکیده فارسی:

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

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

❖ متن مقاله:

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

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و هم‌چنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش‌های 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، مؤسسه، 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.

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

فیش آن را به همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

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

• مقاله غیر فارسی:

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

• مقاله منتشر نشده:

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

• کتاب:

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

• بخشی از کتاب:

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

• موسسه به جای نویسنده:

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

• مقالات کنفرانسی:

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

• پایان نامه:

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

• سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 9, No. 1, Spring 2024

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

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

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

Editorial Board:

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



Industrial Water and Wastewater Policy Council:

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

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



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 9, No. 1, Spring 2024

Preface (Called "Rehabilitation" and benefit of "Development (Replacement)") Sattar Salehi	2
<u>Papers</u>	
A Review of Wastewater Containing Detergents: Characteristics and Treatment Methods Elham Abdollahzadeh Sharghi and Ghazaleh Faridizad	4
Cumulative Environmental Impacts of Desalination Plants Based on ReCiPe Indices Used in Life Cycle Assessment Faranak Hashempour, Alireza Pardakhti and Shervin Jamshidi	19
Evaluating the Failure Probability of the Water Distribution Networks Quality in Order to Estimate Risk Using Bayesian Networks Sara Mashhadi Tafreshi and Massoud Tabesh	32
Analysis of Factors Affecting Water Poverty in Iran Using the (PLS-SEM) Approach Sahar Safarpour, Majid Maddah and Seyed Hossein Sajadifar	43
Evaluation of Laboratories Performance by Interlaboratory Comparisons: Reference Laboratory of Tehran Province Water and Wastewater Company Mahtab Bagheban, Noushin Sohrabnia, Fahimeh Mehranfar and Mohammadreza Shirazi	59
Technical, Environmental and Economic Review of Salt Water Desalination and Analysis for Iran Mohammadreza Fedaei Tehrani and Maryam Abarshi	71
<u>General Section</u>	
Interview (Eng. Ali Asghar Ghane)	86
Round-Table (Resilience of water and sewage systems, looking at the experience of Hamadan and Shahrekord)	89
Best Thesis	102
Best Idea	106
Book Presentation	107
IWWA News	108