هیئت داوران نشریه این دوره

دکتر احمدی، امید (دانشگاه کردستان)
دکتر اکرمی، عباس (دانشگاه زابل)
دکتر حجت، محمد (دانشگاه اصفهان)
دکتر خضرآقا، همایون (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر ذاکری، مژگان (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر زمزمیان، امیرحسین (پژوهشگاه مواد و انرژی)
دکتر زینت‌لو، سحر (دانشگاه بناب)
دکتر سنایی‌پور، حمیدرضا (دانشگاه اراک)
دکتر سیار، زهرا (دانشگاه بناب)
دکتر شکرکار، هانیه (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر صحرائی، اقبال (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر عبدالله‌زاده‌شرقی، الهام (پژوهشگاه مواد و انرژی)
دکتر عبدلی، مجید (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر عرفانیان، مجید (دانشگاه زابل)
دکتر قائمی، احد (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر قربانپور خمسه، علی‌اصغر (پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای)
دکتر کاشی، اسلام (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران)
دکتر کلانتری، کاوه (دانشگاه زنجان)
دکتر گل‌محمدی، مرتضی (دانشگاه صنعتی بیرجند)
دکتر محبی، وحید (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر مقدم دیمه، حمید (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر مهریزاده، حبیب (دانشگاه ارومیه)
دکتر واله‌شیدا، پیوند (دانشگاه صنعتی کرمانشاه)
دکتر یوسفی، وجیهه (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

سخن سردبیر

مهندسان شیمی و نقش آنان در مدیریت بحران آب در ایران

دکتر علی محبی
استاد دانشگاه شهید باهنر کرمان

کلیات

پیش‌از پرداختن به نقش مهندسان شیمی در مدیریت آب، درک بحران آب حیاتی است؛ بحران آب دارای جنبه‌های متعدد و علل متنوع است که شامل تغییرات آب‌وهوایی، آلودگی آب، استفادهٔ بیش‌ازحد از منابع آب، رشد جمعیت و مدیریت ضعیف منابع آب است. بحران آب، پیامدهای پرقوّتی مانند کاهش بهره‌وری کشاورزی، افزایش فقر، شیوع بیماری‌های ناشی‌از آب و تخلیهٔ منابع آب شیرین دارد. دسترسی‌به آب آشامیدنی تمیز و ایمن برای سلامتی و بقای انسان حیاتی است؛ اما دنیای معاصر با بحران روبه‌رشد کمبود آب در سرتاسر کرهٔ خاکی روبه‌رو است که میلیاردها نفر را تحت تأثیر قرار داده‌است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵، ۱٫۸ میلیارد نفر در مناطقی با کمبود مطلق آب زندگی خواهندکرد. کمبود آب و نبود دسترسی‌به آب پاک، منجربه بیماری، ناامنی غذایی، فقر و حتی درگیری‌های سیاسی می‌شود. میلیون‌ها نفر هرساله بر اثر عوامل قابل پیش‌گیری مرتبط‌با آب جان می‌سپارند. کشورهای درحال توسعه- به‌ویژه در آفریقا و بخش‌هایی از آسیا- با بزرگ‌ترین خطر کمبود آب مواجه هستند؛ اما این بحران، روبه افزایش است و مناطق توسعه‌یافته‌ای مانند غرب آمریکا را نیز تهدید می‌کند. حل این بحران نیازمند روی‌کردی چندجانبه شامل سیاست‌گذاری، حفاظت و نوآوری فناورانه است.

مهندسان شیمی می‌توانند در کمک به یافتن راه حل برای چالش‌های پیچیدهٔ زیربنایی این بحران، نقش مهمی ایفا کنند. مهندسان شیمی با تخصص‌های خود در حوزه‌های ترمودینامیک، پدیده‌های انتقال، مهندسی فرایند، نانوفناوری، زیست‌فناوری، شیمی و غیره مجهزبه دانش و مهارت لازم- برای ایجاد تأثیر مثبت واقعی در مواجهه با بحران جهانی آب- در زمینه‌های زیر هستند:

- تصفیه و تأمین آب
- توسعهٔ سامانه‌های کارامد تصفیهٔ آب در مقیاس بزرگ
- طراحی فرایندهای بهینهٔ شیرین‌سازی ازجمله اسمز معکوس، نانوپالایش و اولتراپالایش
- ایجاد غشاهای سفارشی برای تصفیه و صاف‌کردن
- به‌کارگیری فناوری‌هایی مانند زیست‌پالایی برای پاک‌سازی و پالایش آب آلوده
- استفادهٔ مجدد و بازیافت آب
- تولید آب بازیافتی با کیفیت بالا برای آشامیدن، کشاورزی یا صنعت
- مهندسی سامانه‌های قابل اعتماد برای استفادهٔ مجدد آب خاکستری در خانه‌ها و ساختمان‌ها
- بهینه‌سازی تأسیسات برای جمع‌آوری، تصفیه و گردش مجدد آب در محل
- توزیع و نظارت‌بر آب
- طراحی زیرساخت‌های بهینهٔ انتقال، ذخیره‌سازی و پمپاژ آب
- توسعهٔ حسگرها و ابزارهای تجزیه‌ای برای نظارت‌بر کیفیت آب
- ایجاد سامانه‌ها و مدل‌های مبتنی‌بر داده برای مدیریت توزیع آب
- استفاده‌از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی تقاضای آب شهری و کشاورزی، تشخیص نشتی آب، نظارت‌بر کیفیت آب، پیش‌بینی سفره‌های آب زیرزمینی و حجم رواناب برای آینده

به‌عبارت دیگر، مهندسان شیمی می‌توانند از فناوری‌های نوآورانه‌ای مانند فرایندهای اکسایش پیشرفته، جذب کربن فعال و غیره برای حذف آلاینده‌های خطرناک و تصفیهٔ آب استفاده کنند. آنان می‌توانند فرایندهای شیرین‌سازی را مانند تقطیر چندمرحله‌ای و فرایندهای غشایی، بهینه کنند تا به‌طور مؤثر آب شیرین از آب دریا تولیدشود. طراحی تصفیه‌خانه‌های پساب شهری و صنعتی برای استفادهٔ مجدد در کاربردهایی مانند آبیاری، برج‌های خنک‌کننده و غیره که به حفظ منابع آب شیرین کمک می‌کند، از دیگر توانایی‌های مهندسان شیمی است. مهندسان شیمی می‌توانند حسگرهای پیشرفته‌ای بااستفاده‌از نانومواد، زیست‌حسگر و غیره، توسعه دهند تا کیفیت آب را به‌صورت برخط نظارت‌کنند و آلاینده‌ها را

تشخیص‌دهند که به تضمین ایمنی آب کمک می‌کند. آنان هم‌چنین می‌توانند ممیزی آب را انجام دهند تا مصرف آب فرایند به حداقل رسانده‌شود که باعث ترویج استراتژی‌های حفظ آب در صنایع می‌شود تا از برداشت آب شیرین کاسته شود. مهندسان شیمی، تخصص فنی لازم را برای ساخت مدل‌ها و ابزارهای شبیه‌سازی دارند تا مصرف آب، نیازهای تصفیه و زیرساخت توزیع برای مراکز شهری را تحلیل کنند. آنان ضمن مشارکت در سیاست‌گذاری عمومی، آموزش در کلاس درس و رسانه‌ها، می‌توانند جامعه را دربارهٔ ریسک‌های آب و راه‌کارهای حفاظت از آن آگاه کنند. به‌طورخلاصه، مهندسان شیمی مجموعه‌مهارت‌های چندرشته‌ای لازم را برای اتخاذ سهم مثبت گسترده در رویارویی پایدار با بحران پیچیدهٔ جهانی آب دارند. دیگر توانایی‌های مهندسان شیمی در کنترل بحران آب عبارت است از:

- توسعهٔ سامانه‌های کم‌مصرف انرژی برای تصفیهٔ آب؛ شامل سامانه‌های کارامد شیرین‌سازی، فیلتراسیون و ضدعفونی‌کردن آب تا هزینهٔ انرژی تصفیهٔ آب را کاهش دهند. این، موجب دست‌رسی مقرون‌به‌صرفه‌تر به آب می‌شود.
- شناسایی بهینه‌سازی بازیافت آب صنعتی- شامل ممیزی آب در کارخانه‌ها و صنایع تا فرصت‌های بهینه‌سازی برای استفادهٔ مجدد چندباره از آب فرایند قبل‌از تخلیه- که باعث کاهش برداشت خالص آب می‌شود.
- ساختن غشاهای انتخابگر؛ شامل توسعهٔ مواد غشایی نوآورانه که بتواند آلاینده‌ها و مواد معدنی را به‌طور انتخابی حذف کند، تا امکان بازاستفادهٔ ایمن از آب بازیافتی فراهم شود.
- توسعهٔ روش‌های تشخیص نشتی آب؛ شامل فناوری‌های بهتر تشخیص نشتی بااستفاده‌از مواد شیمیایی ردیاب، حسگرها یا مدل‌های رایانه‌ای که برای شناسایی نشتی‌ها در لوله‌ها و مخازن آب استفاده می‌شود.
- ترویج بارش‌گیری؛ تا سامانه‌های بارش‌گیری و ذخیره‌سازی برای استفادهٔ خانگی یا کشاورزی فراهم شود.
- مدل‌سازی و شبیه‌سازی حوضه‌های آب‌ریز؛ تا تأثیر سناریوهای مختلف مصرف آب و اقلیم برای مدیریت بهتر آب مشخص شود.

بحران آب در ایران

ایران یکی از کشورهای دارای بیشترین تنش آبی در جهان است. میانگین دسترسی‌به آب، به‌ازای هر شخص در ۵۰ سال گذشته بیش از ۵۰٪ کاهش یافته‌است. در ایران سدسازی بی‌رویه، بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی، کشاورزی ناکارامد، مدیریت ضعیف منابع آب و سال‌ها خشک‌سالی، موجب تخلیهٔ منابع آب کشور شده‌است. بسیاری از دریاچه‌ها- مانند دریاچهٔ ارومیه و رودخانه‌ها- به‌دلیل سدسازی و منحرف‌کردن آب برای آبیاری، خشک و یا بیش‌از اندازه کوچک شده‌اند. منابع آب‌های زیرزمینی برای برطرف‌کردن نیاز آبی، بیش‌ازحد بهره‌برداری شده‌اند که منجربه افت چندین متری سطح آبخوان‌ها در سال شده‌است. ازسویی، ورود پساب صنعتی و شهری به رودخانه‌ها تبعاتی چون افزایش شوری و کاهش آب شیرین را در مناطقی درپی داشته‌است. کمبود آب، موجب اعتراضات عمومی می‌شود و نیز، به کشاورزی- که شغل بسیاری از ایرانیان است و بیش‌از ۹۰ ٪ آب کشور را مصرف می‌کند- آسیب می‌زند. کارشناسان هشدار داده‌اند که ادامهٔ روند فعلی تخلیهٔ سفره‌های آبی، می‌تواند مناطقی از ایران را غیرقابل سکونت کند که موجب مهاجرت گسترده و بی‌ثباتی در کشور خواهدشد. بنابراین، ایران نیازمند اصلاح در مدیریت منابع آب، بهبود چشم‌گیر بهره‌وری آبیاری، کنترل آلودگی‌ها و استفادهٔ بیشتر از پساب تصفیه‌شده برای رویارویی با این بحران است و اقدام فوری برای جلوگیری از تأثیرات وخیم آینده بر جامعه و اقتصاد ضروری است. برخی پیامدهای ناشی از بحران آب در ایران را می‌توان چنین خلاصه کرد:

- ناامنی غذایی: کشاورزی بیش از ۹۰ ٪ آب ایران را مصرف می‌کند؛ کمبود آب می‌تواند محصولات کشاورزی و دام را تهدید کند و خطر سوء تغذیه و گرسنگی را افزایش دهد و قیمت مواد غذایی را نیز بالا برد.
- زیان اقتصادی: بخش‌های آب‌بر مانند کشاورزی و صنعت ممکن است با کمبود آب، زیان اقتصادی و کاهش شغلی چشم‌گیر روبه‌رو شوند که رشد تولید ناخالص داخلی کشور را کند می‌کند.
- تخلیهٔ روستاها: هم‌زمان با خشک‌شدن رودخانه‌ها و چاه‌ها در مناطق روستایی، روستاها ممکن است به‌دلیل مهاجرت ساکنان به شهرها- برای دست‌رسی به آب ایمن- خالی از سکنه شوند که تشدید مشکلات شهری و شهرنشینی را در پی خواهدداشت.
- بحران بهداشت عمومی: کاهش آب آشامیدنی، بهداشتی و دفع پساب می‌تواند منجربه افزایش بیماری‌های ناشی‌از آب آلوده مانند وبا و اسهال خونی در مناطق شهری و روستایی شود.
- تخریب محیط زیست: خشک‌شدن بیشتر دریاچه‌ها و تالاب‌ها، بیابان‌زایی را تشدید می‌کند؛ ازدست‌رفتن تنوع زیستی و زیستگاه‌ها نیز محتمل است.
- اختلالات انرژی: حدود ۱۴ ٪ برق ایران از نیروگاه‌های آبی تأمین می‌شود؛ کاهش جریان رودخانه‌ها ممکن است موجب وابستگی‌به نیروگاه‌های گران‌تر حرارتی شود.

مهندسان شیمی چگونه می‌توانند به مدیریت بحران آب در ایران کمک کنند؟

مهندسان شیمی می‌توانند با بذل کارایی ویژهٔ خود در پالایش، استفادهٔ مجدد، توزیع و حفاظت‌از آب، نقش ارزشمندی در کمک‌به کشور- برای غلبه‌بر چالش‌های جدی آب- ایفا کنند. ایران به خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر به‌عنوان منابع آب شور دست‌رسی دارد؛ مهندسان شیمی می‌توانند فرایندهای بهینهٔ شیرین‌سازی را- مانند اسمز معکوس- برای تولید آب شیرین طراحی کنند. نیز، می‌توانند در بهبود سامانه‌های توزیع آب نقش‌آفرین باشند. مقدار زیادی از آب در ایران، به‌دلیل نشتی در سامانه‌های توزیع فرسوده، تلف می‌شود که می‌توانند نشتی‌ها را شناسایی و برطرف کنند و هم‌چنین، برای سامانه‌های ذخیره‌سازی و انتقال آب طراحی مناسب ارائه دهند. مهندسان شیمی می‌توانند سامانه‌هایی برای تصفیهٔ پساب شهری و صنعتی در سطح بالا برای استفادهٔ مجدد در کشاورزی یا

صنعت توسعه دهند. تحقق این امر، موجب کاهش برداشت از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. هم‌چنین، می‌توانند در اجرای آبیاری قطره‌ای، برنامه‌ریزی دقیق تحویل آب و سایر ترفندها برای افزایش بهره‌وری آبیاری، به‌ویژه در کشاورزی، راه‌کار عرضه کنند. انجام ممیزی آب و سپس شناسایی اصلاحاتی برای به حداقل رساندن مصرف آب در فرایندهای صنایع مختلف در ایران و هم‌چنین استفادهٔ مجدد از جریان‌های پساب در عملیات کارخانه از دیگر توانایی‌های مهندسان شیمی است. توسعهٔ سامانه‌های تصفیهٔ آب بااستفاده‌از روش‌هایی مانند پالایش غشایی، فلوتاسیون و فرایندهای اکسایش پیشرفته و توسعهٔ سامانه‌های تصفیهٔ آب آشامیدنی برای کنترل بحران آب ضروری است. مهندسان می‌توانند بااستفاده‌از دانش خود با ایجاد پویش‌های رسانه‌ای، برنامه‌های آموزشی و مشارکت در سیاست‌گذاری، اهمیت حفظ آب و بهداشت را به‌مردم آموزش دهند. به‌طور خلاصه، دیگرزمینه‌هایی که مهندسان شیمی می‌توانند برای کنترل بحران آب در ایران ایفای نقش کنند، در زیر آورده شده‌است:

۱- فناوری‌های تصفیهٔ آب

- غشاء (اسمز معکوس، نانوپالایش، اولتراپالایش) برای حذف املاح، ذرات و میکروب‌ها
- رزین‌های تبادل یونی برای حذف فلزات سنگین، فلوراید، نیترات و سایر آلاینده‌ها
- استفاده‌از کربن فعال برای حذف آلاینده‌های آلی و ترکیبات بدطعم‌کننده و بوآور
- فرایندهای اکسایشی مانند ازن‌زنی و پرتو فرابنفش برای ضد عفونی و تجزیه کردن آلاینده‌های شیمیایی
- انعقاد و لخته‌سازی برای تجمع ذرات معلق برای رسوب‌گذاری یا فیلتراسیون
- الکترودیالیز برای شیرین‌سازی و جداسازی انتخابی یون‌های محلول
- پالایش زیستی بی‌هوازی/هوازی برای حذف پسماندهای آلی

۲- بهینه‌سازی توزیع آب

- مدل‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی برای طراحی شبکه‌های لوله‌کشی بهینه
- انتخاب مواد مقاوم‌به خوردگی مانند فولاد ضد زنگ، HDPE و PVC
- مدیریت فشار برای کاهش نشتی آب
- اتوماسیون و کنترل پمپ‌ها و شیرها برای مدیریت تقاضا
- حسگرها برای ردیابی برخط جریان، فشار و کیفیت
- تشخیص نشتی و نگه‌داری پیش‌گیرانهٔ مبتنی‌بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی

۳- استفادهٔ مجدد/بازیافت آب

- تصفیهٔ فاضلاب به استانداردهای سخت‌گیرانه برای اهداف استفادهٔ مجدد غیرآشامیدنی
- نصب سامانه‌های توزیع دوگانه برای تأمین آب بازیافت‌شده
- ادغام ایمن آب بازیافتی در منابع آب آشامیدنی از راه تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی
- بازیابی گرمای پساب برای بهره‌وری انرژی در تأسیسات تصفیه
- استخراج مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر برای استفادهٔ مجدد به‌عنوان کود

۴- فناوری‌های حفظ آب

- وسایل و تجهیزات کم‌جریان برای کاهش مصرف آب خانگی
- بهینه‌سازی برج‌های خنک‌کننده و سامانه‌های بازیافت آب در صنعت
- آبیاری دقیق مانند قطره‌ای و میکروآبپاش برای کاهش مصرف آب کشاورزی
- ابزارهای نرم‌افزاری برای ممیزی مصرف آب و شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی

۵- پایش توزیع آب

- حسگرها برای پایش مشخصه‌های کیفیت آب مانند pH، کدورت، باقی‌ماندهٔ کلر و غیره
- سامانه‌های برخط هشدار آلودگی با تشخیص مشخصه‌های غیرعادی
- کنترل خودکار شیرها برای تغییر مسیر جریان‌ها درصورت بروز مشکل کیفیت آب
- ابزارهای مدل‌سازی برای شبیه‌سازی هیدرولیک شبکهٔ توزیع و بهینه‌سازی عملیات

۶- منابع آب جای‌گزین

- سامانه‌های باران‌گیری برای جمع‌آوری رواناب برای کاربردهای غیرآشامیدنی
- مدیریت آب‌های سطحی برای تغذیهٔ آبخوان‌ها به‌وسیلهٔ حوضچه‌های نفوذپذیر
- سامانه‌های برداشت مه با شبکه‌های جمع‌آوری‌کننده در مناطق ساحلی
- استفادهٔ مستقیم از آب بازیافت‌شده پس‌از تصفیهٔ پیشرفته و اختلاط

۷- مدیریت پساب

- سامانه‌های تصفیهٔ غیرمتمرکز برای مناطق دورافتاده
- تصفیهٔ آب تولیدشده از عملیات نفت و گاز برای استفادهٔ مجدد از آن
- مدیریت پساب‌های شور از واحدهای شیرین‌سازی برای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی