



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال پنجم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال پنجم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

۲

مقالات علمی

۴

الزامات و نقشه راه هوشمندسازی شبکه توزیع آب شهری
شروین جمشیدی

۱۶

الزامات و ضرورت‌های ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری
سید احمدرضا شاهنکیان، مسعود تابش، هانیه صفرپور، ملیکا خاشعی و مهناز عباسی

۲۴

بررسی مقدار سرانه مصرف شبانه آب خانگی در کشورهای مختلف
جواد نوروزی، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده و ایمان مصلحی

۳۱

ارزیابی ریسک در واحدهای کلرزنی تصفیه آب و فاضلاب به روش FMEA
حانیه محسن‌زاده، حسام رزم‌آرا، علی دشتی، هادی روستا، هادی نخعی فدافن، ثمانه توکلی امینیان، مسعود روحبخش و علی فضائلی ترابی

۴۱

اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب - مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد
ناصر مهرداد، وحید آقابالائی، شیما مردانی و مهلا تابش نیا

۵۳

بررسی میزان تأثیر بارش بر تولید شیرابه در زمان بهره‌برداری و پس از بستن مرکز دفن پسماند شهری
با استفاده از مدل HELP
میلاد غفاری راد و مهدی قنبرزاده لک

مطالب عمومی

۶۵

مصاحبه

۶۸

میزگرد

۸۲

پایان نامه برتر

۸۳

ایده برتر

۸۵

معرفی کتاب

۸۷

گزارش فعالیت‌های انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

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

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

دکتر افشین تكدستان: دانشیار 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: دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران و رئیس کرسی یونسکو در

بازیافت آب

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

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

دکتر راضیه فرمانی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان

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

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

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

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

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

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

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

ناهید اختری

ناهید اختری، مهندس سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

فرشیوه

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

اعضای

هیئت تحریریه



شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

چاپ:

پیشگفتار..... ۲

مقالات علمی

الزامات و نقشه راه هوشمندسازی شبکه توزیع آب شهری..... ۴
شروین جمشیدی

الزامات و ضرورت‌های ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری..... ۱۶
سید احمدرضا شاهنگیان، مسعود تابش، هانیه صفرپور، ملیکا خاشعی و مهناز عباسی

بررسی مقدار سرانه مصرف شبانه آب خانگی در کشورهای مختلف..... ۲۴
جواد نوروزی، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده و ایمان مصلحی

ارزیابی ریسک در واحدهای کلرzeni تصفیه آب و فاضلاب به روش FMEA..... ۳۱
حانیه محسن‌زاده، حسام رزم‌آرا، علی دشتی، هادی روستا، هادی نخعی فدافن، ثمانه توکلی امینیان، مسعود روحبخش و علی فضائلی ترابی

اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب - مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد..... ۴۱
ناصر مهرداد، وحید آقابالائی، شیما مردانی و مهلا تابش نیا

بررسی میزان تأثیر بارش بر تولید شیرابه در زمان بهره‌برداری و پس از بستن مرکز دفن پسماند شهری..... ۵۳
با استفاده از مدل HELP
میلاد غفاری راد و مهدی قنبرزاده لک

مطالب عمومی

مصاحبه..... ۶۵

میزگرد..... ۶۸

پایان نامه برتر..... ۸۲

ایده برتر..... ۸۳

معرفی کتاب..... ۸۵

گزارش فعالیت‌های انجمن..... ۸۷



ویروس کرونا و صنعت آب و فاضلاب



آقای دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی

دانشیار دانشگاه شهید بهشتی و عضو هیئت تحریریه

ویروس جدید کرونا SARS-CoV2 در مدت اندکی پس از نخستین ظهورش در آذرماه ۱۳۹۸ (دسامبر ۲۰۱۹) در ووهان چین، تبدیل به یک بحران جهانی شد به گونه‌ای که سازمان جهانی بهداشت WHO در ۲۱ اسفند ۱۳۹۸ (۱۱ مارس ۲۰۲۰) بیماری COVID-19 را به عنوان یک پاندمی شناسایی و معرفی نمود.

نگرانی از همه‌گیری‌ها در صنعت آب و فاضلاب دارای دو جنبه حفظ سلامت کارکنان، علی‌الخصوص در مشاغل کلیدی و حساس به منظور پایداری در بهره‌برداری تاسیسات، و نگرانی از انتقال عامل بیماری‌زا توسط آب، فاضلاب، پساب و یا لجن است. با اعلام وضعیت پاندمی COVID-19 مطالعات متعددی برای پاسخگویی به این نگرانی‌ها در نقاط مختلف دنیا انجام و نتایج این مطالعات منجر به توسعه روش‌های مناسبی برای حفظ سلامت کارکنان بر پایه فاصله‌گذاری فیزیکی و گندزدایی و ضدعفونی شد. علی‌رغم تحقیقات انجام شده از زمان وقوع همه‌گیری برای بررسی سرنوشت ویروس در تاسیسات آب و فاضلاب، به دلیل نوظهور بودن بیماری هنوز اطلاعات کاملی برای رفع نگرانی دوم در اختیار بهره‌برداران از این تاسیسات قرار نگرفته است، لیکن نتایج مطالعات و اقدامات قبلی در خصوص ویروس‌های مشابه، هم‌چنین آخرین دستاوردهای تحقیقاتی در مورد ویروس SARS-CoV2 می‌تواند به رفع برخی از این نگرانی‌ها کمک کند.

ویروس SARS-CoV2 از خانواده بزرگ کرونا ویروس‌ها (CoVs) است که برخی از آن‌ها مانند ویروس سندرم تنفسی خاورمیانه (MERS) و ویروس سندروم حاد تنفسی (SARS) قبلاً شناسایی شده‌اند و اطلاعات قابل توجهی در خصوص رفتار آن‌ها در سامانه‌های آب و فاضلاب وجود دارد. این ویروس جزو RNA ویروس‌های لفاف‌دار با اندازه Virion بین ۷۰ تا ۹۰ نانومتر است. مطالعه بار الکتریکی سطح ویروس‌های مشابه SARS-CoV2

نشان داده است که پتانسیل زتای سطح ویروس در pH بالاتر از پنج واحد، به شدت منفی و مشابه اغلب ذرات کلوییدی متداول در آب خام ورودی به تصفیه‌خانه‌های متعارف آب است. لذا به نظر می‌رسد روش‌های متداول انعقاد و لخته‌سازی می‌تواند باعث گیر افتادن بخشی از ویروس‌ها در لخته‌ها و حذف از آب در واحدهای زلال‌ساز و یا فیلترها شود.

براساس تحقیقات انجام شده ویروس SARS-CoV2 متناسب با دمای محیط بین دو ساعت تا ۲۸ روز روی سطوح مختلف ماندگاری دارد و کاهش دما تاثیر قابل توجهی در افزایش این زمان خواهد داشت. علی‌رغم ماندگاری ویروس در آب تاکنون موردی از انتقال بیماری از طریق آب گزارش نشده است. به‌طور کلی ویروس‌های لفاف‌دار به دلیل حساسیت و آسیب‌پذیری پوشش بیرونی نسبت به عوامل محیطی، از پایداری کمتری نسبت به ویروس‌های فاقد لفاف برخوردارند. مطالعات نشان داده است که ویروس SARS-CoV2 در آب آلوده به مدفع بین چند روز تا چند هفته آلوده کننده باقی خواهد ماند. لذا خطر آلودگی به ویروس در تصفیه‌خانه‌های آب سطحی که در بالادست آن‌ها فاضلاب خام تخلیه می‌شود، بسیار زیاد است.

در یک مورد نادر از شناسایی SARS-CoV2 در شبکه آبرسانی، شهرداری پاریس در ۳۱ فروردین ۱۳۹۹ (2020 April 19) خبر از شناسایی ویروس در شبکه آب غیرشرب این شهر داد. قابل ذکر است که منبع تامین آب این شبکه، آب خام رودخانه و کانال بوده و تصفیه آن نیز محدود به آشغالگیری و دانه‌گیری است.

سازمان جهانی بهداشت اعتقاد دارد تصفیه‌خانه‌های متعارف آب دارای فیلتراسیون و گندزدایی می‌توانند ویروس-SARS-CoV2 را به اندازه کافی حذف و یا غیرفعال کنند. اغلب استانداردها و رهنمودهای کیفی آب، حذف ویروس‌ها را به میزان حداقل $4 \log$ (۹۹/۹۹٪) در فرایندهای تصفیه آب، ضروری می‌دانند. علی‌رغم این که به دلیل ایجاد کمپلکس بین کاتیون‌های منعقدکننده و گروه‌های سطحی روی پروتئین‌های غشاء ویروس و گیر افتادن در لخته‌ها، حذفی معادل حداقل $2 \log$ در فرایندهای انعقاد، لخته‌سازی و زلال‌سازی دور از انتظار نیست، به دلیل نوسان در کارایی این واحدها، وظیفه اصلی حذف ویروس در تصفیه‌خانه‌های آب برعهده فرایندهای فیلتراسیون و گندزدایی گذاشته شده است.

نتایج مطالعات قبلی موید حداقل $2 \log$ حذف ویروس‌ها در فرایند فیلتراسیون است. کدورت آب فیلتر شده مهم‌ترین شاخص برای اطمینان از عملکرد کیفی مناسب فیلترها است و مطالعات متعددی نشان داده‌اند برای حذف مناسب عوامل بیماری‌زا،

می‌شود. به عنوان مثال وجود ۰/۵ میلی گرم کلر آزاد باقی مانده پس از ۳۰ دقیقه زمان تماس، این میزان حذف را ایجاد خواهد کرد. در این شرایط، با توجه به حساس تر بودن ویروس SARS-CoV2 نسبت به گندزدایی در مقایسه با ویروس های روده ای، میزان غیرفعال شدن آن در فرایند گندزدایی کافی خواهد بود. در مجموع با توجه به آن چه تاکنون در خصوص ویروس SARS-CoV2 می دانیم، به نظر می رسد با رعایت موارد فوق الذکر نگرانی از انتقال ویروس در تاسیسات آب و فاضلاب حداقل خواهد بود.

کدورت آب فیلتر شده باید کمتر از ۰/۳ NTU باشد. همچنین به دلیل حساسیت و آسیب پذیری ویروس های لفاف دار نسبت به مواد اکسید کننده و حلال ها، گندزدایی با غلظت و زمان تماس مناسب می تواند باعث غیرفعال شدن حداقل $2 \log$ از آنها شود. براساس رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت، حضور ۰/۵ میلی گرم در لیتر، کلر آزاد باقی مانده پس از ۳۰ دقیقه زمان تماس برای غیرفعال سازی ویروس ها در حد مورد انتظار کافی است. در شبکه توزیع آب نیز حفظ همین مقدار کلر آزاد باقی مانده برای اطمینان از عدم وجود ویروس فعال کافی است.

هرچند تاکنون گواهی دال بر انتقال بیماری COVID-19 از طریق فاضلاب وجود ندارد، لیکن وجود ویروس SARS-CoV2 در فاضلاب مناطق درگیر با همه گیری در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است. در این مطالعات باقی مانده RNA ویروس در مدفوع بیماران و همچنین شبکه های جمع آوری فاضلاب شناسایی و جداسازی شده است. این موضوع توجه محققین را به مطالعات اپیدمیولوژی بر پایه فاضلاب WBE جلب کرده است. در این مطالعات براساس غلظت RNA ویروس در فاضلاب و مقایسه با متوسط غلظت آن در مدفوع افراد بیمار، تعداد بیماران در ناحیه تحت پوشش شبکه فاضلاب مورد ارزیابی قرار می گیرد. به دلیل وجود ویروس در مدفوع بیماران از حدود سه روز پس از شروع بیماری، ارزیابی وضعیت کلی شیوع بیماری بسیار سریع تر از روش های متداول خواهد بود. با استفاده از این روش علاوه بر میزان شیوع بیماری، اثربخشی سیاست های کنترلی نیز با سرعت بیشتر و هزینه کمتر مورد ارزیابی قرار می گیرد. لازم به ذکر است که این روش نمی تواند جایگزین تست های انفرادی شناسایی بیمار شود.

برخی منابع خطر انتقال بیماری از طریق آئروسل های تولیدی در بخش های مختلف سامانه جمع آوری و تصفیه فاضلاب را مورد توجه قرار داده اند. مثال هایی از محل های انتشار آئروسل شامل آدم روهای ریزشی در شبکه جمع آوری فاضلاب و هوادهای سطحی در مخازن هوادهی تصفیه خانه های فاضلاب هستند.

مطالعات قبلی نشان داده است برخی واحدها و فرایندهای تصفیه فاضلاب قادر به حذف و یا غیرفعال سازی ویروس ها هستند. به عنوان مثال حذف تا $2 \log$ ویروس در فرایندهای تصفیه ثانویه فاضلاب، بسته به نوع فرایند قابل دسترسی است. لیکن به دلیل پایین بودن قابلیت اطمینان و تاثیر عوامل متعدد روی این میزان حذف، نقش اصلی در تصفیه خانه های فاضلاب برعهده فرایند گندزدایی گذاشته شده است. بدین منظور غلظت و زمان تماس گندزدا برای حداقل $4 \log$ حذف ویروس های روده ای انتخاب

Review Paper

مقاله مروری

**Requirements and Roadmap of Smart
Water Distribution Network**

Shervin Jamshidi*

Assistant Professor of Environmental Engineering-
Water Resources, Department of Civil Engineering,
Faculty of Civil Engineering and Transportation,
University of Isfahan, Isfahan, Iran.

* Corresponding author, Email:
sh.jamshidi@eng.ui.ac.ir

Received: 15/02/2020

Revised: 23/05/2020

Accepted: 02/06/2020

© IWWA

الزامات و نقشه راه هوشمندسازی شبکه توزیع آب

شهری

شروین جمشیدی*

استادیار مهندسی محیط زیست- منابع آب، گروه مهندسی عمران،
دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: sh.jamshidi@eng.ui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Water Distribution Networks (WDN) are amongst the six pillars of smart urban infrastructures which can be managed without or in connection with other smart grids. This research uses an adaptive study to review and compare the approaches and international experiences of smart WDNs. The comparative results initially verify that smart WDN can relatively reduce bursts, leakage, and the reaction time required for operation in comparison with SCADA. In addition, it improves asset management, social awareness about water consumption, the satisfaction of users, water quality, and the revenues of water companies. This study also outlines that smart WDN is a multidisciplinary issue and requires consecutive steps for implementation as described in the Spiral model. This conceptual model is more like a roadmap. It introduces a methodology for upgrading SCADA to smart WDNs and illuminates practical steps, in addition to the short and long term scopes, toward integrated supply and demand management of urban water. Here, the proposed methodology emphasizes pilot studies in different scales and conditions for the validation of integrated software-hardware system prior to any practice.

شبکه توزیع آب یکی از زیرساخت‌های شش‌گانه در شهرهای هوشمند است که می‌تواند به صورت مستقل یا هماهنگ با سایر زیرساخت‌ها مدیریت و بهره‌برداری شود. پژوهش حاضر با انجام مطالعات تطبیقی و بررسی رویکردها و تجربیات بین‌المللی و مقایسه آن با شرایط کنونی در کشور نشان می‌دهد که اولاً شبکه هوشمند توزیع آب شهری نسبت به روش‌های اسکادا از تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار است و می‌تواند ضمن کاهش تلفات آب، زمان عکس‌العمل به وقایع بهره‌برداری را کاهش دهد. به علاوه این رویکرد می‌تواند موجب ارتقای بهره‌وری سیستم و کیفیت آب، بهبود مدیریت تجهیزات، افزایش درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب و در بلندمدت موجب افزایش آگاهی‌های عمومی برای کاهش سرانه مصرف و افزایش رضایتمندی مشترکین شود. ثانیاً این مطالعه تأکید دارد که ارتقای شبکه توزیع آب به سامانه‌های هوشمند موضوعی چندوجهی (فنی، بهره‌برداری، اجتماعی) است و لازم است مطابق مدل مفهومی اسپیرال، چندین مرحله به صورت متوالی انجام شود تا بتوان ادعا نمود شبکه توزیع آب هوشمند شده است. این مدل مفهومی به صورت یک نقشه راه، متدولوژی ارتقای سامانه‌های اسکادا به هوشمند را تبیین نموده و ضمن مرحله‌بندی اقدامات، فرآیند را در راستای مدیریت توان‌عرضه و تقاضای آب شهری به صورت کوتاه‌مدت و بلندمدت هدف‌گذاری می‌کند. هم‌چنین، روش پیشنهادی تأکید دارد که سامانه سخت‌افزاری-نرم‌افزاری ابتدا باید تحت شرایط کنترل شده برای سناریوهای مختلف واسنجی شده و پس از چندمرحله مطالعات پایلوت توسعه داده شود.

Keywords: Adaptive Study, SCADA, Smart Infrastructure, Spiral Model, Water Distribution Network (WDN).

واژه‌های کلیدی: اسکادا، زیرساخت هوشمند، شبکه توزیع آب، مطالعات تطبیقی، مدل اسپیرال.

ثبت شده از پردازش سیستم، تدابیر اجرایی و عملیاتی برای رفع و رجوع آن ارائه کنند. در این روش، سامانه هوش مصنوعی (نرم افزار) پس از برقراری ارتباط از طریق لاگرها و خطوط ارتباطی با سامانه سخت افزاری (شیرآلات در مسیر لوله، شیر فشارشکن، ایستگاه پمپاژ، مخازن و غیره)، به صورت مستمر شبکه را از نظر فشار، دبی و کیفیت آب مورد پایش قرار می دهد. این اطلاعات پس از قرائت های رقومی توسط دستگاه های برخط، و از طریق سامانه های ارتباطی به مرکز داده منتقل می شوند و نرم افزار کالبره شده به صورت دوره ای شبیه سازی کمی و کیفی شبکه آبرسانی را انجام می دهد. در صورتی که وضعیت کیفی یا کمی شبکه از محدوده های تعریف شده فراتر رود یا نوسانات قابل ملاحظه ای از خود نشان دهد، نرم افزار می تواند در مدت زمان کوتاه و به صورت اتوماتیک، دستوراتی را به سامانه های کنترلی نظیر پمپها، فشار شکن ها و یا شیرآلات قطع و وصل جریان ارسال نماید تا با سعی و خطا محل و منشأ بروز حادثه را شناسایی کند. بدیهی است سرعت عمل بیشتر سامانه های هوشمند موجب کاهش هدررفت آب و هدفمند شدن عملیات بهره برداری خواهد شد، به طوری که تیم بهره برداری از محل تقریبی حادثه و شدت آن آگاهی داشته و برای بازرسی و تعمیرات احتمالی اعزام خواهند شد. این روش می تواند با توجه به دشواری ها و محدودیت های مالی- انسانی مربوط به انواع روش های نشت یابی، موجب ارتقای بهره برداری از تأسیسات شده و به کلیه بخش های سامانه آبرسانی، شامل تصفیه خانه آب، شبکه توزیع، مخازن و ایستگاه های پمپاژ توسعه داده شود (Hancke et al., 2013; Kashid and Pardeshi, 2014). بنابراین، یک سامانه هوشمند ایده آل برای تأمین و تصفیه آب شرب شهری شامل یک ساختار یکپارچه نرم افزاری- سخت افزاری است که به عنوان مثال می تواند براساس کیفیت آب در مخازن شهری، میزان دوز ماده منعقدکننده یا زمان شستشوی فیلترها را در تصفیه خانه تنظیم نماید، یا براساس نوسانات مصرف شهروندان، برنامه عملکرد پمپها و زمان ماند آب در مخازن را تنظیم کند.

در حال حاضر در کشور ایران، شرکت های آب و فاضلاب از سیستم های اسکادا^۲ برای کنترل شبکه آبرسانی و اجزای آن استفاده می کنند. هم چنین، در بخش هایی از شهرهای بزرگ مانند تهران و مشهد طی سالیان اخیر سامانه های مخابراتی و اطلاعاتی برای ارسال دستورات برای تنظیم فشار و دبی در شبکه در قالب یک نرم افزار مورد استفاده قرار گرفته اند. اما توجه به این نکته ضروری است که یک سامانه آبرسانی باید بتواند هر پنج لایه فوق را عملیاتی کند تا به اصطلاح هوشمند باشد. به عبارت دیگر بین

شهرهای هوشمند به شهرهایی گفته می شود که در آن ها بهره برداری زیرساخت های شهری مانند بزرگراه ها، خطوط ریلی و حمل و نقل، مدیریت انرژی و توزیع، جمع آوری و تصفیه آب، بر مبنای اطلاعات رقومی برخط بوده و فناوری های اطلاعاتی و مخابراتی (ICT)^۱ برای مدیریت اینگونه داده ها استفاده می شود. در این شرایط انتظار می رود کیفیت و عملکرد خدمات شهری ارتقا یافته و در نتیجه هزینه ها و مصرف منابع مالی، طبیعی و نیروی انسانی کاهش یابد. ویژگی سامانه های هوشمند، پایش مستمر و واکنش فوری نسبت به حوادث و چالش های بهره برداری است. در این راستا، اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۰ مجموعه برنامه هایی را با تمرکز بر ایجاد خلاقیت و سرمایه گذاری در بخش فناوری های اطلاعاتی و مخابراتی آغاز نمود. در این برنامه برآورد شده است که هوشمندسازی قادر است بازاری معادل ۴۰۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۰ داشته باشد و شهرهایی نظیر آمستردام (هلند)، بارسلونا (اسپانیا)، وین (اتریش) و استکهلم (سوئد) از اروپا به همراه سنگاپور به عنوان پیشگامان هوشمندسازی قدم در این حوزه نهاده اند (Lee et al., 2015). مطابق گزارش (Eden Strategy Institute (2018 و براساس شاخص های تعریف شده و امتیازهای اخذ شده در تمامی زمینه های فنی- سیاسی- اجتماعی و اقتصادی، در حال حاضر شهرها با بالاترین امتیاز هوشمندی در دنیا به ترتیب لندن (انگلستان)، سنگاپور، سئول (کره جنوبی)، نیویورک (آمریکا) و هلسینکی (فنلاند) هستند و در رده های بعدی مونترال (کانادا)، بوستون (آمریکا)، ملبورن (استرالیا)، بارسلونا (اسپانیا) و شانگهای (چین) قرار دارند.

پیش زمینه هوشمندسازی در کلیه زیرساخت های شهری، وجود ساختارهای نرم افزاری و سخت افزاری است. به طور معمول هوشمندسازی شامل ۵ لایه متوالی است که لازم است به ترتیب توسعه یابد (Scolnicov, 2011):

۱- لایه فیزیکی (سخت افزاری و تجهیزات)؛

۲- لایه کنترل و پایش آنلاین؛

۳- لایه نصب و راه اندازی دستگاه های مخابراتی و اطلاعاتی؛

۴- لایه جمع آوری، مستندسازی و مدیریت اطلاعات؛

۵- لایه پردازش اطلاعات و ارائه دستور عملیاتی

در شبکه آب شهری، سامانه هایی که لایه های هوشمندسازی پنج گانه فوق را تکمیل کرده باشند قادر خواهند بود به محض وقوع یک حادثه در شبکه، مانند ترکیدگی یا انتشار آلودگی، منشأ رویداد را در مدت زمان کوتاه پیدا کنند و با توجه به بازخوردهای

یک سامانه اسکادا و هوشمند هم‌چنان فاصله بسیار است و لازم است این فاصله برای مجریان تبیین شود. بنابراین، هدف از این پژوهش، تفکیک جایگاه سامانه‌های هوشمند از اسکادا و الزامات اجرایی برای ارتقای سامانه‌های اسکادا به هوشمند است. بدین منظور، این مقاله با استفاده از یک مطالعه تطبیقی^۳ تفصیلی و با توجه به رویکردهای جهانی و اقدامات اجرایی در کشور و در قالب یک نقشه راه، برای نخستین بار مدل مفهومی برای تبیین و تعریف سامانه هوشمند ارائه می‌کند که می‌تواند برای هدفگذاری، ترسیم چشم‌انداز و تبیین متدولوژی در این صنعت مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مطالعات تطبیقی

سامانه‌های هوشمند قادر هستند با تعیین ضریب زبری لوله‌ها، ثبت میزان دفعات بروز حوادث و نشت و با توجه به سابقه اطلاعاتی فشار در شبکه، مناطق آسیب‌پذیر را شناسایی کرده و در اولویت تعویض قطعات (لوله و اتصالات) قرار دهند (Sensus, 2012). هوشمندسازی یک گام فراتر از روش اسکادا است که دارای مزایای زیر خواهد بود:

- ۱- کاهش هزینه‌های مرتبط با مصرف انرژی و عملیات بهره‌برداری برای شناسایی محل حادثه؛
- ۲- کاهش زمان شناسایی محل ترکیدگی لوله و در نتیجه کاهش حجم تلفات آب؛
- ۳- تعیین مقادیر آب بدون درآمد به تفکیک در تمامی مناطق تحت پوشش به صورت برخط؛
- ۴- تعیین شرایط و ضرایب دقیق بهره‌برداری شبکه آبرسانی مانند دبی اوج مصرف و حداقل جریان شبانه، ضریب زبری لوله‌ها، میزان افت‌های طولی و موضعی، زمان ماند آب در شبکه آبرسانی و همبستگی آن با مشخصات کیفی آب؛
- ۵- مدیریت بحران و پدافند غیرعامل در شبکه و تأسیسات آبرسانی؛
- ۶- برآورد خطای قرائت کنتورها به تفکیک مشترکین با توجه به داده‌های قرائت‌شده و شبیه‌سازی‌شده و شناسایی مشترکین پرمصرف؛
- ۷- پایش کیفیت آب (مانند کدورت، کلر و pH) از خروجی مخزن تا ورودی به کنتور مشترکین؛
- ۸- تعیین شرایط بهره‌برداری و حجم آب تصفیه‌شده مورد نیاز با توجه به مصرف و شرایط پیش‌بینی‌شده شبکه؛
- ۹- شفاف‌سازی وضعیت کمی و کیفی آب برای مشترکین و در

بلندمدت فرهنگ‌سازی جهت تنظیم الگوی مصرف. در این خصوص مطالعات انجام شده به صورت مصاحبه و نظرسنجی از خبرگان توسط شرکت (Sensus, 2012) برای ترسیم یک نقشه راه فناوری و تجاری نشان داده است که در حوزه شبکه توزیع آب شهری، بازار سنسورهای پایش برخط و با دقت اندازه‌گیری بازه‌های زمانی کوتاه (مانند ساعتی) برای پارامترهای جریان، فشار، کیفیت و سنجش مصرف آب در افق ۲۰۲۰ نسبت به وضعیت سال ۲۰۰۰ افزایش می‌یابد و بازار سنسورهای اندازه‌گیری حجمی ماهانه (به‌ویژه برای مصرف آب) افت خواهد کرد. این بدان معنی است که بازار زیرساخت‌های سخت‌افزاری با توجه به رویکردهای سنجش آنلاین و هوشمندسازی شبکه حفظ شده و ارتقا خواهد یافت. همین شرکت به‌طور مشابه در یک نظرسنجی و مصاحبه دیگر نشان داده است که رویکردهای آتی در توسعه شبکه‌های توزیع آب شهری و سخت‌افزارهای پایش بیشتر متمرکز بر کاهش نشت، کاهش سرانه مصرف آب و بهبود مدیریت فشار و انرژی خواهد بود که اهداف اصلی هوشمندسازی را شکل می‌دهند (Sensus, 2012). هم‌چنین، مطابق برآورد این شرکت، تلفات شبکه آبرسانی در اروپا در بخش شهری بطور متوسط ۲۰٪ است که سالانه ۱۰ میلیارد دلار خسارت به همراه دارد. کاهش ۵٪ در نشت‌های موجود در شیرآلات و اتصالات^۴ و ۱۰٪ در ترکیدگی‌های لوله^۵ می‌تواند تا ۴/۵ میلیارد دلار در سال صرفه‌جویی به‌همراه داشته باشد. در این خصوص، استفاده از سامانه‌های اسکادا می‌تواند بخشی از این تلفات را کاهش دهد؛ اما هوشمندسازی قادر است این ۱۵٪ را تقریباً به‌طور کامل حذف نماید. زیرا از این توانایی برخوردار است تا ترکیدگی را به سرعت شناسایی کند و دستور بهره‌برداری و تعمیرات را ارسال نماید. هم‌چنین، بخش دیگر هزینه‌های بهره‌برداری شامل مدیریت تجهیزات^۶ است که اگر به‌موقع خرید، بازسازی و تعمیر شوند و از تجهیزات اتوماتیک و برخط برای اعمال دستورات بهره‌برداری استفاده شود می‌تواند در مجموع ۵/۲ میلیارد دلار دیگر نیز در سال در منطقه مورد مطالعه صرفه‌جویی داشته باشد (Sensus, 2012).

Suciu et al. (2017) در قالب یک مطالعه مروری و نظرسنجی از خبرگان در کشور رومانی به این نتیجه رسیدند که بهره‌گیری از هوش مصنوعی در مدیریت و توزیع آب مورد نیاز کشور است و باید در سه مرحله: ۱) گردآوری اطلاعات با استفاده از اینترنت اشیا^۷ و سنسورها؛ ۲) مخابره و پردازش اطلاعات با استفاده از تجهیزات، اینترنت و ابرهای اطلاعاتی^۸ و ۳) تصمیم‌گیری شامل مدیریت تلفات و نشت، مدیریت بهره‌برداری از شبکه، برنامه‌ریزی

به‌روش مثلثیابی منجر به کاهش زمان شناسایی ترکیدگی، حداقل به میزان ۲ ساعت پیش از شناسایی محلی و میدانی شود. دیگر دستاوردهای فنی و عملیاتی هوشمندسازی نسبت به اسکادا در طی ۱۸ ماه مطالعه در کشور استرالیا برای ۸۷ هزار مشترک شامل موارد زیر است (Thompson et al., 2012):

۱- تعدیل ۱۰٪ فشار شبکه و صرفه‌جویی معادل ۲۰ میلیون دلار ناشی از کاهش نیاز به تأسیس و اجرای زیربنای جدید برای ۴ سال آتی؛

۲- کنترل نشت و ترکیدگی لوله‌ها تا ۲۵٪ و کاهش ماهانه ۴۰۰ مورد حوادث در شبکه آبرسانی؛

۳- افزایش دقت در قرائت مصرف آب و صدور قبوض بین ۵۰ تا ۹۰٪ (وابسته به منطقه و کیفیت کنتورها) و کاهش زمان قرائت پارامترهای کمی و کیفی شبکه آبرسانی به کمتر از ۱۵ دقیقه و افزایش دقت تا ۹۹٪ در این زمینه.

در همین راستا در شهر ملبورن استرالیا به‌طور خاص با جمعیت ۱/۶ میلیون نفر (بیش از ۶۰۰ هزار مشترک)، پس از گذشت سه ماه از اجرای هوشمندسازی، نسبت به روش اسکادا تا ۱۱٪ صرفه‌جویی در مصرف آب معادل سالانه ۳/۸ میلیون مترمکعب حاصل شده است. همچنین، در طی یک سال، تا ۲۷۰ مورد انتقادات درخصوص قرائت ناصحیح کنتور و صدور قبوض آب کاهش یافته و زمان شناسایی ترکیدگی لوله و تعمیر خطوط که پیشتر توسط اسکادا تا ۱۴ روز گزارش شده بود، در برخی موارد به کمتر از نصف روز می‌رسد. این نکته حائز اهمیت است که مطابق همین نتایج برآورد شد میزان صرفه‌جویی ۱۱٪ در مصرف آب به روش هوشمندسازی می‌تواند نیاز شهر به ارتقای تصفیه‌خانه آب را تا ۷ سال و شبکه آبرسانی را تا ۵ سال آتی رفع نماید و در مجموع ۱۰ میلیون دلار هزینه ساخت و ۳ میلیون دلار هزینه بهره‌برداری سالانه را کاهش دهد.

Kumura et al. (2015) گزارشی از توسعه یک مدل هوشمند با همکاری امپریال کالج لندن ارائه نموده‌اند که در آن پیش‌بینی شده است مجموع هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از شبکه آب آشامیدنی در کشور ژاپن از ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۵ در حدود ۲/۳ برابر رشد می‌کند که در صورت بهره‌گیری از سامانه‌های هوشمند توزیع آب آشامیدنی می‌تواند تا ۱۰ میلیارد دلار (سال ۲۰۲۵) معادل ۲۵٪ هزینه‌های کل ساخت و بهره‌برداری از شبکه و بیش از ۵۰٪ هزینه‌های بهره‌برداری شبکه توزیع آب آشامیدنی در آن کشور را کاهش داد. در این پژوهش مشترک با کشور ژاپن با استفاده از مطالعات سخت‌افزاری (پایلوت) و نرم‌افزاری، پدیده ضربه قوچ ناشی از باز و بسته شدن سریع شیرها در شبکه آبرسانی بصورت

برای تأمین و تصفیه آب و مدیریت تقاضا انجام شود. همچنین Fantozzi et al. (2014) از همین ساختار و متدولوژی برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهر میلان از نظر مصرف انرژی استفاده کردند. آن‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار توسعه‌یافته و سامانه‌های تصمیم‌گیری پشتیبان^۱ گزینه بهینه و برنامه عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ و شیرهای فشارشکن را تعیین نمودند.

Hajebi et al. (2013) تأکید دارند که هوشمندسازی مبتنی بر داده‌ها و فناوری ارتباطات یک فرآیند مخابراتی دوطرفه است که باید در آن داده‌ها گردآوری و مخابره شده و پس از پردازش، بازخوردهای آن در قالب پیش‌بینی و فرمان به سامانه مجدداً مخابره شود. این فرآیند باید به‌صورت مداوم انجام شود درحالی‌که در بسیاری از کشورها فناوری‌های مورد استفاده صرفاً محدود به سامانه‌های اسکادا شده است که فرآیند هوشمندسازی را به‌صورت یک سامانه یک‌طرفه و محدود انجام می‌دهد. در این شرایط بهینه‌سازی کیفی و مصرف انرژی نمی‌تواند با کارایی بالا صورت پذیرد. این موضوع به‌طور مشابه در سامانه‌های توزیع برق در مناطق شهری نیز پیشنهاد شده است تا از طریق یک شبکه هوشمند^{۱۰} بتوان به‌صورت دوطرفه از نیروگاه به مصرف‌کننده و برعکس توزیع برق داشت. این موضوع باعث افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات، کاهش فشار بر منابع تأمین‌کننده انرژی، بهبود رضایت مصرف‌کنندگان، ارتقای عمر تأسیسات و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود. به‌علاوه، امکان ایجاد اشتغال و رونق تولید داخلی در زمینه‌های ساخت سنسورها و تجهیزات، مدیریت و امنیت شبکه، بهره‌برداری و ارتقای سامانه‌های مخابراتی فراهم می‌شود (Gungor et al., 2012).

براساس نتایج مطالعه Thompson et al. (2012) در کشور استرالیا مشخص شد که استفاده از سامانه نرم‌افزاری ساخت شرکت TakaDu و سرور آمازون در شهرهای این کشور توانسته است نسبت به روش اسکادا صرفه‌جویی بالغ بر ۳۵٪ در مصرف آب به‌همراه داشته باشد. این در حالی است که هوشمندسازی حتی می‌تواند به‌همین نسبت به درآمدهای ناشی از تبدیل آب بدون درآمد به آب قابل فروش کمک نماید. در این مطالعه همچنین برآورد شده است که هرچند راه‌اندازی سامانه‌های هوشمند به‌دلیل نیاز به تجهیزات آنلاین، مخابراتی و نمونه‌برداری بین ۱۰ تا حداکثر ۲۵٪ به هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات آبرسانی می‌افزاید. اما قادر است تا ۳۰٪ از هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی و پرسنل بهره‌برداری، تعمیرات و نگهداری شبکه، مصرف انرژی، مصرف مواد شیمیایی (مانند کلر) و پایش شبکه کم کند. همچنین، هوشمندسازی شبکه توانسته است

شده معادل مجموع هزینه‌های مربوط به آب‌شیرین‌کن‌ها، میزان مصرف انرژی و پمپاژ آب است (Larrauri, 2011).

هوشمندسازی و بهره‌گیری از سامانه‌های اندازه‌گیری برخط، همچنین این امکان را فراهم می‌سازد تا کارشناسان و محققین با استفاده از داده‌ها و سری زمانی آن‌ها بتوانند با الگوهای مختلف، مانند روش‌های آماری (McKenna et al., 2014)، الگوی مصرف و تقاضای آبی شهروندان را بررسی نموده و طبقه‌بندی نمایند. به‌عنوان مثال، این امکان فراهم می‌شود که الگوی مصرف بخش تجاری و مسکونی از یکدیگر تفکیک شده و در بلندمدت پایداری این الگوی مصرف کنترل شود.

براساس یک نظرسنجی و مصاحبه مفصل انجام شده در دو کشور استرالیا و نیوزیلند با دست‌اندرکاران و خبرگان صنعت آب شامل ۴۸ شرکت ساخت و بهره‌برداری با قابلیت سرویس‌دهی بالغ بر ۶ میلیون مشترک مشخص شد که ۸۰٪ این صنعت در زمان نظرسنجی فعال بوده و ۶۶٪ برای یک‌سال آینده خود پروژه در دست اجرا یا بهره‌برداری دارند. اکثر پروژه‌های مطالعاتی در این بازار با هدف مدیریت و ارتقای عمر تجهیزات آبرسانی از طریق شناسایی زمان حداکثر مصرف و مدیریت تقاضا تعریف شده است و پروژه‌های اجرایی نیز متمرکز بر افزایش دقت تجهیزات و سنجش‌گرها است. بدین منظور پروژه‌های مطالعاتی برای کاهش عدم‌قطعیت ناشی از سنجش و پردازش اطلاعات اکثراً (۵۱٪) به‌صورت دوطرفه، یعنی با استفاده از بازخورد مصرف مشترکین تعریف شده‌اند. اقدامات انجام شده از سال ۲۰۱۴ در این کشورها توانسته است آگاهی عمومی را نسبت به الگوی مصرف آب ارتقا داده و رضایتمندی بیشتر مشترکین را به‌همراه داشته باشد. به‌عنوان نمونه دو شرکت خدماتی در حوزه توزیع آب، میزان کاهش مصرف آب مشترکین در بلندمدت ناشی از افزایش آگاهی و بهبود الگوی مصرف را بیش از ۱۰٪ گزارش کرده‌اند (Beal and Flynn, 2014).

Harou et al. (2014) در قالب پروژه SmartH₂O (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷) در کشورهای انگلستان و سوئیس امکان بهره‌مندی از یک پلتفرم مخابراتی را بررسی نمودند که در آن با استفاده از شبکه‌های اجتماعی همراه با سامانه‌های اندازه‌گیری و سنسورهای برخط بتوان قیمت‌گذاری و تعرفه‌گذاری هوشمند آب را برای مدیریت بهتر مصرف و تقاضا و تغییر الگوی رفتاری مصرف آب خانوارها عملیاتی نمود. در این پژوهش تأکید شده است که شفاف‌سازی داده‌های آنلاین از میزان مصرف و کیفیت آب می‌تواند در مدیریت خدمات و بالطبع تعرفه‌گذاری خدمات و تغییر الگوی مصرف اثرگذار باشد. به‌طور مشابه، Nguyen et al. (2018)

پایلوت تست شده و با استفاده از سنسورهای مکانیکی و براساس تغییرات فشار آب و لرزش‌های ثبت شده، زمان و محل ترکیدگی پیش‌بینی شده و تشخیص داده شده است. در این مطالعات شبکه آبرسانی ابتدا به‌صورت پایلوت آزمایشگاهی بررسی شده و مسائلی همچون ترکیدگی لوله و کیفیت آب به‌عنوان هدف مدنظر قرار گرفته است تا نرم‌افزار فرمان توسعه یابد. این موضوع همچنین به‌طور مشابه در سال‌های قبل در همین کشور توسط شرکت هیتاچی نیز مورد بررسی قرار گرفته بود؛ زیرا بخش قابل‌ملاحظه‌ای از آب شرب شهرهای ژاپن از سامانه‌های نمک‌زدایی تحت مدیریت این شرکت تأمین می‌شود و بهینه‌سازی کمی و کیفی آب و کاهش هدررفت و تلفات در مسیر انتقال می‌تواند برای این شرکت با توجه به هزینه‌های تصفیه و بازچرخانی آب ارزش افزوده به‌همراه داشته باشد (Mizuki et al., 2012).

در طرح هوشمندسازی آبرسانی بخشی از کانزاس آمریکا با جمعیت ۲۸۰۰۰ نفر و ۱۱۰۰۰ مشترک (سال ۲۰۱۰)، این امکان فراهم شد که با سرمایه‌گذاری اولیه معادل تقریباً ۳۰۰ دلار برای هر مشترک برای تعویض کنتورها و نصب سامانه‌های مخابراتی، بازه قرائت کنتورها از دوره‌های ماهانه به دوره‌های ساعتی کاهش یابد. این ظرفیت به تنهایی توانست زمینه‌ساز تعرفه‌گذاری عادلانه آب در این شهر براساس میزان مصرف نسبت به پیک ساعتی و فشار شبکه شود و موجب بازگشت سرمایه اولیه در طی ۳ سال شد (وزارت نیرو، ۱۳۹۶).

مطابق مطالعات انجام شده در کشور سنگاپور توسط Whittle et al. (2013)، هوشمندسازی بخشی از شهر سنگاپور با استفاده از تحلیل‌های دوره‌ای نرم‌افزار و ارائه بازخوردها توانست در طی چند ساعت، چندین نشت کوچک و یک ترکیدگی بزرگ را شناسایی کند که در روش متعارف اسکادا شناسایی نشده بود. به‌طور مشابه مطالعات انجام شده در شهر Belo Horizonte برزیل نشان داده است که در محدوده مورد مطالعه با ۶ میلیون نفر جمعیت و ۴۰ هزار کیلومتر شبکه آبرسانی، سامانه هوشمند نسبت به سامانه متعارف اسکادا توانسته است تا ۱۴٪ زمان عکس‌العمل به ترکیدگی لوله‌ها را کاهش دهد. همچنین زمان تعمیرات و اتلاف آب در شبکه تا ۳۳٪ نسبت به روش اسکادا کاهش یافته است (Larrauri, 2011). در برآورد انجام شده در کشور قطر با جمعیت شهری (دوحه) معادل ۱/۴ میلیون نفر و ۲۵۰۰ کیلومتر شبکه آبرسانی، پیش‌بینی شده است پس از هوشمندسازی طی ۴ سال، میزان آب بدون درآمد به نصف کاهش یابد که معادل سالانه صرفه‌جویی مالی در حدود ۱۴ میلیون یورو است. هزینه محاسبه

هوشمند نشان داده شده است که استفاده از این سامانه علیرغم هزینه اولیه ۸۰۰۰ دلاری می‌تواند با کاهش حجم آب براساس رطوبت خاک و نیاز آبی، هزینه مورد نیاز برای آبیاری هر واحد درخت را در حدود ۶۰٪ کاهش دهد (وزارت نیرو، ۱۳۹۶).

در داخل کشور ایران اقدامات بسیاری در راستای هوشمندسازی شبکه‌های توزیع آبرسانی شهری انجام شده است اما نمی‌توان ادعا نمود سامانه‌های ارتقا یافته به مرحله هوشمند رسیده است. بسیاری از مطالعات نشان داده است که تجهیز شبکه به شیرهای مانور برای منطقه‌بندی شبکه^{۱۱} و مدیریت فشار با استفاده از سنسورهای برخط و ارسال اطلاعات از طریق دستگاه‌های مخابراتی و تنظیم این پارامتر به‌صورت ساعتی و روزانه توسط بهره‌بردار در اتاق کنترل توانسته است موجب ارتقای قابل‌ملاحظه شرایط بهره‌برداری از تأسیسات موجود شود (جمشیدی و اکبرزاده، ۱۳۹۲). به عبارت دیگر اکثر طرح‌های اجرا شده در کشور با سامانه‌های سخت‌افزاری و پایش برخط توسعه یافته است که از جمله بارزترین نمونه‌ها می‌توان به پروژه طرح جامع تله‌متری شهر مشهد اشاره کرد. در این طرح تا سال ۱۳۹۵ (با پیشرفت ۶۵٪) مجموعه‌ای از ۱۷۰ حلقه چاه و ایستگاه پمپاژ به سامانه اسکادا و تصفیه‌خانه آب شماره یک، مخازن شهری و ۱۵۰ نقطه کلیدی شبکه توزیع آب به سامانه‌های پایش سخت‌افزاری مجهز شده‌اند و در مراحل آتی با مدیریت فشار (به‌صورت نیمه‌هوشمند) شبکه مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در این سامانه مؤلفه‌های کمی و کیفی در شبکه مانند فشار، دبی، سطح آب مخازن، کدورت و غلظت کلر به‌صورت برخط پایش می‌شوند (جمشیدی، ۱۳۹۸).

در شهر اصفهان نیز با هدف کنترل و مدیریت فشار و توزیع عادلانه آب در شبکه توزیع بیش از ۶۰ ایستگاه (اصلی و فرعی) از نظر سخت‌افزاری مجهز به تأسیسات پایش و مخابره برخط اطلاعات شده‌اند که در مرکز تله‌متری ضمن نمایش این اطلاعات، مشابه شهر مشهد، می‌توان قابلیت‌هایی نظیر آرشیوگیری، نمایش اخطار، کنترل از راه دور تجهیزات و غیره را در اختیار تیم بهره‌برداری قرار داد. این مورد به‌طور مشابه در شهر قم نیز با تجهیز سخت‌افزاری بیش از ۶ مخزن آب و ۴۴ شیر فشارشکن برای اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی (شامل کدورت، کلر، EC و pH) انجام شده است (جمشیدی، ۱۳۹۸). هم‌چنین انجام این‌گونه اقدامات اجرایی در مناطق دو و پنج آب و فاضلاب شهر تهران در سال‌های گذشته توانسته است بخش قابل‌ملاحظه‌ای از نشت شبانه را ردیابی کرده و به کاهش تلفات آب از طریق مدیریت فشار کمک شایانی نماید. به عنوان مثال در منطقه پنج، در یک

نشان دادند که چگونه مجموعه اطلاعات و داده‌های مدیریتی را می‌توان از یک نرم‌افزار توسعه‌یافته (Autoflow©) استخراج نمود. به عنوان نمونه، با شناسایی ساعات حداکثر مصرف براساس داده‌های برخط و در اختیار مشترکین بودن این‌گونه خروجی‌های نرم‌افزار، می‌توان انتظار داشت برخی فعالیت‌ها از طرف خود مشترکین کنترل شده و الگوی مصرف ارتقا یابد. در این ساختار، هر مشترک از میزان تقریبی مصرف آب در فعالیت‌های مختلف خانگی مطلع شده و فعالیت‌های نیازمند مصرف بالای آب یا غیرضروری را به ساعات دیگر و غیرپیک موکول می‌کند. این موضوع به‌طور مشابه در حوزه برق و انرژی نیز کاربرد دارد.

در طرح اجرایی هوشمندسازی کامل شبکه آبرسانی منطقه Fountain Valley در کالیفرنیا آمریکا (سال ۲۰۱۶) با جمعیتی در حدود ۵۵۰۰۰ نفر، مشاهده شد که استفاده از ظرفیت‌های هوشمندسازی در شفاف‌سازی میزان مصرف مشترکین و آگاهی‌بخشی به آن‌ها به‌صورت برخط به‌همراه ارائه برنامه‌های تشویقی و جرایم توانسته است در ماه‌های اولیه طرح تا ۲۳٪ صرفه‌جویی در مصرف آب در پی داشته باشد و در بلندمدت موجب کاهش سرانه مصرف آب هر شهروند به میزان ۶۰ لیتر شود (گزارش وزارت نیرو، ۱۳۹۶). به‌طور مشابه در شهر دوبوک (ایالت آیوا آمریکا) در سال ۲۰۱۰ با جمعیت ۶۰ هزار نفر و ۲۳ هزار مشترک، نتایج پایلوت تحقیقاتی نشان می‌دهد در مدت ۳ ماه، به دلیل اطلاع مشترکین از وضعیت آب به‌صورت برخط و تنظیم الگوی مصرف برای آبیاری فضای سبز و شستشو، نیاز آبی تا ۷٪ با هوشمندسازی شبکه کاهش یافت. در سال ۲۰۰۹ در شهر ردوود (ایالت کالیفرنیا آمریکا) با ۸۳ هزار مشترک نیز همین روش پایش برخط و اطلاع از وضعیت موجود توسط مشترکین توانسته است تا ۱۵٪ از نیاز آبی فضای سبز کسر نماید (Veolia, 2013).

سامانه‌های هوشمند در تصفیه‌خانه‌های آب و حتی فاضلاب نیز قابل استفاده هستند و می‌توانند موجب ارتقای کیفی و افزایش بهره‌وری سیستم شوند. در یک پروژه عملیاتی در تصفیه‌خانه فاضلاب در کشور اسپانیا با همکاری شرکت IBM (2014)، هوشمندسازی کامل (شامل نصب و بهره‌برداری از سنسورهای سنجش کمیت و کیفیت پساب همراه با الگوریتم‌های تصمیم‌گیری) توانست با تنظیم اتوماتیک اکسیژن محلول، دما، میزان تزریق ماده شیمیایی و پمپاژ لجن برگشتی، میزان مصرف انرژی و مواد شیمیایی در فرآیند تصفیه را تا ۱۴٪ کاهش دهد و لجن تولیدی نیز ۱۷٪ کاهش یابد (وزارت نیرو، ۱۳۹۶). در یک پروژه کوچک‌مقیاس در کالیفرنیا آمریکا در سال ۲۰۱۶ در سطح یک مزرعه برای آبیاری ۹۰۰ درخت آووکادو با سامانه‌های

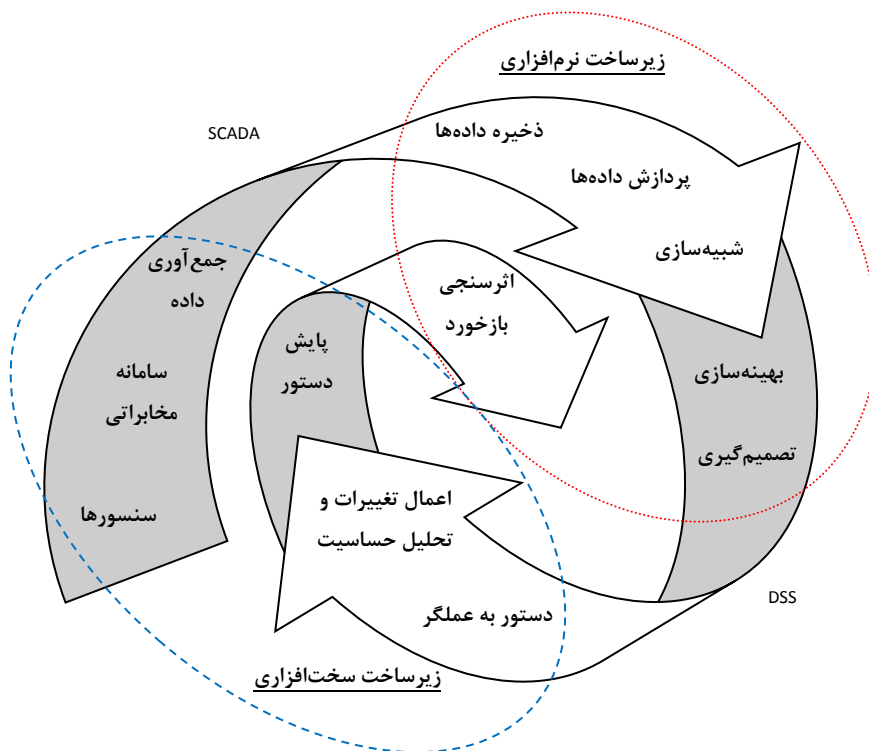
ناحیه با دو شیر فشارشکن و یک هفته عملیات این امکان فراهم شده است تا ضمن شناسایی نشت شبانه، مقدار آن تا ۲۰٪ (معادل تقریبی ۱۵۰۰ مترمکعب در روز) با یک مانور کاهش یابد (جمشیدی، ۱۳۹۳).

با مقایسه رویکردهای بین‌المللی و توانمندی‌ها و پروژه‌های اجرایی داخل کشور در حوزه هوشمندسازی شبکه آبرسانی شهری، دو جنبه حائز اهمیت است که فاصله وضعیت موجود تا ایده‌آل را ترسیم می‌نماید. اولاً نکته مشترک بین تمامی نمونه‌ها و طرح‌های اجرا شده در کشور این است که این‌گونه سامانه‌ها به‌صورت نیمه‌هوشمند هدایت و کنترل می‌شوند، به‌گونه‌ای که اعضا و پرسنل بهره‌برداری از سامانه بازخورد گرفته و دستور عملیات را به‌صورت دستی^{۱۲} وارد می‌کنند. در صورتی‌که سامانه‌های مناسب تصمیم‌گیری پشتیبان به این تأسیسات به‌صورت مناسب اضافه شود، به‌گونه‌ای که خود سیستم بعد از پردازش اطلاعات ورودی و شبیه‌سازی وضعیت کنونی شبکه، بازخورد و دستورات لازم را به تجهیزات ارسال نماید، می‌توان انتظار داشت شبکه توزیع آب شهری هوشمند شده باشد. ثانیاً هوشمندسازی، به‌ویژه در گام‌های نخست آن نیازمند تجهیز شبکه به سخت‌افزارها، انجام مطالعات پایلوت و واسنجی نرم‌افزارها است که هزینه اولیه بالایی را می‌طلبد که با توجه به تعرفه‌های کنونی آب شرب باصرفه به‌نظر نمی‌رسد و ممکن است از اولویت خارج شود. اما این موضوع زمانی اهمیت دوچندان می‌یابد و در اولویت قرار می‌گیرد که شهر با محدودیت شدید منابع آبی مواجه شود و مسائل امنیتی-اجتماعی گریبانگیر آن شود یا منبع تأمین آن از طریق روش‌های پرهزینه‌تر مانند نمک‌زدایی باشد که هزینه‌های به مراتب بالاتری را می‌طلبد.

۳- متدولوژی هوشمندسازی

با توجه به رویکردها و تجربیات بین‌المللی، مراحل هوشمندسازی در قالب یک مدل مفهومی اسپایرال مطابق شکل ۱ نمایش داده شده است. در این شکل مشخص است که گام نخست هوشمندسازی، نصب و راه‌اندازی سنسورها و تجهیزات مخابره اطلاعات کمی و کیفی آب است. در مرحله دوم، اطلاعات در پایگاه‌های داده ثبت و ذخیره می‌شود تا براساس روند و سری زمانی پارامترهای سنجش‌شده، پردازش لازم از شرایط موجود و پیش‌بینی احتمالی میسر شود. حسب گزارش‌های موجود، بسیاری از تأسیسات آبرسانی در شهرها توانسته‌اند خود را تا این مرحله هوشمندسازی ارتقا دهند. اما لازم است توجه شود که

هوشمندسازی شامل چندین مرحله است که از ویژگی تکرارپذیری برخوردار است و در هر تکرار می‌تواند خود را توسعه داده و تکامل بخشد. برای تشریح این موضوع، مدل مفهومی اسپایرال می‌تواند به‌خوبی یک فرآیند هوشمندسازی شبکه آبرسانی را نشان دهد. براین اساس در مرحله سوم، داده‌ها توسط نرم‌افزارهای مربوطه برای شبیه‌سازی و پردازش استفاده می‌شوند که با تلفیق مدل‌های شبیه‌سازی با سامانه‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توان از ظرفیت سامانه‌های تصمیم‌گیری پشتیبان، مشابه مطالعات غیبی و همکاران (۱۳۹۶) و خلیفه و همکاران (۱۳۹۷)، گزینه‌های بهینه را استخراج نمود. در این مرحله اپراتور صرفاً یک جایگاه نظارتی دارد و برعکس روش‌های متعارف نیازی نیست تا خودش تصمیم‌گیری انجام دهد. بنابراین، ساختار هوشمند نسبت به اسکادا می‌تواند سرعت پردازش و تصمیم‌گیری بالاتر و در عین حال بهینه‌سازی دقیق‌تری را با در نظر گرفتن پارامترها و توابع هدف بیشتر به همراه داشته باشد. به‌عنوان مثال، انتخاب گزینه بهینه بهره‌برداری برای دستیابی به: ۱) مصرف انرژی کمتر؛ ۲) فشار مناسب؛ ۳) کیفیت مناسب؛ ۴) حداقل سازی تلفات و نشت و غیره می‌تواند صرفاً با استفاده از پردازشگرهای رایانه‌ای انجام پذیرد. به‌عبارتی سامانه هوشمند قادر است در زمان کوتاه‌تر و با سعی و خطای کمتر، شرایط سیستم را به شرایط مطلوب نزدیک‌تر نماید. برای این منظور لازم است در مرحله چهارم، تصمیم اتخاذ شده به عملگرها در تجهیزات کنترلی، مانند شیرآلات و پمپ‌ها، منتقل شود و بازخورد این تصمیم توسط سنسورها و سامانه‌های مخابراتی پایش شود تا بازخورد و تأثیر تصمیم اتخاذ شده ارزیابی شود. در این مرحله همچنین می‌توان اثر میان‌مدت و بلندمدت تصمیمات اخذشده را از طریق بازخورد مشترکین نیز ارزیابی نمود. توسعه نرم‌افزاری این ظرفیت را فراهم می‌کند تا از طریق اپلیکیشن‌ها ضمن ارسال وضعیت کمی و کیفی آب شرب به مشترکین، بازخورد و رضایتمندی آن‌ها را نیز به‌صورت برخط ثبت نماید. این موضوع به‌طور ضمنی مطابق مطالعات بین‌المللی انجام شده می‌تواند موجب آگاهی‌بخشی اجتماعی و در نتیجه مدیریت و کاهش مصرف آب و بهبود الگوی رفتاری مشترکین در بلندمدت شود. زمان موردنیاز برای شناسایی مشکلات شبکه، شبیه‌سازی و مدیریت خودکار آن در قالب مدل مفهومی اسپایرال تابعی از وسعت منطقه، تعداد نقاط پایش، دقت سنسورها، زمان و تواتر پایش، تواتر پردازش و توان پردازنده‌ها است. مطابق مطالعات انجام شده این زمان بین چند دقیقه تا چند ساعت گزارش می‌شود که بسیار سریع‌تر از روش‌های متعارف و یا روش‌های صرفاً مبتنی بر اسکادا است.



شکل ۱- مدل مفهومی اسپایرال هوشمندسازی تأسیسات آبرسانی

آشامیدنی توسعه داده شود. نهایتاً با توسعه زیرساخت‌ها و گذار هوشمندسازی از حلقه‌های برونی مدل اسپایرال به حلقه‌های درونی می‌توان هدفگذاری بلندمدت هوشمندسازی را بر اصلاح تعرفه‌گذاری آب، اصلاح الگوی مصرف و کاهش سرانه مصرف آب خانوارها و واحدهای تجاری قرار داد. این رویکرد موجب گذار از مدیریت عرضه به مدیریت تقاضا در توزیع آب می‌شود (شکل ۲).

با استفاده از مدل اسپایرال و ظرفیت‌های فنی- اجتماعی هوشمندسازی شبکه آبرسانی، می‌توان هدفگذاری طرح‌های مرتبط با این موضوع را مطابق لایه‌بندی ارائه شده در شکل ۲ در نظر گرفت. به عنوان مثال، هدف کوتاه‌مدت هوشمندسازی همان کاهش تلفات و آب بدون درآمد در تأسیسات آبرسانی است؛ اما در ادامه این هدف‌گذاری می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت تجهیزات و افزایش عمر آن‌ها، و ارتقای کیفیت آب



شکل ۲- اهداف کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت هوشمندسازی برای عبور از مدیریت عرضه به تقاضا

برای دستیابی به این اهداف لازم است در وهله اول سرمایه‌گذاری لازم در بخش تجهیزات و ابزار دقیق صورت پذیرد تا بتوان بر این اساس توسط دستگاه‌های قرائت آنلاین، مجموعه اطلاعات بصورت جامع، پیوسته و دیجیتال از سامانه حاصل شود. ثانیاً نرم‌افزار مدیریت سامانه هوشمند باید با دقت تهیه شود و مشخصاتی از قبیل جامع‌نگری، کاربردوست بودن و کمترین خطا و توقف را به همراه داشته باشد. در ضمن باید این نرم‌افزار پس از عملیاتی شدن به‌صورت پایلوت، مراحل آموزش، تست و واسنجی را سپری کرده باشد و با سامانه سخت‌افزاری موردنظر تطابق پیدا کند. بدین منظور نرم‌افزار توسعه‌یافته باید بتواند از بازخوردهای موجود برای (۱) ارتقای عملکرد خود و (۲) تدقیق نتایج بهره‌برداری از شبکه آبرسانی استفاده نماید. بنابراین، توسعه مدل شبیه‌سازی-تصمیم‌گیری یک فرآیند چند مرحله‌ای است که در نهایت پس از تکمیل بخش سخت‌افزاری، باید در شرایط مختلف بهره‌برداری نرم‌افزار آزمایش شده و نتایج هر دوره آزمایش به‌عنوان سابقه عملکردی به سامانه تزریق شود. بدیهی است پس از انجام سعی و خطا و تعیین بازخوردهای مختلف از سامانه آبرسانی تحت شرایط کنترل‌شده و در قالب مطالعات پایلوت، می‌توان عملکرد نرم‌افزار را بررسی نموده و عدم قطعیت و نقاط ضعف را تحلیل کرد. در این شرایط می‌توان تصمیم گرفت آیا سامانه برای اجرا در محیط واقعی از شرایط اولیه لازم برخوردار است یا خیر.

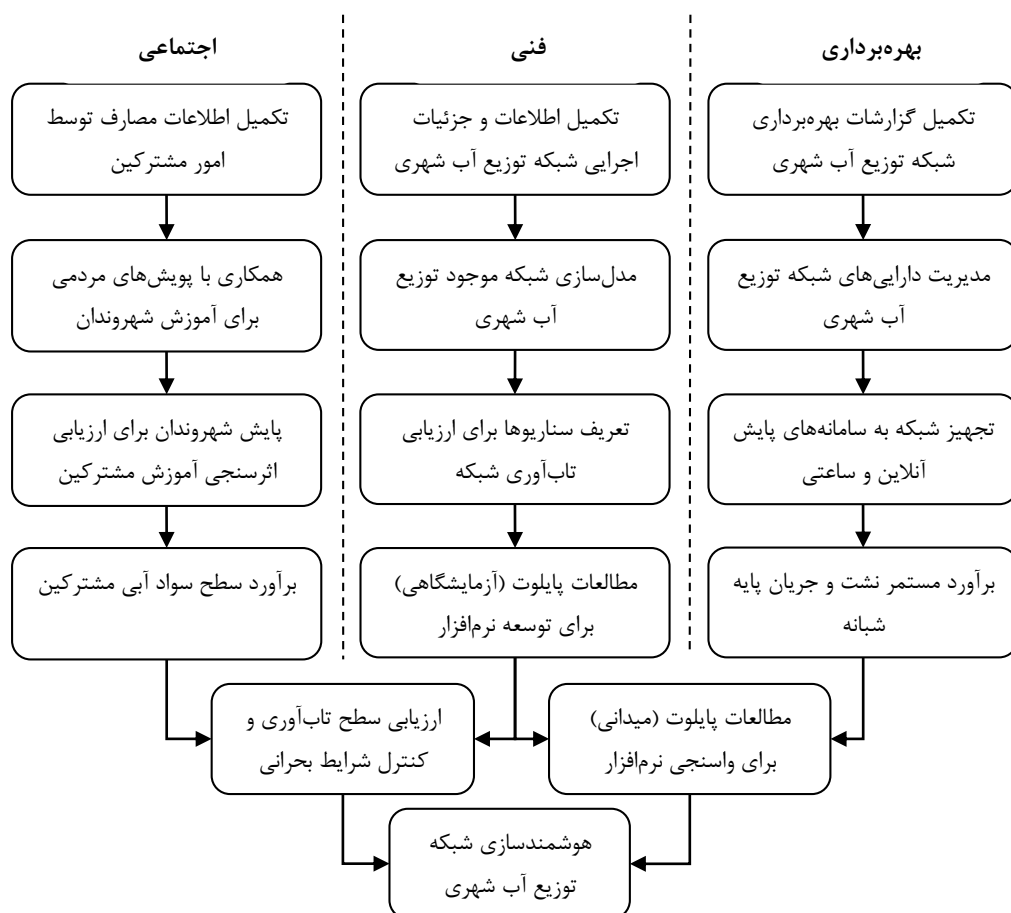
هوشمندسازی شبکه آبرسانی شهری یک موضوع چندوجهی است. از نظر فنی، توسعه یک سامانه هوشمند سخت‌افزاری-نرم‌افزاری در کشور نیازمند مطالعات پایلوت پیش از اجرای میدانی آن در سطح منطقه است. از آنجایی که در این سامانه، به‌طور کلی مسئولیت بهره‌برداری از شبکه و تعیین شرایط بهینه راهبری مطابق یک دستورالعمل توسط فرآیند تصمیم‌گیری نرم‌افزار صورت می‌گیرد، همواره این ریسک وجود دارد که بنابر یک تصمیم اشتباه و نسنجیده این سامانه‌ها ناشی از ضعف نرم‌افزار، واسنجی نادرست و یا برآورد اشتباه، میزان نارضایتی مشترکین و یا مشکلات کیفی آب به‌طور ناخواسته افزایش یابد. استفاده نامناسب از این سامانه‌ها به‌طور مستقیم می‌تواند ضمن تهدید سلامتی مردم، منجر به افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و مصرف انرژی شود. لذا پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی سامانه‌های هوشمند و سیستم‌های تصمیم‌گیری، مطالعه به‌صورت پایلوت در دو سطح انجام پذیرد. در سطح اول، در قالب مطالعات کوتاه‌مدت، به‌صورت آزمایشگاهی یک یا چند حلقه شبکه آبرسانی تحت شرایط کنترل شده با تمامی تجهیزات لازم طراحی و اجرا شود. در این سطح، تمامی آیتم‌های لازم برای مدیریت جامع شبکه

آبرسانی برای نرم‌افزار تعریف شده و کلیه سناریوهای لازم بصورت کنترل شده آزمایش می‌شود. هدف از این بررسی، توسعه یک مدل شبیه‌سازی-تصمیم‌گیری و واسنجی آن است. در سطح دوم و در قالب مطالعات میان‌مدت، پیشنهاد می‌شود ابتدا به موازات مطالعات سطح اول، یک منطقه شهری به تأسیسات سخت‌افزاری مورد نیاز تجهیز شده تا پس از تأیید نرم‌افزار توسعه‌یافته، در مقیاس واقعی مورد آزمایش قرار گیرد. در این مرحله، اطلاعات رقومی اخذشده از شبکه برای واسنجی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۳).

در شرایط پایلوت این امکان میسر خواهد بود که کلیه شرایط بهره‌برداری تست شود. به‌عنوان مثال، موارد زیر تحت سناریوهای مختلف در سامانه هوشمند قابل تعریف بوده و بازخورد سیستم بررسی خواهد شد:

- ✓ استفاده از انواع لوله‌ها و اتصالات با جنس مختلف و عمر و کارکرد متفاوت؛
- ✓ استفاده از پمپ‌های دور متغیر، شیر فشار شکن و شیرآلات برقی برای تنظیم دبی و فشار شبکه؛
- ✓ کنترل شرایط ترکیدگی بزرگ و ترکیدگی‌های کوچک (استفاده از شیر تخلیه)؛
- ✓ درنظر گرفتن نوسانات مصرف آب در طی شبانه‌روز؛
- ✓ وجود خطای قرائت کنتور و تعیین میزان عدم قطعیت مدل شبیه‌سازی.

هم‌چنین، هوشمندسازی شبکه آبرسانی با استفاده از ظرفیت‌های نرم‌افزاری خود می‌تواند نهایتاً بازخوردهای اجتماعی و مردمی از طرح اجرا شده را در اختیار داشته باشد. بدین منظور، رضایتمندی و آگاهی خانوارها نسبت به میزان مصرف و مؤلفه‌های دیگر توزیع آب آشامیدنی (مانند کیفیت و فشار) در شرایط بدون هوشمندسازی و در شرایط اجرای این‌گونه طرح‌ها قابل بررسی و مقایسه است و با ارزیابی مؤلفه‌های کمی، بازخوردها قابل سنجش خواهد بود. بنابراین، متدولوژی توسعه شبکه‌های هوشمند آبرسانی باید مطابق شکل ۳ از سه جنبه بهره‌برداری، فنی و اجتماعی مدنظر قرار گیرد. در نهایت شبکه‌های هوشمند آبرسانی شهری می‌توانند در یک مرکز کنترل و در قالب سامانه‌های مدیریت یکپارچه شهری در کنار دیگر سامانه‌های هوشمند از جمله کنترل ترافیک و مدیریت انرژی تحت نظارت و کنترل قرار گیرند. بدیهی است بهره‌برداری از سامانه‌های هوشمند آبرسانی، کنترل ترافیک یا انرژی کاملاً جدا از یکدیگر بهره‌برداری می‌شوند؛ اما می‌توانند ذیل یک ساختار مدیریتی در مرکز کنترل بصورت واحد نظارت شوند.



شکل ۳- متدولوژی پیشنهادی برای توسعه شبکه‌های هوشمند آبرسانی در کشور

اقداماتی بویژه در بخش نرم‌افزاری در کشور صورت پذیرد که اساساً بر توسعه نرم‌افزار، واسنجی و انجام مطالعات پایلوت وابسته است. ثانیاً این جدول یادآوری می‌کند که ظرفیت‌ها و امکانات لازم برای هوشمندسازی کامل در کشور وجود دارد.

جدول ۱ براساس مباحث مطرح شده ذیل مطالعات تطبیقی (بخش ۲) و متدولوژی (بخش ۳) نشان می‌دهد اولاً توسعه سامانه اسکادا بخشی از فرآیند چندلایه‌ای هوشمندسازی شبکه آبرسانی شهری محسوب می‌شود و برای تحقق اهداف کامل آن لازم است

جدول ۱- لایه‌های مختلف هوشمندسازی به همراه ظرفیت‌ها و الزامات آن در کشور

لایه‌های هوشمندسازی	نمونه عملیات	در کشور امکان‌پذیر است؟	در کشور وجود دارد؟	الزامات
سامانه اسکادا	تجهیزات سخت‌افزاری	بله	بله	نیازمند عملیات اجرایی، بهره‌برداری و نگهداری
	کنترل و پایش آنلاین	بله	بله	نیازمند واسنجی دائم و بومی‌سازی فناوری
	دستگاه‌های مخابراتی و اطلاعاتی	بله	بله	نیازمند ارتقا و ایمن‌سازی ظرفیت مخابراتی
	مستندسازی و مدیریت اطلاعات	بله	بله	نیازمند افزایش ظرفیت و به‌هنگام‌سازی پدافندی
سامانه نرم‌افزاری	پردازش اطلاعات و ارائه دستور عملیاتی	بله	خیر	نیازمند مطالعات پایلوت (مطابق متدولوژی)
	لایه تکمیلی: بازخوردهای اجتماعی	بله	خیر*	نیازمند تکمیل نسبی لایه‌های هوشمندسازی

* اپلیکیشنی که در راستای اهداف هوشمندسازی مطابق تعاریف ارائه شده باشد در حوزه آب وجود ندارد.

۴- جمع‌بندی

شبکه توزیع آب شهری، دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب، دانشگاه تهران.

خلیفه س.، اسماعیلی ک.، و خلیفه ح.، (۱۳۹۷)، "بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با رویکرد پیشینه‌سازی سود (مطالعه موردی: هماشهر استان کرمان)"، نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳(۲)، ۳۵-۴۳.

غیبی، م.ا.، لطیفی، م.، و امید نائینی س.ت.، (۱۳۹۶)، "بررسی و مقایسه کارایی رویکردهای مختلف تنظیم شیرهای فشارشکن در بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب"، نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۲(۳)، ۴-۱۳.

وزارت نیرو (۱۳۹۶)، طرح/استراتژیک پایش کمی و کیفی منابع و مصارف آب مبتنی بر اینترنت اشیا.

Beal, C.D., and Flynn, J., (2014) "The 2014 review of smart metering and intelligent water networks in Australia and New Zealand", Report prepared for WSAA by the Smart Water Research Centre, Griffith University.

Eden Strategy Institute, (2018), Top 50 smart city governments, ONG & ONG Private Limited Company.

Fantozzi, M., Popescu, I., Farnham, T., Archetti, F., Mogre, P., Tsouchnika, E., Chiesa, C., Tsertou, A., Castro Gama, M., and Bimpas, M., (2014), "ICT for efficient water resources management: The ICeWater energy management and control approach", 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013, Procedia Engineering, 70, 633-640.

Gungor, V.C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., et al., (2012), "Smart grid and smart homes", IEEE Industrial Electronic Magazine, 6(4), 18-34.

Hajebi, S., Song, H., Barrett, S., Clarke, A., and Clarke, S., (2013), "Towards a reference model for water smart grid", International Journal of Advances in Engineering Science and Technology, 2(3), 310-317.

Hancke, G.P., de Carvalho, E., Silva, B., and Hancke Jr, G.P., (2013), "The role of advanced sensing in smart cities", Sensors, 13(1), 393-425.

Harou, J.J., Garrone, P., Rizzoli, A.E., Maziotis, A., Castelletti, A., Fraternali, P., Noval, J., Wissmann-Alves, R., and Ceschi, P.A., (2014), "Smart metering, water pricing and social media to stimulate residential water efficiency: Opportunities for the SmartH2O project", 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014, Procedia Engineering 89, 1037-1043.

Kashid, S.G., and Pardeshi, S.A., (2014), "A survey of water distribution system and new approach to intelligent water distribution systems", IEEE, First International Conference on Networks and Soft Computing, Guntur, India, 339-344.

Kumura, T., Suzuki, N., Takahashi, M., Tominaga, S., Morioka, S., and Stoianov, I., (2015), "Smart water management technology with intelligent sensing and

در این پژوهش نشان داده شد که رویکردهای جهانی به مسئله هوشمندسازی توزیع آب، بسیار فراتر از سامانه‌های اسکادا است و این مفهوم نه تنها موجب کاهش هدررفت آب و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات می‌شود بلکه می‌تواند موجب اشتغال‌زایی، توسعه فناوری، آگاهی‌بخشی، تعرفه‌گذاری بهینه و اصلاح الگوی مصرف نیز شود. بدین منظور در قالب مدل اسپارال تأکید شد که مراحل هوشمندسازی باید به‌ترتیب مطابق متدولوژی پیشنهادی و از جنبه‌های مختلف توسعه یافته و تکمیل شود. در این شرایط استفاده از مطالعات پایلوت در دو مقیاس آزمایشگاهی و میدانی برای توسعه نرم‌افزار هوشمند الزامی است و باید نتایج اثربخشی و بازخورد طرح‌های پیاده‌شده در خانوارها به سامانه‌های هوشمند ارتباط یابد. تحت این شرایط، هوشمندسازی می‌تواند یک رویکرد فناورانه و چندوجهی برای گذر از مدیریت عرضه آب شهری به مدیریت تقاضا باشد.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Information and Communication Technologies (ICT)
- 2- SCADA
- 3- Adaptive Study
- 4- Leaks
- 5- Bursts
- 6- Asset Management
- 7- Internet of Things (IoT)
- 8- Clouds
- 9- Decision Support Systems (DSS)
- 10- Smart Grid
- 11- District Metered Area (DMA)
- 12- Manual

۵- مراجع

جمشیدی، ش.، و اکبرزاده ع.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی پایلوتی میزان تلفات آب با اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه (مطالعه موردی: منطقه نیروی دریایی تهران)"، اولین همایش محیط‌زیست، انرژی و صنعت پاک، دانشگاه تهران

جمشیدی، ش.، (۱۳۹۳)، "کاهش تلفات شبکه توزیع آب شهری با استفاده از مدیریت فشار (مطالعه موردی)"، اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست، مرکز راه‌کارهای دستیابی به توسعه پایدار، تهران.

جمشیدی، ش.، (۱۳۹۸)، "رویکردها و الزامات هوشمندسازی

- ICT for the integrated water systems”, *NEC Technical Journal*, 9(1), 103-106.
- Larrauri, J., (2011), “Smart water networks, integrated solutions for an optimal utility management”, *Esri European User Conference*, Madrid, Spain.
- Laspidou, C.S., (2014), “ICT and stakeholder participation for improved urban water management in the cities of the future”, *Water Utility Journal*, 8, 79-85.
- Lee, S.W., Sarp, S., Jeon, D.J., and Kim, J.H., (2015), “Smart water grid: The future water management platform”, *Desalination and Water Treatment*, 55(2), 339-346.
- McKenna, S.A., Fusco, F., and Eck, B.J., (2014), “Water demand pattern classification from smart meter data”, *12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry*, CCWI2013, Procedia Engineering, 70, 1121-1130.
- Mizuki, F., Mikawa, K., and Kurisu, H., (2012), “Intelligent water systems for smart cities”, *Hitachi Review* 61(3), 147-151.
- Nguyen, K.A., Stewart, R.A., Zhang, H., Sahin, O., and Siriwardene, N., (2018), “Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics”, *Environmental Modelling and Software*, 101, 256-267.
- Scolnicov, H., (2011), “How to build a smart water network”, *Smart Water Network Conference*, TaKaDu, SWAN Forum, Surrey, UK.
- Sensus, (2012), *Smart water global survey*. A Report.
- Suciu, G., Bezdadeanu, L., Vasilescu, A., and Suciu, V., (2017), “Unified intelligent water management using cyberinfrastructures based on cloud computing and IoT”, *2nd International Conference on Control Systems and Computer Science*, 606-611.
- Thompson, K., Sorbello, J., Dang, H., and Snadden, D., (2012), “Approaches to efficiency and intelligent water networks at Yarra Valley Water”, *Water, Intelligent Water Networks*, December, 101-107.
- Veolia, (2013), *Our proposal for a smart water management pilot*, Veolia’s Solutions for Smart Cities, Veolia.
- Whittle, A.J., Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., (2013), “Sensor networks for monitoring and control of water distribution systems”, *6th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (SHMII 2013)*, Hong Kong.



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

Review Paper

مقاله مروری

Presentation of the Integrated and Comprehensive Framework in Assessment of Water Demand Management Policies

Seyyed Ahmadreza Shahangian¹, Massoud Tabesh^{*2},
Haniye Safarpour³, Melica Khashei³ and Mahnaz
Abbasi³

1- Ph.D. Candidate, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

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

3- M.Sc. Student, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

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

Received: 15/02/2020

Revised: 20/07/2020

Accepted: 20/07/2020

© IWWA

Abstract

In recent years due to water resources scarcity and increase in water extraction costs, more attention has been given to water consumption; specifically, urban water consumption as a more sensitive and high priority demand with high costs of supplying. Accordingly the water and wastewater authorities are directed to modern water management methods including water demand management policies and water conservation. These practices and policies not only have widespread positive and negative effects in different aspects, but also by affecting the different components of the system, can make more severe and immense effects. Amongst the most important aspects related to such policies are the social aspect and the main stakeholders of the urban water management, i.e. households. Thus, the purpose of this paper is to address these different aspects by reviewing the requirements and obligations of the integrated framework in assessment of water demand management policies. To this end, firstly the importance and necessity of assessing the water demand management policies has been discussed. Then, different approaches for integrated environmental assessment and management have been introduced by demonstrating the main implications. Also, some illustrative examples are presented. Finally, the agent-based model is introduced as the integrated approach for investigating the micro-level social interaction and assessment of macro-level aggregated impacts.

Keywords: Agent-Based Model, Environmental Impact, Integrated Assessment, Water Demand Management, Water Distribution Network.

الزامات و ضرورت‌های ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری

سید احمدرضا شاهنگیان^۱، مسعود تابش^{*۲}، هانیه صفرپور^۳، ملیکا خاشعی^۳ و مهناز عباسی^۳

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی عمران- مهندسی محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در سال‌های اخیر کمبود شدید منابع و افزایش سریع هزینه‌های استحصال آب، باعث شده است که موضوع مصرف آب بیشتر مورد توجه قرار گیرد؛ به‌ویژه مصرف آب شهری که از حساسیت و اولویت بالاتری نسبت به دیگر کاربری‌ها برخوردار است و بسیار پر هزینه‌تر است. این موضوع، متولیان صنعت آب و فاضلاب را به سمت شیوه‌های مدیریتی جدید از جمله مدیریت تقاضا و اقدامات صرفه‌جویانه در مصرف آب سوق داده است. این اقدامات و سیاست‌ها نه تنها تبعات مثبت و منفی گسترده‌ای را بر جنبه‌های مختلف در پی دارند، بلکه می‌توانند با اثرگذاری بر اجزای مختلف سیستم، شدت و گستره این تبعات را تحت تأثیر قرار دهند. یکی از مهم‌ترین این جنبه‌ها، ابعاد اجتماعی و ذینفعان اصلی این حوزه یعنی خانوارها (مشترکین) است. از این‌رو، هدف این مقاله پرداختن به موضوعات مذکور به بررسی الزامات و ضرورت‌ها در ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های متعدد است. در این مقاله، ابتدا به ضرورت و اهمیت ارزیابی یکپارچه سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری و سپس با ارائه مفاهیم اصلی در این زمینه، به بررسی انواع رویکردهای رایج در زمینه ارزیابی یکپارچه پرداخته شده است. مثال‌هایی نیز برای بیان شفاف‌تر مسئله بیان شده است. در نهایت مدل عامل بنیان به‌عنوان رویکرد یکپارچه‌سازی برای بررسی نحوه تعاملات کوچک مقیاس اجتماعی و ارزیابی تبعات بزرگ مقیاس تجمعی جنبه‌های مختلف، معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی یکپارچه، مدیریت تقاضا، سامانه‌های آب شهری، مدل‌سازی عامل بنیان، یکپارچه‌سازی دانش.

کمتر از نوع مدیریت تقاضا بوده که این امر تعادل بین عرضه و تقاضا را دستخوش تغییرات جدی کرده است. از سوی دیگر در فرآیند تصمیم‌گیری برای توسعه این سامانه‌ها، جنبه‌های اقتصادی (رشد و توسعه) بر دیگر جنبه‌ها، از جمله جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی، غلبه دارند و عملاً الزامات توسعه پایدار^۱ نادیده گرفته شده است. این امر تبعات جبران‌ناپذیری از جمله بحران شدید تأمین آب، کاهش سطح کیفیت خدمات شرکت‌های تأمین و توزیع آب و نتیجتاً نارضایتی‌های اجتماعی، خسارات گسترده زیست‌محیطی، بعضاً مشکلات بهداشتی و غیره را در سال‌های اخیر در پی داشته است و در صورت عدم توجه به آن‌ها، شدیدتر نیز خواهند شد. بنابراین مدیریت مطلوب تأمین، توزیع و تقاضای آب در حوزه مدیریت آب شهری، از جمله راه‌کارهایی هستند که می‌تواند تأثیر به‌سزایی در مقابله با بحران آب و سازگاری با کم‌آبی داشته باشد.

مدیریت آب شهری طیف وسیعی از سیاست‌ها و اقدامات را دربر می‌گیرد و متأثر از محرک‌های بسیاری از جمله محرک‌های اجتماعی، اقتصادی، مدیریتی، اقلیمی، فنی و غیره است. این محرک‌ها می‌توانند با اعمال فشار بر سیستم و تغییر در شرایط موجود، متولیان را مجبور به اتخاذ سیاست‌هایی در این حوزه کنند که نوع نگرش متولیان و تجربیات آن‌ها از موارد مشابه در گذشته، در اتخاذ و اجرای موفق این سیاست‌ها بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر اتخاذ هر سیاستی در این حوزه که در راستای بهبود شرایط موجود و آینده اجرایی می‌شود، می‌تواند مستقیماً تبعات مثبت و منفی گسترده‌ای را در پی داشته باشد؛ به‌طوری‌که دامنه این تبعات، حتی می‌تواند اجزای سامانه‌های آب شهری از جمله شبکه توزیع آب، شبکه جمع‌آوری فاضلاب، تصفیه‌خانه آب و تصفیه‌خانه فاضلاب را تحت تأثیر قرار دهد. این تبعات می‌توانند به تشدید یا تضعیف محرک‌های موجود و وخیم‌تر شدن یا بهبود شرایط منجر شوند. از سوی دیگر در حوزه مدیریت آب شهری، گروه عمده مصرف‌کنندگان آب را خانوارها (مشترکین) تشکیل می‌دهند. بنابراین گروه مهم دیگری که تحت تأثیر اعمال سیاست‌های مدیریت آب شهری قرار دارند، مشترکین یا همان گروداران (ذی‌نفعان)^۲ اصلی در حوزه شهری هستند که توجه به نقش و تأثیرگذاری آن‌ها در اجرای موفق برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های مدیریت آب شهری بسیار حائز اهمیت است. نقش خانوارها از سه جنبه بسیار حائز اهمیت است: (۱) نگرش و انگیزه رفتاری خانوارها (مشترکین) درباره رفتارهای صرفه‌جویانه و حفاظت از آب^۳؛ (۲) نگرش و انگیزه رفتاری آنها در مورد پذیرش یا عدم پذیرش عمومی این سیاست‌ها و (۳) عکس‌العمل‌ها و

مطالعات سازمان ملل متحد^۱، نشان می‌دهد که کمبود آب مشکلی حاد در سراسر خاورمیانه است. بر طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۲ در سال ۲۰۰۷، منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA)^۳ با حدود پنج درصد از جمعیت جهان و تنها بهره‌مندی از یک درصد از کل آب شیرین، به‌شدت تحت تأثیر آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی خواهند بود (IDRC, 2010). پژوهش‌های صورت گرفته نیز حاکی از آن است که با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در مناطقی که در آینده با بحران آب مواجه خواهند شد و نیز رشد سریع جمعیت، تا سال ۲۰۵۰ میلادی سهم سرانه آب هر نفر به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب می‌رسد (بران و هنربخش، ۱۳۸۷). همچنین کشور ایران با متوسط بارش سالانه حدود ۲۴۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر، در زمره مناطقی از جهان است که از موهبت نزولات جوی به اندازه کافی بهره‌مند نیستند و قسمت عمده‌ای از مساحت آن را مناطق خشک و کم‌آب فراگرفته است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱). از طرفی، اگرچه متوسط بارش دراز مدت حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است؛ اما بیشتر مناطق، بارشی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال دارند که این موضوع، موجب برداشت بیش از اندازه از منابع آب تجدیدپذیر شده است (Keshavarzi et al., 2006). بنابراین در سال‌های اخیر کمبود شدید منابع و افزایش سریع هزینه‌های استحصال آب، باعث شده است که موضوع مصرف آب، بیشتر مورد توجه قرار گیرد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۶). اگرچه از کل مصرف آب در ایران تنها حدود ۶ درصد به تأمین آب خانگی اختصاص داده می‌شود، اما نسبت به سایر کاربری‌ها از حساسیت و اولویت بیشتری برخوردار است (ملکی‌نسب و همکاران، ۱۳۸۶) و شامل فرآیندهای بسیار پر هزینه و پیچیده‌تری است (Keshavarzi et al., 2006؛ فاضلی و همکاران، ۱۳۸۸).

بنابراین اهمیت آب شهری به لحاظ کمیت و کیفیت، هزینه بالای تأمین آن، منابع آبی محدود در دسترس، شرایط اقلیمی موجود و روند تغییرات آن و نیز هزینه‌های سنگین طرح‌های توسعه، انتقال آب و بهره‌گیری از منابع آبی جایگزین، مثل منابع آب نامتعارف، و نیز عدم پذیرش عمومی^۴ برخی از این راه‌کارها، متولیان صنعت آب و فاضلاب را به سمت شیوه‌های مدیریتی جدید از جمله مدیریت تقاضا^۵ و اقدامات صرفه‌جویانه در مصرف آب سوق داده است. علاوه بر این، رویکرد مدیریتی غالب برای اکثر سامانه‌های آب شهری، بیشتر از نوع مدیریت تأمین (عرضه) و

تصمیمات آن‌ها در پاسخ به تغییر شرایط که می‌تواند تبعات مثبت و منفی دیگری را در پی داشته باشد؛ به نحوی که گستره تبعات ناشی از این‌گونه اقدامات می‌تواند شبکه توزیع، متولیان و حتی خود مشترکین را نیز، تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو پرداختن به چنین موضوعاتی که بتواند پیامدهای ناشی از یک سیاست در ابعاد مختلف را بررسی کند، موضوع بسیار مهمی است؛ چراکه عدم توجه به چنین پیامدهایی می‌تواند منجر به عدم دستیابی به اجرای موفق یک سیاست و حتی بروز تبعات وخیم‌تر و در ابعاد گسترده‌تری نیز شود (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به اهمیت موضوعات اشاره شده، تحقیقاتی در مقاطع دکتری و کارشناسی ارشد در دانشگاه تهران در زمینه ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های مختلف اجتماعی، فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی تعریف شده و در حال انجام است. لذا با توجه به این‌که هدف این مقاله صرفاً مروری بر الزامات و ضرورت در ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری است، در این بخش ابتدا به بیان مفاهیمی پرداخته می‌شود که الزامات اساسی در شکل‌گیری این چارچوب هستند. از این‌رو ابتدا به تعریف مفاهیمی از جمله مدیریت تقاضای آب^۹ شهری، مدل‌سازی^{۱۰} و یکپارچه‌سازی^{۱۱} دانش و اهمیت و ضرورت یکپارچه‌سازی در ارزیابی سیاست‌های محیط‌زیستی که مفاهیم اساسی در ارتباط با موضوع تحقیق هستند، پرداخته می‌شود. سپس، به رویکردهای رایج که توانایی ارزیابی و مدل‌سازی یکپارچه (IAM)^{۱۲} را دارند، اشاره می‌شود و با ارائه مثال‌هایی، به بیان روشن‌تری از لزوم و اهمیت ارائه یک چارچوب جامع و یکپارچه در این حوزه، پرداخته می‌شود. در نهایت نیز مدل عامل بنیان^{۱۳} به‌عنوان رویکرد یکپارچه‌سازی مورد استفاده در تحقیقات مذکور، برای بررسی نحوه تعاملات کوچک مقیاس اجتماعی و ارزیابی تبعات بزرگ مقیاس تجمعی جنبه‌های مختلف، معرفی می‌گردد.

۲- مواد و روش‌ها

مدیریت تقاضای (مصرف) آب شهری: مدیریت تقاضای آب، شامل فرآیندی از برنامه‌ریزی، سازماندهی، هماهنگی و کنترل برای شناسایی شیوه‌های مصرف و ابزارهای موجود برای کنترل سطوح و کاهش مصرف آب است (تابش، ۱۳۹۶). کمبود آب و هزینه بالای توسعه طرح‌های تأمین آب، دولت‌ها (متولیان) را مجبور

کرده است تا به مدیریت تقاضا و اجرای برنامه‌های صرفه‌جویانه در مصرف آب به‌عنوان یک راه‌حل کم‌هزینه، پایدار و قابل‌اعتماد روی آورند (Baumann et al., 1998). مدیریت تقاضا کمک می‌کند که بیشترین خدمات آبی با حداقل حجم آب ممکن فراهم شود. بنابراین، برقراری تعادل مناسب بین گسترش ظرفیت تأمین و مدیریت تقاضای آب می‌تواند منافع زیادی از جمله به تأخیر انداختن هزینه‌های بالای تأمین آب و آثار منفی محیط‌زیستی آن، کاهش در هزینه‌های بهره‌برداری، کاهش فاضلاب، کاهش مصرف آب گرم و صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی را به‌همراه داشته باشد (Cheng, 2002). مدیریت تقاضای آب که به‌عنوان پاسخی به کمبود آب و پایداری محیط‌زیست مطرح است، می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های موثرتر و کارآمدتر در حوزه مدیریت آب شهری شود و در عمل شامل سه عنصر و هدف کلیدی بهره‌وری، عدالت و پایداری است (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹). برای دستیابی به مدیریت مؤثر تقاضای آب، معمولاً اقدامات و سیاست‌های مختلفی به‌کار گرفته می‌شود که به دو دسته کلی، تقسیم‌بندی می‌شوند: سیاست‌های وابسته به قیمت آب^{۱۴} و سیاست‌های غیروابسته به قیمت آب^{۱۵}. به‌طور کلی این سیاست‌ها عبارتند از: (۱) آموزش و آگاهی عمومی^{۱۶} (فرهنگ‌سازی)؛ (۲) اعمال محدودیت‌های مصرف آب^{۱۷}؛ (۳) اقدامات حفاظت از آب و صرفه‌جویی در مصرف آن و (۴) قیمت‌گذاری (انصاری و صالح‌نیا، ۱۳۸۶؛ شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹).

مدل‌سازی: مدل‌سازی راهی است که می‌توان از طریق آن، مشکلات دنیای واقعی را حل کرد (Grigoryev, 2012). بنابراین مدل‌ها، نمایش‌دهنده‌هایی از پیچیدگی‌های دنیای واقعی هستند که همواره نسبت به آن پیچیدگی کمتری دارند (Grigoryev, 2012). در بسیاری از موارد، نمی‌توان به آزمایش در دنیای واقعی برای یافتن راه‌حل‌های مناسب پرداخت؛ ساختن، نابود کردن و ایجاد تغییرات ممکن است بیش از حد هزینه‌بر، خطرناک و یا حتی غیر ممکن باشد (Grigoryev, 2012)؛ این درحالی است که مدل‌های ریاضی برای نمایش مشکلاتی که در قالب چارچوب‌های علمی خود را نمایش می‌دهند، سنجیده‌تر و آگاهانه‌تر عمل می‌کنند و امکان شبیه‌سازی رفتار دنیای واقعی را در یک محیط مصنوعی، فراهم می‌آورند که موجب تکرار آسان و ارزان آن‌ها برای دفعات زیاد می‌شود (Doyle and Ford, 1998). مطابق شکل ۱، دنیای مدل‌سازی محیطی با ریسک‌پذیری آزاد است که امکان حل مشکلات و مدیریت آن‌ها را فراهم می‌آورد.



شکل ۱- نمایش شماتیک ساخت دنیای واقعی در محیط مدل‌سازی (Grigoryev, 2012)

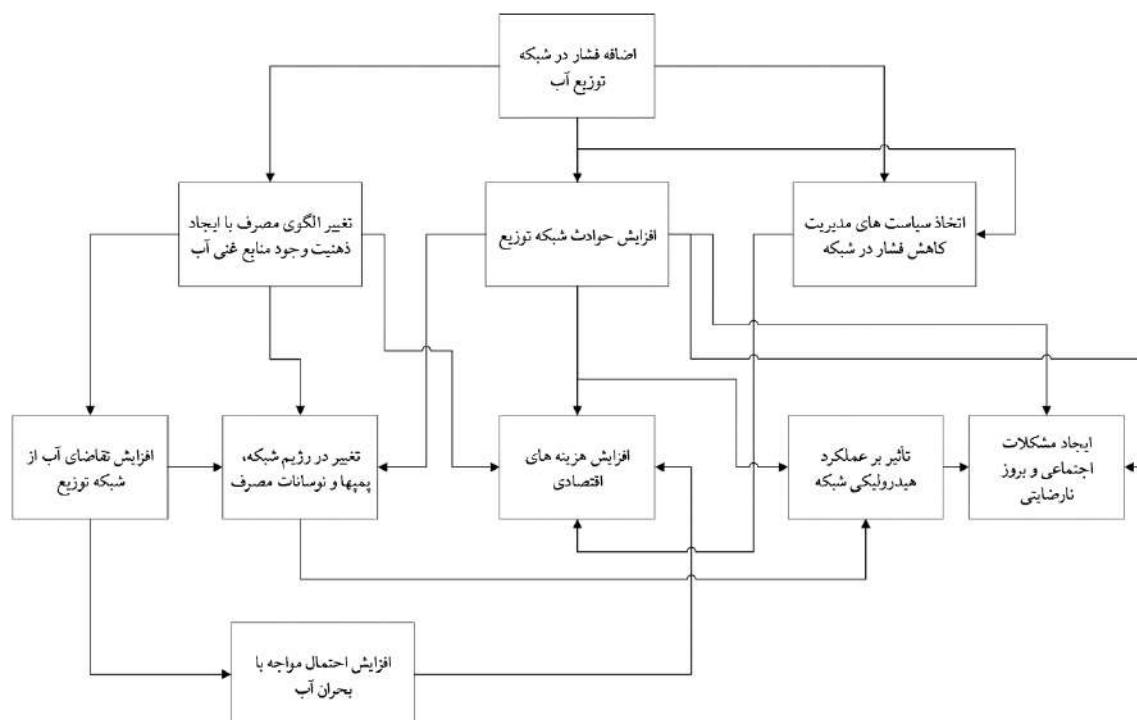
یافته‌اند، باشند. مدل‌سازی یکپارچه روشی در حال توسعه برای تجمیع و گرد هم آوردن اطلاعات، نظریه‌ها و داده‌های متعددی است که از علوم مختلف نشأت گرفته می‌شود و این تفاوت نه فقط به دلیل این است که آن‌ها اهداف و سیستم‌های متفاوتی را مطالعه و بررسی می‌کنند؛ بلکه به این دلیل است که آن‌ها به روش‌های مختلف و با استفاده از زبان‌ها، فرضیات، مقیاس‌ها و تکنیک‌های متفاوت عمل می‌کنند (Voinov and Shugart, 2013).

مدل‌ها یا رویکردهای یکپارچه‌سازی دانش: مدل‌هایی که
امروزه در طیف وسیعی از زمینه‌ها (از جمله محیط‌زیست، هیدرولوژی، اقتصاد و غیره) توسعه یافته‌اند و وظیفه یکپارچه‌سازی دانش و ادغام فرآیندهای متعدد سیستم را درون یک چارچوب واحد دارند، به نظر ابزار کاربردی و مفیدی برای کمک به ارزیابی پیچیدگی‌های یکپارچه‌سازی و درک ماهیت آن‌ها، تجزیه و تحلیل سناریوها (گزینه‌ها) با دینفعان^{۲۲}، ارزیابی نتایج آن‌ها و برقراری ارتباط بین نتایج به روشی شفاف و روشن هستند. نیاز به چنین مدل‌ها یا ابزارهایی در ارزیابی یکپارچه، به طور گسترده‌ای برای اثربخشی در تصمیم‌گیری و مدیریت مورد تأیید قرار گرفته است (Kelly et al., 2013). پنج مدل یا رویکرد معمول و رایج در مدل‌سازی مدیریت و ارزیابی یکپارچه که توانایی درک پیچیدگی‌های سیستم و یکپارچه‌سازی دانش از منابع و زمینه‌های متعدد را بوسیله توسعه مدل‌ها دارند و می‌توانند مسائل، مقادیر، مقیاس‌های چندگانه و ملاحظات عدم قطعیت‌ها را در خود جای دهد و مشارکت ذی‌نفعان را نیز تسهیل کنند، عبارتند از: پویایی‌های سیستم^{۲۳}؛ شبکه‌های بیزین^{۲۴}؛ مدل‌های مؤلفه پیوندی^{۲۵}؛ مدل‌های عامل بنیان و مدل‌های دانش-محور^{۲۶} (که به عنوان سیستم‌های خبره^{۲۷} نیز شناخته می‌شوند) (Kelly et al., 2013).

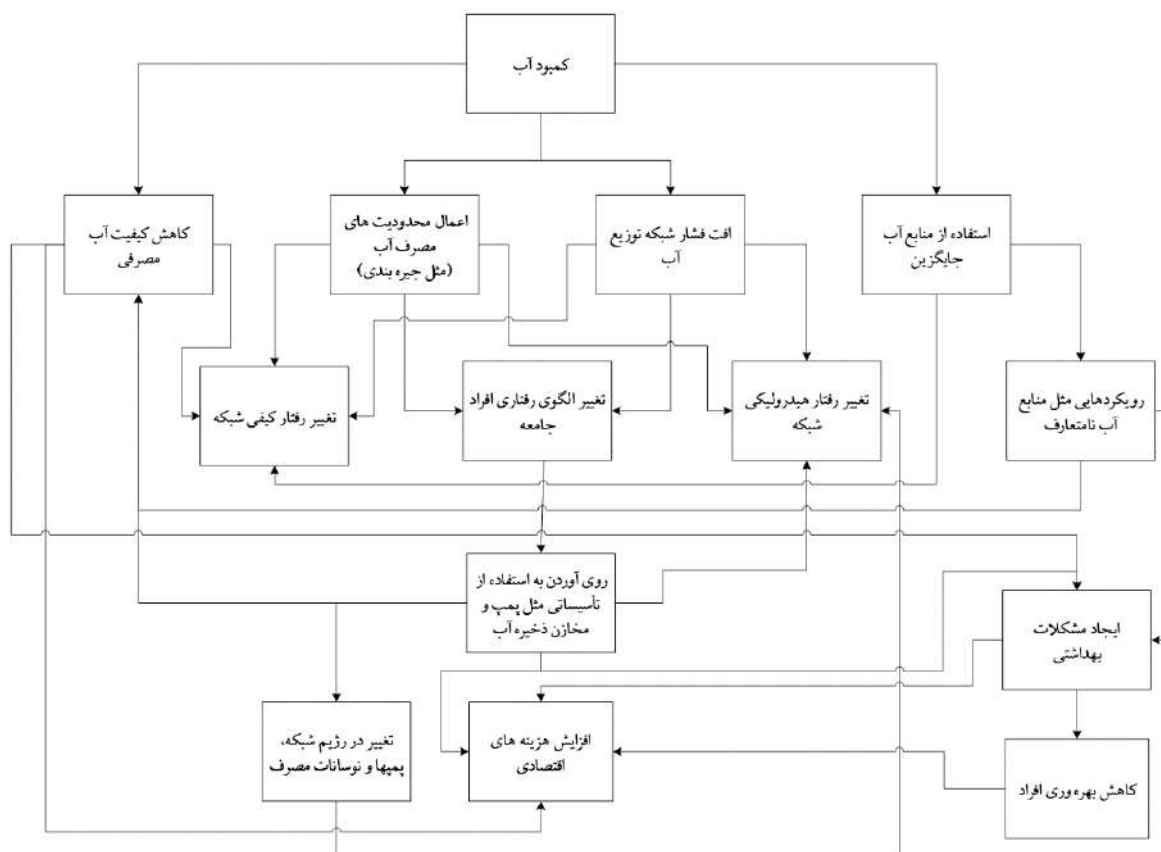
یکپارچه‌سازی دانش: اگرچه مدل‌سازی فرآیندهای محیط‌زیستی دهه‌ها است که مورد توجه محققین بوده است؛ اما با توجه به افزایش میزان و شدت مشکلات و خسارات محیط‌زیستی در قرن بیست و یکم، نیاز به ارزیابی و مدل‌سازی یکپارچه به میزان قابل توجهی افزایش یافته است (Parker et al., 2002). از سوی دیگر، طراحی و پیاده‌سازی سیاست‌های مؤثر محیط‌زیستی، نیازمند درک جامعی از فرآیندهای سیستم (بیوفیزیکی، اجتماعی و اقتصادی)، تعاملات پیچیده بین آن‌ها (اندرکنش بین انتخاب یک سیاست با فرآیندهای محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی، اجتماعی و اهداف مرتبط) و چگونگی پاسخ آن‌ها به تغییرات مختلف است. ارزیابی نتایج پیش‌بینی‌شده باید براساس بازخوردها^{۱۸}، اثرات جانبی^{۱۹} و گاهی سبک و سنگین کردن^{۲۰} میان اهداف مختلف (و اغلب متضاد) و یا اثرات توزیع شده^{۲۱} درون یک هدف، به عنوان مثال به لحاظ بعد مکانی، باشد. از سوی دیگر ممکن است اثرات مثبت و منفی، در مقیاس زمانی بسیار متفاوت رخ دهد. اثرات زیست‌محیطی گاهی تا سال‌ها و حتی در برخی موارد تا دهه‌ها قابل رویت نیستند؛ در حالی که هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی سریع‌تر بروز می‌کنند و با دقت بیشتری نیز تخمین زده می‌شوند. در حال حاضر آگاهی روبه رشدی درباره پیچیدگی ارزیابی چنین وابستگی‌های درونی برای آگاه‌سازی تصمیم‌گیران وجود دارد (Kelly et al., 2013). بنابراین هم‌زمان با افزایش چشم‌گیر تأثیرات فعالیت‌های بشر بر محیط زیست، علاقه‌مندی به تجزیه و تحلیل سیستم‌هایی که طیف وسیعی از علوم را دربر می‌گیرند نیز، بیشتر می‌شود. این سیستم‌ها پیچیده‌تر هستند و باید با مدل‌هایی توصیف شوند که می‌توانند شامل اجزای مختلفی که دارای مقیاس‌ها و دقت‌های متفاوت بوده و براساس فرضیات و الگوهای مختلفی از زمینه‌های علوم توسعه

تنها شکل مربوط به هر مثال و نحوه تعاملات پیرامون آن آورده شده است.

به‌منظور بیان روشن‌تری از ضرورت ارائه یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری، در این بخش دو مثال ارائه شده است (شکل‌های ۲ و ۳). در این جا



شکل ۲- اثر اضافه فشار آب شبکه بر دیگر جنبه‌ها (شکل مثال ۱)



شکل ۳- اثر کمبود آب در یک منطقه بر دیگر جنبه‌ها (شکل مثال ۲)

۳- نتیجه‌گیری

با جمع‌بندی مطالب اشاره شده تا این‌جا، می‌توان دریافت که به‌منظور ارزیابی یکپارچه سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های مختلف، نیاز به استفاده از مدلی است که بتواند ارزیابی جنبه‌های مختلف را در خود جای دهد. مدل‌های پویایی‌های سیستم و عامل‌بنیان به‌منظور بهبود درک از سیستم و یادگیری اجتماعی^{۲۸} مناسب هستند؛ این موضوع به‌دلیل تأکید این روش‌ها به بررسی فرض‌ها و نتایج احتمالی و معقول، به‌جای پیش‌بینی یا تصمیم‌گیری دقیق است. فقط با این تفاوت که در مدل‌های پویایی‌های سیستم نگاه کل به جزء یا از بالا به پائین^{۲۹} است، ولی در مدل‌های عامل‌بنیان، نگاه جزء به کل یا از پائین به بالا^{۳۰} و بررسی تعاملات کوچک مقیاس است. چنین مدل‌هایی اغلب توسعه پیدا می‌کنند تا به تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان اجازه دهند مدل‌ها و فرضیه‌های متعددی را در رابطه با فرآیندهایی مورد آزمون قرار دهند که درک ضعیفی نسبت به آن‌ها وجود دارد. همچنین ثابت شده است که مدل‌های عامل‌بنیان ابزارهای بسیار مناسبی برای یادگیری اجتماعی در طیف وسیعی از محیط‌ها هستند که در آن فرضیات درباره فرآیندها و تعاملات بررسی و به اشتراک گذاشته می‌شود. همچنین، این مدل‌ها می‌توانند اثرات فردی و یا جمعی را در نظر بگیرند. علاوه بر آن، چنانچه هدف از مدل‌سازی تعاملات بین افراد باشد و نه اثرات جمعی سیستم، رویکرد عامل‌بنیان مناسب‌ترین گزینه است (Kelly et al., 2013). هم‌چنین، مدل‌سازی عامل‌بنیان، چارچوبی را مهیا می‌کند تا بتوان روش‌های قابل‌اجرایی را که با الزامات متعدد مدل‌سازی مدیریت زیست‌محیطی مطابقت داشته باشد، اعمال کرد. به‌عبارت دیگر شبیه‌سازی عامل‌بنیان اجازه می‌دهد تا مدل‌های محیط‌زیستی را به سیستم‌های اجتماعی که در آن‌ها تعبیه شده است، متصل کرد؛ به‌گونه‌ای که نقش تعاملات اجتماعی و انطباق‌پذیر^{۳۱} و تصمیمات فردی (در مقیاس میکرو^{۳۲}) می‌تواند در مدیریت محیط‌زیستی مدل‌سازی شود. علاوه بر این، اجازه مطالعه و بررسی تعاملات بین مقیاس‌های متعدد از تصمیم‌گیران، بررسی واکنش‌های انطباق‌پذیر، پاسخ‌های جمعی به تغییر محیط‌ها و سیاست‌های مدیریت محیط‌زیستی را می‌دهد (Hare and Deadman, 2004). مدل‌های عامل‌بنیان، برای یادگیری اجتماعی و ابزار پشتیبان مدیریت بسیار مناسب هستند و عمدتاً برای تجزیه و تحلیل نهادی و سیاستگذاری و شبیه‌سازی فرآیندهای اجتماعی-اقتصادی یا اجتماعی-اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا درک حاصل از تعاملات و اثرات متقابل

پویا بین عوامل و محیط آن‌ها را بهبود بخشد (Kelly et al., 2013). مزایای رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی عبارتند از (Galan et al., 2009؛ دربندسری، ۱۳۹۵):

- منجر به بیان شفاف‌تر و واقعی‌تر (طبیعی) از سیستم هدف می‌شود؛

- امکان صرف‌نظر کردن از فرضیه همگن بودن در جمعیت که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد را فراهم می‌آورد (بنابراین می‌توان موجودیت‌ها و عامل‌ها را به‌صورت غیریکسان شبیه‌سازی کرد)؛

- اجازه اعمال نمایش صریح و شفاف از محیط‌های جغرافیایی با حالت واقع‌بینانه را می‌دهد؛

- امکان مدل‌سازی تعاملات محیطی را فراهم می‌کند؛

- امکان مدل‌سازی متقابل تعاملات بین افراد در مقیاس میکرو و رفتارهای سیستم در مقیاس ماکرو^{۳۳} را فراهم می‌کند؛

- می‌تواند رفتارهایی که بروز پیدا کرده است را بررسی و شناسایی کند و آن‌چه که به عنوان الگوهای جدید در مقیاس بالاتر از یک سیستم بروز می‌کند و نتیجه تعامل در سطح پائین‌تر است را نشان دهد؛

- می‌تواند به سرعت انتقادات بالقوه و اصلاحات پیشنهادی متخصصان و ذی‌نفعان را در مدل اعمال نماید؛

- این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان تمامی ابعاد تأثیرگذار در یک مدل واحد از جمله جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، منطقه‌ای، تکنولوژیکی و هر بعد نفوذی را در نظر گرفت، بنابراین دانش یکپارچه و بین‌رشته‌ای را ایجاد می‌کند.

بنابراین با توجه به این‌که چارچوب پیشنهادی در این تحقیق، به‌دنبال شناسایی رفتارهای خانوارها به‌عنوان اصلی‌ترین ذی‌نفعان حوزه شهری (بررسی جنبه‌های اجتماعی) و مدل‌سازی تعاملات کوچک مقیاس بین افراد و ارزیابی تبعات ناشی از آن در کنار سایر جنبه‌ها در مقیاس بزرگ است، برای یکپارچه‌سازی از مدل عامل‌بنیان استفاده شده است. مدل‌سازی عامل‌بنیان، یک روش مدل‌سازی برای نمایش مستقیم پدیده‌های اجتماعی است که در مقایسه با سایر روش‌های مدل‌سازی در مقیاس میکرو، بیان صریح (روشن) و مشخصی از رفتار هر یک از افراد حاضر در سیستم مدل‌سازی دارند (López-Paredes et al., 2005). در واقع مدل‌سازی عامل‌بنیان، یک مطالعه محاسباتی از سیستم‌هایی است که در آن نهادهای مستقل^{۳۴} با رفتارهای پویا و خصوصیات ناممکن (ناهمسان) با یکدیگر در تعامل هستند (et Heckbert al., 2010). عوامل، محیطی که در آن قرار دارند و فرآیند روابط

و تعاملات میان آن‌ها، به‌عنوان ارکان اصلی این دسته از مدل‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Bandini et al., 2009). این مدل‌ها از دو یا تعداد بیشتری عامل^{۳۵} ساخته می‌شوند که در یک زمان مشابه قرار دارند، در منابع مشترکی سهیم هستند و نهایتاً در ارتباط با یکدیگر قرار دارند. این عامل‌ها معمولاً قادر به واکنش نسبت به تغییرات دریافتی در محیطشان از طریق کنش به محیط یا سازگاری درونی هستند (Kelly et al., 2013). در واقع عامل‌ها، یعنی همان بازیگران اجتماعی مانند مردم و سازمان‌های نهادی که برای واکنش به محیط طراحی شده‌اند (Yuan et al., 2014)، با یکدیگر و محیطشان ارتباط برقرار کرده و منجر به بروز پیامدهایی در مقیاس ماکرو می‌شوند (Heckbert et al., 2010). نهادهای مستقل نه تنها می‌توانند غالباً انسان باشند، بلکه می‌توانند گروه‌ها، جانداران و حتی موجودیت‌های بیوفیزیکی مثل آب باشند (Kelly et al., 2013). اساساً این مدل‌سازی، شامل ایجاد یک برنامه کامپیوتری است که در آن موجودیت‌های شناسایی شده در سیستم هدف و تعاملات بین آنها، توسط مؤلفه‌های نرم‌افزاری (عامل‌ها) که بین آن‌ها و محیط مجازی‌ای که داخل آن قرار دارند، نمایش داده می‌شود (Edmonds, 2001).

۴- جمع‌بندی

این مقاله با هدف ارائه الزامات و ضرورت‌های ایجاد یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری شکل گرفته است. از این‌رو ابتدا به بیان مسئله و ضرورت آن در زمینه زنجیره تأمین- تقاضای آب خانگی^{۳۶} که دو گروه اصلی از ذینفعان را شامل می‌شود، پرداخته شد. این دو گروه عبارتند از: ۱) شرکت‌های آب و فاضلاب که وظیفه تأمین آب شهری و سیاست‌گذاری در این حوزه را دارند و ۲) خانوارها که مصرف‌کنندگان عمده آب شهری هستند و توجه به نقش و اهمیت خانوارها به‌عنوان ذی‌نفعان اصلی در حوزه مدیریت آب شهری و تعاملاتی اجتماعی که در پی اتخاذ این سیاست‌ها در حوزه شهری صورت می‌گیرد، بسیار حائز اهمیت است. در واقع این چرخه، رشته‌ای از تعاملات بین این دو ذینفع را شامل می‌شود. ابتدا شرکت آب و فاضلاب یک سیاست را اعمال می‌کند و سپس مصرف‌کنندگان (خانوارها) نسبت به آن واکنش نشان می‌دهند. افراد میزان مصرف آب خود را با توجه به سیاست‌های اعمالی، شرایط آب و هوایی یا سایر پارامترها مورد بازبینی قرار می‌دهند و در نهایت، شرکت آب و برق نیز سیاست قیمت‌گذاری آب را اصلاح می‌کند. سپس با ارائه مفاهیم اصلی در این زمینه که الزامات اساسی در شکل‌گیری این چارچوب هستند، از جمله

۵- پی‌نوشت‌ها

یکپارچه‌سازی دانش و غیره به بررسی انواع رویکردهای رایج در زمینه ارزیابی یکپارچه سیاست‌های مدیریت محیط‌زیستی پرداخته شده است. علاوه بر این با بیان مثال‌هایی، هم ضرورت تحقیق در این زمینه و هم بیان شفاف‌تری از مسئله صورت گرفت. در ادامه با جمع‌بندی مطالب و زمینه‌های مورد بررسی تحقیقات تعریف شده در دانشگاه تهران و با توجه به خصوصیات مدل‌های یکپارچه‌سازی و ویژگی‌های مدیریت آب شهری، به ارائه مدل عامل‌بنیان که برای بررسی چگونگی تعاملات کوچک مقیاس اجتماعی و ارزیابی تبعات بزرگ مقیاس جنبه‌های مختلف در انجام تحقیقات محققین این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، پرداخته شد. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، این مقاله صرفاً بیان چکیده‌ای از تحقیقاتی است که در مقاطع دکتری و کارشناسی ارشد در دانشگاه تهران در زمینه ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های مختلف اجتماعی، فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی تعریف شده و در حال انجام است. لذا در این مقاله تنها اهمیت موضوع بیان شده و در مقالات بعدی نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مختلف ارائه خواهد شد.

- 1- United Nations
- 2- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 3- Middle East and North Africa
- 4- Public Acceptance
- 5- Water Demand Management
- 6- Sustainable Development
- 7- Stakeholder
- 8- Water Conservation
- 9- Water Demand Management
- 10- Modelling
- 11- Integration
- 12- Integrated Assessment and Modelling
- 13- Agent-Based Model
- 14- Price Policies
- 15- Non-Price Policies
- 16- Education and Public Awareness
- 17- Water Restrictions
- 18- Feedbacks
- 19- Side Effects
- 20- Trade-offs
- 21- Distributed Impacts
- 22- Analyze Alternatives with Stakeholders
- 23- Systems Dynamics
- 24- Bayesian Networks
- 25- Coupled Component Models
- 26- Knowledge-Based Models
- 27- Expert Systems
- 28- Social Learning
- 29- Top-Down Approach
- 30- Bottom-Up Approach
- 31- Adaptive

- Cheng, C.L., (2002), "Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building", *Energy and Buildings*, 34(3), 261-266.
- Doyle, J.K. and Ford D.N., (1998), "Mental models concepts for system dynamics research", *System Dynamics Review*, 14(1), 3-29.
- Edmonds, B., (2001), *The use of models: Making MABS actually work, in multi-agent-based simulation*, Edited by S. Moss and P. Davidsson, Springer, Berlin.
- Galán, J.M., López-Paredes, A., and Del Olmo, R., (2009), "An agent-based model for domestic water management in Valladolid metropolitan area", *Water Resources Research*, 45(5), W05401.
- Grigoryev, I., (2012), *AnyLogic 6 in three days: A quick course in simulation modeling*, AnyLogic North America.
- Hare, M., and Deadman, P., (2004), "Further towards a taxonomy of agent-based simulation models in environmental management", *Mathematics and Computers in Simulation*, 64(1), 25-40.
- Heckbert, S., Baynes, T., and Reeson, A., (2010), "Agent-based modeling in ecological economics", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185(1), 39-53.
- International Development Research Centre (IDRC), (2010), *Water demand management- making the most of the water we have*, available on: <https://www.idrc.ca/en/article/water-demand-management-making-most-water-we-have>.
- Kelly, R.A., Jakeman, A.J., Barreteau, O., Borsuk, M.E., ElSawah, S., Hamilton, S.H., Henriksen, H.J., Kuikka, S., Maier, H.R., Rizzoli, A.E., and van Delden, H., (2013), "Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management", *Environmental Modelling & Software*, 47, 159-181.
- Keshavarzi, A.R., Sharifzadeh, M., Kamgar Haghighi, A.A., Amin, S., Keshtkar, S., and Bamdad, A., (2006), "Rural domestic water consumption behavior: A case study in Ramjerd area, Fars province, I.R. Iran", *Water Research*, 40(6), 1173-1178.
- López-Paredes, A., Saurí, D., and Galán, J.M., (2005), "Urban water management with artificial societies of agents: The FIRMABAR simulator", *Simulation*, 81(3), 189-199.
- Parker, P., Letcher, R., Jakeman, A., Beck, M.B., Harris, G., Argent, R.M., Hare, M., Pahl-Wostl, C., Voinov, A., Janssen, M. and Sullivan, P., (2002), "Progress in integrated assessment and modelling", *Environmental Modelling & Software*, 17(3), 209-217.
- Voinov, A., and Shugart, H.H., (2013), "Integronsters", integral and integrated modeling", *Environmental Modelling & Software*, 39, 149-158.
- Yuan, X.C., Wei, Y.M., Pan, S.Y., and Jin, J.L., (2014), "Urban household water demand in Beijing by 2020: An agent-based model", *Water Resources Management*, 28(10), 2967-2980.

- 32- Micro-Scale
33- Macro-Level
34- Autonomous Entities
35- Agent
36- The Residential Water Demand-Supply Chain

۶- مراجع

- انصاری، ح.، و صالح‌نیا، ن.، (۱۳۸۶)، "بررسی و ارزیابی استراتژی‌های حفاظت از منابع آب در فضای سبز با تأکید بر استراتژی‌های «وابسته به قیمت آب»"، *ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی/ایران*، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- بیران، ص.، و هنریخش، ن.، (۱۳۸۷)، "بحران وضعیت آب در جهان و ایران"، *راهبرد*، ۴۸(۳)، ۱۹۳-۲۱۲.
- تابش، م.، (۱۳۹۶)، *مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب*، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- دریندسری، پ.، (۱۳۹۵)، "تدوین یک مدل رفع اختلاف مبتنی بر مدل‌سازی عامل‌محور برای مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- شاهنکیان، س.ا.، تابش، م.، و صفریور، ه.، (۱۳۹۹)، "مروری بر چارچوب مفهومی چرخه تعاملاتی و فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده در حوزه مدیریت آب شهری"، *تحقیقات منابع آب/ایران*، ۱۶(۳)، ۶۳-۷۹.
- عباسپور، ف.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، و عطاری، ج.، (۱۳۹۶)، "تأثیر قانون هدفمندی یارانه‌ها بر مصرف آب شهری مشهد"، *آب و فاضلاب*، ۲۸(۱)، ۶۵-۷۳.
- فاضلی، م.، پور رجب، ر.، و امجدی، م. ر.، (۱۳۸۸)، "مدیریت کمی آب شهری و اولویت‌بندی فعالیت‌های مدیریت تقاضا"، *سومین همایش ملی آب و فاضلاب*، تهران، ایران.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۱)، *راهنمای شناخت و بررسی عوامل مؤثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن*، نشریه شماره ۵۵۶، تهران، ایران.
- ملکی‌نسب، ا.، ابریشم‌چی، ا.، و تجریشی، م.، (۱۳۸۶)، "ارزیابی صرفه‌جویی در مصرف آب خانگی به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف"، *آب و فاضلاب*، ۱۸(۲)، ۱۱-۲.
- Bandini, S., Manzoni, S., and Vizzari, G., (2009), "Agent based modeling and simulation: An informatics perspective", *Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4), 1-4.
- Baumann, D.D., Boland, J.J., and Hanemann, W.M., (1998), *Urban water demand management and planning*, McGraw-Hill, Inc., New York.



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

Review Paper

مقاله مروری

**A Review on the Amount of the Household
Night Water Consumption per Capita in
Different Countries**

**بررسی مقدار سرانه مصرف شبانه آب خانگی
در کشورهای مختلف**

Javad Norouzi¹, Mohammadreza Jalili
Ghazizadeh², Iman Moslehi³

جواد نوروزی^۱، محمدرضا جلیلی قاضی زاده^{۲*} و ایمان
مصلحی^۳

1- M.Sc. in Civil Engineering, Water and Hydraulic
Structures Engineering, Faculty of Civil, Water and
Environmental Engineering, Shahid Beheshti University,
Tehran, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب و
سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست،
دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

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

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

3- Ph.D. Student in Civil Engineering, Faculty of Civil,
Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti
University, Tehran, Iran.

۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- آب، دانشکده مهندسی عمران،
آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

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

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

Received: 01/03/2020

Revised: 10/05/2020

Accepted: 16/05/2020

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Minimum Night Flow (MNF) analysis in District Metered Areas (DMAs) is the most important method for monitoring and estimating the leakage volume in Water Distribution Networks (WDNs). An estimation of night leakage in a DMA is calculated by deducting legitimate night consumption from MNF. Therefore, the amount of household night water consumption is a crucial parameter in determining the leakage level in WDNs. The household night water consumption may be different in various countries or even in different utilities within a country. Therefore, a precise estimation of household night water consumption and use appropriate techniques are required to determine the volume of physical losses using MNF analysis. The present paper provides a literature review on analysis methods for estimating household night water consumption in different countries, their estimated values, and the effective parameters on the per capita household night consumption. This review could be used by practitioners and researchers dealing with estimating leakage level in WDNs.

یکی از مهم‌ترین روش‌های پایش و اندازه‌گیری مقدار نشت در شبکه‌های توزیع آب، تحلیل جریان حداقل شبانه در مناطق ایزوله شده است. تخمین مقدار نشت شبانه در هر ایزوله، با کسر مقدار مصرف مجاز شبانه از جریان حداقل شبانه به دست می‌آید. لذا مقدار مصرف شبانه مشترکین خانگی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در تعیین مقدار نشت است. با توجه به تفاوت‌های اقلیمی، فرهنگی و اجتماعی هر کشور ممکن است مقدار مصرف‌های شبانه خانگی در مناطق و کشورهای مختلف، متفاوت باشد؛ بنابراین در تعیین میزان تلفات فیزیکی شبکه به کمک تحلیل حداقل جریان شبانه، اطلاع از مقادیر صحیح مصرف شبانه خانگی و استفاده از تکنیک‌های مناسب تحلیل آن ضروری است. مقاله حاضر مروری بر مطالعات انجام شده به منظور تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در کشورهای مختلف و آشنایی با روش‌ها و همچنین عوامل مؤثر بر میزان آن دارد. این مقاله می‌تواند مورد استفاده متخصصان و پژوهشگران حوزه نشت در شبکه‌های آبرسانی قرار گیرد.

Keywords: Household Night Water Consumption, Minimum Night Flow, Water Leakage, District Metered Area.

واژه‌های کلیدی: مصرف شبانه آب مشترکین خانگی، حداقل جریان شبانه، نشت آب، مناطق مجزای ایزوله شده.

۱- مقدمه

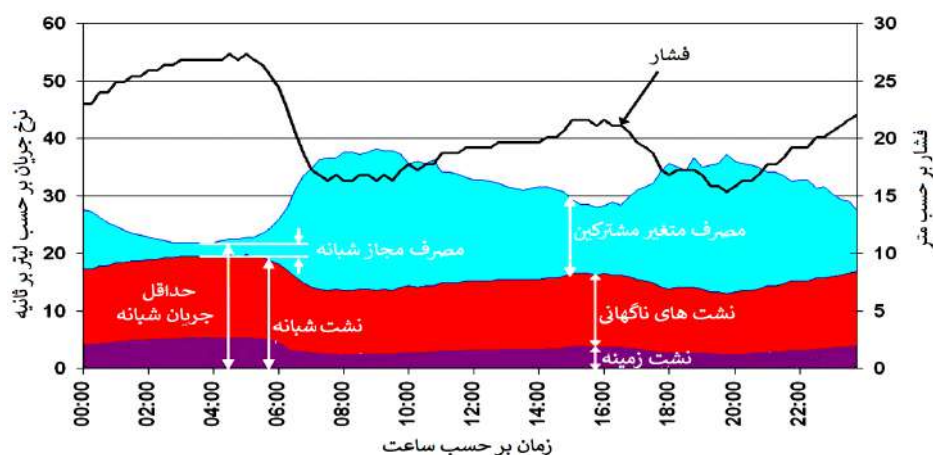
است. به عنوان زیرساخت فعالیت‌های مربوط به کاهش آب بدون درآمد، لازم است که ابتدا تمامی اجزای مرتبط با هدررفت آب به خصوص در ارتباط با هدررفت واقعی در شبکه آبرسانی مورد شناسایی قرار گیرد و نسبت به اندازه‌گیری دقیق و یا تخمین آن‌ها اقدامات لازم صورت گیرد. روش‌های موجود برای پایش و تخمین میزان هدررفت واقعی عبارت‌اند از: روش تعادل آب^۳؛ روش برآورد مؤلفه‌های نشت^۴ و روش تحلیل حداقل جریان شبانه^۵ (نشریه ۵۵۶، ۱۳۹۱؛ Fanner et al., 2008).

روش جدول تعادل آب و برآورد مؤلفه‌های نشت به صورت مطالعات دفتری انجام می‌شوند، در حالی که روش تحلیل حداقل جریان شبانه، نیازمند مطالعات و اندازه‌گیری‌های میدانی است. این روش معمولاً در شبکه‌های با نواحی مجزای اندازه‌گیری شده^۶ کاربرد دارد. در این روش به منظور ارزیابی مقدار نشت، از داده‌های اندازه‌گیری شده جریان ورودی به ناحیه که در زمان حداقل تقاضا رخ می‌دهد، استفاده می‌شود. حداقل جریان ورودی در مناطق شهری اغلب بین ساعت‌های ۲ تا ۴ بامداد رخ می‌دهد. در این مدت، مصرف مشترکین به میزان حداقل و در نتیجه مقدار نشت، بیشینه خواهد بود. با بررسی الگوی جریان ورودی به یک ناحیه ایزوله شده مانند شکل ۱، پس از اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه و کسر مقدار مصرف مجاز شبانه از آن، مقدار نشت شبانه ناحیه ایزوله شده را می‌توان به دست آورد (Thornton et al., 2008).

آب یکی از ارکان اصلی مؤثر در توسعه پایدار یک جامعه است. دسترسی به آب آشامیدنی و بهداشتی یکی از عوامل تأثیرگذار و مهم در افزایش جمعیت جهانی است که از طریق سامانه‌های آبرسانی در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد. یکی از معضلات شبکه‌های آبرسانی، مقدار هدررفت‌های آب^۱ در آن‌ها است. طبق آمار موجود در کشورهای در حال توسعه، حدود ۴۵ میلیون مترمکعب آب، روزانه از طریق نشت در شبکه‌های توزیع، هدر می‌رود که این حجم از آب برای خدمت‌رسانی به حدود ۲۰۰ میلیون نفر کافی است (Kingdom et al., 2006).

در ایران مسئله کمبود آب به خصوص در سال‌های اخیر جزء اصلی‌ترین نگرانی‌های آب کشور محسوب می‌شود. کاهش آب بدون درآمد^۲ باعث ایجاد منابع جدید آبی و مالی می‌شود؛ به طوری که کاهش هدررفت‌های فیزیکی، منجر به در دسترس قرار گرفتن مقادیر قابل توجه آب برای مصرف و به تعویق انداختن نیاز به سرمایه‌گذاری‌های جدید برای تأمین نیاز آبی و کاهش هزینه‌های اجرایی شرکت‌های آب و فاضلاب می‌شود.

یکی از گام‌های اصلی فعالیت‌های کاهش آب بدون درآمد، درک مفاهیم و اجزای مربوط به هدررفت در شبکه‌های آبرسانی و حصول اطمینان از اندازه‌گیری دقیق و یا تخمین هر یک از آن‌ها



شکل ۱- مدل سازی ۲۴ ساعته نشت بر اساس تحلیل حداقل جریان شبانه (Thornton et al., 2008)

مناسب برای تعیین مقادیر صحیح مصرف شبانه خانگی در منطقه مورد مطالعه ضروری است.

۲- مروری بر مطالعات پیشین

در زمینه تعیین مقدار سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی در سطح بین‌المللی، مطالعات مختلفی انجام شده است که در این

در تحلیل حداقل جریان شبانه، پیش‌بینی سرانه مصرف شبانه آب مشترکین خانگی^۷ از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در تعیین مقدار نشت است. با توجه به تفاوت‌های اقلیمی، فرهنگی و اجتماعی هر کشور ممکن است مقدار مصرف‌های شبانه خانگی از کشوری به کشور دیگر یا حتی در یک شبکه، از منطقه‌ای تا منطقه دیگر متفاوت باشد؛ بنابراین در تعیین میزان نشت شبکه به کمک تحلیل حداقل جریان شبانه، استفاده از تکنیک‌های

رویدادهای خانگی در هر بازه زمانی با واریانس جریان کل در آن بازه، برابر در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، مصرف شبانه خانگی برابر است با متوسط حاصل ضرب تعداد رویدادها در حجم هر رویداد (Creasey et al., 1996).

در اواخر دهه ۱۹۹۰، سازمان قانون‌گذاری خدمات آب انگلستان شرکت‌ها را ملزم نمود تا از داده‌های محلی و اختصاصی برای مطالعات هر منطقه استفاده کنند و استفاده از مقادیر کلی همچون سرانه ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت را غیرقابل قبول دانست. از جمله مطالعاتی که در این راستا انجام شد، اقدام شرکت خدمات آب بریستول در سال ۱۹۹۸ بود که با استفاده از نواحی پایش مصرف^۸، مصرف‌های شبانه مشترکین را اندازه‌گیری نمود. ناحیه پایش مصرف در واقع بخشی از یک ناحیه ایزوله شده است که در آن‌ها از کنتورهای ورودی ناحیه به منظور اندازه‌گیری مصرف مشترکین استفاده می‌شود. این نواحی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که حتی‌الامکان کم‌ترین مصرف‌های غیرخانگی مانند مصرف‌های صنعتی و تجاری را داشته باشد و مشترکین آن به لحاظ الگوی مصرف (به‌عبارتی طبقه‌بندی اجتماعی و فرهنگی) مشابه و به‌لحاظ آماری نیز تعداد مشترکین نمونه مناسبی برای برآورد جامعه باشند. مبنای روش مذکور این است که در صورت کم بودن تعداد مشترکین (بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ مشترک) و کوچک کردن بازه‌های ثبت مصرف به احتمال خیلی زیاد می‌توان لحظاتی ثبت نمود که هیچ مصرفی وجود نداشته باشد و جریان ورودی به ناحیه بیانگر نشت خالص شبانه^۹ باشد. پس از تعیین میزان نشت خالص شبانه، به کمک رابطه (۲) مصرف شبانه مشترکین خانگی تعیین می‌شود (Thornton et al., 2008):

$$\text{Domestic Night Use (DNU)} = \text{MNF} - \text{NNF} \quad (2)$$

که DNU: مصرف شبانه آب مشترکین خانگی، MNF: میانگین جریان ورودی به ناحیه در بازه شبانه و NNF: نشت خالص شبانه در ناحیه ایزوله هستند.

در مطالعه یاد شده، بازه شبانه برای تعیین مصرف شبانه به‌صورت دو ساعته در نظر گرفته شد. از جمله نتایجی که از این بررسی حاصل آمد این است که مقدار جریان شبانه در مناطق مختلف (حتی با طبقه‌بندی اجتماعی یکسان) متفاوت است. علاوه بر این، جریان شبانه در یک منطقه، در طول فصول مختلف نیز متغیر است. با استفاده از روش مذکور مقدار سرانه مصرف شبانه در ناحیه مورد مطالعه ۳/۲۵ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت تخمین زده شد. با ادامه اندازه‌گیری‌ها و اصلاح روش‌های میانگین‌گیری داده‌ها، شرکت بریستول در سال ۲۰۰۸ مصرف

مقاله به تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود. مطالعات انجام گرفته در انگلستان در اوایل دهه ۱۹۹۰، نشان داد که مصرف شبانه مشترکین خانگی بر اساس جمعیت فعال در شب و متوسط مصرف ساعتی هر نفر در طول شب با استفاده از رابطه (۱) تعیین می‌شود:

$$\text{Normal Domestic Night Use (NDNU)} = \frac{POP_{act} \times POP_{use}}{POP} \quad (1)$$

که NDNU: مصرف شبانه مشترکین خانگی به‌ازای لیتر در هر نفر در ساعت، POP_{act} : درصد جمعیت فعال در شب، POP : کل جمعیت و POP_{use} : متوسط مصرف ساعتی هر نفر در طول شب هستند.

در این تحقیق با فرض این که تنها ۶ درصد از جمعیت در شب فعال است و متوسط مصرف ساعتی هر نفر در شب نیز ۱۰ لیتر باشد، با استفاده از رابطه (۱)، متوسط سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی ۰/۶ لیتر به‌ازای هر نفر در ساعت تخمین زده شد. در نهایت با در نظر گرفتن بعد خانوار در منطقه مورد مطالعه، میزان مصرف شبانه مشترکین خانگی، ۱/۷ لیتر به‌ازای هر اشتراک در ساعت تعیین شد. لازم به ذکر است که متوسط مصرف ساعتی هر نفر در طول شب بر اساس حجم مخزن آب شست‌وشو دهنده توالت‌های فرنگی ممکن است از کشور یا منطقه‌ای تا مناطق دیگر تفاوت کند (Industry, 1994).

Creasey et al. (1996) روشی آماری برای برآورد مصرف‌های شبانه ارائه کردند. براساس این روش با ثبت جریان شبانه با کنتورهای دارای دقت بالا، به مدت یک هفته یا بیش‌تر می‌توان مصرف شبانه را به‌دست آورد. قاعده این روش آن است که چنان‌چه فشار نوسانات زیادی نداشته باشد، تلفات آب در ناحیه مجزا تقریباً ثابت فرض می‌شود و لذا نوسانات جریان شبانه ورودی کاملاً ناشی از مصرف‌های ساکنین ناحیه است. در این روش چنین فرض می‌شود که مصرف خانگی متأثر از یک نوع رویداد کوتاه با حجم ثابت و مشخص (به‌عنوان مثال مخزن آب شست‌وشو دهنده توالت) است و متوسط کل جریان ثابت است. دوره اندازه‌گیری به بازه‌های زمانی مساوی از ۱ تا ۵ دقیقه تقسیم می‌شود و این دوره باید به‌اندازه‌ای باشد که حداقل ۲۵۰ (ترجیحاً ۵۰۰) بازه زمانی را دربرگیرد. در هر بازه زمانی، با تقسیم کل حجم جریان بر متوسط حجم رویداد مذکور، مقدار معادل دبی برحسب تعداد رویدادها به‌دست می‌آید. فرض بر آن است که تعداد رویدادهای همانند در بازه‌های زمانی مساوی، از توزیع پواسون تبعیت می‌کنند که در آن میانگین و واریانس تابع با هم برابرند. با توجه به آن که نوسانات دبی صرفاً مربوط به مصرف‌های خانگی است، متوسط تعداد

مصرف‌ها استفاده شد:

۱- قرائت کنتورهای مشترکین در زمان ابتدا و انتهای بازه مصرف شبانه به کمک سیستم قرائت خودکار^۱؛

۲- استفاده از مناطق پایش مصرف.

در این مطالعه برای تعیین مصرف شبانه مشترکین به کمک سیستم قرائت خودکار بدین‌گونه عمل شد که با انتخاب ۵۰۰ مشترک خانگی، مقدار مصرف این مشترکین در بین ساعات ۲۴ تا ۴ بامداد به کمک سیستم قرائت خودکار ثبت و مقدار مصرف شبانه در هر اشتراک از تفاوت بین قرائت ابتدا و انتها در یک بازه دو ساعته تعیین شد. میانگین مصرف شبانه مشترکین در این روش از تقسیم مجموع مصرف‌های تعیین شده در هر شب بر تعداد کل مشترکین مورد مطالعه، تعیین شد.

از این مطالعات نتایجی مشابه مطالعه قبلی (منطقه اوتاوا) حاصل شد. البته مقادیر مصرف شبانه به‌مراتب بیش‌تر از مصرف ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت بود. مصرف شبانه در منطقه اول ۳/۵ تا ۸ برابر و در منطقه دوم ۵ تا ۹ برابر این مقدار بود. مقادیر به‌دست آمده به احتمال زیاد به‌دلیل استفاده گسترده مشترکین این منطقه از دستگاه‌های تصفیه آب تخمین زده شده است (Hunaidi, 2010). علاوه‌بر این، در مطالعات انجام شده در شهر رجینا یک مدل تحلیلی برای تعیین مؤلفه‌های حداقل جریان شبانه در هر ناحیه ایزوله، توسعه داده شد. براساس این مدل تحلیلی، حداقل جریان شبانه به سه مؤلفه زیر تقسیم می‌شود (Hunaidi, 2010):

۱- نشت زمینه؛

۲- تلفات قابل اجتناب (شکستگی‌های گزارش شده یا گزارش نشده)؛

۳- مصرف شبانه مشترکین.

فرضیات این مدل به‌شرح زیر است:

- نشت زمینه غالباً در محل اتصالات و شیرها رخ می‌دهد، لذا با فشار متوسط شبانه منطقه^{۱۱}، با توان ۱/۵ متناسب است؛
- تلفات قابل اجتناب (شکستگی‌ها) غالباً ناشی از نشت‌هایی با سطح مقطع ثابت هستند؛ لذا با فشار متوسط شبانه منطقه با توان ۰/۵ متناسب هستند؛

• متوسط مصرف شبانه مشترکین (با توجه به ثابت بودن حجم مخزن آب شست‌وشو دهنده توالت‌ها) مستقل از فشار ناحیه است. در این مدل تحلیلی که در رابطه (۳) ارائه شده است، چنانچه f_i^T به‌عنوان کل جریان شبانه و f_i^{RD} و f_i^{BL} به‌ترتیب به‌عنوان جریان نشت زمینه، جریان نشت قابل اجتناب و جریان مصرف شبانه خانگی در فشار P_i در نظر گرفته شود، با اندازه‌گیری حداقل

شبانه مشترکین را ۲/۳۹ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت گزارش کرده است (Fanner et al., 2008).

در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷، انجمن ملی تحقیقات کانادا با فرض آن‌که داده‌های حاصل از تجربیات سایر کشورها برای مطالعات منطقه آمریکای شمالی مناسب نیست، در مطالعه‌ای دو ناحیه ایزوله شده در شهر اوتاوا پیاده‌سازی کرد و مقادیر واقعی مصرف شبانه خانگی، نشت زمینه و رابطه فشار-نشت را به‌دست آورد. در این مطالعه با استفاده از مناطق پایش مصرف، مصرف شبانه مشترکین تعیین شد. بر همین اساس جریان ورودی به ناحیه ایزوله شده در بازه شبانه در فواصل زمانی پنج ثانیه‌ای ثبت شد. سپس با انتخاب حداقل مقدار اندازه‌گیری شده به‌عنوان نشت شبکه (در صورتی که نویز نباشد)، محاسبه میانگین جریان ورودی به ناحیه در بازه شبانه و کسر این دو مقدار از هم، مصرف شبانه مشترکین تعیین شد. نتایج حاصل از این مطالعه در بخش اندازه‌گیری مصرف‌های شبانه مشترکین خانگی به‌شرح زیر است (Hunaidi and Brothers, 2007):

• مقدار مصرف شبانه از برآورد متداول آن یعنی ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت که در دهه ۱۹۹۰ براساس نتایج اندازه‌گیری کشور انگلستان به‌دست آمده، بیشتر است. این موضوع بالاخص در فصول آبیاری فضای سبز بیشتر نمایان است، به‌نحوی که مقدار آن تا ۳ برابر برآورد متداول نیز می‌رسد؛

• در ماه ژوئن مصرف شبانه به‌طور قابل‌توجهی از شبی تا شب دیگر فرق می‌کند که به احتمال زیاد به‌خاطر آبیاری فضای سبز است؛

• در ماه اکتبر که خارج از بازه آبیاری فضای سبز قرار دارد، مصرف شبانه به میزان کمی در شب‌های مختلف تفاوت می‌کند و به‌طور کلی بیشتر از مقدار ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت است. مقدار سرانه مصرف شبانه بین ۱/۷۹ و ۲/۸۹ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت و متوسط آن ۲/۳۴ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت بود؛

• براساس نتایج به‌دست آمده در ماه‌های ژوئن و اکتبر چنین انتظار می‌رود که احتمالاً درصد بیشتری از جمعیت در روزهای تعطیل سال در طول شب بیدار هستند.

در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸، انجمن ملی تحقیقات کانادا، دو ناحیه ایزوله شده دیگر را در شهر رجینا پیاده نمود. در ناحیه اول ۳۹۴ و در ناحیه دوم ۲۰۹۵ اشتراک داشت. به‌منظور بررسی مصرف شبانه از کل ناحیه اول و زیرمجموعه‌ای متشکل از ۲۲۲ اشتراک در ناحیه دوم به‌عنوان نواحی پایش مصرف استفاده شد (Hunaidi, 2010). در این مناطق از دو روش برای اندازه‌گیری

جریان شبانه در فشار متفاوت P_1 ، P_2 و P_3 رابطه (۳) حاصل می‌شود.

$$\begin{aligned} f_1^T &= f_1^{BL} + f_1^{RL} + f_1^{RD} \\ f_2^T &= f_2^{BL} + f_2^{RL} + f_2^{RD} = \\ &= f_1^{BL} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1.5} + f_1^{RL} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.5} + f_2^{RD} \\ f_3^T &= f_3^{BL} + f_3^{RL} + f_3^{RD} = \\ &= f_1^{BL} \left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{1.5} + f_1^{RL} \left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{0.5} + f_3^{RD} \\ f_1^{RD} &= f_2^{RD} = f_3^{RD} \end{aligned} \quad (3)$$

با حل سیستم معادلات خطی رابطه (۳)، مقادیر سه مؤلفه حداقل جریان شبانه تعیین می‌شود.

در سال ۲۰۰۵ مطالعه‌ای به منظور تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در یک ناحیه مجزا با ۲۰۰۰ اشتراک در شهر بانکوک تایلند انجام گرفت. به همین منظور تمامی کنترهای ۱۷۵۰ اشتراک خانگی موجود در محدوده مورد مطالعه به صورت

مجزا در هر شب بین ساعات ۲۴ تا ۴ بامداد، دو بار قرائت شد. به دلیل زیاد بودن تعداد اشتراکات خانگی، این عملیات به مدت یک هفته در ماه ژوئن به طول انجامید. در این مطالعه به منظور تعیین میانگین مصرف شبانه از مصرف‌های اندازه‌گیری شده بزرگتر از ۲۵۰ لیتر بر ساعت چشم‌پوشی شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که میانگین مصرف شبانه در ناحیه مجزا ۱۸/۲ مترمکعب بر ساعت است. با توجه به وجود اشتراکات غیرخانگی در محدوده مورد مطالعه، میانگین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی ۱۴/۴ مترمکعب بر ساعت که معادل ۸/۲۳ لیتر به ازای هر نفر در ساعت است و میانگین مصرف شبانه مشترکین غیرخانگی (با استعلام میزان مصرف آب از سازمان‌های مرتبط)، ۳/۸ مترمکعب بر ساعت تعیین شده است (Islam, 2005). در کشورهای دیگر مطالعاتی برای پیش‌بینی مصرف‌های شبانه آب مشترکین خانگی انجام گرفته است که نتایج به صورت خلاصه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- تحقیقات انجام شده در زمینه تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی (Fantozzi and Lambert, 2012; Amoatey et al., 2014)

منطقه مورد مطالعه	شرایط در نظر گرفته شده در تعیین مصرف شبانه	سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی*
آفریقای جنوبی، ۱۹۹۹	۶ درصد جمعیت فعال در بازه حداقل جریان شبانه (حجم ۱۰ لیتری مخازن آب شست‌وشو دهنده توالی)	۱/۷ L/household/h ۰/۶ L/person/h
انگلستان، ۲۰۰۱	مشخص نشده	۱/۷ L/household/h
آلمان، ۲۰۰۳	جمعیت ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ نفری در هر منطقه مجزا بدون مصرف‌های صنعتی	۰/۶ L/person/h
استرالیا، ۲۰۰۹	حجم مخزن آب شست‌وشو دهنده توالی و نشت از شیرآلات	۱/۰۸ L/household/h
ایالات متحده، تنسی، ۲۰۱۰	اشتراک روستایی- حجم مخزن آب شست‌وشو دهنده توالی	۵/۶۸ L/household/h
اوگاندا، کامپالا، ۲۰۱۲	تحلیل حداقل جریان شبانه	۳ L/household/h
استرالیا	جمعیت ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ نفری در هر منطقه مجزا بدون مصرف‌های صنعتی	۰/۸ تا ۰/۴ L/person/h
کانادا	مشخص نشده	۳ L/household/h
مالزی	مشخص نشده	۵ L/household/h
منطقه‌ای در جنوب شرق آسیا	۳ تایی بودن بعد خانوار و استفاده ۳ درصد جمعیت فعال از توالی، حمام و شیر آب	۱/۴ L/household/h ۰/۴۵ L/person/h

* L/household/h: برابر میزان مصرف هر اشتراک (با توجه به بعد خانوار در آن) به ازای لیتر در هر ساعت و L/person/h: میزان مصرف هر نفر به ازای لیتر در هر ساعت است.

در سال ۱۳۹۰ در ایران طبق مطالعه‌ای، مصرف شبانه مشترکین خانگی به کمک روش ناحیه پایش مصرف در روستای خلایق از توابع شهرستان تهران تعیین شد. به همین منظور داده‌های جریان ورودی به ناحیه به مدت شش ماه در طی فصول تابستان و پاییز سال ۱۳۹۰ ثبت شد. برای تعیین مصرف شبانه مشترکین، بازه شبانه بدین صورت تعیین شد که در هر شب

کم‌ترین جریان ثبت شده توسط کنتور شناسایی شده و سپس با ایجاد یک بازه دو ساعته (یک ساعت قبل و بعد از زمان وقوع کم‌ترین جریان ثبت شده توسط کنتور)، بازه شبانه انتخاب شد. مصرف شبانه مشترکین با میانگین‌گیری از جریان ورودی به ناحیه در بازه شبانه و کم کردن مقدار نشت شبکه از آن تعیین شد. در این مطالعه سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی

روستایی، ۲/۱۵ لیتر به ازای هر نفر در ساعت تعیین شد (مالمیر، ۱۳۹۰).

در یک جمع‌بندی کلی از مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که متداول‌ترین روش‌ها برای تخمین و برآورد مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی با کم‌ترین میزان خطا عبارتند از:

۱- بررسی مصرف شبانه هر یک از مشترکین ناحیه به صورت مجزا از یکدیگر (روش مستقیم)؛

۲- ایجاد مناطق پایش مصرف‌ها و ثبت مقدار جریان ورودی به این ناحیه در فواصل زمانی بسیار کوتاه (روش غیرمستقیم).

مزیت روش اول در آن است که اندازه‌گیری مصرف‌ها با دقت بسیار زیاد صورت می‌پذیرد و لیکن در این روش‌ها کفایت نمونه انتخاب شده از نظر کمیت و تناسب با جامعه بسیار حائز اهمیت است و از سویی اجرای آن‌ها مستلزم صرف هزینه زیاد است.

مزیت روش دوم در آن است که اولاً مناطق پایش مصرف تعداد نسبتاً زیادی از مشترکین را دربر می‌گیرند و مشکل نمونه‌گیری در آن کمتر است. ثانیاً به علت برهم نهدی مصرف‌های جزئی مشترکین و افزایش حجم کلی آن‌ها در ورودی شبکه، امکان شناسایی و ثبت این‌گونه مصرف‌هایی که حجم آن‌ها کمتر از آستانه اندازه‌گیری کنتورهای مشترکین است و این کنتورها قادر به ثبت آن‌ها نیستند فراهم می‌شود. نقطه ضعف این روش آن است که در وهله اول از دقت کم‌تری در محاسبه مصرف‌ها برخوردار است و دوم آن‌که وجود مشترکین پرمصرف و مشترکین غیرخانگی در ناحیه می‌تواند موجب انحراف نتایج شود.

۳- جمع‌بندی

در این مقاله مروری بر مطالعات تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی انجام گرفت. با بررسی مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که برای تعیین مصرف‌های شبانه مشترکین خانگی، روش‌های مختلفی وجود دارد که تمامی آن‌ها بر پایه برآورد و تخمین است و هیچ‌کدام از این روش‌ها توانایی محاسبه دقیق مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی را ندارد.

مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در هر یک از مطالعات انجام شده، مقداری خاص و متفاوت بوده و دامنه تغییرات این مقادیر در حدود ۱/۴ تا ۸/۲۳ لیتر بر هر اشتراک در ساعت است. علت را می‌توان علاوه بر تفاوت‌های موجود در روش‌های برآورد مصرف، در تفاوت‌های موجود در موقعیت جغرافیایی، فرهنگی، وضعیت اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، مذهبی، شرایط آب و هوایی و غیره دانست. لذا استفاده از مقادیر

مصرف شبانه آب مشترکین خانگی اندازه‌گیری شده در سایر مطالعات، در منطقه‌ای دیگر لزوماً صحیح نیست و منجر به تولید خطا در تخمین نشت خواهد شد. بنابراین مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی با توجه به عوامل تأثیرگذار بر آن باید در منطقه‌ای که مورد نیاز است، اندازه‌گیری شود. در نقد و بررسی مطالعات انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بازه حداقل جریان شبانه از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تعیین مصرف شبانه آب خانگی است. به صورت استاندارد بازه حداقل جریان شبانه، حداقل بازه یک ساعته است. این مسئله در هر دو روش مستقیم و غیرمستقیم باید مدنظر قرار گیرد و در صورت استفاده از بازه‌های دیگر (نظیر بازه ۲ ساعته و یا ۱۵ دقیقه‌ای)، مقدار مصرف اندازه‌گیری شده را باید اصلاح کرد (Farley and Trow, 2007)؛

- در روش غیرمستقیم، تخمین نشت ناحیه ایزوله شده از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تعیین مصرف شبانه آب خانگی است. در مطالعات صورت گرفته به کمک این روش، عموماً با فرض ناچیز بودن مقدار نشت داخلی منازل، اقدام به تعیین نشت ناحیه می‌شود. استفاده از این روش در مناطقی با ساختمان‌های مسکونی قدیمی با مقادیر نشت داخلی زیاد، کارآمد نبوده و باعث بروز خطا در محاسبات می‌شود؛

- در تعیین مصرف شبانه خانگی به کمک روش غیرمستقیم، قبل از اندازه‌گیری جریان ورودی به ناحیه، باید عملیات نشت‌یابی فعال انجام شود. از این طریق احتمالاً تنها نشت موجود در ناحیه، نشت زمینه خواهد بود. علاوه بر این باید تغییرات فشار در زمان اندازه‌گیری جریان ورودی به ناحیه حداقل باشد؛ چرا که تغییرات فشار موجب تغییرات مقدار نشت و به تبع از آن موجب تغییرات و احتمال بروز خطا در تعیین مقدار مصرف شبانه خانگی می‌شود؛
- در روش مستقیم، تخمین مصرف شبانه مشترکین خانگی به نشت شبکه وابسته نبوده و به دلیل اندازه‌گیری میزان نشت داخلی منازل به عنوان مصرف شبانه، از دقت بهتری نسبت به روش غیرمستقیم برخوردار است؛

- در روش مستقیم احتمال بروز خطا در خواندن کنتورها زیاد است. استفاده از کنتورهای قرائت از راه دور ترجیح داده می‌شود؛
- مصرف شبانه تعیین شده در مطالعه انجام شده در ایران، مربوط به مناطق روستایی است و نمی‌توان از آن در مناطق شهری استفاده نمود؛

- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در مناطق گردشگری (هم‌چون شهر بانکوک)، به دلیل فعال بودن بیشتر افراد در طول شب، بیش‌تر از مناطق غیر گردشگری است؛

وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. مالمیر، ج. (۱۳۹۰)، "بررسی میدانی مصرف شبانه آب مشترکین خانگی و عوامل موثر بر آن (مطالعه موردی روستای خلایر - شهرستان تهران)"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

- Amoatey, P. K., Minke, R., and Steinmetz, H., (2014), "Leakage estimation in water networks based on two categories of night-time users: A case study of a developing country network", *Water Science and Technology: Water Supply*, 14(2), 329-336.
- Creasey, J., Joy, J., and Oakes, A., (1996), *Direct assessment of district leakage levels*, water research centre. Report No. PT 1097. United Kingdom.
- Fanner, P., Davis, S., Hoogerwerf, T., Liemberger, R., Sturm, R., and Thornton, J., (2008), *Leakage management technologies*, Water Environment Research Foundation.
- Fantozzi, M., and Lambert, A., (2012), "Residential night consumption-assessment, choice of scaling units and calculation of variability", *Proceedings of the IWA Water Loss Conference*, Manila, Philippines, pp. 26-29.
- Farley, M., and Trow, S., (2007), *Losses in water distribution networks*, UK: IWA Publishing.
- Hunaidi, O., (2010), "Leakage management for water distribution infrastructure, Report 1: Results of DMA experiments in Regina, SK", *National Research Council Canada*, June.
- Hunaidi, O., and Brothers, K., (2007), "Night flow analysis of pilot dmAs in ottawa", In *Proceedings of the Water Loss Specialist Conference*, Canada, pp. 32-46.
- Industry, U. K. W., (1994), *Managing leakage report e: Interpreting measured night flows*, WRc plc/Water Service Association/Water Companies Association, Swindon, UK.
- Islam, M. S., (2005), *Analysis and management of leakage in a selected area of bangkok water distribution network*, Asian Institute of Technology.
- Kingdom, B., Liemberger, R., and Marin, P., (2006), "The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries: How the private sector can help", *Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion*, No. 8.
- Thornton, J., Sturm, R., and Kunkel, G., (2008), *Water loss control*, 2nd Edition, New York: McGraw-Hill Education.

- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین در کشورهای اسلامی (هم چون مالزی)، به دلیل تفاوت در عادات و رفتارهای مذهبی نسبت به کشورهای غیر اسلامی (هم چون انگلستان، آلمان و استرالیا)، احتمالاً بیش تر است؛
- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در روزهای تعطیل و یا آخر هفته، به دلیل فعال بودن بیش تر مشترکین در بازه شبانه، بیش تر از مصرف شبانه در روزهای کاری هفته است؛
- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین روستایی به دلیل وجود دام و طیور در این مناطق و هم چنین متفاوت بودن عادات اجتماعی این مشترکین نسبت به مشترکین شهری، متفاوت و احتمالاً بیش تر است؛
- در کشور ایران مصرف شبانه آب مشترکین خانگی براساس نشریه ۵۵۶، برابر با مقدار ۰/۶ لیتر زای هر نفر در هر ساعت پیشنهاد شده است، که این مقدار برگرفته از تحقیقات انجام شده در انگلستان در دهه ۱۹۹۰ میلادی و براساس ویژگی های محلی است. لذا با توجه به تفاوت های موجود به لحاظ فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی، مذهبی، جغرافیایی و غیره، بین کشور ایران و انگلستان و از طرفی با توجه به تأثیرگذاری مصرف های شبانه آب مشترکین خانگی بر تخمین میزان نشت شبکه و اهمیت این موضوع در تدوین برنامه ها و سیاست های کنترل تلفات لازم است که به منظور تعیین مقادیر ملی و منطقه ای سرانه مصرف های شبانه مشترکین خانگی، مطالعات گسترده ای در سطح کشور در این خصوص انجام شود.

۴- پی نوشت ها

- 1- Water Loss
- 2- Non-Revenue Water (NRW)
- 3- Top-Down Water Balance
- 4- Bursts and Background Estimates (BABE)
- 5- Minimum Night Flow (MNF) Analysis
- 6- District Metered Areas (DMAs)
- 7- Household Night Consumption
- 8- Consumption Monitor Areas (CMAs)
- 9- Net Night Flow (NNF)
- 10- Automatic Meter Reading (AMR)
- 11- Average Zone Night Pressure (AZNP)

۵- مراجع

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری - امور نظام فنی، (۱۳۹۱)، راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن، نشریه ۵۵۶،



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

Risk Assessment for Gas Chlorination Units of Water and Wastewater Treatment with FMEA Method

Hanie Mohsenzade^{1,2}, Hesam Razmara², Ali Dashti^{*1,2}, Hadi Roosta^{1,2}, Hadi Nakhaee Fadafan³, Samaneh Tavakoli Aminian⁴, Masoud Rouhbakhsh⁴ and Ali Fazaeli Torabi³

1- Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Research Laboratory of Polymer Testing (RPT Lab.), Research Institute of Oil and Gas, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Mashhad Water and Wastewater Company, Chlorination Office, Mashhad, Iran.

4- Mashhad Water and Wastewater Company, Research Office, Mashhad, Iran.

* Corresponding author, Email: dashti@um.ac.ir

Received: 27/02/2020

Revised: 10/08/2020

Accepted: 10/08/2020

© IWWA

ارزیابی ریسک در واحدهای کلرزنی تصفیه آب و فاضلاب به روش FMEA

حانیه محسنزاده^{۱,۲}، حسام رزم‌آرا^۲، علی دشتی^{۱,۲*}، هادی روستا^{۱,۲}، هادی نخعی فدافان^۳، ثمانه توکلی امینیان^۴، مسعود روحبخش^۴ و علی فضائلی ترابی^۳

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- آزمایشگاه تحقیقاتی آزمون‌های قطعات پلیمری، پژوهشکده نفت و گاز، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- اداره کلرزنی، شرکت آب و فاضلاب مشهد، مشهد، ایران.

۴- دفتر تحقیقات، شرکت آب و فاضلاب مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: dashti@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

In the present paper, based on case study, risk measurement using failure mode effects analysis (FMEA¹) methodology was performed in 4 chosen water and wastewater treatment plants in Mashhad. In this method, first the chlorination units were categorize to 6 classes including cylinders storage, chlorination room, gas cylinders, transportation of chlorine gas, joints of chlorination equipment, and educational systems of employee and management. The different potential modes of failures of these water and wastewater treatment units were listed and the severity rating, occurrence rating, and detectability rating were determined with interviewing the experts. According to these, risk priority number was calculated and the risk of mode of failure was prioritized in the parts of the water and water treatment plants. The results indicate that in general, the first priorities corresponded to the risks in terms of electrical and transportation; and using standard equipment and appropriate means of transport were suggested.

Keywords: Chlorination, FMEA, Risk Analysis, Risk Priority Number, Water and Wastewater Treatment.

چکیده

در این پژوهش ارزیابی ریسک با روش بررسی حالات بالقوه خرابی و خطر و تحلیل اثرات ناشی از آن (FMEA^۱) در واحدهای کلرزنی ۴ تصفیه‌خانه منتخب در مشهد انجام گرفت. در این روش ابتدا واحدهای سیستم کلرزنی به ۶ زیرمجموعه شامل انبار سیلندرها، گاز کلر، اتاق کلرزنی، سیلندرها، حمل و نقل سیلندرها، گاز کلر، اتصالات کلرزنی، گاز و کارکنان، سیستم آموزشی و مدیریتی واحدهای کلرزنی، دسته‌بندی شدند. سپس، خطرات بالقوه در تصفیه‌خانه‌های منتخب، لیست شد و مقادیر شدت خرابی و خطر، احتمال وقوع خرابی و خطر و نیز قابلیت شناسایی خطر از طریق مصاحبه با متخصصان مشخص شد. پس از آن، مقادیر عدد اولویت ریسک محاسبه شد که براساس آن امکان اولویت‌بندی خطرات در هر حوزه از تصفیه‌خانه‌های منتخب فراهم شد. نتایج نشان دادند به‌صورت کلی خطرات بالقوه با اولویت نخست بیشتر مربوط به سیستم‌های الکتریکی و در بخش حمل و نقل است و استفاده از تجهیزات استاندارد و حمل و نقل با استفاده از وسایل نقلیه مناسب برای کاهش ریسک این خطرات پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه‌خانه آب و فاضلاب، کلرزنی، ارزیابی ریسک، FMEA، عدد اولویت ریسک.

می‌کرد. بعد از آن، FMEA در صنایع دفاعی و هوافضا مورد استفاده قرار گرفت، به‌طوری‌که در دهه ۱۹۶۰ استفاده از این روش در ساخت سفینه آپولو توسط ناسا و در دهه ۱۹۷۰ مؤسسات اتمی مورد توجه قرار گرفت و از سال ۱۹۷۶ در صنایع خودروسازی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، از سال ۱۹۹۲ یک استاندارد مرجع از FMEA در صنعت خودروسازی معرفی شد (Dhillon, 1992). مهم‌ترین اهداف FMEA شامل شناسایی کردن و اولویت‌بندی حالات بالقوه خرابی و خطر، انجام راه‌کارها و اقداماتی برای حذف و یا کاهش میزان وقوع حالات بالقوه خرابی و خطر و مطالعه و ثبت نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌ها برای حل مشکلات و از بین بردن خطرات است (Gheibi et al., 2019). بر این اساس، در این مطالعه خطرات مجموعه ۴ واحد منتخب کلرزی شرکت آب و فاضلاب مشهد از طریق روش FMEA ارزیابی و تحلیل شده است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- بررسی موردی (تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه)

شناسایی، تحلیل و ارزیابی خطرات در مجموعه تصفیه‌خانه‌های شرکت آب و فاضلاب مشهد شامل تصفیه‌خانه‌های منتخب ۱ الی ۴ انجام گرفت. فضاهای تشکیل‌دهنده واحد کلرزی گازی عبارتند از: اتاق استقرار سیلندرهای آماده مصرف، اتاق فرمان و کنترل، اتاق اپراتور، حوضچه خنثی‌سازی، اتاق خنثی‌ساز و اتاق کلرزی، که در بعضی تصفیه‌خانه‌ها ممکن است بعضی از این موارد وجود نداشته باشد.

۲-۲- روش تحقیق

مراحل کار به این صورت است که ابتدا پس از تعیین هدف، تیم تشکیل شد و با مشخص کردن فرآیند و اجزا و زیر مجموعه‌ها، شامل انبار سیلندرهای گاز کلر، اتاق کلرزی، سیلندرهای گاز، حمل و نقل سیلندرهای گاز کلر، اتصالات کلرزی‌های گازی و کارکنان، سیستم آموزشی و مدیریتی واحدهای کلرزی، برای هرکدام از زیر مجموعه‌ها یک سری مراحل انجام شد. این مراحل شامل شناسایی و فهرست کردن خرابی‌ها و خطرات بالقوه (شدت خرابی و خطر (S)، میزان وقوع خرابی و خطر (O)، و قابلیت شناسایی خرابی و خطر (D)) است که براساس یک سری معیارهای موجود در پژوهش‌های قبلی برای هر حوزه در ۴ تصفیه‌خانه طبق نظر کارشناسان مقداردهی شد. بعد از لیست شدن خطرات بالقوه در هر حوزه برای تصفیه‌خانه‌های منتخب و

مدیریت ریسک امری لازم و ضروری برای هر سازمانی است، به‌خصوص سازمان‌هایی که با تجهیزات و فرآیندهایی مواجه هستند که خطرات، خرابی‌ها و خطاهای صورت گرفته در آن می‌تواند همراه با تهدیدات جدی برای موجودات زنده و محیط زیست باشد (Prabu et al., 2020). یکی از این سازمان‌ها، شرکت آب و فاضلاب است که در ارتباط با خطرات ناشی از نشت گاز سمی کلر در تصفیه‌خانه‌های خود است و به دنبال راه‌کارهایی برای جلوگیری از زیان است (رسول و براتی، ۱۳۹۵). با وجود تکنولوژی‌های تصفیه آب نظیر فیلتراسیون غشائی (Abdel-Fatah et al., 2019)، اشعه UV (Carra et al., 2020)، استفاده از ازن و هیدروژن پراکسید (اکسیداسیون پیشرفته)، تبادل یون و فیلتراسیون بیولوژیکی (Chu et al., 2020)، روش کلرزی برای تصفیه آب شهری هنوز روشی متداول است (Anthony et al., 2020). گاز کلر در غلظت ۱۰-۲۰ ppm در عرض ۳۰ دقیقه باعث ایجاد مسمومیت شده و در غلظت‌های ۱۰۰-۱۵۰ ppm در عرض ۵ تا ۱۰ دقیقه سبب مرگ انسان می‌شود. تماس دائم با مقادیر کم آن ریه‌ها را ضعیف می‌کند و آسیب‌پذیری ریه‌ها را در برابر بیماری‌های دیگر افزایش می‌دهد (Gheraout and Elboughdiri, 2020). فاکتورهایی از قبیل نقشه سیلندر، جنس سیلندر، وزن خالی و پر سیلندر و گیره در ایمنی فرآیند مؤثر بوده و فاکتورهایی هستند که باید طبق استاندارد طراحی شوند. سیلندر گاز کلر حتماً باید دارای کلاهک باشد و کارکنان نیز به‌خوبی تحت آموزش نحوه کار با سیلندر قرار گرفته باشند. سیلندرهای مورد استفاده باید تحت انجام آزمایش استحکام و مقاومت بدنه قرار گرفته باشند (Srivastava et al., 2019). براین اساس، بررسی حالات بالقوه خرابی و خطر و تحلیل اثرات ناشی از آن یا همان FMEA می‌تواند در شناسایی خطرات بالقوه، تعیین میزان شدت آن‌ها و احتمال وقوع آن‌ها کارآمد باشد و از وقوع حوادث بعضاً غیرقابل جبران پیشگیری به‌عمل آورد (ستوده مرام، ۱۳۹۸).

روش FMEA برای سالیان مدیدی در بخش‌های مختلف به‌خصوص حوزه صنعت برای مدیریت ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wicaksono and Karnaningroem, 2019). در این‌خصوص کاربرد آن به اوایل دهه ۱۹۵۰ و هنگام طراحی و توسعه سیستم‌های کنترل پرواز نسبت داده می‌شود که ضوابط و معیارهای ناشی از این روش سیستماتیک به شناسایی حالات خطا در اثر تغییرات ناشی از طراحی در سیستم‌های کنترل پرواز کمک

اوایل شهریور تا اواخر آذر ماه سال ۱۳۹۸ براساس مصاحبه و طرح پرسشنامه موارد موجود در جدول FMEA، انجام شده است (Ben-Daya, 2009; Kiran, 2016; Bowles, 2002). به منظور انجام اقدامات ضروری برای حذف یا کاهش خطرات احتمالی و بالقوه نیاز است که خطرات براساس محدوده RPN اولویت بندی شوند تا به ترتیب پرخطرترین موارد در دست بررسی و اقدام قرار گیرند. جدول ۱ این محدوده را مشخص می کند (Stamatis, 2018; Babiker et al., 2018; Liu et al., 2019). براساس جدول ۱ می توان مشخص کرد که هر خطر در هر زیر مجموعه ای که قبلاً تعیین شد برای انجام، در چه اولویتی قرار دارد.

تعیین و مشخص شدن مقادیر (S)، (O) و (D) براساس نظر کارشناسان و نمایندگان هر تصفیه خانه منتخب با معیار نمره دهی بر اساس نمرات ۰ تا ۱۰، که براساس استاندارد برخی مراجع به شکل مستقل تعریف و مشخص و اولویت ها بررسی شدند (Ben-Daya, 2009). بررسی اولویت ها (میزان اهمیت هر ریسک) به این صورت است که از طریق عدد اولویت ریسک (RPN^5) که حاصل ضرب سه مقدار S، O و D است، تعیین می شود. خطرات بالقوه با بالاترین عدد RPN در اولویت اول قرار می گیرند. پیشنهادات پیشگیرانه و اصلاحی برای کاهش عدد اولویت ریسک براساس اقداماتی که سبب کاهش احتمال وقوع خرابی و خطر شود نیز ارائه شد. تحلیل ریسک تصفیه خانه های نامبرده شده بین

جدول ۱- اولویت بندی خطرهای بالقوه بر اساس محدوده RPN پیشنهادی

محدوده RPN	اولویت	اقدامات/توضیحات
بیشتر از ۱۵۰	اول	توقف فرآیند و عملیات موردنظر تا هنگامی که خطر بالقوه کاهش یابد
بین ۱۰۰ تا ۱۵۰	دوم	باید در اسرع وقت اقدامات اصلاحی صورت گیرد
بین ۵۰ تا ۹۹	سوم	باید اقدامات اصلاحی موردنظر قرار گرفته و انجام شود
بین ۳۰ تا ۴۹	چهارم	انجام اقدامات اصلاحی پیشنهاد می شود
بین ۲۰ تا ۲۹	پنجم	عملیات می تواند ادامه یابد اگرچه کنترل و توجه بیشتر ترجیحاً مدنظر باشد
کمتر از ۲۰	ششم	خطر قابل تحمل است

یک سری مسائل ایمنی است.

۳- نتایج و بحث

۳-۲- محاسبه عدد اولویت ریسک

در هر تصفیه خانه منتخب و برای هر کدام از خطرات بالقوه (شناسه خطرات A تا F)، مقادیر (S)، (O)، و (D) تعیین و مشخص شدند. نگذاشتن کلاهک ایمنی، دیواره و سرپوش نداشتن ماشین مخصوص حمل سیلندر، عدم اسکورت ماشین حمل سیلندر کلر و استفاده از وسایل نقلیه نامناسب بدون معاینه فنی بالاترین شدت خطر را دارد. به هر حال این پارامتر، بدون در نظر گرفتن احتمال وقوع و قابلیت شناسایی آن است و بنابراین برای اینکه خطر بر اساس روش FMEA به درستی قابل تحلیل باشد باید حاصل ضرب مقادیر سه نمودار بالا (مقدار RPN) در تحلیل ها مورد استفاده قرار گیرد که بر این اساس مقدار عدد RPN برای تصفیه خانه منتخب ۱ در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳-۱- لیست خرابی و خطرات بالقوه برای هر یک از زیر مجموعه ها

حالات بالقوه خرابی و خطر در ۴ تصفیه خانه منتخب و در حوزه های انبار سیلندرها، سیلندرهای گاز و حمل و نقل سیلندرهای گاز کلر بر طبق جدول های ۲ تا ۴ شناسایی و کدگذاری شدند. در جدول ۲ خرابی ها و خطرات بالقوه مربوط به انبار سیلندرهای گاز کلر نشان داده شده است که این موارد در ۲۱ زیر مجموعه طبقه بندی شدند.

خرابی ها و خطرات بالقوه مربوط به اتاق کلرzeni (شناسه خطرات B)، اتصالات کلرzeni های گازی (شناسه خطرات E) و کارکنان، سیستم آموزشی و مدیریتی واحدهای کلرzeni (شناسه خطرات F) مطابق مرجع (دشتی و همکاران، ۱۳۹۸) لیست و کدگذاری شده اند. حالاتی که در ارتباط با سیلندرهای گاز، منجر به یک سری خرابی و خطر می شود در جدول ۳ ارائه شده است. در جدول ۴ خرابی ها و خطرات بالقوه در ارتباط با حمل و نقل سیلندرهای گاز کلر کدگذاری شده است. این خطرات در مورد نامناسب بودن بارگیری، ماشین حمل، مسیر و رعایت نکردن

جدول ۲- خرابی‌ها و خطرات بالقوه در انبار سیلندرهای گاز کلر (شناسه خطرات A)

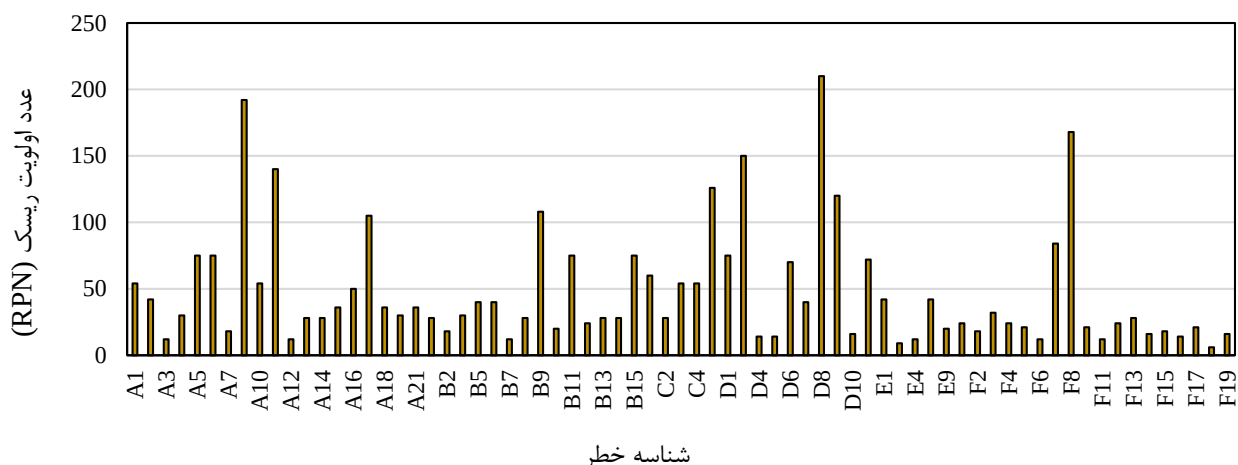
کد	حالات بالقوه خرابی و خطر
(A ₁)	کیفیت نامناسب سازه‌های انبار سیلندر و عدم استحکام بنای آن
(A ₂)	ابعاد نامناسب انبار سیلندر کلر
(A ₃)	جنس نامناسب سقف (بدون عایق حرارتی)، کف و دیواره‌ها
(A ₄)	بکارگیری مصالح بی‌کیفیت و آسیب‌پذیر در برابر حریق و زنگ‌زدگی
(A ₅)	تعداد و ابعاد نامناسب پنجره‌ها و محل نامناسب آن‌ها
(A ₆)	تعداد و ابعاد نامناسب درها و محل نامناسب درها
(A ₇)	فاصله نامناسب انبار سیلندر از منابع تولید گرما و حرارت و نزدیکی بیش از حد انبار به تأسیسات مکانیکی و برقی
(A ₈)	اتصالات معیوب و نامناسب الکتریکی و برقی
(A ₉)	غیر استاندارد بودن حوضچه آب آهک
(A ₁₀)	مکانیزم نامناسب برای انتقال هوای داخل انبار به فضای آزاد یا اتاق خنثی‌ساز و عدم تهویه مناسب انبار و جهت نامناسب تهویه
(A ₁₁)	قرارگیری نامناسب تابلوی برق، کلیدهای قطع و وصل برق و دیگر ابزارآلات
(A ₁₂)	قراگیری نامناسب سیلندرها و جانمایی نامناسب تجهیزات انبار
(A ₁₃)	عدم فاصله مناسب بین سیلندرهای گاز کلر
(A ₁₄)	قرار نگرفتن سیلندرها و مخازن بزرگ روی پایه‌های مخصوص آن‌ها و احتمال جابه‌جایی آن‌ها در اثر بروز حوادثی مثل زلزله
(A ₁₅)	عدم پایش هوشمند انبار
(A ₁₆)	دمای نامناسب محیط انبار سیلندر گاز مخصوصاً در فصول سرد
(A ₁₇)	رطوبت بالا یا نامناسب انبار سیلندر گاز
(A ₁₈)	عدم وجود دیواره‌های بتونی کوتاه با ارتفاع مناسب (۵۰ تا ۸۰ سانتیمتر) در جلوی سیلندرها
(A ₁₉)	مهار نامناسب سیلندر داخل حوضچه آب آهک یا عدم وجود مهار بند
(A ₂₀)	ابعاد و محل نامناسب اتاق خنثی‌ساز
(A ₂₁)	مشکلات فنی سیستم‌های هشدار دهنده، اسکرابر و ترپ

جدول ۳- خرابی‌ها و خطرات بالقوه سیلندرهای گاز (شناسه خطرات C)

کد	حالات بالقوه خرابی و خطر
(C ₁)	نگذاشتن کلاهک ایمنی روی سیلندرهای گاز
(C ₂)	وجود رطوبت و موادی همچون آمونیاک، اکسیژن، روغن و هیدروکربن‌های گازی و مایع در سیلندرهای کلر گازی
(C ₃)	کهنگی و فرسودگی سیلندرها
(C ₄)	وجود سیلندرهای بدون انجام تست استحکام و تست مقاومت بدنه
(C ₅)	تعبیه شیر نامناسب یا آسیب‌دیده روی سیلندر گاز

جدول ۴- خرابی‌ها و خطرات بالقوه در حمل و نقل سیلندرهای گاز کلر (شناسه خطرات D)

کد	حالات بالقوه خرابی و خطر
(D ₁)	ضربه خوردن سیلندرهای گاز کلر یا در رفتن سیلندرها از فاصله نامناسب روی زمین یا روی پایه‌ها
(D ₂)	دیواره و سرپوش نداشتن ماشین حمل مخصوص سیلندر
(D ₃)	بلند کردن سیلندر از طریق کلاهک آن‌ها
(D ₄)	قرار ندادن کلاهک سیلندرها هنگام جابه‌جایی و حمل آن‌ها
(D ₅)	بارگیری غیر مکانیزه سیلندرها
(D ₆)	مشکلات فنی در تجهیزات مکانیزه برداشتن و گذاشتن سیلندرها
(D ₇)	بارگیری سیلندرها و حمل آن‌ها در زمان‌هایی که ترافیک و رفت و آمد زیاد است
(D ₈)	عدم اسکورت ماشین حمل سیلندر کلر
(D ₉)	استفاده از وسایل نقلیه نامناسب و بدون معاینه فنی برای حمل کپسول‌ها
(D ₁₀)	حمل بیش از حد ظرفیت کپسول‌ها هنگام جابه‌جایی آن‌ها
(D ₁₁)	حمل و نقل کپسول‌ها از مسیرهای پرخطر و حساس

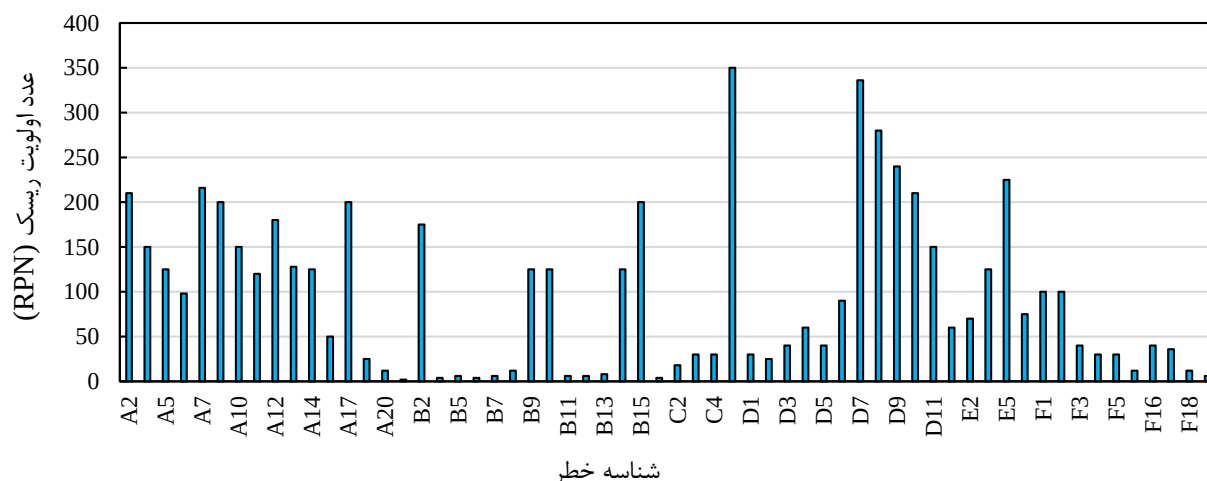


شکل ۱- عدد اولویت ریسک برای تصفیه‌خانه منتخب ۱

(شناسه خطر A₁₇). ضمن این که در این تصفیه‌خانه استفاده از تعداد مناسب بی‌سیم برای ارتباط بهتر هنگام وقوع خطر پیشنهاد شده است. ارزیابی ریسک با روش FMEA نشان می‌دهد که در تصفیه‌خانه منتخب ۲، رطوبت نامناسب اتاق کلرژنی (شناسه خطر B₁₅) عدد اولویت ریسک بالایی حدود ۲۰۰ دارد. با توجه به ابعاد کوچک اتاق کلرژنی، شناسه خطر B₂ نیز از عدد اولویت ریسک بالایی برخوردار است. همچنین، دمای نامناسب اتاق کلرژنی (شناسه خطر B₁₄) و نامناسب بودن اتاق کلرژنی از نظر ایجاد مکانیزمی برای انتقال هوای داخل اتاق کلرژنی به فضای آزاد یا اتاق خنثی‌ساز و عدم تهویه مناسب و برای تهویه نامناسب (شناسه خطر B₁₀) عدد اولویت ریسک قابل توجهی دارند. براساس نظرات کارشناس و ارزیابی خطرات بالقوه سیلندرها گاز در تصفیه‌خانه منتخب ۲، در این تصفیه‌خانه نیز تعبیه شیر نامناسب یا آسیب‌دیده روی سیلندر گاز (شناسه خطر C₅) بیشترین ریسک را دارد، به‌خصوص آن که عدد اولویت ریسک آن هم در این تصفیه‌خانه مقدار بسیار بالایی دارد. در تصفیه‌خانه ۲ از دید کارشناسانه، بارگیری سیلندرها و حمل آن‌ها در زمان‌هایی که ترافیک و رفت و آمد زیاد است (شناسه خطر D₇) نیز خطر بالقوه بسیار بالایی را دارد و در مرتبه بعدی عدم اسکورت ماشین حمل سیلندر کلر (شناسه خطر D₈) و استفاده از وسایل نقلیه نامناسب و بدون معاینه فنی برای حمل کپسول‌ها (شناسه خطر D₉) از نظر خطرات بالقوه‌ای که در زمینه حمل و نقل می‌تواند باشد، قرار دارند. در این تصفیه‌خانه پیشنهاد شده است با تجهیز تصفیه‌خانه به برق اضطراری از مشکلاتی که ممکن است هنگام برداشتن و گذاشتن سیلندرها در ماشین های حمل گاز به وجود بیاید جلوگیری کرد.

برطبق شکل ۱ در تصفیه‌خانه منتخب ۱، اتصالات معیوب و نامناسب الکتریکی و برقی در انبار سیلندرها (شناسه خطر A₈) و همچنین اتصالات معیوب در اتاق کلرژنی (شناسه خطر B₉) و قرارگیری نامناسب تابلوی برق (شناسه خطر A₁₁) و رطوبت بالای انبار سیلندر (شناسه خطر A₁₇) عدد اولویت ریسک بالایی داشته‌اند. همچنین، در این تصفیه‌خانه، تعبیه شیر نامناسب یا آسیب‌دیده روی سیلندر گاز (شناسه خطر C₅)، دیواره و سرپوش نداشتن ماشین حمل مخصوص سیلندر (شناسه خطر D₂) و به‌خصوص عدم اسکورت ماشین حمل سیلندر کلر (شناسه خطر D₈) می‌تواند ریسک بالایی را داشته باشد. علاوه بر این استفاده از وسایل نقلیه نامناسب و بدون معاینه فنی برای حمل کپسول‌ها (شناسه خطر D₉) نیز می‌تواند خطر بالایی داشته باشد. در تصفیه‌خانه منتخب ۱، عدم کالیبره منظم سیستم‌های پایش هوشمند و سیستم ایمنی (شناسه خطر F₈) نیز می‌تواند یکی از مهم‌ترین خطرهای بالقوه باشد.

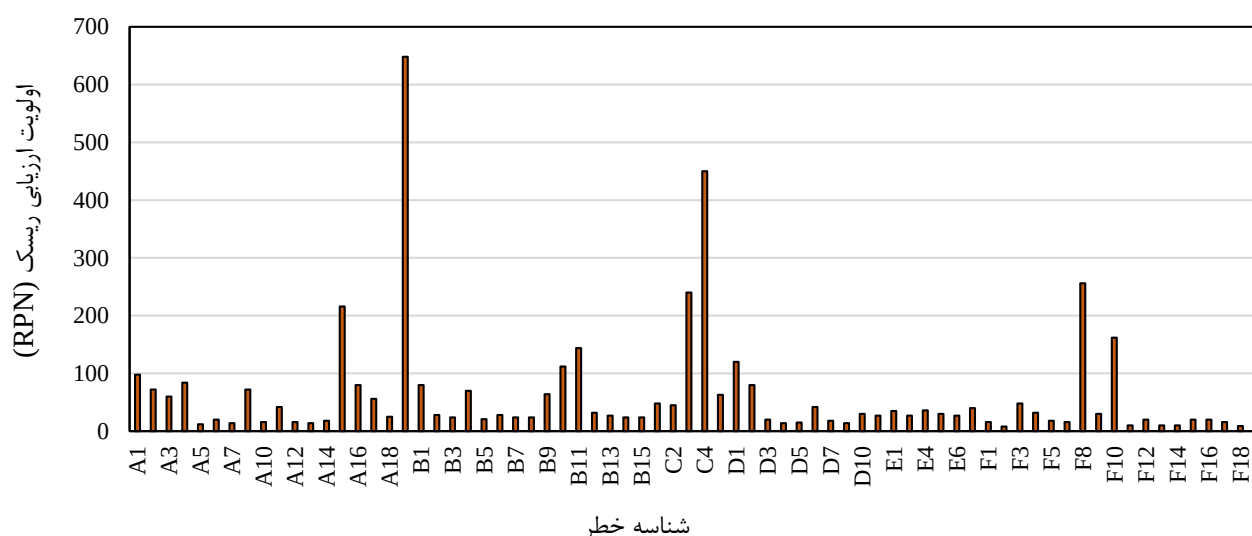
نتایج به‌دست آمده برای عدد اولویت ریسک (شکل ۲) در تصفیه‌خانه منتخب ۲ نشان‌دهنده آن است که ابعاد نامناسب انبار سیلندر گاز کلر و فاصله نامناسب انبار از منابع تولید گرما و تأسیسات مکانیکی و برقی (شناسه خطر A₂ و A₇) عدد اولویت ریسک بالاتر از ۲۰۰ داشته‌اند. در واقع در این تصفیه‌خانه فاصله بین کپسول‌ها کم است، ضمن این که به‌دلیل وضعیت انبار احتمال یخ‌زدگی سیلندرها و اتصالات نیز وجود دارد. از نظر تعداد و ابعاد درها و جانمایی آن‌ها این انبار ایزوله نیست، ضمن آن که از نظر جانمایی تجهیزات انبار نظیر ماسک‌ها و کپسول اکسیژن، خطر بالقوه در این خصوص نیز باید موردتوجه باشد (شناسه خطر A₁₂). در این تصفیه‌خانه وضعیت گرمایش مناسب نیست و نیز در ایام زمستان به‌دلیل کوهستانی بودن و وجود مه، رطوبت بالا است



شکل ۲- عدد اولویت ریسک برای تصفیه‌خانه منتخب ۲

اولویت ریسک نسبتاً قابل توجهی داشتند. ارزیابی خطرات بالقوه سیلندرهای گاز در تصفیه‌خانه منتخب ۳ مشخص کرد که در این مجموعه، سیلندرهای بدون آزمایش استحکام بدنه (شناسه خطر C4) بیش‌ترین عدد اولویت ریسک را بعد از شناسه خطر A21 داشتند. کهنگی و فرسودگی سیلندر (شناسه خطر C3) خطر بالقوه دیگری است که در این تصفیه‌خانه باید مورد توجه باشد. در تصفیه‌خانه منتخب ۳ و براساس تجربیات آن‌ها از ماشین‌های حمل کپسول، خطر مربوط به ضربه‌خوردن سیلندرهای گاز کلر یا در رفتن سیلندرها از فاصله نامناسب روی زمین یا روی پایه‌ها (شناسه خطر D1) از نظر عدد اولویت ریسک مقدار قابل توجهی داشت.

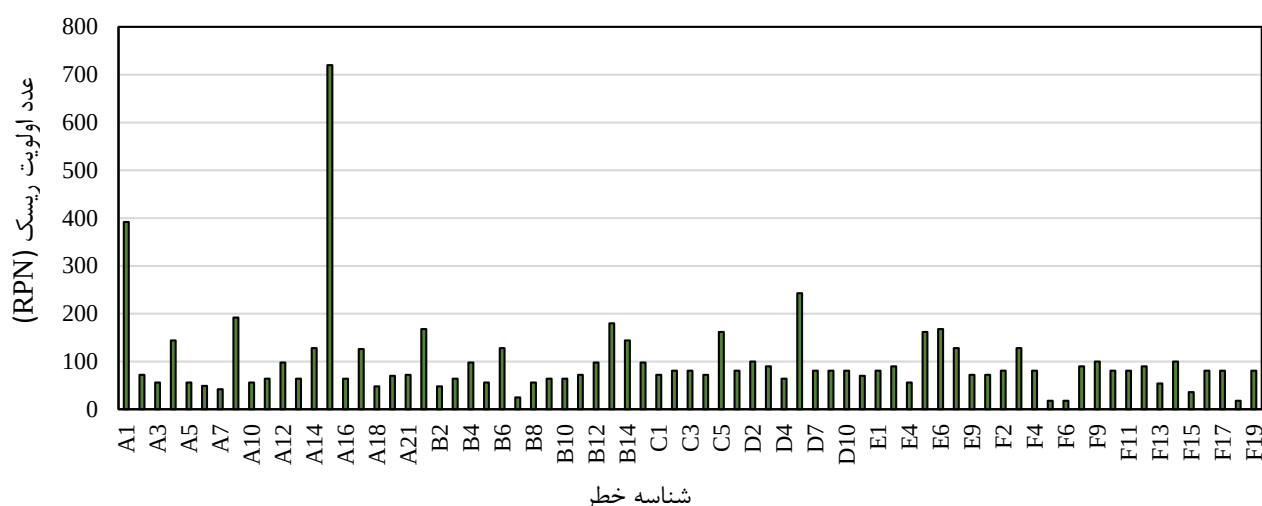
براساس ارزیابی ریسک به‌روش FMEA از تصفیه‌خانه منتخب ۳ (شکل ۳) مشخص شد مشکلات فنی سیستم‌های هشدار دهنده، اسکرابر و ترپ (با شناسه خطر A21) مهم‌ترین ریسکی می‌تواند باشد که باید در حوزه انبار سیلندرهای گاز کلر مورد توجه باشد، به‌خصوص آن‌که تصفیه‌خانه منتخب ۳ فاقد اسکرابر و ترپ است و سیستم‌های هشداردهنده نیز مشکلاتی داشته‌اند (با شناسه خطر A15). یکی دیگر از مشکلات، باز شدن درب‌ها به داخل بود. در اتاق کلرزی تصفیه‌خانه منتخب ۳، قرارگیری نامناسب تابلوی برق و دیگر ابزارآلات (شناسه خطر B11) و نامناسب بودن اتاق کلرزی از نظر ایجاد مکانیزمی برای انتقال هوای داخل اتاق کلرزی به فضای آزاد یا اتاق خنثی‌ساز و عدم تهویه مناسب و برای تهویه نامناسب (شناسه خطر B10) نیز عدد



شکل ۳- عدد اولویت ریسک برای تصفیه‌خانه منتخب ۳

هستند که باید مورد توجه باشند. بررسی و ارزیابی خطرات بالقوه در حوزه سیلندرهای گاز کلر در تصفیه‌خانه منتخب ۴ نیز آشکار می‌سازد که تعبیه شیر نامناسب یا آسیب‌دیده روی سیلندر گاز (شناسه خطر C₅) بالاترین ریسک را نسبت به دیگر خطرات در این حوزه (شناسه خطرات C) می‌تواند داشته باشد، به‌خصوص آن‌که اعلام شده گاز کلر می‌تواند سبب خوردگی و آسیب به شیرهای بدون کیفیت شود. بر اساس مشاهدات و تجربیات در مجموعه تصفیه‌خانه منتخب ۴، مشکلات فنی در تجهیزات مکانیزه برداشتن و گذاشتن سیلندرها (شناسه خطر D₆) عدد اولویت ریسک بالاتر از ۲۰۰ را نشان داد.

بر طبق شکل ۴ و بررسی روی خطرات بالقوه در تصفیه‌خانه منتخب ۴، عدم پایش هوشمند انبار (شناسه خطر A₁₅) از مهم‌ترین خطرات بالقوه بود؛ چراکه این تصفیه‌خانه فاقد سیستم پایش هوشمند است. در اتاق کلرژنی تصفیه‌خانه منتخب ۴، عدم پایش هوشمند اتاق کلرژنی (شناسه خطر B₁₃) نیز ریسک بالقوه بالایی می‌تواند داشته باشد. در واقع اتاق کلرژنی این تصفیه‌خانه فاقد سیستم پایش هوشمند گاز کلر است. براساس نتایج به‌دست آمده، کیفیت نامناسب سازه‌ها و عدم استحکام بنای انبار سیلندر و نیز اتاق کلرژنی (شناسه خطر A₁ و B₁)، دمای نامناسب اتاق کلرژنی (شناسه خطر B₁₄) تعداد و ابعاد نامناسب درها و محل نامناسب آن‌ها (شناسه خطر B₆) نیز در زمره خطرات بالقوه‌ای



شکل ۴- عدد اولویت ریسک برای تصفیه‌خانه منتخب ۴

است که اتصالات معیوب و نامناسب الکتریکی و برقی از مهم‌ترین عوامل ایجاد ریسک در تصفیه‌خانه‌ها است. یک‌سری عوامل نیز مانند تجهیز نبودن به سیستم‌های ایمنی، رعایت نکردن یک‌سری استانداردها و قدیمی بودن ساختمان‌ها و وسایل از جمله عوامل خرابی و خطر بودند که RPN آن‌ها در تصفیه‌خانه‌ها یکسان نبود. به‌عبارت دیگر با وجود احتمال ریسک بالا در یک تصفیه‌خانه خاص، قابل‌تعمیم به سایر تصفیه‌خانه‌ها نبود. علاوه‌بر این، با توجه به جدول ۵، تعداد حرف D در اولویت‌های اول تا سوم خصوصاً برای تصفیه‌خانه‌های ۱ و ۲ بیشتر از سایر حروف دیده می‌شود و همچنین در شکل‌های ۱ تا ۴ بخش مربوط به D معمولاً ستون‌های نمودار بلندتری نسبت به سایر بخش‌ها دارد که از این داده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در بخش حمل و نقل عدد ارزیابی ریسک بیشتر از سایر حوزه‌ها است و یک‌سری اقدامات برای مقابله با این خطرات باید انجام شود.

۳-۳- اولویت‌بندی خطرهای بالقوه در تصفیه‌خانه‌های منتخب برای انجام اقدامات

بر اساس اولویت‌ها (جدول ۱)، شناسه خطرات اولویت‌بندی شده و برای هر تصفیه‌خانه منتخب در جدول ۵ مشخص شده است. شناسه خطرانی که در اولویت اول هستند، باید در گام نخست موردتوجه قرار گرفته و برای رفع یا کاهش خطر آن‌ها اقدامات پیشگیرانه در هر حوزه انجام گیرد. بعد از انجام اولویت‌های اول نیز اقدامات لازم برای رفع یا کاهش خطرات اولویت‌های بعدی با توجه به حساسیت انجام آن اقدامات انجام شود.

طبق جدول ۵، A₈ برای تصفیه‌خانه‌های ۱، ۲ و ۴ در اولویت اول است. عدد ارزیابی ریسک برای A₈ در تصفیه‌خانه‌های ۱ تا ۴ به‌ترتیب ۱۹۲، ۲۰۰، ۷۲ و ۱۹۲ است، که نشان می‌دهد در همه تصفیه‌خانه‌ها به‌جز شماره ۳ در اولویت اول است. این به‌آن معنا

پژوهش (Gheibi et al., 2019) مهم‌ترین فاکتورها حضور ترکیباتی نظیر O_2 ، NH_3 ، هیدروکربن‌های گاز و مایع در سیلندرها، گاز کلر و غیرمکانیزه بودن تخلیه و بارگذاری سیلندرها بود و عدد RPN آن‌ها به ترتیب ۱۶۰ و ۱۲۰ است. بعد از این‌ها نگهداری سیلندر در نزدیکی آسانسور و بخش‌های الکتریکی و جای‌گیری نامناسب لوله برای اتصال تزریق‌کننده به ورودی آب از جمله

فاکتورهای عامل ایجاد ریسک در تصفیه‌خانه بودند (Gheibi et al., 2019). طبق نتایج این پژوهش نیز در تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه بیشترین اعداد RPN مربوط به معیوب بودن سیستم الکتریکی و حمل و نقل بود. در نتیجه می‌توان گفت که ایمنی حمل و نقل و سیستم‌های الکتریکی از جمله فاکتورهای مهمی است که در سیستم کلرزنی آب باید مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۵- اولویت‌بندی خطر (شناسه خطر) برای انجام اقدامات

شناسه خطر	اولویت	تصفیه‌خانه
D ₈ A ₈ F ₈	اول	تصفیه‌خانه منتخب ۱
D ₂ A ₁₁ C ₅ D ₉ B ₉ A ₁₇	دوم	
F ₇ A ₅ A ₆ B ₁₁ B ₁₅ D ₁ D ₁₁ D ₆ C ₁ A ₁ A ₁₀ C ₃ C ₄ A ₁₆	سوم	
A ₂ E ₁ E ₇ B ₅ B ₆ D ₇ A ₁₅ A ₁₈ A ₂₁ F ₃ A ₄ A ₂₀ B ₄	چهارم	
A ₁₃ A ₁₄ B ₁ B ₈ B ₁₃ B ₁₄ C ₂ F ₁₃ B ₁₂ F ₁ F ₄ F ₁₂ F ₅ F ₉ F ₁₇ B ₁₀ E ₉	پنجم	
A ₇ B ₂ F ₂ F ₁₅ D ₁₀ F ₁₄ F ₁₉ D ₄ D ₅ F ₁₆ A ₃ A ₁₂ B ₇ E ₄ F ₆ F ₁₁ E ₂ F ₁₈	ششم	
C ₅ D ₇ D ₈ D ₉ E ₅ A ₇ A ₂ D ₁₀ A ₈ A ₁₇ B ₁₅ A ₁₂ B ₂	اول	تصفیه‌خانه منتخب ۲
A ₃ A ₁₀ D ₁₁ A ₁₃ A ₅ A ₁₄ B ₉ B ₁₀ B ₁₄ E ₄ A ₁₁ F ₁ F ₂	دوم	
A ₆ D ₆ E ₇ E ₂ D ₄ E ₁ A ₁₅	سوم	
D ₃ D ₅ F ₃ F ₁₆ F ₁₇ C ₃ C ₄ D ₁ F ₄ F ₅	چهارم	
A ₁₈ D ₂	پنجم	
C ₂ A ₂₀ B ₈ F ₆ F ₁₈ B ₁₃ B ₅ B ₇ B ₁₁ B ₁₂ F ₁₉ B ₃ B ₆ C ₁ A ₂₁	ششم	
A ₂₁ C ₄ F ₈ C ₃ A ₁₅	اول	تصفیه‌خانه منتخب ۳
B ₁₁ D ₁ B ₁₀	دوم	
A ₁ A ₄ A ₁₆ B ₁ D ₂ A ₂ A ₈ B ₄ B ₉ C ₅ A ₃ A ₁₇	سوم	
C ₁ F ₃ C ₂ A ₁₁ D ₆ E ₇ E ₄ E ₁ B ₁₂ F ₄ D ₁₀ E ₅ F ₉	چهارم	
B ₂ B ₆ B ₁₃ D ₁₁ E ₂ E ₆ A ₁₈ B ₃ B ₇ B ₈ B ₁₄ B ₁₅ B ₅ A ₆ D ₃ F ₁₂ F ₁₅ F ₁₆	پنجم	
A ₁₄ D ₇ F ₅ A ₁₀ A ₁₂ F ₁ F ₆ F ₁₇ D ₅ A ₇ A ₁₃ D ₄ D ₈ A ₅ F ₁₁ F ₁₃ F ₁₄ F ₁₈ F ₁₉ F ₂	ششم	
A ₁₅ A ₁ D ₆ A ₈ B ₁₃ B ₁ E ₆ C ₅ E ₅	اول	تصفیه‌خانه منتخب ۴
A ₄ B ₁₄ A ₁₄ B ₆ E ₇ F ₃ A ₁₇ D ₂ F ₉ F ₁₄	دوم	
A ₁₂ B ₄ B ₁₂ B ₁₅ D ₃ E ₂ F ₈ F ₁₂ C ₂ C ₃ D ₁ D ₇ D ₈ D ₁₀ E ₁ F ₂ F ₄ F ₁₀ F ₁₁ F ₁₆ F ₁₇ F ₁₉ A ₂ A ₂₁	سوم	
B ₁₁ C ₁ C ₄ E ₉ F ₁ A ₂₀ D ₁₁ A ₁₁ A ₁₃ A ₁₆ B ₃ B ₉ B ₁₀ D ₄ A ₃ A ₅ A ₁₀ B ₅ B ₈ E ₄ F ₁₃	چهارم	
A ₆ A ₁₈ B ₂ A ₇ F ₁₅	پنجم	
B ₇	پنجم	
F ₅ F ₆ F ₁₈	ششم	

۳-۴- اقدامات پیشنهادی

از جمله اقدامات پیشنهادی برای کاهش ریسک در تصفیه‌خانه ۱ که در اولویت هستند می‌توان اسکورت کاملاً پوششی و (در بعضی موارد) نامحسوس ماشین حمل و نقل، تعویض کامل سیستم الکترونیکی برقی معیوب براساس استاندارد، کالیبره کردن منظم سیستم‌های ایمنی و استفاده از تجهیزات استاندارد و به‌روز را نام برد. برای تصفیه‌خانه ۲ تعویض شیر و استفاده از شیر استاندارد و تست‌شده، حمل و نقل از مسیرهای با

رفت و آمد کم و اسکورت ماشین حمل و نقل و استفاده از وسایل نقلیه مناسب، استاندارد و جدید از جمله اقدامات در اولویت هستند. برای تصفیه‌خانه ۳، خرید و تجهیز کردن به سیستم‌های هشداردهنده، اسکرابر و ترپ، انجام منظم و پیوسته تست استحکام و اجرای سیستمی که مانع از استفاده از سیلندرها بدون تست شود، کالیبره کردن منظم سیستم‌های ایمنی و استفاده از تجهیزات استاندارد و به‌روز و از رده خارج کردن کپسول‌های قدیمی در اولویت اقدامات پیشنهادی هستند. برای

انتشار گاز سمی کلر در صورت بروز حادثه در تصفیه‌خانه‌های منتخب شرکت آبفای مشهد"، گزارش پروژه شرکت آب و فاضلاب مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
رسول‌زاده، م.، و براتی، ج.، (۱۳۹۵)، "ارائه راهبردهای افزایش درآمد در شرکت آب و فاضلاب: مطالعه موردی آبفای مشهد"، فصلنامه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۱(۱)، ۲۰-۲۷.

ستوده مرام، ک.، (۱۳۹۸)، "ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی، بهداشت و زیست‌محیطی تصفیه‌خانه فاضلاب ارومیه با استفاده از روش FMEA"، فصلنامه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۴(۱)، ۲۴-۳۳.

- Abdel-Fatah, M. A., Shaarawy, H. H., and Hawash, S. I., (2019), "Integrated treatment of municipal wastewater using advanced electro-membrane filtration system", *SN Applied Science*, 1(10), 1153.
- Anthony, E.T., Ojemaye, M.O., Okoh, O.O., and Okoh, A.I., (2020) "A critical review on the occurrence of resistomes in the environment and their removal from wastewater using apposite treatment technologies: Limitations, successes and future improvement", *Environmental Pollution*, 263(Part A), 113791.
- Babiker, A., Amer, Y.S., Osman, M.E., Al-Eyadhy, A., Fatani, S., Mohamed, S., Alnemri, A., Titi, M. A., Shaikh, F., Alswat, K.A., Wahabi, H. A., and Al-Ansary, L.A., (2018), "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) may enhance implementation of clinical practice guidelines: An experience from the Middle East", *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 24(1), 206-211.
- Ben-Daya, M., (2009), "Failure mode and effect analysis", In: M., Ben-Daya, S., Duffuaa, A., Raouf, J., Knezevic, D., Ait-Kadi, (eds.), *Handbook of Maintenance Management and Engineering*, 75-90.
- Bowles, J. B., (2002), "Failure modes and effects analysis", Computer Science and Engineering, University of South Carolina.
- Carra, I., Fernandez Lozano, J., Autin, O., Bolton, J.R., and Jarvis, P., (2020), "Disinfection by-product formation during UV/Chlorine treatment of pesticides in a novel UV-LED reactor at 285 Nm and the mitigation impact of GAC treatment", *Science of the Total Environment*, 712, 136413.
- Chu, Z., Chen, K., Xiao, C., Ji, D., Ling, H., Li, M., and Liu, H., (2020), "Improving pressure durability and fractionation property via reinforced PES loose nanofiltration hollow fiber membranes for textile wastewater treatment", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 108, 71-81.
- Dhillon, B. S., (1992), "Failure modes and effects analysis-bibliography", *Journal of Microelectronics Reliability*, 32(5), 719-731.
- Gheibi, M., Karrabi, M., and Eftekhari, M., (2019), "Designing a smart risk analysis method for gas chlorination units of water treatment plants with combination of failure mode effects analysis", *Journal*

تصفیه‌خانه ۴ نیز ضمن مجهزکردن سیستم به پایش مداوم، با توجه با استانداردهای ساختمان کلر، می‌توان مکانی جدید در محل مناسب برای این منظور در نظر گرفت و نیز استفاده از تجهیزات مکانیزه استاندارد برای مکانیزه برداشتن و گذاشتن سیلندرهای پیشنهاد می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ارزیابی ریسک در ۴ تصفیه‌خانه منتخب شهر مشهد به روش FMEA انجام گرفت. نتایج نشان دادند که عدم اسکورت ماشین حمل سیلندر کلر، اتصالات معیوب و نامناسب الکترونیکی و برقی و نیز عدم کالیبره منظم سیستم‌های پایش هوشمند و سیستم ایمنی سه خطر با بیشترین مقدار RPN در تصفیه‌خانه منتخب ۱ بودند. هم‌چنین، در تصفیه‌خانه منتخب ۲ تعبیه شیر نامناسب یا آسیب دیده روی سیلندر گاز، بارگیری سیلندرها و حمل آن‌ها در زمان‌هایی که ترافیک و رفت و آمد زیاد است و عدم اسکورت ماشین حمل سیلندر کلر بیشترین مقدار عدد اولویت ریسک را داشتند. در تصفیه‌خانه منتخب ۳، مشکلات فنی سیستم‌های هشدار دهنده، اسکرابر و ترپ، وجود سیلندرها بدون انجام آزمایش استحکام و مقاومت بدنه، و عدم کالیبره منظم سیستم‌های پایش هوشمند و سیستم ایمنی سه خطر با بیشترین مقدار RPN و نیز در تصفیه‌خانه منتخب ۴ عدم پایش هوشمند انبار، کیفیت نامناسب سازه‌های انبار سیلندر و عدم استحکام بنای آن و مشکلات فنی در تجهیزات مکانیزه برداشتن و گذاشتن سیلندرها از مهمترین خطرات بالقوه برای بررسی بود که عدد اولویت ریسک بالاتری را در مقایسه با دیگر خطرات داشتند.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Failure Mode and Effects Analysis
- 2- Severity
- 3- Occurrence
- 4- Detection
- 5- Risk Priority Number

۶- منابع

دشتی، ع.، رزم آرا، ح.، روستا، ه.، محسن زاده، ح.، و عمرانی فرد، ح.، (۱۳۹۸)، "بررسی و شبیه‌سازی آنالیز پیامد و ریسک

- of *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171(30), 600-608.
- Gheraout, D., and Elboughdiri, N., (2020), "Is not it time to stop using chlorine for treating water?", *Open Access Library Journal, OALib*, 07(01), 1-11.
- Goble, W., (2012), "The FMEA method, A powerful reliability tool for data analysis that lasts for decades", *INTECH March/April*, 15-20.
- Kiran, D. R., (2016), "Failure modes and effects analysis", In: D.R., Kiran, (ed.), *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*, Butterworth-Heinemann, United Kingdom.
- Liu, B., Hu, Y., and Deng, Y., (2018), "New failure mode and effects analysis based on D numbers downscaling method", *International Journal of Computers Communications & Control*, 13(2), 205-220.
- Prabu, S. L., Suriyaprakash, T., Kandasamy, R., and Rathinasabapathy, T., (2020), *Effective Waste water treatment and its management*, In *Waste Management*, IGI Global, pp. 49-72.
- Stamatis, D. H., (2003), *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*, ASQ Quality Press, United States.
- Srivastava, P., Agrawal, M., Aditya Narayanan, G., Tandon, M., Tulsian, M. N., and Khanduja, D., (2019), *Risk analysis of water treatment plant using fuzzy-integrated approach*, Part of the *Advances in Intelligent Systems and Computing* book series (AISC) 741, 761-770.
- Wicaksono, A., and Karnaningroem, N., (2019), "Minimizing failure risk of refill drinking water production in Rungkut District Surabaya using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)" *IOP Conference Series, Earth Environmental Science*, Indonesia, pp. 8-9.



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

The Importance of Optimizing Energy
Consumption in Wastewater Treatment Plants-
A Case Study of East Mashhad Wastewater
Treatment Plant

Naser Mehrdadi¹, Vahid Aghabalaei², Shima
Mardani² and Mahla Tabeshnia²

1- Professor, School of Environment, College of
Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Ph.D. Student, School of Environment, College of
Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

* Corresponding author, Email: aghabalaeivahid@ut.ac.ir

Received: 19/02/2020

Revised: 16/08/2020

Accepted: 06/09/2020

© IWWA

Abstract

Construction of wastewater treatment plant, if energy and water resources are recovered, can justify some undesirable effects such as greenhouse gas emissions. sludge management and treatment is one of the most complex and costly parts of treatment plants that can cover up to 60% of initial capital and operation costs of a wastewater treatment plant. Considering the importance of reducing energy consumption in wastewater treatment plants as an environmental and economic point of view, some investigations have done to construct and modify wastewater plants worldwide in order to the self-sufficiency of energy supply recently year. This article is a practical study that the costs of capital and energy consumption were analyzed in comparison with other processes for MLE¹ process with aerobic digestion in wastewater treatment plant in east of Mashhad with flow rate of 80000 m³/d. The results show that energy consumption in this system is about 2 times of similar wastewater treatment plants with optimal process. Also, however, the energy level will decrease from 1 kwh/m³ to 0.58 kwh/m³ with the change of aerobic digestion to anaerobic, but it is necessary to use of CHP system for decrease of energy consumption and recovery in comparison with constructed or optimized of wastewater treatment plants in worldwide. Therefore, it is necessary to pay more attention in selecting the process of liquid and sludge section in wastewater treatment plants under studying or optimizing wastewater treatment plants built in the country because of the numerous benefits of reducing energy consumption in wastewater treatment plants, in order to be self-sufficient in energy supply.

Keywords: Aerobic and Anaerobic Digestions, Energy Generating Resources, Environmental Effects, Wastewater Treatment Process.

اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های

فاضلاب - مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد

ناصر مهرداد^۱، وحید آقابالائی^{۲*}، شیمیا مردانی^۲ و مهلا تابش‌نیا^۲

۱- استاد دانشکده محیط‌زیست، دانشکده‌های پردیس فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست- آب و فاضلاب، دانشکده محیط‌زیست، دانشکده‌های پردیس فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در صورت بازیابی منابع آبی و انرژی، می‌تواند اثرات محیطی نامطلوب هم‌چون انتشار گازهای گلخانه‌ای را توجیه‌پذیر نمایند. تصفیه و مدیریت لجن یکی از پیچیده‌ترین و هزینه‌برترین بخش‌های تصفیه‌خانه بوده و می‌تواند تا ۶۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری یک تصفیه‌خانه فاضلاب را شامل شود. با توجه به اهمیت کاهش مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از نظر محیط‌زیستی و اقتصادی، در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه خودکفایی تأمین انرژی از فاضلاب انجام شده و براساس این هدف تصفیه‌خانه‌های فاضلاب متعددی در جهان احداث یا بهینه‌سازی شده‌اند. در این مقاله فرآیند MLE^۱ همراه با هاضم هوازی در تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد با دبی ۸۰،۰۰۰ مترمکعب در روز از نظر میزان مصرف انرژی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه در مقایسه با فرآیندهای پیشنهادی دیگر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان داد میزان انرژی مصرفی در این تصفیه‌خانه حدود ۲ برابر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مشابه با فرآیند بهینه است. هم‌چنین اگرچه با تغییر هاضم هوازی به بی‌هوازی، میزان انرژی از ۱ kwh/m^۳ به ۰/۵۸ kwh/m^۳ کاهش خواهد یافت؛ اما لازم است برای کاهش بیشتر انرژی مصرفی و بازیابی انرژی در مقایسه با تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بهینه‌سازی یا احداث شده در جهان، از سیستم CHP استفاده نمود. لذا با توجه به مزایای متعدد کاهش مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ضروری است به‌منظور خودکفایی در تأمین انرژی، در انتخاب فرآیند بخش مایع و لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در دست مطالعه و یا بهینه‌سازی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب احداث شده در کشور توجه بیشتری شود.

واژه‌های کلیدی: فرآیند تصفیه فاضلاب، هاضم‌های هوازی و بی‌هوازی، منابع تولید انرژی، اثرات زیست‌محیطی.

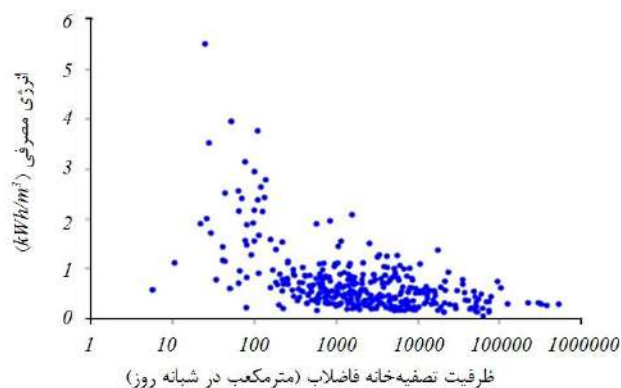
al., 2014)؛ لذا در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با روش‌های EAAS^۲ و ASBR^۳، با SRT^۴ بالا و مصرف زیاد انرژی به دلیل نیاز به حجم قابل توجه هوادهی، گرچه لجن تثبیت شده و فاقد بو است؛ اما در صورت عدم تأمین استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا در بخش لجن، معیار کاهش جذب ناقلین حاصل نشده و لجن خروجی استاندارد کلاس B را تأمین نمی‌کند و نمی‌توان لجن حاصل را به عنوان جامدات بیولوژیکی محسوب نمود (Turovskiy and Mathai, 2006; Tchobanoglous et al., 2014).

از سه روش تثبیت بیولوژیکی، شیمیایی و گرمایی، سیستم‌های متعارف تصفیه لجن برای دستیابی به کلاس B، هاضم‌های هوازی و بی‌هوازی هستند که هر یک مزایا و معایبی دارند (Sperling, 2007; Qasim and Zhu, 2018). یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در انتخاب فرآیند بخش مایع و لجن و میزان انرژی مصرفی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، جمعیت تحت پوشش یا دبی فاضلاب ورودی است. به‌طور نمونه، Awe et al. (2016) مصرف انرژی در تصفیه‌خانه فاضلاب به ظرفیت ۴۰۰۰ مترمکعب در روز را به‌ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۲۷۲ کیلووات ساعت به‌ازای هر مترمکعب فاضلاب گزارش کردند. در انتخاب فرآیند بخش لجن، فرآیند مورد استفاده در بخش مایع بسیار اهمیت دارد. برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کوچک و با ظرفیت کمتر از ۲۰۰۰ مترمکعب در روز و به‌طور معمول برای فرآیندهای فاقد تانک ته‌نشینی اولیه (بدون تولید لجن خام) از هاضم هوازی به منظور تأمین کلاس B لجن استفاده می‌شود؛ اما در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دارای تانک ته‌نشینی اولیه، استفاده از هاضم بی‌هوازی پیشنهاد شده است (Turovskiy and Mathai, 2018; Qasim and Zhu, 2006). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب آمریکا و اروپا به‌ترتیب حدود ۱۳/۸۴ و ۱۰ میلیون تن در سال جامد خشک تولید می‌شود که برای تثبیت این حجم لجن در آمریکا، به‌طور معمول سیستم مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های متوسط و بزرگ (دبی بیش از ۲۲۷۳۰ مترمکعب در روز) هاضم بی‌هوازی است (Shen et al., 2015; Timothy et al., 2017). بررسی‌ها حاکی از این است که ۲۵ تا ۵۰ درصد هزینه‌های بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های متعارف لجن فعال مربوط به برق بوده و در کشورهای مختلف، ۰/۸ تا ۴ درصد کل برق تولیدی، در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مصرف می‌شود. طبق تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۱۵ در آمریکا، ۳ تا ۴ درصد کل برق تولیدی در این کشور (حدود ۳۱ میلیارد کیلووات ساعت در سال) در تصفیه‌خانه‌ها مصرف می‌شوند که معادل انتشار بیش از ۲۱ میلیون تن گازهای گلخانه‌ای است (Shen et al., 2015).

پیوند آب و انرژی یکی از عنصرهای اصلی توسعه پایدار جوامع انسانی محسوب می‌شود (Chen and Chen, 2016; Jiang et al., 2016) و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نمونه‌ای از تعامل و تأثیر متقابل این پیوند هستند (Xu et al., 2017). تحقیق انجام شده توسط Hao et al. (2017) با روش ارزیابی چرخه حیات در خصوص توجیه محیط‌زیستی احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نشان داد، بازیابی منابع (استفاده مجدد از پساب) دیگر به تنهایی در توجیه محیط‌زیستی ساخت تصفیه‌خانه‌ها کافی نیست و احداث تنها در صورت بازیابی هم‌زمان منابع آبی و انرژی (مانند استفاده از هاضم بی‌هوازی)، می‌تواند اثرات محیطی نامطلوب همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیاز به استفاده از مواد و انرژی ساخت را توجیه‌پذیر نماید. تصفیه فاضلاب به دو بخش کلی تصفیه مایع و لجن تقسیم می‌شود و به‌طور معمول به فرآیند بخش مایع و انطباق کیفیت پساب تصفیه شده با استانداردهای موجود توجه بیشتری شده است. در حالی‌که تصفیه و مدیریت لجن یکی از مهم‌ترین، پیچیده‌ترین و هزینه‌برترین بخش‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب محسوب می‌شود (Lancaster et al., 2008) و می‌تواند تا ۶۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری یک تصفیه‌خانه فاضلاب را به‌خود اختصاص دهد (Coma et al., 2013; Pilli et al., 2015).

به‌طور معمول، واحدهای مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری برای تصفیه لجن شامل تغلیظ، تثبیت و آبیگری است. دو راهبرد کلی بخش لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، تصفیه لجن با هدف تثبیت کردن و حذف بوی آن و یا با هدف تبدیل لجن به جامدات بیولوژیکی برای کاربرد در زمین طبق تعریف استاندارد EPA است. کاربرد جامدات بیولوژیکی در زمین مستلزم دستیابی به محدوده مناسب غلظت آلاینده‌ها، کاهش پاتوژن‌ها براساس کلاس A یا B به‌انضمام کاهش جذب ناقلین منطبق بر استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا است. به‌دلیل هزینه‌های بالای دستیابی به کیفیت جامدات بیولوژیکی کلاس A، در کشور ما دستیابی به استاندارد کلاس B در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب احداث شده یا درحال ساخت بیشتر مدنظر است. فرآیندهای مورد استفاده برای کاهش قابل‌توجه پاتوژن‌ها، هاضم هوازی با زمان ماند سلولی (SRT) برابر ۴۰ روز در دمای ۲۰ درجه، هاضم بی‌هوازی با زمان ماند سلولی ۱۵-۲۰ روز، کمپوست‌سازی، تثبیت با آهک و خشک کردن توسط هوا هستند (Turovskiy and Mathai, 2006; Tchobanoglous et al., 2014).

از طریق توسعه سیستم‌های کنترلی برای بهینه‌کردن مصرف انرژی در سیستم‌های هوادهی و پمپ‌ها، تولید بیوگاز توسط هاضم‌های بی‌هوازی و تولید همزمان حرارت و برق در محل و هضم هم‌زمان لجن با زائدات غذایی با هدف افزایش بیوگاز هستند (Hao, 2015; Longo et al., 2016). شکل ۱ میزان انرژی مصرفی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را براساس ظرفیت سیستم و جدول ۱ میزان مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برخی کشورها را نشان می‌دهند. مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بهینه طراحی و احداث شده، ۲۰ تا ۳۰ کیلووات ساعت به‌ازای هر نفر در سال است که به‌طور متوسط ۶۴ درصد آن در واحد هوادهی استفاده می‌شود (Gandiglio et al., 2017).



شکل ۱- میزان مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب براساس ظرفیت سیستم تصفیه (Gandiglio et al., 2017)

جدول ۱- میزان مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در برخی کشورهای جهان

کشور	مصرف انرژی (kWh/m ³ /y)	مصرف انرژی (kWh/PE/y)	درصد مصرف انرژی در واحد هوادهی	مراجع
هلند	۰/۴	-	-	Hao et al. (2015)
چین	۰/۳	-	-	Hao et al. (2015)
اسپانیا	۰/۵۵	-	-	Gandiglio et al. (2017)
آلمان	۰/۷-۰/۴	۶۰-۳۵	-	Hao et al. (2015)
آلمان (در شرایط ایده‌آل-استاندارد)	-	۳۰-۲۳	۷۸/۲-۷۶/۶	Jonasson (2007)
استرالیا (متوسط)	-	۲۳	۶۹/۵	Jonasson (2007)
انگلیس (متوسط)	۰/۶	-	-	Belloir et al. (2015)
سوئد (متوسط)	-	۴۲	۴۲/۹	Jonasson (2007)

مقایسه با تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ساخته شده در جدول ۱ قابل توجه نیست، از سوی دیگر در سال‌های اخیر در کشور، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب متعددی با فرآیند بخش مایع دارای تانک ته‌نشینی اولیه (تولید لجن خام) و بخش لجن با هاضم هوازی احداث شده‌اند که در این فرآیندها انرژی زیادی صرف هوادهی در بخش مایع و لجن می‌شود. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با ظرفیت ۳۵۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ مترمکعب در روز در استان‌های اصفهان، البرز، خراسان رضوی، مازندران و نهاوند نمونه‌ای از این تصفیه‌خانه‌ها

براساس گزارش ارائه شده WERF^۵، انرژی موجود در فاضلابی با COD معادل ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر برابر ۱/۹۳ کیلووات ساعت در مترمکعب و میزان انرژی مورد نیاز تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ۰/۳ تا ۰/۸ کیلووات ساعت به‌ازای هر مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده است. لذا در صورت بازیابی کامل انرژی از فاضلاب، می‌توان علاوه بر تأمین کل انرژی مورد نیاز در واحدهای مختلف تصفیه فاضلاب، انرژی مازاد تولیدی را در اختیار شبکه سراسری برق قرار داد (Hao et al., 2015). در سال‌های اخیر، خودکفایی تأمین انرژی تصفیه‌خانه‌ها از فاضلاب، موضوع نو و پراهمیتی محسوب شده، به‌طوری‌که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب متعددی در جهان براساس این هدف، احداث یا بهینه شده‌اند. اقدامات لازم برای دستیابی به این هدف شامل بهینه‌سازی فرآیندهای تصفیه

نکته قابل‌تأمل این‌که Tchobanoglous et al. (2014) اشاره کردند "در سال‌های اخیر برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با دبی ۲ مترمکعب در ثانیه برای تصفیه لجن از هاضم هوازی لجن استفاده شده است". در کشور ما نیز نمونه‌های متعددی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با هاضم هوازی لجن احداث شده‌اند که با توجه به میزان بالای انرژی مصرفی به‌دلیل نیاز به حجم زیاد هوادهی در این روش تصفیه، این سیستم از نقطه‌نظر مصرف انرژی نزدیک به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با فرآیند EAAS عمل نموده است که در

۲- روش تحقیق

این تحقیق از نوع کاربردی است و فرآیند تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد از نظر میزان مصرف انرژی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه (احجام واحدهای فرآیندی) در مقایسه با فرآیندهای پیشنهادی دیگر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲-۱- مشخصات تصفیه‌خانه

تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد، در دو مدول و چهار خط جریان برای جمعیت ۵۰۰,۰۰۰ نفر و دبی متوسط ۸۰,۰۰۰ مترمکعب در روز در سال ۱۳۹۵ به بهره‌برداری رسید. در جدول ۲ مشخصات واحدهای فرآیندی و در شکل ۲ نقشه هوایی این تصفیه‌خانه فاضلاب نشان داده شده است. مطابق شکل، فرآیند در نظر گرفته شده برای این تصفیه‌خانه در بخش مایع MLE و در بخش لجن تغلیظ (تغلیظ ثقیل برای لجن خام و تغلیظ مکانیکی برای لجن ثانویه)، تثبیت با هاضم هوازی و آبگیری است.

جدول ۲- مشخصات واحدهای فرآیندی تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد

واحد	تعداد (ابعاد)	واحد	تعداد (ابعاد)
آشغالگیر درشت‌دانه	۱ (۱۵ cm)	ته‌نشینی ثانویه	۴ (D=۴۰ m, H=۴ m)
آشغالگیر ریزدانه	۲+۱ (۱۰ mm)	کلر زنی	۲ (L=۲۶ m, W=۱۲ m, H=۳ m)
دانه‌گیر هوادهی	۲ (L=۲۶ m, W=۵/۳ m, H=۳/۵ m)	تغلیظ ثقیل	۲ (D=۹ m, H=۵/۸ m)
ته‌نشینی اولیه	۴ (D=۲۵ m, H=۳ m)	تغلیظ مکانیکی	۲+۱
تانک آنوکسیک	۴ (L=۲۳ m, W=۱۴ m, H=۶ m)	هاضم هوازی	۲ (L=۴۸ m, W=۲۰ m, H=۶ m)
تانک هوادهی	۴ (L=۵۹ m, W=۲۳ m, H=۶ m)	آبگیری مکانیکی	۴+۱



شکل ۲- نقشه هوایی تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد

هستند. این در حالی است که در ده سال گذشته در جهان، بازیابی انرژی و مدیریت لجن علاوه بر تصفیه‌خانه‌های بزرگ شهری در تصفیه‌خانه‌های کوچک و متوسط نیز اهمیت بیشتری پیدا کرده است، به‌طوری‌که در ۹۶ تصفیه‌خانه فاضلاب ساخته شده در آمریکا با دبی کمتر از ۴۵۴۶ مترمکعب در روز از هاضم بی‌هوازی استفاده شده است (Shen et al., 2015). با توجه به موارد فوق و اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی، هدف از این مطالعه بررسی موردی فرآیند مورد استفاده در تصفیه‌خانه فاضلاب ساخته شده در شرق مشهد با دبی ۸۰۰۰۰ مترمکعب در روز با فرآیند MLE در بخش مایع و هاضم هوازی در بخش لجن و مقایسه با فرآیندهای پیشنهادی دیگر با حفظ فرآیند پایه MLE و تغییر روش هضم لجن در خصوص میزان انرژی مصرفی در این تصفیه‌خانه با انرژی مصرف شده در برخی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ساخته شده در جهان و مسائل مربوط به بهره‌برداری و ارائه پیشنهاداتی برای بهینه‌سازی انرژی است.

۲-۲- مشخصات فاضلاب و پساب

در جدول ۳، مشخصات فاضلاب ورودی، پساب خروجی و نسبت‌های طراحی که از مطالعات مشاور طرح استخراج شده آورده شده است. لازم به ذکر است این تصفیه‌خانه با هدف

دستیابی به کیفیت پساب خروجی برای تخلیه به آب‌های سطحی مطابق بر استاندارد سازمان محیط‌زیست ایران و با هدف تثبیت لجن به جامدات بیولوژیکی کلاس B برای کاربرد در زمین طراحی شده است.

جدول ۳- مشخصات فاضلاب ورودی، پساب خروجی و نسبت‌های طراحی*

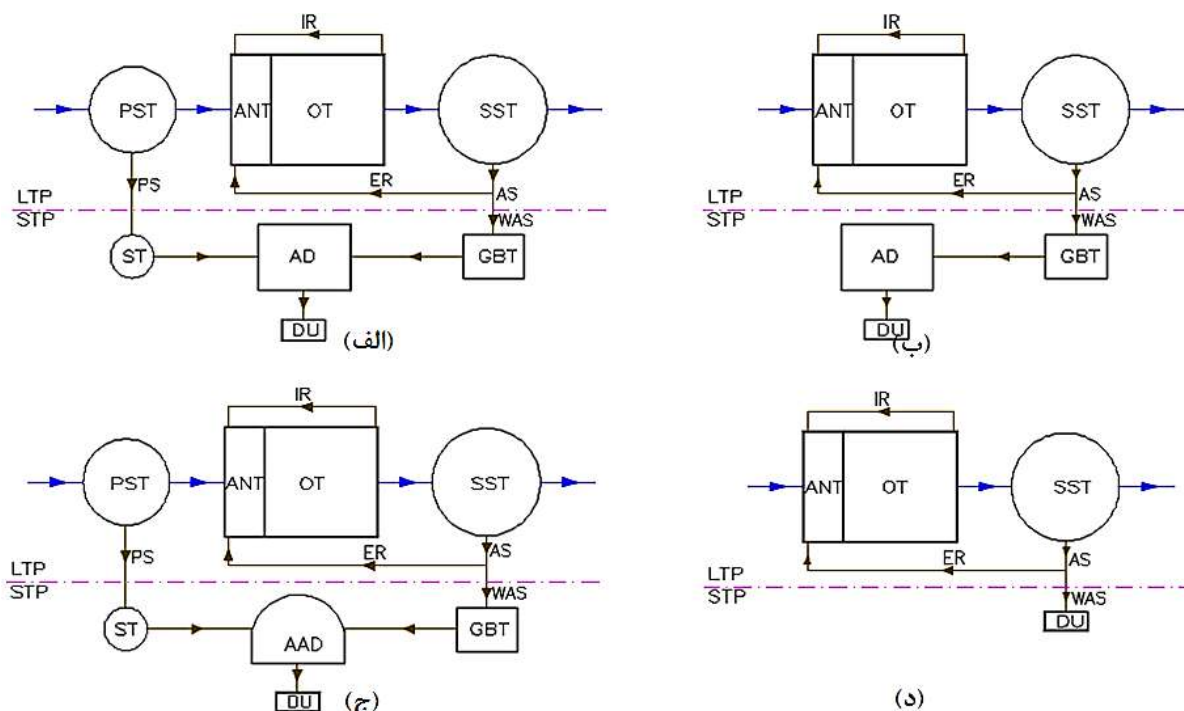
نسبت‌های طراحی		فاضلاب ورودی و پساب خروجی		
مقدار	پارامتر	پساب خروجی (میلی گرم در لیتر)	فاضلاب ورودی (میلی گرم در لیتر)	پارامتر
۱/۶	bCOD/BOD ₅	۶۰	۵۳۲	COD
۰/۸۵	VSS/TSS	۳۰	۲۶۶	BOD ₅
۰/۳	sBOD ₅ /BOD ₅	۱۶	۴۰	TN
۰/۳	sCOD/COD	۴۰	۳۲۵	TSS
۲۰ درجه سیلسیوس	دما	۶	۹	TP

* مشخصات فاضلاب، پساب و نسبت‌های طراحی از مطالعات مشاور طرح استخراج شده است.

۳-۲- بررسی فرآیندهای مختلف

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که سن لجن یک پارامتر مهم طراحی و بهره‌برداری فرآیندهای لجن فعال بوده و با افزایش این فاکتور، جرم سلولی دفع شده از سیستم کاهش، حجم واحد هوادهی افزایش و هزینه‌های مدیریت لجن می‌تواند کاهش یابد (Turovskiy and Mathai, 2006; Tchobanoglous et al., 2014). به عنوان نمونه حداقل SRT برای انجام فرآیند نیتریفیکاسیون در دمای ۲۰ درجه برای غلظت‌های آمونیوم ورودی و خروجی به ترتیب ۴۵ و کمتر از ۰/۲ میلی گرم در لیتر برحسب نیتروژن، ۴ روز است (Henze et al., 2008). طبق بررسی‌های انجام شده، زمان ماند سلولی در فرآیندهای MLE ساخته یا طراحی شده در کشور، ۷ تا ۱۰ روز در نظر گرفته شده است. در شکل ۳ فلودیگرام‌های فرآیند طرح پایه و فرآیندهای پیشنهادی برای تصفیه بخش مایع و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب

منطقه مورد مطالعه آورده شده است. این فرآیندها با توجه به پارامترهایی از قبیل کمیت و کیفیت فاضلاب ورودی، جمعیت تحت پوشش، میزان انرژی مصرفی، فضای مورد نیاز، سهولت بهره‌برداری و نگهداری، توجیه اقتصادی، کاربردی بودن سیستم، امکان اجرای آن در محل و نوع سیستم تصفیه موجود انتخاب شده است. مطابق شکل ۳-الف، فلودیگرام فرآیندی تصفیه‌خانه فاضلاب مورد مطالعه، از نوع MLE با هاضم هوازی است. در این مقاله فرآیند انتخاب شده برای این تصفیه‌خانه، با ۳ جریان فرآیندی دیگر (شکل ۳-ب، فرآیند لجن فعال هوادهی گسترده با حذف ازت (BNR-EAAS) و با زمان‌های ماند سلولی ۲۰، ۲۴ و ۳۰ روز، شکل ۳-ج، فرآیند بخش مایع MLE و هاضم بی‌هوازی و شکل ۳-د، فرآیند لجن فعال هوادهی گسترده با حذف ازت و زمان ماند سلولی ۴۰ روز) مقایسه شده است.



شکل ۳- فلودیگرام فرآیندی تصفیه بخش مایع و لجن، (الف) بخش مایع MLE و بخش لجن AD؛ (ب) بخش مایع BNR-EAAS و بخش لجن AD؛ (ج) بخش مایع MLE و بخش لجن AD و (د) بخش مایع BNR-EAAS با تثبیت لجن در بخش مایع

۳- نتایج

این تصفیه‌خانه فاضلاب احداث شده که میزان حذف TSS ، BOD_5 و COD به ترتیب ۳۳، ۵۴ و ۳۳ درصد در نظر گرفته شده است (Tchobanoglous et al., 2014; Patziger, 2016). همچنین طبق طرح، غلظت لجن اولیه از ۲/۵ درصد توسط تغلیظ‌کننده ثقیل و غلظت لجن ثانویه از ۰/۸ درصد توسط تغلیظ‌کننده مکانیکی به حدود ۴ درصد در نظر گرفته شد.

در جدول‌های ۴ و ۵، به ترتیب ضرایب سینتیکی برای طراحی فرآیند در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و میزان تولید لجن اولیه و ثانویه به تفکیک هر چهار فلودیگرام در SRT های مختلف نشان داده شده است (Tchobanoglous et al., 2014). مطابق جدول‌های ۲ و ۴ واحد تانک ته‌نشینی اولیه به قطر ۲۵ متر در

جدول ۴- ضرایب سینتیکی مورد استفاده در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (Tchobanoglous et al., 2014)

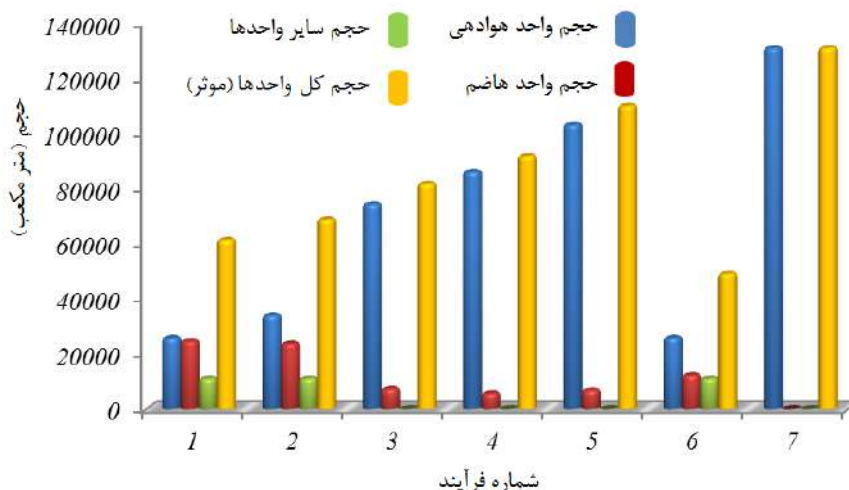
پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
μ_{max}	gVSS/gVSS.d	۶	$\mu_{max,AOB}$	gVSS/gVSS.d	۰/۹
b_H	gVSS/gVSS.d	۰/۱۲	b_{AOB}	gVSS/gVSS.d	۰/۱۷
Y_H	gVSS/gbCOD	۰/۴۵	Y_n	gVSS/gNOx	۰/۱۵
f_d	unitless	۰/۱۵			

جدول ۵- میزان تولید لجن اولیه و ثانویه قبل و پس از سیستم تغلیظ (مترمکعب در روز)

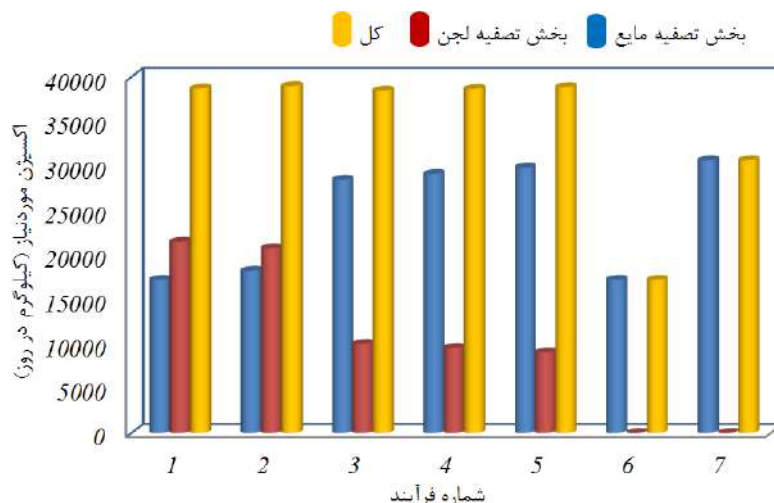
شماره فرآیند	زمان ماند سلولی (روز)	لجن اولیه	لجن ثانویه	لجن اولیه پس از تغلیظ	لجن ثانویه پس از تغلیظ	لجن کل پس از تغلیظ
۱ الف	۷	۵۴۵	۱۳۶۶	۳۴۰	۲۷۳	۶۱۳
۲ الف	۱۰	۵۴۵	۱۲۶۲	۳۴۰	۲۵۲	۵۹۲
۳ ب	۲۰	۰	۱۸۳۸	۰	۳۶۷	۳۶۷
۴ ب	۲۴	۰	۱۷۷۲	۰	۳۵۴	۳۵۴
۵ ب	۳۰	۰	۱۷۰۰	۰	۳۴۱	۳۴۱
۶ ج	۷	۵۴۵	۱۳۶۶	۳۴۰	۲۷۳	۶۱۳
۷ د	۴۰	۰	۱۶۱۸	۰	۳۲۳	۳۲۳

شکل ۲ میزان اکسیژن مورد نیاز بخش مایع و لجن را به صورت مجزا نشان می‌دهد. لازم به توضیح است طراحی فرآیندهای پیشنهادی براساس فرمول‌ها و معیارهای طراحی مندرج در کتاب مهندسی فاضلاب انتشارات متکاف و ادی در سال ۲۰۱۴ انجام شده است (Tchobanoglous et al., 2014).

در شکل ۱، میزان حجم‌های محاسبه شده برای فلودیگرام‌های مختلف شامل حجم کل واحدهای مؤثر بدون در نظر گرفتن واحدهای مشابه در هر چهار فرآیند مانند واحدهای تصفیه فیزیکی، تانک آنوکسیک و همچنین احجام به تفکیک، شامل حجم تانک هوادهی، هاضم و سایر واحدهای مؤثر از جمله تانک ته‌نشینی اولیه و تغلیظ‌کننده آورده شده است. همچنین



شکل ۱- حجم‌های فرآیندی تأثیرگذار در فلودیگرام‌های مختلف



شکل ۲- میزان اکسیژن مورد نیاز در فلودیاگرام‌های مختلف

مورد نیاز برای BOD_5 موجود در لجن اولیه برابر $1/9$ کیلوگرم به‌ازای هر کیلوگرم BOD_5 و کارایی انتقال اکسیژن معادل 10 درصد در شرایط کاری در نظر گرفته شد. لذا در مقایسه با لجن ثانویه، هضم هوازی لجن اولیه به مقدار اکسیژن بیشتر و زمان ماند طولانی‌تری نیاز دارد، طوری‌که اکسیژن مورد نیاز مخلوط لجن اولیه و ثانویه در فرآیند هضم 5 تا 10 برابر بیش از مقدار مورد نیاز برای لجن دفعی به تنهایی است (Tchobanoglous et al., 2014; Turovskiy and Mathai, 2006).

در محاسبه اکسیژن مورد نیاز بخش مایع، میزان مصرف اکسیژن مرحله نیتروبیفیکاسیون و بازیافت اکسیژن تانک آنوکسیک در مرحله دنیتروبیفیکاسیون در نظر گرفته شده است و میزان هوای مورد نیاز با توجه به شرایط منطقه و براساس ضرایب جدول ۶ و با احتساب ضریب اطمینان $1/5$ محاسبه شده است. همچنین، اکسیژن مورد نیاز بخش لجن در هاضم هوازی شامل دو بخش، اکسیژن بافت سلولی برای دستیابی به مقررات کاهش پاتوژن‌ها برابر $2/3$ کیلوگرم به‌ازای هر کیلوگرم VSS ورودی و اکسیژن

جدول ۶- ضرایب استفاده شده در محاسبه میزان هوای مورد نیاز (Tchobanoglous et al., 2014)

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
P_d	kN/m^2	$143/49$	α	unitless	$0/6$
O_2	$(kg O_2)/(m^3 Air)$	$0/241$	β	unitless	$0/95$
f	$gVSS/gbCOD$	$0/9$	C_L	mg/L	2
Oxygen Transfer	$kg O_2/m^3 Air.m$	$0/016$	$C_{s,T,H}$	mg/L	$9/2$

۴- بررسی و بحث

۴-۱- مقایسه حجم واحدهای فرآیندی در گزینه‌های مختلف

با توجه به شکل ۱، کمترین حجم واحدهای مؤثر (مجموع حجم واحدهای ته‌نشینی اولیه و هوادهی بخش مایع، هاضم هوازی، تغلیظ‌کننده بخش لجن و سایر واحدهای ارتباطی) مربوط به فرآیند MLE به‌همراه هاضم بی‌هوازی فلودیاگرام (۳-ج) است که این حجم نسبت به فرآیند پایه استفاده شده در این تصفیه‌خانه فلودیاگرام (۳-الف) حدود 30 درصد کمتر است. همچنین، حجم کل واحدهای مؤثر در فرآیند MLE به‌همراه هاضم هوازی

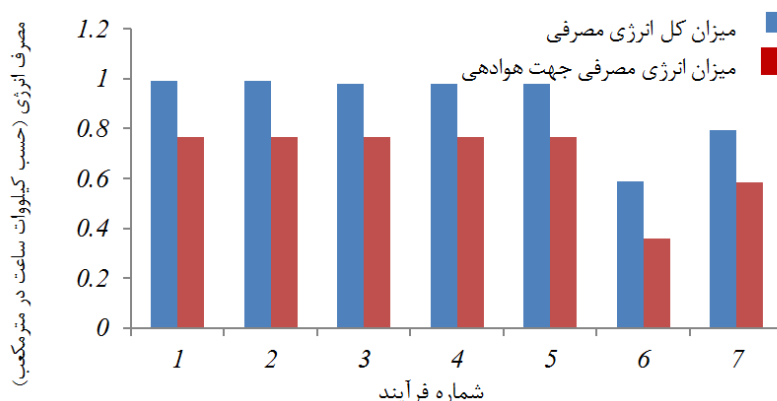
در این مقاله محاسبات میزان انرژی مصرفی براساس محاسبات مشاور طرح انجام شده است و برای مقایسه بهتر از مشخصات بلوئر استفاده شده در این تصفیه‌خانه (ظرفیت هر بلوئر 3800 مترمکعب در روز، فشار 650 میلی‌بار و توان 150 کیلووات) استفاده شد. جدول ۷، تعداد کل بلوئر‌ها را برای هوادهی به‌صورت مجزا در بخش مایع و لجن و همچنین میزان توان مصرفی و انرژی تولیدی در تصفیه‌خانه را برای فلودیاگرام‌های شکل ۳ نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۳، میزان کل انرژی مصرفی تصفیه‌خانه و میزان انرژی مصرف شده برای هوادهی بخش مایع و لجن برای فلودیاگرام‌های مختلف تصفیه برحسب کیلووات ساعت در مترمکعب نشان داده شده است.

واحد تغلیظ‌کننده برای لجن خام اولیه و کاهش عملیات لوله‌گذاری بین واحدهای فرآیندی، مشکلات کمتر در بخش تصفیه لجن و عدم تولید بوی نامطلوب لجن خام، پیچیدگی‌های بهره‌برداری و عملیات ساختمانی واحدهای متعدد کاهش چشمگیری خواهد یافت.

فلودیاگرام (شکل ۳-الف)، ۲۵ درصد نسبت به سیستم BNR-EAAS به همراه هاضم هوازی فلودیاگرام (شکل ۳-ب) با SRT برابر ۲۰ روز، کمتر است، که علی‌رغم کاهش حجم در فرآیند MLE، با توجه به تعداد کمتر واحدهای فرآیندی در سیستم BNR-EAAS (شکل ۳-ب) و نداشتن واحدهای ته‌نشینی اولیه،

جدول ۷- توان مصرفی در فرآیندهای مختلف بر حسب کیلووات

شماره فرآیند	زمان ماند سلولی (روز)	تعداد کل بلوئرها (لجن + مایع)	توان مصرفی جهت هوادهی (کیلووات)	توان مصرفی در سایر واحدها (کیلووات)				کل توان مصرفی تصفیه‌خانه (کیلووات)	انرژی تولیدی در تصفیه‌خانه (کیلووات)
				کلیه پمپ‌ها	دانه‌گیری و آشغال‌گیری	تغلیظ و آبگیری لجن	ساختمان‌های جانبی، روشنایی، کلرزنی و غیره		
۱ الف	۷	۱۷ (۸+۹)	۲۵۵۰	۴۲۰	۴۰	۴۵	۲۵۰	۳۳۰۵	-
۲ الف	۱۰	۱۷ (۸+۹)	۲۵۵۰	۴۲۰	۴۰	۴۵	۲۵۰	۳۳۰۵	-
۳ ب	۲۰	۱۷ (۱۳+۴)	۲۵۵۰	۳۹۰	۴۰	۳۰	۲۵۰	۳۲۶۰	-
۴ ب	۲۴	۱۷ (۱۳+۴)	۲۵۵۰	۳۹۰	۴۰	۳۰	۲۵۰	۳۲۶۰	-
۵ ب	۳۰	۱۷ (۱۳+۴)	۲۵۵۰	۳۹۰	۴۰	۳۰	۲۵۰	۳۲۶۰	-
۶ ج	۷	۸ (۸+۰)	۱۲۰۰	۴۲۰	۴۰	۴۵	۲۵۰	۱۹۵۵	۹۱۵
۷ د	۴۰	۱۳ (۱۳+۰)	۱۹۵۰	۳۹۰	۴۰	۲۰	۲۵۰	۲۶۵۰	-



شکل ۳- میزان انرژی مصرفی در فلودیاگرام‌های مختلف

فعال مانند MLE، مصرف انرژی معادل روش BNR-EAAS که به‌طور متعارف برای اجتماعات کوچک استفاده می‌شود، خواهد بود (Qasim and Zhu, 2018).

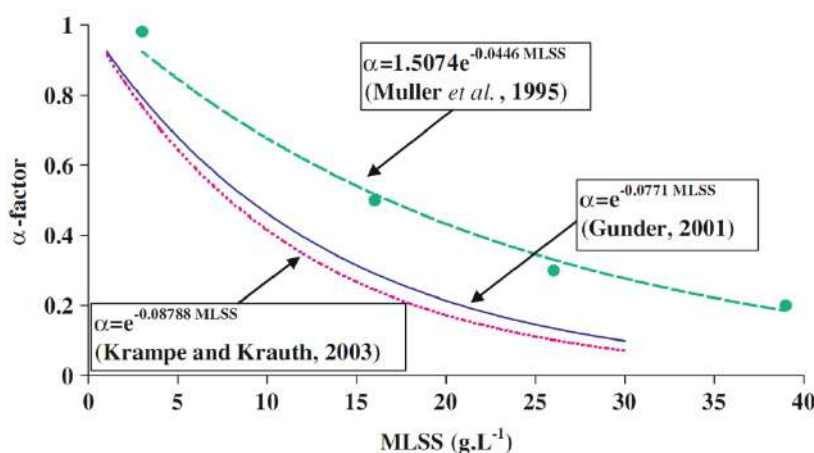
با توجه به نتایج جدول ۷، در فرآیند (الف) حدود ۴۰ درصد انرژی در بخش لجن مصرف شده است که در صورت تغییر سیستم هاضم از نوع هوازی به بی‌هوازی (شکل ۳-ج)، انرژی مصرفی می‌تواند بیش از ۴۰ درصد کاهش یافته و به‌طور قطع در شرایط تولید برق و گرما از بیوگاز تولیدی (سیستم CHP^V)، مصرف انرژی کاهش بیشتری خواهد یافت و می‌توان از بخشی از انرژی تولید شده در هاضم‌ها برای تأمین برق تصفیه‌خانه استفاده نمود. هم‌چنین، میزان متوسط متان تولیدی در لجن اولیه و ثانویه

۲-۴- بررسی میزان مصرف انرژی در گزینه‌های مختلف

مطابق شکل ۳، میزان اکسیژن موردنیاز برای هوادهی بخش‌های مایع و لجن، در فلودیاگرام‌های الف و ب با SRTهای مختلف، نزدیک (با اختلاف کمتر از ۲ درصد) به هم بوده و انرژی مصرفی، ۰/۹۸ تا ۱ کیلووات ساعت به ازای هر مترمکعب فاضلاب (۶۱ کیلووات ساعت به ازای هر نفر در سال) محاسبه شد که از این میزان انرژی مصرفی، بیش از ۷۵ درصد صرف هوادهی بخش مایع و لجن می‌شود. لذا میزان هوادهی و به تبع آن انرژی مصرفی هر دو فلودیاگرام بسیار نزدیک بوده و تنها این میزان انرژی بین واحدهای هوادهی در بخش مایع و هاضم هوازی تقسیم می‌شود. در نتیجه در صورت استفاده از هاضم هوازی در فرآیندهای لجن

تصفیه لجن می‌تواند به‌طور کامل حذف شود. یکی از دلایل کاهش میزان هوادهی و به تبع آن کاهش انرژی مصرفی این فرآیند نسبت به سایر فرآیندها، افزایش کارایی انتقال اکسیژن در واحد هوادهی بخش مایع نسبت به هضم هوازی لجن تغلیظ‌شده است. به‌طور نمونه طبق شکل ۴، میزان α در صورت تغییر غلظت لجن از ۴ به ۳۰ گرم در لیتر، بیش از ۳ برابر کاهش یافته و یا در صورت استفاده از سیستم دیفیوژری حباب درشت در هاضم هوازی، کارایی انتقال اکسیژن نسبت به دیفیوژرهای حباب ریز کاهش محسوسی می‌یابد (Ruffino et al., 2019).

به‌ترتیب برابر ۰/۲۸۰ و ۰/۱ کیلوگرم به‌ازای هر کیلوگرم VSS اضافه‌شده است. لذا در صورت استفاده از فرآیندهایی با واحد ته‌نشینی اولیه (تولید لجن خام) استفاده از فرآیند هاضم بی‌هوازی لجن، مزایای زیادی به‌همراه دارد (Ruffino et al., 2019; Borzooei et al., 2019) و در صورت استفاده از هاضم هوازی، علاوه‌بر عدم استفاده از مزیت فوق، انرژی زیادی در بخش لجن صرف هوادهی می‌شود. همچنین، در صورت تثبیت لجن در قسمت مایع (شکل ۳-د)، حجم واحد هوادهی با SRT برابر ۴۰ روز، ۱۳۰۰۰۰ مترمکعب می‌شود که حجم مؤثر این فرآیند، ۹۰ درصد بیشتر از فلودیگرام الف است، اما در این صورت فرآیند



نمودار ۴- میزان α در غلظت‌های مختلف لجن در تحقیقات مختلف

CHP استفاده نمود. همچنین در صورت افزایش سن لجن به ۴۰ روز مطابق شکل ۳-د و تثبیت لجن در بخش مایع، میزان انرژی مصرفی 0.79 kWh/m^3 خواهد شد که نسبت به سیستم تصفیه موجود این تصفیه‌خانه، میزان انرژی مصرفی ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. علاوه‌بر آن، به‌دلیل عدم وجود لجن خام اولیه و تأسیسات هضم لجن، مشکلات بهره‌برداری از این سیستم نسبت به سیستم تصفیه موجود کمتر خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

تصفیه فاضلاب شامل دو بخش تصفیه مایع و لجن است. تصفیه و مدیریت لجن یکی از پیچیده‌ترین و هزینه‌برترین بخش‌های تصفیه‌خانه است و می‌تواند تا ۶۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری یک تصفیه‌خانه فاضلاب را به‌خود اختصاص دهد. با تحقیق انجام شده در تصفیه‌خانه فاضلاب مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت:

در جدول ۸، میزان کل انرژی مصرفی و توزیع آن در برخی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب احداث شده در جهان و مقایسه آن با سیستم‌های تصفیه مورد مطالعه و پیشنهادی آورده شده است. همان‌گونه که از نمودار ۲ مشاهده می‌شود مصرف انرژی دو فرآیند پیشنهادی فلودیگرام الف و ب (حدود 1 kWh/m^3) در مقایسه با تصفیه‌خانه‌های جدول ۸، ۲ تا ۳ برابر بوده و در صورت تغییر سیستم تصفیه مطابق شکل ۳-ج و احداث هاضم‌های بی‌هوازی میزان انرژی مصرفی به 0.58 kWh/m^3 کاهش خواهد یافت. تحقیق انجام شده توسط Yan He et al. (2019) و Gu et al. (2017)، بر روی ۵۳۴ تصفیه‌خانه فاضلاب با فرآیندهای A_2O ، AO و MLE نشان داد که میزان انرژی مصرفی در این تصفیه‌خانه‌ها در محدوده $0.267 - 0.33 \text{ kWh/m}^3$ است. لذا حتی در صورت تغییر سیستم از هاضم هوازی به بی‌هوازی در تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد، انرژی مصرفی این تصفیه‌خانه (0.58 kWh/m^3) حدود ۲ برابر بیشتر از تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه خواهد شد. بنابراین لازم است از سایر روش‌های کاهش مصرف انرژی مانند تولید برق از گاز متان و بازیابی بیشتر از ۴۵ درصد انرژی توسط سیستم

جدول ۸- انرژی مصرفی کل و توزیع انرژی در بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و تصفیه‌خانه مورد مطالعه

مراجع	توزیع انرژی مصرفی (درصد)			مصرف انرژی (kWh/m^3)	فرآیند تصفیه	مشخصات و موقعیت تصفیه‌خانه فاضلاب
	سایر واحدها	لجن	هوادهی			
Gans et al. (2007)	۳۸	۵	۵۷	۰/۲۶	لجن فعال متعارف با هاضم بی‌هوازی	تصفیه‌خانه فاضلاب پیشرفته چین با جمعیت ۲۴۰۰۰۰۰ نفر (Beijing)
Panepinto et al. (2016)	۲۰	۲۹	۵۱	۰/۳	لجن فعال با حذف نیترژن و فسفر با هاضم بی‌هوازی	تصفیه‌خانه فاضلاب پیشرفته تورین ایتالیا با جمعیت ۲۷۰۰۰۰۰ نفر
Jonasson (2007)	۳۰	۱۳	۵۷	۰/۳۲	لجن فعال دو مرحله‌ای با هاضم بی‌هوازی	تصفیه‌خانه فاضلاب پیشرفته استرالیا با جمعیت ۲۵۰۰۰۰ نفر (Strass)
Yan et al. (2019)	-	-	-	کمتر از ۰/۳۳	$\text{A}_2\text{O-AO}$ با هاضم بی‌هوازی	۴۵۲ تصفیه‌خانه فاضلاب در چین با ظرفیت بیش از ۵۰۰۰۰ مترمکعب در روز
Hao et al. (2015)	۳۸	۱۴	۴۸	۰/۴۸	لجن فعال با هاضم بی‌هوازی	تصفیه‌خانه فاضلاب سوئد با جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفر
Maktabifard et al. (2018)	۱۸	۷	۷۷	۰/۳	لجن فعال با هاضم بی‌هوازی	تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز (بعد از ارتقا) با دبی ۱/۵ مترمکعب در ثانیه
این مطالعه (شکل ۳-الف)- SRT برابر ۷ و ۱۰ روز	۲۰	۴۲	۳۸	۱	MLE با هاضم هوازی	تصفیه‌خانه مورد مطالعه با جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفر
این مطالعه (شکل ۳-ب)- SRT برابر ۲۰، ۲۴ و ۳۰ روز	۲۱	۱۹	۶۰	۰/۹۸	BNR-EAAS با هاضم هوازی	تصفیه‌خانه مورد مطالعه با جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفر
این مطالعه (شکل ۳-ج)- SRT برابر ۷ روز	۳۶	۳	۶۱	۰/۵۸	MLE با هاضم بی‌هوازی	تصفیه‌خانه مورد مطالعه با جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفر
این مطالعه (شکل ۳-د)- SRT برابر ۴۰ روز	۲۵/۳	۰/۷	۷۴	۰/۷۹	BNR-EAAS	تصفیه‌خانه مورد مطالعه با جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفر

• در صورت استفاده از هاضم هوازی لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با واحد ته‌نشینی اولیه (تولید لجن خام)، میزان مصرف انرژی نزدیک به سیستم‌های BNR-EAAS یا روش‌های مشابه دیگر، که به‌طور متعارف برای اجتماعات کوچک استفاده می‌گردند، می‌باشد و در عمل نمی‌توان از مزیت تولید انرژی لجن خام استفاده کرد؛

• حجم کل واحدهای مؤثر در فرآیند MLE با هاضم بی‌هوازی نسبت به فرآیند موجود در تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد، حدود ۳۰ درصد کمتر است. همچنین، علیرغم افزایش حجم مؤثر ۲۵ درصدی سیستم BNR-EAAS با هاضم هوازی در مقایسه با فرآیند پایه، پیچیدگی‌های مرحله ساخت و بهره‌برداری هر دو بخش مایع و لجن در سیستم BNR-EAAS به دلیل تعداد کمتر واحدهای فرآیندی، کاهش تجهیزات الکترومکانیکال و همچنین عدم تولید لجن اولیه، کمتر خواهد بود؛

• با توجه به مزایای متعدد زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از

• میزان انرژی مصرفی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با واحد ته‌نشینی اولیه (تولید لجن خام) و با هدف دستیابی به جامدات بیولوژیکی کلاس B، در صورت استفاده از هاضم هوازی به‌جای بی‌هوازی حدود ۲ برابر است و در صورت استفاده از هضم هوازی لجن، عملاً نمی‌توان از مزیت تولید متان به میزان سه برابر لجن اولیه نسبت به لجن ثانویه و به تبع آن تولید برق و حرارت برای کاهش قابل توجه انرژی استفاده نمود؛

• نتایج این تحقیق نشان داد میزان انرژی مصرفی تصفیه‌خانه فاضلاب شرق مشهد با فرآیند MLE و هاضم هوازی (kWh/m^3) (۱)، حدود ۳ برابر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب احداث شده در سایر نقاط جهان با فرآیند (MLE یا A_2O) و هاضم بی‌هوازی همراه با سیستم CHP (kWh/m^3 ۰/۲۶۷ تا ۰/۳۳) است. لذا با انتخاب سیستم مناسب تصفیه لجن به‌خصوص برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با جمعیت بالا، می‌توان بیش از ۶۰ درصد در میزان انرژی مصرفی و به تبع آن هزینه‌های بهره‌برداری صرفه‌جویی کرد؛

- challenges", *Energy Procedia*, 105(1), 3741-3751.
- He, Y., Zhu, Y., Chen, J., Huang, M., Wang, P., Wang, G., Zou, W., and Zhou, G., (2019), "Assessment of energy consumption of municipal wastewater treatment plants in China", *Journal of Cleaner Production*, 228, 399-404.
- Henze, M., Loosdrecht, M.C.M., Kkama, G., and Brdjanovic, D., (2008), *Biological wastewater treatment, principle, modeling and design*, IWA Publishing.
- Hao, X., Liu, R., and Huang, X., (2015), "Evaluation of the potential for operating carbon neutral WWTPs in China", *Water Research*, 87, 424-431.
- Hao, X., Wang, X., Liu, R., Li, S., van Loosdrecht, M.C.M., and Jiang, H., (2019), "Environmental impacts of resource recovery from wastewater treatment plants", *Water Research*, 160, 268-277.
- Jiang, S., Wang, J., Zhao, Y., et al., (2016), "Residential water and energy nexus for conservation and management: a case study of Tianjin", *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(35), 15919-15929.
- Jonasson, M., (2007), "Energy benchmark for wastewater treatment processes-A comparison between Sweden and Austria", Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Sweden.
- Longo, S., d'Antoni, B.M., Bongards, M., Chaparro, A., Cronrath, A., Fatone, F., and et al., (2016), "Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement", *Applied Energy*, 179(1), 1251-1268.
- Maktabifard, M., Zaborowska, E., and Makinia, J., (2018), "Achieving energy neutrality in wastewater treatment plants through energy savings and enhancing renewable energy production", *Reviews Environmental Science and Biotechnology*, 17, 655-689.
- Gans, N., Mobini, S., Zhang, X.N., (2007), "Appendix E. Mass and energy balances at the Gaobeidian wastewater treatment plant in Beijing, China", pp 203-209.
- Pilli, S., More, T., Yan, S., Dayal Tyagi, R., and Surampalli, R.Y., (2015), "Anaerobic digestion of thermal pre-treated sludge at different solids concentrations-computation of mass-energy balance and greenhouse gas emissions", *Journal of Environmental Management*, 157, 250-261.
- Panepinto, D., Fiore, S., Zappone, M., Genon, G., and Meucci, L., (2016), "Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy", *Applied Energy*, 161, 404-411.
- Patziger, M., Günther, F.W., Jardin, N., Kainz, H., and Londong, J., (2016), "On the design and operation of primary settling tanks in state of the art wastewater treatment and water resources recovery", *Water Science & Technology*, IWA Publishing, 74(9), 2060-2067.
- Ruffino, B., Cerutti, A., Campo, G., Scibilia, G., Lorenzi, E., and Zanetti, M.C., (2019), "Improvement of energy recovery from the digestion of waste activated sludge", *Energy Procedia*, 158, 115-122.
- فرآیندهای با انرژی مصرفی کم در تصفیه فاضلاب و از طرفی احداث یا بهینه‌سازی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در جهان با هدف خودکفایی در تأمین انرژی از فاضلاب ورودی، ضروری است در انتخاب فلودیگرام تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در دست مطالعه با جمعیت‌های بالا، بازبینی شود و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب احداث شده با فلودیگرام‌های مشابه تصفیه‌خانه فاضلاب مورد مطالعه (شکل ۳-الف) بهینه‌سازی شود. همچنین، حتی‌الامکان در صورت احداث تانک‌های ته‌نشینی اولیه، از هاضم بی‌هوازی به‌منظور تصفیه لجن، با هدف کاهش مصرف انرژی و در شرایط بهینه و کاهش بیشتر انرژی از سیستم CHP برای بازیابی انرژی استفاده شود.
- ۶- پی‌نوشت‌ها
- 1- Modified Ludzack-Ettinger (MLE)
 - 2- Extended Aeration Activated Sludge (EAAS)
 - 3- Advanced Sequence Batch Reactor (ASBR)
 - 4- Solid Retention Time (SRT)
 - 5- Water Environment Research Foundation (WERF)
 - 6- Aerobic Digester (AD)
 - 7- Combined Heat and Power (CHP)
- ۷- مراجع
- Awe, O.W., Liu, R., and Zhao, Y., (2016), "Analysis of energy consumption and saving in wastewater treatment plant: Case study from Ireland", *Journal of Water Sustainability*, 6(2), 63-76.
- Belloir, C., Stanford, C., and Soares, A., (2015), "Energy benchmarking in wastewater treatment plants: The importance of site operation and layout", *Environmental Technology*, 36(2), 260-269.
- Borzooei, S., Giuseppe, C., Cerutti, A., Lorenza, M., Panepinto, D., and Ravina, M., (2019), "Optimization of the wastewater treatment plant: From energy saving to environmental impact mitigation", *Science of the Total Environment*, 691, 1182-1189.
- Chen, S., and Chen, B., (2016), "Urban energy-water nexus: A network perspective", *Applied Energy*, 184, 905-914.
- Coma, M., Rovira, S., Canals, J., and Colprim, J., (2013), "Minimization of sludge production by a side-stream reactor under anoxic conditions in a pilot plant", *Bioresource Technology*, 129, 229-235.
- Gandiglio, M., Lanzini, A., Soto1, A., Leone1, P., and Santarelli, M., (2017), "Enhancing the energy efficiency of wastewater treatment plants through co-digestion and fuel cell systems", *Frontiers in Environmental Science*, 5, 1-21.
- Gu, Y., Li, Y., Li, X., Luo, P., Wang, H., Wang, X., Jiang, W., and Li, F., (2017), "Energy self-sufficient wastewater treatment plants: Feasibilities and

- sludge (WAS) through intermediate treatments: The effect of the hydraulic retention time (HRT) of the first-stage digestion”, *Applied Energy*, 240, 191-204.
- Shen, Y., Linville, J.L., Urgan-Demirtas, M., Mintz, M.M., and Snyder, S.W., (2015), “An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 346-362.
- Qasim, S.R., and Guang, Zhu., (2018), *Wastewater treatment and reuse theory and design examples*, Taylor & Francis Group.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H.D., Tsuchihashi, R., and Burton, F., (2014), *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*, 5th Edition, McGraw Hill Education, Metcalf & Eddy/AECOM, New York.
- Timothy, E.S., Andre, M.C., and Richard, L.S., (2017), “Municipal wastewater sludge as a sustainable bioresource in the United States”, *Journal of Environmental Management*, 197, 673-680.
- Turovskiy, I.S., and Mathai, P.K., (2006), *Wastewater sludge processing*, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- Von Sperling, M., (2007), *Wastewater characteristics, treatment and disposal*, Biological Wastewater Treatment Series, Volume 1, IWA Publishing.
- Walter, Z.T., and Mika, S., (2018), *Sustainable Environmental Engineering*, Wiley, <http://www.chemeng.lth.se/exjobb/E458.pdf>.
- Water Environment Research Foundation (WERF), (2016), *Energy Production and Efficiency Fact Sheet*. [http://www.werf.org/c/KnowledgeAreas/Energy/Latest News/2016/Energy Production and Efficiency Fact Sheet 2016.aspx](http://www.werf.org/c/KnowledgeAreas/Energy/Latest%20News/2016/Energy%20Production%20and%20Efficiency%20FactSheet%202016.aspx).
- Xu, J., Li, Y., and Wang, H., (2017), “Exploring the feasibility of energy self-sufficient wastewater treatment plants: a case study in eastern China”, *Energy Procedia*, 142, 3055-3061.
- Xu, C., and Lancaster, J., (2008), “Conversion of secondary pulp/paper sludge powder to liquid oil products for energy recovery by direct liquefaction in hot compressed water”, *Water Research*, 42(67), 1571-1582.



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 the Effect of Precipitation on Leachate Production Rate during Operational Period and After Closure of Municipal Waste Landfill by HELP Model

بررسی میزان تأثیر بارش بر تولید شیرابه در زمان بهره‌برداری و پس از بستن مرکز دفن پسماند شهری با استفاده از مدل HELP

Milad Ghaffariraad¹ and Mehdi Ghanbarzadeh
Lak^{2*}

میلاد غفاری راد^۱ و مهدی قنبرزاده لک^{۲*}

1- M.Sc. Student of Environmental Engineering,
Department of Civil Engineering, School of Engineering,
Urmia University, Urmia, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، گروه عمران،
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
School of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

۲- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه،
ایران.

* Corresponding author, Email:
m.ghanbarzadehlak@urmia.ac.ir

* نویسنده مسئول، ایمیل: m.ghanbarzadehlak@urmia.ac.ir

Received: 07/04/2020

Revised: 03/10/2020

Accepted: 04/10/2020

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

In the present paper, the HELP model was first introduced as a US EPA approved software to estimate the amount of leachate produced in landfills, and its implementation was described. Hydrological data were then prepared for the time of operation of the hypothetical landfill of waste produced in Urmia (as a case study) and 30 years after its closure at different conditions. According to the results, at the time of operation during the most severe rainfall conditions, due to incomplete final coverage, infiltrated leachate into the soil will increase to 8.282 m³/year, which can have a significant impact on soil and groundwater contamination. Also, using its outputs as baseline data in leachate calculations during the 30 years after landfill closure results in a 6.71% increase in the amount of leachate (this leachate is generally ignored in leachate design calculations). In other words, precipitation and hydrological conditions change the moisture content of the buried layers during the operation of the burial site, which, if approached by saturation conditions, will result in excess moisture from the leachate. In the long-term, increasing or decreasing precipitation will have a direct effect on leachate.

در مقاله حاضر ابتدا مدل HELP به عنوان یک نرم افزار مورد تأیید US EPA در تخمین کمیت شیرابه تولیدی در مراکز دفن پسماند، معرفی و روش اجرای آن بیان شد. سپس، داده های هیدرولوژیکی برای زمان بهره برداری از مرکز دفن فرضی زایدات تولیدی در شهر ارومیه (به عنوان مطالعه موردی) و دوران ۳۰ ساله پس از بستن آن، در شرایط مختلف آماده سازی شد. مطابق نتایج، در زمان بهره برداری در شرایط وقوع شدیدترین بارش، به دلیل ناقص بودن پوشش نهایی، شیرابه نفوذی به داخل خاک تا ۸/۲۸۲ مترمکعب در سال افزایش پیدا خواهد کرد که می تواند تأثیر به سزایی را در آلودگی خاک منطقه و سفره آب زیرزمینی داشته باشد. همچنین، استفاده از خروجی های آن به عنوان داده های اولیه در محاسبات شیرابه زایی در مدت ۳۰ سال پس از بستن محل دفن زباله، باعث افزایش ۶/۷۱ درصدی بر میزان شیرابه زهکشی شده می شود (این میزان شیرابه زایی عموماً در محاسبات طراحی سیستم جمع آوری شیرابه نادیده گرفته می شود). به بیان دیگر، بارش و شرایط هیدرولوژیکی در طی دوران بهره برداری از مرکز دفن، رطوبت لایه های مدفن را تغییر می دهد که در صورت نزدیک شدن شرایط این لایه ها به حالت اشباع، رطوبت اضافی ناشی از بارش به شیرابه تبدیل خواهد شد. در بلندمدت نیز افزایش یا کاهش بارش بر شیرابه زایی تأثیر مستقیم خواهد داشت.

Keywords: Landfill, Leachate, HELP, Operation, Precipitation.

واژه های کلیدی: مرکز دفن، بهره برداری، بارش، شیرابه، HELP.

جمع‌آوری در بدنه آن‌ها، مقدار نشت احتمالی شیرابه به خاک زیرین مرکز دفن را تخمین بزنند.

مدل‌های WBM^۱ و HELP^۲ برای تخمین شیرابه تولیدی در مراکز دفن توسعه داده شده‌اند. این دو مدل با در نظر گرفتن مشخصات هواشناسی، خصوصیات خاک و طراحی و پوشش گیاهی منطقه، حجم شیرابه خروجی را تخمین می‌زنند (فهام و همکاران، ۱۳۹۶). در روش WBM، اساساً مقدار آبی که از میان پسماندها به خارج نفوذ می‌کند، عبارت است از تفاوت بین مقدار آب دریافتی توسط سایت دفن از بارندگی، رواناب ورودی و آب ورودی از کناره‌ها و مرکز دفن، با آب خروجی سایت از طریق رواناب سطحی و تبخیر و تعرق توسط گیاهان. این تعادل آبی تحت عنوان روش موازنه آب شناخته می‌شود (صبور و همکاران، ۱۳۹۰). در مدل HELP، از داده‌های هواشناسی (بارندگی، دما، تابش خورشیدی، عمق ناحیه تبخیری، شاخص سطح برگ حداکثر، زمان شروع و پایان فصل رشد، میانگین نرمال سرعت سالانه باد، میانگین نرمال رطوبت نسبی سه ماهه) و داده‌های مربوط به خاک (تخلخل، ظرفیت نگهداشت، نقطه پژمردگی و ضریب هدایت هیدرولیکی) و همچنین داده‌های مربوط به طراحی (مشخصات لایه‌ها نظیر لایه زهکش جانبی و لایه ژئوممبران، عدد منحنی رواناب و کیفیت نصب ژئوممبران)، برای تخمین میزان شیرابه تولیدی استفاده می‌شود (Shroeder et al., 1994). مطابق جدول ۱، مدل HELP در مقایسه با روش WBM، روش جامع‌تری در برآورد کمیت شیرابه است و خروجی نزدیک‌تری به واقعیت خواهد داشت. براین اساس در مطالعه حاضر، مدل HELP بمنظور برآورد شیرابه تولیدی در یک مرکز دفن فرضی، از این مدل بهره گرفته شده است. در جدول ۱ برآورد میزان شیرابه تولیدی مراکز دفن در مطالعات پیشین، آورده شده است.

با توجه به جدول ۱، می‌توان نتیجه گرفت مشخصات هیدرولوژیکی منطقه یکی از عوامل تأثیرگذار در میزان تولید شیرابه در مراکز دفن است (مشارکت بارش در تولید شیرابه در مطالعات پیشین از ۵ تا ۸۲ درصد گزارش شده است) و در هر منطقه‌ای که بارش بیشتری وجود داشت، کمیت شیرابه تولیدی بیشتر بود. مشکل اساسی در طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه مراکز دفن، عدم توجه به تغییر خصوصیات رطوبتی زباله دفن شده در طی سال‌های بهره‌برداری است. به بیان دیگر، روند متداول در طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه مراکز دفن، در نظر گرفتن یک مرکز دفن تکمیل‌شده و اعمال آمار هیدرولوژیکی منطقه به آن است (جدول ۱)؛ در حالی که ممکن است در طی سال‌های بهره‌برداری به دلیل عدم اجرای لایه پوشش نهایی، رطوبت در

با استفاده از فرایندهای بازیافت، تولید کود کمپوست یا زباله‌سوزی (روش‌های دفع متداول)، می‌توان بخشی یا تمام جریان زایدات جامد شهری را مدیریت نمود. با این وجود دفع محصولات ناخواسته حاصل از این روش‌ها (هم‌چون خاکستر زباله‌سوزی)، همچنین دورریزهای غیرقابل بازیابی/تجزیه/احتراق، مستلزم بهره‌گیری از روش دفن در زمین است. در اغلب موارد، دفن به عنوان یکی از ارکان اجتناب‌ناپذیر مدیریت جامع پسماند شناخته می‌شود. این روش مقرون به صرفه بوده و از قابلیت پذیرش تمامی اجزای پسماندهای جامد شهری برخوردار است (قنبرزاده لک و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از چالش‌های مهم در روش دفن پسماند، آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق نفوذ شیرابه به خارج از مرکز دفن است (طباطبایی و اکبرپور، ۱۳۹۰). سفره‌های زیرزمینی به عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب به شمار می‌روند (یارمرادی و همکاران، ۱۳۹۸) و آلودگی آن می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. شیرابه مایع آلوده‌ای است که در نتیجه نفوذ آب به درون یک مرکز دفن تشکیل می‌شود. منشأ این مایع، علاوه بر محصولات فرعی تجزیه و بارندگی، رطوبت و دیگر مایعات موجود در پسماندهایی است که در مرکز دفن، مدیریت می‌شوند. خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی شیرابه به نوع پسماند دفن شده و میزان تجزیه آن بستگی دارد (صبور و همکاران، ۱۳۹۰). شیرابه حاوی عناصر و ترکیبات مختلفی بوده و طبق تجزیه و تحلیل‌های انجام گرفته در مراکز دفن، رایج‌ترین عناصر موجود در آن شامل مواد آلی و معدنی و فلزات سنگین هستند (Jemec et al., 2012).

کنترل و مدیریت شیرابه با توجه به ماهیت خطرناک آن برای محیط‌زیست، امری ضروری است و اولین قدم در مدیریت صحیح شیرابه، تخمین حجم تولیدی آن است. میزان شیرابه تولیدی در مراکز دفن به میزان بارندگی در منطقه، آب ناشی از ذوب برف، رطوبت موجود در توده پسماند و نرخ انجام تجزیه بیولوژیکی زباله‌ها، بستگی دارد (Shroff, 1999). در این بین و براساس مطالعات پیشین (جدول ۱)، کمیت شیرابه تولیدی در مراکز دفن، وابستگی بالایی به میزان بارندگی در منطقه دارد. میزان شیرابه تولیدی در نواحی پرباران، بیشتر از نواحی خشک است؛ چرا که قسمت قابل توجهی از نزولات جوی به داخل مراکز دفن نفوذ خواهند نمود (ذوقی و قویدل، ۱۳۸۹). بدین ترتیب، طراح باید برآورد صحیحی از میزان شیرابه تولیدی داشته باشد تا بتواند براساس آن ضمن محاسبه اقطار لوله‌ها و جانمایی سوراخ‌های

این امر طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

قالب زباله نفوذ نماید و خصوصیات رطوبتی آن را تغییر دهد. در سالیان بعد با توجه به نزدیک شدن حالت زباله به شرایط اشباع، مسلماً درصد بیشتری از بارش بصورت شیرابه خارج خواهد شد و

جدول ۱- برآورد میزان شیرابه تولیدی مراکز دفن در مطالعات پیشین

منطقه مورد مطالعه	منبع	روش مورد عمل در برآورد شیرابه	نسبت بارش موثر در تولید شیرابه (%)	متوسط بارش سالانه (mm)	متوسط دمای سالانه (°C)
اصفهان (ایران)	عابدی و نصیرزاده (۱۳۸۳)	HELP	۵/۱۳	۱۰۸/۰۸	۱۶/۶
اسفراین (ایران)	حاجیان و همکاران (۱۳۹۱)	HELP	۱۱/۴۴	۳۶۵/۵۰	۲۷/۰
سمنان (ایران)	ذوقی و قویدل (۱۳۸۹)	HELP	۱۴/۲۰	۱۲۷/۳۲	۱۴/۰
رشت (ایران)	Nakhaei et al. (2014)	Visual HELP	۸۱/۹۵	۱۳۰۳۷۰/۰۰	۱۶/۰
غزه (فلسطین)	Alslaibi et al. (2013)	HELP	۳۵/۲۰	۳۲۲/۰۰	۲۲/۵
		WBM	۳۹/۶۵		
آتیكا (یونان)	Fatta et al. (1999)	HELP	۴۲/۸۰	۳۹۰/۰۰	۱۸/۹
تسالونیک (یونان)	Tatsi and Zouboulis (2002)	مطالعات میدانی	۵۲/۱۰	*۴۴۴/۰۰	۱۶/۰
ازمیت (ترکیه)	Yalchin and Demirel (2002)	HELP	۵۵/۰۲	۱۰۱۲۷/۰۰	۱۴/۷
جیمپو (کره جنوبی)	Jang et al. (2001)	HELP	۷۷/۳۷	۱۰۱۲۷/۰۰	۱۲/۵
تونس (تونس)	Frikha et al. 2017	HELP	۳۵/۰۰	۳۴۷/۰۰	۲۱/۷
غزه (فلسطین)	Abunama et al. (2017)	HELP	۳۹/۴۰	۳۴۷/۰۰	۱۲/۵

*: متوسط بارش در سال مورد مطالعه.

۲- روش تحقیق

تولید شیرابه اهمیت شایان توجهی دارد. در این قسمت با توجه به میزان رطوبت متداول در انواع ترکیبات پسماند (Niessen, 2002; Tchobanoglous et al., 1993)، برآوردی از درصد رطوبت پسماندهای شهری ارومیه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود درصد رطوبت پسماندهای شهر ارومیه، شهرهای اقماری و روستاهای تابعه در سال ۱۳۹۶ به ترتیب برابر ۵۰/۳۴، ۴۹/۹۹ و ۴۱/۰۸ درصد است.

فرمول بسته شیمیایی پسماند براساس اطلاعات موجود در خصوص میزان جرم خشک پسماند و همچنین درصد حضور عناصر (کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد) در ترکیبات پسماند برآورد شد (Niessen, 2002; Tchobanoglous et al., 1993). بدین ترتیب فرمول بسته شیمیایی پسماند برای شهر ارومیه، شهرهای اقماری و روستاهای تابعه به ترتیب $C_{365.96} H_{545.29} O_{146.77} N_{10.15} S_{10.57} H_{544.59} O_{147.80}$ و $C_{370.37} H_{545.29} O_{146.77} N_{10.15} S_{10.57}$ است. اطلاعات آماری هواشناسی شهر ارومیه از پورتال سازمان هواشناسی کشور برای ۳۰ سال اخیر (یعنی از سال ۱۳۶۷ تا سال ۱۳۹۷) اخذ و برای ارائه به نرم‌افزار HELP آماده‌سازی شدند.

در مقاله حاضر ابتدا با توجه به کمیت و کیفیت زایدات شهری تولیدی در منطقه مورد مطالعه (جدول ۲)، یک مرکز دفن فرضی (با توجه به محدودیت‌های تملک زمین در سایت دفن کنونی زباله شهر ارومیه) طراحی شد. لازم به ذکر است روش مورد عمل در تعیین خصوصیات کیفی پسماند، جداسازی مواد و اندازه‌گیری وزن آن‌ها از طریق نمونه‌برداری تصادفی و بهره‌گیری از مکانیزم چارک کردن در محل ایستگاه میانی شماره ۱ سازمان مدیریت پسماند شهرداری ارومیه، است. شرایط بهره‌برداری به صورت تکمیل مرکز دفن در طی ۳ سال فرض شد. براساس محاسبات انجام گرفته لندفیل^۳ (محل دفن زباله) طراحی شده دارای حجمی معادل ۹۳۶،۹۸۲ مترمکعب است که با در نظر گرفتن شرایط عملیاتی (حجم خاک پوششی معادل ۲۵ درصد حجم پسماند، چگالی پسماند فشرده شده ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کاهش حجم در اثر تراکم ۲۳ درصد) گنجایش دفن ۴۸۶،۷۴۴ تن پسماند را خواهد داشت.

تعیین درصد رطوبت زایدات جامد شهری در محاسبه کمیت

جدول ۲- ترکیب کیفی پسماند شهرستان ارومیه طی سال ۱۳۹۶ (معاونت پژوهش و فن آوری دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۶) (اعداد برحسب درصد)

منطقه			نوع پسماند
روستاهای تابعه	شهرهای اقماری	ارومیه	
۵۳/۰۸	۶۸/۸۷	۶۸/۳۶	مواد غذایی/ فسادپذیر
۹/۱۴	۶/۴۵	۴/۵۸	کاغذ و مقوا
۰/۷۸	۰/۵۲	۰/۹۵	PET
۶/۰۲	۱۰/۹۱	۹/۵۱	PE/PP
۰/۴۷	۰/۹۰	۰/۶۸	Other Plastics (Mixed)
۱۶/۸۵	۲/۰۸	۴/۱۱	منسوجات/ پارچه
۰/۰۸	۰/۲۹	۰/۳۶	فلزات آهنی
۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۱۸	فلزات غیرآهنی
۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۵۴	چوب و زایدهات باغبانی
۱/۶۸	۱/۷۸	۱/۱۹	شیشه
۷/۳۶	۲/۲۰	۶/۲۳	دورریزهای بهداشتی
۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۷۵	زایدهات ویژه/ خطرناک
۲/۳۴	۱/۳۱	۰/۳۲	چرم و لاستیک
۰/۰۰	۲/۶۷	۰/۹۸	خاک و نخاله ساختمانی
۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	زایدهات الکترونیکی
۱/۲۷	۱/۰۲	۱/۲۵	زایدهات بسته‌بندی کامپوزیت

حاضر و در سناریوی اول، ابتدا شیرابه‌زایی بدون درنظر گرفتن اثرات دوران بهره‌برداری، توسط مدل اندازه‌گیری شد (مشابه روند رایج در سایر تحقیقات پیشین). در ادامه و با توجه به تأثیر بارش بر شیرابه‌زایی در دوران بهره‌برداری، باید شرایط مختلف بارش در زمان بهره‌برداری و اثر آن بر تولید شیرابه بررسی شود. از این‌رو، سه سناریو از لحاظ میزان بارش در مرحله بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفت.

در روند رایج استفاده از نرم‌افزار HELP برای محاسبه میزان شیرابه‌زایی (جدول ۱)، اطلاعات طراحی لندفیل پس از اتمام بهره‌برداری و تکمیل لایه پوشش نهایی وارد نرم‌افزار شده و نرم‌افزار میزان شیرابه‌زایی را در زمان پس از بستن مرکز دفن محاسبه می‌نماید. درحالی‌که از زمان شروع بهره‌برداری لندفیل تولید شیرابه آغاز می‌شود و با توجه به عدم وجود لایه پوششی مناسب در سال‌های بهره‌برداری، کمیت شیرابه تولیدی متناسب با میزان بارش می‌تواند قابل‌ملاحظه باشد. براین اساس، در مقاله

جدول ۳- برآورد میزان رطوبت پسماند شهرستان ارومیه

درصد حضور در جریان زایدهات			حدود درصد رطوبت		درصد رطوبت موجود		نوع پسماند
ارومیه	شهرهای اقماری	روستاهای تابعه	حدود	متداول	ارومیه	شهرهای اقماری	روستاهای تابعه
۶۸/۳۶	۶۸/۸۷	۵۳/۰۸	۸۰-۵۰	۷۰	۴۷/۸۵	۴۸/۲۱	۳۷/۱۶
۴/۵۸	۶/۴۵	۹/۱۴	۱۰-۴	۶	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۵۵
۱۱/۱۴	۱۲/۳۳	۷/۲۷	۴-۱	۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱۵
۴/۱۱	۲/۰۸	۱۶/۸۵	۱۵-۶	۱۰	۰/۴۱	۰/۲۱	۱/۶۸
۰/۵۴	۰/۴۰	۰/۰۸	۴-۲	۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰
۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۱۱	۶۰-۲۲	۴۰	۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۰۴
۱/۱۹	۱/۷۸	۱/۶۸	۴-۱	۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳
۰/۳۲	۱/۳۱	۲/۳۴	۴-۱	۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵
۰/۹۸	۲/۶۷	۰/۰۰	۱۲-۶	۸	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۰۰
۸/۲۳	۳/۹۵	۹/۴۴	۲۰-۵	۱۵	۱/۲۴	۰/۵۹	۱/۴۲
۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰			۵۰/۳۴	۴۹/۹۹	۴۱/۰۸

انجام می‌گیرد. در مورد ویژگی‌های خاک و پسماند نیز، برنامه HELP به مقادیر تخلخل کل، ظرفیت میدانی، نقطه پژمردگی و هدایت هیدرولیکی اشباع هر لایه از خاک، پسماند و یا مواد دیگر در پروفیل مرکز دفن نیاز دارد. روش تجربی در محاسبه مقادیر میزان نگهداشت آب در خاک (ظرفیت میدانی و نقطه پژمردگی) و هدایت هیدرولیکی اشباع هر لایه، به‌کارگیری معادلات تجربی گزارش‌شده توسط Brakensiek et al. و Springer and Lane و رابطه توسعه یافته توسط Kozeny-Carman، است. علاوه بر آن، کاربر می‌تواند به‌صورت دستی از بین ۴۲ نوع خاک پیش فرض تعریف شده در نرم‌افزار، گزینه موردنظر خود را انتخاب نماید. همچنین این امکان وجود دارد که کاربر لایه‌ای را با ویژگی‌های مدنظر خود برای نرم‌افزار تعریف کند (Shroeder et al., 1994).

۲-۲- استخراج داده‌های ورودی نرم‌افزار HELP

در مطالعه حاضر به‌منظور آماده‌سازی داده‌های هواشناسی موردنیاز نرم‌افزار HELP، از اطلاعات هیدرولوژیکی شهر ارومیه در مدت زمان ۳۰ سال استفاده شده است. انتخاب زمان ۳۰ سال برای انجام مطالعه، به‌دلیل ثابت بودن متوسط‌های اقلیمی در طول دوره زمانی ۳۰ سال است. برای تهیه داده‌های بارش داده‌های سینوپتیک پورتال سازمان هواشناسی کشور، استفاده شده است. اطلاعات بارش در طی دو ساعت از شبانه‌روز (۰۳ و ۱۵) ثبت می‌گردد ولی از آن‌جا که نرم‌افزار HELP داده‌های بارش را به‌صورت روزانه دریافت می‌کند، اطلاعات مذکور در نرم‌افزار Msexcel به داده‌های روزانه تبدیل شد. برای آماده‌سازی داده‌های انرژی تابشی خورشیدی از معادلات مدل آنگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو استفاده شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹). بدین منظور ابتدا اطلاعات مربوط به تعداد ساعات آفتابی از اداره کل هواشناسی کشور دریافت شد. برای داده‌های دمای ورودی به نرم‌افزار نیز، از پورتال سازمان هواشناسی کشور استفاده شد.

مقادیر تبخیر و تعرق، با وارد کردن داده‌های اولیه (شامل عمق تبخیر منطقه، شاخص حداکثر سطح برگ، شماره ژولیان برای شروع کاشت، شماره ژولیان برای پایان کاشت، متوسط سرعت باد روزانه برحسب مایل بر ساعت (بدون درنظرگرفتن جهت باد) و درصد رطوبت نسبی متوسط سه ماهه اول، دوم، سوم و چهارم سال)، توسط نرم‌افزار HELP محاسبه می‌شود. فایل تبخیر و تعرق دارای فرمت D11* است.

در نهایت برای داده‌های طراحی، مرکز دفن فرضی براساس اطلاعات موجود در مطالعات پیشین (جدول ۱) طراحی شد که

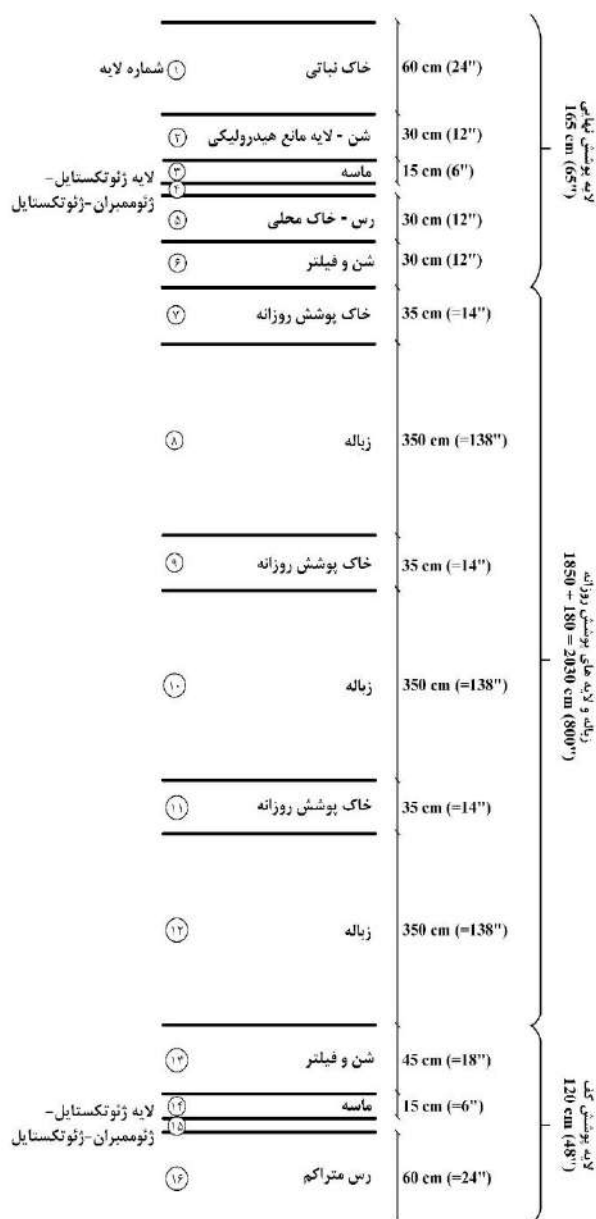
- سناریوی دوم: درنظر گرفتن حداکثر بارش منطقه در طی ۳۰ سال بعنوان داده‌های ورودی در زمان بهره‌برداری؛
 - سناریوی سوم: مشابه سناریوی اول ولی با درنظر گرفتن حداقل بارش در طی ۳۰ سال بعنوان داده‌های ورودی در زمان بهره‌برداری؛
 - سناریوی چهارم: مشابه دو سناریوی قبل ولی با درنظر گرفتن متوسط بارش در طی ۳۰ سال بعنوان داده‌های ورودی در زمان بهره‌برداری.
- بدین ترتیب با مقایسه نتایج حاصل، ابتدا تبعات عدم توجه به تغییرات ناشی از رطوبت لایه‌های پسماند در زمان بهره‌برداری بررسی می‌گردد و سپس مشکلات ناشی از وقوع بدترین شرایط بارش در زمان بهره‌برداری (سناریوی دوم) بر سیستم جمع‌آوری بیان خواهد شد. در نهایت، تأثیر بارش بر شیرابه‌زایی در کوتاه‌مدت سنجیده می‌شود و دلایل مربوط به انطباق یا عدم انطباق تغییرات بارش و شیرابه تولیدی بررسی خواهند شد.

۲-۱- معرفی نرم‌افزار HELP

برنامه کامپیوتری ارزیابی هیدرولوژیکی عملکرد مرکز دفن (HELP)، یک مدل شبه دوبعدی برای مدل‌سازی حرکت آب است. این مدل، داده‌های آب و هوا، خاک و طراحی را دریافت و از تکنیک‌هایی استفاده می‌کند که تأثیرات ذخیره سطحی، ذوب برف، رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق، رشد گیاهی، ذخیره رطوبت خاک، زهکشی زیرسطحی جانبی، بازچرخش شیرابه، زهکشی قائم غیراشباع، تراوش از میان خاک، ژئوممبران یا لاینرهای کامپوزیت سیستم‌های مرکز دفن، را در برآورد شیرابه تولیدی منظور نماید. محیط این نرم‌افزار تحت DOS است و در فضایی تلفیقی بین داده‌های ورودی توسط کاربر و محاسبات انجام گرفته به‌وسیله نرم‌افزار، اطلاعات را تجزیه و تحلیل می‌نماید.

باتوجه به اینکه این نرم‌افزار تحت DOS است قابلیت اجرا در محیط ویندوزهای بالاتر از ۷ را ندارد (Berger, 2015). برای رفع این مشکل می‌توان از نرم‌افزار DOS Box استفاده نمود. نرم‌افزار DOS Box به‌صورت یک برنامه کمکی عمل می‌نماید و با استفاده از آن می‌توان نرم‌افزارهای تحت DOS از جمله HELP را در ویندوزهای بالاتر اجرا نمود (برای استفاده از راهنمای نرم‌افزار DOS Box به بخش پیوست رجوع شود). اساس مدل HELP، درنظر گرفتن یک بیلان آبی است که برای این منظور داده‌های بارش، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و نفوذ موردنیاز است. در این میان اطلاعات بارش توسط کاربر وارد شده و محاسبات رواناب و تبخیر و تعرق به‌وسیله HELP و با روش‌های SCS و Penman

۳۰ سال، نرخ تبخیر و تعرق زیاد و به اندازه ۷۷/۰۷ درصد است. همچنین، میزان ۷/۶۳ درصد از بارش در داخل لندفیل نفوذ کرده است و به شیرابه تبدیل شده است. در مقایسه با مطالعات جدول ۱، میزان بارش شهرستان ارومیه تقریباً با آتیکا و غزه مشابه است؛ با این حال میزان شیرابه‌زایی ارومیه از هر دو کمتر است. این موضوع می‌تواند ناشی از دو دلیل باشد، دلیل اول، وجود لایه ژئوممبران در پوشش نهایی مرکز دفن فرضی شهرستان ارومیه است که از نفوذ بارش به داخل لندفیل جلوگیری می‌کند. دلیل دوم، میزان زیاد تبخیر و تعرق در منطقه ارومیه نسبت به دو منطقه دیگر است. میزان تبخیر و تعرق در غزه ۵۷/۸۸ درصد و در آتیکا ۵۵/۶۰ درصد است که سبب نفوذ بیشتر بارش به داخل لندفیل و همچنین افزایش شیرابه‌زایی شده است.



شکل ۱- اطلاعات طراحی ورودی نرم‌افزار HELP

اطلاعات مربوط به مشخصات لایه‌های مرکز دفن طراحی شده در شکل ۲ قابل مشاهده است. این لایه‌بندی برای تعیین کمیت شیرابه تولیدی، به نرم‌افزار HELP تعریف شده است. فرمت داده‌های خاک و طراحی در نرم‌افزار HELP به صورت D10* است.

۳-۲- آماده‌سازی داده‌های ورودی نرم‌افزار HELP

برای وارد کردن داده‌های هیدرولوژیکی منطقه به نرم‌افزار HELP می‌توان از دو طریق عمل کرد، در روش اول، می‌توان منطقه مورد نظر را از بین مناطق پیش‌فرض موجود در حافظه نرم‌افزار انتخاب نمود؛ اما اگر منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار تعریف نشده باشد، باید از روش دوم و به‌صورت دستی داده‌ها را وارد کرد. چون محیط نرم‌افزار HELP تحت DOS است و داده‌های هیدرولوژیکی را به‌صورت روزانه تحلیل می‌کند، وارد کردن دستی اطلاعات برای بازه زمانی طولانی مدت با مشکلات فراوانی همراه است. در مطالعه حاضر، برای رفع این مشکل ابتدا با استفاده از فایل‌های مثال نرم‌افزار HELP برای داده‌های دما، بارش و انرژی تابشی خورشید، مفهوم هر عدد و نحوه جایگذاری اعداد استخراج شد. سپس با استفاده از کدنویسی در محیط MATLAB، برنامه لازم برای تبدیل داده‌های فایل MSeExcel به فایل متنی (Text) مورد قبول HELP تهیه شد. در ادامه، پس از استخراج داده‌های روزانه بارش، دما و انرژی تابشی خورشید (رجوع شود به بخش ۲-۲)، هریک از اطلاعات وارد یک فایل جداگانه MSeExcel شدند. با اجرای کد MATLAB، داده‌های فایل MSeExcel به فایل Text و با مشخصات موردنیاز نرم‌افزار HELP تبدیل شد. در نهایت برای معرفی فایل‌های Text به نرم‌افزار HELP باید فرمت آن‌ها تغییر کند. به این دلیل فرمت فایل‌های بارش، دما و انرژی تابشی خورشید به‌ترتیب به D4*، D7* و D13* تبدیل شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان شیرابه تولیدی در مرکز دفن (سناریوی اول)

نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار HELP برای داده‌های هواشناسی ۳۰ سال اخیر شهرستان ارومیه و داده‌های خام طراحی (شکل ۱ و جدول ۴) بدون در نظر گرفتن تغییرات رطوبتی لایه‌ها در زمان بهره‌برداری، در قالب سناریوی اول و در جدول ۵ آورده شده است.

مطابق جدول ۵، بر اساس اطلاعات مربوط به اقلیم در طی

جدول ۵- خروجی نرم‌افزار HELP براساس سناریوی اول (متوسط سالانه)

شماره لایه	تخلخل	ظرفیت میدانی	نقطه پژمردگی	ضریب نفوذپذیری	سایر مشخصات
۱	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۲	۰/۳۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۱۳	$۳/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	
۳	۰/۴۱۷	۰/۰۴۵	۰/۰۱۸	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۴	۰	۰	۰	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱۳}$	ضخامت ژئوممبران ۱ میلیمتر، تعداد سوراخ در هر ایکر ۱ در مرحله ساخت و ۱۰ در مرحله اجرا، اجرا خوب
۵	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۶	۰/۳۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۱۳	$۳/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	
۷	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۸	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۱۹	$۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۹	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۱۰	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۱۹	$۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۱۱	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۱۲	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۱۹	$۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۱۳	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/۰۲	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	
۱۴	۰/۴۱۷	۰/۰۴۵	۰/۰۱۸	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۱۵	۰	۰	۰	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۱۳}$	ضخامت ژئوممبران ۱ میلیمتر، تعداد سوراخ در هر ایکر ۱ در مرحله ساخت و ۱۰ در مرحله اجرا، اجرا خوب
۱۶	۰/۴۲۷	۰/۴۱۸	۰/۳۶۷	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۷}$	

جدول ۵- خروجی نرم‌افزار HELP براساس سناریوی اول (متوسط سالانه)

پارامتر	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m ³ /yr)
بارش	۳۰۱/۴۹۸	۲۰،۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۱۵/۰۸۸	۱،۰۰۹/۴۹۲
تبخیر و تعرق	۲۳۲/۳۵۹	۱،۵۵۱/۹۹۱
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۲۲/۹۶۵	۱،۵۳۷/۱۲۶
نفوذ/ شیرابه از میان لایه ۱۶	۰/۰۴۴	۲/۹۷۱

۳-۲- بررسی سناریوهای مربوط به تغییرات شرایط رطوبتی لایه‌ها در طی دوران بهره‌برداری

خصوصیات ژئوتکنیکی پوشش فوقانی مرکز دفن و تأثیر آن بر میزان رواناب و نفوذ، می‌تواند کمیت شیرابه تولیدی را دستخوش تغییر کند. در اکثر طراحی‌های مراکز دفن، به‌منظور ممانعت از ورود آب ناشی از بارش به داخل مرکز دفن، از پوشش‌های نفوذناپذیر در لایه نهایی بهره‌گیری می‌شود (Yalchin and Demirer, 2002)؛ اما در زمان بهره‌برداری از مرکز دفن بدلیل ناقص بودن پوشش نهایی و عدم وجود لایه ژئوممبران، انتظار می‌رود میزان شیرابه تولیدی نسبت به زمان پس از بستن مرکز دفن افزایش یابد. اگر در لندفیل طراحی‌شده فرض شود زمان بهره‌برداری ۳ سال به‌طول انجامد و در طی هر سال یکی از لایه‌های در نظر گرفته‌شده برای زباله پر شود، در طول سال‌های

اول و دوم پوشش مرکز دفن ناقص خواهد بود. در سال سوم نیز در زمان بهره‌برداری و قبل از تکمیل پوشش نهایی، لندفیل دارای پوشش ناقص خواهد بود. به بیان دیگر، ابتدا قبل از آغاز بهره‌برداری از مرکز دفن، لایه پوشش کف لندفیل آماده می‌شود. سپس، در طی هر سال بهره‌برداری، یک لایه زباله به‌همراه پوشش خاک روی آن تکمیل می‌شود. در نهایت پس از تکمیل ظرفیت مرکز دفن در انتهای سال سوم، لایه پوشش نهایی (یعنی لایه‌های ۱ تا ۶) اجرا خواهند شد.

برای بررسی تأثیر شرایط بهره‌برداری بر میزان شیرابه‌زایی، از سه سناریو در شرایط هیدرولوژیکی مختلف (بیشترین بارش، کمترین بارش و متوسط بارش) در طی ۳۰ سال بهره‌گرفته شد. نتایج این سه سناریو می‌تواند در طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه اثرگذار باشد. نتایج به‌ترتیب در جدول‌های ۶ تا ۸ آورده شده است.

جدول ۶- خروجی نرم افزار HELP براساس سناریوی دوم (متوسط سالانه)

پارامتر	۳ سال بهره‌برداری		۳۰ سال پس از بستن لندفیل	
	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m ³ /yr)	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m ³ /yr)
بارش	۵۸۰/۱۳۶	۳۸,۳۸۱/۰۵۶	۳۰۱/۴۹۸	۲۰,۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۲۵/۰۹۵	۱,۶۸۰/۰۴۰	۱۴/۵۸۰	۹۷۵/۳۲۷
تبخیر و تعرق	۴۰۰/۰۰۸	۲۶,۷۷۴/۱۶۲	۲۳۲/۳۵۹	۱۵,۵۵۲/۰۹۰
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۱۳۰/۵۰۸	۸,۷۳۵/۴۱۱	۲۴/۵۰۶	۱,۶۴۰/۲۶۶
نفوذ/شیرابه از لایه ۱۶	۰/۱۲۴	۸/۲۸۲	۰/۰۴۷	۳/۱۵۳

جدول ۷- خروجی نرم افزار HELP براساس سناریوی سوم (متوسط سالانه)

پارامتر	۳ سال بهره‌برداری		۳۰ سال پس از بستن لندفیل (محل دفن زباله)	
	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m ³ /yr)	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m ³ /yr)
بارش	۱۶۶/۶۲۴	۱۱,۱۵۲/۸۷۴	۳۰۱/۴۹۸	۲۰,۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۵/۵۰۳	۳۶۸/۴۸۵	۱۴/۵۸۰	۹۷۵/۳۲۷
تبخیر و تعرق	۱۶۶/۱۶۷	۱۱,۱۲۱/۸۲۲	۲۳۲/۳۵۹	۱۵,۵۵۲/۰۹۰
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۳/۵۳۶	۲۳۶/۶۳۷	۱۷/۵۲۱	۱,۱۷۲/۷۹۴
نفوذ/شیرابه از لایه ۱۶	۰/۰۰۸	۰/۵۲۸	۰/۰۳۴	۲/۲۷۳

جدول ۸- خروجی نرم افزار HELP براساس سناریوی چهارم (متوسط سالانه)

پارامتر	۳ سال بهره‌برداری		۳۰ سال پس از بستن لندفیل (محل دفن زباله)	
	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m ³ /yr)	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m ³ /yr)
بارش	۲۹۹/۹۷۴	۲۰,۰۷۸/۶۰۷	۳۰۱/۴۹۸	۲۰,۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۲/۶۲۵	۱۷۵/۳۷۳	۱۴/۵۸۰	۹۷۵/۳۲۷
تبخیر و تعرق	۲۹۵/۹۰۲	۱۹,۸۰۵/۷۴۱	۲۳۲/۳۵۹	۱۵,۵۵۲/۰۹۰
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۹/۴۲۰	۶۳۰/۴۹۵	۱۸/۸۰۸	۱,۲۵۸/۹۱۲
نفوذ/ شیرابه از لایه ۱۶	۰/۰۱۹	۱/۲۹۸	۰/۰۳۴	۲/۴۳۱

براساس جدول‌های ۶ تا ۸، تغییرات میزان بارش در زمان بهره‌برداری علاوه بر تأثیر بر شیرابه‌زایی در طی بهره‌برداری باعث تغییرات خصوصیات رطوبتی لایه‌های لندفیل می‌شود و میزان شیرابه را پس از تکمیل مرکز دفن افزایش می‌دهد. بر این اساس با وجود این که شرایط هیدرولوژیکی نظیر بارش، رواناب و تبخیر و تعرق در هر چهار سناریو یکسان است، اما در صورت وقوع سناریوی دوم، میزان شیرابه زهکشی شده در طی ۳۰ سال نسبت به سناریوی اول، حدود ۳۰,۹۴ مترمکعب افزایش پیدا می‌کند و رشد ۶/۷۱٪ خواهد داشت. با وجود این که در سناریوهای سوم و چهارم میزان شیرابه‌زایی در زمان ۳۰ ساله پس از بستن لندفیل نسبت به سناریوی اول کاهش پیدا کرده است؛ اما چون میزان شیرابه تولیدی در زمان بهره‌برداری در سناریوی اول نادیده گرفته شده است، در صورت وقوع این دو سناریو باید به ترتیب در طی زمان ۳ ساله بهره‌برداری ۷۰۹/۹۱۱ و ۱,۸۹۱/۴۸۵ مترمکعب شیرابه از لایه زهکشی جمع‌آوری شود که در سناریوی اول در نظر گرفته نشده است. قابل ذکر است که این مقدار در سناریوی دوم

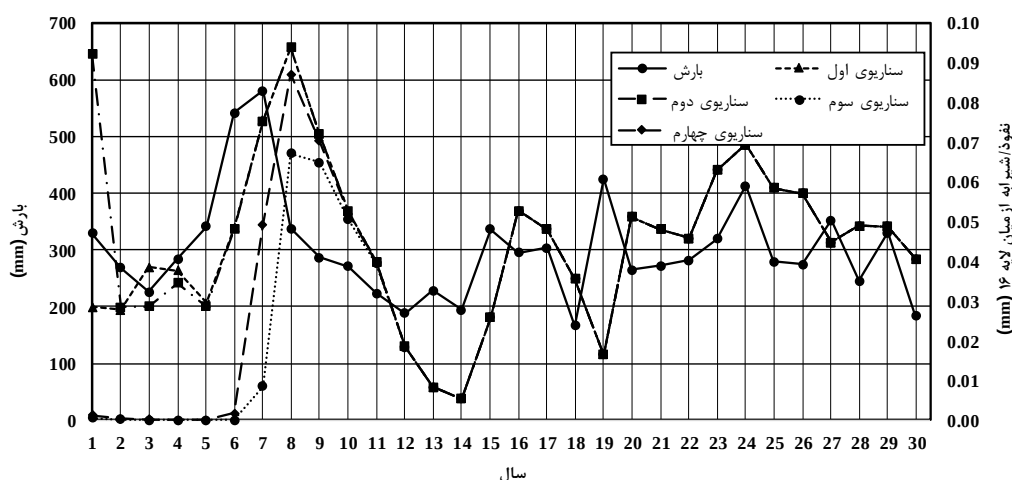
افزایش چشمگیری دارد و به ۲۶,۲۰۶/۲۳۳ مترمکعب در طی ۳ سال بهره‌برداری رسیده است. نکته قابل توجه این است که در مطالعات پیشین (جدول ۱) براساس روند رایج محاسبات میزان شیرابه در نرم افزار HELP عمل شده و داده‌های طراحی پس از تکمیل مرکز دفن وارد نرم افزار شده‌اند و به شرایط بهره‌برداری توجه نشده است. بنابراین توجه به شرایط بهره‌برداری نظیر سناریوهای تعریف شده در این مقاله کاملاً می‌تواند میزان شیرابه‌زایی در زمان پس از بستن لندفیل را تحت تأثیر قرار دهد.

۳-۳- بررسی رابطه بین میزان بارش و شیرابه‌زایی

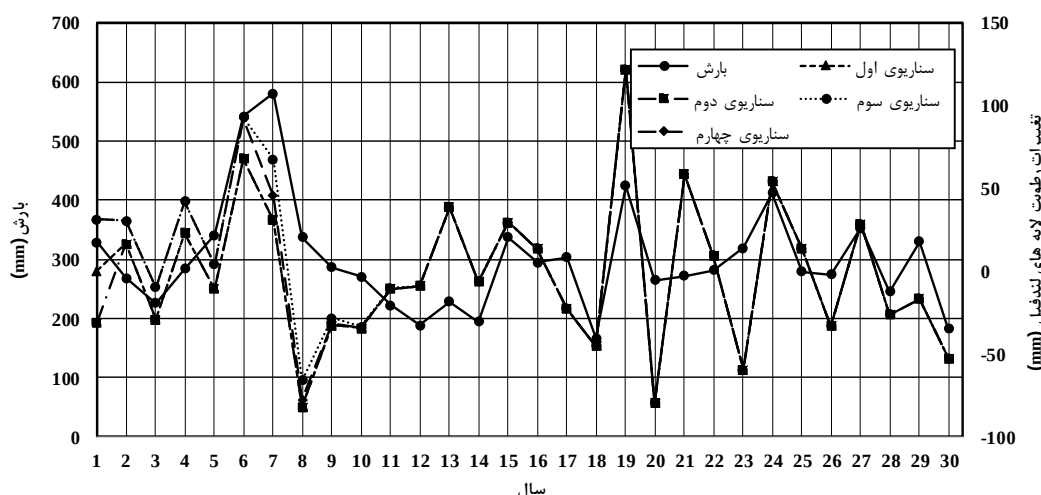
به منظور بررسی رابطه بین میزان بارش و شیرابه‌زایی پس از تکمیل لندفیل، با استفاده از خروجی نرم افزار HELP، نمودار بارش سالانه در مقابل شیرابه نفوذیافته به زیر مرکز دفن در هر سال رسم شد (شکل ۲). در این نمودار اطلاعات سناریوی اول به عنوان سناریوی پایه و سناریوهای دوم تا چهارم که دارای تفاوت شرایط بارش در زمان بهره‌برداری بودند، آورده شده است.

این فاصله زمانی طولانی‌تر شده است. میان بارش و شیرابه نفوذیافته به زیر مرکز دفن در بعضی از سال‌ها رابطه مستقیم وجود دارد (به‌عنوان نمونه طی سال‌های ۵ تا ۷ و ۸ تا ۱۲)، اما در برخی از موارد نظیر مابین سال‌های ۷ و ۸ با وجود کاهش میزان بارش، نشت شیرابه از کف لندفیل بیشتر شده است. همچنین، مابین سال‌های ۱۸ و ۱۹، با وجود افزایش میزان بارش، شیرابه‌زایی روند نزولی دارد و کاهش یافته است. برای بررسی بهتر این موضوع، با استفاده از اطلاعات مربوط به تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل، نمودار شکل ۳ رسم شد.

مطابق شکل ۲، در سال ۱ با وجود اطلاعات هیدرولوژیکی مشابه، هر چهار سناریو دارای میزان شیرابه‌زایی متفاوتی بوده‌اند که در ادامه این اختلاف به‌مرور زمان تعدیل شده و تقریباً از سال پنجم برای سناریوی دو، سال سیزدهم برای سناریوی سه و سال یازدهم برای سناریوی چهار مشابه سناریوی اول شده است. در واقع، میزان بارش متفاوت در زمان بهره‌برداری باعث این اختلاف شده است، به‌گونه‌ای که در سناریوی دوم چون لایه‌ها در آستانه حالت اشباع قرار داشته‌اند، با از دست دادن رطوبت خود سریعتر به شرایط یکسان با سناریوی اول رسیده‌اند؛ اما در سناریوی سوم و چهارم چون شرایط رطوبتی لایه‌ها از حالت اشباع فاصله دارد،



شکل ۲- رابطه میان بارش و میزان شیرابه نشت‌یافته از کف لندفیل (محل دفن زباله)



شکل ۳- رابطه میان بارش و تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل (محل دفن زباله)

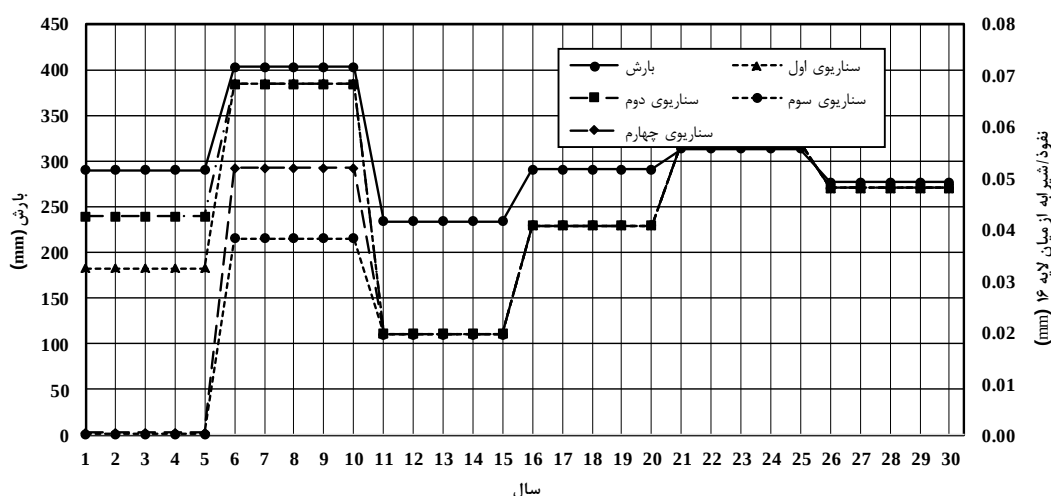
(اعداد منفی به منزله کاهش رطوبت لایه‌های لندفیل در انتهای سال نسبت به ابتدای سال است).

است. در واقع لایه‌های لندفیل بدلیل شرایط بهره‌برداری در آستانه حالت اشباع قرار گرفته‌اند و رطوبت خود را از دست داده‌اند که این موضوع سبب کاهش رطوبت لایه‌ها در انتهای سال نسبت به ابتدای سال و همچنین افزایش شیرابه نشت‌یافته به داخل خاک

مطابق شکل ۳، تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل در شرایط هیدرولوژیکی مشابه برای چهار سناریو در ابتدا متفاوت است و در ادامه به‌مرور به هم نزدیک شده‌اند. طبق شکل مذکور، برای سناریوی دو، در سال اول تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل منفی

از بارش ورودی از کف لندفیل نشت کرده که این امر سبب افزایش میزان نشت نسبت به سال ۷ شده است. همچنین، در طی سال ۱۹ با وجود این که بارش بسیار بیشتری از سال ۱۸ را تجربه کرده است، ولی شیرابه‌زایی کمتر از آن را دارد. در مقابل افزایش رطوبت لایه‌های لندفیل سال ۱۹ نیز بسیار بیشتر از سال ۱۸ است. به عبارت دیگر، در سال ۱۹ قسمت اعظمی از بارش به صورت رطوبت در داخل لایه‌های لندفیل باقی مانده است؛ اما در طی سال ۱۸، علاوه بر بارش بخشی هم از رطوبت موجود در لایه‌های لندفیل به صورت شیرابه از آن خارج شده است. به بیان ریاضی، در طی سال ۱۸، رطوبت داخل لندفیل $45/29 \text{ mm}$ کاهش یافته؛ اما در سال ۱۹ مقدار این رطوبت $122/17 \text{ mm}$ افزایش پیدا کرده است. به همین دلیل شیرابه نشت یافته از لندفیل به داخل خاک در طی سال ۱۹ کمتر از سال ۱۸ است.

با توجه به مطالب ذکر شده، انتظار می‌رود بارش هر سال در طی سال‌های آتی بر رطوبت لایه‌ها و شیرابه‌زایی اثرگذار باشد. لذا برای نمایش بهتر نتایج و بررسی اثر بارش بر شیرابه‌زایی، نمودار مابین بارش متوسط ۵ ساله و شیرابه‌زایی متوسط ۵ ساله برای هر چهار سناریو، در شکل ۴ رسم شد.



شکل ۴- رابطه میان بارش و میزان شیرابه نشت یافته از کف لندفیل (محل دفن زباله) (متوسط ۵ ساله)

۴- نتیجه‌گیری

یکی از ملزومات جمع‌آوری و تصفیه شیرابه در مراکز دفن، تخمین میزان شیرابه تولیدی است؛ لذا در مطالعه حاضر با کمک نرم‌افزار HELP میزان شیرابه‌زایی در لایه‌های زهکشی و کف مدفن در زمان‌های بهره‌برداری و پس از آن برآورد شد. در ادامه، چهار سناریو برای بررسی تأثیرات شرایط بهره‌برداری بر شیرابه‌زایی تعریف شد. طبق محاسبات، عدم توجه به شرایط بهره‌برداری در

شده است. بنابراین، تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل ناشی از شرایط بهره‌برداری باعث ایجاد پیک در شیرابه‌زایی برای سال اول در سناریوی دوم شده است. اما در سناریوی سه و چهار، تغییرات رطوبت لایه‌ها در سال اول مثبت است که نشان‌دهنده جذب بارش توسط لایه‌های داخل لندفیل است که به همین دلیل شیرابه‌زایی نیز بسیار کم است. اما در ادامه، پس از سال اول به مرور شرایط رطوبتی لایه‌ها به دلیل شرایط هیدرولوژیکی مشابه، به هم نزدیک شده است که به دنبال آن روند شیرابه‌زایی در چهار سناریو نیز به هم نزدیک و یکسان شده است.

مطابق شکل‌های ۲ و ۳، میان بارش و شیرابه‌زایی براساس تغییرات رطوبت لایه‌های خاک رابطه منطقی دیده می‌شود. به عنوان نمونه در همه سناریوها، در سال ۸ بارش نسبت به سال ۷ کمتر است؛ با این وجود در این سال میزان نشت شیرابه از کف لندفیل بیشتر از سال ۷ است. در مقابل رطوبت لایه‌های لندفیل در طی سال ۷ افزایش یافته و در طی سال ۸ کمتر شده است. در واقع در طی سال ۷ بخش قابل توجهی از بارش ورودی در لایه‌های مدفن به صورت رطوبت ذخیره شده است؛ اما در سال ۸ به دلیل اشباع شدن وضعیت رطوبتی لایه‌ها، رطوبت ذخیره شده و بخشی

مطابق نمودارهای قبل، تأثیر شرایط بهره‌برداری با توجه به شدت بارش تا زمان‌های متفاوتی، لندفیل را درگیر خود می‌کند. به عنوان نمونه، در سناریوی دوم این زمان تا ۵ سال ابتدایی پس از بستن لندفیل ادامه خواهد داشت و پس از آن شرایط شیرابه‌زایی با سناریوی یک، یکسان خواهد بود. اما نکته قابل توجه تطابق روند بارش متوسط در طی ۵ سال با میانگین شیرابه‌زایی از کف لندفیل برای هر چهار سناریو در مدت زمان مشابه است که به اثبات فرضیه تأثیر بارش در بلندمدت کمک می‌کند.

روش پمپاژ و تصفیه در پالایش آبخوان‌های آلوده"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳(۴)، ۳۳-۴۸.

عابدی کوپایی، ج.، و نصیرزاده، ح.، (۱۳۸۳)، "برآورد پتانسیل آلاینده‌گی لندفیل اصفهان با استفاده از مدل HELP"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

فهام، م.، اکبری، ز.، فوادی، ح.، و حاجی بابایی، م.، (۱۳۹۶)، "نرم‌افزارهای کاربردی در تخمین شیرابه تولیدی در مدفن زباله"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران.

قنبرزاده لک، م.، امیری، ا.، و مرادی کیا، س.، (۱۳۹۳)، شیرابه مراکز دفن پسماند، تولید، کنترل و تصفیه، ترجمه، انتشارات دانشگاه ارومیه، ارومیه.

معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه ارومیه، (۱۳۹۶)، طرح تحقیقات پژوهش و مطالعاتی توسعه سناریوی قابل اجرای مدیریت پسماندهای شهری تولیدی در شهرهای سرو، سیلوانا، قوشچی و نوشین شهر و ارائه الگوی مناسب مدیریت زایدات تولیدی در روستاهای تابعه، دانشگاه ارومیه، ارومیه.

موسوی بایگی، م.، اشرف، ب.، و میان‌آبادی، آ.، (۱۳۸۹)، "بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به‌منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک"، نشریه آب و خاک، ۲۴(۴)، ۸۳۶-۸۴۴.

یارمرادی، ز.، خداداد، م.، نصیری، ب.، و کرمپور، م.، (۱۳۹۸)، "مکان‌یابی عرصه‌های مناسب آب‌های زیرزمینی نیازمند به تغذیه مصنوعی با مدل فازی (با تأکید بر استان لرستان)"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۲(۴)، ۴۷-۵۷.

Abunama, T., Othman, F., Alslaibi T., and Abualqumboz, M., (2017), "Quantifying the generated and percolated leachate through a landfill's lining system in Gaza Strip, Palestine". *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(6), 2455-2461.

Alslaibi, T.M., Abustan, I., Mogheir, Y.K., and Afifi, S., (2013), "Quantification of leachate discharged to groundwater using the water balance method and the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model", *Waste Management & Research*, 31(1), 50-59.

Berger, K.U., (2015), "On the current state of the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model", *Waste Management*, 38(1), 201-209.

Fatta, D., Papadopoulos, A., and Loizidou, M., (1999), "A study on the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area", *Environmental Geochemistry and Health*, 21(2), 175-190.

Frikha, Y., Fellner, J., and Zairi, M., (2017), "Leachate generation from landfill in a semi-arid climate: A qualitative and quantitative study from Sousse,

محاسبه شیرابه در بدترین شرایط بارش (بیشترین بارش)، باعث نادیده گرفتن میزان ۲۶،۲۰۶ مترمکعب از حجم شیرابه زهکشی و ۲۴/۸۵ مترمکعب از حجم شیرابه نفوذی به خاک در طی ۳ سال بهره‌برداری و میزان ۳،۰۹۴ مترمکعب از حجم شیرابه زهکشی و ۵/۴۶ مترمکعب از حجم شیرابه نفوذی به خاک در طی ۳۰ سال پس از بستن لندفیل خواهد شد. بنابراین باید تمهیدات لازم برای مدیریت زمان بهره‌برداری لندفیل از نظر شیرابه‌زایی اندیشیده شود؛ زیرا عدم توجه به آن باعث افزایش احتمال آلودگی خاک و سفره آب زیرزمینی خواهد شد.

در ادامه، برای بررسی تأثیر بارش به عنوان مهم‌ترین پارامتر بر شیرابه‌زایی، تحلیل‌هایی انجام گرفت. طبق خروجی‌ها، تأثیرات بارش بر رطوبت لایه‌ها و شیرابه‌زایی با توجه به مقدار آن، از ۵ تا ۱۳ سال پس از بستن لندفیل ادامه خواهد داشت. بنابراین، اثر بارش بر شیرابه‌زایی کوتاه‌مدت نیست و تا زمانی ادامه می‌یابد که باعث اشباع شدن لایه‌های لندفیل از نظر ظرفیت نگهداشت رطوبت شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Water Balance Method (WBM)
- 2- Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model
- 3- Landfill

۶- مراجع

حاجیان، ع.، فهیمی، ف. غ. ر.، و حائری پور، س.، (۱۳۹۱)، "ارائه راه‌کارهای مدیریتی کنترل شیرابه محل دفن زباله شهرستان اسفراین"، سومین همایش بیوانرژی ایران (بیوماس و بیوگاز)، تهران.

ذوقی، م. ج.، و قویدل، آ.، (۱۳۸۹)، "کاربرد مدل HELP در تخمین میزان شیرابه تولیدی در دفن‌گاه زباله، مطالعه موردی: محل دفن سمنان"، *مجله سلامت و محیط*، ۱(۴)، ۶۵-۷۶.

سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۹۸)، "داده‌های سینوپتیک رایگان"، <http://www.irimo.ir/>

صبور، م. ر.، قنبرزاده لک، م.، و قربان، ا.، (۱۳۹۰)، مدیریت پسماند و بازیافت منابع، ترجمه، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

طباطبایی، م.، و اکبرپور، ا.، (۱۳۹۷)، "مروری بر تجارب جهانی

۴. برنامه DOS Box 0.74 را دانلود کنید؛

۵. وارد برنامه DOS Box شده و در خط دستوری آن، موارد زیر را وارد کنید:

```
Z:\> mount C C:\
Z:\> C:\
C:\> mount zhlp3p zhlp3p\
C:\> CD zhlp3p
C:\> zhlp3p > install
```

۶. سپس؛ مراحل نصب را طی کنید. در پایان نصب، خط دستوری به صورت پیش‌فرض در وضعیت زیر قرار خواهد گرفت:

```
C:\> help3
در این مرحله، برای اجرای نرم افزار HELP در ادامه خط دستوری بالا، فرمان help3 را تایپ کنید و با زدن دکمه Enter، برنامه را اجرا نمایید:
```

```
C:\> help3 > help3
```

۷-۲- اجرای نرم‌افزار HELP پس از نصب

بعد از اتمام مراحل نصب و پس از خروج از برنامه DOS Box، وقتی کاربر بخواهد دوباره برنامه HELP را اجرا کند، باید مراحل زیر را طی کند:

ابتدا برنامه DOS Box را اجرا نموده، سپس در خط دستوری موارد زیر را تایپ کنید:

```
Z:\> mount C C:\
Z:\> C:\
C:\> CD help3
C:\> help3 > help3
```



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

Tunisia", *Waste Management & Research*, 35(9), 940-48.

Jang, Y.S., Kim, Y.W., and Lee, S.I., (2002), "Hydraulic properties and leachate level analysis of Kimpo metropolitan landfill, Korea", *Waste Management*, 22(3), 261-267.

Jemec, A., Tišler, T., and Žgajnar-Gotvaj, A., (2012), "Assessment of landfill leachate toxicity reduction after biological treatment", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 62(2), 210-221.

Nakhaei, M., Amiri, V., Rezaei, K., and Moosaei, F., (2015), "An investigation of the potential environmental contamination from the leachate of the Rasht waste disposal site in Iran", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 233-246.

Niessen, W.R., (2002), *Combustion and incineration processes (environmental science and pollution control series)*, Marcel Dekker Inc, New York.

Schroeder P.R., Aziz, N.M., Lloyd, C.M., and Zappi, P.A., (1994). *The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model: User's guide for version 3 (p. 233)*, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Shroff, V.S., (1999), "An investigation of leachate production from MSW landfills in semi-arid climates", M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada.

Tatsi, A.A., and Zouboulis, A.I., (2002), "A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece)", *Advances in Environmental Research*, 6(3), 207-219.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S., (1993). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management Issues*, McGraw-Hill, New York.

Yalcin, F., and Demirer, G., (2002), "Performance evaluation of landfills with the HELP (hydrologic evaluation of landfill performance) model: Izmit case study", *Environmental Geology*, 42(7), 793-799.

۷- پیوست

۷-۱- راهنمای نصب و استفاده از برنامه HELP در

نسخه‌های ۶۴ بیتی و بالاتر از ویندوز ۷

۱. ابتدا برنامه HELP را از سایت USEPA و از طریق لینک زیر دانلود نمایید:

<https://www.epa.gov/land-research/hydrologic-evaluation-landfill-performance-help-model>

۲. فایل دانلود شده با فرمت zip است؛ لذا آن را Extract کنید تا فایل zhlp.exe به‌وجود آید؛

۳. فایل مذکور را نیز دوباره در یکی از درایوها نظیر درایو C، Extract کنید تا پوشه zhlp3p به‌وجود آید؛



جناب آقای دکتر علی ترابیان

استاد بازنشسته دانشگاه تهران

و پیشکسوت برگزیده سال ۱۳۹۸

می‌شد بررسی و گزارش جامع تهیه و پیشنهاداتی اجرایی ارائه شد که مورد تقدیر مسئولین وقت قرار گرفت. موضوع تری‌هالومتان‌ها را در شهر تهران و رودخانه‌های چند استان برای اولین بار در کشور بررسی نمودم که نتایج آن در آن زمان چاپ شد. اولین طرح تجارت آلودگی را با سازمان محیط‌زیست اجرا کردم که بعد از آن طرح راجع به این موضوع پژوهش‌های زیادی صورت گرفت. بازنگری و تدوین استاندارد مانند استاندارد آب برای استفاده در صنعت، بازنگری استاندارد ۱۰۵۳ و هم‌چنین تعیین شاخص کیفی آب ایران (IWQI) تدوین استاندارد برای صنایع فولاد از فعالیت دیگر من در آب و فاضلاب است. به‌طور کلی سعی من این بود که موضوعاتی که در دنیا مطرح است در ایران با توجه به شرایط محلی و امکانات، بررسی شود.

کارهای پایلوتی زیاد در زمینه تصفیه فاضلاب فرایندهایی مانند MBR, MBBR, SBR، نانوفیلتراسیون و استفاده از نانوذرات اصلاح شده برای تصفیه آب و فاضلاب و پیدا کردن مبانی طراحی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت، در زمانی که این فرایندها در کشور زیاد مطرح نبودند. غیر از فعالیت دانشگاهی، اینجانب در طراحی و اجرا تصفیه‌خانه‌های صنعتی صنایع مختلف فعالیت داشتم.

* مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در حوزه آب و فاضلاب در کشور را به‌خصوص در زمینه کیفیت و تصفیه آب چه می‌دانید؟

- در تصفیه آب ما تصفیه متداول را در اکثر شهرهای کشور داریم که این تصفیه قادر به حذف آلاینده‌های نوظهور که امروز مطرح هستند مانند آفت‌کش‌ها، سورفکتانت‌ها، هورمون‌ها و مواد دارویی و ... نیستند حذف باتوزن‌ها به‌علت تغییر کیفیت آب خام یکی دیگر از چالش‌های تصفیه متداول است. به‌طور کلی ما بیشتر به کیفیت فیزیکی و میکروبی توجه داریم. البته استاندارد در این زمینه وجود دارد، ولی ما با توجه به مشکلات و امکانات خودمان خیلی از پارامترها را با اندازه‌گیری نمی‌کنیم و بعضی‌ها مانند TDS تغییر داده‌ایم. حضور جلبک‌ها به‌علت برداشت آب خام از سدها و پیش کلرزنی یکی دیگر از مشکلاتی است که با آن روبرو هستیم، چون در اینجا ما ناخواسته تولید سم می‌کنیم.

در مورد کیفیت آب نیاز است استاندارد آب شرب هم در زمینه شیمیایی و میکروبی بازنگری شده و سعی شود مطالعات ارزیابی ریسک در کشور صورت و استانداردها براساس مطالعات داخلی به‌روز شود. لازم است شاخص‌های میکروبی ارتقا یابند که بتوانیم حضور ویروس‌ها را در آب تشخیص دهیم. در زمینه اجرایی لازم است پیش کلرزنی که سبب ایجاد تری‌هالومتان‌ها می‌شود در تصفیه‌خانه‌های آب با روش‌های دیگر تغییر یابد.

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

- اینجانب لیسانس شیمی کاربردی خود را از مدرسه عالی پارسی، فوق لیسانس و دکترا را از دانشکده عمران دانشگاه ایالتی اکلاهما در رشته مهندسی عمران، گرایش مهندسی محیط‌زیست اخذ نمودم. بعد از دریافت دکترا در سازمان محیط‌زیست در مریلند آمریکا به‌عنوان کارشناس ارشد صدور مجوزهای NPDES مشغول به‌کار شدم. در سال ۱۳۶۹ به‌عنوان عضو هیات علمی در موسسه مطالعات محیط‌زیست دانشگاه تهران استخدام شدم. موسسه مطالعات محیط‌زیست با مشارکت دانشکده فنی و تلاش اینجانب و همکاران به دانشکده محیط‌زیست تغییر یافت. من در دانشکده محیط‌زیست مسئولیت‌های مدیریت آزمایشگاه‌ها، معاونت پژوهشی، نماینده دانشکده در هیئت ممیزه، نماینده اعضای هیئت علمی در شورای دانشکده و سردبیر مجله محیط‌شناسی را برعهده داشتم. من در دانشکده درس گرایش آب و فاضلاب مانند طراحی تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، تصفیه آب صنعتی و فرایندهای شیمی فیزیکی بیولوژیکی را سال‌ها تدریس نموده و سعی کردم تجارب فعالیت‌های اجرایی که در خارج از دانشگاه داشتم را به دانشجویان منتقل کنم. مجری طرح‌های پژوهشی زیادی در دانشکده بوده و راهنمایی پایان‌نامه دکترا و کارشناسی ارشد دانشجویان را برعهده داشتم و مقالات زیادی در مجله‌های داخلی و خارجی از فعالیت‌های ذکر شده چاپ نموده‌ام.

* لطفاً گزارشی از فعالیت‌های خود در زمینه آب و فاضلاب را بیان فرمایید.

- کار پژوهشی من در ایران با طرح جامع آلودگی‌های محیط‌زیست شهر تهران که یک طرح در موسسه مطالعاتی محیط‌زیست بود شروع شد. در این طرح اثرات آلودگی‌های فلزات سنگین در اراضی جنوب تهران که با فاضلاب تصفیه‌شده آبیاری

ارتباط جمعی توسعه یابد.

* چگونه می‌توان به کاربردی شدن نتایج تحقیقات دانشگاه‌ها کمک کرد؟

- به‌نظر لازم است ارتباط دانشگاه‌ها با صنعت و بازار آب نزدیک‌تر شود. پایان‌نامه‌های دانشجویی در این زمینه خیلی می‌تواند موثر باشد. باید پایان‌نامه طوری باشد که دانشجو بعد از اتمام آن مهارتی پیدا کند که موضوع را تجاری و تبدیل به کالا با خدمات قابل فروش نماید. خروجی تحقیقات دانشگاهی باید به مشکلات صنعت کمک نماید.

* با توجه به سوابق کاری خود، وضعیت پژوهش در بخشهای تحقیقاتی تابعه وزارت نیرو از جمله شرکت‌های آب و فاضلاب را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ برای رفع ضعف‌ها و خلاءهای موجود در این زمینه چه اقداماتی باید انجام شود؟

- من با بخش تحقیقات شرکت آب و فاضلاب همکاری زیادی نداشتم. سابقاً از پایان‌نامه‌های دانشجویی حمایت می‌کردند. ولی اگر شرکت‌ها بتوانند مشکلات که در زمینه‌های تصفیه و شبکه‌های توزیع و سایر بخش‌ها دارند، اعلام و تقاضای پروپوزال نمایند، می‌تواند برای طرفین ذی‌نفع مناسب باشد، به‌شرطی که موضوع جدی گرفته‌شود. یعنی بعد از انتخاب پروپوزال حمایت مالی و شروع پروژه پیگیری شود، به‌عبارتی کار جدی گرفته شود. بعضی وقت‌ها زمانی که پروپوزال تصویب می‌شود دانشجو فارغ‌التحصیل شده است.

* به‌نظر شما دستگاه‌های اجرایی از جمله شرکت‌های آب و فاضلاب چه ارتباط ارگانیک با دانشگاه داشته‌اند؟ چه‌قدر توانسته‌اند برای دانشگاه مسئله تعریف کنند و چه‌قدر از تحقیقات دانشگاهی را برای رفع مشکلات خود به‌کارگرفته‌اند؟ چه‌قدر این شرکت‌ها توانسته‌اند داده‌های مورد نیاز طرح‌های تحقیقاتی دانشگاهی را تامین کنند؟

- به‌نظر من ارتباط دستگاه‌های اجرایی و شرکت‌های آب و فاضلاب با دانشگاه‌ها زیاد مطلوب نبوده در بعضی مواقع با اعضای خاص دانشگاه‌ها و یا برای برطرف کردن نیازهای پژوهشی کارشناسان از دستگاه اجرایی که در دانشگاه‌ها پژوهشی داشته‌اند بوده است. لازم است این ارتباط گسترده شده و به دانشگاه اطمینان پیدا کنند و مسایل و مشکلات خود را به‌طور عموم تعریف و تقاضای طرح نمایند. من از به‌کارگرفتن تحقیقات

سنجش مواد آلی در تصفیه‌خانه‌ها و اصولاً دو لایه کردن فیلترها و کاهش هدررفت آب و همچنین استفاده از ابزار دقیق برای کاهش خطاهای انسانی و پایش دقیق‌تر کیفیت باید در دستور کار قرارگیرد.

* تا چه حد تحقیقات و انتشارات جنابعالی از جمله استانداردهای تهیه شده توانسته است خلاءهای موجود در حوزه آب و فاضلاب را پر کند.

- فاصله زیادی بین تحقیقات و پژوهش‌های دانشگاهی و صنعت آب در جامعه ما وجود دارد. بیشتر تحقیقات ما برای انتشار مقاله در نشریات خارجی است، چون به‌رحال می‌خواهیم در توسعه علم سهمی داشته باشیم و ضمناً مشکلات صنفی اعضای هیئت علمی هم حل کنیم. ما روی موضوعاتی مثل استفاده از نانوذرات اصلاح‌شده که هنوز به تولید انبوه نرسیده‌اند و ضمناً مشکلات محیط‌زیستی و بهداشتی آن‌ها مشخص نشده کار می‌کنیم، در صورتی که مشکلات شرکت‌ها و صنایع در حوزه‌های دیگری است. لازم است پژوهش‌ها با نیازهای واقعی صنعت آب هماهنگ شود. در حال حاضر که به‌علت کمبود آب صنایع ناچارند از پساب تصفیه شده به‌عنوان آب خام استفاده نمایند. این موضوع هزینه‌های زیادی را به صنعت و نهایتاً به تولیدات داخل تحمیل می‌نماید، چون اکثر صنایع برای استفاده آب در فرآیند نیاز به آبی با TDS کم دارد و لازم است از فرآیندهای غشایی استفاده نماید. به‌کارگیری پساب تصفیه‌شده به‌جای آب خام نیاز به پیش‌تصفیه پر هزینه دارد که اگر این پیش‌تصفیه صورت نگیرد هزینه‌های بهره‌برداری سیستم‌های RO به‌علت گرفتگی افزایش می‌یابد. لذا لازم است تحقیقاتی برای پیدا کردن روش‌های پیش‌تصفیه مقرون به‌صرفه در کشور صورت گیرد یا کیفیت پساب‌ها با بهینه‌سازی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارتقا یابد. یکی از کارهایی که باید صورت گیرد بازنگری استاندارد پساب‌ها و ارتقای شاخص‌های میکروبی آب شرب است. استاندارد تهیه‌شده توسط این‌جانب در بخش انتخاب آب برای صنعت و همچنین شاخص IWQI می‌تواند تا حدی مشکلات را حل کند و در مورد آب شرب و پساب تصفیه‌شده لازم است بازنگری مجدد صورت گیرد.

* برای اطمینان یافتن مردم از ایمنی و کیفیت آب چه اقداماتی باید انجام شود؟

- به‌نظر اعتمادسازی و آموزش مردم نقش مهمی در این زمینه دارد. باید قبول کرد که کیفیت آب در حوزه آبریز و منبع آب باید مورد بررسی قرارگیرد. هزینه جداسازی تمام آلاینده‌ها در تصفیه بسیار زیاد می‌باشد. باید آموزش‌های عمومی در مدارس و وسایل

دانشگاهی در شرکت‌های آب و فاضلاب اطلاع کاملی ندارم.

*** نقش و جایگاه انجمن آب و فاضلاب ایران را در توسعه و رشد علوم و صنعت آب و فاضلاب کشور در چه حد می‌دانید؟**

- نقش انجمن آب و فاضلاب در توسعه و رشد علوم را خوب ارزیابی می‌کنم. انجمن در زمینه‌های مختلف مانند برگزاری کنفرانس‌ها، به‌کارگیری کارگروه‌های تخصصی برای ارتقای کیفیت و اطلاع‌رسانی به اعضا بسیار خوب عمل کرده و جا دارد از زحمات همکار محترم آقای دکتر تابش قدردانی کنیم. با توجه به ارتباطی که بین انجمن و شرکت‌ها به‌وجود آمده انجمن می‌تواند برای خیلی از بخش‌های فنی آب و فاضلاب مبانی و پیشنهادات اجرایی ارائه دهد. این مبانی می‌تواند بر طرف‌های ذی‌نفع مانند شرکت‌های آب و فاضلاب، وزارت بهداشت و موسسه استاندارد در تدوین استانداردها کمک کند، چون انجمن یک جمع علمی و چند نفره دارد که با تعامل با کارشناسان شرکت‌ها نتیجه کار قابل اجرا خواهد بود و مشکلی را برای دستگاه اجرایی ایجاد نمی‌کند. مثلاً اگر عضو علمی دانشگاهی خواسته باشد استاندارد تهیه کند سعی می‌کند بهترین و علمی‌ترین را انتخاب نماید، ولی چون اطلاع از مشکلات و امکانات اجرایی ندارد عملاً استاندارد تهیه شده کاربردی نداشته و بیشتر جنبه نمایش دارد.

*** با توجه به این‌که جنابعالی عضو هیئت تحریریه این نشریه علمی (که وابسته به انجمن آب و فاضلاب ایران است) هستید نظر خود را در رابطه با این نشریه بیان کنید. آیا این نشریه توانسته است به رسالت خود برای ارتباط متقابل بین دانشگاه و صنعت دست یابد؟**

- نشریه انجمن مقالات خوبی را چاپ می‌کند و به‌نظر من رسالتش را در رابطه با ارتباط بین صنعت و دانشگاه به‌خوبی انجام داده است. بهتر است در شناساندن مجله به جامعه دانشگاهی کار زیادتری صورت گیرد و باتوجه به سابقه این مجله دارد ارزیابی آن از نظر این‌جانب خوب است.

*** با توجه به حضور در همایش‌های انجمن در سال‌های گذشته لطفاً نظرتان را در مورد نقاط ضعف و قوت این همایش‌ها بیان فرمایید.**

- من در دو همایش انجمن حضور داشته و مقاله ارائه داده‌ام. به‌نظر من باید بیشتر روی مقالات کاربردی و اجرایی تاکید شود و زمان برگزاری هم طولانی نباشد.

*** از آن‌جا که جنابعالی در همایش سال ۱۳۹۸ انجمن**

به‌عنوان پیشکسوت نمونه برگزیده مورد تقدیر قرار گرفتید، لطفاً تاثیر این‌گونه برنامه‌های انجمن در تقدیر از پیشکسوتان، پایان‌نامه‌های برتر، مقالات برتر و غیره را بیان فرمایید.

- من فکر می‌کنم تقدیر پیشکسوتان یک کار خوب و پسندیده‌ای است. انتخاب مقاله و پایان‌نامه برتر سبب تشویق دانشجویان می‌شود و این کار یکی از نقاط قوت همایش‌های انجمن است.

*** با توجه به توان علمی و تشکیلاتی انجمن چه توصیه‌ای برای جامعه دانشگاهی و صنعت آب و فاضلاب برای بهره‌گیری از توان انجمن را دارید.**

- شرکت‌های آب و فاضلاب طرح‌های زیادی دارند که در تصویب و مسائل فنی آن‌ها می‌توانند از مشاوره انجمن استفاده نمایند. انجمن می‌تواند نشریه‌هایی را برای بهره‌برداران تصفیه‌خانه تهیه یا به‌روزرسانی کند. آموزش و ارتقای مهارت‌های شرکت‌ها می‌تواند به‌خوبی توسط انجمن صورت گیرد. انجمن می‌تواند در زمینه‌های فنی، اجرایی، اجتماعی و اقتصادی به شرکت‌ها و دستگاه‌های اجرایی کمک کند. انجمن با توجه به رابطه ارگانیک که با دستگاه‌های اجرایی پیدا می‌کند می‌تواند در جامعه دانشگاهی به کاربردی شدن پژوهش‌ها و موضوعات پایان‌نامه‌های دانشجویی کمک کند.

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

- کارهایی که انجمن شروع کرده بسیار خوب و تاثیرگذار است. به‌نظر من لازم است انجمن کارهای تبلیغی برای شناساندن خود در سطح داخل و خارج را افزایش دهد و اگر بتواند علاوه بر شرکت‌ها با سایر دستگاه‌های اجرایی هم ارتباط برقرار کند، می‌تواند در تاثیرگذاری در جامعه به‌عنوان یک انجمن علمی و مردمی موثر باشد. باید تا آن‌جا که ممکن است کارشناسان شرکت‌ها در انجمن عضو و فعالیت نمایند.

*** اگر موردی ناگفته مانده است لطفاً بیان فرمائید.**

- در خاتمه از همه دست اندرکاران انجمن که زحمات زیادی را برای تشکیل انجمن و نشریه آن و برنامه‌ریزی‌های مداوم برای پیشرفت و اعتلای آن انجام می‌دهند تشکر می‌کنم. امیدوارم فعالیت‌های انجمن در کشور و منطقه گسترش یابد و بتواند در یکی از چالش‌های مهم کشور یعنی مدیریت و برنامه‌ریزی آب نقش مهمی ایفا نماید.



نشست تخصصی استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری
(دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت، ۱۹-۲۱ آذرماه ۱۳۹۸، دانشگاه تهران)



اعضای میزگرد:

- دکتر عباس اکبرزاده (عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات آب، رئیس مرکز تحقیقات آب و فاضلاب وزارت نیرو و مدیر جلسه)
مهندس کاوه جمالی (مهندسین مشاور راهدان سما)
مهندس علی اصغر جهانی (شرکت مدیریت منابع آب)
دکتر بنفشه زهرایی (دانشیار دانشگاه تهران و مدیر دفتر مدیریت مصرف آب و آبفا وزارت نیرو)
دکتر محمدحسین صراف‌زاده (دانشیار دانشگاه تهران و رئیس کرسی یونسکو در بازیافت آب)
مهندس احمدرضا طاهری اصل (رئیس کمیسیون انرژی، استاندارد مصالح و محیط‌زیست سازمان مهندسی کشور)

را برایش تصویب کرد که حالا به آن می‌پردازیم. مطالبی را که خدمت شما ارائه می‌کنم در ۵ بخش است که مبانی و ضرورت‌ها، قوانین و مقررات، مسائل اقتصادی، نگاه به وضعیت جهان (به‌خصوص روی این کمی بیشتر تأکید می‌کنم) و بعد راجع به پیشنهادات صحبت خواهیم کرد. تعاریف مختلفی از آب خاکستری شده است که در جلسه اول، ما در حوزه تعریف هم با هم‌دیگر یک مقداری اختلاف سلیقه داشتیم. ما یک تعریفی اینجا گذاشتیم. مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان، در واقع تعریفی را برای آب خاکستری دارد که فعلاً بر این اساس، بحث را جلو می‌بریم که آب‌های خروجی از وان و زیردوش و دستشویی و ماشین رختشویی و ماشین لباسشویی را شامل این قضیه دانسته است. موضوع دیگری که مهم و حائز اهمیت است، این است که ما راجع به چه چیزی صحبت می‌کنیم. یعنی چند درصد از آبی که در منازل استفاده می‌شود به آن آب خاکستری اطلاق می‌کنیم که حدود ۷۰ درصد است. ملاحظه می‌فرمایید که مرجع مطالب، آن پایین است که سرویس‌های بهداشتی، لباسشویی‌ها و آشپزخانه‌ها، استحمام و روشویی بخش‌های اصلی هستند که آبی که در منزل استفاده می‌شود، در واقع در این بخش‌ها مصرف می‌شود و آب خاکستری حدوداً ۷۰ درصد آن را شامل می‌شود. طبیعی است که مزایای استفاده از آب خاکستری، کاملاً قابل لمس



دکتر اکبرزاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام دارم خدمت همه عزیزان حضار. موضوعی که امروز قرار است خدمت شما ارائه شود، در ارتباط با بازچرخانی و استفاده مجدد از آب خاکستری در محیط‌های شهری است. یک‌بار در دانشگاه، چنین همایشی برگزار شد و خیلی مورد استقبال و توجه حضار قرار گرفت. بحث‌های بسیار چالشی وجود داشت. بحثی که امروز خدمت شما ارائه می‌شود، به دنبال همان بحث است و از فرمایشات دوستان که در جلسه اول بود هم استفاده شده است. ارائه‌ای که الان خدمت شما دارم در واقع بیشتر به این دلیل است که برای ابعاد مختلف موضوع به لحاظ قانونی و به لحاظ اقتصادی و سایر جنبه‌های بهداشتی، محیط‌زیستی، یک warm up فکری داشته باشیم و بعد از آن به صورت کارگاهی قابل دنبال کردن است.

موضوع بازچرخانی و استفاده مجدد از آب خاکستری در محیط‌های شهری موضوعی است که از سال ۱۳۹۴ مجلس قانونی

است. کاهش میزان برداشت آب از رودخانه‌ها، کاهش مصرف انرژی، کاهش نیاز به احداث تصفیه‌خانه‌های متمرکز و همین‌طور شارژ آب‌های زیرزمینی و احیای مواد مغذی است. اما اگر قرار باشد این کار را انجام دهیم، الزاماتی دارد که این الزامات در منابع مختلف هم به‌صورت استاندارد و هم به‌صورت دستورالعمل نوشته شده است. تعدادی از این موارد مهم را الان خدمت شما عرض می‌کنم که در همه کشورها به‌آن اشاره شده است: آب خاکستری نباید به‌صورت افشانه استفاده شود؛ نباید به‌مدت طولانی ذخیره شود و درجه حرارتش نباید موقع استفاده زیاد باشد. طبیعی است که بقیه الزامات آن هم وجود دارد که الان نمی‌خواهیم راجع به آن صحبت کنیم. انتهای عرایض هم می‌گوییم که ما بیشتر می‌خواهیم سمت و سوی بحث را به‌جایی ببریم که برای وزارت نیرو خوراک فکری برای تصمیم‌گیری داشته باشیم؛ چون نتیجه این همایش‌ها باید قابلیت اجرا هم داشته باشد. در ایران وضعیتمان چه‌طور است؟ ما قبلاً ۲۰۰ لیتر مصرف سرانه هر نفر در روز محاسبه کردیم، اعداد بزرگتر بود. در ارائه‌ای که خانم دکتر زهرایی در روز اول داشتند، ۱۵۰ لیتر را عنوان فرمودند و ما بر همان اساس، عدد ۳/۲ میلیارد مترمکعب آب خاکستری در محیط‌های شهری را به‌دست آوردیم که عدد قابل‌توجهی است. در سال ۳/۲ میلیارد مترمکعب آب خاکستری داریم. بنابراین این عدد، عددی است که ارزش این را دارد که برای برنامه‌ریزی‌اش فعالیت انجام شود.

جنبه‌های پیاده‌سازی سیستم بازچرخانی آب خاکستری در ساختمان‌ها مختلف است. یکی از مواردی که در کشورهای دیگر راجع به آن صحبت می‌کنند، بحث اقتصاد آن است. من اعتقادم این است که ما به‌لحاظ پایین‌بودن قیمت آب در ایران اصلاً در ارتباط با کم‌هزینه بودن یا اقتصادی بودن سیستم آب خاکستری نمی‌توانیم صحبت کنیم، بنابراین آن قسمت را در بحث خیلی کوچک کردیم. اما در قسمت‌های دیگر، این که سازمان نظام مهندسی باید در این خصوص چه‌کاری انجام دهد، از یکی از عزیزان که آقای دکتر دلفانی بودند تقاضا کردیم تشریف داشته باشند، که متأسفانه نتوانستند بیایند. یکی از اضلاع اصلی که می‌تواند نتیجه این پروژه را برای استفاده عموم به‌کار برد و آن را به جامعه بیاورد، نظام مهندسی ساختمان کشور است. توجه به انتخاب نوع فرآیند تصفیه براساس منبع و مصرف است، یعنی همان آب خاکستری که از حمام بیرون می‌آید، از قسمت دستشویی بیرون می‌آید، از روشویی بیرون می‌آید، با قسمت آشپزخانه کیفیتش متفاوت است و این که کجا می‌خواهیم آن را مصرف کنیم. مشکلات محیط‌زیستی هم وجود دارد که تا حدود

زیادی در جاهایی که استفاده شده است کنترل شده است؛ مثل گسترش بو، تجمع حشرات، تقریباً این‌ها دیگر حل شده است. سیستم نباید برای دیگران ایجاد مزاحمت کند و نکته دیگری که حتماً باید به آن توجه شود این است که وقتی آب خاکستری را از سیستم فاضلاب حذف می‌کنیم، بخش سیال فاضلاب را کاهش می‌دهیم و احتمالاً رسوب در شبکه‌های جمع‌آوری بالا می‌رود که این نکته‌ای است که باید به آن توجه کنیم. از حیث قوانین و مقررات موجود خدمت شما عرض کردم که در ۹۴/۱۲/۲۴ قانون توسعه و بهینه‌سازی آب شرب شهری و روستایی کشور مصوب شد که این قانون دولت را مکلف کرده است که حداکثر ظرف مدت سه ماه از تاریخ ابلاغ این قرارداد، استانداردهای آب غیرقابل شرب و هر شبکه تفکیکی را محاسبه نماید و بندهای مختلفی دارد که من الان نمی‌خواهم به بندها بپردازم. فقط در این حد بگویم که ما علاوه بر این که خودمان به‌لحاظ اجتماعی در نقطه‌ای قرار گرفتیم که محدودیت منابع آب و محدودیت بارش داریم، علاوه بر آن به‌لحاظ قوانین کشوری هم قوانینی است که اجباراً تصویب شده است و دستورالعمل اجرایی آن هنوز بیرون نیامده است که قاعداً باید این اتفاق هم بیفتد و تمام بندهای قانونی که من خدمت شما ارائه کردم، دولت و وزارت نیرو در قبال آن مکلف هستند. یعنی اختیاری باشد یا مثلاً شاید این کار را انجام دهد بهتر باشد، تبصره هم گذاشته است که طراحی ساخت شهرهای جدید منوط به فراهم‌سازی زیرساخت‌های لازم برای جداسازی آب شرب و آب بهداشت است. به‌رحال این قانونی است که در بررسی اسناد بالادستی حتماً به آن توجه می‌شود. اما چیزی که الان در حوزه اجرا داریم، پیوست ۹ مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان است که من این قسمت‌هایی که قرمز کرده‌ام و ملاحظه می‌فرمایید، از لغت "فقط ممکن است" استفاده شده است، یعنی شما مجازید که استفاده کنید یا نکنید و هیچ کدامشان اجباری نیست. ولی اگر استفاده کردید، بقیه لغت‌هایی که از آن استفاده می‌کنید "باید" است، یعنی اگر شما تصمیم گرفتید از آب خاکستری استفاده کنید، دیگر هیچ لغت "ممکن است" وجود ندارد، همه آن لغت‌هایی که به‌عنوان فعل استفاده شده، "باید" است. یعنی الزام دارید هنگامی که می‌خواهید ساختمان را بر این اساس توسعه دهید، این مواردی که در مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان است، رعایت کنید. می‌بینید که من این‌ها را قرمز کرده‌ام، "باید" اتصال سرریز داشته باشد، "باید" در پایین‌ترین قسمت باشد. آب "باید" لوله هواکش داشته باشد. پس از نظر فنی تمام آن موارد در مبحثی که عرض کردم وجود دارد. دو قسمت دیگری که الان ملاحظه می‌فرمایید این است که آب خاکستری

پیش از ورود به مخزن جمع‌آوری باید از فیلتر شنی رد شود و همین‌طور روش گندزدایی هم برایش در نظر گرفته شود و بقیه موارد که باید با رنگ دیگری نشان داده شوند که این‌ها هم در همان دستورالعمل است.

دو اسلاید هم در حوزه مسائل فنی اقتصادی فقط برای این است که در دنیا در این حوزه خیلی کار می‌کنند و بر این اساس که کدام‌یک از منابع تولید آب خاکستری را می‌خواهند مورد استفاده قرار دهند، مقایسه فنی اقتصادی روش‌های مختلف برایش وجود دارد که عرض کردم با توجه به پایین بودن تعرفه آب در ایران خیلی قابلیت توجیه ندارد. بنابراین راجع به این قسمت ما خیلی صحبتی نداریم.

اما این نکته‌ای که عرض کردم که مهم است و به ما کمی دید می‌دهد، نگاه به وضعیت جهانی است. آیین‌نامه آب خاکستری در آمریکا، ۲۰۱۱ در ایالت کالیفرنیا نوشته شد. آن ایالت‌هایی که آبی رنگ است، اجازه دارند که طبق همین آیین‌نامه آب خاکستری را استفاده کنند و آن ایالت‌هایی که به رنگ سفید هستند این اجازه را ندارند. در این آیین‌نامه هم اگر ملاحظه بفرمایید در بعضی از موارد "باید" استفاده شده است و بعضی از موارد، "می‌تواند" هستند که طبیعتاً اگر بخواهند از آن آیین‌نامه استفاده کنند، موارد اجرایی فنی، همه با "باید" است. بعضی از موارد که در آیین‌نامه CPC2007 است مثل آب ماشین لباسشویی، اجازه داده‌اند که بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای به‌صورت زیرسطحی و کاملاً بسته، برای آبیاری استفاده شوند؛ البته برای غیر مثمر. آیین‌نامه دیگری که خدمت شما ارائه می‌شود سال ۲۰۱۰ در استرالیا نوشته شده است که این آیین‌نامه الزامات مورد نیاز سیستم‌های آب خاکستری را برای سیستم‌های درجا در منازل مسکونی و مجتمع‌های مسکونی تا ظرفیت ۵۰۰ لیتر در روز ارائه کرده است و براساس آن که نوع سطحی یا نوع زیرسطحی باشد، استانداردهای مختلفی برای آن‌ها آمده است. عکس‌هایی که ملاحظه می‌فرمایید، پروژه‌هایی است که در استرالیا انجام شده است. کشور دیگری که این کار را انجام داده است کشور ژاپن است که مجموعه بزرگی داخل ژاپن است و ما پیدا کردیم که در واقع پارکی است و عدد و رقم‌های دبی و کیفیتش را ملاحظه می‌فرمایید. ظرفیت سیستم ۸۸۰ متر مکعب در روز است. ظرفیت ذخیره‌سازی آن ۱۰۰۰ متر مکعب است و فرآیندهای تصفیه‌ای که بر این اساس توسعه داده شده این است که از کجا تولید می‌شود، یعنی آب آشپزخانه، آشغالگیری، ته‌نشینی، فیلتر کربنی، کلرزنی و روشویی حمام، آشغالگیری بیوراکتور فیلتر کربنی که به منبع و مصرف هم توجه شده است.

نکته خیلی جالب، کشور اردن است که قبل از آمریکا و ژاپن و استرالیا این کار را انجام داده است. دقت بفرمایید پس مهم‌ترین چیزی که باعث می‌شود کشوری دنبال یک فناوری برود نیاز خودش است و طبیعتاً باید از تکنولوژی و کسانی که صاحب فناوری هستند استفاده کرد. ولی نیاز را عنایت بفرمایید که در کشور اردن در سال ۲۰۰۳ یک نمونه اجرا شده موفق دارند که وضوخانه مسجد ملک عبدالله شهر عمان است و نقطه سر به سر بازگشت این پروژه کلاً در سال اول بهره‌برداری کل هزینه‌هایش پرداخت شد و سیستم هنوز مشغول به کار است. به لحاظ اسلامی هم قبلاً در کشور ما بیشتر به این موضوع توجه می‌شد که آبی که برای این منظورها استفاده می‌شود به‌هرحال با آب‌های دیگری که به‌لحاظ مذهب ما، نجس حساب می‌شوند اختلاط پیدا نکند. کشور هند کشور دیگری است که این موضوع را پیگیر است. عدد و رقم را این‌جا داده‌اند، عدد و رقم را نمی‌خواهم بگویم ولی درصدش مهم است. افزایش هزینه در زمان اجرا برای کسانی که double plumbing را اجرا کرده‌اند سه درصد افزایش کل ساختمان است. یک نمونه داخلی کشور خودمان هم بود، که من اطلاعاتش را به وزارت نیرو دادم. آن‌هم در همین حد برآورد شده بود که شما اگر کلاً لوله‌کشی دوگانه انجام دهید، حدوداً زیر ۵ درصد ارزش ساختمان است؛ ولی صرفه‌جویی در مصرف آب حدوداً ۳۰ درصد است. این هم تصاویر آن است. حالا مواردی که خروجی‌های بحث سال گذشته بود و چند تا چیز دیگر که اضافه شده که در واقع خوراک این بحث امروزان خواهد بود این است که ما با سازمان نظام مهندسی چگونه باید تعامل داشته باشیم، تفاهم‌نامه یا روشی دیگر. دستورالعمل اجرایی که برای قانون جدید بهینه‌سازی مصرف آب شرب شهری الزام شده است طبیعتاً باید همه دوستانی که به‌صورت شخص حقیقی یا حقوقی هستند مشارکت کنند که خروجی آن به‌عنوان دستورالعمل اجرایی، کامل باشد.

موضوع بعدی اولویت‌بندی استفاده از آب خاکستری است. آیا حتماً باید در همه منازل، قدیمی، جدید، ساختمان‌ها، باشد؟ این‌طور که برمی‌آید به‌عنوان قدم اول (این‌ها پیشنهاد است و همه آن موضوعاتی است که می‌توانیم راجع به آن بحث کنیم) ادارات و سازمان‌ها می‌توانند اولویت اول باشند که شهرداری‌ها، دانشگاه‌ها، وزارت‌خانه‌ها و ارگان‌های دولتی می‌توانند در این حوزه پیش‌قدم و پیشگام باشند. موضوع بعدی تأمین مالی این قضیه است که منابع مختلفی ممکن است وجود داشته باشند و به ذهن عزیزان حضار رسیده باشند؛ ولی بودجه‌های دیگری مثل بودجه عمرانی هم وجود دارند که برای اعتبار مدیریت سبز است که

می‌شود از آن‌ها استفاده کرد و همین‌طور مشوق‌های کم‌بهره بانکی به مشترکینی که استفاده از سیستم آب خاکستری را در برنامه‌های خودشان گنجانده‌اند.

من تشکر می‌کنم، این موضوعاتی که خدمت شما ارائه کردم فقط برای این است که یک شمای کلی از آب خاکستری، یک مقداری هم‌فکری برای تعریفش و موارد استفاده آن و این‌که در جهان چه کاری می‌کنند و قوانینی را که ما الزاماً باید رعایت کنیم داشته باشیم. متشکرم و ادامه بحث را در خدمت شما هستیم.

من از دوستانی که در پنل حضور دارند خواهش می‌کنم که مطالب خودشان را بفرمایند، البته با رعایت زمان. اگر امکان دارد در حداقل زمان بحث و نظریات خودشان را بفرمایند و بعد در خدمت حضار باشیم که به‌صورت پرسش و پاسخ برنامه را پی بگیریم. آقای مهندس جمالی اگر لطف کنید از همان‌جا خودتان را هم معرفی بفرمایید، عذرخواهی می‌کنم.



مهندس جمالی:

سلام عرض می‌کنم خدمت عزیزانی که تشریف دارند. من جمالی هستم و مشاور مطالعات پیش‌اقتصادی گذاری بازیابی آب خاکستری در وزارت نیرو بودم. به‌دلایلی ترجیح می‌دادم آخرین نفر باشم، چون شاید نظرم با بیشتر کسانی که در پنل هستند کمی فرق می‌کند. مطالعه ما تقریباً سه سال طول کشید. به جرأت می‌توانم بگویم آن چیزی که بشر تا حالا به آن دست پیدا کرده است و به‌صورت مقاله، کتاب، آیین‌نامه یا از همین اقلام مستند کرده است، ما یک‌بار از جلد تا جلد مرور کردیم. پس مطلبی که عرض می‌کنم متکی به مراجع است. گزارشی هم که تدوین شده است به‌طور کامل در هرجایی که کلمه‌ای آوردیم همان‌جا مراجعش هم قید شده است.

چیزی که راجع به آب خاکستری باید عرض کنم این است که بسیار بسیار راهبرد پرجاذبه‌ای است. یعنی چه؟ یعنی این‌که هر کسی که در خانه دوش می‌گیرد اگر دغدغه مصرف بهینه آب یا حراست از منابع آب را داشته باشد احساس می‌کند که این آب برای آن‌که به فاضلاب اضافه شود یک مقدار بیش از حد تمیز است. متأسفانه همین نگاه خیلی وقتی‌ها برای تصمیم‌گیری نگاه غالب است. در حالی‌که ظرایف خیلی خیلی بیشتری راجع به این

موضوع وجود دارند. در دنیا آب خاکستری برای اجرا شدن همیشه از سه تا پیستون انرژی گرفته است: ۱- علاقه‌مندان به محیط‌زیست که از طیف متخصصین نبودند؛ ۲- ذی‌نفعان اقتصادی که تأمین‌کننده خدمات بازیابی آب خاکستری بودند و ۳- متخصصینی که تمرکزشان بر بحث‌های تصفیه بوده است و از نگاه تکنیکی به قضیه نگاه می‌کردند. در هیچ‌جای جهان (هیچ مطلق عرض می‌کنم) در هیچ‌جای جهان مطالعات راهبردی، آب خاکستری را به‌عنوان یک راهبرد قابل‌قبول در سید راه‌کارهای مدیریت جامع آب آشامیدنی تأیید نکردند. به‌چه دلیل؟ به‌دلیل این‌که من اگر بخواهم دو مورد از مهم‌ترین‌هایشان را عرض کنم، بحث اقتصاد است. شما وقتی راه‌کار اقتصادی‌تری دارید، سراغ راه‌کار گرانتر نمی‌روید. وقتی که این راه‌کارهای سبب اقدامات مدیریت جامعه آب آشامیدنی را کنار هم می‌گذاریم، بازیابی آب خاکستری دقیقاً ته صف قرار می‌گیرد. یعنی گران‌تر از خط‌های انتقال بسیار بسیار طولانی و خیلی گران‌تر از شیرین‌کردن آب دریا. باز این با جزییات داخل گزارش براساس داده‌های بومی و بر اساس مراجع بین‌المللی، براساس هر دوی این‌ها با جزییات کامل، عدد و رقم نشان داده شده است که هرکس می‌خواهد رد کند باز با عدد و رقم روی آن خط قرمز بکشد. پس این از بُعد اقتصادی است. ۲) از بُعد بهداشتی و محیط‌زیستی: از بُعد محیط‌زیستی نگرانی‌هایی وجود دارد ولی کم‌رنگند. تا به‌حال هیچ مطالعه‌ای اثرات منفی محیط‌زیستی را رد نکرده است، هیچ مطالعه‌ای هم اثرات محیط‌زیستی منفی را نتوانسته تأیید کند. اما از نظر بهداشتی، بسیار بسیار پرمخاطره است. در دنیا نیز چندجا از نظر بهداشتی تحلیل شده است، مثلاً در استرالیا، موقعی که می‌خواستند آیین‌نامه‌هایی را که به اجبار برای پاسخگویی به نیازهای آن سه پیستون محرک اجتماعی مورد نیاز بوده است تدوین کنند، برای تصمیم‌گیری راجع به اصطلاحاً تاپرینگ (راجع به این‌که مرز بین این‌که از این‌جا به بعد این شرایط، از این‌جا سخت‌گیری بیشتر، اینجا اصلاً ممنوع)، ارزیابی بهداشتی را انجام دادند و این ارزیابی‌های بهداشتی مستند شده و موجود است. ارزیابی‌های بهداشتی را هم که ما به‌صورت ریاضی انجام دادیم، شرایط را مدل کردیم، شکست‌های احتمالی سیستم، انواع سیستم‌هایی که در دسترس هستند، ورودی‌های آب خاکستری و شرایط بهداشتی آن، خروجی آن، نگهداری و غیره همه این‌ها با جزییات در مستندی که تدوین شده است وجود دارد. همه این‌ها نشان می‌دهند که بازیابی آب خاکستری به‌عنوان یک منبع آب قابل‌اعتماد با استانداردهای متعارف و پذیرفته‌شده جهانی، مثلاً WHO، از روی معیار دالی، براساس هیچ‌کدام از این‌ها شرایط

لازم را پاس نمی‌کند.

من این‌ها را خیلی خیلی خلاصه عرض کرده‌ام. بقیه چیزهایی که بگویم دیگر حرف همین‌جوری است. من این‌را گفتم، شما این‌را گفتید است. اصل موضوع و چارچوب حرف من همین است. راجع به این‌که در دنیا تجربه‌ها نشان می‌داند، آیا این یک رویه جهانی است؟ نگاه جهانی چه است؟ چقدر ضریب پوشش دارد؟ بیشترین ضریب پوشش در کشور آمریکا است که حدود ۷٪ است. در بقیه جاها به‌مراتب پایین‌تر و نادر است. خیلی وقت‌ها دوستان و عزیزان من می‌فرمایند که مثلاً در ژاپن الان این کار را می‌کنند و شنونده ممکن است که احساس کند، واقعاً قصد و غرضی در نحوه بیان نیست؛ ولی شنونده ممکن است احساس کند که در ژاپن این‌را به‌عنوان یک رویه انجام می‌دهند. اصلاً این‌طور نیست. این‌ها همه به‌صورت موردی است. در آلمان این کار را می‌کنند، به‌صورت موردی است. در اردن این کار را می‌کنند، استرالیا و خیلی جاهای دیگر با همه جزئیات در آن سند است. من خواهش اکیدی که دارم، عزیزانی که می‌خواهند راجع به این موضوع فکر کنند، چه تصمیم‌گیرنده هستند چه کسانی که مثل خیلی از دوستان فقط علاقه‌مند هستند، برای همه این‌ها اول یک‌بار، زحمتی کشیده شده است و دست‌کم یک مطالعه کتابخانه‌ای فوق‌العاده کامل بوده است، یک ورقی بزنند و هر جایی از آن را که نمی‌توانند قبول کنند یا هر جایش را که می‌توانند رد کنند، رویش یک قلم قرمز بکشند. خیلی خیلی خلاصه عرض من این بود.



دکتر صراف‌زاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. سلام عرض می‌کنم خدمت کلیه حضار گرامی. من فکر می‌کنم بحث آب خاکستری را باید در یک context کلی ساختمان‌های هوشمند دید. آب خاکستری در مصرفشان و اگر ابعاد مختلفش را بخواهیم ببینیم باید در آن context دیده شود. من شخصاً با این موضوع مشکل دارم که ما بگوییم، فرض کنید آب روشویی را به‌عنوان آب خاکستری می‌پذیریم، ولی فرض کنید آب ظرفشویی را نمی‌پذیریم، حالا چرا؟ هیچ‌کدام از این‌ها مشخصات کیفی خروجی پایدار و ثابتی ندارند. آب ظرفشویی در یک لحظه ممکن است کاملاً آب سفید باشد. برای این‌که مشخص شود و راحت‌تر بتوانم بیان کنم، فرض

کنید شما شیر آب را صرفاً برای این‌که آب سرد عبور کند و آب گرم بیاید باز گذاشتید، حالا به‌خاطر جانمایی غلط در بحث ساختمان (مثلاً دیروز آقای دکتر ضرغامی پکیج را اشاره کردند اگر شما پکیج آب گرم را درست در ساختمان جانمایی نکرده باشید، نهایتاً باید گاهی اوقات حجم زیادی آب سرد را باز بگذارید تا آب گرم بیاید) این‌جا آب واقعاً باکیفیتی دارد تلف می‌شود، ولی همین ظرف‌شویی ممکن است خانم یک بطری شیر فاسدشده را در همان ظرف‌شویی تخلیه کند. نمی‌شود گفت این ظرف‌شویی یا روشویی کیفیت آبش برای بازیافت در یک لحظه خاکستری و قابل قبول است و یک موقع بگوییم نیست. تفکیک به این‌صورت که در تعریف آب خاکستری است، من اصلاً به‌آن اعتقاد ندارم و معتقدم که چه در کشور ما و چه در دنیا راجع به این‌که در مفهوم آب خاکستری بازیافت را انجام دهم و مبنا قرار دهم یک غفلت بزرگی انجام می‌شود و آن غفلت هم این است که ما باید آب را بر مبنای کیفیتش بگوییم که خاکستری است یا نیست، پس نیاز به یک شاخص داریم. یک شاخصی که وضعیت این آب را از هر منبعی که می‌خواهد باشد فرضاً در بحث ساختمان مشخص کند. بر مبنای این تعریفی که آقای دکتر اکبرزاده هم زحمت کشیدند و ارائه کردند، مقایسه هم کردم. یک مطالعه‌ای هم بنده داشتم و خیلی‌ها به این نحو طبقه‌بندی نمی‌کنند و قبول ندارند، حالا اگر خواستید یک مقدار بحث را بیشتر بازخواهم کرد اگر فرصت شود. فرض کنید در یک ساختمان مسکونی من می‌توانم منبع آب را که به فاضلاب تخلیه می‌شود خدمت شما معرفی کنم که کیفیتش مثلاً در سطح آب شربی است که از شیر می‌نوشید؛ ولی در این طبقه‌بندی نیست. چون در پنل‌های قبلی بحث شده است من مستقیم اشاره می‌کنم که کجا را می‌گوییم. بحث تصفیه آب‌های خانگی است که به‌ازای یک لیوان آب تصفیه‌شده که به شما می‌دهد پنج لیوان آب را وارد فاضلاب می‌کند. آبی که سه مرحله فیلتر هم شده است به فاضلاب تخلیه می‌کنند. کیفیتش فوق‌العاده است ولی ما در فاضلاب تخلیه‌اش می‌کنیم و در این طبقه‌بندی هم اصلاً آب خاکستری حساب نمی‌شود. پس آیا با این تعاریفی که این‌جا آمده است نباید روی آن برنامه‌ای داشته باشیم؟

ما نیاز داریم اول روی این شاخص کیفیت آب خاکستری کار کنیم. ما در بحث آب Water Quality Index (شاخص کیفیت آب) داریم. در بحث آلودگی هوا شاخص PSI را داریم که مثلاً مجموعه پارامترهایی را که شاخص آلودگی هستند به‌عنوان یک شاخص جمع کرده است و با آن مبنا شما می‌توانید تصمیم بگیرید سطح آلودگی هوا چقدر است، سالم است، ناسالم است یا

بحرانی است و این‌ها را می‌توان طبقه‌بندی کرد.

تعریف آب خاکستری دقیقاً در کلمه‌اش است. خاکستری یعنی چه؟ یعنی یک چیزی بین سفید و سیاه. در بحث آب یعنی چه؟ یعنی آبی که نه آن‌قدر کیفیتش مشابه آب شرب شیر است که شما بتوانید به راحتی استفاده کنید و بنوشید و نه کیفیتش در حد آبی است که آن‌قدر آلودگی‌اش زیاد است مثلاً فرض کنید آب توالت. بین این دو را شاخص‌گذاری می‌کنیم و می‌گوییم آب خاکستری. وقتی نگاه خاکستری شد باید ببینیم این شاخص کیفیت را در بحث بازیافت آب خاکستری کجای این طیف گسترده خاکستری یعنی از خاکستری نزدیک به سفید تا خاکستری نزدیک به سیاه، قرار می‌دهیم و بعد یک بُعد فنی فراموش شده وجود دارد.

ما اگر بخواهیم واقعاً بحث آب خاکستری با آن دغدغه‌های درستی که آقای مهندس جمالی اشاره کردند تصفیه شود، به درستی عمل خواهد کرد. وقتی آن شاخص را تعریف کردیم، باید بتوانیم حالا سیستم تفکیک داشته باشیم. یعنی شما فرض کنید در منزل، سیستم دفع باید دوشبکه‌ای شود، یک شبکه خاص آبی که باید وارد شبکه فاضلاب و دفع شود و یک شبکه‌ای که می‌تواند وارد پکیج آب خاکستری شود. این‌جا یک مشکل فنی وجود دارد و آن هم این است که تکنیکی باید باشد که این‌ها را در هر خروجی، روشویی، ظرف‌شویی، توالت و هرجا باشد، بتواند از هم تفکیک کند. یعنی اگر یک شاخص کیفی تعریف شود، آن موقع این دو شبکه‌ای وجود دارد. این است که می‌گوییم باید در context کلی ساختمان‌های هوشمند این‌را دید. یک سیستم کلی وجود دارد و بر مبنای شاخص کیفیتی که شما می‌توانید متناسب با سطح تکنولوژی که برای آن تصفیه آب خاکستری تدارک دیدید در مجتمع مسکونی خود، این‌را به شبکه آب خاکستری یا شبکه آب سیاه هدایت کنید.

من تجربه‌ای را که در بخش صنعت داشتم جالب است. بر مبنای تعاریفی که از آب خاکستری شده است، مقاله‌ای را فرستاده بودیم به یکی از ژورنال‌ها در ارتباط با بازیافت آب خاکستری استخرها. در تهران برآورد کرده بودیم و دیدیم با همین توزیع استخرهای گسترده‌ای که ما در سطح تهران داریم گاهی اوقات این آب را می‌شود برای فضای سبز استفاده کرد ولی ما به فاضلاب تخلیه‌اش می‌کنیم. دبیر تخصصی ایراد گرفته بود که شما نمی‌توانید اسمش را آب خاکستری بگذارید و آخر مجبورمان کرد که اسم آب خاکستری را از عنوان آب استخر برداشتیم. کیفیتش از نظر تعریفی که من کردم، نه در حد آب سفید است و نه سیاه و ما آب خاکستری را در نظر می‌گیریم ولی گفتند نه.

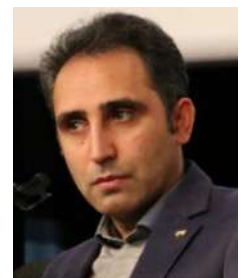
عملاً بحث آب خاکستری را در صنعت و بازچرخانی آب صنعت شروع کردیم و دیدیم که بازیافت را شما می‌توانید در بعد بازیافت مستقیم در نظر بگیرید. یعنی گاهی اوقات کیفیت آب خاکستری در حدی است که بدون هیچ تصفیه‌ای می‌توانید در جایی استفاده کنید، یعنی یک سری منابع و مصارف ببینید و در مصارف خاصی می‌توانید از خروجی جایی که پساب آن منابع است استفاده کنید. در صنعت خیلی جالب بود؛ ما وقتی وارد صنایع مختلف شدیم و این مفهوم آب خاکستری را وارد کردیم، گاهی اوقات به راحتی بدون این‌که هیچ هزینه‌ای به کارخانه اضافه کنیم، فقط با این مینا که شما می‌توانید خروجی یک واحداث را ببرید به عنوان ورودی یک واحد دیگر استفاده کنید، ۳۰ درصد کاهش مصرف آب داشتند بدون آن‌که هیچ هزینه‌ای انجام دهند. صرفاً یک اصلاح شبکه بود. من فکر کنم وقت ما دیگر تمام شد. خیلی ممنون.



دکتر زهرایی:

بسم الله الرحمن الرحيم. خوشحال هستم از این‌که این وقت را در اختیار من قرار دادند. من چون بیشتر می‌خواهم صحبت‌های دوستان حضار را بشنوم، خیلی وقت جلسه را نمی‌گیرم. وزارت نیرو دو مطالعه را سفارش داد و فکر کنم در دولت قبل هم تقریباً هر دو انجام شد. مجریان هر دو مطالعه هم اینجا هستند، یکی بررسی امکان استفاده از آب خاکستری در ساختمان‌ها و یکی در زمینه اجرای شبکه‌های دوگانه که آب شرب را از آب بهداشتی جدا می‌کند و هر دو مطالعه، پیشنهادشان این بود که به لحاظ اقتصادی و ملاحظات بهداشتی، هیچ‌کدام از این دو کار توصیه نمی‌شود. چون ما در وزارت نیرو عادت داریم همیشه هر چه را که مشاورین یا کارشناسان ما پیشنهاد می‌دهند، برعکسش را عمل کنیم، ما می‌خواهیم حتماً بازچرخانی آب خاکستری را انجام دهیم و بیشتر از باب، در واقع رفع خستگی حضار و درآوردن حالت جلسه از این شکل رسمی عرض کردم. بالاخره ما در قانون بهینه‌سازی آب شرب شهری که سال ۹۴ مصوب شده است و آیین‌نامه اجرایی آن در سال ۹۶ مصوب شده است، بحث بازچرخانی آب خاکستری در آن‌جا دیده شده است و بندهایی آمده است که سازمان نظام مهندسی در آن مبحث ۱۶ مقررات

ملی ساختمان بازنگری کند و جزئیات بازچرخانی آب خاکستری و استفاده از ابزار کاهنده در ساختمان‌ها را مقداری تطبیق و روشن کند. وزارت نیرو و شرکت‌های آب و فاضلاب هم موظف شدند که بعد از این که نظام مهندسی تأیید کرد که در ساختمانی چنین تأسیساتی ایجاد شده است، مثلاً برای انشعاب تخفیف دهند و مواردی نظیر این. بنابراین در قوانین و آیین‌نامه‌ها این موارد آمده است، در مبحث ۱۶ آمده است و این‌ها در کشور جاری است و اگر کسی این کار را انجام دهد، ما قانوناً موظف هستیم آن خدماتی که در قانون و آیین‌نامه‌اش دیده شده است را به او بدهیم. بنابراین، سیاست وزارت نیرو اصولاً این نیست که با بازچرخانی آب خاکستری مخالفت کند و اگر این کار در ساختمان‌ها انجام شود، ما استقبال می‌کنیم و قاعداً باید از طریق مواردی که در قانون پیش‌بینی شده است حمایت هم بکنیم. یک نکته‌ای که من همیشه خدمت آقای مهندس جمالی و همکاران دیگری که مخالف با بازچرخانی هستند عرض کردم این است که ما در ارزیابی اقتصادی این طرح‌ها به نکته‌ای که توجه نمی‌کنیم این است که، حالا دوستانی که در افتتاحیه تشریف داشتند یک اشاره‌ای در سخنرانی افتتاحیه کردم که، هزینه‌های جایگزین کردن منابع تأمین آب شرب که الان در مناطق شهری و روستایی ما ناپایدار هستند، سرسام آور است و وقتی که ما می‌خواهیم کلان مسأله را بررسی کنیم که آیا بازچرخانی آب خاکستری یک گزینه برای مدیریت مصرف آب شهری برای ما هست یا نیست، باید به بحث ناپایداری‌هایی که هست و منابع جایگزین آب شرب هم توجه کنیم. من بیش از این مصدع نمی‌شوم تا بیش‌تر از صحبت‌های دوستان استفاده کنیم.



مهندس طاهری:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و ادب و احترام دارم. اگر اجازه بدهید من در سه بخش، خیلی کوتاه صحبت‌هایم را ارائه کنم. در بخش اول یک تجزیه و تحلیل کوچکی راجع به سرانه آب‌هایی که به‌طور متوسط سرانه آب خروجی از حمام و روشویی است داشته باشم و بعد وارد بحث بعدی شوم. متوسط سرانه‌ای که ما می‌گوییم در آب حمام و روشویی بین ۶۲ تا ۷۰ لیتر است یا به‌طور کامل می‌توان گفت که بین ۲۳۰ تا ۲۶۰ لیتر در شبانه

روز، آب خاکستری خروجی یک خانوار است. من اگر بخواهم گروه‌های نظام مهندسی را عنوان کنم، چهار گروه الف، ب، ج و د که گروه الف تا ۶۰۰ متر مربع است، گروه ب تا ۲۰۰۰ متر مربع زیربنا است، گروه ج تا ۵۰۰۰ متر و گروه د که بالای ۵۰۰۰ متر است. در یک ساختمان گروه د که ۵۰۰۰ متر به بالا است، ما اگر متوسط بگیریم، گروه د، ۷۰۰۰ متری باشد و در این ۷۰۰۰ متر با ۷۰ درصد پهنه مفید یا ساختمان‌هایی که ساخته می‌شوند، ما حدود ۴۰ تا ۵۰ واحد ساختمان در آن مجموعه داشته باشیم، می‌توانیم بگوییم که روزانه حدود ۴۰۰۰ لیتر آب در فلاش‌تانک‌های این مجموعه مصرف می‌شود و این مجموعه حدود ۱۲۵۰۰ لیتر هم آب خاکستری تولید می‌کند. یعنی ۳۰ درصد آن آب خاکستری تولیدی خودش را خودش می‌تواند در فلاش‌تانک‌هایش مصرف کند. یعنی منبع مصرف در خود واحد دیده شده است. چون آقای دکتر در صحبتشان گفتند که در چه ساختمان‌هایی شاید بتوانیم برآورد کنیم که استفاده شود، ما چون یک کارگروهی را نزدیک یک سال در استان اصفهان، در آبفای اصفهان، با همکاری و همیاری و همت سرکار خانم مهندس ملاباشی داشتیم و یک برنامه اجرایی دادیم، تک‌تک اینها را تحلیل کردیم که به کجا برسیم. لذا پتانسیل مصرف آب خاکستری در محیط و محل تولیدی خودش وجود دارد. اولین منبع هم عرض کردم با ۳۰ درصد، خود فلاش‌تانک‌ها هستند.

اما مشکل کجاست؟ حالا خانم دکتر و آقای دکتر فرمودند که نظام مهندسی. ما یک‌سری مشکلات داریم، اولین مشکل‌مان هزینه‌های پکیج‌های تصفیه آب خاکستری است که مالکین و بهره‌برداران را به‌سمت و سوی بهره‌برداری از پکیج‌های آب خاکستری متمایل نمی‌کند. بحث بعدی ما ارزان بودن قیمت آب است. ما چندوقت پیش جلسه‌ای داشتیم، همه می‌گفتند ما تحلیل کنیم بازگشت سرمایه‌اش چه قدر می‌شود. البته مشکل اصلی را می‌خواهم آخر بگویم. این‌ها مشکلات ریزی است که بنا به دید ما، این‌ها را به‌عنوان مشکل می‌دانیم. در صورتی که من هم این موارد را مشکل نمی‌دانم.

بحث بعدی که وجود دارد و مشکل اساسی ما است که دو تا مشکل ریز را هم پدید آورده است، عدم اهمیت دولتمردان ما به مسائل محیط‌زیستی است. در کشور ما نه آب بها دارد، نه محیط‌زیست بها دارد، نه توسعه پایدار بها دارد. فقط شعار دارد. یعنی همه ما خوب شعارش را می‌دهیم. می‌خواهند بروند مجلس، ببخشید، می‌روند شعار می‌دهند: محیط‌زیست را باید حفظ کنیم. از الان خواهیم شنید. از یک‌ماه دیگر شروع می‌شود، محیط‌زیست اهمیت پیدا می‌کند، انرژی اهمیت پیدا می‌کند، آب اهمیت پیدا

می‌خواهیم ساختمانی بسازیم که از لحاظ پولی نه از لحاظ ساکنین خوب بهره‌برداری شود. الآن انبوه‌ساز ما می‌گوید من دارم ضرر می‌کنم، می‌گوییم چرا ضرر می‌کنی؟ می‌گوید ۲۰۰ درصد سود داشتم الآن شده است ۳۰ درصد سود. دارد ضرر می‌کند. ۱۷۰ درصد از سودش کسر شده است. اقتصاد را همه ما می‌بینیم ولی در جهت اجتماع که چه آدم‌هایی باید در این خانه زندگی کنند چه‌طور آب مصرفی را فراهم کنند، چه‌طوری گرمایش و سرمایش فراهم کنند، این‌ها را از یاد می‌بریم. مهم‌تر از همه بحث محیط‌زیست آن‌ها را هم از بین می‌بریم. بنابراین من خواهشی که از سرکار خانم دکتر زهرایی در نظام مهندسی دارم این آمادگی است. تمام جلساتی که شما بفرمایید ما حضور پیدا می‌کنیم، آمادگی داریم که شیوه‌نامه سال ۸۶ خود را اجرایی کنیم. شیوه‌نامه‌ای که روی کنترل مصارف است. ما در همین یک استان بزرگی مثل اصفهان که سرکار خانم ملاباشی هستند، هنوز نتوانستیم این شیوه‌نامه را اجرایی کنیم. چرا؟ چون اداره کل راه و شهرسازی می‌گوید شما دوباره می‌خواهید از مردم پول بگیرید. حتماً یک نقشه‌ای پشت این دارید که از مردم پول بگیرید. در هر یک از ۳۱ استان، بنده به‌عنوان نماینده آن دوستان به شما این قول را می‌دهم که این آمادگی وجود دارد هم برای مباحث طراحی، هم نظارت و مجری، چون دست ما است. در طراحی‌مان، ناظر ما باید اجرا کند. اگر ناظر ما اجرا نکند ما، نظام مهندسی، بالا سرش ایستاده‌ایم که چرا مطابق طرح، مطابق نقشه‌ات اجرا نکردی. انشاءاله پیروز و موفق باشید متشکرم.



مهندس جهانی:

بسم الله الرحمن و الرحيم. سلام و ادب و وقت بخیر خدمت دوستان دارم. من خواستم دو موضوع را ورود کنم. یکی بحث ضرورت انجام اجرای سیستم آب خاکستری در کشورمان است که می‌خواستم بحث کنم و موضوع بعدی که می‌خواستم به دغدغه‌های اقتصادی که دوستان مطرح کرده بودند پاسخ داده باشم. در خصوص ضرورت انجام کار، خیلی از دوستانی که این‌جا تشریف دارند شاید این سؤال در ذهنشان پیش بیاید که چرا ما این‌قدر دقیق می‌خواهیم بخشی از مصرف را ورود پیدا کنیم، بحث مدیریت مصرف که کمترین مصرف در کشور را به خودش

می‌کند. در اصفهان می‌گویند زاینده‌رود را برای شما پر آب می‌کنیم. در آذربایجان غربی می‌گویند دریاچه ارومیه پر آب خواهد شد. این‌ها وجود دارد. اما وقتی که رفتیم و روی صندلی نشستیم دیگر همه‌اش از یادمان می‌رود.

چرا این‌را عرض می‌کنم؟ چون ما ۶۰ تا قانون داریم، من الان همین‌جایی که نشستم در بحث این نظام مهندسی، علاوه بر ۲۲ مقررات ملی ساختمان، نزدیک به ۶۰ قانون را برای شما می‌شمارم. ماده ۱۸ قانون اصلاح الگوی مصرف که می‌گوید بروید به سمت و سوی ساختمان سبز، جهت‌گیری به سمت ساختمان سبز. ساختمان سبز چه می‌گوید؟ یکی از اصول ساختمان سبز، بازیافت آب است، بازیافت مواد و انرژی است. در آن همین آب خاکستری عنوان می‌شود. دوستانی که در نظام مهندسی هستند، می‌دانند. لید، بیریم و کسپی همین را می‌گویند. تمام استانداردهای زیست‌محیطی ساختمان یا استانداردهای سبز یا ارزیابی سبز ساختمان همین را می‌گویند. ماده ۱۸ قانون اصلاح الگوی مصرف، ماده ۱۷ قانون هوای پاک به یک شکل دیگر، قانون توسعه آب شرب شهری و روستایی به یک شکل دیگر. در همه آیین‌نامه‌ها هم اسم نظام مهندسی آمده است ولی نظام مهندسی چرا انجام نمی‌دهد؟ مشکل کجا است؟ چه اتفاقی در نظام مهندسی دارد می‌افتد؟

آیا ما نمی‌خواهیم به‌عنوان نظام مهندسی‌ها یا من که مسئولیت کمیسیون انرژی سی و یک نظام مهندسی کشور را دارم نمی‌خواهم این اتفاقات بیفتد. برای تمامش آیین‌نامه درست کردیم، نظام‌نامه تهیه کردیم. مشکل ما در خود مقررات ملی ساختمان است، جایی که آقای دکتر اشاره کردند که در مبحث شانزدهم می‌گوید یک توصیه، اجبار نکرده است. بعد تازه الزامات را در پیوست آورده است یعنی اصلاً ضروری نیست. من در پیوست گذاشتم اگر خواستید به آن رجوع کنید.

ماده ۶ آیین‌نامه بهینه‌ساز مصرف انرژی ساختمان‌ها، می‌گوید مقررات ملی ساختمان را با دید رتبه‌بندی ساختمان، با دید ساختمان سبز، با دید ممیزی انرژی ساختمان بازنگری کنید. ۶۵ صفحه به وزارت راه و شهرسازی فرستادیم. همه بازنگری‌ها را هم نوشتیم که کجاها باید چه اتفاقی بیفتد. ده جلسه هم در وزارت‌خانه گذاشتیم، دو سال فقط منتظریم که یک‌بار دیگر از ما بخواهند که این‌ها کجای مقررات باید بیایند لذا مشکل ما از آن‌جاست که شعار می‌دهیم توسعه پایدار باید باشد. بخش توسعه پایدار سه اصل دارد، همه هم می‌دانیم: اقتصاد، اجتماع، محیط‌زیست.

اقتصادش را خوب می‌بینیم. در فرآیند ساخت و ساز همه

اختصاص داده است. برای خیلی از ما هم این سؤال پیش آمده است که کشاورزی ۸۰-۹۰ درصد مصرف دارد انجام می‌دهد. در بحث بهینه‌سازی، مدیریت مصرف در سال‌های اخیر خوب کار نشده است، منتها وضعیت اقلیمی کشور ما به‌صورتی است که الآن دستورالعمل‌ها خصوصاً کلان شهرها هم پتانسیل‌های آبی که در منطقه بوده است در داخل همان شهر بوده است هیچ، از بین حوضه‌ها از حوضه دیگر هم آب تأمین کردیم صرفاً برای تأمین شرب. همین تهرانی که الآن ما در آن زندگی می‌کنیم، اصفهانی که سال‌های اخیر دغدغه‌های تأمین آب شربش را لمس کردیم و دیدیم که در خود همین اصفهان ما یکی دو سال متوالی آب کشاورزی را قطع کردیم، آب صنعت را قطع کردیم، باز در تأمین آب شرب دغدغه داشتیم. تمرکز در خیلی از مناطق ما که صرف بحث کشاورزی نیست، صنعت اولویت بعدی است پس باید یک کارهایی انجام دهیم. یکی از آن‌ها همین اجرای سیستم آب خاکستری است. دغدغه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مطرح شده است. در بحث اقتصادی که دوستان مطرح کردند راه کارهای زیادی در این زمینه داریم. ضمن این‌که عرضم به حضور شما که در اجرای سیستم آب خاکستری در درجه اول، نیاز تأمین آب شرب، میزانش را کم می‌کند. اگر ما برای یک شهری بتوانیم ۲۰ درصد تأمین آب شرب به سیستم آب شهری را از طریق آب خاکستری تأمین کنیم پس ۲۰ درصد در تأمین آب، هزینه‌ها را کاهش دادیم و به‌همین نسبت در اجرای سیستم فاضلاب شهری در اجرای شبکه فاضلاب خطوط جمع‌آوری اصلی و تصفیه‌خانه‌های متمرکز باز یک درصدی از هزینه‌ها را آن‌جا کم می‌کنیم. این هزینه‌هایی است که دولت از بار اقتصادی کم می‌شود و دوباره این سؤال مطرح می‌شود که چه نفعی برای مالک دارد؟ مالکی که سازنده و مالکی که مستقیم درگیر ساختمان، مجتمع‌های تجاری و اداری و مسکونی است، با چه بازده اقتصادی و چه بازگشت سرمایه‌ای را می‌تواند داشته باشد؟ یک نمونه مطالعه‌ای یکی از دوستان ما سال ۹۴ انجام داد که یک شهری را برای بحث آب خاکستری مورد مطالعه قرار داد. ایشان به این جمع‌بندی رسیدند که برای یک متر مربع برای هر واحد مسکونی به ازای هر متر مربع در سال ۹۴، ۵۳۶۰ تومان هزینه اجرا و تصفیه آب خاکستری و بازگشت به ساختمان محاسبه شده بود. در همان سال محاسبه کردند که به‌ازای یک مترمربع در یکی از مناطق شمالی تهران هم ۳ میلیون تومان هزینه اجرای آن ساختمان بود.

شما اگر حساب سرانگشتی کنید متوجه می‌شوید که دو دهم درصد از کل هزینه اجرای ساختمان به‌ازای هر مترمربع را این

اجرای سیستم آب خاکستری شامل می‌شود که آقای دکتر اکبرزاده در ارائه خود فرمودند. حال تجربیات بین‌المللی و ۵ درصد و یک نمونه که در یکی از مناطق تهران در دو یا سه مجتمع صورت گرفته است به عدد ۰/۲ درصد رسیده‌ایم و متوجه می‌شویم که این عدد، عدد بسیار ناچیزی است. چون این مبحث که مطرح می‌شود اجرائش در سیستم‌های قدیمی بسیار بسیار سخت و پیچیده خواهد بود. در کلان‌شهرها، در حاشیه این کلان‌شهرها مثل تهران، مثل اصفهان، مثل مشهد که رشد جمعیت را داریم و با افزایش ساخت و ساز مواجه هستیم، نظام مهندسی بخشی از آن ورود پیدا کرده است و مجری اصلی هم سازمان نظام مهندسی است. خوشبختانه فرصتی به‌وجود آمده است و در استان اصفهان یک نمونه عملیاتی، یک نمونه تفاهم‌نامه بین آب و فاضلاب استان اصفهان و نظام مهندسی منعقد شده است که می‌تواند یک فرصت باشد، یک پایلوتی باشد برای دیگر شهرها. عرضم به‌حضور شما که پس اگر بخواهیم راه کارهای تشویقی در نظر بگیریم، مثلاً سازنده‌های ما می‌توانند از طرف شرکت آب و فاضلاب از طرف خود شهرداری‌ها با مشوق‌هایی رو به‌رو شوند. مثلاً ما می‌توانیم حق انشعاب آب را از سازنده‌ها نگیریم یا حق انشعاب فاضلاب را از آن‌ها نگیریم. یا در مسائل شهری در حوزه شهرداری، شهرداری می‌تواند مشوق‌هایی مثل افزایش تراکم داشته باشد، یعنی ساختمانی که ۱۰ طبقه بیشتر جواز ندارد می‌تواند یک یا دو طبقه به‌صورت تشویقی مجوز صادر کند که بتواند آن بحث اقتصادی هم برای سازنده داشته باشد. مضاف بر این‌که می‌تواند تخفیف‌هایی روی هزینه‌های جوازی که معمولاً شهرداری صادر می‌کند، صادر شود. همین‌طور برای سازنده‌های این پکیج‌های تصفیه برای تأسیساتی که ما نیاز داریم می‌توانیم معافیت‌های مالیاتی برای آن‌ها قائل شویم و همین‌طور معافیت‌های گمرکی. این راه کارهایی است که به ذهن من رسیده است حالا از دوستان خواهش می‌کنیم در این بحث مشارکت کنند و خواستم که از جانب اقتصادی که دوستان دغدغه مطرح کردند، یک پاسخی داده باشم که راهکارهایش است. دغدغه‌های زیست‌محیطی هم هست، حالا من چون وقت کم است نمی‌خواهم ورود پیدا کنم. انشالله اگر فرصت باشد در خدمت دوستان هستیم. متشکرم.

دکتر اکبرزاده:

خیلی متشکرم. تشکر می‌کنم از حضور همه اعضا که با حضور خودشان نشان دادند که در ذهنشان دغدغه به سامان رساندن آب خاکستری را دارند. سؤال مهم آن است که آیا برای جداسازی آب خاکستری

غیر شرب و شبکه دوگانه یک دستوراتی داریم که این شبکه به هیچ عنوان با هم ادغام نشود؛ لذا مثلاً لوله آب را رنگی می کنیم و لوله آب غیر شرب را رنگ بنفش می زنیم. استانداردهای آن را در دنیا عرض می کنم. بعد هنوز اطمینان نداریم. می گوییم ممکن است باز این اتفاق بیفتد؛ لذا وقتی می خواهند این ها را اجرا کنند در دو سطح مختلف شبکه های دوگانه اجرا می کنند. هم چنین، شیرآلات بسیار پیشرفته ای هست که این ها اجازه نمی دهند آب برگردد که در واقع شیرهای کنترل خیلی پیشرفته هستند نه مثل شیرهای معمولی. حالا اگر همه این ها را داشته باشید، یک مثالی که شبکه دوگانه در کشور اجرا شده است شهر بهرمان در استان کرمان است. من چند سال پیش آن جا رفتم بازدید کردم. در شهر بهرمان در تمام خانه ها یا اکثر خانه ها دو لوله است یک لوله آب شرب، یک لوله آب غیر شرب. لوله آب غیر شرب در واقع شوری اش بالاتر است. حالا در هر خانه ای مردم بین این لوله شرب و غیر شرب یک شیر وصل کردند، هر زمانی که لازم دارند شیر را باز می کنند آب از شبکه شرب بیاید در شبکه غیر شرب. یعنی ما این همه استاندارد و دستورالعمل و تعویض رنگ و غیره انجام می دهیم. وقتی شما آب را بردید داخل ساختمان کنترل دست شما نیست، همه مثل شما متخصص نیستند. تازه ما هم که متخصص هستیم این جور نمی توانیم کنترل کنیم؛ لذا در بحث هایی که در ساختمان های بلند در آب خاکستری پیش می آید، در صورتی مجوز می دهند که یک مدیر فنی داشته باشد. مدیر فنی امضا می دهد، تعهد می دهد که آب شرب و غیر شرب ادغام نشود. اگر فردی بخواهد خانه خود را مثلاً اجاره بدهد باز باید این تعهدنامه را یک چیز پیچیده و پیشرفته کند. حالا تصور کنید ما در ایران با فرهنگ و مقرراتی که داریم این آب را ببریم و بعد ببینیم چه اتفاقاتی می افتد. لذا من می خواستم خلاصه مثالی بزنم در شهر بهرمان که علی رغم تمام آن مسائل فنی این اتفاق خیلی احتمال وقوعش زیاد است. تشکر.

فکری شده است؟ چون به هر حال اگر شبکه فاضلاب در شهر اجرا شده باشد باید بتوانیم آب خاکستری را از آن حذف کنیم. این اعدادی که گفتیم بین ۳۰ تا ۷۰ درصد از فاضلاب را کم می کنند در واقع در ساختمان می چرخد. مسلماً طراحی آن شبکه بر این اساس بوده است که این آب وارد شبکه شود، حذف آن در این موضوع تأثیر می گذارد، هزینه های بسیار بالایی هم دارد. مسلماً اگر این بخواهد اجرائی شود، این کار باید در شهرهایی انجام شود که شبکه فاضلاب ندارند. فکر می کنم نزدیک به ۵۰ درصد شهرهای کشور تحت پوشش ۴۰ درصد، الآن شبکه فاضلاب دارند که عملاً این کار قابل اجرا نیست. بحث بعدی من در سازمان نظام مهندسی آقای طاهری اگر اشتباه نکنم این بود که یک موضوع را آقای دکتر مطرح کرده بودند که بحث تلفیق آب خاکستری و آب باران است. من خودم یک مطالعه موردی در شهر بجنورد در همین موضوع انجام دادم و به همین نتیجه رسیدم. فکر می کنم اگر بشود این موضوع را در مبانی طراحی ساختمانها همان مباحثی و قوانینی که مطرح کردیم پیاده کرد نتیجه بهتری می گیریم، مثل اینکه آب خاکستری و آب باران پشت بام با هم دیگر قابل استفاده باشند. تشکر می کنم.

دکتر جلیلی قاضی زاده:

متشکرم. چه آب خاکستری چه جدا کردن آب شرب از آب بهداشتی، این ها هیچ کدام مطلق نیستند. یعنی ما باید مزایا و معایبشان را بدانیم. ممکن است در یک جایی جواب دهد و در یک جایی جواب ندهد. اما آن چه که دوستان مورد نظرشان است که ما به صورت عموم در ساختمان ها از این آب استفاده کنیم. پس این جا دو بحث است. یکی این که در داخل ساختمان استفاده کنیم یا خارج از ساختمان؛ چون این دو با هم فرق می کنند. اما من یک تجربه ای دارم و خدمت دوستان عرض می کنم که یک مثال کاربردی زده باشم. ما در مبحث جداسازی آب شرب از آب



مهندس موسوی از بخش خصوصی:

با عرض تشکر. استفاده کردیم از صحبت اساتید. ببینید من

اگر بخواهم از مطالب همه دوستان نکات را جمع بندی کنم و مطالب را طبقه بندی کنم، می توانیم قضیه را این جور ببینیم که

ردپای آب، در واقع آبی که برای تولید یک محصول مصرف می‌شود را دو قسمت می‌کنند یکی آب آبی یکی آب خاکستری. حال آب آبی همان آب پنهانی است که ما می‌شناسیم و برای تولید یک محصول مصرف می‌شود، آب خاکستری را گفتند از نظر تئوری در واقع آبی است که برای رقیق کردن غلظت آلاینده‌گی تولید آن محصول مصرف می‌شود. یعنی در واقع فرض کنید تولید یک تن فولاد اگر یک مقداری آلاینده‌گی ایجاد می‌کند، چه مقدار آب باید مصرف شود تا این آلودگی به یک مقدار معتدل برسد. این مفهومی بود که من خوانده بودم و با چیزی که شما گفتید خیلی متفاوت بود. می‌خواستم ببینم این علتش چیست؟

دکتر اکبرزاده:

متشکرم. ببخشید من مجبورم این مطلب را قبل از این که نفر بعدی صحبت کنند یک توضیحی بدهم؛ برای این که اگر همین‌طور بحث را دنبال کنیم به نتیجه نمی‌رسیم. هنگام ارائه خودم عرض کردم تعاریف مختلفی وجود دارد. من راجع به درست و غلط بودنش هم قضاوت نمی‌کنم. گفتم یک تعریف پایه‌ای است که الان وقتی راجع به آب خاکستری داریم صحبت می‌کنیم در این همایش منظورمان این‌ها است. شامل منابع داخل ساختمانی که اسم بردیم است به جز توالت‌ها. فرمایش سایر دوستانی که در بحث مشارکت می‌کنند کاملاً مشخص است که راجع به این موارد داریم صحبت می‌کنیم. در همین ارتباط هم در واقع آن‌چنان انسجامی وجود ندارد. همین‌طور که آقای دکتر صراف‌زاده عنوان کردند در همین مبحث هم ممکن است اختلاف سیل‌ها و برداشت‌های مختلفی داشته باشیم. مشکلی نیست، آنها را بفرمایید. ولی این که آب باران، آب کشاورزی، آب‌های غیرمتعارف دیگر نه. این‌ها فعلاً از بحث خارج هستند. فقط در ارتباط با بحث داخل ساختمان مطالب خودتان را ارائه بفرمایید.

مثلاً ما یک شهری داریم با یک تعداد جمعیتی. چون شما که مدیریت جلسه را دارید و سؤال را خیلی قشنگ مطرح کردید من انگیزه پیدا می‌کنم که این مطلب را بگویم، حالا می‌تواند نظر شما باشد یا نباشد. وقتی که ما یک تعداد جمعیتی را داریم و وقتی قرار است به آن اضافه شود و به‌خاطر همان ۲۰۰ درصد ۳۰۰ درصدی که ایشان گفتند حاشیه‌نشینی پیدا شود، حالا مثلاً شده ۲۰-۳۰ درصد، وقتی ما این برنامه را اجرا می‌کنیم و دائماً آب کم می‌آوریم، مثلاً یا چاه می‌زنیم یا سد که باز هم عنوان شد اضافه می‌کنیم. اگر به این خواسته‌ای که شما گفتید می‌خواهیم برسیم باید یک جایی یک چیزی را محدود کنیم، یعنی سد اضافه نکنیم و چاه هم نزنیم، بعد قیمت آن چیز را منطقی کنیم که برای ما صرف کند که یک هزینه‌های جانبی را در کنار مثلاً پول آب بخواهیم پردازیم. وقتی که آب را این‌جور با سوبسید در اختیار مردم قرار می‌دهیم، معمولاً این‌جور کارها را کسی نمی‌رود انجام بدهد. آن نکته‌ای هم که آقای دکتر گفتند بالاخره ما که برای اولین بار و اولین نفر نمی‌خواهیم این کارها را انجام دهیم که از عواقبش بترسیم. یعنی ما از تجربه دنیا استفاده می‌کنیم. هم می‌توانیم مزایای آن را از تجربه کشورهای دیگر که مثلاً فرض کنید که یک دهه یا دو دهه این کار را کردند استفاده کنیم، هم معایبش را ببینیم، یعنی مشکل پیش نمی‌آید. نکته بعد هم همین مسئله‌ای که گفتم که قیمت آن محدودیت است که می‌تواند جلوی خیلی از مسائل دیگر مثل حاشیه‌نشینی یا مسائل دیگری را هم بگیرد که باز به حوزه‌های دیگر مرتبط شود. با عرض تشکر.

مهندس احسان آقا ابراهیمی دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه امیرکبیر:

سلام عرض می‌کنم. در این جلسه، مفهوم آب خاکستری با آن چیزی که من خوانده بودم کمی متفاوت بیان شد. در نشریه



مهندس جمال فرد، مدیر دفتر آب بدون درآمد آبفای کهگیلویه و بویراحمد:

به‌نام خدا. ضمن عرض سلام و عرض ادب، چند سؤال داشتم

خدمتتان. یکی این که ما الان در بحث بازچرخانی آب خاکستری، با توجه به استانداردهایی هم که معمولاً دستگاه‌های تصفیه دارند، در بدو کار معمولاً فاقد استاندارد هستند یا این که به مرور دچار

نقص‌های فنی می‌شوند. پساب را با یک‌بار آلودگی تقریباً زیاد وارد شبکه فاضلاب می‌کنیم. آیا اثر این بر عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بررسی شده است که چه هزینه‌ای به شرکت آب و فاضلاب تحمیل می‌کند؟ این یک مورد. مورد دوم هم این که چرا سازمان‌های دولتی و خود دولت هزینه بازگشت سرمایه را به‌عهده نمی‌گیرند، یعنی از عوارض ساختمان کم کنند؟ چون من سازنده وقتی می‌خواهم یک ساختمانی را بسازم بالاخره هزینه‌هایش ۵ درصد یا ۰/۲ درصد هم که باشد بالاخره یک‌جور برای من فشار مالی حساب می‌شود و بی‌خیالش می‌شوم؛ اما خود شهرداری و سازمان نظام مهندسی آن عوارضی را که بابت پروانه ساختمانی می‌گیرند کم کنند و در واقع آن مالک یا سازنده را تشویق کنند که این هزینه را کمتر به دولت پرداخت کند و در ساختمان‌ش سرمایه‌گذاری کند. با تشکر.

خانم مهندس جوادی دانشجوی دکتری محیط‌زیست و کارشناس شرکت آب و فاضلاب:

ضمن عرض سلام و عرض ادب. چیزی که به نظر من رسیده است و قبلاً هم به آن فکر کرده بودم این است که من تخصصی در طراحی ساختمان ندارم ولی مطالعه کردم که بین ۵ تا ۲۰ لیتر از آب آشامیدنی در فلاش‌تانک‌های سرویس بهداشتی مصرف می‌شود، پیشنهادی که بود و حالا نمی‌دانم این اتفاق در کشور افتاده یا نه؟ طراحی در داخل ساختمان طوری اتفاق بیفتد که مثلاً آب‌های حاصل از استحمام یا شستشوی دست و صورت برگردد به فلاش‌تانک و این آبی که برای آشامیدن آن‌جا ذخیره می‌شود، از هدررفت‌ش بتوانیم جلوگیری کنیم و از آب‌های حاصل از شست و شو در آن‌جا مصرف شود. این پیشنهادی بود که به‌نظر من رسیده است و نمی‌دانم اینجا مورد استفاده قرار گرفته یا نه؟

دکتر اکبرزاده:

من از اعضای محترم پنل خواهش می‌کنم اگر دوستان خودشان موضوعی یادداشت کردند، الآن راجع به آن اظهارنظر کنند وگرنه من مورد به مورد عرض می‌کنم، هر کدام از دوستان که تمایل دارند جواب دهند. آقای دکتر بیدختی می‌خواهند در ارتباط با آلودگی ناشی از ماشین لباس‌شویی و ظرف‌شویی و مطالعه‌ای که در درسدن آلمان شده است صحبت کنند و طبیعتاً هیچ‌کس نمی‌گوید آلودگی وجود ندارد و کاملاً حرف درستی است. توصیه ایشان در مجموع بیشتر پژوهش و تحقیق بوده است که اصلاً اساس این که ما الآن این‌جا خدمت همه دوستان نشسته‌ایم همین است و توجه وزرات نیرو مدتها است، از سال ۱۳۹۴ تا الآن، همین کار را می‌کند. یعنی هم به مشاوره داده است

و هم به دانشگاه‌ها و مشارکت همه اعضای دیگر را هم در همایش‌ها دارد که خانم دکتر زهرایی الآن مسئولیتش را به‌عهده دارند. پیشنهاد دیگر هم که دادند، استحصال آب باران که یکی دیگر از دوستان هم فرمودند و این که به‌هر حال این‌ها نوشته شده است، نکته‌ای که پاسخ باشد نیست ولی آقای اسدی، مجری تأمین آب مجتمع مس هم در واقع در ارتباط با توصیه نکته‌ای را فرموده بودند که اگر امکان دارد تأمین آب به اصطلاح از طرف آب منطقه‌ای انجام شود. با توجه به این که آب زیرزمینی استفاده شده است، سختی آب بالا رفته است. حضور شما عرض شود که آقای مهندس زهرایی مدیر بهره‌برداری خراسان شمالی و همین‌طور عزیز دیگری که الآن سؤال کردند، بله این نکته‌ای بود که در ارائه بنده هم بوده است و از مهم‌ترین مواردی که باید راجع به آن فکر شود این است که اگر آب خاکستری قرار باشد حذف شود چگونه حذف شود که تأثیری برای طراحی شبکه جمع‌آوری فاضلاب نداشته باشد. این حرف کاملاً درست است. حتماً موقعی که قرار است به‌صورت قانون درآید، این موضوع رعایت خواهد شد.

آقای دکتر جلیلی در واقع یکی از آن مطالعه‌ها را در ارتباط با جداسازی آب شرب و غیر شرب انجام دادند. نکته خیلی مهمی را اشاره کردند که به‌هر دلیلی پایین بودن سطح فرهنگی، عدم آگاهی و هر موردی دیگری این امکان وجود دارد که بخشی از لوله‌کشی مجزای رنگ‌شده غیر قابل شرب به شرب وصل شود که این موضوعی است که کشورهای مختلف با آن در ارتباط بودند. همین‌طور که خود آقای دکتر هم اشاره کردند اقداماتی که برای جلوگیری از این معضل انجام شده است هم تغییر رنگ این لوله‌ها بوده است و هم سطح (Level) آن‌ها و جدا کردن سیستم. ولی به‌هر حال به‌عنوان یک مشکل وجود دارد که از مهم‌ترین معضلات این قضیه است. آقای موسوی از بخش خصوصی نکته‌ای را گفتند که در فرمایش‌های خانم دکتر هم بود که افزایش جمعیت و نیاز به منابع آبی در واقع ما را به این سمت سوق می‌دهد که شاید در جاهایی ما نمی‌توانیم خیلی از عواقب یک‌کاری بترسیم و حتماً به آن توجه کنیم. ولی این موضوع همین الآن وجود دارد؛ مثال عرض می‌کنم. شما به یک پارک بروید. روی شیر نوشته آب غیرقابل شرب و آن را مصرف می‌کنید دچار مشکل خواهید شد و این قضیه هم در آن‌جا به راحتی ممکن است اتفاق بیفتد. ولی هرچند که وقتی تبدیل به ضابطه شود حتماً باید دقت بالاتری روی آن انجام شود.

خانم دکتر زهرایی:

در مورد مبحثی که دوستان در کرمان فرمودند، ناپایداری کمی و کیفی منابع تأمین آب شرب در استان کرمان بسیار

جدی است. مشکلات کیفی در آب شرب بهداشت شهری و روستایی خیلی جدی آنجا وجود دارد و در عین کمیابی آب، آنجا کمیابی آب با کمیت مناسب هم وجود دارد. در عین حال ما بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی ناشی از فاضلاب به طریق سنتی در برخی از شهرها را شاهد هستیم که در واقع آبخوان تغذیه می شود، یعنی مجموعه ای از مشکلات داریم. حالا که راه کارهایی مثل شبکه دوگانه داریم که آقای دکتر قاضی زاده هم توضیح دادند بعضی جاها اجرا شده است، بعضاً مشکلاتی ایجاد کرده است تا حدی هم بعضی از مشکلات را حتماً تخفیف داده است. ولی ببینید یک شهر که توسعه داده شده است، یک شهر بزرگ را تصور کنید که الان بخواهیم شروع کنیم شبکه دوگانه اجرا کردن. من فکر می کنم اصلاً یک راه کار نشدنی است. یک وقتی است شما می خواهید یک شهر جدید توسعه دهید. مثلاً پردیس را تازه می خواهید از صفر ایجاد کنید. ممکن است آنجا بگویید که اصلاً برویم شبکه دوگانه کامل از ابتدا در کل شهر و ساختمان ها اجرا کنیم. ولی یک شهری که وجود دارد معمولاً سیاست وزرات نیرو در جاهایی که توسعه یافته است و این جور مشکلات وجود دارد، احداث ایستگاه تحویل آب در سطح شهرها است که مثلاً در شهرهایی مثل قم یا برخی شهرهای جنوبی کشور هم اجرا شده است و آب با کیفیت مناسب شرب را مانند پمپ بنزین می توان کارت کشید و آب تحویل گرفت. این یک گزینه ای است که هم به لحاظ فنی و هم به لحاظ اقتصادی شاید شدنی تر است از اجرای شبکه های دوگانه در شهرهایی که توسعه یافته هستند. در مورد مشکلات و مخاطراتی که استفاده از آب خاکستری دارد من فکر کنم با توجه به این که در قانون در نظام مهندسی در مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان در جاهای مختلف بالاخره آمده است که ما با تصفیه آب خاکستری انجام دهیم، باید از جاهای بسیار کم خطر، از جاهای بسیار پرمصرف و گزینه های در واقع ایمن شروع کنیم اجرا کردن تا زمانی که تحقیق و آموزش و همه نکات درستی که آقای دکتر بیدختی گفتند به سرانجام برساند. مثلاً در استخر آقای دکتر صراف زاده مثال زدند که جای خوبی هست برای مقدار زیادی آب با یک سطح آلودگی. حالا حداقل سطح آلودگی ثابت است و معمولاً آلودگی اش از نظر نوع آلاینده هایی که وارد آب می شوند خیلی تنوع ندارد. در ورزشگاه ها یا جاهایی که آب زیادی مصرف می شود مثل کارواش یا جاهایی که یکنواختی در نوع مصرف و نوع کیفیت پساب فاضلاب تولیدی وجود دارد بتوانیم اجرا کنیم. ما در تهران، چند وقت پیش از ساختمانی بازدید کردیم که در واقع داخل خود ساختمان از ابتدای ساخت، پکیج تصفیه بازچرخانی آب خاکستری دیده شده بود و آب خاکستری

بازچرخانده می شد و بخشی از آن در فلاش تانک ها مورد استفاده قرار می گرفت که خیلی ایمن بود و واقعاً احتمالاً مخاطره وجود نداشت. احتمال این که کسی برود از داخل مخزن فلاش تانک لیوان پر کند و بخورد واقعاً فکر کنم صفر است. خیلی کیفیت مناسب و خدمات خوبی در چنین گزینه هایی حتماً بالاخره می شود روی آن کار کرد و یک مقدار تجربه از آن کسب کنیم و بازچرخانی آب خاکستری انجام دهیم که تا هزار سال دیگه محقق نخواهد شد. به نظر من حتماً طراحی شبکه به هم می خورد. این فرمایش دوستان درست است، ولی واقعاً هدف بازچرخانی آب خاکستری یعنی اصلاً عملیاتی شدنش به نظر من در سطحی نیست که بتواند مبانی طراحی شبکه فاضلاب یا تصفیه خانه ها را به هم بزند. من بقیه بحث را واگذار می کنم به بقیه دوستان.

دکتر صراف زاده:

من دوباره تأکید می کنم آب خاکستری یک مفهوم کیفی است و متفاوت است با آن طبقه بندی آب آبی و آب سبز. برای مشخص کردن نوع منبع تأمین آب است. در این بحث، در واقع نگاه کیفی، باید به این موضوع خوب توجه شود. اتفاقی که الان در بحث اعداد و ارقامی که دوستان فرمودند در مورد قیمت های مربوط به هزینه های پکیج، هزینه هایی که به ازای هر مترمربع مساحت ساختمان باید برای بازیافت هزینه کرد، در بحث آب خاکستری مهم این است که واقعاً پارامترهای آلاینده ای چه هستند و در چه محدوده ای قرار دارند. در این تعریفی که شده است این طیف خیلی گسترده و متنوع است. یعنی یک موقع طراح پکیج آب خاکستری می خواهد کار را انجام دهد. آقای دکتر بیدختی هم اشاره کردند که طیف خیلی گسترده ای برای نیترات، برای COD، برای ذرات معلق، TSS و TDS وجود دارد. در نتیجه در نهایت وقتی این طیف گسترده آب خاکستری که بتواند مدیریت ریسک هم کند و شرایط بدتر را در نظر بگیرد، چیزی که طراحی می شود عملاً دیگر اسمش پکیج تصفیه آب خاکستری نیست، این پکیج تصفیه فاضلاب است. من اعتقادم این است که اگر ما می خواهیم بحث استفاده مجدد آب خاکستری را در نظر بگیریم باید آن شاخص تعریف شود. بعد بگوییم ما فقط می خواهیم آب هایی را که سفید و مایل به سفید هستند و دفع می شوند بازیافت کنیم که حجم خیلی گسترده ای است. مثلاً می توانم خدمتتان بگویم که بسته به تنوعی که این منابع دارند مثلاً فرض کنید در دوش حمام، گاهی اوقات خانواده هایی فقط برای این که فضای حمام را گرم کنند ۵-۶ دقیقه آب گرم دوش را باز می گذارند که فقط فضای حمام گرم شود. خوب در این فاصله، این آب تقریباً خاکستری مایل به سفید است اگر ما بتوانیم

سیستمی داشته باشیم که این را بازچرخانی کند خوب است. پکیج یعنی هزینه، یعنی شما می‌خواهید کامل تصفیه فاضلاب انجام دهید؛ ولی بحث من این است که می‌شود با سیستم‌های خیلی ساده و کم هزینه انجام داد، ولی این را باید در بحث کلی‌تری دید. متشکرم.

مهندس جمالی:

من چند تا نکته را خیلی خیلی سریع عرض کنم، یکی این که در بحث آب خاکستری به شدت نادیده گرفته شدن تجربه بشر را می‌بینیم. من این بحث را می‌بندم و می‌روم سراغ عرض دوم. اختلاط ایده‌های تکنیکی با نگاه راهبردی مکرر دیده می‌شود. مثلاً الآن چیزی که راجع به تفکیک هوشمند آن صحبت شد نگاه تکنیکی است، یک ایده تکنیکی است، ممکن است: (۱) روزی بسیار بسیار همه‌گیر و فراگیر هم شود؛ اما از نگاه راهبردی آیا این روشی است که در جایی از دنیا برای بازیابی آب خاکستری مورد تأیید قرار گرفته است؟ یقیناً صد درصد مطلق من با تأکید عرض می‌کنم خیر. مطلقاً چنین چیزی نیست. اصلاً هیچ‌جای دنیا به چنین چیزی مجوز نمی‌دهند که آب خاکستری بازیابی شود؛ ولی یک ایده تکنیکی است که ممکن است آینده داشته باشد. (۲) نبود منابع آب. مکرر شما می‌بینید آب خاکستری، ما که آب نداریم پس آب خاکستری که دیگر الزامی می‌شود چون آب نداریم. آیا نبود منابع، بازیابی آب خاکستری در ساختمان‌ها را توجیه می‌کند؟ خیر ما سبدهای داریم از اقدامات مدیریت جامع آب شهری، سبدهای از اقدامات داریم یک گزینه نداریم. در این سبد ما اقتصادی‌ترین و ایمن‌ترین را انتخاب می‌کنیم. من آن روز در جلسه پیش، پنلی که بود این را عرض کردم. امروز هم باز می‌گویم، برای این که بر آن تأکید کنم. ما براساس رتبه‌بندی سازمان ملل، چهارمین کشور از نظر تنش آبی هستیم که در سال ۲۰۱۹ اعلام کرده است ۳ کشور از ما بالاتر هستند. یکی بحرین، یکی قطر یکی اسرائیل. آن روز هم باز عرض کردم که اسرائیل برای یک رود کوچک اردن کل کرانه باختری را اشغال کرده است و موجودیت اسرائیل به آب بستگی دارد. متأسفانه ۲ دقیقه‌ام تمام شده است ولی در اسرائیل فکر می‌کنید ممنوع است یا مجاز است. آب نداریم پس باید آب خاکستری را بازیابی کنیم؟ در اسرائیل این مجاز نیست ممنوع است و غیر قانونی است و دستگیرت هم می‌کنند. ۳-۴ مورد دیگر هم هست که من از آن‌ها می‌گذرم. فقط یکی از مهم‌ترین‌هایش را عرض می‌کنم. ما متأسفانه تنها تنها می‌نشینیم و فکر می‌کنیم، این که می‌گویم تنها تنها یعنی چه؟ یعنی که تجربه بشر را می‌گذاریم کنار و خیلی راحت سؤال،

جواب. سؤال‌های ذهنی، جواب‌های ذهنی، هر دوی آن‌ها هم به‌صورت انتزاعی. می‌گویم که آب خاکستری غیراقتصادی است. ساختمان که بزرگ می‌شود اقتصادی می‌شود. پس می‌رویم در ساختمان‌های بزرگ انجام می‌دهیم، اشتباه مطلق است. اتفاقاً به‌خاطر افزایش مخاطرات در تمام دنیا، جایی که می‌خواهند بازیابی آب خاکستری را انجام دهند در ساختمان کوچک آن را مجاز می‌کنند، در ساختمان‌های بزرگ آن را غیرمجاز می‌کنند. چرا؟ به‌خاطر این که ریسک cross connection دارید. آن مسائلی که می‌شد آقای دکتر خیلی خیلی خلاصه، یک ساعت دیگر هم ادامه دهند. چون من قبلاً با ایشان صحبت کردم همه مسائل را داریم. همین الآن cross connection یک مسئله‌ای نیست که شاید اتفاق بیفتد. مطالعات در تمام دنیا نشان داده است که cross connection و اختلاط ناخواسته مسئله بسیار بسیار متداولی است که اغلب پیش می‌آید. من می‌توانستم که بیشتر هم عرض کنم. تأکید می‌کنم خواهش می‌کنم التماسی که دارم این است که تجربه بشر را نادیده نگیریم. تنها تنها فکر نکنیم.

دکتر اکبرزاده:

تشکر آقای مهندس. خیلی ممنون از مشارکت همه سروران. من چند نکته را در جمع‌بندی فرمایشات عزیزان عرض می‌کنم. مورد اول در واقع موضوعی است که آقای مهندس الآن اشاره کردند. در واقع به‌عنوان یک خط اگر بگویم سبدهای مدیریت مصرف آب متنوع است و ما می‌توانیم بقیه را به‌عنوان مدیریت مصرف آب اولویت قرار دهیم و اگر قرار است استفاده از آب خاکستری انجام شود، آخرین اقدام باشد. نکته دیگری که در فرمایشات عزیزان بود اجرائی کردن مشوق‌های دولتی است. به‌هرحال اگر قرار است کاری انجام شود دولت بیاورد هزینه آن را بپذیرد که خود این در واقع مرحله بعدی را جواب می‌دهد، که به‌اگر قرار است ما برای این که کجا آب خاکستری استفاده شود اولویت‌بندی داشته باشیم، اولین جاها، جاهایی است که مالکیتش مربوط به دولت است و دولت هم راحت می‌تواند هزینه را در اختیارش قرار دهد و آن‌جا را پایلوت کند. در مرحله بعد نتایج قبلی مطالعات خارج از کشور و مطالعاتی که قبلاً داخل کشور انجام شده است، مثل بهرمان که آقای دکتر اشاره کردند و همین‌طور خروجی مطالعات پایلوتی که الآن با جمع‌بندی پیشنهادات دوستان که گفتیم بخش‌های دولتی یا سازمان‌ها را به‌عنوان پایلوت اولیه قرار دهیم، خروجی این‌ها در واقع مستند می‌شود که در اختیار سازمان نظام مهندسی قرار گیرد و بعد به‌عنوان نظام‌نامه و مقررات قلمداد شود. من تشکر می‌کنم از حضور دوستان.

رتبه سوم چهارمین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۳۹۸ در مقطع دکتری
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

عنوان: حذف Pb^{2+} دی کلرو اتان از پساب به روش فتوکاتالیستی با استفاده از نانوکامپوزیت سنتز شده بر پایه TiO_2 و

مدل سازی آن

نگارش: مهدی محسن زاده

استاد راهنما: دکتر سید احمد میرباقری

استاد مشاور: دکتر صمد صباغی

تاریخ: تیر ۱۳۹۸

چکیده

Pb^{2+} دی کلرو اتان یکی از مهم ترین آلاینده های زیست محیطی در پساب صنایع پتروشیمی است. این ماده عمدتاً برای تولید مونومر وینیل کلراید که پیش ماده اصلی تولید PVC است، استفاده می شود. این ماده احتمالاً سرطان زا بوده و توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا به عنوان یک آلاینده دارای اولویت حذف از پساب مشخص شده است. در تحقیق حاضر با توجه به پایداری شیمیایی بالا و تجزیه پذیری پایین، روش اکسیداسیون فتوکاتالیستی برای تجزیه این هیدروکربن کلرینه استفاده شد. نانوکامپوزیت PANI-TiO_2 به عنوان فتوکاتالیست انتخاب شد. این فتوکاتالیست با استفاده از روش پلیمریزاسیون اکسیداسیون با رسوب درجا سنتز شد و با استفاده از یک روش لایه نشانی غوطه وری و اتصال گرمایی اصلاح شده بر روی سطح دانه های شیشه پوشش دهی شد. مشخصات نانوذرات PANI-TiO_2 سنتز شده با استفاده از تست های مورفولوژی شامل طیف سنجی تبدیل فوری مادون قرمز، طیف سنجی پراش پرتو ایکس، سنجش اندازه ذرات، طیف سنجی مرئی فرابنفش، میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس تأیید شد. راندمان تجزیه فتوکاتالیستی Pb^{2+} دی کلرو اتان با استفاده از نانوکامپوزیت PANI-TiO_2 در راکتور فتوکاتالیستی طراحی و ساخته شده در مقیاس پیلوت تحت تابش نور مرئی زنون بررسی شد. از روش سطح پاسخ براساس طراحی مرکب مرکزی برای ارزیابی و بهینه سازی اثر غلظت اولیه Pb^{2+} دی کلرو اتان، زمان ماند، pH درصد آلاینش و ضخامت پوشش به عنوان متغیرهای مستقل در تجزیه فتوکاتالیستی Pb^{2+} دی کلرو اتان به عنوان متغیر وابسته استفاده شد. نتایج مدل سازی به روش سطح پاسخ نشان داد که نتایج واقعی و مقادیر پیش بینی شده با R^2 برابر 0.9870 ، R^2 تنظیم شده 0.9718 و R^2 پیش بینی 0.9422 همبستگی داشته است. در شرایط بهینه شامل غلظت اولیه Pb^{2+} دی کلرو اتان برابر 250 میلی گرم در لیتر، زمان ماند 240 دقیقه، pH محلول برابر 5 و ضخامت پوشش 0.5 میلی گرم بر سانتی متر مربع، تجزیه فتوکاتالیستی

کلمات کلیدی: PANI-TiO_2 فتوکاتالیست لایه نشانی شده، تجزیه فتوکاتالیستی، راکتور فتوکاتالیستی، طراحی راکتور، روش سطح پاسخ، شبکه عصبی مصنوعی

رتبه اول دومین دوره مسابقه ایده‌های کاربردی در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (محور تلفات آب)
(انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۳۹۹)

عنوان: بهره‌گیری از هوش مصنوعی در تشخیص نشت انشعابات مشترکین و شیرخط‌های کنترلی

نگارنده: محمدرضا عزیزی

شرکت دانش بنیان فرآیند ارقام پرداز و شرکت فرآیند زمین پرداز

تاریخ: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

مقدمه

مطابق با آمارهای انجمن جهانی آب (IWA (International Water Association) و تایید آمارهای ارائه شده در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور ایران بیش از ۷۰ تا ۸۵ درصد نشت‌های شبکه آب در بخش توزیع در انشعابات مشترکین و حد فاصل کنتور مشترک تا محل انشعاب از شبکه رخ می‌دهد. فارغ از عوامل موثر و علل وقوع نشت در این بخش وسیع از شبکه توزیع آب، به دلایل حجم بسیار بالای هدررفت واقعی در این بخش، بروز خطرات بالا، قوه وسیع ایمنی در معابر به دلیل سست نمودن بستر، ایجاد بستر اختلاف پتانسیل و تشدید خوردگی در دیگر تاسیسات و عدم شناسایی سریع، جزء موارد مهم رسیدگی و کنترل کاهش هدررفت واقعی آب است. براساس پیمان‌های نشتیابی در حال حاضر پیمانکاران حداقل یک‌بار هر انشعاب مشترک را بررسی می‌نمایند و تا بررسی مجدد همان انشعاب، یک زمان یک‌ساله تا قرارداد بعدی پیمانکار نیاز است، مگر در مواقع نمایان شدن نشت. به دلیل حجم و تعدد وقوع نشت در انشعابات مشترکین و حجم هدررفت واقعی در این حوزه، دستیابی به تکنولوژی یا تکنیکی متناسب با ساختار عملیاتی شرکت‌های آب و فاضلاب کشورمان و کشف این حجم از نشت و اصلاح خلاء موجود مورد نظر بوده و بسیار حائز اهمیت است. ایده این شرکت برای بهره‌گیری از هوش مصنوعی در تشخیص نشت به جای تشخیص توسط متخصصین نشتیابی است. این امر موجب می‌شود در زمان بسیار کوتاه و بدون نیاز به تجربه، قرائت‌کنندگان کنتورهای مشترکین نیز بتوانند هم‌زمان با قرائت کنتور، وجود و شدت نشت احتمالی مشترکین را نیز تشخیص و اعلام نمایند. این ایده منافع مالی بسیار زیادی از راه کاهش هزینه‌های قراردادهای پیمایش حداقل ۶ برابری انشعابات مشترکین و کاهش شدید هدررفت واقعی آب را برای شرکت‌های آب و فاضلاب کشور

به همراه دارد.

ایده پیشنهادی

استفاده از هوش مصنوعی برای قضاوت وجود نشت و تعیین شدت نشت در انشعابات مشترکین و شیرخط‌های کنترلی، بدون نیاز به تجهیزات گران‌قیمت و تنها در زمان ۱۰ ثانیه و بدون نیاز به دخالت انسان و استفاده از افراد متخصص.

روش پیشنهادی

نشتیاب‌های آکوستیک آب معمولاً به سنسورهای پیزو الکتریک Piezo Electric Sensor مجهز هستند. این سنسورها لرزش‌های دریافتی از سطح تماس خود را که مستقیماً به صفحه دیافراگم پیزو الکتریک وارد می‌شوند را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند. غالباً نشتیاب‌های آکوستیک (ژئوفن) سیگنال‌های دریافتی را پیش تقویت نموده در باند فرکانسی متناسب با هدف طراحی، فیلتر نموده و پس از تقویت مجدد تبدیل به سیگنال صوتی برای ارائه به کاربر می‌نمایند. به‌طور عمومی متخصصین با تجربه نشتیابی، با توجه به آشنایی با صدای نشت اقدام به قضاوت وجود یا عدم وجود نشت نموده و گاهی می‌توانند شدت نشت را نیز تخمین بزنند.

نشتیابی آکوستیک با استفاده از سیستم‌های ژئوفن یکی از پرکاربردترین روش‌های نشتیابی در کشور ایران و جهان است و حجم بیش از ۸۰ درصدی از نشت‌های انشعابات و شیرخط‌های شبکه تاسیسات به‌عنوان پرچالش‌ترین بخش‌های شبکه با این تجهیزات نشتیابی می‌شوند. وابستگی شدید نتیجه عملکرد نشتیاب‌های آکوستیک به تجربه کاربر، قدرت و شناخت شنوایی فرد و نویزهای محیطی، میزان خطا و زمان صرف شده برای نشتیابی با این روش را افزایش می‌دهد، لذا شرکت دانش بنیان

حال با تست‌های آزمایشگاهی در مقادیر مختلف خروج آب در نشت می‌توان سطوح مختلفی از شدت نشت را تعیین و با تعریف آن برای کنترلر دستگاه هم‌زمان با امکان قضاوت نشت، میزان شدت نشت را نیز تعیین نمود.

در ۱۴۲ تست انجام شده در سال ۱۳۹۸ لغایت ۱۳۹۹ در منطقه ۶ آب و فاضلاب تهران در نواحی ۱ و ۲ و ۳ این منطقه عملکرد سیستم موضوع این طرح از ۸۰ تا ۹۲ درصد تایید عملکرد داشته است، به‌طوری‌که تا بیش از ۹۰ درصد در قضاوت نشت صحت عملکرد داشته و میانگین ۸۴ درصد در تعیین میزان شدت نشت.

سخن آخر

ایده استفاده از هوش مصنوعی در تشخیص وجود نشت و تعیین شدت نشت:

FAP-Automatic Leakage Judgement (ALJ®) Based on Artificial intelligence (AI)

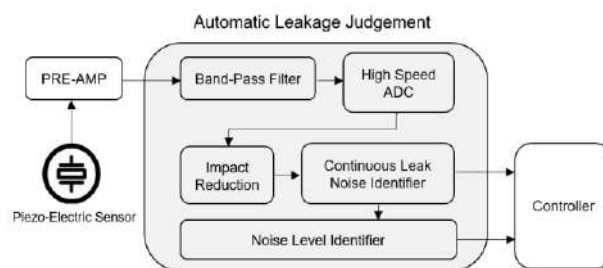
به‌طور کامل عملیاتی شده است و در محصول جدید شرکت دانش بنیان فرآیند ارقام‌پرداز پیاده‌سازی و تولید صنعتی شده است. دستگاه فوق همراه با این قابلیت، سفارش رسمی صادرات به کشور ژاپن به تعداد ۱۰۰ دستگاه را دریافت کرده است و مورد استقبال در صنعت کشورمان نیز قرار گرفته است. به‌عنوان سخن آخر این تکنولوژی کاملاً بومی قادر به کاهش هزینه‌های اجرای NRW و کاهش هدر رفت آب در کشور است و به‌طور فزاینده‌ای موجب کشف نشت‌های شبکه توزیع و انشعابات و شیرهای کنترلی بدون دخالت فرد و خطای انسانی می‌شود.

یکی از جذاب‌ترین موارد کاربری این تکنولوژی استفاده از نیروی انسانی قرائت کنتورها برای نشت‌یابی خط مشترکین تنها با صرف ۱۰ ثانیه زمان مورد نیاز سیستم برای آنالیز و اعلام نتیجه است.

فرآیند ارقام‌پرداز با هدف کاهش وابستگی و حتی حذف تاثیر نیروی انسانی بر نتیجه عملکرد دستگاه‌های نشت یاب آکوستیک، طرح به‌کارگیری هوش مصنوعی در تشخیص نشت را با همکاری شرکت‌های آب و فاضلاب مناطق ۵ و ۶ تهران، پس از تست‌های متوالی، شبیه‌سازی، طراحی و اجرا نموده است و در حال حاضر بر روی جدیدترین نشت‌یاب‌های هوشمند آکوستیک آب این شرکت با نام PERIJA Mini به‌طور صنعتی پیاده‌سازی و تولیدی انبوه نموده است.

FAP-Automatic Leakage Judgement (ALJ®) Based on Artificial intelligence (AI)

در این روش بلوک آنالیزکننده، حد فاصل سیگنال خروجی سنسورهای پیزو الکتریک نشت‌یابی پیش از پیش تقویت‌کننده تا میکروکنترلر دستگاه قرار می‌گیرد که بلوک دیاگرام کلی آن را در شکل زیر قابل مشاهده است.



در این بلوک با توجه به عمق لوله‌ها، بهترین فیلترینگ آکوستیک ۲۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز است، زیرا تا هارمونی چهارم برق شهر را نیز حذف می‌کند و سیگنال‌های صوتی حاصل از نشت از عمق ۴ متر تا سطح زمین را دریافت می‌کند.

در الگوریتم مورد نظر سیگنال خروجی آنالوگ باید به حوزه دیجیتال منتقل شود. لذا برای دستیابی به یک الگوی با کیفیت دیجیتال از سیگنال صوتی با نمونه‌برداری با نرخ بالا عمل کرده تا کلیه جزئیات سیگنال را حفظ شود. با استفاده از پردازش سیگنال و فیلترهای FFT و ورود به حوزه فرکانسی و آشکارسازی دامنه و الگوریتم‌های شناسایی Impact Signalها را از بازه الگوی سیگنال جداسازی کرده و در لحظه وقوع سیگنال‌های ضربه دامنه در سیگنال حداقل در نظر گرفته می‌شود. حال سیگنال دریافتی از سنسور به‌طور یکنواخت بوده و کلیه صداهای صحبت کردن، قدم زدن، عبور خودرو و موتور و ... حذف شده‌اند.

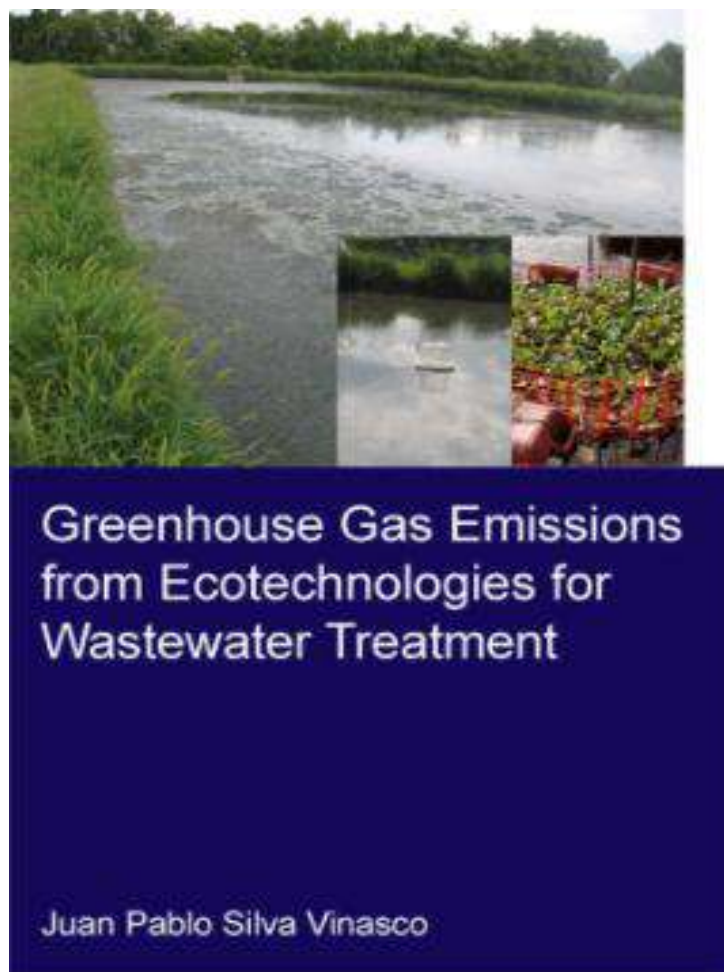
از آن‌جا که سیگنال‌های نشت آب، سیگنال‌های پیوسته با بازه فرکانسی مشخصی وابسته به نوع جنس لوله، فشار آب و عمق دفن هستند می‌توان با الگوریتم‌های شناسایی و استفاده از تکنیک‌های Machine Learning و مطابقت نمونه تست‌های انجام‌شده در شبکه آب و فاضلاب صدای نشت را شناسایی نمود.

عنوان: انتشار گازهای گلخانه‌ای از فناوری‌های محیط‌زیستی برای تصفیه فاضلاب
Greenhouse Gas Emissions from Ecotechnologies for Wastewater Treatment

پدیدآورنده: **Juan Pablo Silva Vinasco**

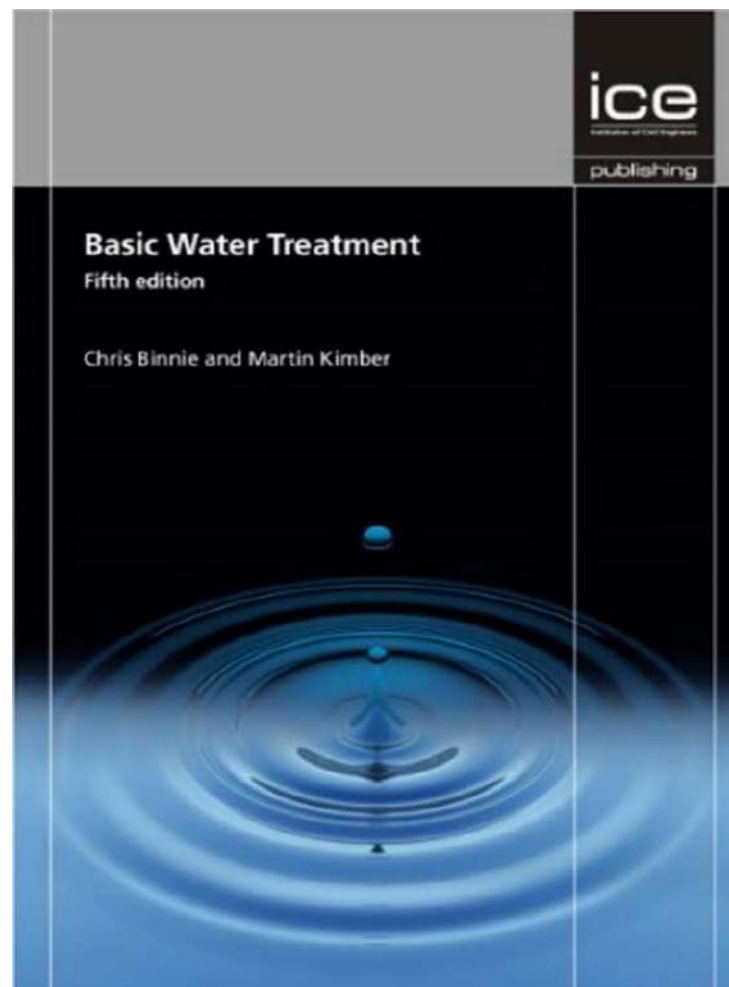
سال انتشار: 2020

ناشر: CRC Press



کتاب انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تصفیه فاضلاب به‌وسیله فناوری‌های محیط‌زیستی، اطلاعات علمی مفیدی در مورد گازهای گلخانه‌ای مانند کربن دی‌اکسید، متان و اکسیدهای نیتروژن، که از فناوری‌های محیط‌زیستی مختلف شهری تولید و منتشر شده‌اند، را فراهم می‌کند. تصفیه فاضلاب به‌وسیله فناوری‌های محیط‌زیستی (EWWT) به‌عنوان یک گزینه مقرون به‌صرفه از روش‌های متداول تصفیه فاضلاب برای بهبود حذف کربن آلی، مواد مغذی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از فاضلاب استفاده شده‌است. تصفیه فاضلاب به‌وسیله فناوری‌های محیط‌زیستی اصلی مورد بررسی در این کتاب، حوضچه‌های بی‌هوازی و تالاب‌های طبیعی آب شیرین است که با فعالیت‌های انسانی مانند تخلیه فاضلاب و مواد مغذی حاصل از رواناب‌های کشاورزی درهم آمیخته است. این کتاب شامل بررسی کامل مطالعات اخیر در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تصفیه فاضلاب به‌وسیله فناوری‌های محیط‌زیستی است. همچنین محاسبه نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از تکنیک محفظه ایستا را معرفی می‌کند. علاوه بر این، این کتاب اطلاعاتی را در مورد تأثیر عوامل محیطی مانند دما، pH، اکسیژن محلول و مواد مغذی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید شده توسط تصفیه فاضلاب به‌وسیله فناوری‌های محیط‌زیستی در شرایط گرمسیری ارائه می‌دهد.

عنوان: مفاهیم اولیه تصفیه آب
Basic Water Treatment, 5th Edition
پدیدآورنده: **Chris Binnie and Martin Kimber**
سال انتشار: 2013
ناشر: **ICE Publishing**



مفاهیم اولیه تصفیه آب یک مرجع اساسی در تمام جنبه‌های کیفیت آب و اصول و فرآیندهای تصفیه است. این کتاب به معرفی و راهنمای عملی تصفیه آب پرداخته و شامل خلاصه موضوعات و معیارهای کلیدی در بخش‌های کوتاه و قابل دسترس، به همراه توضیحات فرایندهای تصفیه نیز هست. ویرایش پنجم این کتاب شامل جزئیات رویکردهای مختلف در مورد مالکیت، تنظیم و ساختارهای نهادی تأمین آب در بریتانیا و نیز فصل جدیدی در مورد واحدهای مختلف تصفیه‌خانه‌های آب است. محتوای فنی این ویرایش شامل فرایندهایی مانند انعقاد پیشرفته، تبادل یونی و طراحی مخزن تماسی نیز هست. همچنین موضوعات دیگری، از جمله ردپای کربن در تأمین آب، در نسخه جدید پوشش داده شده است.

مفاهیم اولیه تصفیه آب یک منبع ضروری برای مهندسين آب در تمام سطوح، یک کتاب درسی برای دانشجویان و یک کتاب راهنما برای مهندسان یا شیمی‌دانانی است که تازه وارد صنعت شده‌اند و همچنین یک راهنمای ضروری و پر از اطلاعات عملی و به‌روز برای متخصصین حوزه است.

اخبار و فعالیت های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه چهارم سال ۱۳۹۹ به شرح زیر است:

- انتشار سومین شماره از سال پنجم نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
- آغاز به کار کانال انجمن آب و فاضلاب ایران در آپارات (دی ماه ۱۳۹۹)
- برگزاری جلسه پنجم کمیته تخصصی کیفیت آب (۹۹/۱۰/۰۱)
- برگزاری جلسه بیستم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۱۰/۰۳)
- برگزاری سومین وبینار تخصصی انجمن با موضوع نشت یابی در شبکه های آبرسانی (۹۹/۱۰/۰۴)
- برگزاری جلسه شانزدهم کمیته تخصصی تلفات آب انجمن (۹۹/۱۰/۱۰)
- برگزاری اولین جلسه واحد بین الملل انجمن (۹۹/۱۰/۱۰)
- برگزاری کارگاه طراحی سیستم اسمز معکوس با نرم افزار Rosa با تدریس دکتر مسعود طاهریون (۱۷ و ۹۹/۱۰/۱۸)
- اهدای لوح تقدیر پیشکسوت نمونه، آقای مهندس علی ربوبی خبوشانی مدیر عامل سابق شرکت آبران (۹۹/۱۰/۲۰)
- شرکت در جلسه هم اندیشی سردبیران و مدیران مجلات آب کشور (۹۹/۱۰/۲۴)
- برگزاری جلسه چهل و پنجم هیئت مدیره انجمن (۹۹/۱۰/۲۴)
- برگزاری اولین جلسه شورای سیاست گذاری اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت در سال ۱۴۰۰ (۹۹/۱۰/۲۹)
- برگزاری جلسه نهم کمیته تخصصی بازیافت آب انجمن (۹۹/۱۰/۲۹)
- انتشار پنجاه و هشتمین شماره خبرنامه انجمن (دی ماه ۹۹)
- برگزاری جلسه بیستم و یکم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۱۰/۰۳)
- تقدیر از عملکرد انجمن آب و فاضلاب ایران توسط شورای انجمن های علمی کشور و کمیسیون انجمن های علمی وزارت عتف (۹۹/۱۱/۱۱)
- برگزاری دومین جلسه شورای سیاست گذاری همایش ۱۴۰۰ (۹۹/۱۱/۱۳)
- برگزاری اولین مرحله المپیاد آب و فاضلاب ایران (۹۹/۱۱/۱۵)
- برگزاری جلسه چهل و ششم هیئت مدیره انجمن (۹۹/۱۱/۲۹)
- انتشار پنجاه و نهمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (بهمن ماه ۱۳۹۹)
- ترجمه جزوه اصول شهرهای آب محور، انجمن بین المللی آب (IWA) به فارسی و انتشار آن در سایت IWA (بهمن ماه ۱۳۹۹)
- تقدیر از دو عضو هیئت مدیره انجمن آقایان دکتر ناصر طالب بیدختی و دکتر حمیدرضا صفوی در دانشگاه شیراز و هشتمین همایش مدیریت منابع آب ایران (بهمن ماه ۱۳۹۹)
- انتشار کتابچه نهایی چکیده مقالات کنگره (بهمن ماه ۱۳۹۹)
- برگزاری سومین جلسه شورای سیاست گذاری همایش ۱۴۰۰ (۹۹/۱۲/۰۴)
- برگزاری دومین جلسه واحد بین الملل انجمن (۹۹/۱۲/۰۵)
- برگزاری بیست و دومین جلسه هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۱۲/۰۶)
- برگزاری چهارمین وبینار تخصصی انجمن با عنوان مدیریت شورابه های ناشی از سامانه های نمک زدایی با تاکید بر فناوری های ZLD (۹۹/۱۲/۰۶)
- برگزاری دومین مرحله المپیاد آب و فاضلاب ایران (۹۹/۱۲/۷)
- برگزاری پنجمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران در روز ملی آب با عنوان چالش های روش های جایگزین برای ارتقای کیفیت آب (۹۹/۱۲/۱۳)
- اعلام برندگان اولین المپیاد آب و فاضلاب ایران و دومین مسابقه ایده های کاربردی در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۱۳۹۹/۱۲/۱۳)
- تشکیل و برگزاری اولین جلسه کمیته دانشجویی انجمن آب و فاضلاب (۱۳۹۹/۱۲/۱۳)
- برگزاری جلسه چهل و هفتمین هیئت مدیره انجمن (۹۹/۱۲/۲۷)
- انتشار شصتمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (اسفند ماه ۱۳۹۹)

محمد مسافری، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی تبریز

دکتر محمد مسافری متولد ۱۳۵۲ در شهر اهر آذربایجان شرقی، دانش آموخته دانشگاه علوم پزشکی تهران در رشته مهندسی بهداشت محیط در سال ۱۳۸۳ بوده و فرصت مطالعاتی خود را در UCL لندن گذرانده است. محورهای تحقیقاتی ایشان مشتمل بر روش‌های نوین تصفیه آب و استفاده مجدد از پساب و پایش و ارزیابی محیط زیست و اثرات سلامت است. محورهای تدریس ایشان شامل کیفیت آب، تصفیه پیشرفته آب، طراحی تصفیه‌خانه‌های آب، ارزیابی پیامدهای محیط زیستی EIA و ارزیابی اثرات سلامت است. سابقه کار دانشگاهی دکتر مسافری بیش از ۱۵ سال بوده و در این مدت بیش از ۴۰ طرح پژوهشی را به انجام رسانده و بیش از ۱۵۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی و داخلی منتشر و ارائه نموده است.

**غلامرضا عزیزیان، نماینده انجمن در دانشگاه سیستان و بلوچستان**

دکتر غلامرضا عزیزیان در سال ۱۳۴۴ در شهر زاهدان متولد و دوران ابتدایی و متوسطه را در این شهر و دوره کارشناسی را در دانشگاه سیستان و بلوچستان گذرانده‌اند. با جهاد سازندگی سیستان، وزارت مسکن و شهرسازی و مدتی نیز با بنیاد مسکن انقلاب اسلامی زاهدان همکاری داشته‌اند. از زمستان ۱۳۷۰ پس از اتمام تحصیلات کارشناسی ارشد تاکنون در دانشکده مهندسی شهید نیکبخت (گروه مهندسی عمران)، مشغول به کار و تدریس هستند. تحصیل در مقطع دکترا را نیز در دانشگاه نیوکاسل انگلستان انجام داده‌اند. دکتر عزیزیان در حال حاضر دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان هستند. علاوه بر مسئولیت‌های اجرایی و عضویت در انجمن‌های علمی، راهنمایی دانشجویان کارشناسی ارشد را از سال ۱۳۸۹ و دکترا را از ۱۳۹۲ به عهده دارند. رساله‌ها و پایان‌نامه‌های متعددی در راستای حل مشکلات منطقه در زمینه مهندسی رودخانه، آب و فاضلاب، تغییر اقلیم، سیل و خشکسالی، محیط زیست و آلودگی در مخازن و شبکه‌های آبرسانی را تعریف و هدایت نموده‌اند. هم‌چنین در راه‌اندازی آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و کسب مجوز تأسیس پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه سیستان و بلوچستان مشارکت و همکاری داشته‌اند. در سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ نیز دبیری هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران و چهاردهمین کنفرانس هیدرولیک ایران را به عهده داشته‌اند.

**فریبرز معصومی، نماینده انجمن در دانشگاه محقق اردبیلی**

دکتر فریبرز معصومی، متولد سال ۱۳۶۱، دارای مدرک دکترای مهندسی عمران گرایش مهندسی آب، هم اکنون به عنوان عضو هیئت علمی در گروه مهندسی عمران دانشگاه محقق اردبیلی مشغول به فعالیت هستند. وی مدرک کارشناسی را از دانشگاه تهران، کارشناسی ارشد را از دانشگاه محقق اردبیلی و دکترای خود را از دانشگاه علم و صنعت اخذ نموده است. همکاری با شرکت‌های مهندسی مشاور به مدت بیش از ۱۴ سال بخشی از فعالیت‌های حرفه‌ای ایشان است. عضویت در کمیته تحقیقات شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب استان اردبیل، عضویت در شورای حفاظت آب اردبیل، دبیری اجرایی شانزدهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران و عضویت در پژوهشکده مهندسی آب و آب‌های معدنی بخشی دیگر از فعالیت‌های ایشان است. چاپ ۲۲ مقاله در نشریات معتبر بین‌المللی و ۴۰ مقاله در کنفرانس‌های معتبر، راهنمایی و مشاوره بیش از ۱۲ پایان‌نامه دانشجویی و داوری مقالات در بیش از ۱۰ ژورنال معتبر علمی بخشی دیگر از فعالیت‌های علمی ایشان است.



مهندسين مشاور آبران	
مهندسين مشاور آبران يکي از شرکت‌های پیش‌رو و نوآور مهندسي در ايران است که در زمينه طراحی و نظارت بر اجرای شبکه تاسيسات آب و فاضلاب شهری و روستايی، تصفيه‌خانه آب و فاضلاب و لجن، آب‌شیرين‌کن، طرح‌های آب بدون درآمد، سيستم‌های کنترل و تله‌متری و آموزش فعاليت می‌نماید. در حال حاضر، مهندسين مشاور آبران با بیش از ۱۰ دفتر نمایندگی در سراسر ايران و خارج از کشور و با بهره‌گیری از خدمات بیش از ۱۰۰ نفر مهندسين متخصص و مجرب در زمينه طراحی و نظارت، از طرف سازمان مدیریت و برنامه دارای پایه ۱ در تخصص آب و فاضلاب شناخته شده است. از جمله پروژه‌های شاخص شرکت، انجام مطالعات طرح جامع آب شرب و صنعت در سطح سه استان در کشور است که به‌صورت جداگانه و در قالب ۳ قرارداد شامل استان‌های قزوین، زنجان و اردبیل از سال ۱۳۸۷ انجام شده و تدریج به مرحله اجرا درمی‌آیند.	

شرکت آتیه‌پردازان شریف	
شرکت آتیه‌پردازان شریف از شرکت‌های دانش بنیان نوع اول توليدي معاونت علمی ریاست جمهوری است که در حال حاضر بالغ بر ۳۵۰ نفر از نخبگان کشور در آن مشغول به فعاليت هستند. این شرکت در زمینه توليد تجهيزات High tech تصفيه آب و پساب در صنايع نفت، گاز و پتروشيمي فعال بوده و تاکنون توانسته نیازهای بسیاری از صنايع حساس کشور مانند پتروشيمي مبین، پتروشيمي مروارید، مجتمع گازی پارس جنوبی و نیروگاه توسعه ۳ مینا را برطرف ساخته و از خروج میلیون‌ها دلار ارز از کشور جلوگیری نماید. شرکت آتیه‌پردازان شریف مفتخر است با تاييد معاونت علمی به‌عنوان تنها سازنده دانش بنیان دو محصول الکترولايزرهای کلرینيشن و رابچر دیسک‌ها در کشور شناخته می‌شود. این مجموعه با تاسيس شتاب‌دهنده آبان زیرنظر معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، در صدد توسعه و بومی‌سازی تکنولوژی‌های اساسی در زمینه تصفيه آب و پساب است.	 آتیه‌پردازان شریف Atieh Pardazan Sharif

شرکت مهندسی ساخت بویلر و تجهيزات مینا	
شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهيزات مینا، شرکتی است توانمند که مسئولیت طراحی، ساخت، تامین، نصب و راه‌اندازی و خدمات پس از فروش انواع بویلر و تجهيزات ثابت صنايع نیروگاهی، نفت و گاز و پتروشيمي و سيستم‌های آب‌شیرين‌کن و تصفيه‌خانه‌های آب را برعهده دارد. این شرکت با اتکا به نیروی انسانی کارآمد، جذب و ارتقای دانش فنی، بهره‌گیری حداکثري از ظرفیت توليد شرکت و همکاری با تامین‌کنندگان معتبر داخلی و خارجی، ضمن حفظ حقوق سهامداران و کسب رضایت مشتریان، در راستای توسعه پایدار جامعه و تحقق چشم‌انداز بیست ساله کشور گام برمی‌دارد.	 شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهيزات مینا

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکننده	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
دوازدهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران	دانشگاه فردوسی مشهد	مشهد - دانشگاه فردوسی مشهد	۲۱ - ۲۳ تیرماه ۱۴۰۰	http://www.12icce.ir/fa/
هشتمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری	دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، موسسه تحقیقات آب	تهران	خردادماه ۱۴۰۰	http://www.caup.ir/fa/
اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت	انجمن آب و فاضلاب ایران و دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران	تهران - پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران	۹ - ۱۱ آذرماه ۱۴۰۰	http://www.iwwa-conf.ir

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
12th Eastern European Young Water Professionals Conference: Water Research and Innovations in a Digital Era	Riga, Latvia	31 March – 2 April 2021	http://iwa-ywp.eu/
11th IWA Efficient Urban Water Management Conference	Bordeaux, France	7 – 9 April 2021	https://www.efficient2021.org/
IWA World Water Congress & Exhibition 2021	Copenhagen, Denmark	9 – 14 May 2021	http://wwrr.put.poznan.pl/
Wastewater, Water and Resource Recovery Conference	Poznan, Poland	16 – 19 May 2021	https://micropol2021.org/
12th Micropol and Ecohazard Conference	Santiago de Compostela, Spain	6 – 10 June 2021	https://lwwtp2020.net/home/
13th IWA Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants (CANCELLED)	Vienna, Austria	13 – 17 June 2021	https://www.siww.com.sg/event/s/details/water-convention-2020
Singapore International Water Week – Water Convention 2020	Singapore, Singapore	20 – 24 June 2021	http://www.ecostp2020.polimi.it/
5th International Conference on Ecotechnologies for Wastewater Treatment (ecoSTP2020) “Impacting the environment with innovation in wastewater treatment”	Milano, Italy	21 – 25 June 2021	https://iwaywp.ca/conference-2021/
1st Canadian IWA Young Water Professionals	Hybrid, Canada	24 – 25 June 2021	https://mtc2021.wustl.edu/
The 10th International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	St. Louis, Missouri, USA	1 – 4 August 2021	http://iwa-ywp.eu/
Water Safety Planning 2021	Narvik, Norway	11 – 13 August 2021	http://www.watersafety2021.org/
WRRmod2020: 7th IWA Water Resource Recovery Modelling Seminar	Arosa, Switzerland	21 – 25 August 2021	https://www.wrrmod2020.org/
The 8th IWA International Conference and Exhibition on Flotation & Nano-Micro Bubble Technology	Busan, South Korea	1 – 3 September 2021	https://iwa-network.org/events/the-8th-iwa-international-conference-and-exhibition-on-flotation-nano-micro-bubble-technology/
17th International Conference on Environmental Science and Technology (Supported)	Athens, Greece	1 – 4 September 2021	http://cest2021.gnest.org/
4th IWA Resource Recovery Conference 2021	Istanbul, Turkey	5 – 8 September 2021	http://iwar2021.org/
1st IWA Non-Sewered Sanitation Conference	Pretoria, South Africa	15 – 18 September 2021	https://iwa-nss.org/
The 5th International Conference on Water Economics, Statistics and Finance; The International Conference on Rethinking Treatment with Asset Management	Porto, Portugal	22 – 24 September 2021	http://www.isep.ipp.pt/iwa_Porto2021
9th IWA Odour and VOC/Air Emissions Conference	Bilbao, Spain	26 – 27 October 2021	https://www.olores.org/en/iwao_dours2021
Digital Water Summit	Bilbao, Spain	15 – 18 November 2021	https://digitalwatersummit.org/



1st National Conference on Water Quality Management

3rd National Conference on
Water Consumption Management
Loss Reduction and Reuse

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

همایش ملی
مدیریت کیفیت آب

و همایش ملی
مدیریت مصرف آب

باریکرد کاهش هدررفت و بازیافت

۱۴ تا ۱۱ آذر ماه ۱۴۰۰

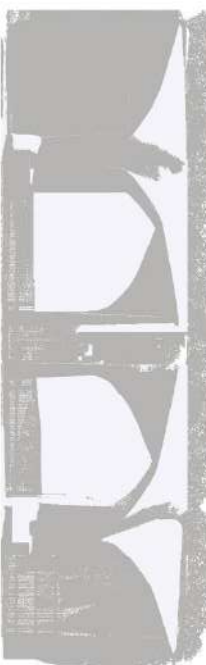
پروندیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران



موضوعات همایش

- رونق دهی اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و حقوقی در مدیریت مصرف و استفاده از پساب
- ارزیابی و آسیب شناسی روش های جایگزین در مدیریت کیفیت آب
- مدیریت فاضلاب و پسماند حاصل از فرایندهای بازیافت
- آلاینده های ویژه و نو ظهور در آب آشامیدنی و پساب
- استفاده ایمن از پساب و کاهش ریسک آن
- مدیریت و راهبری تصفیه خانه های آب
- پایش کمی و کیفی پساب بازیافتی
- فناوری های نو در حوزه بازیافت
- مدیریت هوشمند کیفیت آب
- پایش کیفی اکوسیستم ها
- اقتصاد و کیفیت آب
- هدررفت واقعی، ظاهری و مجاز بدون در آمد در شبکه های توزیع آب
- تأثیر تغییر اقلیم بر کیفیت آب های سطحی و زیر زمینی
- تأثیرات پساب دستگاه های آب شیرین کن بر کیفیت آب
- کاهش مصرف و ارتقای بهره وری آب در بخش صنعت
- استانداردها و ضوابط کمی و کیفی آب و فاضلاب
- فناوری های ساده و ارزان قیمت بازیافت پساب
- مدیریت و بازیافت زهاب های کشاورزی
- مدیریت هوشمند شبکه های توزیع آب
- پیوند آب-انرژی در بازیافت پساب
- اثر ویروس کرونا بر آب و پساب
- مدیریت مصرف آب
- برنامه ایمنی آب

مهلت ارسال مقالات کامل: ۱۵ مهر ماه ۱۴۰۰



آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس،
پیش کوچه آذین، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
کد پستی: ۱۳۱۷۸۵۳۱۱۱
تلفن: ۰۲۱-۶۱۱۱۳۱۷۹
فکس: ۰۲۱-۶۱۱۳۰۷۷۱۹
i w a - c o n f . i r
info@iwa-conf.ir
@IWWSEC





فراخوان ششمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

۶

ویژه دانش آموختگان سال‌های ۱۳۹۶ به بعد



انجمن آب و فاضلاب ایران در نظر دارد در ششمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در محورهای **کیفیت، هدررفت و بازیافت آب**، پایان نامه‌های 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، فایل پایان نامه به همراه مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود را **حداکثر تا تاریخ ۳۰ مهرماه ۱۴۰۰** از طریق سایت **انجمن به نشانی IRWWA.IR** بارگذاری نمایند.

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



[Telegram.me/irwwa94](https://t.me/irwwa94)

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

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

 S.A.A سنجش افزار آسیا (با مسئولیت محدود)	 سیال کنترل FLUID CONTROL ما راهی را پیدا می‌کنیم	 مهندسین مشاور آبخوان مکان آب - تأسیسات شهری - سدسازی - گزارش - مکانیسمی و دایروری - حفاظت و بهسازی رودخانه - محیط زیست
 MZA معین زیست آریا	 پادیاب تجهیز	 PERSIA ARAS JONOUB Co.
 آتیه پردازان شریف Atich Pardazan Sharif	 سپید یاس فراز (سهامی خاص)	 شرکت مهندسی حلیل آب پایدار
 شرکت فناوری زیست محیط پاک صبا تأسیس: ۱۵۲۲	 ماشین سازی اراک	 م‌لاب قدس شرکت مهندسی مشاور MAHAB GHODSS CONSULTING ENGINEERING CO.
 مهندسین مشاور آببران	 SafBon	 تالیه همیشه یک کام جلوتر TALAYEH INDUSTRIAL CONSULTING تأسیس ۱۳۵۱
 شرکت آلت انوماتیک بندجا BOLANDA www.bolanda-co.com @bolandafaucets	 مهندسین مشاور آب رسته کارهای آبی - معماری و ژئوتکنیک	 آبساران مهندسین مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir
 FAPCO شرکت فرایند ارقام پرداز	 کوهسینا شرکت مهندسی و ساخت بوئیلر و تجهیزات مینا	توسعه انهار آریانا
 شرکت مهندسی سپهر کویر فرداد FARDAD	 DESIGN & BUILD CONCRETE INTERNATIONAL THE BEST MARK OF QUALITY مهندسین ایرانی گسترده	 مهندسین مشاور داهه
 NIKA International Inspection Services	 فرآب تدبیر تصفیه	 مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست
 مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	 شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company Hapico	



هیئت تحریریه نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب مایل است مراتب تشکر و تقدیر خود را از تمامی داوران محترمی که در طول سال ۱۳۹۹ با در اختیار گذاشتن وقت و توان علمی خود باعث بارورتر شدن غنای علمی و کاربردی این نشریه شدند ابراز نماید.

علیرضا ابراهیمی نورعلی	فریبا رضوانی
وزارت نیرو	دانشگاه تهران
محمد حسن احرام پوش	عباس روزبهانی
دانشگاه علوم پزشکی یزد	دانشگاه تهران
آزاده احمدی	بردیا روغنی
دانشگاه صنعتی اصفهان	دانشگاه تهران
آرش ادیب	محمدعلی ززولی
دانشگاه چمران اهواز	دانشگاه علوم پزشکی مازندران
سید سعید اسلامیان	غلامرضا سبزقبایی
دانشگاه صنعتی اصفهان	دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص)
زهر اکبری	سید حسین سجادی فر
دانشگاه تهران	شرکت آب و فاضلاب استان تهران
بیتا آیتی	مطهره سعادت پور
دانشگاه تربیت مدرس	دانشگاه علم و صنعت ایران
مهدی بهرامی	علیرضا سفیانیان
دانشگاه فسا	دانشگاه صنعتی اصفهان
سودابه پورفداکاری	جابر سلطانی
دانشگاه علوم پزشکی بوشهر	دانشگاه تهران
مسعود تابش	سید احمد رضا شاهنگیان
دانشگاه تهران	دانشگاه تهران
افشین تكدستان	محمد شکرچی زاده
دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز	دانشگاه تهران
حامد توکلی فر	رضا شهرجردی
وزارت نیرو	شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی
امیر حسین جاوید	اکبر شیرزاد
دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات	دانشگاه صنعتی ارومیه
الله بخش جاوید	ستار صالحی
دانشگاه شاهرود	دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار
مجید خلقی	حمیدرضا صفوی
دانشگاه تهران	دانشگاه صنعتی اصفهان
حمید راشدی	مسعود طاهریون
دانشگاه تهران	دانشگاه صنعتی اصفهان
عبدالله رشیدی مهر آبادی	فریدون عوفی
دانشگاه شهید بهشتی	موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور

محمود فغفور مغربی	تورج هنر
دانشگاه فردوسی مشهد	دانشگاه شیراز
مجید قنادی	حمیدرضا هنری
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	دانشگاه علوم پزشکی تهران
داود کاه فروشان	عسگر هورفر
دانشگاه صنعتی سهند	دانشگاه تهران
بهاره کردستانی	حسن هویدی
دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز	دانشگاه تهران
مهدی کریمی	مرتضی واحدپور
دانشگاه فردوسی مشهد	دانشگاه زنجان
میلاد لطیفی	محمد واقفی
شرکت آب و فاضلاب استان تهران	دانشگاه خلیج فارس
عبدالمجید لیاقت	بهمن یارقلی
دانشگاه تهران	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
عزیزالله مبینی	
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	
محمد جواد محمدی	
دانشگاه همدان	
نیازمحمد محمودی	
پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ	
محمد مسافری	
دانشگاه علوم پزشکی تبریز	
بهرام ملک محمدی	
دانشگاه تهران	
سنا موسویان	
دانشگاه علمی کاربردی خوزستان	
غلام رضا نبی بیدهندی	
دانشگاه تهران	
سارا نظیف	
دانشگاه تهران	
حشمت الله نورمرادی	
دانشگاه علوم پزشکی ایلام	
عبدالکاظم نیسی	
دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز	
سید حسین هاشمی	
دانشگاه شهید بهشتی	
سارا همتی	
دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد	

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

حق عضویت اعضای حقیقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ (به ازای هر سال)	۵۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰)	۱۰۰۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله با تخفیف (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲)	۱۸۰۰۰۰۰

حق عضویت اعضای حقوقی

نوع شرکت	حق عضویت سالانه (ریال)
کوچک	۳۰۰۰۰۰۰
متوسط	۶۰۰۰۰۰۰
بزرگ	۱۰۰۰۰۰۰۰

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

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

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبا: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۰۱۲-۶۲۵۶

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

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

عضویت حقوقی (شرکت‌ها)			عضویت حقیقی		مزایای عضویت
بزرگ	متوسط	کوچک	وابسته	پیوسته	
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف شرکت در کنفرانس‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	-	-	تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن
٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	-	-	تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف خرید مقاله از مجلات انجمن
٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف خرید انتشارات انجمن
*	*	*	*	*	امکان صدور معرفی‌نامه عضویت در انجمن
*	*	*	*	*	اطلاع‌رسانی و امکان حضور در نشست‌ها، گردهمایی‌ها و کارگاه‌های انجمن
*	*	*	*	*	دسترسی به اطلاعات سایت 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 حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

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

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

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

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

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

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

❖ چکیده فارسی:

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

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

❖ متن مقاله:

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

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و همچنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش‌های 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:

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

❖ مقاله فارسی:

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

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

❖ مقاله غیر فارسی:

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

❖ مقاله منتشر نشده:

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

❖ کتاب:

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

❖ بخشی از کتاب:

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

❖ موسسه به جای نویسند:

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

❖ مقالات کنفرانسی:

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

❖ پایان نامه:

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

❖ سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 5, No. 4, Winter 2021

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

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

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

Editorial Board:

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



Industrial Water and Wastewater Policy Council:

Ghane, A.A. (M.Sc.): Advisor of Managing Director, Iran National Water and Wastewater Engineering Company
Ghannadi, M. (M.Sc.): Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water and Wastewater Engineering Company
Honari, H. (M.Sc.): Retired Faculty Member, Tehran University of Medical Science
Tabatabaei, A. (M.Sc.): Director General of Operational Supervising Office, Iran Water and Wastewater Engineering Company

Editorial Staff:
Graphic Designer:
Page Setting:
English Editor:
Publisher:
No. of Prints:
Address:
Tel:
Fax:
Print ISSN:
Online ISSN:
E-Mail:
Print:

Akhtari, N.
Shahangian, S.A.
Akhtari, N.
Ostadrahimi, A.
Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
500
No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran
+98 21 88956097
+98 21 88391390
2588-3941
2588-396X
info@jwwse.ir
Farshiveh



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 5, No. 4, Winter 2021

Preface	2
<u>Papers</u>	
Requirements and Roadmap of Smart Water Distribution Network Shervin Jamshidi	4
Presentation of the Integrated and Comprehensive Framework in Assessment of Water Demand Management Policies Seyyed Ahmadrza Shahangian, Massoud Tabesh, Haniye Safarpour, Melica Khashei and Mahnaz Abbasi	16
A Review on the Amount of the Household Night Water Consumption per Capita in Different Countries Javad Norouzi, Mohammadreza Jalili Ghazizadeh, Iman Moslehi	24
Risk Assessment for Gas Chlorination Units of Water and Wastewater Treatment with FMEA Method Hanie Mohsenzade, Hesam Razmara, Ali Dashti, Hadi Roosta, Hadi Nakhaee Fadafan, Samaneh Tavakoli Aminian, Masoud Rouhbakhsh and Ali Fazaeli Torabi	31
The Importance of Optimizing Energy Consumption in Wastewater Treatment Plants: A Case Study of East Mashhad Wastewater Treatment Plant Naser Mehrdadi, Vahid Aghabalaci, Shima Mardani and Mahla Tabeshnia	41
Evaluation of the Effect of Precipitation on Leachate Production Rate during Operational Period and After Closure of Municipal Waste Landfill by HELP Model Milad Ghaffariraad and Mehdi Ghanbarzadeh Lak	53
<u>General Section</u>	
Interview	65
Round-Table	68
Best Thesis	82
Best Idea	83
Book Presentation	85
IWWA News	87